

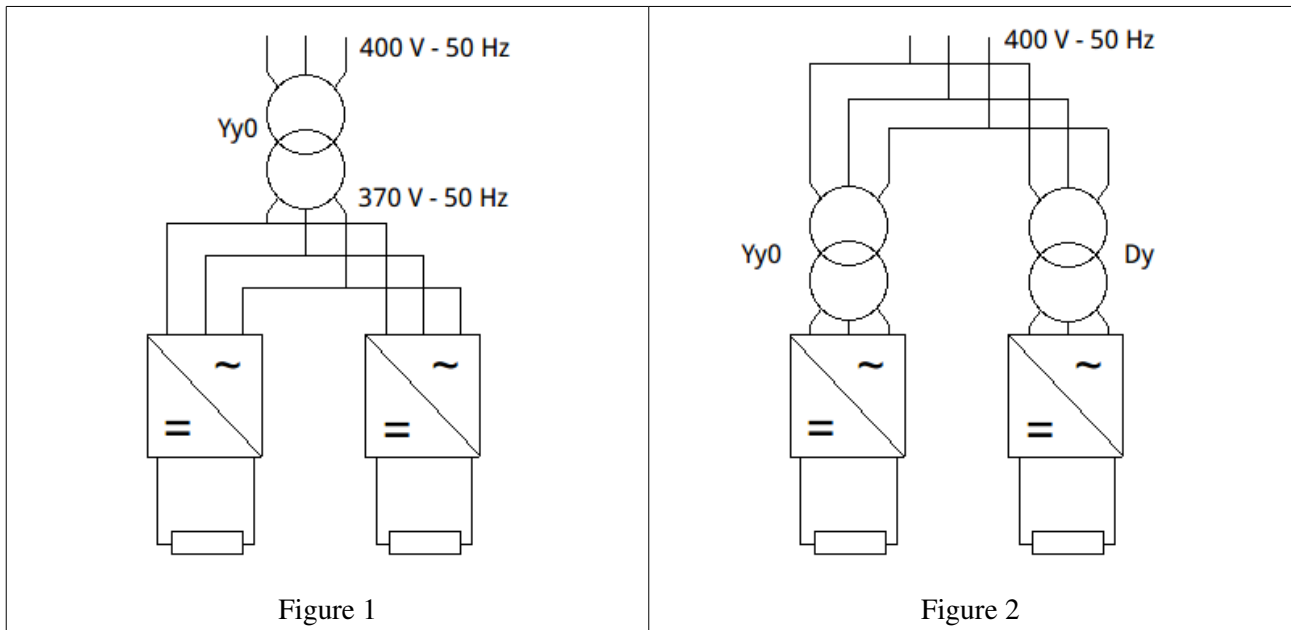
Corrigé du devoir n° 1

Il est fortement conseillé de lire l'ensemble des énoncés avant de commencer.

Exercice 1 (15 points)

L'étude porte sur la comparaison de deux architectures de réseau comportant deux redresseurs triphasés PD3. Initialement, les deux redresseurs étaient reliés à un seul transformateur conformément à la figure 1. Cette configuration entraînait des perturbations au primaire.

Pour remédier à ces perturbations, la solution proposée est de relier chaque redresseur à un transformateur conformément à la figure 2.



Les dipôles placés en sortie des redresseurs symbolisent les dispositifs connectés du côté continu des redresseurs. Pour la suite, les courants côté continu sont supposés parfaitement lissés.

On étudiera successivement les transformateurs, puis les redresseurs et enfin l'association pour comparer ses performances avec celles de l'installation initiale.

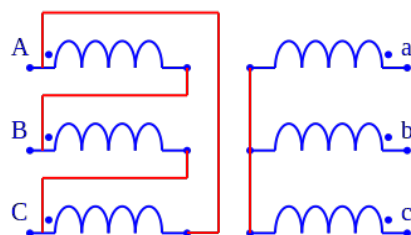
1. Étude des transformateurs de l'installation modifiée (figure 2) (4 points)

- Les redresseurs et leurs charges sont identiques à ceux de la solution initiale, calculer les rapports de transformation de chaque transformateur.

