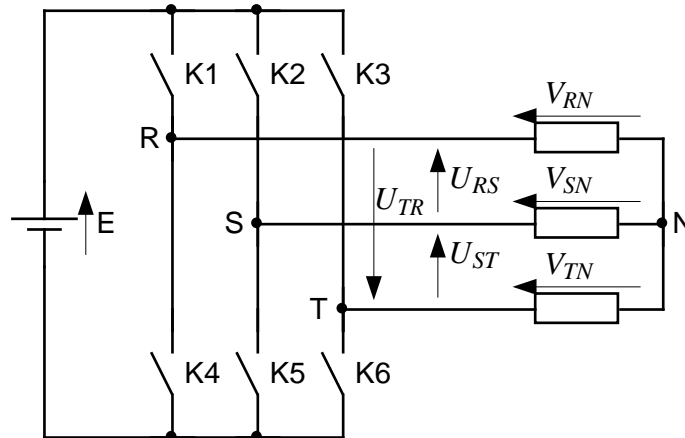


**C25-1**

Un onduleur en pont triphasé est connecté sur une charge branchée en étoile :



Sur une période  $T$ , l'ordre de conduction des interrupteurs est le suivant (1 = interrupteur fermé ; 0 = interrupteur ouvert):

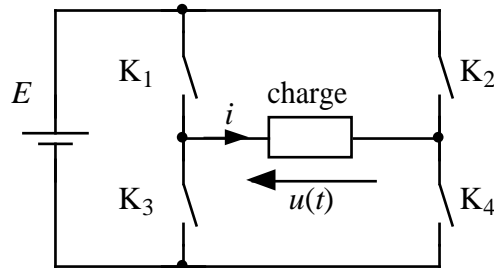
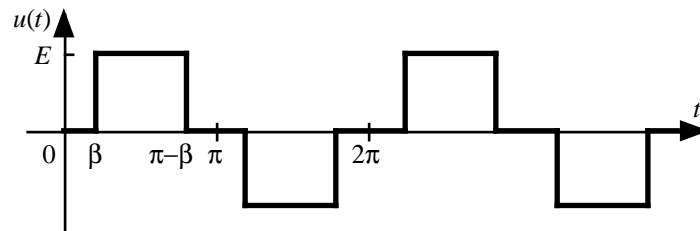
	$0 \rightarrow T/6$	$T/6 \rightarrow 2T/6$	$2T/6 \rightarrow 3T/6$	$3T/6 \rightarrow 4T/6$	$4T/6 \rightarrow 5T/6$	$5T/6 \rightarrow T$
K1	1	1	1	0	0	0
K2	0	0	1	1	1	0
K3	1	0	0	0	1	1
K4	0	0	0	1	1	1
K5	1	1	0	0	0	1
K6	0	1	1	1	0	0

- 1- Tracer les tensions composées  $U_{RS}$  et  $U_{ST}$
  - 2- Calculer en fonction de  $E$  la valeur efficace de ces tensions
  - 3- Exprimer la relation qui lie la tension composée  $U_{RS}$  aux tensions simples  $V_{RN}$  et  $V_{SN}$ . Faire de même pour  $U_{ST}$ .
  - 4- La charge est équilibrée, c'est-à-dire que les tensions simples obéissent à la relation :  $V_{RN} + V_{SN} + V_{TN} = 0$ . En déduire que :  $V_{SN} = (U_{ST} - U_{RS})/3$
  - 5- Tracer la tension  $V_{SN}$
  - 6 - Calculer en fonction de  $E$  la valeur efficace de cette tension
  - 7- On montre que le développement en série de Fourier de cette tension ne comporte que des harmoniques de rang impair dont la valeur efficace vaut :  $V_n = \frac{2\sqrt{2}E}{3\pi n} \left( 1 + \cos \frac{n\pi}{3} \right)$
- Calculer en fonction de  $E$  la valeur efficace du fondamental.
- 8- Que peut-on dire de la valeur efficace des harmoniques de rang 3, 9, 15, etc ? Quelle est la valeur efficace des autres harmoniques (rang  $n = 5, 7, 11, 13$ , etc) ?
  - 9- Calculer le taux de distorsion harmonique, sachant que ce taux est donné par :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=3}^{\infty} V_{n\text{eff}}^2}}{V_{1\text{eff}}} = \frac{\sqrt{V_{\text{eff}}^2 - V_{1\text{eff}}^2}}{V_{1\text{eff}}}$$

### C25-2- Onduleur en créneaux

Un onduleur délivre à sa charge la tension suivante :



- 1- Donner l'expression de  $U_{\text{eff}}$  (valeur efficace de  $u(t)$ ) en fonction de  $E$  et  $\beta$ .
- 2- La charge est une résistance de  $10 \Omega$  ;  $E = 20 \text{ V}$  ;  $f_1 = 1000 \text{ Hz}$ . Pour quelle valeur de  $\beta$  recevra-t-elle une puissance de  $30 \text{ W}$  ?
- 3- La décomposition en série de Fourier de  $u(t)$  ne comporte que des harmoniques de rang  $n$  impair :

$$u(t) = E \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin n\omega_1 t \quad \text{avec : } V_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} u(t) \cdot \sin nx \cdot dx \quad \text{où } x = \omega t$$

Établir l'expression littérale de l'harmonique de rang  $n$ .

