

## ETUDE D'UN ONDULEUR AUTONOME

**But du TP :** *Etude du fonctionnement d'un onduleur autonome en pont. Onduleur de tension à commande symétrique, onduleur à commande séparée, onduleur à modulation de largeur d'impulsion.*

### SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>PREPARATION .....</b>	<b>16</b>
2.1	ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE SYMETRIQUE.....	16
2.2	ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE DECALEE.....	17
<b>3.</b>	<b>PARTIE EXPERIMENTALE.....</b>	<b>18</b>
3.1	ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE SYMETRIQUE.....	18
3.1.1	Montage du circuit de puissance.....	18
3.1.2	Montage du circuit de commande .....	19
3.1.3	Récepteur : circuit RL .....	19
3.1.4	Récepteur : circuit RLC série.....	20
3.2	ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE DECALEE.....	20
3.2.1	Récepteur : circuit RL .....	20
3.2.2	Récepteur : circuit RLC série.....	21
<b>4.</b>	<b>MATERIEL NECESSAIRE.....</b>	<b>21</b>
<b>5.</b>	<b>ANNEXE 1. FIGURE 4 .....</b>	<b>22</b>
<b>6.</b>	<b>ANNEXE 2. FIGURE 5 .....</b>	<b>23</b>

## 1. INTRODUCTION

Les onduleurs sont les convertisseurs statiques permettant la conversion de l'énergie de la forme continue à la forme alternative. Ils sont autonomes, comme on l'a vu dans le cours, lorsque ils ne nécessitent pas la présence du réseau alternatif. On les dit « statiques » car ils ne font intervenir aucun mouvement mécanique (contrairement aux moteurs).

Le principe des onduleurs en pont, qui sont de loin les plus utilisés, est décrit sur la figure 1.

On obtient une tension alternative aux bornes de la charge en inversant périodiquement le branchement de la source sur la charge à l'aide des interrupteurs électroniques H1 à H4. Contrairement aux onduleurs non autonomes, qui fonctionnent forcément à la fréquence du réseau, soit 50Hz, les onduleurs autonomes peuvent fonctionner à des fréquences bien plus élevées. La limitation en terme de fréquence est fixée par la vitesse de commutation des interrupteurs électroniques utilisés.

Les applications des onduleurs autonomes sont nombreuses :

- production de fréquences moyennes (de quelques kHz à quelques centaines de kHz) : soudage, chauffage par induction ;
- alimentations alternatives de secours fonctionnant sur batteries d'accumulateurs ;
- filtrage des coupures brèves du réseau pour l'alimentation de matériels informatiques (en association avec un redresseur) ;
- alimentation des moteurs à courant alternatif à fréquence variable (on peut en particulier réaliser un moteur synchrone auto-piloté : la commande des interrupteurs statiques de l'onduleur est pilotée par un capteur de position de la roue polaire).

## 2. PREPARATION

Dans toute la préparation, les interrupteurs électroniques bidirectionnels (transistors de puissance montés en Darlington - voir module M2) sont considérés comme parfaits.

### 2.1 *ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE SYMETRIQUE*

Le montage de principe est celui de la figure 1.

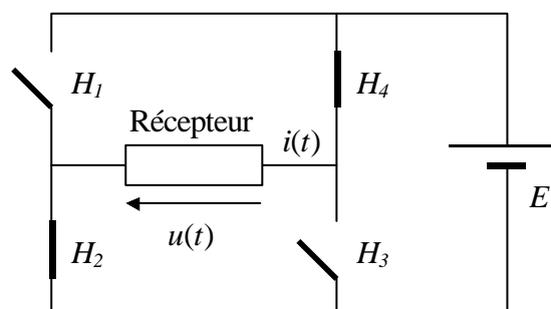


Figure 1. Onduleur de tension en pont.

Les interrupteurs  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  et  $H_4$  sont des interrupteurs électroniques bidirectionnels tantôt fermés, tantôt ouverts. Ils sont constitués sur la maquette par les transistors  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  et  $T_4$  munis respectivement des diodes  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  et  $D_4$  (voir figure 4 - Annexe 1).

Comme nous l'avons vu dans le cours, les interrupteurs d'une même branche ne peuvent être simultanément fermés ou ouverts.

La commande de ces interrupteurs est telle que le rapport cyclique de la tension aux bornes du récepteur est en créneaux symétriques rectangulaires de rapport cyclique  $\alpha=0,5$  (voir figure 2).