Les valeurs efficaces des tensions composées primaires et secondaires sont respectivement égales à 400 V et 370 V d'où la valeur du rapport de transformation : $m = \frac{370}{400} = 0,925$

Le couplage des enroulements du transformateur Dy est représenté ci-dessous :

- Exprimer son rapport de transformation en fonction des nombres de spires n_{p2} de ses enroulements primaires et n_{s2} de ses enroulements secondaires. En déduire la valeur de $\frac{n_{s2}}{n_{p2}}$.



Pour la colonne supérieure : la tension aux bornes du bobinage de droite est V_a et celle aux bornes du bobinage de gauche est U_{AB} donc $\frac{V_a}{U_{AB}} = \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$.

Pour les valeurs efficaces : $\frac{V_a}{U_{AB}} = \frac{V_s}{U_p} = \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$ avec V_s et U_p les valeurs efficaces des tensions simples au secondaire et composées au primaire. Puisque $V_s = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$ et $U_p = V_p \sqrt{3}$, il est possible d'écrire :

$$\frac{U_s}{\sqrt{3} U_p} = \frac{n_{s2}}{n_{p2}} \quad \text{ce qui donne} \quad m = \frac{U_s}{U_p} = \sqrt{3} \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$$

ou $\frac{V_s}{\sqrt{3} V_p} = \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$ ce qui donne $m = \frac{V_s}{V_p} = \sqrt{3} \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$

D'après la question précédente $m = 0,925$ donc $0,925 = \sqrt{3} \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$ soit $\frac{n_{s2}}{n_{p2}} = \frac{0,925}{\sqrt{3}} = 0,534$

c. Déterminer son indice horaire.

On place les vecteurs associés à V_a et U_{AB} conformément à la relation $\frac{V_a}{U_{AB}} = \frac{n_{s2}}{n_{p2}}$. Les deux vecteurs sont en phase et V_a est en avance de 30° sur V_A ce qui donne un indice horaire égal à 11.

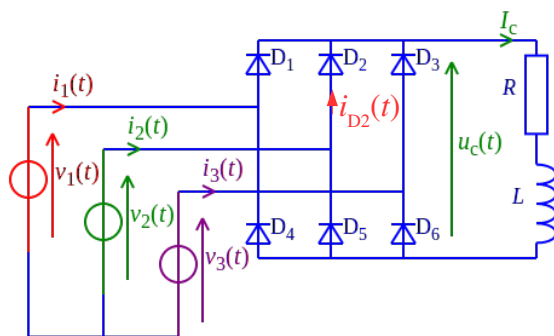
2. Étude d'un redresseur (6,5 points)

Le schéma d'un redresseur est représenté ci-contre.

La charge côté continu peut être représentée par une résistance de 20Ω en série avec une inductance de 20 mH .

a. Indiquer les intervalles de conduction des diodes sur le document réponse n°1 (page 3).

Pour le commutateur à cathodes communes (en haut), la diode passante est celle dont l'anode est reliée à la tension la plus élevée.



Pour le commutateur à anodes communes (en bas), la diode passante est celle dont la cathode est reliée à la tension la plus faible.

Voir le document réponse.

b. Tracer la tension redressée sur le document réponse n°1 et calculer sa valeur moyenne.

Lorsque les diodes D_1 et D_5 sont passantes, la loi des mailles permet d'écrire $v_1(t) - u_c(t) - v_2(t) = 0$ ce qui donne $u_c(t) = v_1(t) - v_2(t) = u_{12}(t)$. On procède de même pour les autres situations.

Voir le document réponse.

Calcul de la valeur moyenne : on utilise la relation $\bar{u}_c = \frac{3V\sqrt{2}\sqrt{3}}{\pi}$ soit $\bar{u}_c = \frac{3 \times 370 \sqrt{2}}{\pi} = 500 \text{ V}$

Selon le type de redresseur, la valeur moyenne de la tension de sortie est calculée par :

- Redresseur triphasé P3 : $\bar{u}_c = \frac{3V\sqrt{2}}{\pi}$ avec V la valeur efficace des tensions simples en entrée.

- Redresseur triphasé PD3 : $\bar{u}_c = \frac{3V\sqrt{2}\sqrt{3}}{\pi}$ avec V la valeur efficace des tensions simples en entrée.
- Redresseur monophasé PD2 : $\bar{u}_c = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi}$ avec V la valeur efficace de la tension en entrée.

c. Calculer la valeur moyenne du courant côté continu.