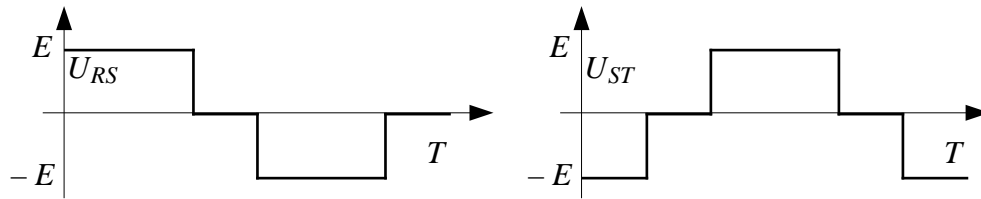
Dans la suite du problème,  $\beta = \pi/4$ .

- 4- Calculer la valeur efficace des harmoniques de rang 3 et 5.
- 5- Calculer la valeur efficace de l'ensemble des harmoniques de rang supérieur ou égal à 7.
- 6- L'onduleur est un pont complet en H. Chaque interrupteur  $K$  est constitué d'un transistor NPN en parallèle avec une diode branchée en inverse. La charge est inductive. Le courant, sinusoïdal, est en retard par rapport à la tension d'un angle égal à  $\pi/6$ . Le diagramme de commutation est :  $K_1$ - $K_4$  /  $K_1$ - $K_2$  /  $K_2$ - $K_3$  /  $K_3$ - $K_4$ .
  - préciser le schéma du pont.
  - tracer  $u(t)$  et  $i(t)$  en indiquant le diagramme de conduction des semi-conducteurs.

## REPONSES

## C25-1

1-

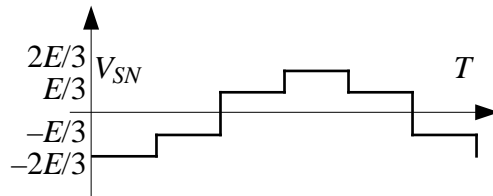


$$2- V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{2E^2 \frac{T}{6} + 2E^2 \frac{T}{6}}{T}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \approx 0,82E$$

$$3- \text{loi des mailles : } U_{RS} = V_{RN} - V_{SN} ; U_{ST} = V_{SN} - V_{TN} ; U_{TR} = V_{TN} - V_{RN}$$

$$4- U_{ST} - U_{RS} = V_{SN} - V_{TN} - V_{RN} + V_{SN} = 3 V_{SN}$$

5-



$$6- V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{E}{3}\right)^2 \frac{T}{6} + \left(\frac{2E}{3}\right)^2 \frac{T}{6} + \left(\frac{E}{3}\right)^2 \frac{T}{6}}{\frac{T}{2}}} = E \sqrt{\frac{2 \cdot 1 + 4 + 1}{6 \cdot 9}} = E \frac{\sqrt{2}}{3} = 0,4714 E$$

$$7- V_{1\text{eff}} = \frac{2\sqrt{2}E}{3\pi} \left(1 + \cos \frac{\pi}{3}\right) = 0,45E ;$$

8- Les harmoniques de rang  $n$  multiples de 3 (soit  $n = k \cdot 3$ ) sont nulles car  $\left(1 + \cos \frac{k3\pi}{3}\right) = 0$  ; les

harmoniques de rang 5, 7, 11, etc, ont pour valeur efficace  $\frac{\sqrt{2}E}{\pi n}$ .

$$9- THD = \frac{\sqrt{V_{\text{eff}}^2 - V_{1\text{eff}}^2}}{V_{1\text{eff}}} = \frac{\sqrt{0,4714^2 - 0,45^2}}{0,45} = 31\%$$

## C25-2-

$$1- U_{\text{eff}}^2 = \frac{E^2(\pi - 2\beta)}{\pi} \Rightarrow U_{\text{eff}} = E \sqrt{1 - 2 \frac{\beta}{\pi}}$$

$$2- P = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{u^2(t)}{R} dt = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{E^2}{R} \left(1 - 2 \frac{\beta}{\pi}\right)$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}} = \sqrt{R \cdot P} \approx 17,3V$$

$$\Rightarrow 1 - 2 \frac{\beta}{\pi} = \frac{U_{eff}^2}{E^2} = \frac{300}{400} = \frac{3}{4} \Rightarrow \beta = \frac{\pi}{8} = 22,5^\circ$$

3-  $u_n = \frac{4E}{\pi} \frac{1}{n} \cos n\beta \sin n\omega t$

4- 
$$\begin{cases} U_{3eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4E}{\pi} \frac{1}{3} \cos \frac{3\pi}{4} \approx 4,24 \text{ V} \\ U_{5eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4E}{\pi} \frac{1}{5} \cos \frac{5\pi}{4} \approx 2,54 \text{ V} \end{cases}$$

5-  $U_{eff}^2 = U_{1eff}^2 + U_{3eff}^2 + U_{5eff}^2 + \sum_{n>5} U_{neff}^2 = E^2 \left( 1 - 2 \frac{\beta}{\pi} \right) = 200 \text{ V}^2$

et  $U_{1eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4E}{\pi} \cos \frac{\pi}{4} \approx 12,7 \text{ V}$

$\Rightarrow U_{(n>5)eff} = \sqrt{200 - 12,7^2 - 4,24^2 - 2,54^2} \approx 3,79 \text{ V}$

6- L'ordre de conduction des semi-conducteurs est basé sur le principe suivant : un interrupteur K reçoit une commande de fermeture par envoi d'un courant sur la base du transistor, ce qui a pour effet de saturer celui-ci. Mais dans la paire (T, D) qui constitue K, ce n'est pas nécessairement le transistor qui conduit ! En effet, le sens du courant est imposé par la charge, qui est inductive, et qui retarde le courant par rapport à la tension. Il faut donc regarder dans chaque cas si le courant s'écoule dans le sens de la diode ou dans celui du transistor (indiqué par la flèche qui symbolise son émetteur; il s'agit de transistors NPN).

