

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued



FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Génie Électrique

Spécialité: Contrôle et Diagnostic des Systèmes Électriques

Thème

**Étude de la conversion DC/DC
(HACHEUR)**

présenté par:

Naoui mohammed seghir

Dadda Abdelkader

Djouadi Heithem

Dirigé par:

Mlle: Slimane Wissem

Soutenu le : 2015

Remerciement

Avant tout nous allons prendre remerciement à notre Dieu, de nous avoir donné la force et le courage.

Ayant conduit à terme et dans les délais prévus ce mémoire de fin d'étude, je tiens à adresser nos vifs remerciement à :

Nos parents et toutes nos familles qui nous ont vivement encouragés jusqu'à la fin de mémoire et pour leur soutien moralement et financièrement.

Notre enseignante encadreur mademoiselle : Slimane Wissem pour son assistance et ses bonnes directives.

Nos amis et toutes les personnes qui de près ou de loin, ont contribué à l'atteinte de notre étude.

Dédicace

*A nos chers parents, nos frères et nos sœurs,
aussi à tous nos camarades promotion 2014/5015,
nos amis et toutes les personnes qui nous ont
donné la main de l'aide.*

*Nous n'oublierons l'enseignante encadreur
Mlle: Slímane Wissem.*

Table de figure

Figure	page
Figure I.1 : schéma générale d'un hacheur série	01
Figure I.2: schéma de simulation de convertisseur buck	02
Figure I.3 :schéma de hacheur série avec charge résistive	02
FIGURE I.4: Allure de courant du charge R d'un hacheur série	03
FIGURE I.5 : allure de tension du charge R d'un hacheur série	04
Figure I.6 : allure de courant traverse à l'interrupteur d'un hacheur série charge R	04
Figure I.7 : allure de tension aux bornes de l'interrupteur H d'un hacheur série charge R	04
Figure I.8: schéma de hacheur série avec charge R -L	05
FIGURE I.9: allure de courant du charge R L d'un hacheur série	06
FIGURE I.10: allure de tension du chargeR L d'un hacheur série	07
Figure I.11: allure de courant traverse à l'interrupteur H d'un hacheur série avec charge R L	07
Figure I.12: allure de tension aux bornes de l'interrupteur H d'un hacheur série avec charge R L	07
Figure I.13 :schéma de hacheur série avec charge R-L-E	08
Figure I.14: allure de courant du charge R L E d'un hacheur série	09
Figure I.15 :allure de tension du charge R L E d'un hacheur série	10
Figure I.16: allure de courant traverse à l'interrupteur d'un hacheur série avec charge R L E	10
Figure I.17: allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur série avec charge R L E	11
Figure I.18: schéma de simulation de convertisseur boost	11
FIGURE I.19: hacheur parallèle avec charge R	12
FIGURE I.20: Courant aux bornes de la charge R d'un hacheur parallèle	13
FIGURE I.21: tension aux bornes de la charge R d'un hacheur parallèle	13

FIGURE I.22: tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur parallèle avec charge R	14
FIGURE I.23: Allure de courant traverse de l'interrupteur d'un hacheur parallèle avec charge R	14
FIGURE I.24: schéma de simulation de hacheur à accumulation inductive	15
FIGURE I.25: schéma de hacheur à stockage inductif	15
FIGURE I.26: Tension aux bornes de la charge R d'un hacheur à stockage inductif	16
FIGURE I.27: Allure du courant de charge R d'un hacheur à stockage inductif	17
FIGURE I.28: allure de courant traversant l'interrupteur d'un hacheur à stockage inductif charge R	17
FIGURE I.29: allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur à stockage inductif charge R	17
FIGURE II.1: schéma de simulation de hacheur réversible en courant	19
FIGURE II.2 : schéma de principe de hacheur deux quadrant(réversible en courant)	19
FIGURE II.3: allure de courant de la charge R L E d'un hacheur réversible en courant	21
FIGURE II.4: allure de tension aux bornes de la charge d'un hacheur réversible en courant	21
FIGURE II.5: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur réversible en courant charge R L E	22
FIGURE II.6: allure de courant traverse à l'interrupteur H d'un hacheur réversible en courant charge R L E	22
FIGURE II.7: allure de courant traverse à l'interrupteur H' d'un hacheur réversible en courant charge R L E	22
FIGURE II.8: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur H' d'un hacheur réversible en courant charge R L E	23
FIGURE II.9: schéma de simulation de hacheur réversible en tension	23
FIGURE II.10: schéma de principe de hacheur réversible en tension	24
FIGURE II.11: Allure de courant de la charge d'un hacheur réversible en tension	26
FIGURE II.12: Allure de tension aux bornes de la charge d'un hacheur réversible en tension	26
FIGURE II.13: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension	27
FIGURE II.14: Allure de courant traverse à l'interrupteur H l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension	27

