

## Etude d'un onduleur en pont monophasé

### I - Introduction

L'objectif de ce TP est d'étudier le principe de fonctionnement d'un onduleur de tension monophasé et de caractériser un signal alternatif. Les points suivants seront étudiés : principe de génération d'une tension alternative à partir d'une tension continue, analyse spectrale de cette tension, puis influence de la charge sur le spectre du courant.

A l'issue de la séance, vous restituerez le travail réalisé et vos analyses à travers un compte-rendu en deux parties : la préparation et le travail pratique réalisé en séance, à rédiger de préférence sous format numérique. Votre analyse doit faire apparaître une comparaison entre les résultats de simulation issus de la préparation et les signaux observés.

Le compte-rendu de séance intègre les chronogrammes relevés à l'oscilloscope<sup>1</sup>. Ces chronogrammes doivent être commentés et illustrer votre propos. Vous pouvez éventuellement inclure 1 ou 2 photos du montage, mais attention à la taille du fichier ! *Pas de photo de l'écran de l'oscillo, utiliser exclusivement la sauvegarde sur clé USB.*

### II - Préparation : à faire avant la séance

*Le travail de préparation doit être présenté à l'enseignant en début de séance. Il constitue la première partie du compte-rendu.*

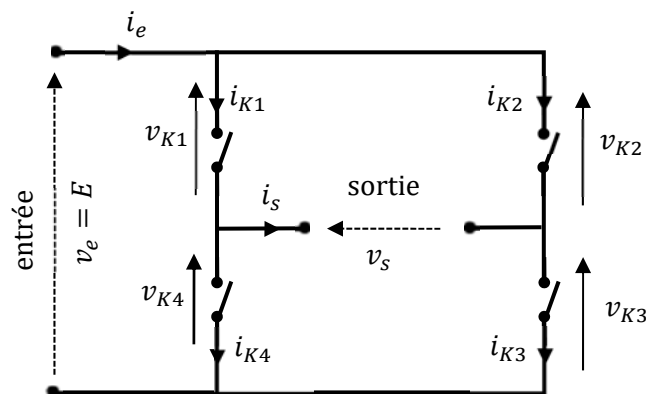


Figure 1 : Schéma de principe de l'onduleur

La Figure 1 montre le schéma électrique du convertisseur étudié, constitué de deux cellules de commutations K1/K4 et K2/K3. Le signal de sortie est alternatif, de fréquence  $f$ , et pour alléger les notations on travaille en phase  $\theta = 2\pi ft$ .

<sup>1</sup> Pour enregistrer les chronogrammes sur clé USB, activer le menu « File » (bouton en haut à droite sur la face avant de l'oscillo), puis utiliser les commandes dans le bandeau en bas à gauche pour choisir le format, le nom de fichier et enregistrer le chronogramme à l'affichage. Il est judicieux d'utiliser des noms de fichiers « parlants », c'est-à-dire portant de l'information sur le chronogramme – exemple : `vs_is_d45` pour un chronogramme avec  $v_s$  et  $i_s$  pour un décalage de  $45^\circ$ .

On note  $b_i$  le bit de commande de l'interrupteur  $i$ . La séquence de commande dite « décalée », de période  $2\pi$ , est la suivante :

- $b_1 = 1$  sur l'intervalle  $[0, \pi[$  et  $b_1 = 0$  sur l'intervalle  $[\pi, 2\pi[$
- $b_3 = 1$  s sur l'intervalle  $[d, \pi + d[$  et  $b_3 = 0$  sur l'intervalle  $[\pi + d, 2\pi + d[$

1. Construire le chronogramme de  $v_s$  sur l'intervalle  $[-2\pi, +2\pi]$ .
2. Les composantes du spectre de  $v_s$  ont pour expression  $V_n = \frac{2\sqrt{2}E}{n\pi} \cdot \cos\left(n\frac{d}{2}\right)$  si  $n$  est impair, et 0 si  $n$  est pair (en valeur efficace). Ecrire un programme qui permet de tracer le spectre de  $v_s$  pour  $0 \leq n \leq 10$ . La Figure 2 montre le genre d'affichage que le programme doit faire.

Tracer le spectre pour  $E = 24 [V]$  et les valeurs suivantes de  $d$  :  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  et  $90^\circ$ . Que remarquez-vous ?

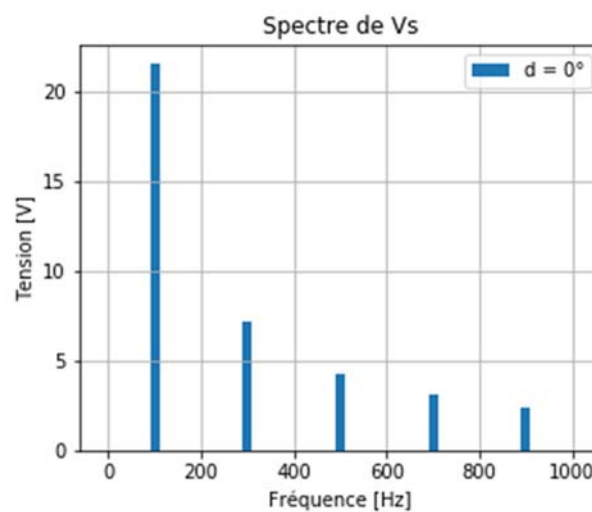


Figure 2 : Exemple d'affichage du spectre du  $v_s$

3. On place une charge RL en sortie d'onduleur. Les composantes du spectre du courant de sortie s'obtiennent alors par la relation :  $I_n = \frac{V_n}{Z_n}$ , où  $Z_n = \sqrt{R^2 + (n \cdot L \cdot 2\pi f)^2}$ . Ecrire un programme qui trace le spectre de  $i_s$  pour  $0 \leq n \leq 10$ .

