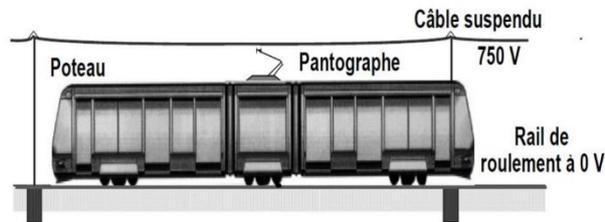


## TD2 : Le tramway (CNC2019)

www.autocpge.info

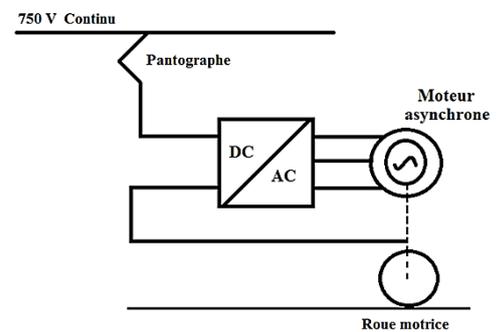
### A. Présentation

Le tramway est un moyen de transport urbain ou interurbain sur rails, alimenté par des moteurs asynchrones via des onduleurs depuis un réseau de 750 V continu. Chaque rame possède douze moteurs répartis sur trois bogies, entraînant douze roues motrices. L'alimentation se fait par un câble suspendu et le retour du courant par les rails.



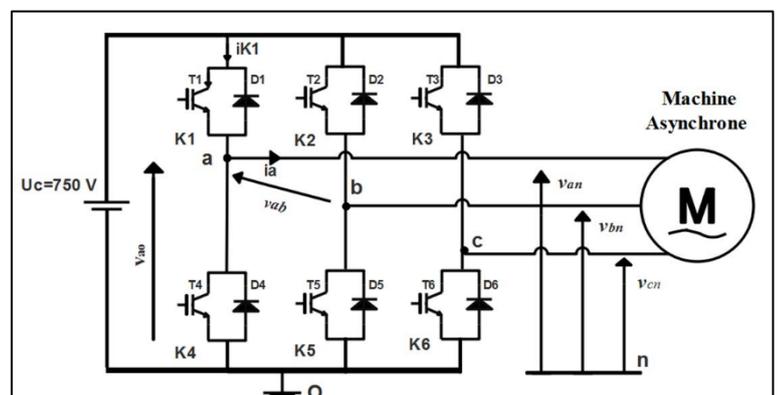
www.autocpge.info

Le bogie, chariot sous un véhicule ferroviaire, porte les essieux et est mobile par rapport au châssis. Doté de deux essieux, chaque essieu a deux roues. Le bogie moteur intègre deux moteurs asynchrones triphasés pour la traction et le freinage, avec une commande d'onduleurs en modulation de largeur d'impulsion. De nombreux filtres et convertisseurs statiques se situent également dans le tramway, afin d'assurer le fonctionnement des auxiliaires (climatisation, éclairage, ...) ou le freinage rhéostatique. www.autocpge.info



### B. Étude du convertisseur d'énergie Continu/alternatif

Chaque moteur de traction reçoit son alimentation via un onduleur de tension connecté au réseau 750 V continu (voir figure suivante). La vitesse de rotation d'un moteur asynchrone, dépendant de la fréquence, est ajustée par l'onduleur autonome.



**Hypothèses et consignes :**

- Les interrupteurs K1, K2, K3, K4, K5 et K6 sont considérés comme idéaux.
- Les commandes des interrupteurs (K1, K4), (K2, K5), et (K3, K6) sont complémentaires deux à deux. Chaque interrupteur se ferme pendant une demi-période et s'ouvre pendant l'autre demi-période.
- La commande d'un bras d'onduleur est décalée d'un tiers de période ( $T/3$ ) par rapport à celle du bras précédent.
- Le moteur ayant un fonctionnement équilibré :  $V_{an}(t) + V_{bn}(t) + V_{cn}(t) = 0$

B.1- Préciser la valeur de la tension  $v_{ao}$  lorsque K1 est fermé puis lorsque K4 est fermé.

B.2- Compléter le document réponse, en y traçant le chronogramme de la tension  $V_{ao}(t)$ ,  $V_{bo}(t)$  et  $V_{co}(t)$ .

