



UNIVERSITÉ FRANCOIS-RABELAIS de TOURS

Institut Universitaire de Technologie

Département GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE

Thierry LEQUEU

Travaux Dirigés MC-ET3

IUT GEII - 2^{ème} année - Année 2006 / 2007



Travaux dirigés MC-ET3

IUT GEII de Tours - 2^{ième} année

Sommaire :

TD 1 - Onduleur monophasé – charge inductive	4
1.1 Tension aux bornes de la charge.....	4
1.2 Filtrage de la tension et puissance transmise.....	4
1.3 Chronogrammes de commande des interrupteurs.....	5
TD 2 - Onduleur monophasé - charge capacitive	6
2.1 Tension aux bornes de la charge (6 points).....	6
2.2 Filtrage de la tension de sortie (2,5 points)	6
2.3 Chronogramme de commande de T1 et T3 (2 points).....	7
TD 3 - Harmoniques de tension de l'onduleur.....	8
3.1 Calcul des harmoniques de $v(t)$ (6 points).....	8
3.2 Etude du filtre – Tableau 3.1 §3.4 (7 points).....	8
3.3 Ondulation de la tension de sortie – Tableau 3.2 §3.4 (7 points)	8
3.4 Tableaux réponses	9
TD 4 - Onduleur triphasé.....	10
4.1 Commande d'un onduleur en pont avec neutre reliée à la source.....	10
4.2 Commande d'un onduleur en pont sans neutre	10
4.3 Document réponse 1	11
4.4 Document réponse 2	12
TD 5 - Onduleur avec transformateur à point milieu.....	14
5.1 Conversion continu/continu et isolement galvanique.....	14
5.2 Etude du transformateur	15

TD 1 - Onduleur monophasé – charge inductive

La figure 1.1 donne le schéma de puissance d'une table de cuisson par induction. Les courants de Foucault se développent dans le fond du récipient et provoquent l'échauffement du liquide. Un tel système nécessite une alimentation électronique "haute fréquence" puisque les courants de Foucault doivent avoir une fréquence de l'ordre de quelques kHz. A partir de la tension du secteur redressée et filtrée, il est possible d'utiliser un convertisseur continu-alternatif à résonance (onduleur figure 1.1).

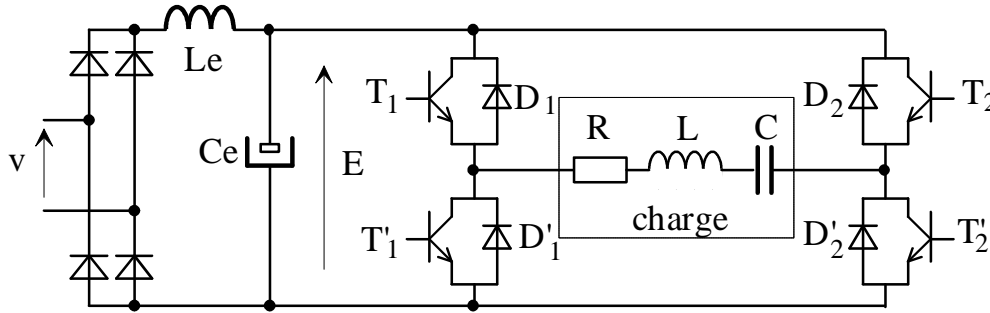


Fig. 1.1. Structure du convertisseur (dessins\ond0.drw).

Dans ce convertisseur, les interrupteurs K sont réalisés par la mise en parallèle de transistor et de diode. Les transistors sont commandés à une fréquence de découpage $F = 1/T$. Les chronogrammes de la commande sont données en annexe (§1.3).

1.1 Tension aux bornes de la charge

- a) Donner les conditions sur $(K_1; K'_1; K_2; K'_2)$ pour ne pas endommager la source de tension et pour ne pas perturber la charge inductive.
- b) On donne, sur la feuille suivante, le chronogramme de commande des transistors. Tracer $v_{CH}(t)$, la tension aux bornes de la charge (R-L-C), le courant $i_{CH}(t)$ étant sinusoïdal.
- c) Calculer la valeur efficace $V_{CH\text{eff}}$ de la tension de charge $v_{CH}(t)$ en fonction de α .
- d) Pour chaque phases de fonctionnement, indiquer sur le tableau au bas des chronogrammes les composants qui conduisent. La ligne du haut sert pour les composants du bras N° 1 (D_1, T_1, D'_1, T'_1), la ligne du bas pour les composants du bras N° 2 (D_2, T_2, D'_2, T'_2).
- e) Tracer $i_{T1}(t)$, $v_{T1}(t)$ et $i_{D2}(t)$.

1.2 Filtrage de la tension et puissance transmise

La fréquence souhaitée pour un chauffage correct est de $F = 50$ kHz. La valeur de L est fixée par le solénoïde de chauffage à $L = 20$ μ H. La puissance totale transmise est de 4 kW.