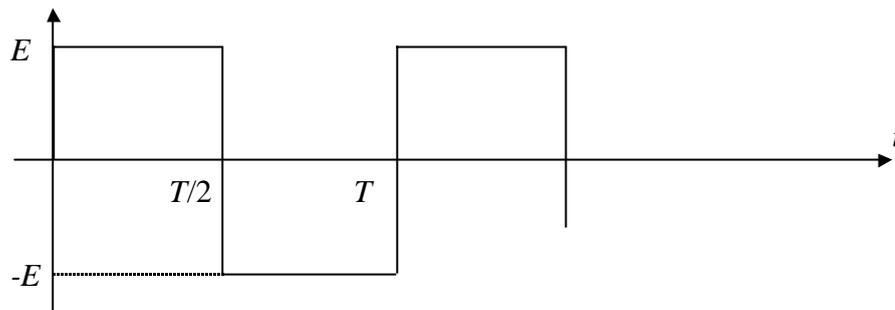


Figure 2. Commande symétrique.

Question 1. Indiquer, pour chaque demi-période, l'état des interrupteurs  $H_1$  à  $H_4$  sur la figure 2.

Question 2.

Pour un récepteur de type RLC série, donner l'expression de la pulsation de résonance du système  $\omega_r$ .

Question 3. A l'aide d'Excel, tracer l'allure du courant  $i(t)$  en régime permanent pour  $E=30V$  et  $T=20ms$  (50Hz) dans le cas d'un récepteur inductif ( $r$  représente la résistance résiduelle de la bobine) :

- bobine  $L=0,15H$  -  $r=12 \text{ W}$  en série avec  $R=22W$
- bobine  $L=1,4H$  -  $r=12 \text{ W}$  en série avec  $R=22W$

Pour le récepteur RLC série à la résonance:

- donner l'expression de  $L$  et effectuer l'application numérique pour les deux cas suivants :

- $C=20mF$  ;  $L=?$
- $C=10mF$  ;  $L=?$

- simuler le circuit à l'aide de SPICE et tracer l'allure du courant pour  $C=10mF$  et  $C=20mF$ .

Calculer également pour ces deux cas la pulsation de résonance.

## 2.2 ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE DECALEE

Le montage de principe est celui de la figure 1.

Contrairement à la commande symétrique, la fermeture des interrupteurs  $H_1$  et  $H_2$  est décalée dans le temps d'une durée  $t$  par rapport aux interrupteurs  $H_3$  et  $H_4$ .

Question 4. Préciser les intervalles de conduction des interrupteurs  $H_1$  à  $H_4$  pour que l'on ait une tension  $u(t)$  aux bornes du récepteur conforme à la figure 3 :

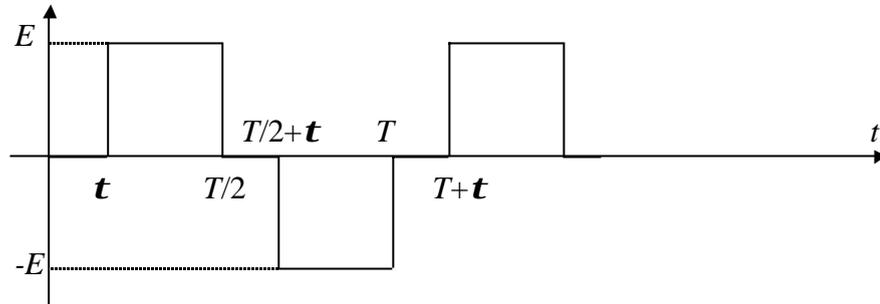


Figure 3. Commande décalée.

Question 5. Etablir l'expression de la valeur efficace U de la tension  $u(t)$ .

Question 6. La décomposition en séries de Fourier de la tension  $u(t)$  peut s'écrire de la façon suivante :

$$u(t) = \frac{4E}{P} \left[ \cos \frac{\omega t}{2} \sin \left( \omega t - \frac{\omega t}{2} \right) + \frac{\cos \frac{3\omega t}{2}}{3} \sin \left( 3 \left( \omega t - \frac{\omega t}{2} \right) \right) + \frac{\cos \frac{5\omega t}{2}}{5} \sin \left( 5 \left( \omega t - \frac{\omega t}{2} \right) \right) + \dots \right]$$

- Retrouver le résultat ci-dessus ;
- L'amplitude des harmoniques décroît rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne du fondamental. Pour privilégier le fondamental, il suffit donc de supprimer les premiers harmoniques. On désire éliminer les harmoniques de rang 3 et de rang 5. Déterminer les décalages  $t_3$  et  $t_5$  permettant l'élimination de ces harmoniques (exprimer  $t_3$  et  $t_5$  en fonction de T).
- Conclure sur l'intérêt d'utiliser une commande décalée.