B.3- Montrer que la tension  $v_{1n} = \frac{1}{3} (u_{ab} - u_{ca})$

B.4- Montrer que  $v_{an} = \frac{2}{3} v_{a0} - \frac{1}{3} v_{b0} - \frac{1}{3} v_{c0}$  et représenter  $V_{an}(t)$ ,  $V_{bn}(t)$  et  $V_{cn}(t)$  sur Doc. Réponse.

B.5- Calculer la valeur efficace  $V_{an\text{eff}}$  de la tension  $v_{an}(t)$ .

B.6- La décomposition en série de Fourier de la tension  $v_{an}(t)$ , est la suivante :

$$v_{an}(t) = \frac{4 U_c}{\sqrt{3} \pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cos\left((2k+1)\frac{\pi}{6}\right) \sin((2k+1)\omega t)$$

- Donner l'expression du fondamental  $V_{anf}(t)$  de la tension  $V_{an}(t)$ , puis calculer la valeur efficace  $V_{an1}$  de  $V_{anf}(t)$ .
- Calculer les valeurs efficaces des harmoniques 3, 5, 7 et 9
- Compléter le spectre de la tension normalisée  $v_{an}(t)$  par rapport à  $v_{an1}$  sur le Doc. Réponse.
- Que peut-on dire des harmoniques du rang multiple de trois ? Déduire le rang de l'harmonique le plus gênant.

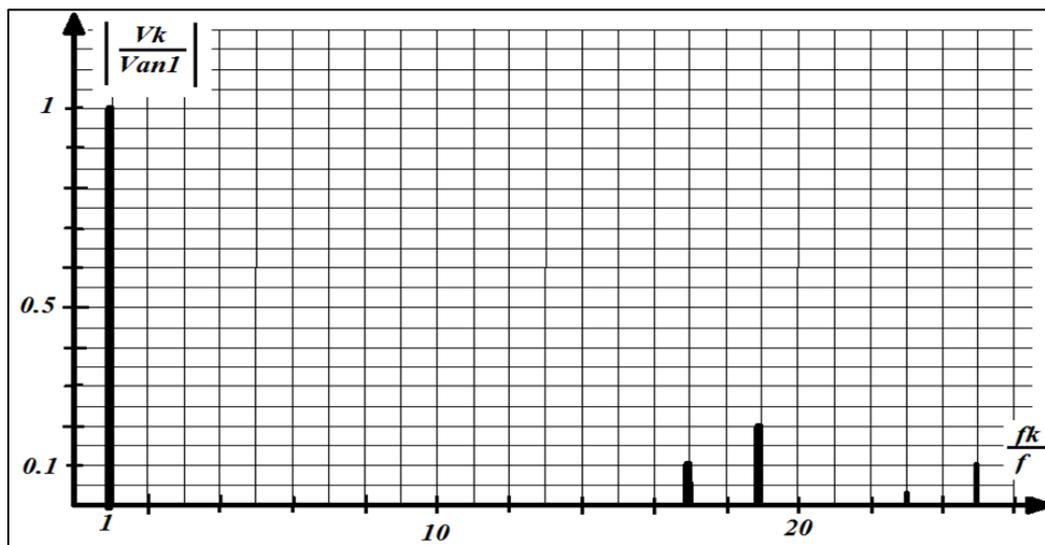
On rappelle que le taux de distorsion harmonique :

$$\text{THD}\% = 100 \times (\text{Valeur efficace des harmoniques} / \text{valeur efficace du fondamental})$$

- Calculer le THD%.
- Proposer une solution pour éliminer l'harmonique le plus gênant trouvé dans la question d.  
Donner la relation liant les éléments du circuit qu'il faut rajouter en parallèle de l'installation.

En pratique, la structure et la commande retenues pour l'onduleur sont différentes de celle envisagées jusqu'à présent. Pour un fonctionnement à grande vitesse, on adopte une commande de type MLI précalculée.

