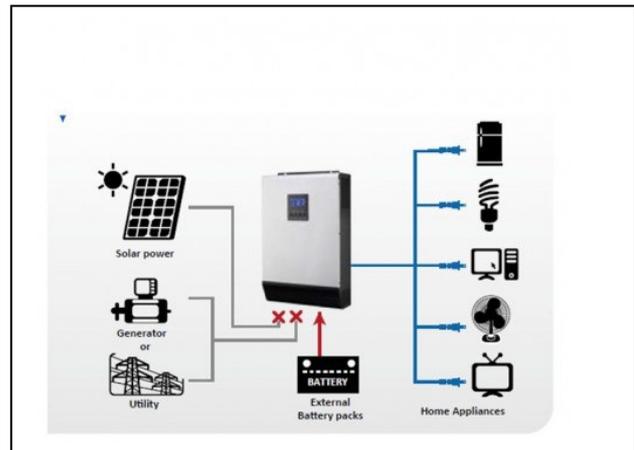


Physique appliquée

BTS 2 Electrotechnique



Les onduleurs

Les onduleurs

1. Mise en situation	3
1.1. Utilisation des onduleurs	3
2. Les onduleurs en demi-pont:	4
2.1. Structure et commande pleine onde:.....	4
3. Les onduleurs en structure "pont en H".	8
3.1. Commande pleine onde	8
3.2. Commande décalée.....	10
3.3. Commande MLI	13
3.3.1 Obtention du signal MLI (Sinus triangle)	13
3.3.2 Analyse de la modulation MLI sur un onduleur.	14
4. Exercices d'application:	23
Exercice 10:.....	23
Onduleur de tension en commande décalée :	23
Exercice 11:.....	24
Etude de l'alimentation électrique d'un Airbus A320	24
Etude de l'onduleur à angle calculés de secours.....	24
Exercice 12:.....	29
Commandes d'un onduleur de tension triphasé:.....	29
Exercice 13:.....	31
Production d'électricité avec une éolienne:.....	31

1. Mise en situation

1.1. Utilisation des onduleurs

Les onduleurs sont utilisés de plusieurs façons dans les applications usuelles.

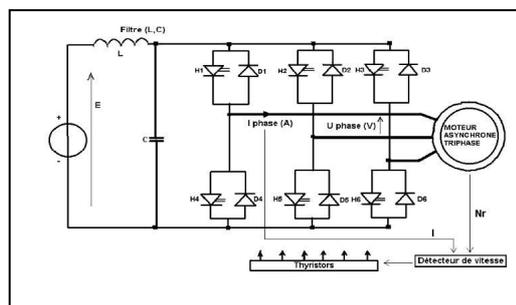
1. Si on dispose d'un parc batterie (Site isolé), il sera nécessaire d'utiliser un onduleur afin de réaliser une alimentation sinusoïdale pour les matériels électriques commun comme un ordinateur, une télévision etc.....)



2. Dans le cas où on a besoin de réinjecter de l'énergie sur le réseau, on passe généralement par un onduleur afin d'être synchronisé avec la fréquence et la phase du réseau.



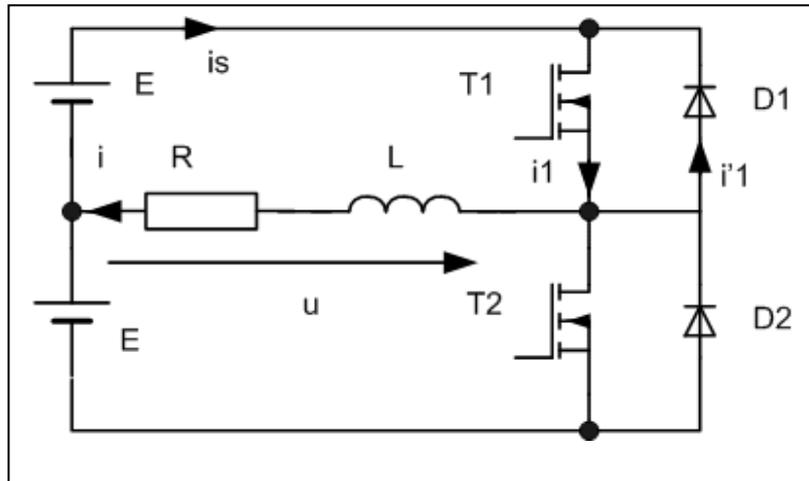
3. Pour contrôler la vitesse et le couple des machines alternatives (asynchrone et synchrone) alors il est nécessaire d'utiliser des onduleurs afin d'agir sur la fréquence et la tension efficace des tensions appliquées.



Les onduleurs

2. Les onduleurs en demi-pont:

2.1. Structure et commande pleine onde:



$$R=10\Omega$$

$$L=10\text{mH}$$

Stratégie de commande:

K1 est piloté de 0 à $T/2$ radians. et K2 est piloté de $T/2$ à T .

Exercice 1:

1. On demande de la valeur de u entre 0 et $T/2$ radians puis de $T/2$ à T .
2. On demande d'établir l'équation du courant de 0 et $T/2$ en écrivant la loi des mailles. Donner l'équation différentielle du courant $i(t)$ et on admettra que l'équation du courant sera:

Pour $i(0)=0\text{A}$, on a comme expression :

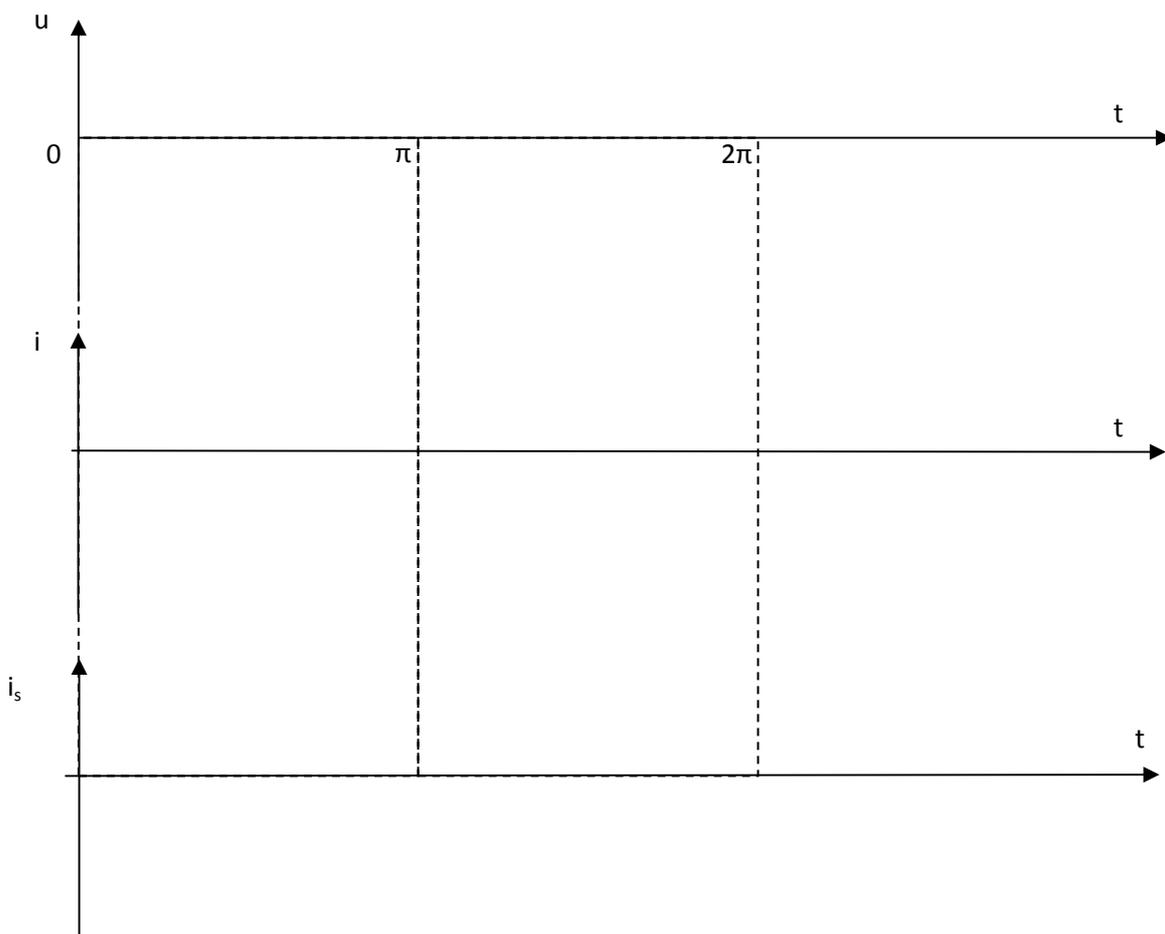
$$i(t) = \left(I_{\text{min}} - \frac{E}{R} \right) \cdot e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{E}{R}$$

3. Tracer la forme de la tension et du courant et préciser les intervalles de conduction de T1,D1,T2 et D2. Document Ex1_1.
4. En déduire la forme du courant i_s délivré par la source $E=180\text{V}$.
5. Une simulation sous PSIM donne le graphe donnée en annexe Ex1_1 et Ex11_2, on donne la décomposition en série de Fourier. Calculer la valeur efficace du courant.

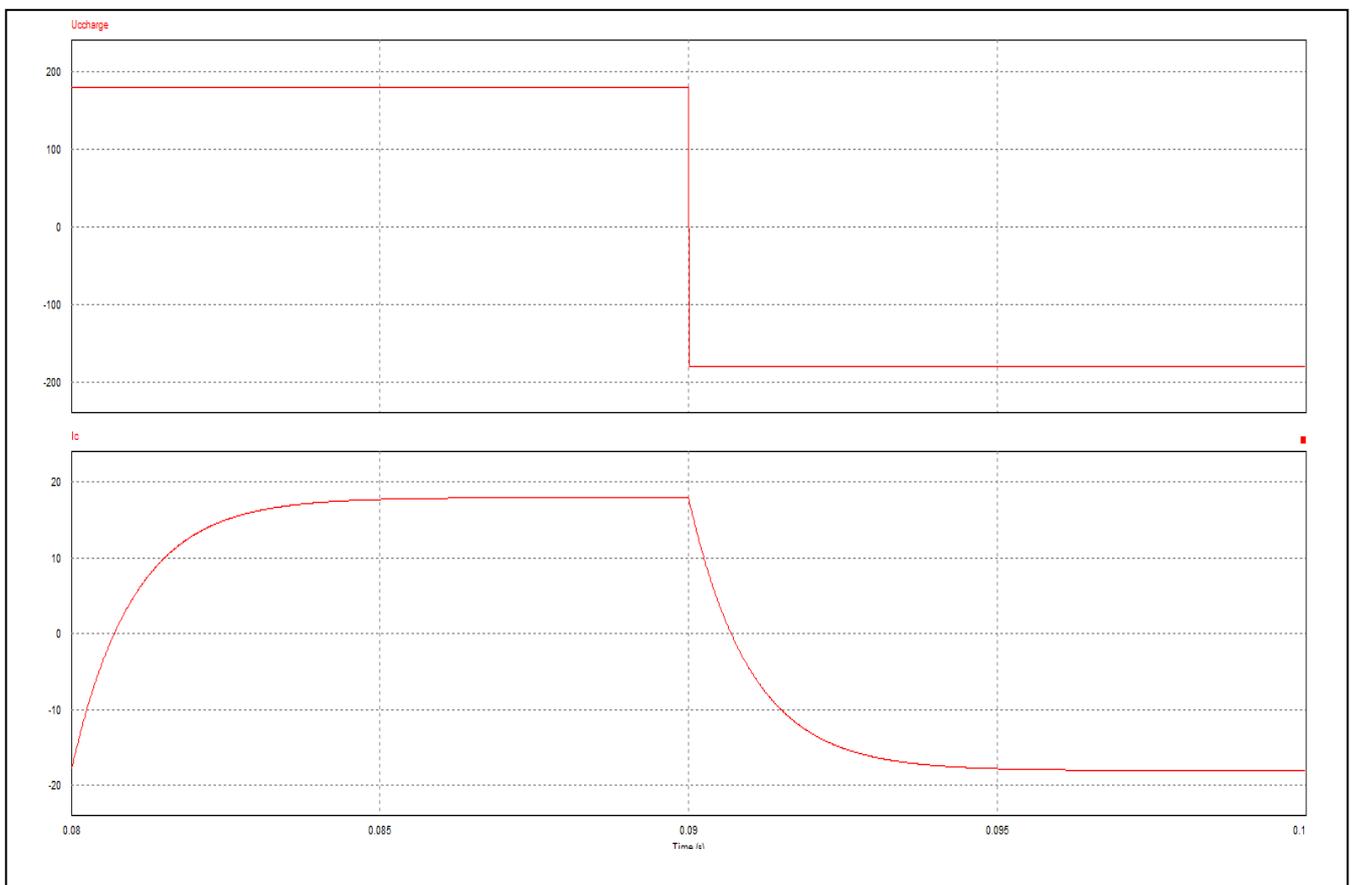
Les onduleurs

6. Sachant que la résistance de la charge est de 10Ω , déterminer alors la valeur de la puissance dissipée par cette charge.
7. Déterminer la valeur de la tension efficace aux bornes de la charge.
8. Calculer la valeur de la puissance apparente appelée par la charge.
9. Calculer la valeur du facteur de puissance.
10. Que peut on dire du signal obtenu ?
11. Indiquer la qualité du signal courant par la valeur numérique du taux de distorsion harmonique THDI.