FIGURE II.15: Allure de courant de traverse de l'interrupteur H' l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension	27
FIGURE II.16: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur H' l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension	28
FIGURE II.17: schéma de simulation de hacheur quatre quadrants	28
FIGURE II.18: schéma de principe de hacheur quatre quadrant	29
FIGURE II.19: Allure de courant de la charge d'un hacheur 4 quadrants	30
FIGURE II.20: allure de tension de la charge d'un hacheur 4 quadrants	31
FIGURE II.21: Allure de courant traverse à l'interrupteur H1 et H2' d'un hacheur 4 quadrants charge R L E	31
FIGURE II.22: Allure de tension aux bornes des interrupteurs H1 et H '2 d'un hacheur 4 quadrants charge R L E	31
FIGURE II.23: Allure de courant traverse à les interrupteurs H'1 et H2 d'un hacheur 4 quadrants charge R L E	32
FIGURE II.24: Allure de tension aux bornes des interrupteurs H'1 et H2 d'un hacheur 4 quadrants charge R L E	32

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Table de figures

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre I : Hacheur non réversible

I.1 Introduction.....	01
I.2 Hacheur à liaison direct.....	01
I.2.1 Hacheur série (dévolteur)	01
I.2.1.1 Définition.....	01
I.2.1.2 Schéma du montage.....	01
I.2.1.3 Schéma de simulation.....	02
I.2.1.4 Charge résistive.....	02
I.2.1.5 Charge R-L.....	05
I.2.1.6 Charge R-L-E.....	08
I.2.2 Hacheur parallèle.....	11
I.2.2.1 Schéma de simulation.....	11
I.2.2.2 Charge résistive.....	12
I.3 Hacheur à liaison indirect.....	14
I.3.1 Hacheurs à stockage inductif ou BUCK-BOOST.....	14
I.3.1 Schéma de simulation.....	14
I.3.2 Charge résistive.....	15
I.4 conclusion	18

Chapitre II : Hacheurs réversibles

II.1 Introduction.....	19
II.2 Hacheur à deux quadrants.....	19
II.2.1 Réversible en courant.....	19
II.2.1.1 Schéma de simulation.....	19
II.2.1.2 Charge R L E.....	20
II.2.2 hacheur réversible en tension.....	23
II.2.2 .1 Schéma de simulation.....	23
II.2.2.2 Charge R L E.....	24
II.3 Hacheur quatre quadrants.....	29
II.3.1 Schéma de simulation.....	29
II.3.2 charge R L E.....	29
II.4 Conclusion.....	32

Conclusion Générale**Bibliographie**

Introduction Générale :

Le hacheur est un convertisseur statique direct de type continu – continu. il permet d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une tension continue fixe (batterie d'accumulateur, un réseau alternatif redressé et filtré, une alimentation stabilisée...).

Ils sont utilisés pour la variation et freinage de vitesse des moteurs à courant continu, en plus faible puissance. Ils sont un élément essentiel des alimentations à découpages : chargeur de batterie, contrôle de machine à courant continu, contrôle de la tension d'entrée d'un onduleur, chauffage par induction. Il existe deux catégories de hacheur : réversible et non réversible.

Dans notre mémoire nous allons étudier quelques types de hacheurs réversibles et non réversibles ce qui donnera la structure du mémoire qui suit :

- ✚ Introduction générale
- ✚ Chapitre I : les hacheurs non réversibles : nous allons aborder les hacheurs série débitant sur différentes charges ohmique, inductive et active, hacheurs parallèle ainsi que les hacheurs à stockage (accumulation) inductif. Pour chaque type de hacheur nous donnerons le montage de simulation, les résultats obtenus et les chronogrammes de fonctionnement.
- ✚ Chapitre II : les hacheurs réversibles : dans ce chapitre nous allons aborder les hacheurs réversibles en courant, en tension et enfin les hacheurs en quatre quadrants (réversibles en tension et en courant). Comme le chapitre précédent, pour chaque type de hacheur nous allons donner le montage de simulation, les résultats obtenus et les chronogrammes de fonctionnement.
- ✚ Enfin nous terminerons par une conclusion générale.