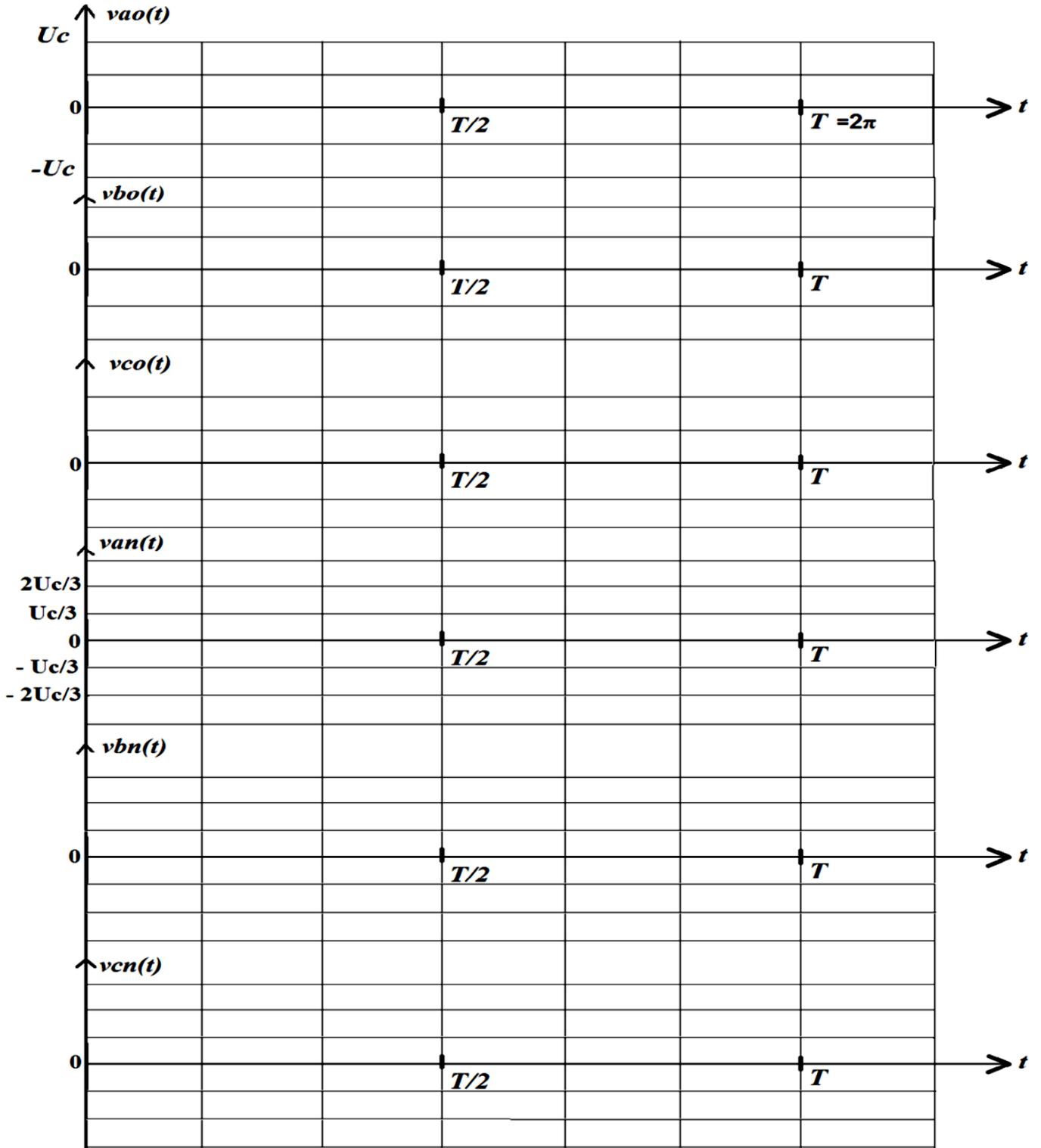
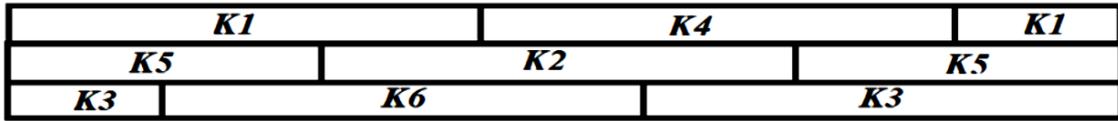
La figure suivante représente, Le spectre en amplitude de la tension simple  $v_{an}(t)$  :



B.7- Préciser le rang de l'harmonique de  $v_{an}(t)$  le plus proche du fondamental. Quel intérêt présente cette commande ?

>

**Document réponse**



**Spectre normalisé**