Pour les composantes continu, on écrit $\bar{u}_c = RI_c$ avec $R = 20 \Omega$ ce qui donne $I_c = \frac{\bar{u}_c}{R} = \frac{500}{20} = 25 \text{ A}$

d. Représenter sur le document réponse n°1 le courant $i_{D2}(t)$ dans la diode D_2 (axes juste sous les intervalles de conduction) et le courant $i_2(t)$ (axes sous les précédents).

Le courant dans la diode D_2 est orienté sur le schéma, il est nul lorsqu'elle est bloquée et égal à I_c lorsqu'elle est passante.

Voir le document réponse.

Le courant $i_2(t)$ est égal à I_c lorsque la diode D_2 est passante, égal à $-I_c$ lorsque la diode D_5 est passante et nul sinon.

Voir le document réponse.

e. Déterminer l'expression de la valeur efficace de $i_2(t)$ et en déduire le facteur de puissance.

Pour déterminer la valeur efficace, on élève le signal au carré puis on prend la valeur moyenne et enfin la racine carrée.

Le courant $i_2(t)$ élevé au carré est égal à I_c^2 pendant deux intervalles durant $\frac{T}{3}$. D'où sa valeur

moyenne $I_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} (2 \frac{T}{3} I_c^2) = \frac{2}{3} I_c^2$ soit finalement $I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_c$

Facteur de puissance : $k = \frac{P}{S} = \frac{\bar{u}_c I_c}{3V I_{\text{eff}}} = \frac{\frac{3V\sqrt{2}\sqrt{3}}{\pi} I_c}{3V \sqrt{\frac{2}{3}} I_c} = \frac{3}{\pi}$

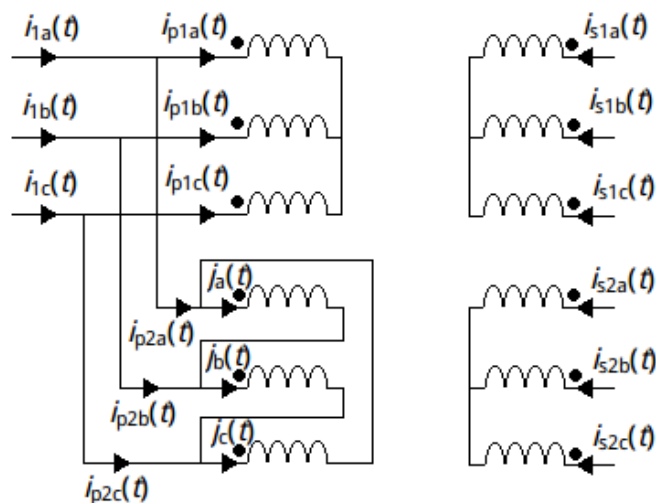
3. Étude de l'installation modifiée (4,5 points)

Le schéma ci-contre représente les deux transformateurs et les différents courants.

Pour le transformateur Yy, les lois de compensation des ampères-tours s'écrivent : $n_{p1} i_{p1x} = n_{s1} i_{s1x}$ avec x correspondant à « a » ou « b » ou « c ».

Pour les calculs : $\frac{n_{s1}}{n_{p1}} = 0,925$

Pour le transformateur Dy, les lois de compensation des ampères-tours s'écrivent : $n_{p2} j_x = n_{s2} i_{s2x}$ avec x correspondant à « a » ou « b » ou « c ».



Les intensités $i_{s1a}(t)$, $j_a(t)$ et $j_c(t)$ sont représentées sur le document réponse n°2 (page 4).

a. Représenter $i_{p1a}(t)$ sur le document réponse.

D'après $n_{p1} i_{p1x} = n_{s1} i_{s1x}$ et $\frac{n_{s1}}{n_{p1}} = 0,925$, on a $i_{p1a} = \frac{n_{s1}}{n_{p1}} i_{s1a} = 0,925 i_{s1a}$. Lorsque i_{s1a} est égal à 25 A alors $i_{p1a} = 0,925 \times 25 = 23,1$ A ...

Voir le document réponse.

b. Écrire la relation entre $j_a(t)$, $j_c(t)$ et $i_{p2a}(t)$ et représenter $i_{p2a}(t)$ sur le document réponse.