CHAPITRE I :

Hacheur Non Révérvible

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons étudier quelques hacheurs non réversibles qui se dévisent en deux catégories : à liaison directe et indirecte.

En premier lieu nous verrons le hacheur série, parallèle, à stockage d'énergie (le hacheur à accumulation inductive). Pour chaque type nous présenterons le principe de fonctionnement, les montages de simulations, les résultats obtenus, pour différents types de charge.

I.2 Hacheur à liaison direct:

I.2.1 Hacheur série (dévolteur):

I.2.1.1 Définition :

Ce nom est lié au fait que la tension moyenne de sortie est inférieure à celle de l'entrée. Il comporte un interrupteur à amorçage et blocage commandés 'transistor bipolaire, transistor MOS ou IGBT...' et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés 'diode'. Le schéma du hacheur série est donné par la figure 2.

I.2.1.2 Schéma du montage:

Il est constitué par un interrupteur, mis en série avec la source et une diode de récupération qui vient en parallèle sur la charge.

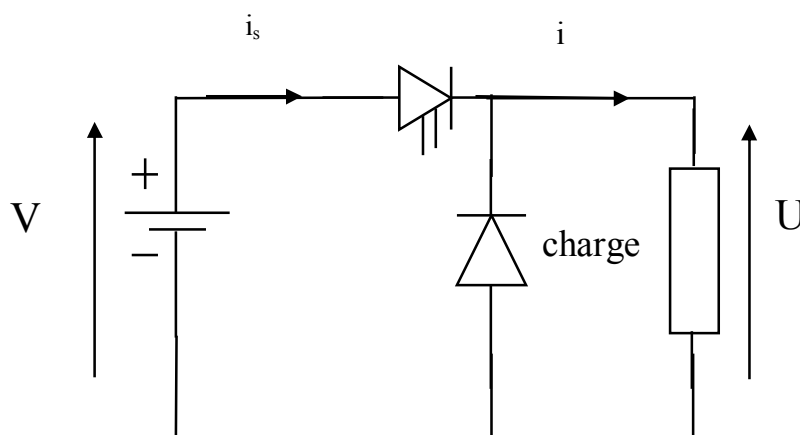


Figure I.1 : schéma générale d'un hacheur série

I.2.1.3 Schéma de simulation:

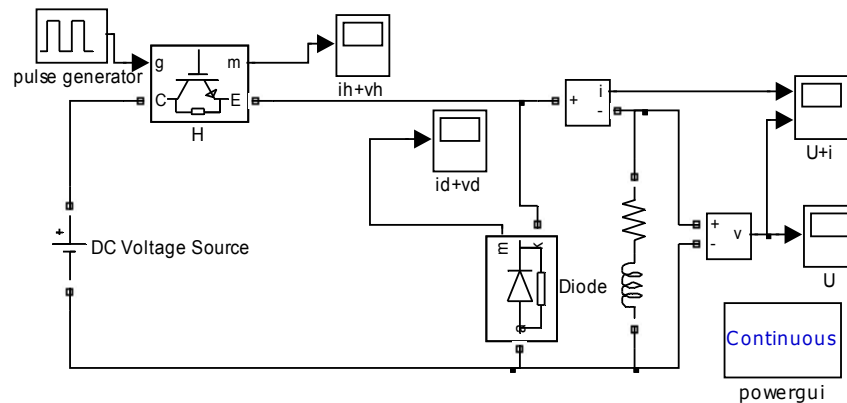


Figure I.2: schéma de simulation de convertisseur buck

I.1.2.1.4 Charge résistive :

I.1.2.1.4.1 Schéma de principe :