- a) Calculer la valeur du condensateur pour un fonctionnement à la fréquence propre.
- b) Montrer que la puissance active $P_{CH} = \frac{1}{T} \int v_{CH}(t) \cdot i_{CH}(t) \cdot dt$ vaut $P_{CH} = V_{\text{leff}} \cdot \frac{I}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\varphi)$.
Préciser sur le chronogramme la position de φ .
- c) Calculer la tension d'alimentation E, pour une tension du secteur $V_{\text{eff}} = 230$ V.
- d) Calculer l'amplitude du courant I pour un déphasage de $\varphi = 30^\circ$ et $\alpha = 1/3$.
- e) Calculer la tension maximale aux bornes du condensateur pour $\alpha = 1/3$.
- f) Calculer l'amplitude de l'harmonique 5 du courant de la charge.

1.3 Chronogrammes de commande des interrupteurs

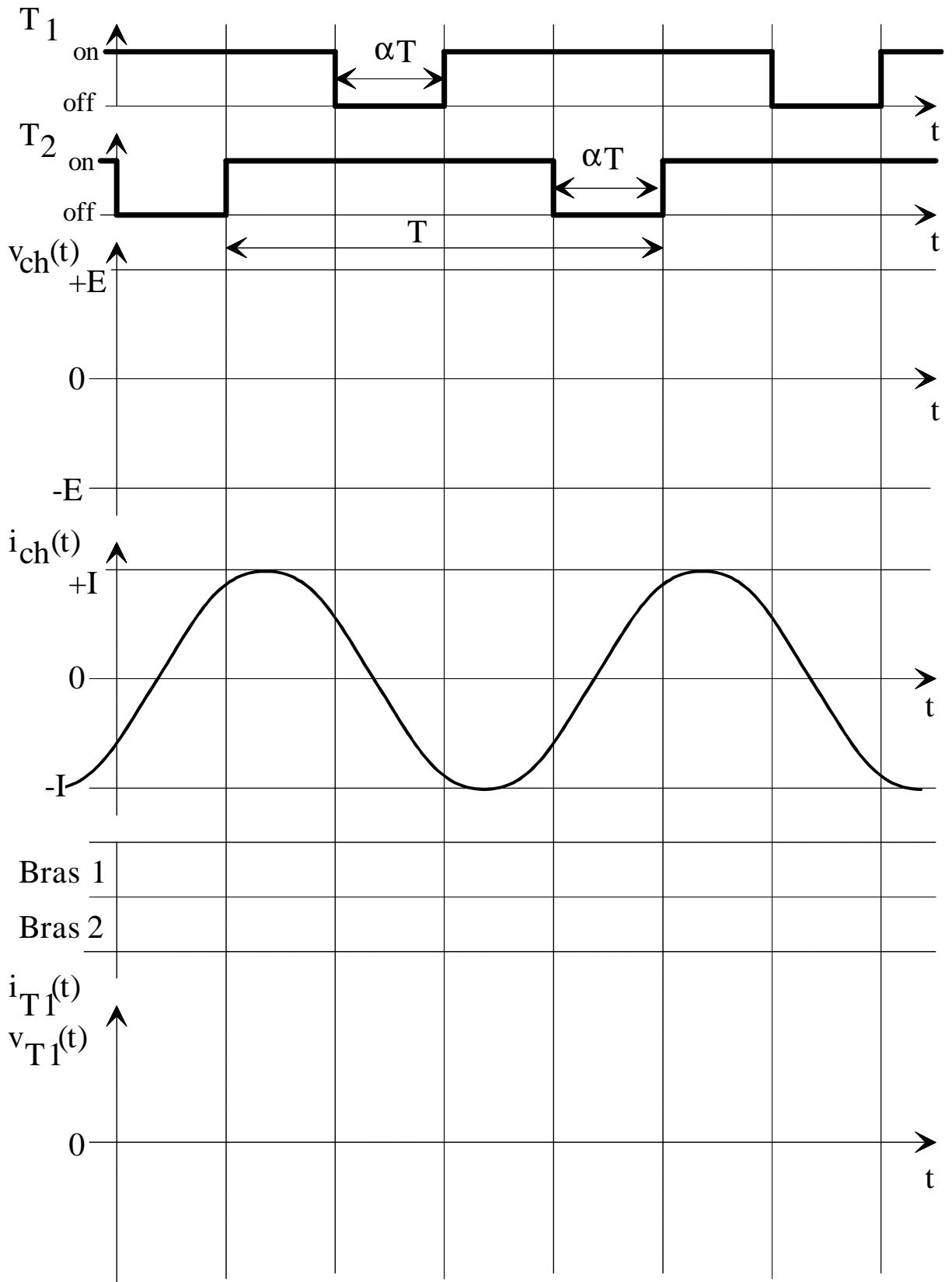


Fig. 1.2. Chronogrammes de commande (dessins\ond1.drw).