D'après la loi des nœuds $i_{p2a}(t) + j_c(t) = j_a(t)$ soit $i_{p2a}(t) = j_a(t) - j_c(t)$

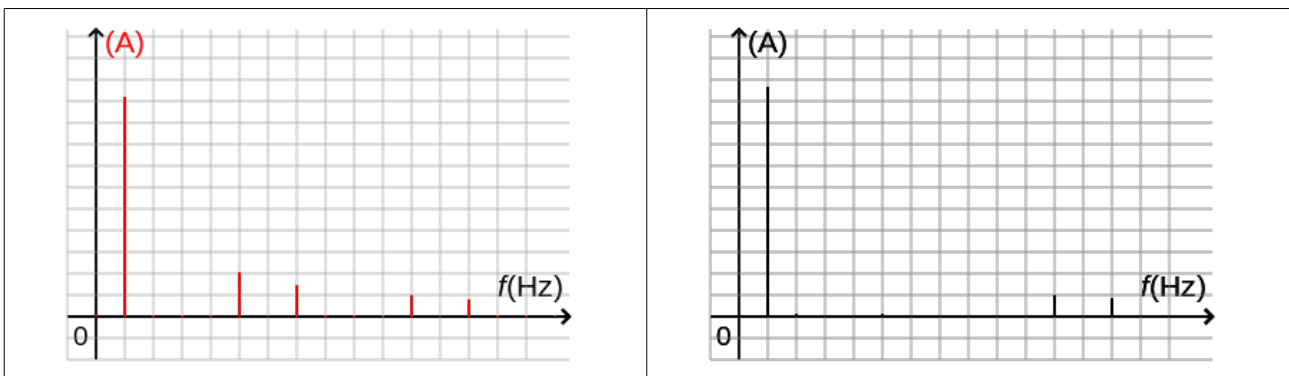
Voir le document réponse.

c. Écrire la relation entre $i_{p1a}(t)$, $i_{p2a}(t)$ et $i_{1a}(t)$ et représenter $i_{1a}(t)$ sur le document réponse.

D'après la loi des nœuds $i_{1a}(t) = i_{p1a}(t) + i_{p2a}(t)$

Voir le document réponse.

Les graphiques ci-dessous représentent les spectres en amplitude pour chaque installation ; à gauche pour celle avec un transformateur, à droite pour l'autre (une graduation verticale pour 5 A, une graduation horizontale pour 50 Hz).



d. Quelle(s) amélioration(s) apporte la nouvelle installation ?

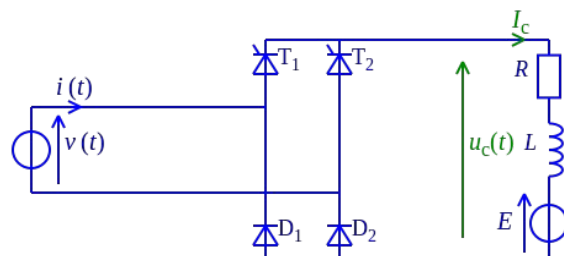
Il n'y a plus d'harmoniques de rangs 5 et 7 avec la nouvelle installation.

Exercice 2 (5 points)

Le schéma ci-dessous représente un pont mixte, sa charge est constituée d'une fém $E = 180$ V, d'une résistance $R = 10 \Omega$ et d'une inductance $L = 40$ mH. Le courant côté continu est supposé parfaitement lissé.

- Indiquer les intervalles de conduction des thyristors des diodes et représenter la tension côté continu sur le document réponse n°3 pour un angle de retard à l'amorçage de 60° .

Les thyristors T_1 et T_2 deviennent passants à un instant correspondant à 60° après l'instant pour lequel ils seraient devenus passants s'ils étaient des diodes.



La diode D_1 est passante lorsque $v(t)$ est négative et la diode D_2 est passante lorsque $v(t)$ est positive.

Pour assurer la continuité du courant dans la charge, T_2 reste passant tant que T_1 n'est pas amorcé ; il en est de même pour T_1 .

La tension côté continu est nulle lorsque T_2 et D_2 sont passants et lorsque T_1 et D_1 sont passants.

La tension côté continu est égale à $v(t)$ lorsque T_1 et D_2 sont passants ; elle est égale à $-v(t)$ lorsque T_2 et D_1 sont passants.

Voir le document réponse.

La valeur moyenne de la tension de sortie est donnée par $\bar{u}_c = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}(1 + \cos\psi)$ avec ψ l'angle de retard à l'amorçage et V la valeur efficace de la tension alternative.