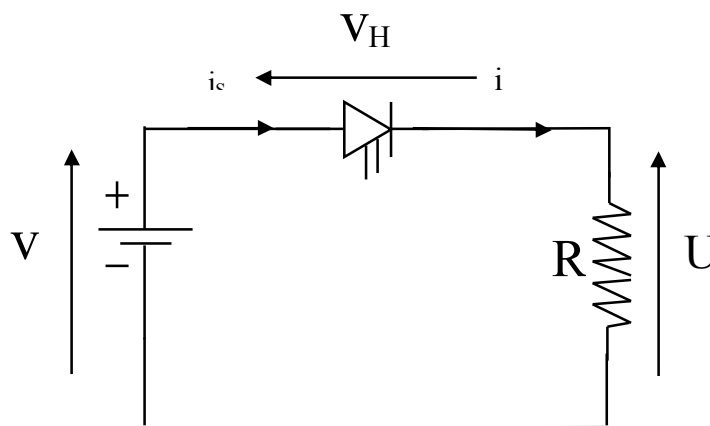


Figure I.3 :schéma de hacheur série avec charge résistive

Equation du circuit :

$$V = V_H + U \quad ; U = R.i$$

I.1.2.1.4.2 Analyse de fonctionnement:

- $t \in [0, \alpha T]$: H fermé (passant) .

$$U = V = R \cdot i \quad ; \quad V_H = 0$$

alors : $i = i_s = \frac{V}{R}$

- **$t \in [\alpha T, T]$** : H ouvert (bloqué) .

$$U = 0 \quad ; \quad V_H = V$$

alors : $i = 0$

- la valeur moyenne de la tension au bornes de la charge:

$$U_{\text{moy}} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} V dt = \frac{V}{T} (\alpha T - 0) = \alpha V$$

$$U_{\text{moy}} = \alpha V$$

$$I_{\text{moy}} = U_{\text{moy}}/R = \alpha V/R$$

On appelle α la rapport cyclique

➤ **Définition de la rapport cyclique:**

On peut définir comme le temps t pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T , soit:

$$\alpha = t_{\text{on}}/T$$

Avec: $T = t_{\text{on}} + t_{\text{off}}$

Le rapport cyclique est compris entre 0 et 1 donc la tension de sortie U est nécessairement inférieure à la tension d'entrée V (montage dévolteur).

I.1.2.1.4.3 Chronogrammes:

On pose :

$$R = 25 \, \Omega \quad ; \quad V = 50 \, \text{V} \quad ; \quad T = 0.01 \, \text{s} \quad ; \quad \alpha = 0.5$$