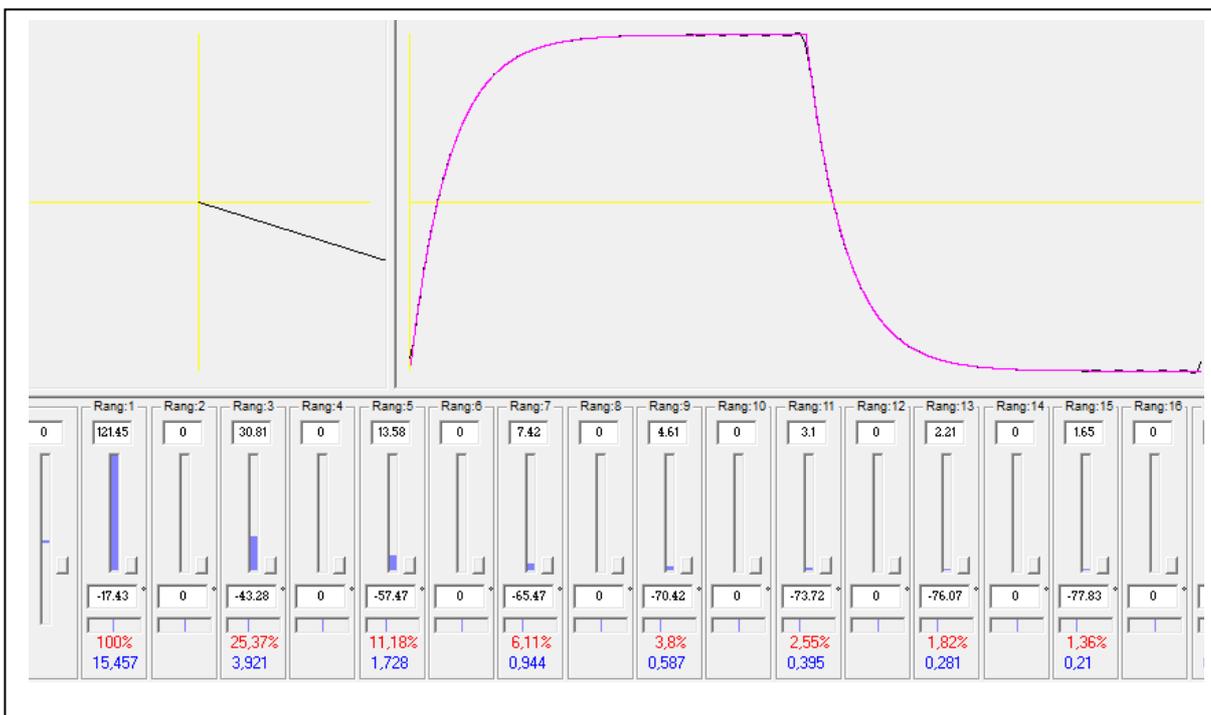
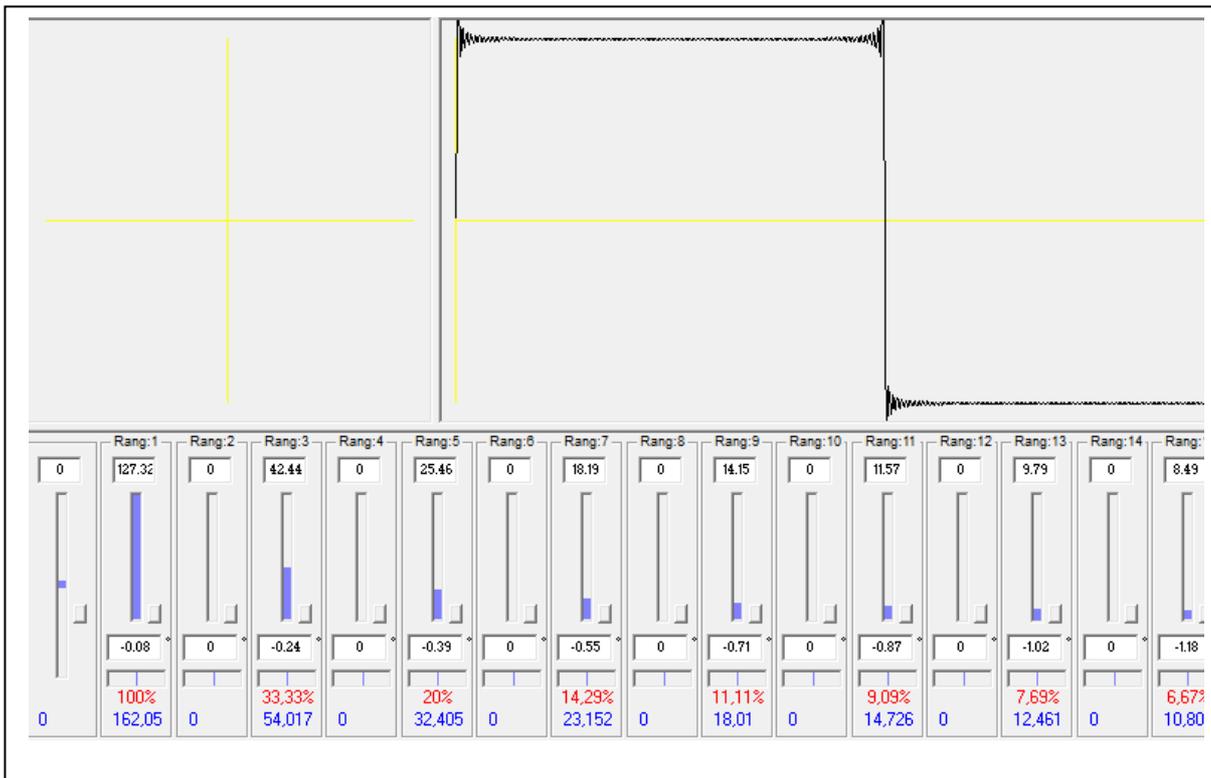
Document réponse Ex11_1 :



Annexe 1:

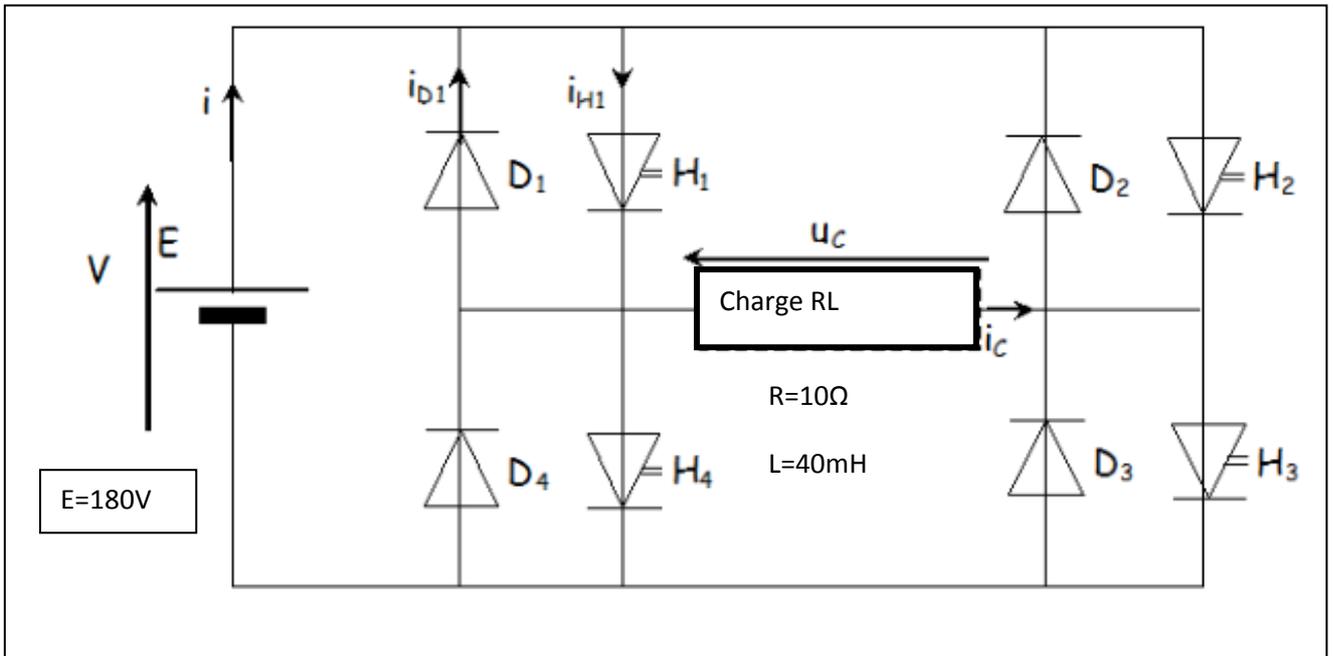


Annexe 2:



Les onduleurs

3. Les onduleurs en structure "pont en H".

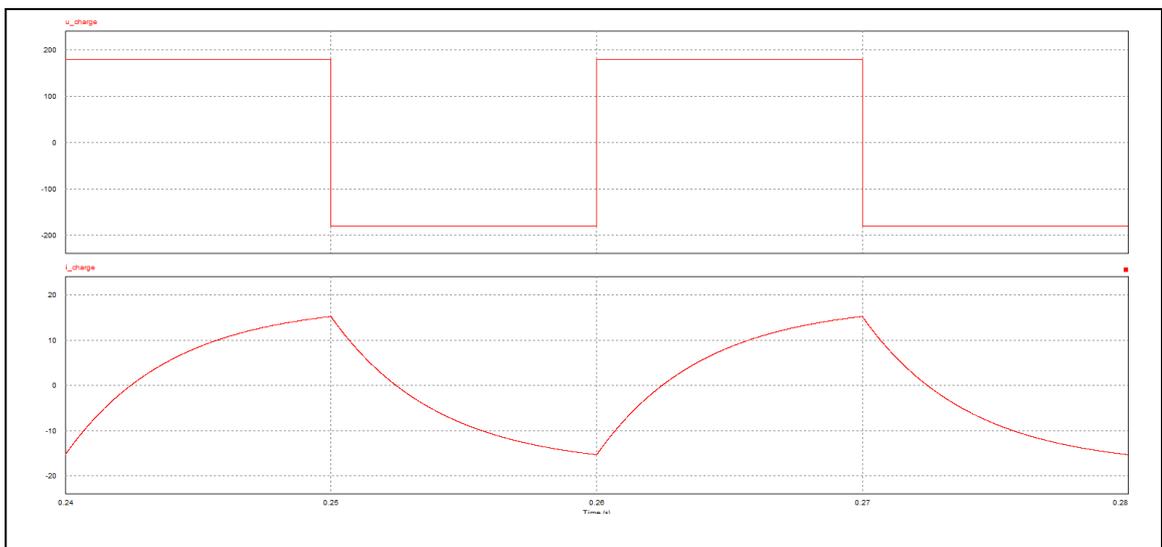


3.1. Commande pleine onde

Exercice 2:

On remarque que la structure en H est identique à celle des hacheurs 4 quadrants.

Une simulation sur Psim donne les résultats suivants:

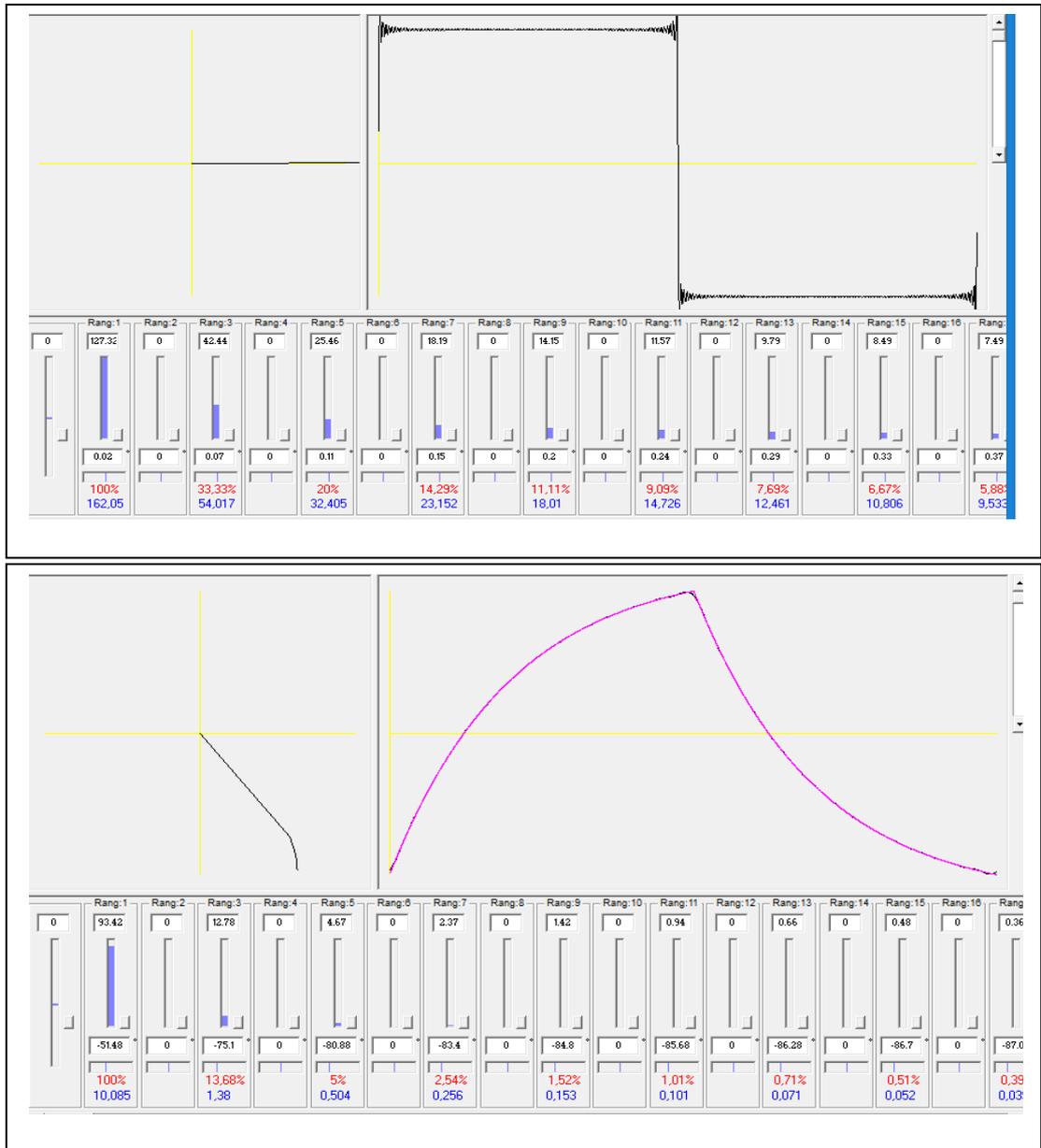


Les onduleurs

1. Sur la simulation sous Psim précédente, noter les intervalles de conduction des interrupteurs statique K1, K2, K3 et K4.