TD 2 - Onduleur monophasé - charge capacitive

Un convertisseur continu-alternatif à résonance parallèle (onduleur figure 2.1) est utilisé pour alimenter un générateur de rayon X (symbolisé par la charge R-L série). A partir de l'alimentation triphasée industrielle, la tension alternative du secteur est redressée et filtrée. L'onduleur monophasé permet la génération d'une tension sinusoïdale aux bornes de R grâce au filtre accordé L-C. Les interrupteurs $H_{1,2,3,4}$ sont composés de diodes et de transistors.

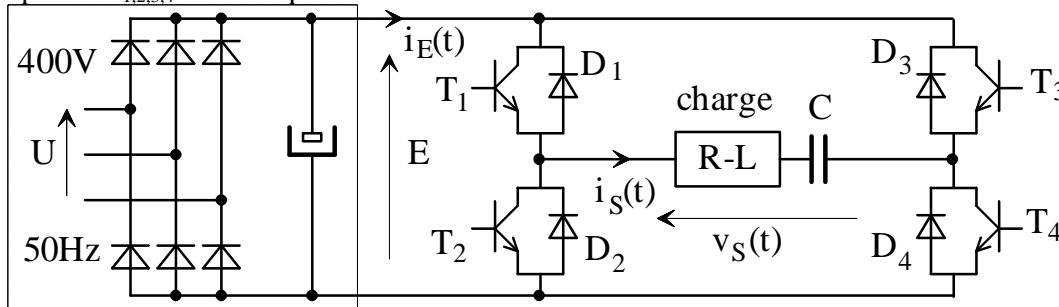


Fig. 2.1. Structure du convertisseur (dessins\ond ?? .drw).

Dans ce convertisseur, les interrupteurs sont commandés à une fréquence de découpage $F = \frac{1}{T}$. Les chronogrammes de commande des transistors T1 et T3 sont donnés en annexe §2.3.

2.1 Tension aux bornes de la charge (6 points)

- a) Donner les conditions sur H_1 , H_2 , H_3 et H_4 pour ne pas endommager la source de tension et pour ne pas perturber la charge inductive.

On donne, sur la feuille suivante, le chronogramme de commande des interrupteurs.

- b) Tracer $v_S(t)$, la tension aux bornes de la charge, $i_E(t)$, le courant $i_S(t)$ étant sinusoïdal.
- c) Pour chaque phase de fonctionnement, indiquer sur le tableau au bas des chronogrammes les composants qui conduisent. La ligne du haut sert pour les composants du bras N° 1 (D_1 , T_1 , D_2 , T_2), la ligne du bas pour les composants du bras N° 2 (D_3 , T_3 , D_4 , T_4).
- d) Donner la valeur efficace $V_{S\text{eff}}$ de la tension de charge $v_S(t)$ en fonction de β .
- e) Donner la valeur efficace $V_{S1\text{eff}}$ du fondamental de la tension $v_S(t)$ en fonction de β .
- f) Donner la valeur moyenne du courant d'entrée I_E en fonction de β .

2.2 Filtrage de la tension de sortie (2,5 points)

La fréquence souhaitée est de $F = 25$ kHz. La valeur de L est fixée par la charge à $L = 40$ μH .