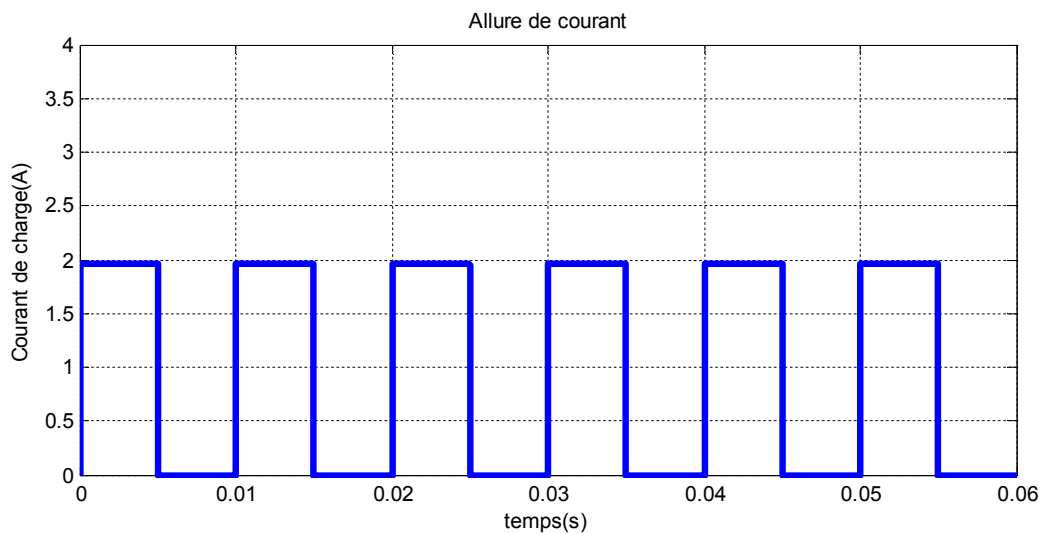


FIGURE I.4: Allure de courant du charge R d'un hacheur série

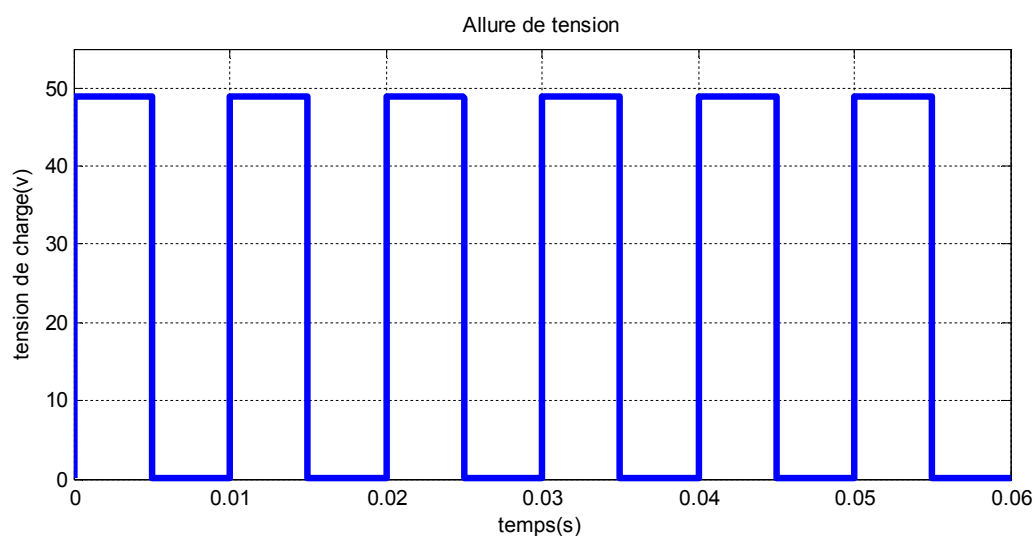


FIGURE I.5 : allure de tension du charge R d'un hacheur série

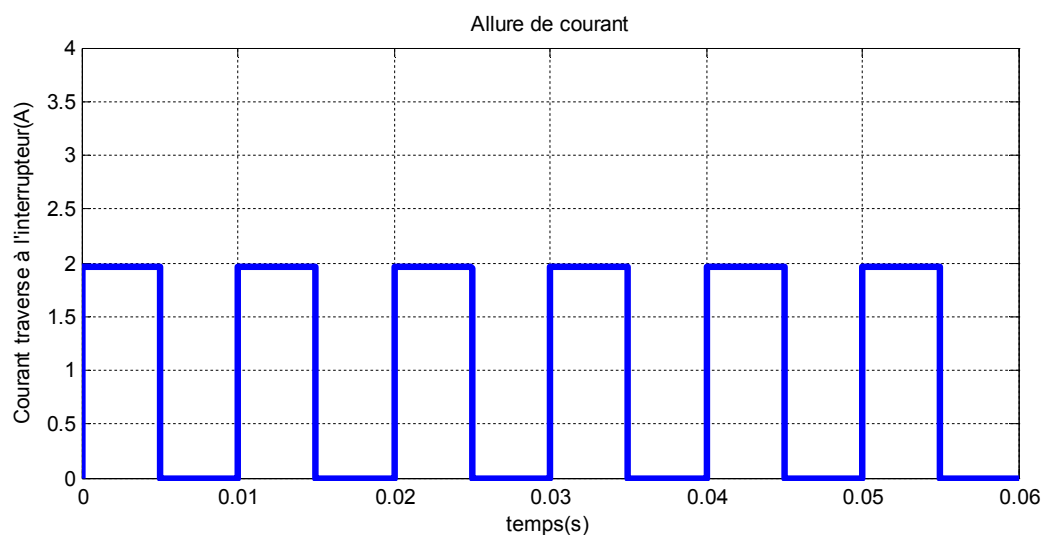


Figure I.6 : allure de courant traverse à l'interrupteur d'un hacheur série charge R