2. Préciser dans ces intervalles les périodes de conduction de T1, D1, T2, D2, T3, D3, T4 et D4.

Une analyse FFT donne les résultats suivants:



3. Calculer la valeur de $I_{\text{charge EFF}}$ ainsi que $U_{\text{charge EFF}}$, en déduire la valeur de S en VA.

4. Déterminer la puissance active consommée par la charge si $R = 10 \text{ Ohms}$.

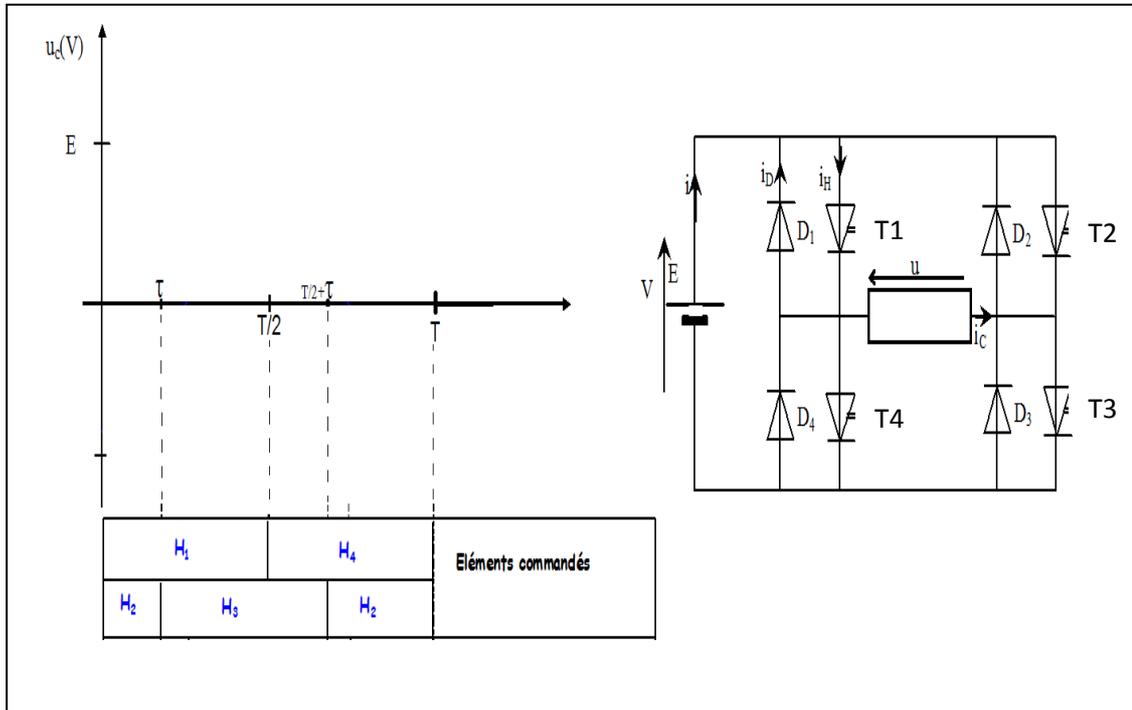
5. Déterminer la valeur du facteur de puissance du montage. Comparer avec la structure en demi-pont. Conclure sur l'impact de L sur le facteur de puissance.

Les onduleurs

6. Déterminer également le THDI du courant de charge. Comparer avec la structure en demi-pont. Conclure sur l'impact de L sur la qualité du courant.

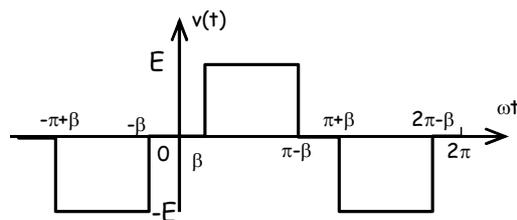
3.2. Commande décalée.

Exercice 3:



1. En suivant les intervalles de commutations des interrupteurs statiques H, déterminer l'allure de la tension U aux bornes de la charge.

La décomposition de ce signal en série de Fourier donne:



Attention $\beta = \frac{\tau}{2}$

$$v(t) = \frac{4E}{\pi} \times \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{1}{2k+1} \cos((2k+1) \cdot \beta) \cdot \sin((2k+1) \cdot \omega t) \right]$$

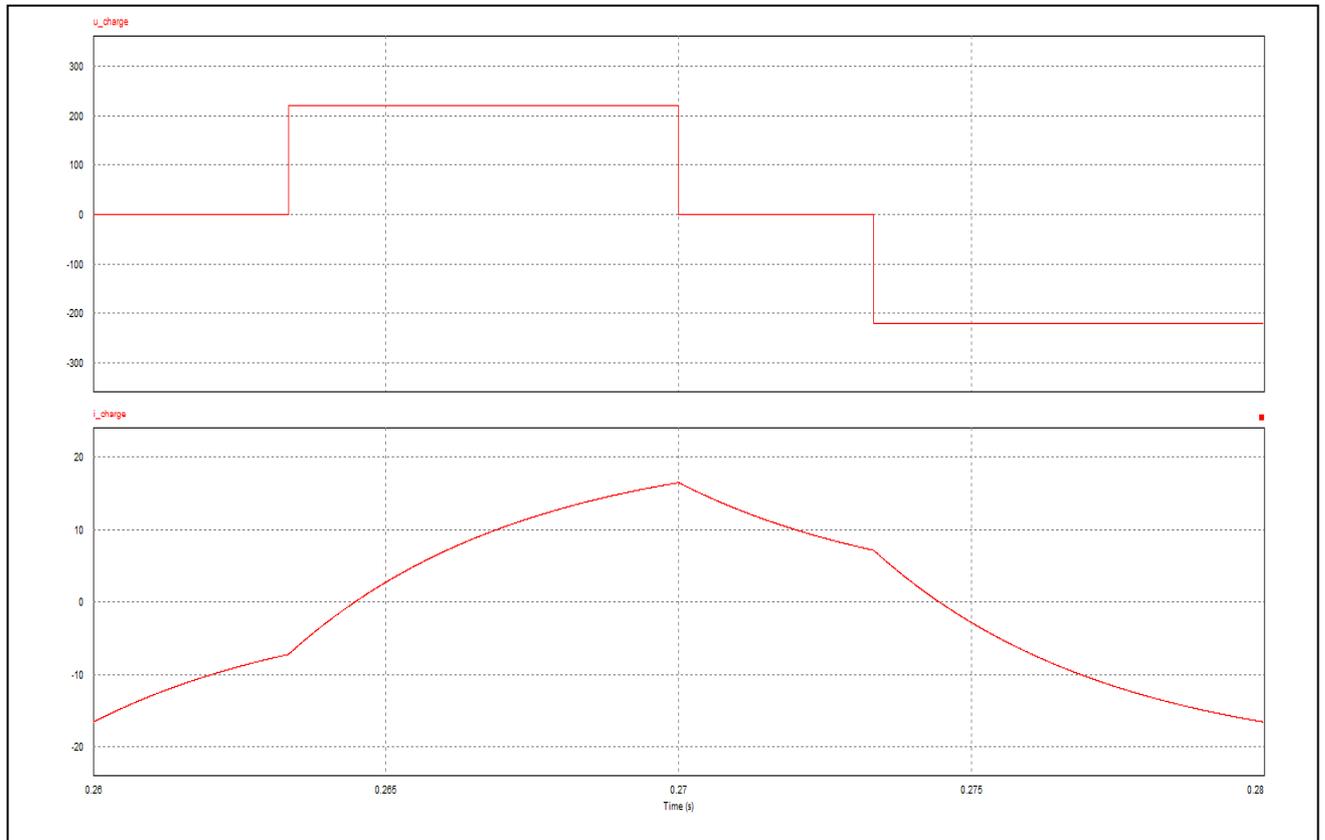
2. Déterminer la valeur de β pour que l'harmonique de rang trois soit éliminé du signal.

3. Déterminer alors la valeur de τ .

Les onduleurs

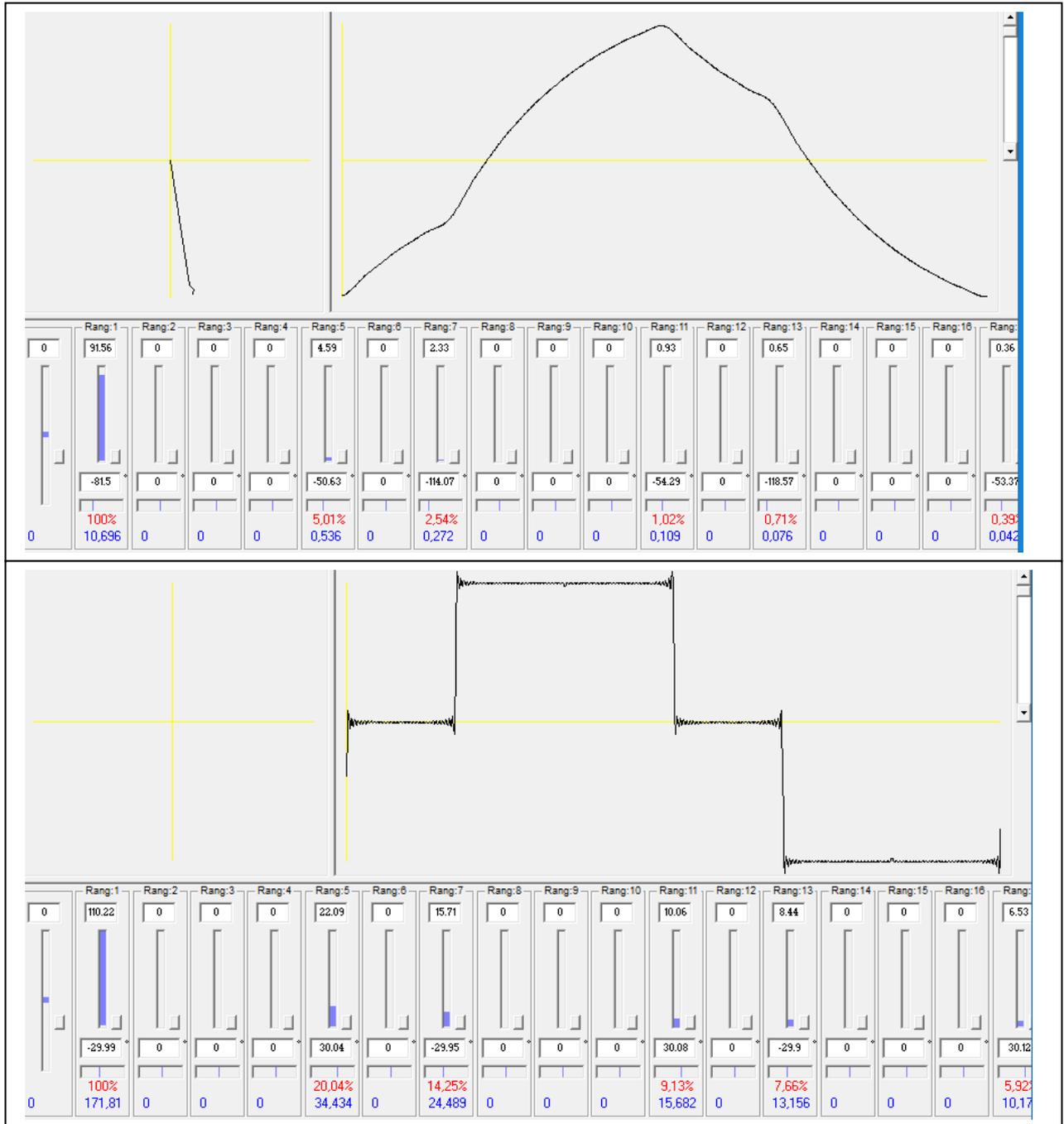
4. Déterminer l'expression de la valeur efficace de U charge en fonction de τ et E.
5. Calculer la nouvelle valeur de E pour que la valeur efficace soit toujours de 180V.

En prenant les valeurs obtenues précédemment pour cette commande décalée, on réalise une simulation sous Psim.



6. Préciser sur les résultats de simulation, les périodes de conduction de T1,D1,T2,D2,T3,D3,T4 et D4.

On réalise les analyses FFT du courant et de la tension de cette simulation.



6. Que peut on constater sur l'harmonique de rang 3 pour U_{charge} .
7. Que peut on constater pour le THDI?
8. Calculer la puissance consommée par la charge si $R=10 \Omega$ et $L=40\text{mH}$.
9. Calculer la valeur efficace de U_{charge} et I_{charge} et déterminer S .
10. Calculer le facteur de puissance et comparer aux résultats précédents.

Les onduleurs

3.3. Commande MLI

3.3.1 Obtention du signal MLI (Sinus triangle)

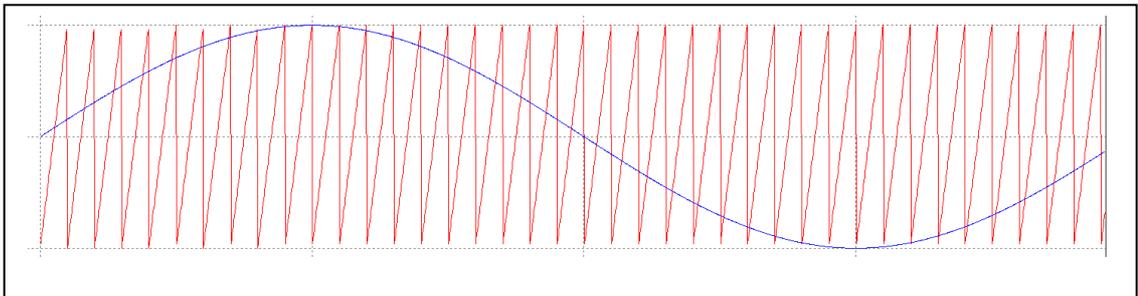
Pour générer le signal de commande des transistors de puissance, on réalise une comparaison entre un signal sinusoïdal qui le signal de référence et un signal triangulaire qui est la porteuse.

La fréquence de l'onde sinusoïdale de référence correspond à la fréquence que l'on veut obtenir en sortie de l'onduleur.

la fréquence modulante du signal triangulaire est beaucoup plus élevée que celle du fondamental de la tension de sortie de l'onduleur désirée.

Exercice 4:

On a un signal sinusoïdal de fréquence 50Hz , d'amplitude maxi de 1V de mini -1V et un signal triangulaire -1V à 1V de fréquence 2000Hz.