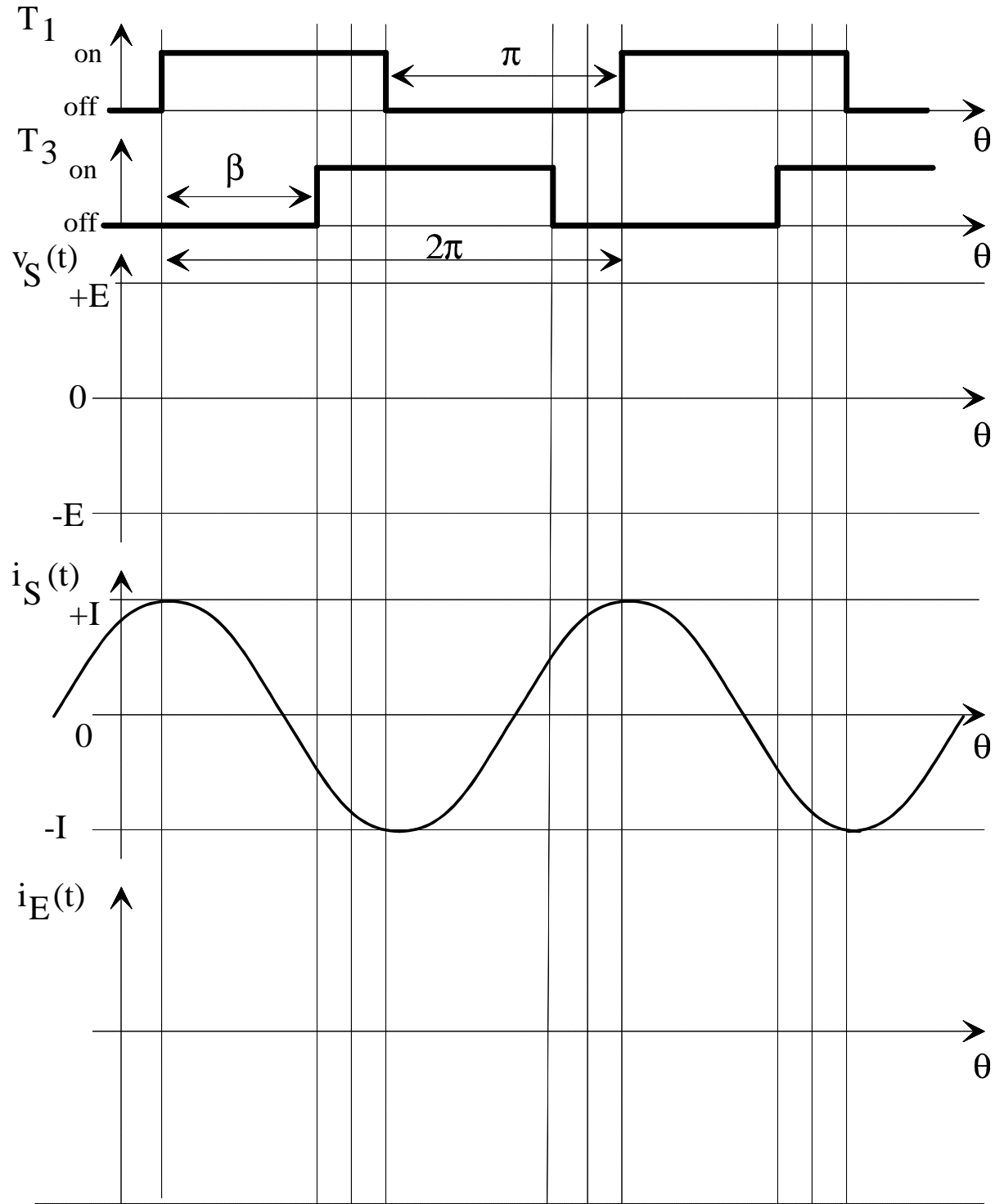
La puissance totale transmise est de 10 kW.

- a) Calculer la valeur du condensateur pour un fonctionnement à la fréquence propre.
- b) Calculer la tension d'alimentation E, puis la valeur de $V_{S1\text{eff}}$ pour $\beta = 120^\circ$.
- c) La puissance active vaut $P_C = V_{1\text{eff}} \cdot \frac{I}{\sqrt{2}} \cdot \cos(\varphi)$. Préciser sur le chronogramme la position de φ . Calculer l'amplitude du courant I pour un déphasage de $\varphi = -30^\circ$.
- d) Calculer la tension maximale aux bornes du condensateur.
- e) Calculer l'amplitude de l'harmonique 5 de la tension $v_S(t)$ et du courant de la charge $i_S(t)$.

NOM :

PRENOM :

2.3 Chronogramme de commande de T1 et T3 (2 points)



H1-2

H3-4

Fig. 2.2. Chronogramme de commande (dessins\ond3.drw).

TD 3 - Harmoniques de tension de l'onduleur

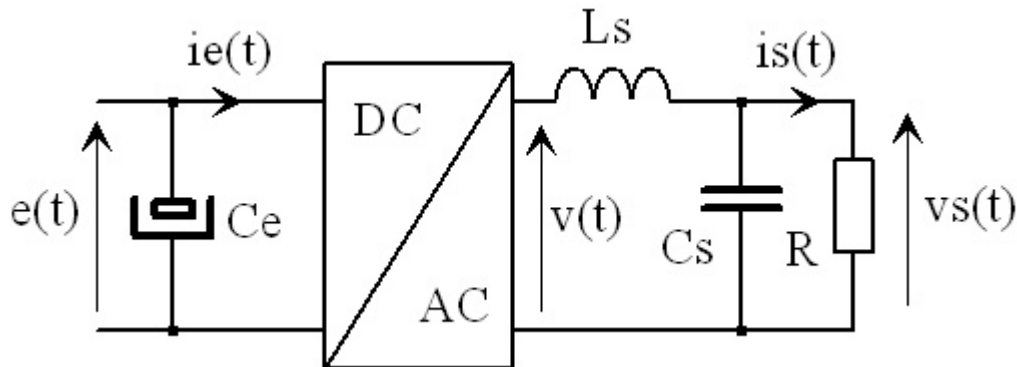


Fig. 3.1. Montage d'étude des harmoniques de $v(t)$ (dessins\dc-ac-3.drw).

3.1 Calcul des harmoniques de $v(t)$ (6 points)

L'onduleur DC-AC fonctionne avec une commande décalée $\beta = 120^\circ$, pour une fréquence de 50 Hz.