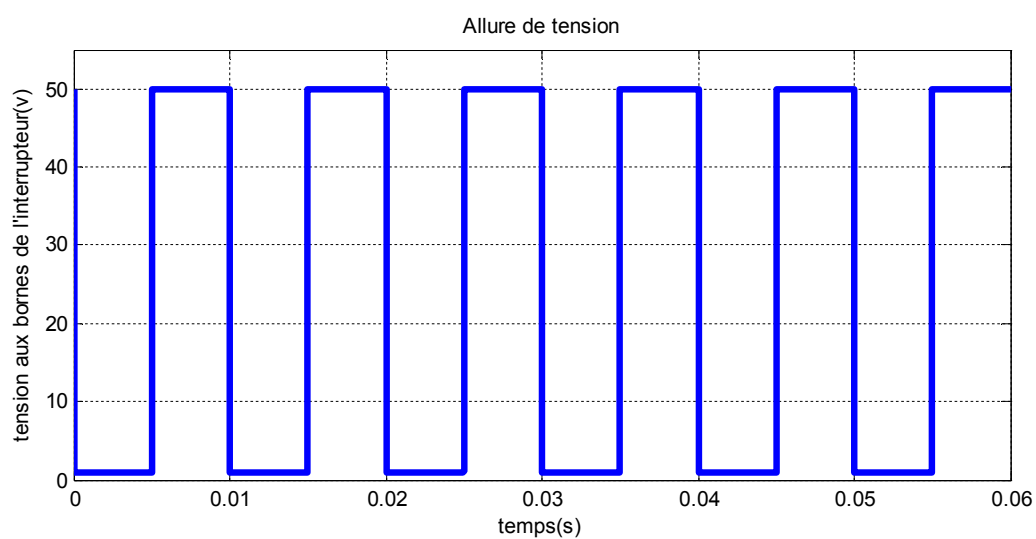
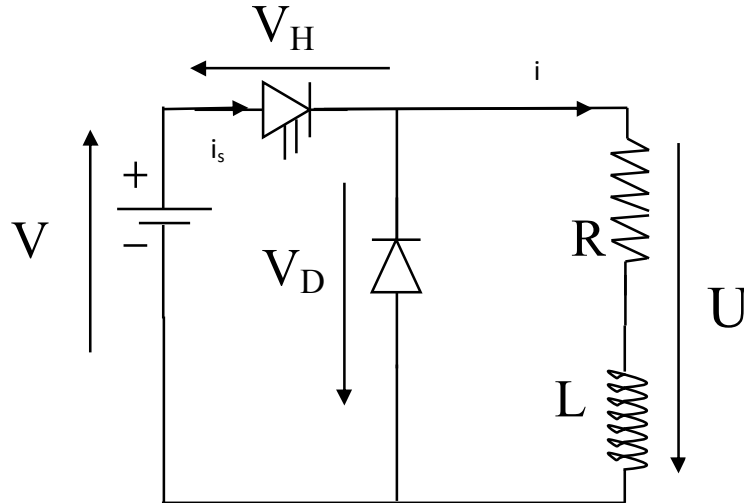


Figure I.7 : allure de tension aux bornes de l'interrupteur H d'un hacheur série charge R

I.1.2.1.5 Charge R-L :**I.1.2.1.5.1 Schéma de montage :****Figure I.8: schéma de hacheur série avec charge R -L**

Equation du circuit :

$$V = V_H + U ; \quad U = Ri + L \frac{di}{dt}$$

I.1.2.1.5.2 Analyse du fonctionnement

- **$t \in [0, \alpha T]$** : H fermé (passant) ; diode ouvert(bloqué)

$$V_H = 0 ; U = V ; i = i_s = i_h$$

$$V_D = V ; i_D = 0$$

Donc:

$$U = L \frac{di}{dt} + Ri = V$$

$$\text{Alors } L \frac{di}{dt} + Ri = V$$

cette relation est une équation différentielle de 1^{er} ordre avec second membre dont la solution

peut se mettre sous la form : $A + Be^{-\frac{t}{\tau}}$

$$i(0) = I_{\min} = A + B$$

$$i(\infty) = \frac{V}{R} = A$$

$$\rightarrow B = I_{\min} - A = I_{\min} - \frac{V}{R}$$

$$\text{Donc } i = \frac{V}{R} + (I_{\min} - \frac{V}{R}) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- **$t \in [\alpha T, T]$** : H ouvert (bloqué) ; diode: fermé

$$V_H = V$$

$$U = L \frac{di}{dt} + Ri = 0 \quad \text{une équation différentielle de 1^{er} ordre}$$

La solution sous la forme : $A + Be^{-\frac{t}{\tau}}$

$$i(0) = A + B = I_{\max}$$

$$i(\infty) = A = 0 \rightarrow B = I_{\max}$$

$$i = I_{\max} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

- **la valeur moyenne de la tension :**

la loi de maille permet d'écrire la relation suivante:

$$U = U_R + U_L$$

On peut donc écrire : $U_{\text{moy}} = U_{R\text{moy}} + U_{L\text{moy}}$

De plus, en régime périodique la valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine parfaite est toujours nulle et d'autre part $U_R = Ri$