2. La valeur moyenne maximale de la tension de sortie du redresseur doit être égale à 220 V.

a. Pour quel angle de retard à l'amorçage obtient-on cette valeur de tension ?

La valeur moyenne en sortie est maximale lorsque $\psi = 0$.

b. Calculer la valeur efficace de la tension du côté alternatif.

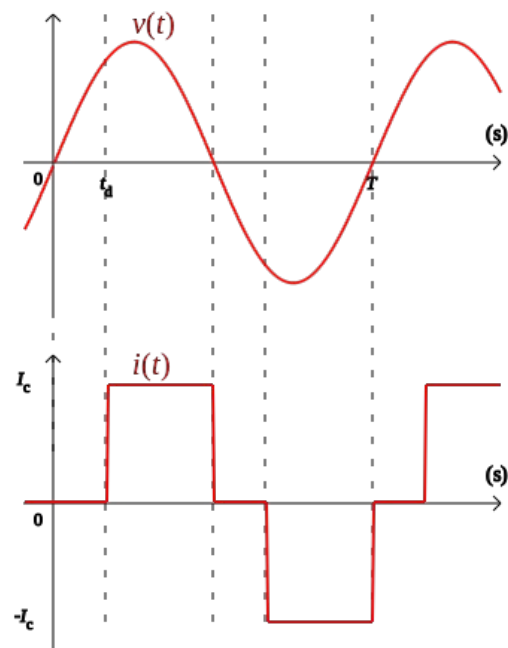
Si $\psi = 0$ alors $\bar{u}_c = \frac{V\sqrt{2}}{\pi}(1 + \cos 0) = \frac{2V\sqrt{2}}{\pi}$ d'où

$$V = \frac{\pi \bar{u}_c}{2\sqrt{2}} = \frac{\pi \times 220}{2\sqrt{2}} = 244 \text{ V}$$

3. Les mesures suivantes de tensions et intensités ont été réalisées :

Valeurs moyennes côté continu : 20 A et 165 V ; valeurs efficaces côté alternatif : 16,3 A et 245 V.

L'oscillogramme ci-contre représente les allures de la tension et de l'intensité en entrée du redresseur.



a. Déterminer le facteur de puissance.

Le facteur de puissance est donné par $k = \frac{P}{S}$ avec $P = 20 \times 165 = 3300 \text{ W}$ (produit des valeurs moyennes de la tension et de l'intensité côté continu) et $S = 16,3 \times 245 = 3990 \text{ VA}$ (produit des valeurs moyennes de la tension et de l'intensité côté alternatif)

b. Tracer l'allure du fondamental du courant en ligne et en déduire son déphasage avec la tension.

Il passe par zéro en montant au milieu du premier palier pour lequel le courant est nul, puis passe par son maximum au milieu du palier pour lequel le courant est égal à I_c puis passe par zéro en descendant au milieu du deuxième palier pour lequel le courant est nul et passe par son minimum au milieu du palier pour lequel le courant est égal à $-I_c$.

Le fondamental de l'intensité est en retard de 30° sur la tension (moitié de la durée t_d qui correspond à un tiers de la demi période donc 60°).

c. Déduire de ce qui précède l'intensité efficace du fondamental du courant en ligne.

La puissance active est connue et égale à 3300 W, d'après $P = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} U_n I_n \cos \varphi_n$, elle peut aussi s'écrire $P = V I_1 \cos \varphi_1$ avec V la valeur efficace de la tension, I_1 la valeur efficace du fondamental du courant et φ_1 le déphasage entre les deux. On obtient donc

$$I_1 = \frac{P}{V \cos \varphi_1} = \frac{3300}{245 \cos 30} = 15,5 \text{ A}$$

d. Calculer la puissance réactive.