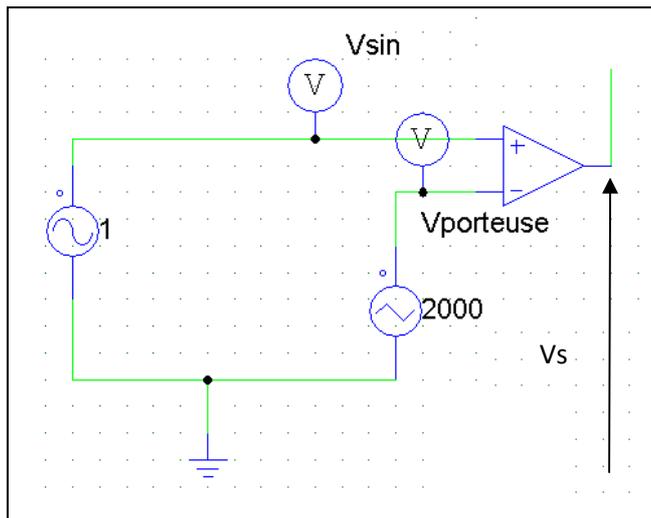
On utilise un comparateur noté "Ampli opérationnel" qui se charge de comparer les deux signaux et de fournir un signal binaire entre 0 et +5V par exemple.

La règle de comparaison est :

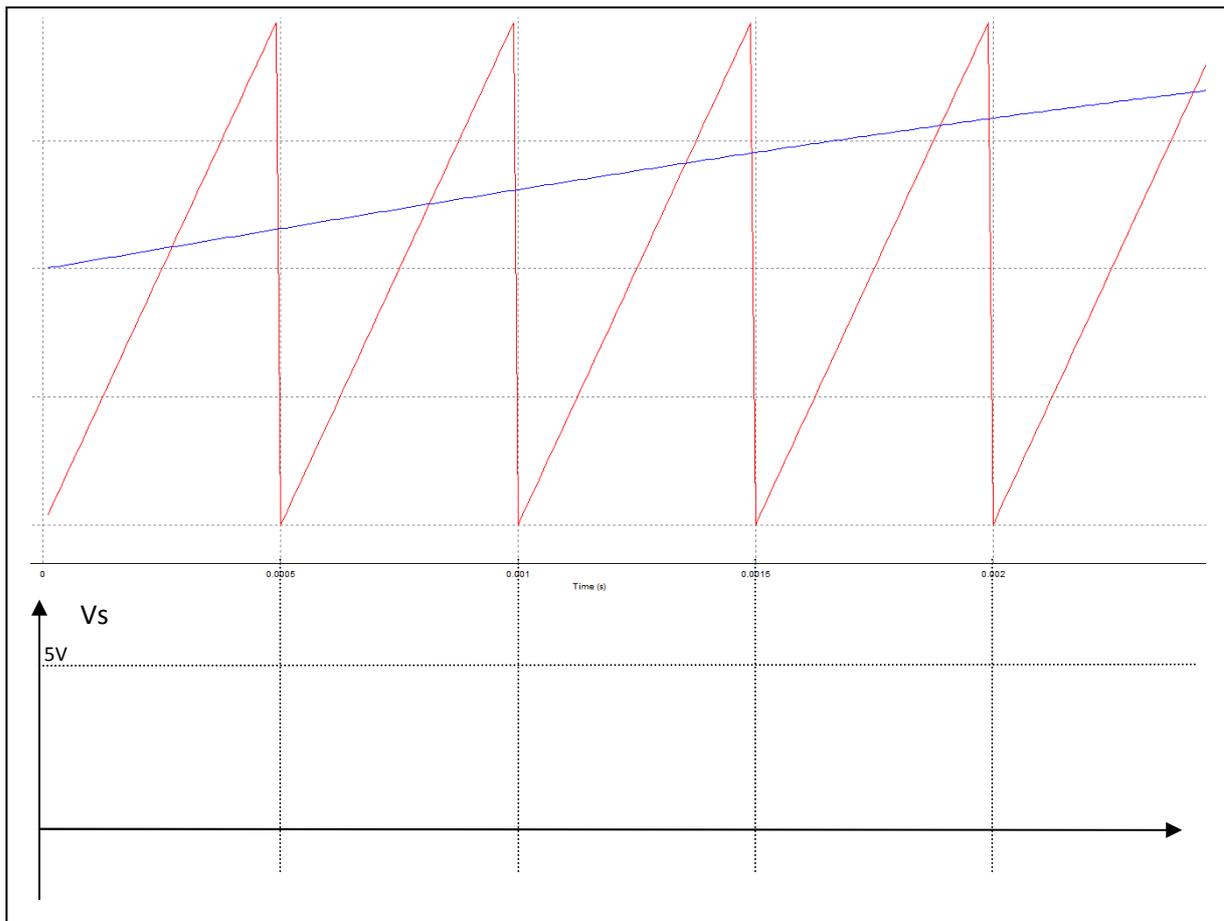
Si $V_+ > V_-$ alors $V_s = +5V$

Si $V_+ < V_-$ alors $V_s = 0V$

Le schéma est:



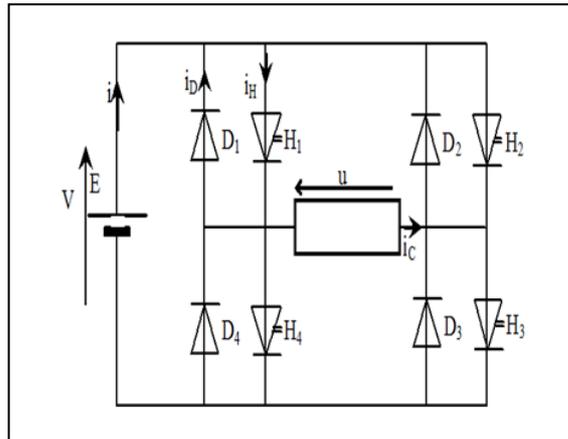
1. On donne le zoom des deux signaux , en déduire la forme de v_s en sortie de l'ampli :



Les onduleurs

Exercice 5 :

On rappelle que le schéma de l'onduleur monophasé sur lequel nous travaillons est :

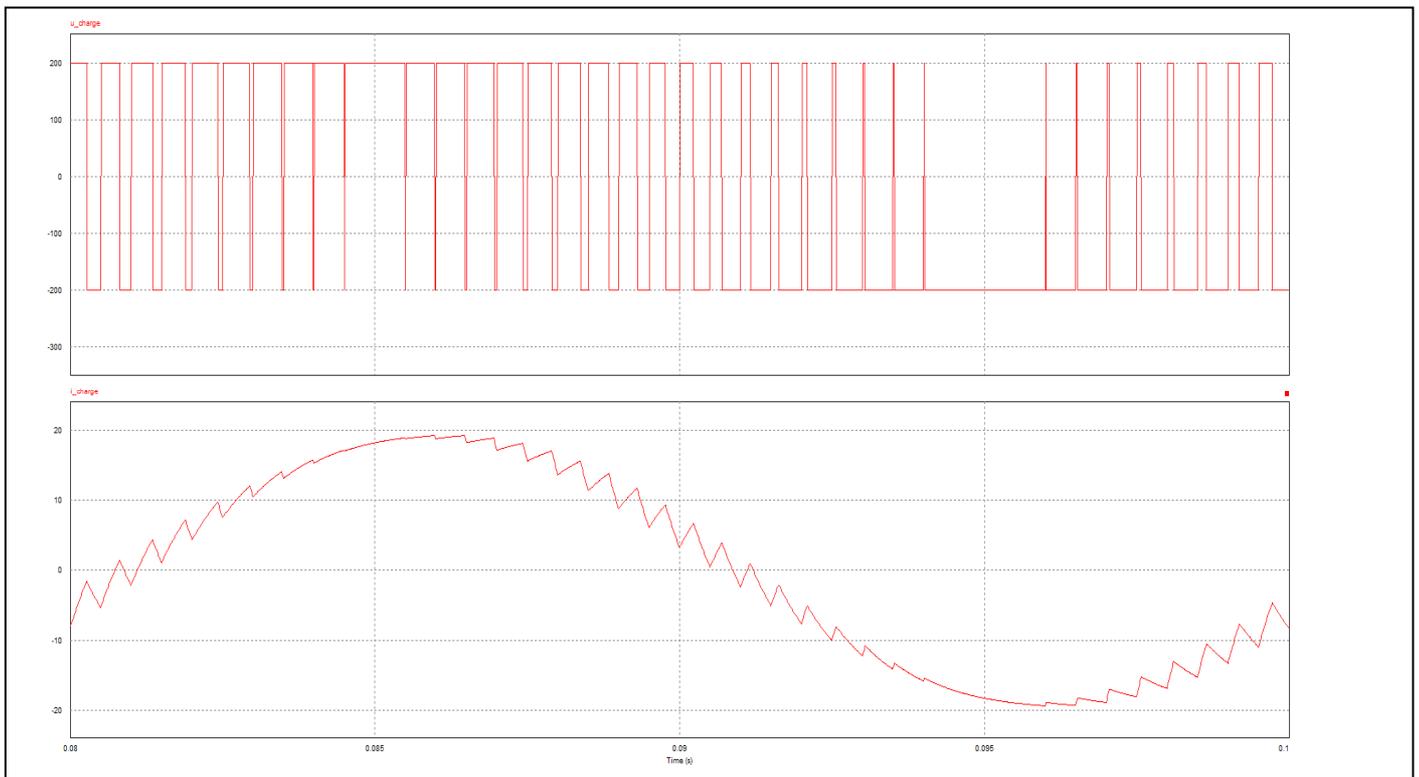


On applique le signal MLI , établi précédemment, de cette manière:

Vs permet de commander H1 et H3

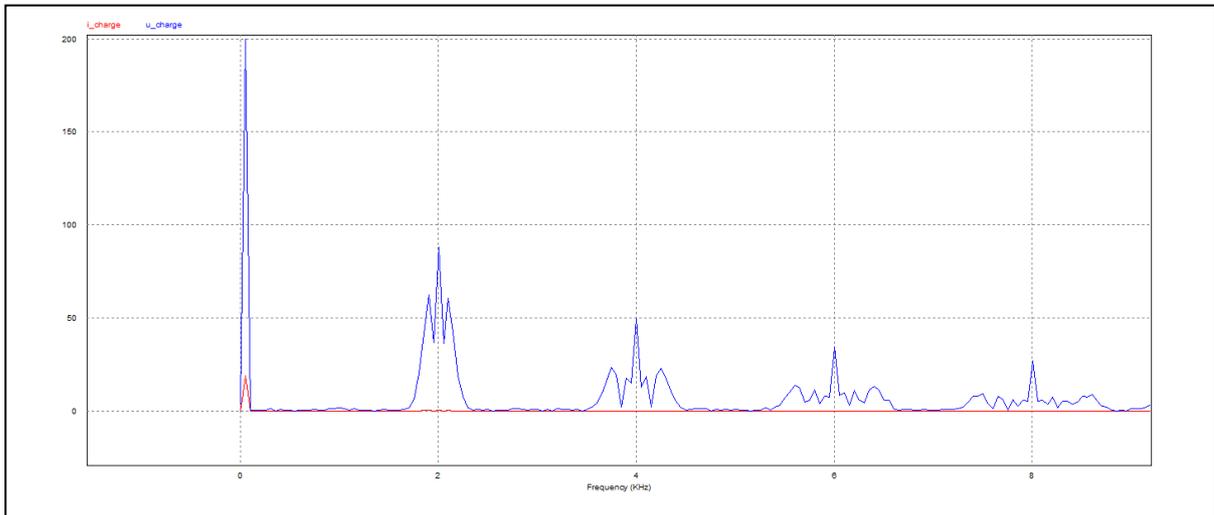
Etat complémentaire \overline{Vs} permet de commander H2 et H4.

On obtient les formes d'onde u(t) et ic(t) suivant:



1. Que peut-on constater sur l'allure du courant dans la charge ?
2. Pourquoi peut-on dire que les stators des moteurs assure le filtrage du courant.

On donne le spectre harmonique de la tension :



3. Que constate-t-on sur les rangs harmoniques contenu dans le signal MLI ?

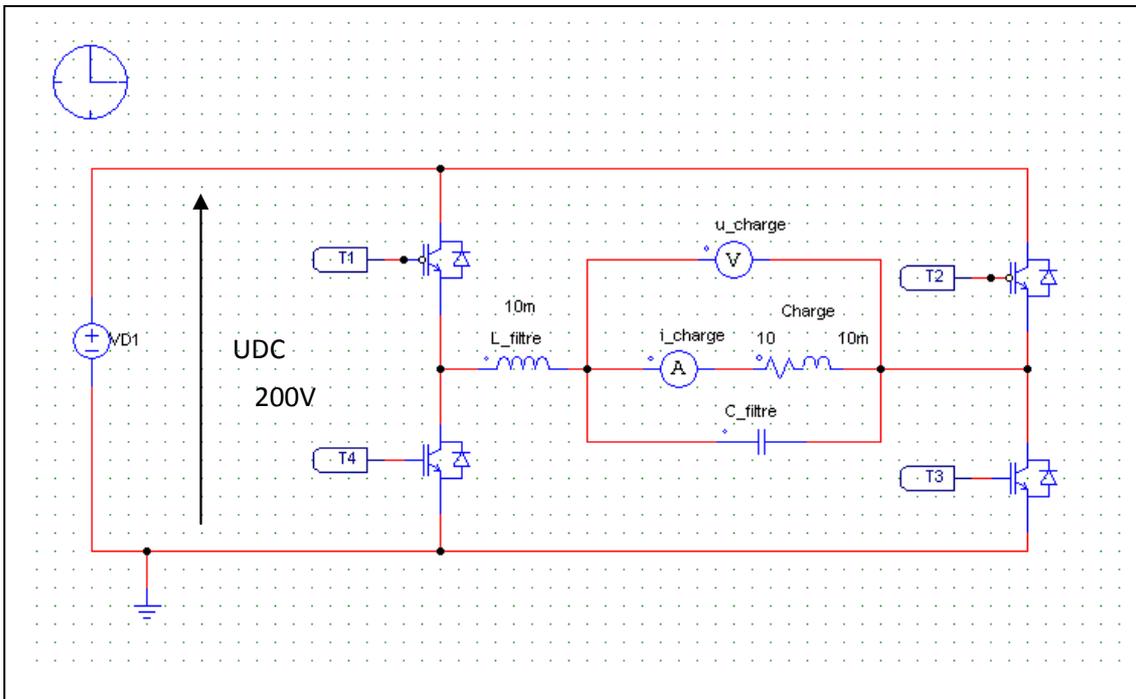
3.3.1. Filtrage.