- Tracer l'évolution de $v(t)$ sur deux périodes. On prendra une fonction paire pour la tension.
- Préciser le changement d'origine des temps pour le calcul des harmoniques.

c) Retrouver l'expression
$$v(\theta) = \sum_{n=2k+1}^{\infty} \frac{4E}{n\pi} \cdot \sin\left(\frac{n\beta}{2}\right) \cdot \cos(n \cdot \theta).$$

3.2 Etude du filtre – Tableau 3.1 §3.4 (7 points)

Le filtre de sortie de l'onduleur est un filtre passe bas du deuxième ordre de type (R-L-C) avec $L_s = 10$ mH, $C_s = 400$ μ F et R variable.

a) Donner la fonction de transfert $H(p) = \frac{V_s(p)}{V(p)}$. On posera $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ et $z = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Le courant dans la résistance de charge varie de 0,1A à 5A pour une tension de sortie $V_{\text{seff}} = 230$ V.

- Calculer la plage de variation de la résistance ainsi que la plage de variation du coefficient d'amortissement z .
- Pour z mini et maxi, calculer l'atténuation du filtre pour $F = F_1 = 5$ Hz, $F = 10 F_1$ et $F = 100 F_1$.
- Tracer les diagrammes de Bode en amplitude, $G(\omega) = 20 \cdot \text{LOG}_{10}(|H(j\omega)|)$.

3.3 Ondulation de la tension de sortie – Tableau 3.2 §3.4 (7 points)

On fixe $E = 130$ V et on se place dans le cas de la faible charge (courant de 0,1 A).

- Calculer l'amplitude relative des cinq premiers harmoniques de $v(t)$.
- Calculer l'atténuation correspondante aux fréquences de ces harmoniques.
- Calculer l'amplitude de l'ondulation résiduelle de la tension de sortie $v_s(t)$.

3.4 Tableaux réponses

NOM	Prénom :
-----	----------

Tableau 3.1. Etude du filtre.

I_{charge} , en A	0,1	2,5	5
R (en Ω)			
z			
$ H(j\omega_1) $			
$ H(10j\omega_1) $			
$ H(j\omega_0) $			
$ H(100j\omega_1) $			
$G(j\omega_1)$ en dB			
$G(10j\omega_1)$ en dB			
$G(j\omega_0)$ en dB			
$G(100j\omega_1)$ en dB			

Tableau 3.2. Ondulation de la tension de sortie.

Rang n	1	3	5	7	9
F_n en Hz					
V_n en V					
$ H(j\omega_n) $					
$G(j\omega_n)$ en dB					
V_{s_n} en V					

TD 4 - Onduleur triphasé

4.1 Commande d'un onduleur en pont avec neutre reliée à la source

On peut réaliser un onduleur triphasé en groupant trois onduleurs monophasés. Si la charge triphasée comporte une connexion de neutre accessible, chaque phase est alors une charge monophasée entre phase et neutre. Un groupement de trois structures onduleur symétrique avec une source à point milieu est présenté sur la figure 4.2.

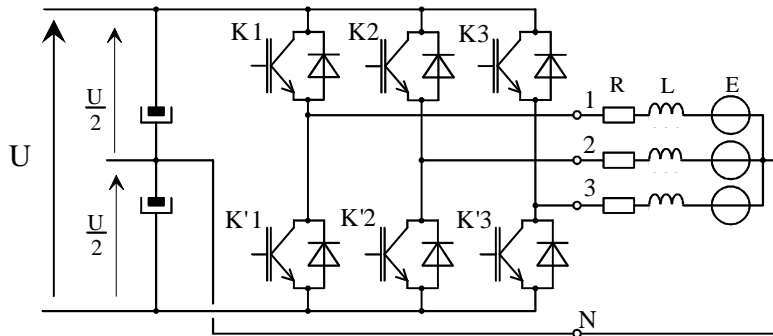


Fig. 4.2. Onduleur avec neutre relié (dessins\tri4.drw).

Chaque tension simple vaut soit $v_x(t) = +\frac{U}{2}$, soit $v_x(t) = -\frac{U}{2}$.

- a) Tracer l'allure des tensions simples pour une commande pleine onde (décalage de 120° et 240°) sur le document réponse 1.
- b) Tracer l'allure des tensions composées pour la commande pleine onde.

4.2 Commande d'un onduleur en pont sans neutre

La connexion du neutre n'est pas obligatoire (figure 4.3). Ne pas relier le neutre permet de supprimer les harmoniques de courant de 3 dans la charge (le moteur triphasé).