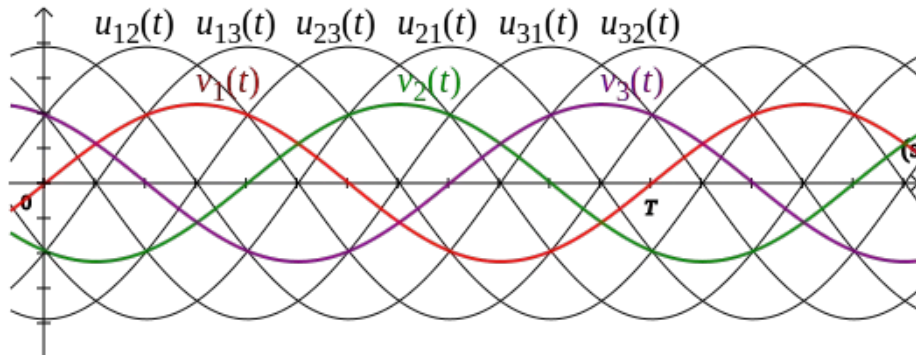
D'après $Q = \sum_{n=1}^{n=\infty} U_n I_n \sin \varphi_n$, on a $Q = V I_1 \sin \varphi_1 = 245 \times 15,5 \times \sin 30 = 1900 \text{ var}$

Relations donnant les puissances active et réactive pour un dipôle dont les tension et intensité sont périodiques

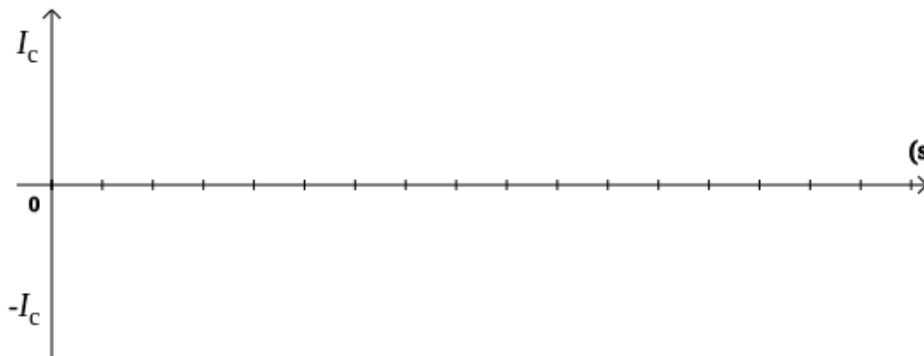
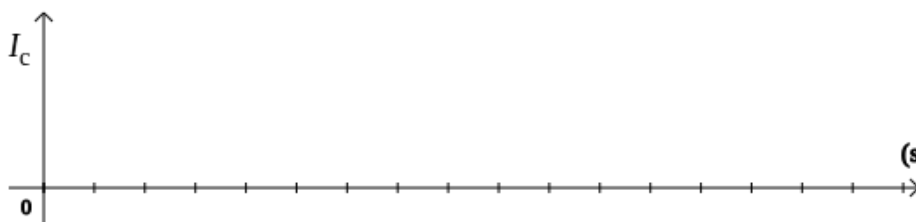
Puissance active : $P = U_0 I_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} U_n I_n \cos \varphi_n$ avec U_0 et I_0 les composantes continues de la tension et de l'intensité ; U_n et I_n les valeurs efficaces des harmoniques de rang n de la tension et de l'intensité et φ_n le déphasage entre les harmoniques de rang n de la tension et de l'intensité.

Puissance réactive : $Q = \sum_{n=1}^{n=\infty} U_n I_n \sin \varphi_n$

Document réponse n°1 (question 2 de l'exercice 1)