Tracer le spectre du courant pour  $R = 12 [\Omega]$ ,  $L = 10 [mH]$ ,  $f = 100 [Hz]$  et les valeurs de  $d$  de la question précédente. Que remarquez-vous ?

*Le programme peut être écrit sous matlab, excel, ou tout autre langage de programmation. Il a vocation à être utilisé et complété pour l'analyse des signaux observés et mesurés sur la maquette.*

### III – Travail en séance :

#### Liste du matériel à disposition :

- une maquette de hacheur 4 quadrants / onduleur, dont le schéma est donné en annexe.
- deux sources de tension continue stabilisée réglable 0/20 V (alimentation de la maquette)
- une source de tension continue stabilisée réglable 0/30 V (alimentation du pont)
- un rhéostat de charge
- une inductance de 100 mH
- deux sondes de tension différentielle
- multimètre numérique ...

#### **Travail pratique**

*Attention : vous ne devez pas mettre la maquette sous tension tant que votre montage n'a pas été validé par l'enseignant !*

4. Repérer les différents éléments qui constituent la maquette et faire le câblage indiqué en annexe. Sélectionner le mode **COM. DEC.**
5. Réaliser le câblage et les réglages nécessaires pour avoir une source de tension **continue** constante de **20 V** en entrée de l'onduleur.
6. Faire le *schéma de principe* du montage en y faisant figurer les éléments nécessaires pour visualiser à l'oscilloscope les grandeurs suivantes :
  - tension de sortie de l'onduleur  $v_s$ ,
  - courant de sortie de l'onduleur  $i_s$ ,
  - tension aux bornes de l'interrupteur K1  $v_{K1}$
  - courant traversant de l'interrupteur K1  $i_{K1}$ .

NB : avec un seul oscilloscope 2 voies, il n'est pas possible de tout visualiser simultanément. Par la suite, le câblage des appareils de mesure devra donc être modifié en fonction des grandeurs que l'on souhaite relever.

7. Préparation de la charge RL : régler le **rhéostat à 20  $\Omega$** . Calculer la fréquence de coupure de la charge RL constituée du rhéostat en série avec une **inductance de 100 mH**.

*Faire valider le montage par l'enseignant, puis mettre sous tension.*

8. Régler la **fréquence de commande à 100 Hz** et observer la tension  $v_s$ . Chercher la position du bouton de commande qui donne un **décalage nul**. Relever les chronogrammes de la tension  $v_s$  et du courant  $i_s$ , d'abord pour une charge **R**, puis pour une charge **RL**. Attention : couper l'alimentation avant de changer de charge !
9. On travaille maintenant avec la charge RL. Pour quelques valeurs de l'angle de décalage, relever le chronogramme de la tension  $v_s$  et du courant  $i_s$  (ou d'une tension proportionnelle à  $i_s$ ) et expliquer l'allure du courant dans la charge.
10. Pour une valeur donnée de l'angle de décalage (**45°**, par exemple), relever les chronogrammes de la tension  $v_{K1}$  et du courant  $i_{K1}$ . Identifier les différents états de l'interrupteur. Commenter.

- On se focalise maintenant sur les spectres de la tension  $v_s$  et du courant  $i_s$ . Utiliser la fonction "FFT" de l'oscilloscope pour visualiser le spectre de ces signaux. Régler la plage de fréquence pour observer les 10 premiers harmoniques.

Relever les spectres pour les valeurs suivantes de l'angle de décalage :  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ . Vous ajusterez au mieux ces angles de décalage.

- Comparer les spectres de  $i_s$  et de  $v_s$ . Commenter et conclure en vous appuyant sur les résultats de votre préparation.
- D'après votre préparation, quelle valeur d'angle de décalage devrait permettre d'annuler l'harmonique de rang 3 de la tension  $v_s$ ? Retrouver cette valeur expérimentalement.
- On souhaite maintenant alimenter une charge résonante RLC série. Les composants à utiliser sont : un condensateur de capacité  $22 \mu\text{F}$ , un rhéostat  $0/25 \Omega$  et une inductance variable  $0,15 \text{ H} / 1,4 \text{ H}$ .

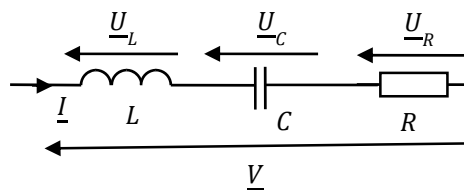


Figure 3 : charge RLC série

On suppose que la charge est alimentée par une tension sinusoïdale  $\underline{V}$  de valeur efficace  $V$  et de fréquence  $f$ . Déterminer les valeurs efficaces du courant et de la tension aux bornes de la résistance, de l'inductance et du condensateur. Que valent ces valeurs à la résonance ?

- Déterminer des valeurs de  $R$  et de  $L$  qui permettent d'obtenir la résonance dans la plage de fréquence accessible sur la maquette, tout en respectant une tension maximale de  $200 \text{ V}$  aux bornes du condensateur. Attention : il faut prendre en compte la résistance de l'inductance.
- Vérifier les valeurs avec l'enseignant, puis faire le montage et observer l'allure du courant dans la charge RLC, à la résonance, ainsi que son spectre. Conclure.

Schéma de câblage de la maquette pour un fonctionnement en  
ONDULEUR A COMMANDE DECALEE