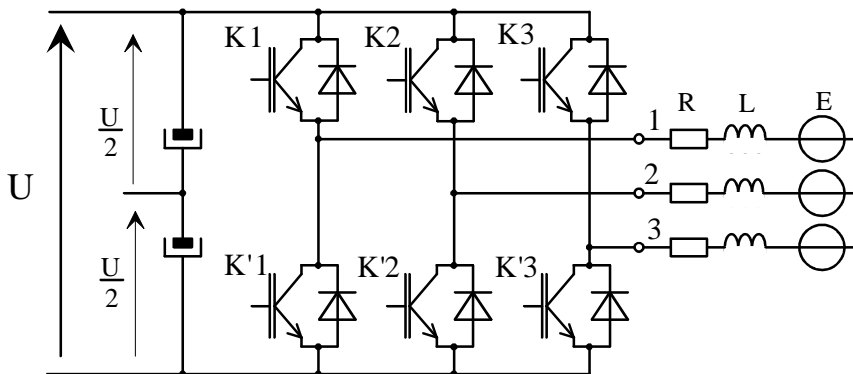
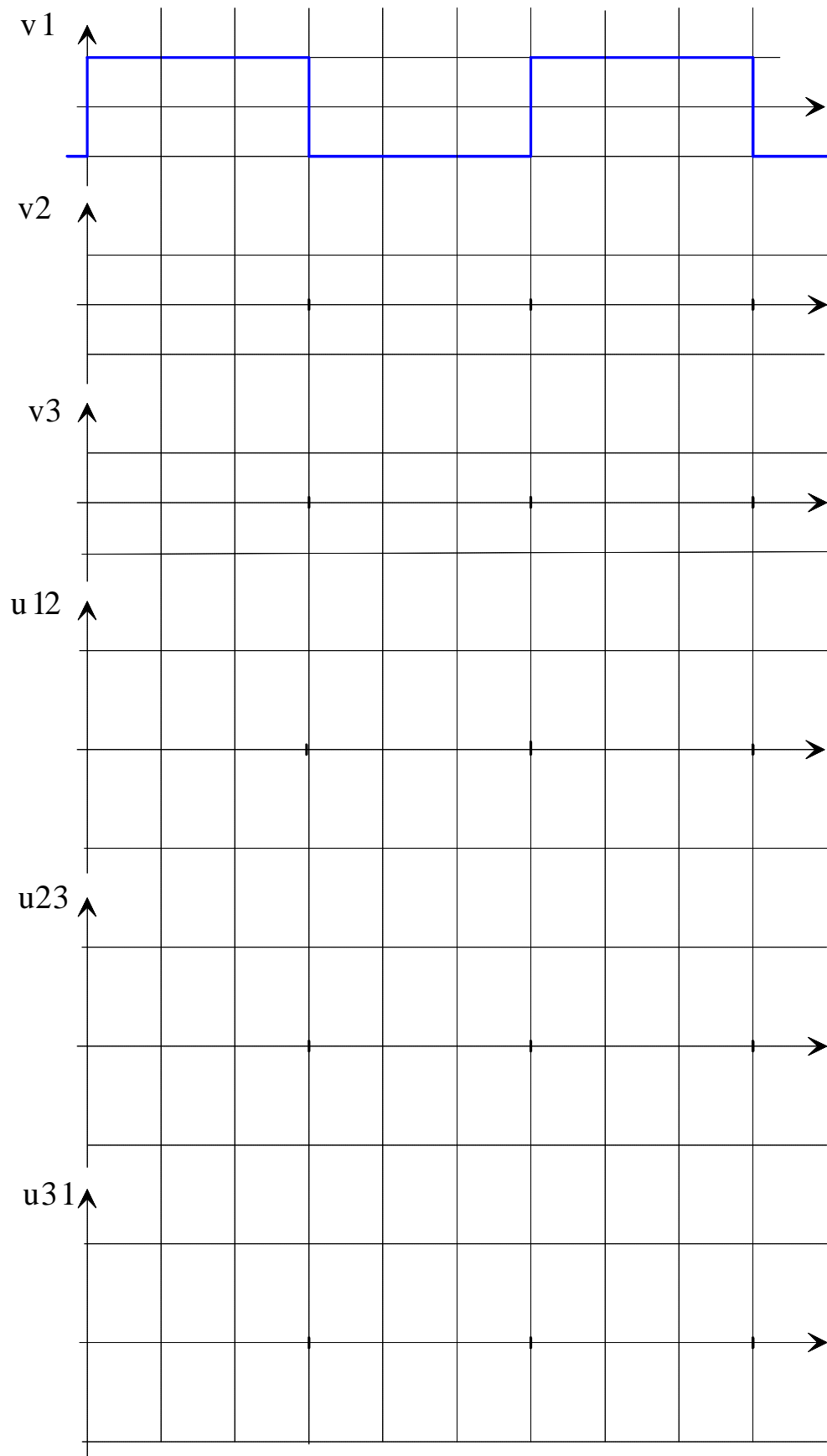


Fig. 4.3. Onduleur triphasé sans neutre (dessins\tri5.drw).