### 3. PARTIE EXPERIMENTALE

*Recommandations importantes :*

- Faire vérifier chaque montage nouveau avant de brancher les sources d'alimentation
- Ne pas modifier les montages sans éteindre **toutes** les alimentations

#### 3.1 ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE SYMETRIQUE

##### 3.1.1 Montage du circuit de puissance

Le montage du circuit de puissance est donné sur la figure 4 (Annexe 1).

Brancher entre les bornes A et H l'alimentation continue programmable (bornes + et -) délivrant une tension  $E=30V$ . Placer en parallèle avec l'alimentation le condensateur polarisé de capacité  $4700\mu F$  monté sur support (attention à la polarité). Pour rentrer la tension à appliquer, suivre les indications suivantes:

- Appuyer sur VSET (touche 7)
- Rentrer la tension à appliquer (30V)
- Appuyer sur ENTER pour valider l'opération.

Les résistances  $r_a$ ,  $r_c$ , ... sont des résistances de visualisation du courant traversant les branches du circuit (elles ne jouent aucun rôle quant au fonctionnement du circuit). Elles ont pour valeur  $0,47\Omega$ . Travaillant sous faible tension, les chutes de tension qu'elles génèrent ne sont cependant pas négligeables et il faudra en tenir compte lorsque l'on comparera les résultats expérimentaux aux résultats théoriques.

### 3.1.2 Montage du circuit de commande

Le montage du circuit de commande est donné sur la figure 5 (Annexe 2). Redessiner le montage (partie puissance) sans faire apparaître les résistance de  $0,47\Omega$ . Cela sera utile pour la justification des courbes obtenues.

Régler le potentiomètre  $P_2$  à une valeur permettant l'obtention d'une commande symétrique (rapport cyclique égal à 0,5). Pour effectuer ce réglage, on branche l'oscilloscope entre les bornes G (+) et D (-, masse) du circuit de puissance sans charge. Expliquer pourquoi la commande ne peut être rigoureusement symétrique (il subsiste un angle de garde). Relever l'oscillogramme de la tension à vide entre les bornes G et D.

A l'aide du potentiomètre  $P_1$ , régler la fréquence de la tension de commande à 50Hz.

### 3.1.3 Récepteur : circuit RL

Connecter comme charge une bobine d'inductance réglable (0,15H - 1,4H) en série avec une résistance ( $22\Omega$  - 15W).

Il pourra être nécessaire d'indiquer le courant maximum débité par l'alimentation. Pour cela, suivre les instructions suivantes:

- Appuyer sur ISET (touche 8)
- Rentrer 1 (1 A)
- Appuyer sur ENTER pour valider l'opération.
- Relever en concordance des temps les oscillogrammes de la tension et du courant aux bornes de la charge lorsque la charge est :
  - faiblement inductive ( $L=0,15H$ ) ;
  - fortement inductive ( $L=1,4H$ ).

Le relevé du courant se fera aux bornes de  $R=22\Omega$ . On choisira les calibres suivants à l'oscilloscope:

- tension: 10V/div
- courant: 5V/div pour  $L=0,15H$ ; 1V/div pour  $L=1,4H$ .
- base de temps: 5ms/div
- Interpréter les oscillogrammes des courants précédents de façon qualitative.
- Sur le relevé avec  $L=1,4H$ , indiquer suivant les intervalles considérés les mailles de circulation du courant. Pour cela il sera utile de vérifier à l'oscilloscope les intervalles de conduction de chacun

des composants (transistors  $T_1$  à  $T_4$  et diodes  $D_1$  à  $D_4$ ). Expliquer alors le rôle des diodes  $D_1$  à  $D_4$ .

On donne par ailleurs:

- la tension  $V_{ce}$  aux bornes des transistors est égale à 1,5V lorsqu'ils sont saturés
- la tension aux bornes des diodes lorsqu'elles sont passantes est égale à 0,7V environ.