Exercice 6 :

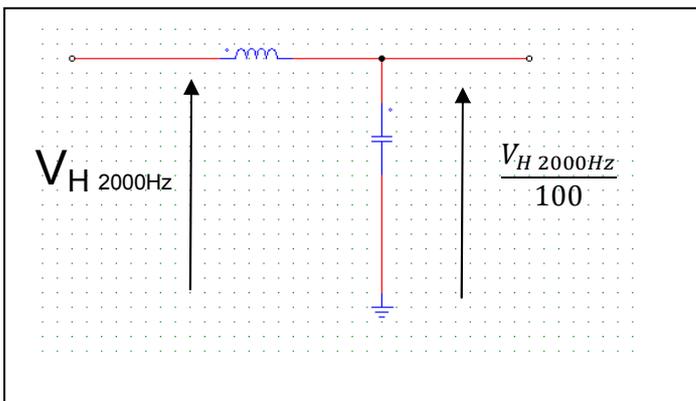
On désire que l'harmonique le plus gênant soit atténué d'un rapport de 100.

1. Déterminer le rang le plus gênant dans la décomposition spectrale précédente.

Le schéma du filtre est le suivant :



Cela nous donne le modèle suivant :



2. A l'aide de la loi du diviseur de tension, établir la relation entre L et C.

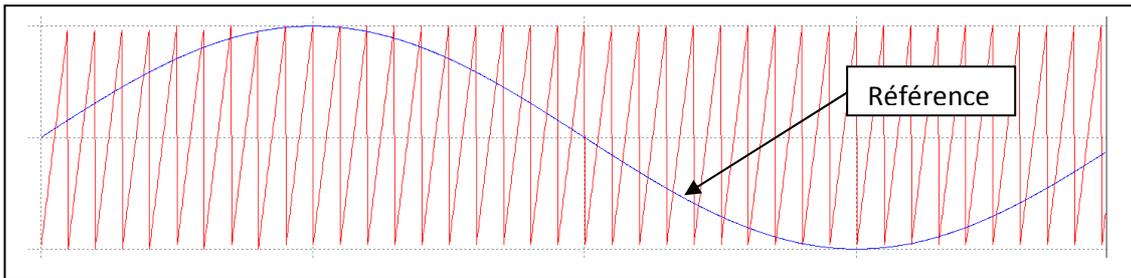
Les onduleurs

3. Si $C = 63\mu\text{F}$, calculer la valeur de L pour accorder le filtre sur 2000Hz .

3.3.2. Action sur la valeur efficace de la tension de sortie d'un onduleur.

Exercice 7 :

On rappelle que l'élaboration de la MLI se fait à partir d'un **signal sinusoïdal de référence** et d'un **signal triangulaire, la porteuse**.



On va réaliser les tests suivants :

Sans toucher à la porteuse, on va prendre des valeurs de 0.2V , 0.4V , 0.6V , 0.8V et 1V crête pour le signal de référence .

On relève pour chaque réglage la valeur efficace de la tension fondamentale en sortie d'onduleur sans filtrage.

$$u_{\text{Ref crête}} = 0.2\text{V} \quad U_{\text{eff charge fond}} = \frac{40}{\sqrt{2}} \text{V}$$

$$u_{\text{Ref crête}} = 0.4\text{V} \quad U_{\text{eff charge fond}} = \frac{80}{\sqrt{2}} \text{V}$$

$$u_{\text{Ref crête}} = 0.5\text{V} \quad U_{\text{eff charge fond}} = \frac{100}{\sqrt{2}} \text{V}$$

$$u_{\text{Ref crête}} = 0.6\text{V} \quad U_{\text{eff charge fond}} = \frac{160}{\sqrt{2}} \text{V}$$

$$u_{\text{Ref crête}} = 0.8\text{V} \quad U_{\text{eff charge fond}} = \frac{180}{\sqrt{2}} \text{V}$$

$$u_{\text{Ref crête}} = 1\text{V} \quad U_{\text{eff charge fond}} = \frac{200}{\sqrt{2}} \text{V}$$

1. Tracer la courbe $U_{\text{eff}} = f(u_{\text{Ref crête}})$.

On note $r = \frac{V_{\text{ref max}}}{V_{\text{port max}}}$ l'indice de réglage de tension de l'onduleur.

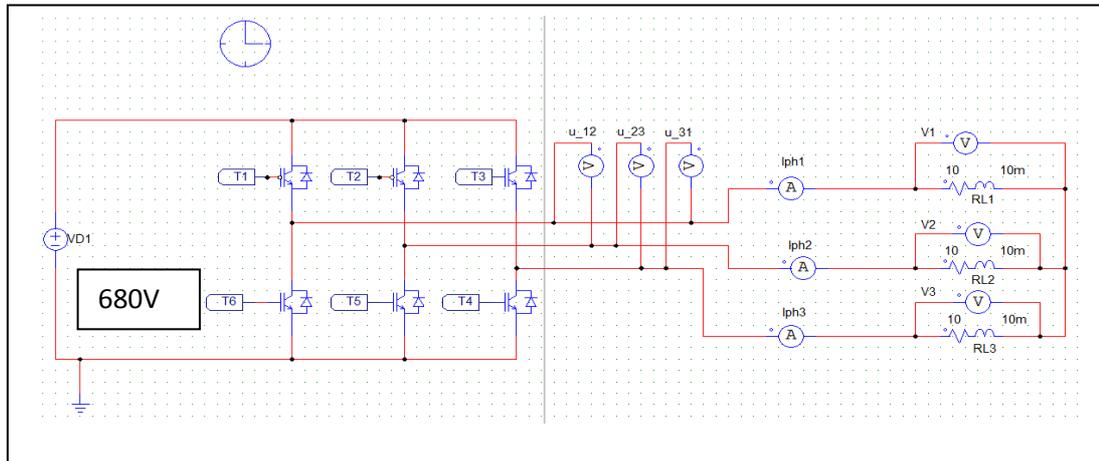
2. Indiquer la relation qui lie U_{eff} à U_{DC} et r .

Les onduleurs

3.3.3. Montage triphasé.

Exercice 8 :

On étudie le montage suivant :



On donne la séquence de pilotage, en pleine onde, des interrupteurs statiques :

De 0 à π rad : H1 est commandé.

H6 est dans un état complémentaire de H1.

De $\frac{2\pi}{3}$ à $\frac{5\pi}{3}$: H2 est commandé.

H5 est dans un état complémentaire de H2.

De $\frac{4\pi}{3}$ à $\frac{7\pi}{3}$: H3 est commandé.

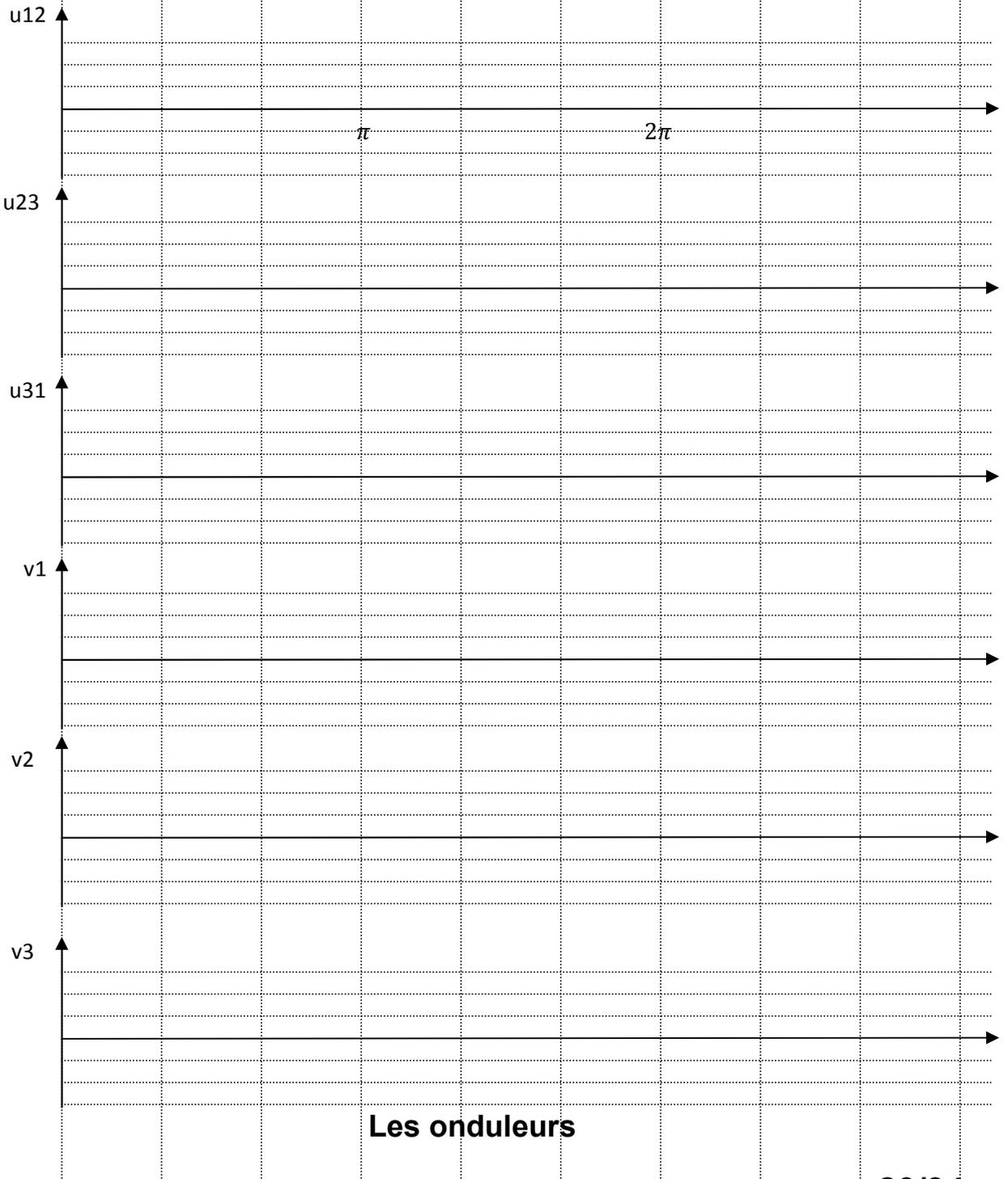
H4 est dans un état complémentaire de H3.

1. Dessiner sur le document réponse Ex8_11, la séquence de conduction de H1,H6 puis H2,H5 et enfin H3,H4.
2. Déterminer l'allure des tensions u_{12} , u_{23} et u_{31} en identifiant les mailles qui se ferment au fur et à mesure de la séquence de pilotage des transistors.
3. Etablir la relation entre v_1 et les tensions composées u_{12} et u_{31} en suivant la démarche ci-dessous :
 - 3.1. Exprimer la relation $u_{12}-u_{31}$ en fonction de v_1, v_2 et v_3 .
 - 3.2. Sachant que $v_1+v_2+v_3=0$ pour un système triphasé de tensions, exprimer $u_{12}-u_{31}$ en fonction de v_1 uniquement.
4. Construire alors v_1 .
5. Construire v_2 et v_3 formant le système triphasé de tensions simple.