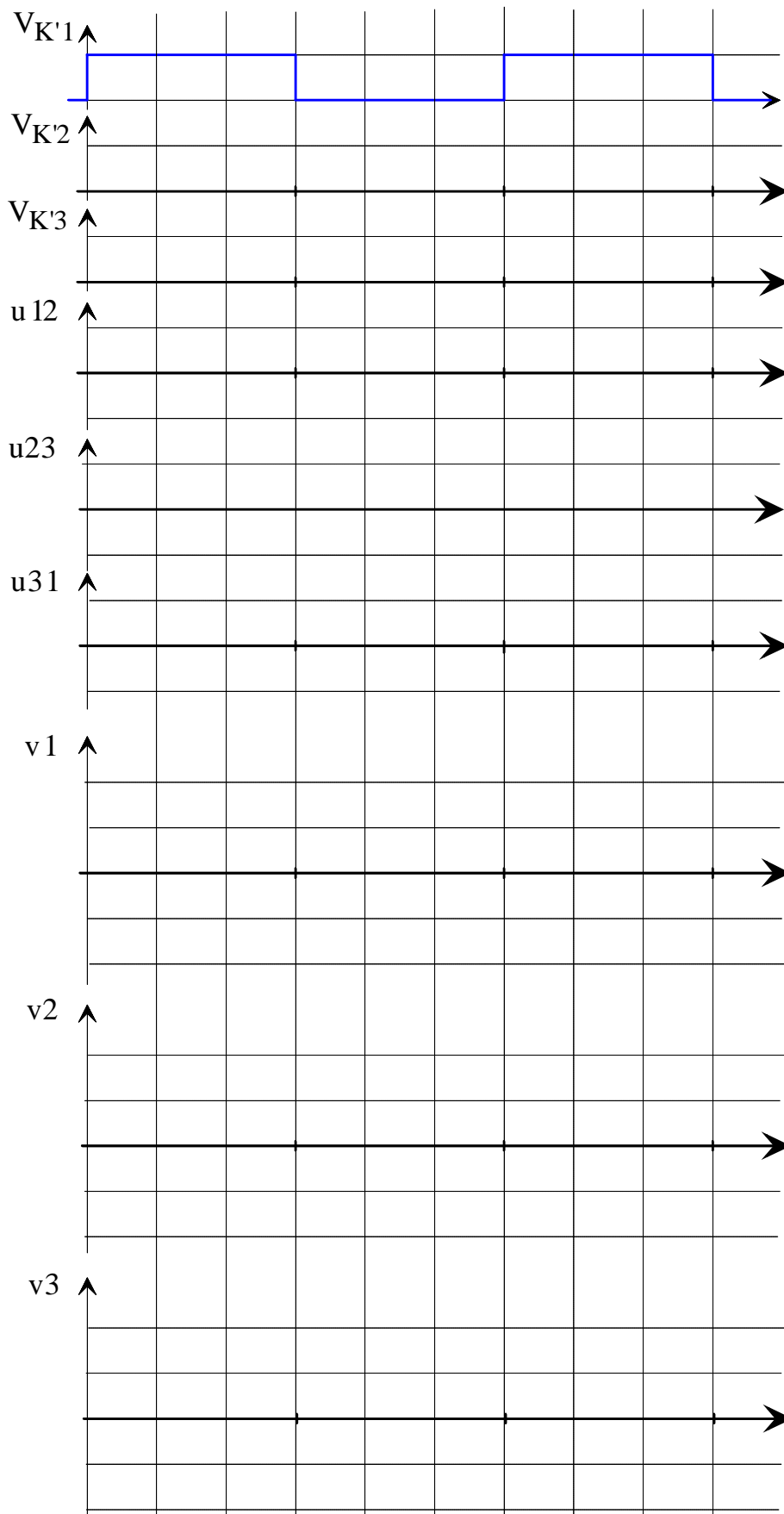
Cette fois l'onduleur impose les tensions entre phases $[u_{12}(t) ; u_{23}(t) ; u_{31}(t)]$. On utilise les tensions des bras de pont pour définir les tensions composées. En effet, les commandes de K1 et de K'1 sont complémentaires et lorsque K1 est ON, $V_{K'1} = +E$ et lorsque K1 est OFF $V_{K'1} = 0$.

- a) Tracer l'allure des tensions composées pour une commande pleine onde (décalage de 120° et 240°) sur le document réponse 2.
- b) En déduire l'allure des tensions simple pour la commande pleine onde.

4.3 Document réponse 1



4.4 Document réponse 2



TD 5 - Onduleur avec transformateur à point milieu

Issue du rapport de jury de concours "AGREGATION externe 1991", épreuve de 8 heures.

5.1 Conversion continu/continu et isolement galvanique

Les tensions symétriques +8V et -8V sont obtenues à partir du convertisseur suivant..