Ces chutes de tension sont-elles vraiment gênante pour des onduleurs destinés à fournir une tension de valeur efficace 220V ?

- Conclure sur l'effet de l'inductance.
- Comparer aux résultats de la préparation.

### 3.1.4 Récepteur : circuit RLC série

Ajouter en série au circuit de charge précédent, un condensateur de capacité  $C=10\mu\text{F}$ .

#### 3.1.4.1 Analyse temporelle

- Prendre une base de temps de 5ms/div (calibre vertical 5V/div) et visualiser la tension aux bornes de la résistance de charge. Etudier de façon qualitative l'influence de la valeur de l'inductance  $L$  de la bobine sur la forme du courant.
- Relever la valeur  $L_0$  de  $L$  pour laquelle l'intensité  $i(t)$  du courant dans la charge se rapproche le plus d'une sinusoïde. Comparer avec les calculs théoriques.
- Conclure.

#### 3.1.4.2 Analyse harmonique

- En utilisant la fonction FFT de l'oscilloscope numérique (voir enseignant), mesurer l'amplitude du fondamental et des deux premiers harmoniques du signal aux bornes de la charge RLC.
- Commenter les résultats obtenus. Le signal est-il parfaitement sinusoïdal ?

NE PAS DEFAIRE LE MONTAGE.

## 3.2 ONDULEUR DE TENSION A COMMANDE DECALEE

Le montage est le même que pour la commande symétrique.

### 3.2.1 Récepteur : circuit RL

Comme précédemment, le récepteur est constitué par la bobine d'inductance réglable en série avec la résistance ( $22\Omega - 15\text{W}$ ).

- La fréquence de la tension de commande doit être réglée à 50Hz.
- A vide (sans charge), régler le potentiomètre P2 à une valeur permettant l'obtention d'un décalage  $t = \frac{T}{6}$ . Relever l'oscillogramme de la tension entre les bornes G et D Calibre 10V/div; base de temps 2ms/div).
- Connecter la charge R - L et relever la forme des courants et des tensions en utilisant les mêmes calibres qu'au §III.1.3 lorsque la charge est:
  - faiblement inductive ( $L=0,15\text{ H}$ ),

- fortement inductive ( $L=1,4$  H).

- Sur le relevé avec  $L=1,4$ H, indiquer suivant les intervalles considérés les mailles de circulation du courant. Pour cela, de même que pour la commande symétrique, il sera utile de vérifier à l'oscilloscope les intervalles de conduction de chacun des composants (transistors  $T_1$  à  $T_4$  et diodes  $D_1$  à  $D_4$ ).
- Justifier la forme du courant traversant la charge.
- En comparant de façon qualitative la forme du courant avec celle obtenue avec une commande symétrique et en s'aidant de la préparation (Question 6), donner l'avantage de la commande décalée.

### 3.2.2 Récepteur : circuit RLC série

Ajouter en série au circuit de charge précédent un condensateur  $C=10\mu\text{F}$ .

#### 3.2.2.1 Analyse temporelle

- Répondre aux mêmes questions qu'au §3.1.4.
- Comparer les résultats obtenus entre la commande symétrique et la commande décalée.
- Reprendre l'étude avec  $C=20\mu\text{F}$ .
- Conclure.

#### 3.2.2.2 Analyse harmonique

- Répondre aux mêmes questions qu'au §3.1.4.
- Vérifier à l'aide de l'oscilloscope que pour un décalage  $t = \frac{T}{6}$  l'harmonique 3 a disparu.

Conclure sur l'intérêt de la commande décalée.

## 4. MATERIEL NECESSAIRE

- 1 maquette DIDALAB Onduleur autonome
- 1 oscilloscope Analogique/numérique METRIX 20MHz
- 2 multimètres Beckman
- 1 alimentation Matelco 0 -  $\pm 15$ V
- 1 alimentation programmable AMREL
- 1 bobine d'inductance réglable 0,15H-1,4H ; 12  $\Omega$
- 1 résistance 22 $\Omega$  - 15W montée sur support
- 2 condensateurs de capacité 10 $\mu\text{F}$  montés sur support
- 1 condensateur polarisé de capacité 4700 $\mu\text{F}$  monté sur support

## 5. Annexe 1. Figure 4

*Figure 4. Circuit de puissance de l'onduleur.*

## 6. Annexe 2. Figure 5

*Figure 5. Circuit de commande de l'onduleur pour une commande symétrique ou décalée.*