Les onduleurs

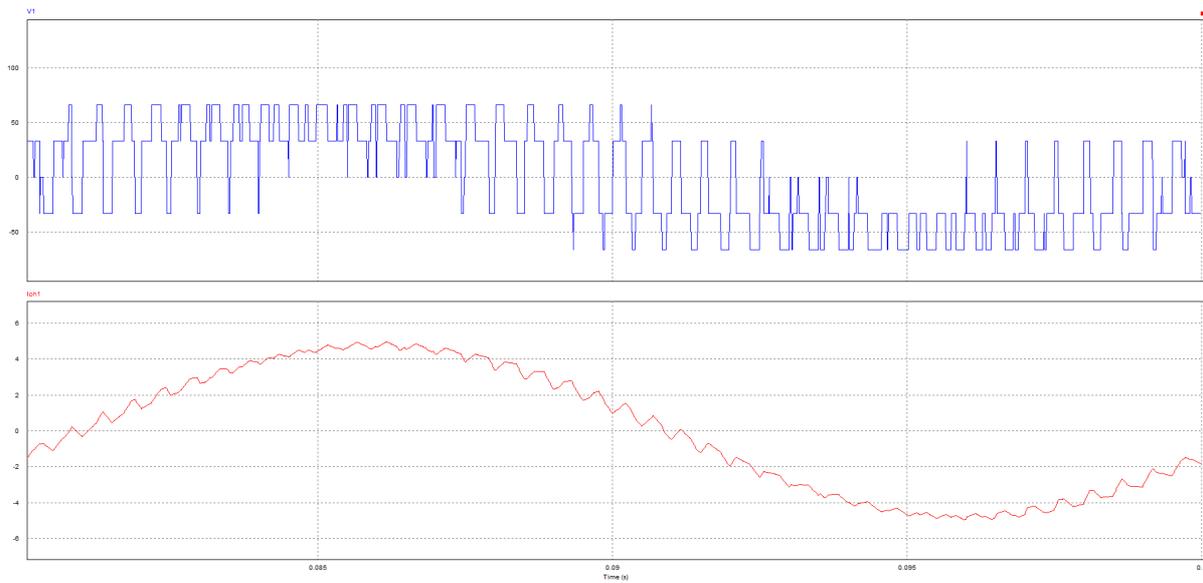
Document réponse Ex8_11

Etat de H1,H6									
Etat de H2,H5									
Etat de H3,H4									

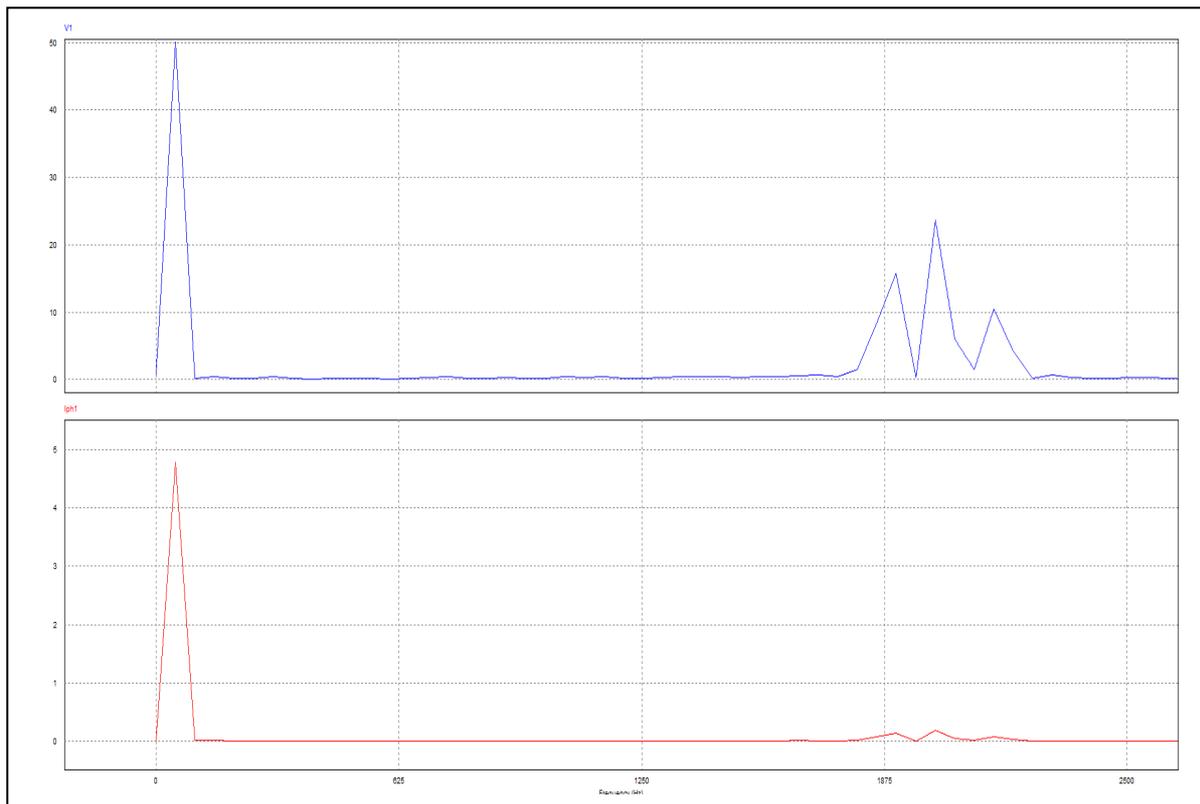


Les onduleurs

Avec une commande MLI , on trouve la tension simple v1 suivante :



La décomposition harmonique de la tension et du courant donne :



6. Indiquer la fréquence des harmoniques principaux.
7. Que peut-on dire du courant

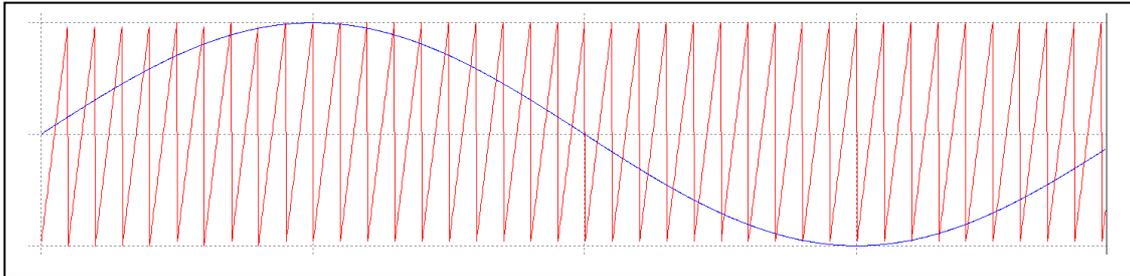
Les onduleurs

3.3.4. Comment faire une commande scalaire en $\frac{V}{f}$ constant pour une machine asynchrone.

Exercice 9 :

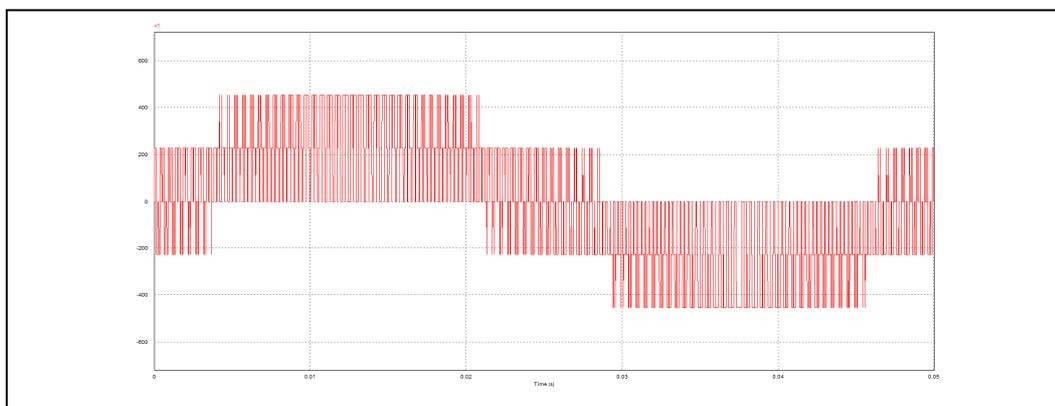
On rappelle que le signal commandant la MLI est basé sur la comparaison entre un signal sinusoïdal de référence et un signal triangulaire. On définit le coefficient de réglage en tension par le rapport entre l'amplitude de la référence sur la porteuse.

$$r = \frac{V_{ref\ max}}{V_{port\ max}}$$



1. Pour un moteur de tension simple 230V, pour 50Hz. Déterminer la valeur de $\frac{V_{eff\ fond}}{f}$ à maintenir constant.
2. Sachant que la relation entre $V_{eff\ fond}$ et E (alimentation DC) est : $V_{eff\ fond} = 0.338.r.E$, calculer la valeur de E pour r=1.
3. Sachant que l'on veut faire tourner le moteur pour ns= 600 tr/min, pour un nombre de paire de pôles égal à 2, calculer la valeur de $V_{eff\ fond}$ et de la fréquence.
4. Calculer la valeur de r et de V_{ref} si la porteuse a une amplitude de 5V.
5. Calculer la valeur de l'indice de modulation $m = \frac{f_{porteuse}}{f_{réf}}$; $f_{porteuse} = 2000\text{Hz}$.
6. Pour réaliser un contrôle en $\frac{V}{f}$ Cst, que doit 'il y avoir comme rapport entre r et m?

Tension simple à 20Hz

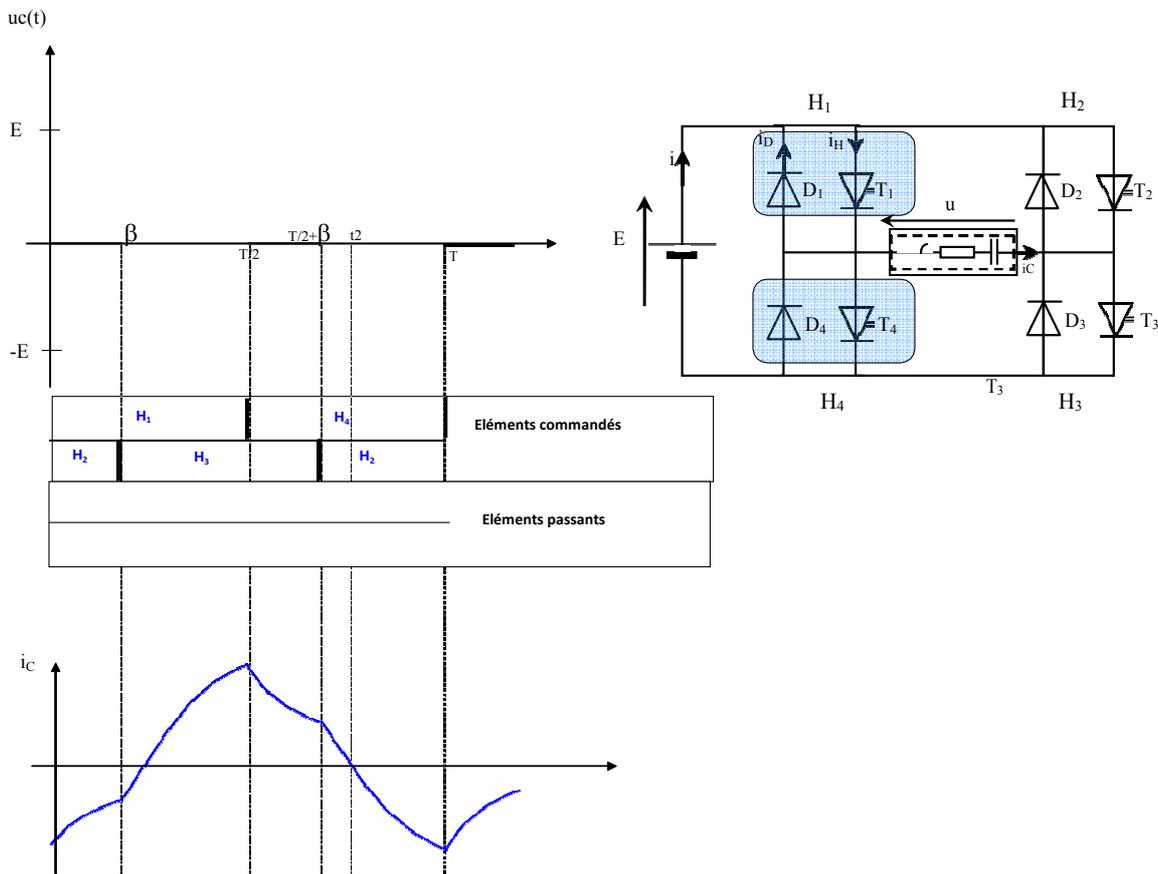


Les onduleurs

4. Exercices d'application:

Exercice 10:

Onduleur de tension en commande décalée :



- 1) Tracer la courbe représentative de $u(t)$.
- 2) Indiquer les éléments qui sont passants pendant une période. (T ou D)
- 3) Exprimer la valeur efficace de la tension u .
- 4) On donne la décomposition en série de Fourier du signal suivant :

$$u(t) = \frac{4E}{\pi} \left[\cos \beta \sin \omega t + \frac{1}{3} \cos(3\beta) \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \cos(5\beta) \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

Pour $2\beta=0$ (2β temps de roue libre) , exprimer les valeurs efficaces du fondamental et des harmoniques 3 et 5 en fonction de E .

Même question pour $2\beta=\pi/3$, $2\beta=\pi/4$ et $2\beta=\pi/5$. Conclure.

Les onduleurs

Exercice 11:

Etude de l'alimentation électrique d'un Airbus A320

Etude de l'onduleur à angle calculés de secours

Dans le cas, extrêmement improbable, où les différents alternateurs seraient tous hors service, il est encore possible d'alimenter les organes essentiels de l'avion pendant une demi-heure par l'intermédiaire d'un onduleur autonome dit "convertisseur de dernier secours". Celui ci permet de reconstituer un réseau alternatif 115 V / 400 Hz monophasé à partir d'une batterie délivrant une tension continue U_B .

Ce convertisseur indirect est constitué de deux étages :

— un onduleur en pont complet qui fournit la tension $v_{MN}(t)$ (figure 5),

Le schéma de principe de l'onduleur est celui de la figure 5

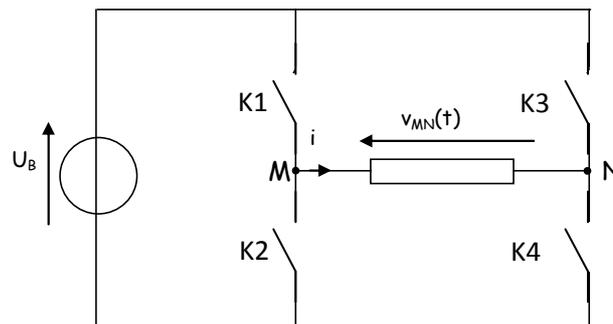


Figure 5

Cahier des charges de l'onduleur de secours muni de son filtre de sortie passe-bas :

Valeur efficace du fondamental de la tension de sortie du filtre : V_{S1}	115 V
Fréquence de sortie : f	400 Hz
Puissance apparente nominale de sortie : P_S	1,0 kVA
Facteur de puissance	$0,70 < \cos \varphi \leq 1$
Distorsion globale de la tension de sortie : d_g	$< 5 \%$

3° partie : Etude des tensions de sortie de l'onduleur

3.1 On envisage le cas d'une commande "pleine onde" selon la loi définie sur le document réponse 1 a.

3.1.1 Tracer le graphe de la tension $v_{MN}(t)$ sur le document réponse 1 a.

3.1.2 Exprimer la valeur efficace V_{MN} de $v_{MN}(t)$ en fonction de U_B .

3.2 La décomposition en série de Fourier de $v_{MN}(t)$ est la suivante :

$$v_{MN}(t) = \frac{4U_B}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

3.2.1 Donner l'expression de $v_1(t)$, fondamental de $v_{MN}(t)$.

En déduire l'expression de sa valeur efficace V_1 en fonction de U_B .

3.2.2 Quelle devrait être la valeur de U_B pour obtenir $V_1 = 115 \text{ V}$?

3.2.3 La distorsion globale de la tension de sortie $v_{MN}(t)$ dépend du taux d'harmoniques :

Si V_1 est la valeur efficace du fondamental de $v_{MN}(t)$ et $V_2, V_3, V_4, \dots, V_n, \dots$ les valeurs efficaces des autres harmoniques de cette tension (certaines de ces valeurs pouvant être nulles), la distorsion globale d_g est définie comme suit :

$$d_g = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2 + \dots}}{V_1} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (1)$$

Comme $V_{MN}^2 = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2 + \dots}$, on peut également écrire :

$$d_g = \frac{\sqrt{V_{MN}^2 - V_1^2}}{V_1} \quad (2).$$

Calculer d_g dans le cas précédent.

3.3 Le montage effectivement réalisé est un onduleur à modulation de largeur d'impulsions (MLI). La commande des interrupteurs est définie sur le document réponse 1 b.

3.3.1 Tracer la tension $v_{MN}(t)$ correspondant à ce cas sur le document réponse 1 b.

3.3.2 Exprimer la valeur efficace V_{MN} de $v_{MN}(t)$ en fonction de U_B (on pourra pour cela effectuer un calcul d'aire).