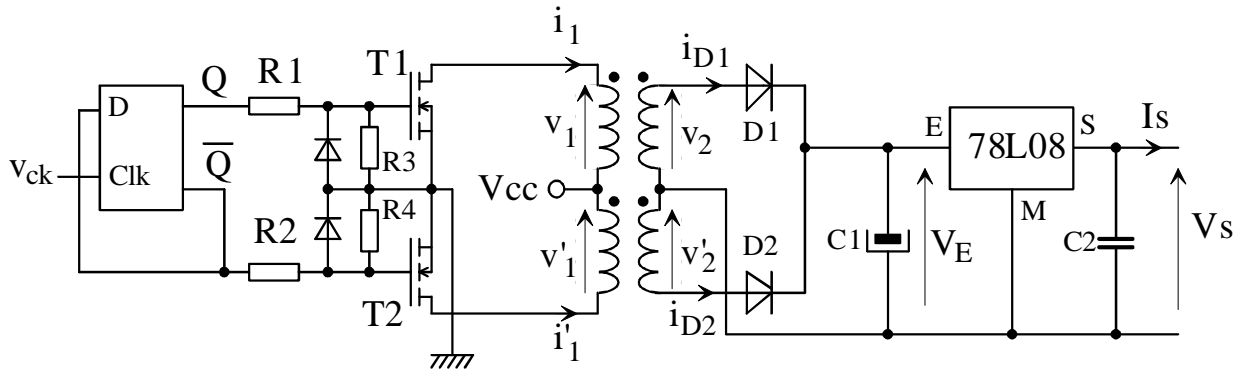


Fig. 5.4. Convertisseur DC-DC isolé (dessins\agreg1.drw).

On donne :

- la bascule D, référence 74HC74, commandée par front positif et alimentée en +5V, est attaquée par un signal v_{ck} de fréquence $F = 40 \text{ kHz}$;
- les deux transistors T_1 et T_2 sont des transistors MOS canal N à enrichissement. On suppose qu'ils se comportent comme des interrupteurs parfaits et on néglige les temps de commutation ;
- les deux bobinages primaires du transformateur comportent chacun N_1 spires et les deux bobinages secondaires N_2 spires ;
- la tension directe des diodes D_1 et D_2 vaut $E_0 = 0,4\text{V}$ à l'état passant ;
- le régulateur 78L08 a pour caractéristiques principales :
courant de sortie max. : 250 mA,
tension de sortie nominale : $8\text{V} \pm 0,4 \text{ V}$,
tension d'entrée min./max. : 10/35 V ;
- le courant de sortie $I_s = 150 \text{ mA}$ est supposé constant ;
- la tension d'alimentation est $V_{cc} = +13\text{V}$.

Le fonctionnement en régime linéaire du transformateur est décrit par les équations suivantes :

$$v_1(t) = v'_1(t) = N_1 \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} ; v_2(t) = v'_2(t) = N_2 \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} ; N_1 \cdot (i_1 - i'_1) - N_2 \cdot (i_{D1} - i_{D2}) = 0$$

avec Φ le flux dans le circuit magnétique du transformateur.

a) Tracer et justifier l'allure, en régime établi, des chronogrammes des grandeurs électriques suivantes :

v_{ck} , v_Q , v_1 , v'_1 , i_1 , i'_1 , v_2 , v'_2 , i_{D1} , i_{D2} , V_E , Φ .

b) Proposer une valeur du rapport $\frac{N_2}{N_1}$ permettant d'assurer les performances souhaitées du montage.

5.2 Etude du transformateur

Afin de tenir compte de la réluctance du circuit magnétique, on introduit les courants à vide dans chaque bobinage primaire du transformateur i_{1v} et i'_{1v} . On néglige :

- les pertes par effet joules dans les enroulements et les fuites magnétiques ;
- les pertes par hystérésis et courant de Foucault dans le circuit magnétique.

La prise en compte de la réluctance du circuit magnétique conduit au modèle électrique équivalent de la figure 5.5 pour chaque demi-enroulement.

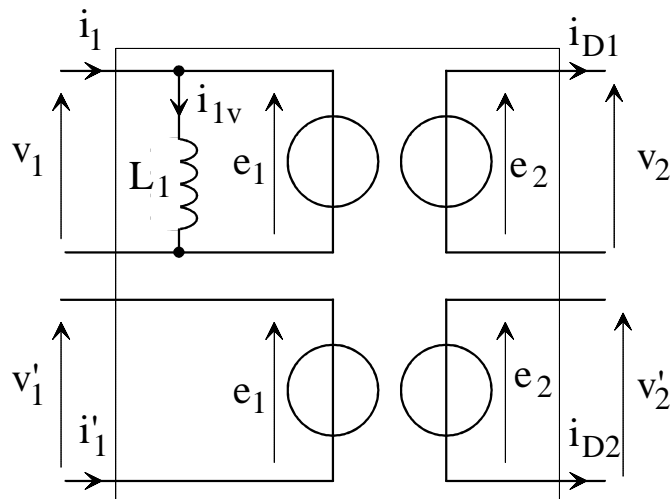


Fig. 5.5. Modèle équivalent (dessins\agreg1.drw).

- a) Redéfinir les équations régissant le fonctionnement du transformateur.
- b) Reprendre et justifier l'allure des chronogrammes précédents en fonction de ces nouvelles équations.