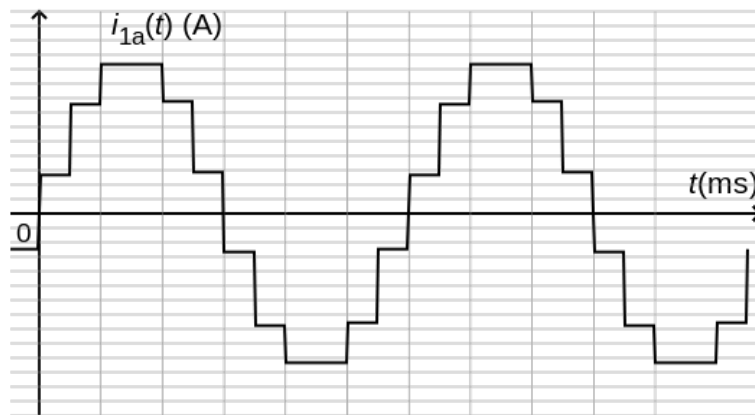
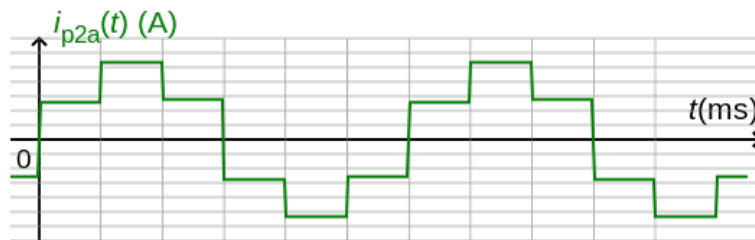
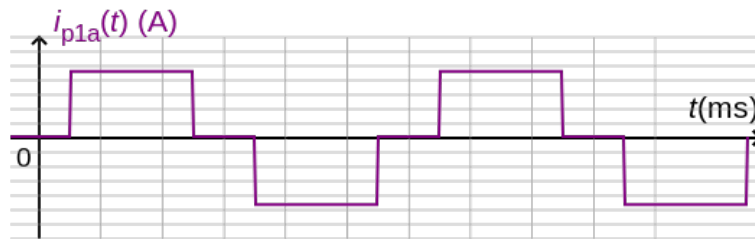
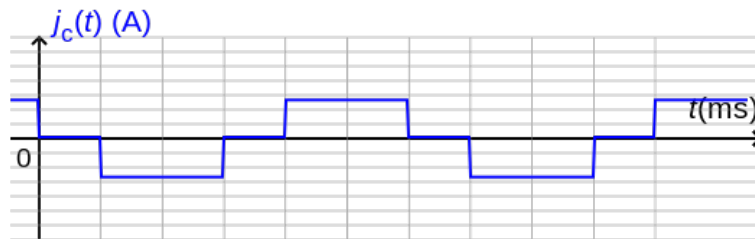
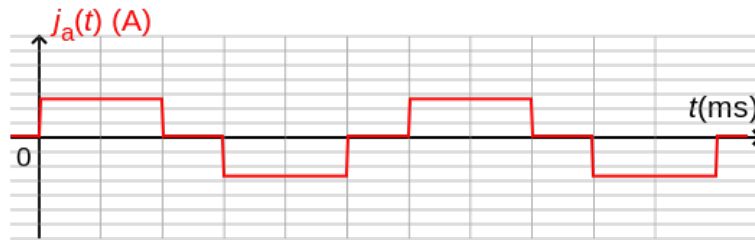
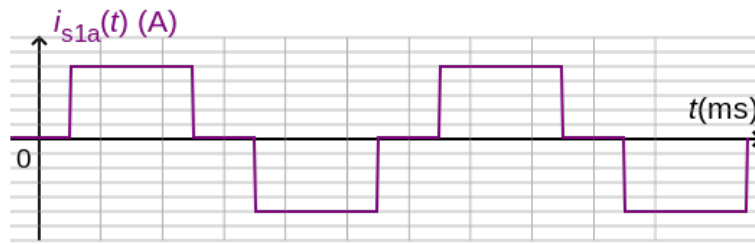


- D₁ _____
- D₂ _____
- D₃ _____
- D₄ _____
- D₅ _____
- D₆ _____

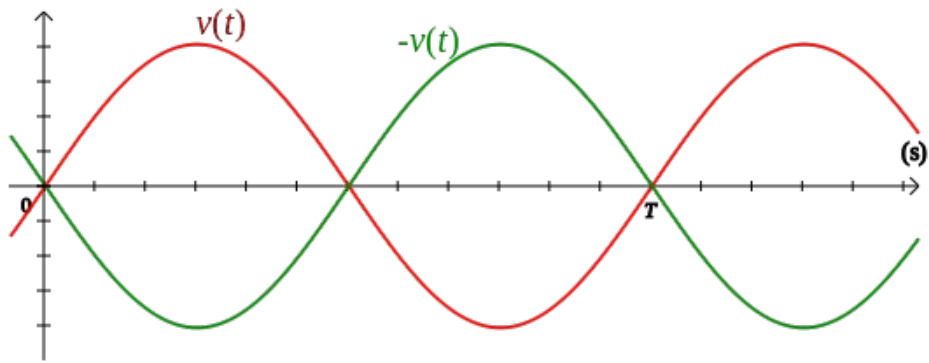


Document réponse n°2 (question 3 de l'exercice 1)

Échelle horizontale : 6 divisions pour une période de 20 ms ; échelle verticale : 5 A pour une division.



Document réponse n°3 (question 1 de l'exercice 2)



T_1 _____
 T_2 _____
 D_1 _____
 D_2 _____