3.3.3 La tension $v_{MN}(t)$ ne comporte pas d'harmonique de rang pair. Par ailleurs les angles $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ et α_5 sont choisis de manière à annuler les harmoniques de rang 3, 5, 7, 9 et 11. Il en résulte la décomposition en série de Fourier de $v_{MN}(t)$ suivante :

$$v_{MN}(t) = \frac{4U_B}{\pi} \times 0,802 \times \sin(\omega t) - \frac{4U_B}{13\pi} \times 2,01 \times \sin(13\omega t) - \frac{4U_B}{15\pi} \times 2,64 \times \sin(15\omega t) + \dots$$

Donner l'expression de $v_1(t)$, fondamental de $v_{MN}(t)$.

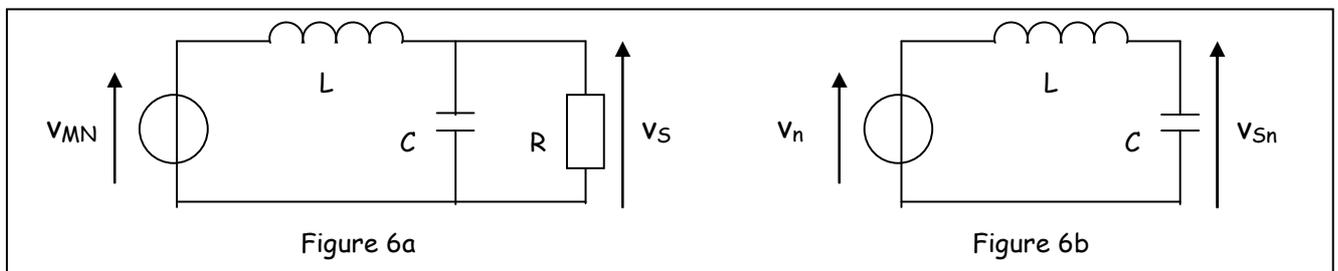
Donner l'expression de sa valeur efficace V_1 en fonction de U_B .

La distorsion globale qui correspond à ce deuxième cas est $d_g = 49\%$. Elle n'est donc pas meilleure que la précédente. Elle rend donc nécessaire la présence d'un filtre.

4. Dimensionnement du filtre.

4.1. On considère que le montage est le suivant:

La charge est assimilable à un circuit purement résistif R (figure 6a).



En utilisant la relation du diviseur de tension, exprimer la loi pour que $V_{Sn} = V_n/10$ pour le rang 13 (figure 6b).

4.2. On prend $C=22\mu\text{F}$, déterminer la valeur de L .

4.3. Pourquoi peut-on dire que le filtre LC est un passe bas?

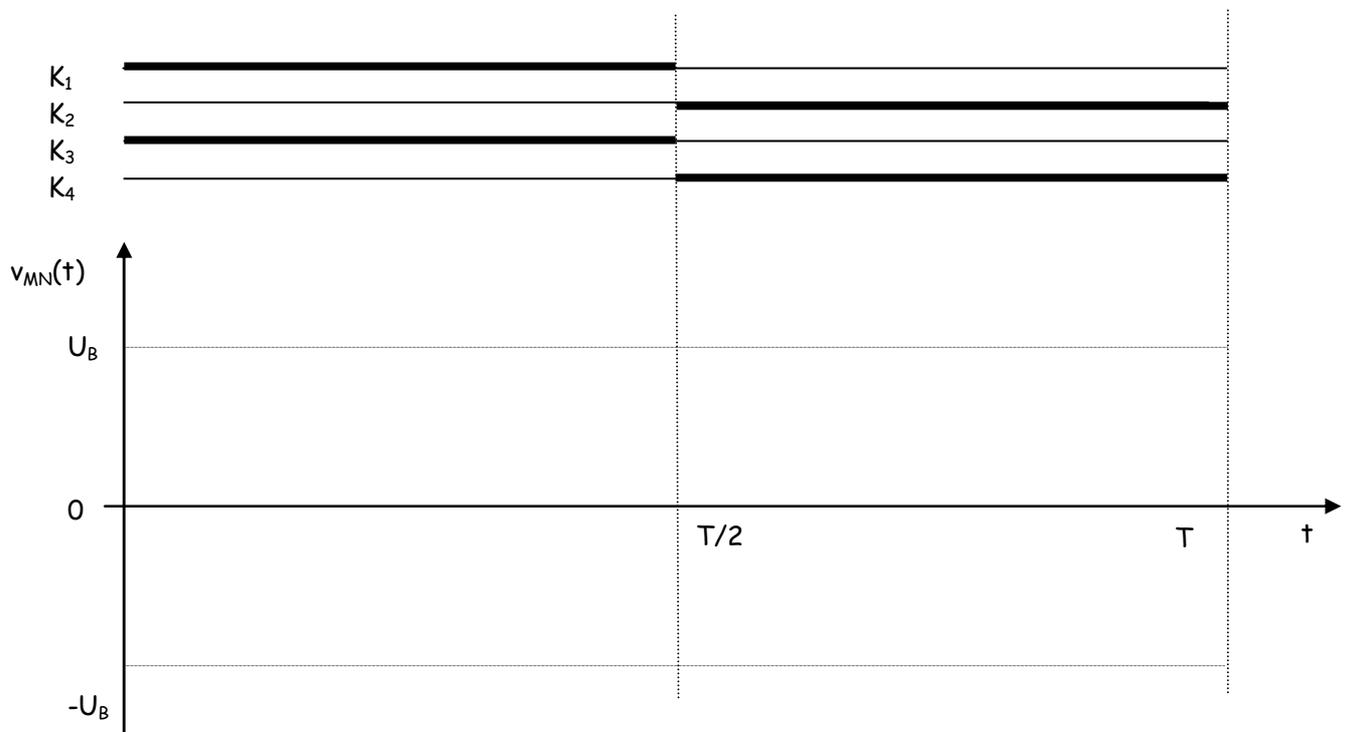
4.4. Une simulation sous PSIM donne la tension obtenue au niveau de la charge:

Relever le THD et donner l'intérêt de réaliser une commande à angle calculée et d'un filtrage associé.

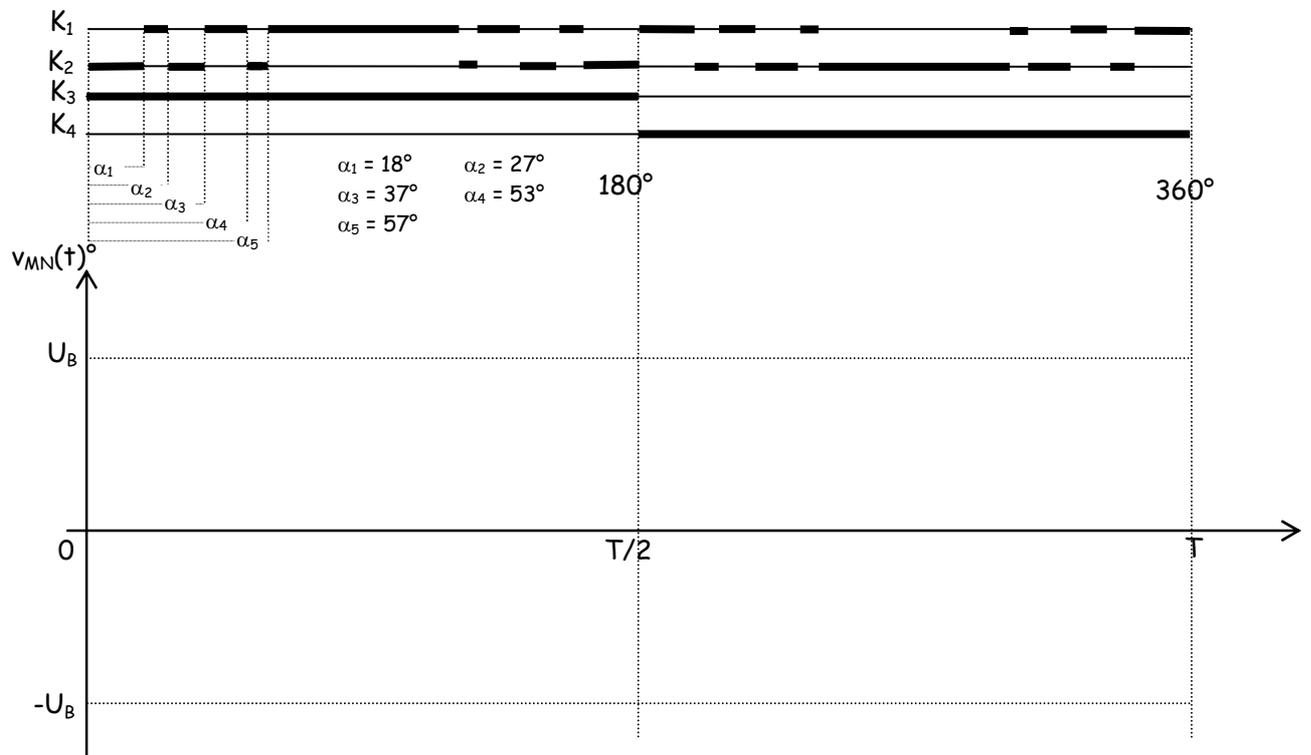
DOCUMENT REPONSE N° 1 a

Les parties en trait épais correspondent à l'état fermé des interrupteurs

Les parties en trait fin correspondent à l'état ouvert des interrupteurs.

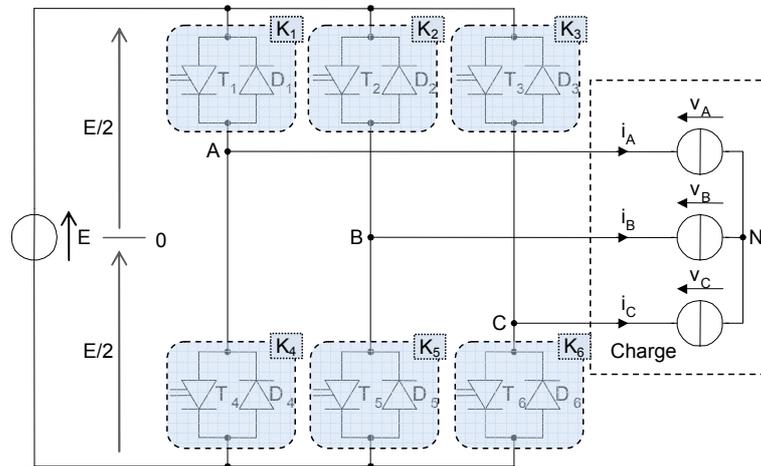


DOCUMENT REPONSE N° 1 b



Exercice 12:

Commandes d'un onduleur de tension triphasé:

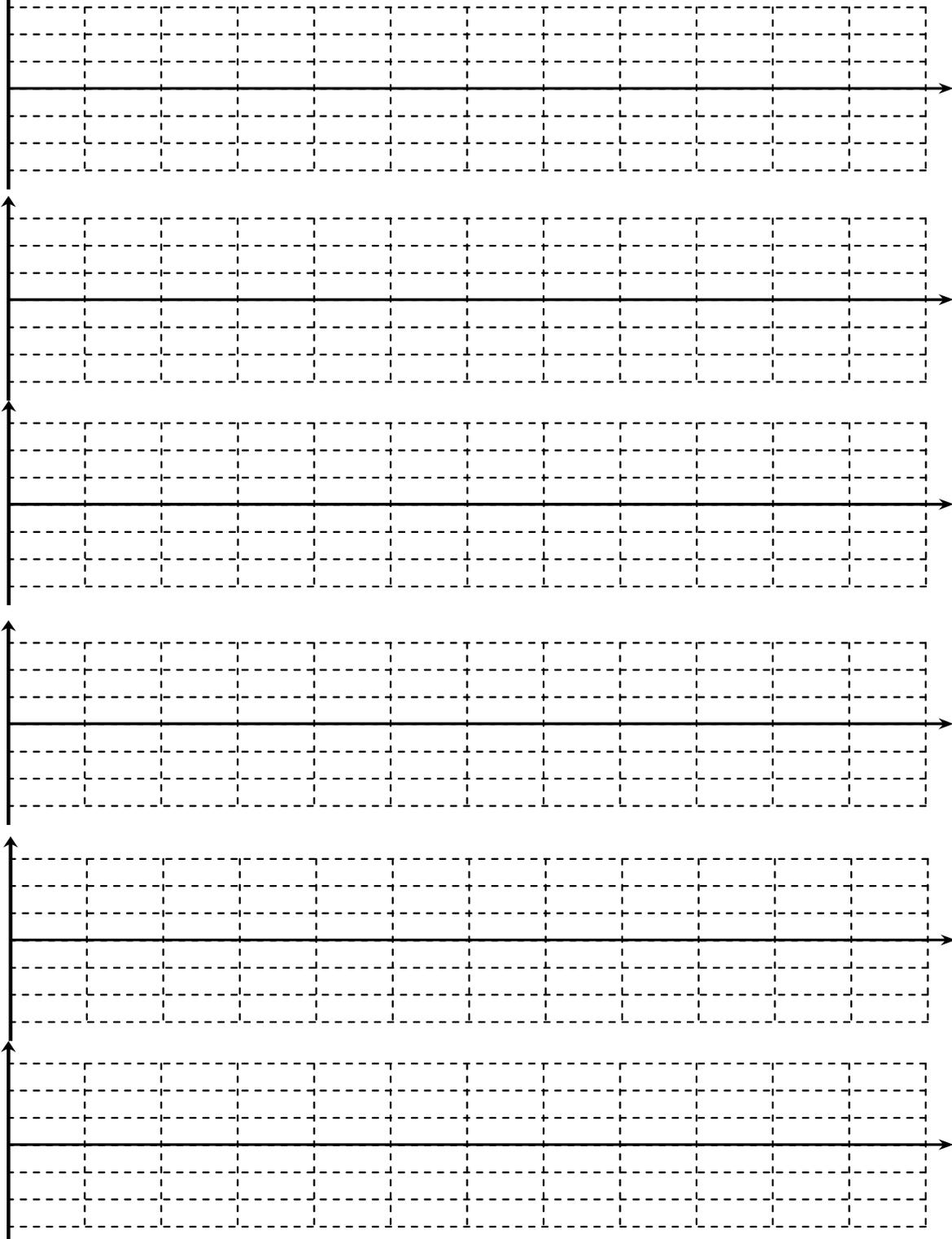


- 1) Dessiner les tensions v_{AO} , v_{BO} , v_{CO} en concordance de temps sur le document réponse Ex12_1.
- 2) Dessiner en concordance de temps, les tensions u_{AB} , u_{BC} , u_{CA} .
- 3) On montre que : $v_{AN} = \frac{u_{AB} - u_{CA}}{3}$. Dessiner les tensions simples v_{AN} , v_{BN} , v_{CN} .
- 4) Exprimer la valeur efficace d'une tension composée en fonction de E
- 5) Exprimer la valeur efficace d'une tension simple en fonction de E.

Document réponse Ex12_1:

K_1		K_4			K_1		K_4	
K_5		K_2		K_5		K_2		K_5
K_3	K_6		K_3		K_6		K_3	

O $T/6$ $2T/6$ $3T/6$ $4T/6$ $5T/6$ T



Les onduleurs

Exercice 13:

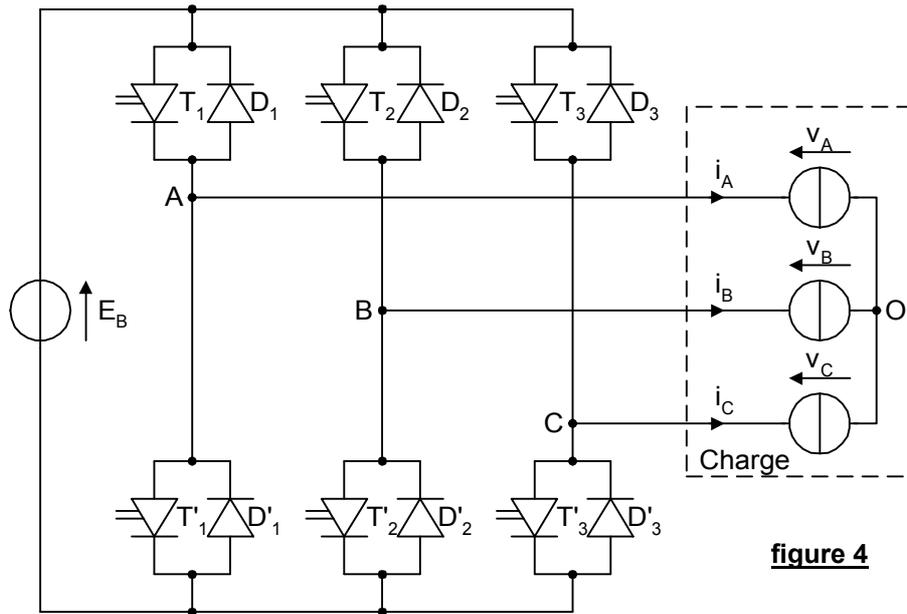
Production d'électricité avec une éolienne:

L'onduleur comprend 6 cellules constituées d'un IGBT et d'une diode.

Les TGBT sont considérés comme des interrupteurs parfaits unidirectionnels commandés à l'ouverture et à la fermeture.

Les diodes sont supposées parfaites (tension nulle à leurs bornes quand elles sont passantes).

On assimile la batterie à une source idéale de tension de f.é.m. E_B .



C.1. Tensions délivrées par l'onduleur

Les séquences de commande des interrupteurs sont données sur le **document réponse n°2**.

C.1.1. Les interrupteurs présents sur un même bras de l'onduleur peuvent-ils être commandés simultanément à la fermeture ? Justifier la réponse.

C.1.2 Tracer sur le **document réponse n°2**, les chronogrammes des tensions composées u_{AB} , u_{BC} et u_{CA} .

C.1.3 On rappelle que les tensions simples aux bornes de la charge ont pour expressions

$$\text{respectives : } v_A = \frac{u_{AB} - u_{CA}}{3} ; v_B = \frac{u_{BC} - u_{AB}}{3} ; v_C = \frac{u_{CA} - u_{BC}}{3} .$$

Construire les chronogrammes des tensions simples v_A , v_B et v_C sur le **document réponse n°2**.

C.1.4 Tracer l'allure des termes fondamentaux v_{A1} , v_{B1} et v_{C1} de v_A , v_B et v_C sur le **document réponse n°2**.

C.1.5 La valeur efficace du fondamental des tensions simples a pour expression :

$$V_{A1} = V_{B1} = V_{C1} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} E_B .$$

En déduire la valeur de la f.é.m. E_B que doit délivrer la batterie pour que le fondamental des tensions simples ait pour valeur efficace 230 V.

C.2. L'onduleur alimente la charge seule (quand l'éolienne ne fonctionne pas)

On néglige dans cette partie les harmoniques du courant absorbé par chaque phase de la charge devant le fondamental.

Chaque élément de la charge peut être modélisé par une source de courant sinusoïdal de valeur efficace I_1 en retard de φ_1 par rapport à la tension à ses bornes.

Les chronogrammes de i_A , i_B et i_C sont tracés sur le document réponse n°3 pour $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$

C.2.1. Indiquer les séquences de conduction des 6 éléments $D_1, T_1, D_2, T_2, D_3, T_3$ sur le document réponse n°2.

C.2.2 ; Tracer l'allure du courant i débité par la batterie sur le document réponse n°3. (On remarquera que $i_A + i_B + i_C = 0$).

C.2.3. Calculer la valeur moyenne $\langle i \rangle$ du courant délivré par la batterie dans le cas où la puissance active P_{ch} absorbée par la charge vaut 200 kW et E_B vaut 510 V.

C.3. L'onduleur est connecté à la charge et à l'éolienne

On adopte la convention récepteur pour chacun des éléments apparaissant sur le schéma ci-contre.

Quand un élément (machine asynchrone, onduleur ou charge) absorbe de la puissance active ou réactive, celle-ci est comptée positivement.

En revanche, s'il fournit de la puissance, elle est comptée négativement.

Dans cette partie, on néglige toujours les harmoniques de courant devant le fondamental.

On suppose que la charge absorbe constamment la puissance active $P_{ch} = 200$ kW et la puissance réactive $Q_{ch} = 150$ kVAR.

On s'intéresse à deux cas de fonctionnement :

Cas n°1 - l'éolienne fonctionne à pleine puissance : $P_{G1} = -300$ kW et $Q_{G1} = 200$ kVAR.

Cas n°2 - le vent est faible : $P_{G2} = -23$ kW et $Q_{G2} = 123$ kVAR.

C.3.1 Calculer pour chacun des cas les puissances actives et réactives (P_1, P_2, Q_1, Q_2) mises en jeu au niveau de l'onduleur.

C.3.2 Dire pour chacun des cas si la batterie se charge ou se décharge.

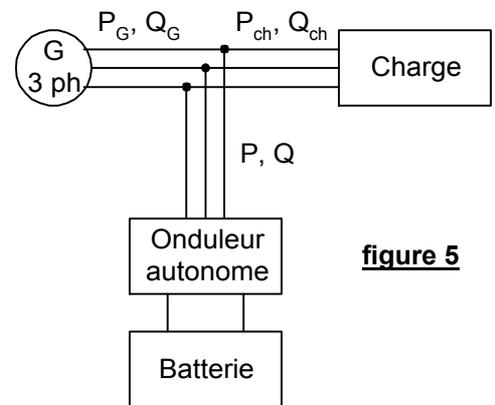
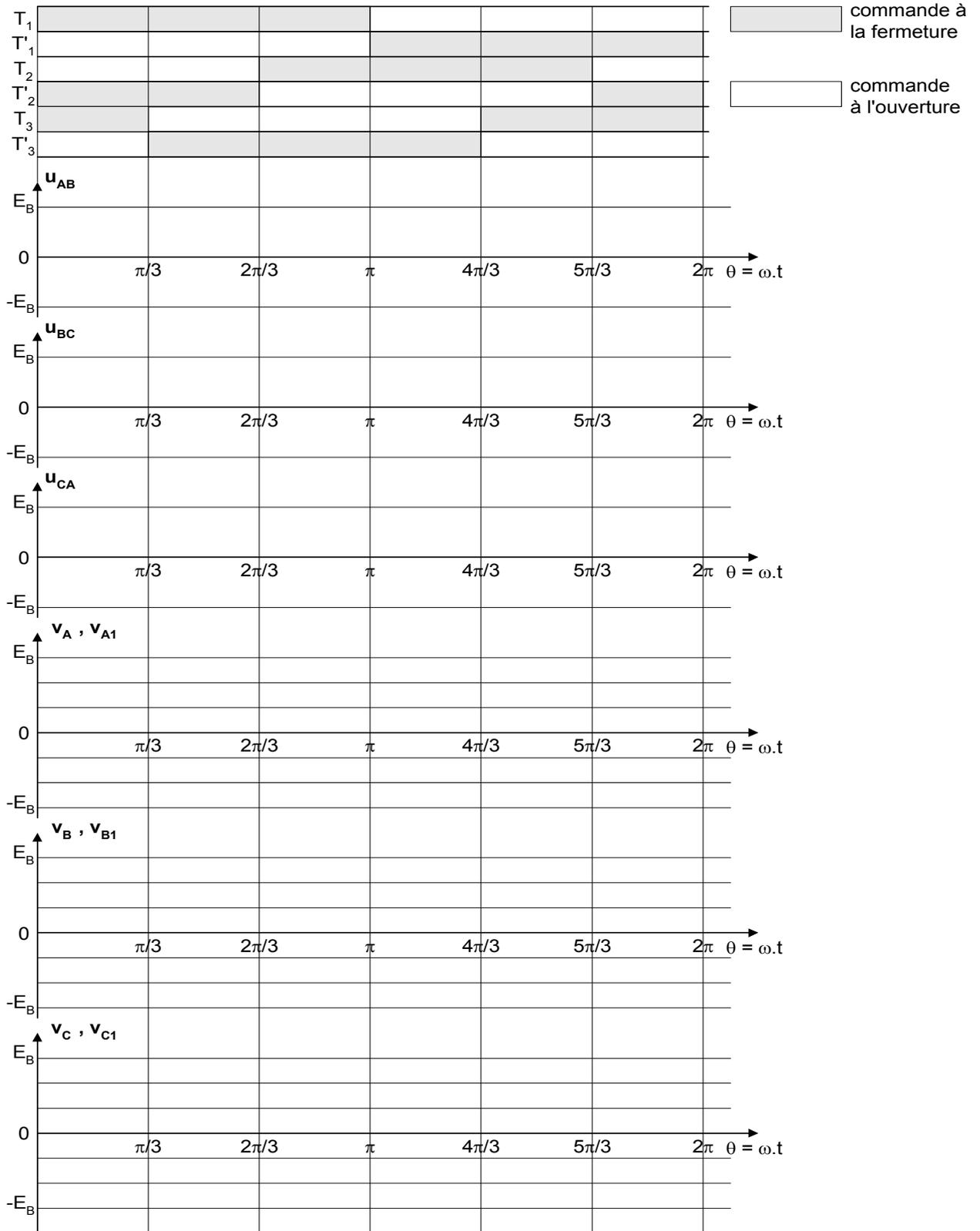


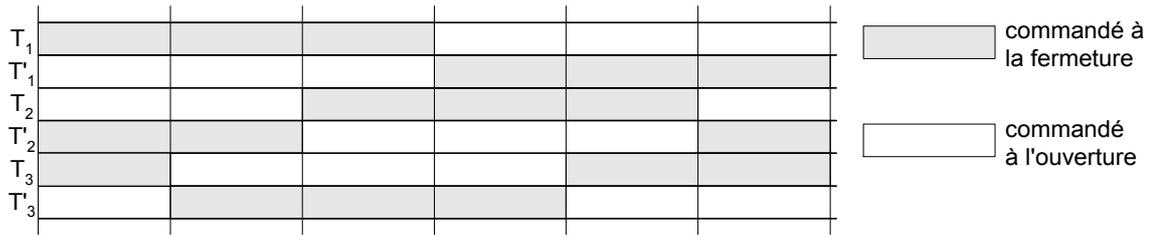
figure 5

Document réponse n°2

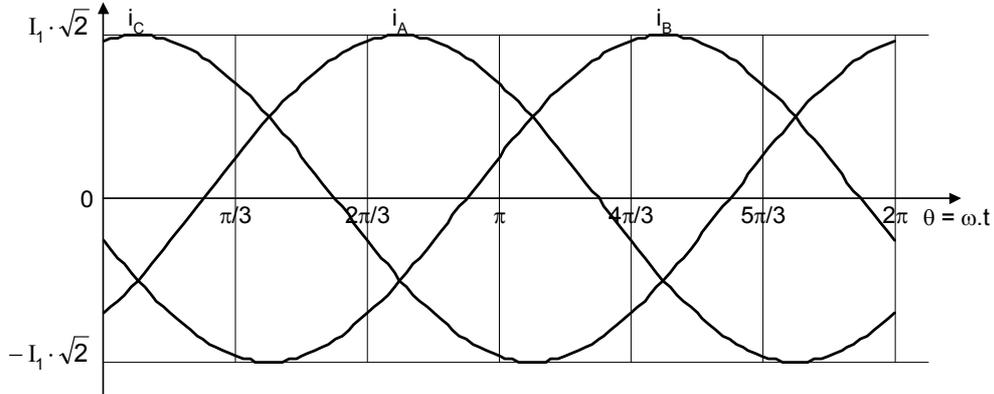
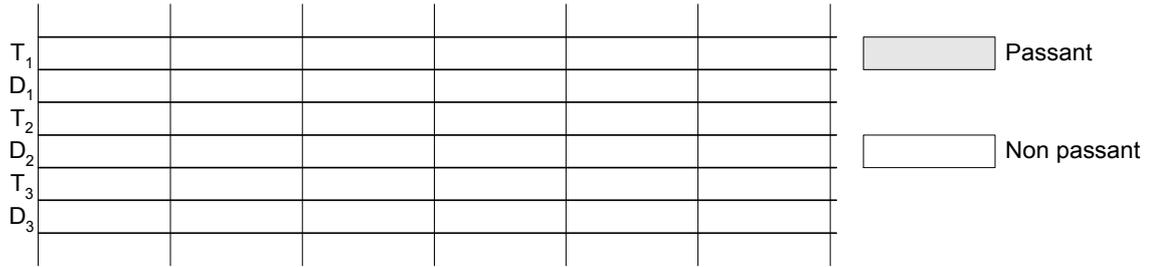
C.1 - Tensions délivrées par l'onduleur



Document réponse n°3



C.2.1 -- Séquence de conduction des éléments



C.2.2 -- Chronogramme du courant i délivré par la batterie