La relation devient donc : $U_{\text{moy}} = Ri_{\text{moy}}$

- **La valeur moyenne du courant i:**

$$i_{\text{moy}} = U_{\text{moy}}/R = \alpha V/R$$

remarque :

si l'inductance est suffisamment grande, le courant sera forcément lisse (i constant)

L1.2.1.5.3 Chronogrammes:

Pour : $V = 100\text{V}$; $R = 50 \Omega$; $T = 0.0001 \text{ s}$

$L = 0.001 \text{ H}$; $\alpha = 0.5$

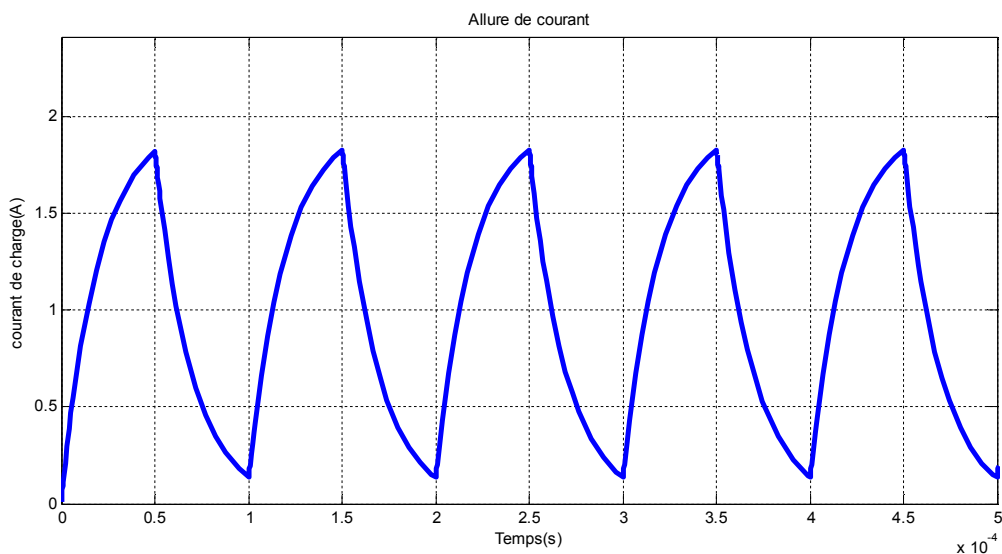


FIGURE I.9: allure de courant du charge R L d'un hacheur série

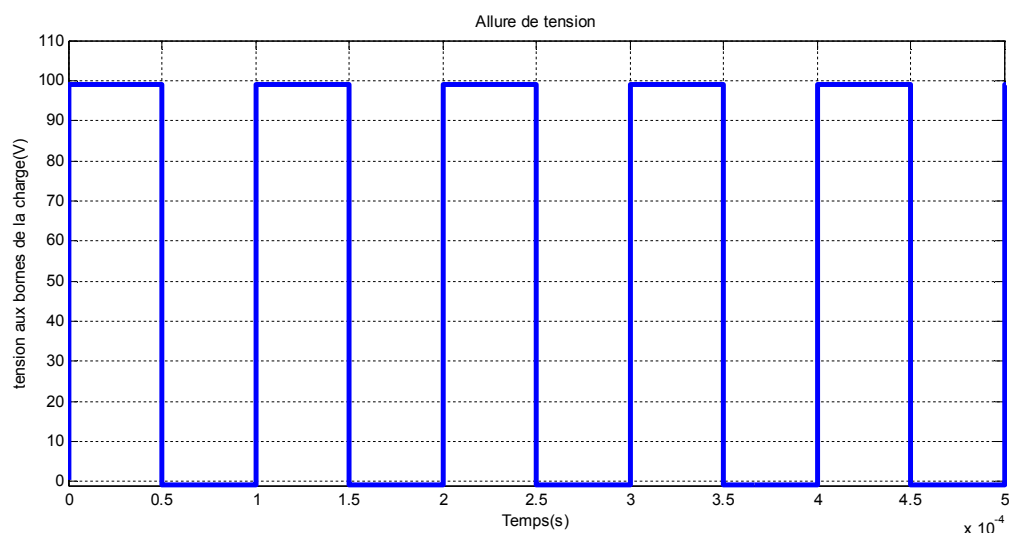


FIGURE I.10: allure de tension du charge $R L$ d'un hacheur série

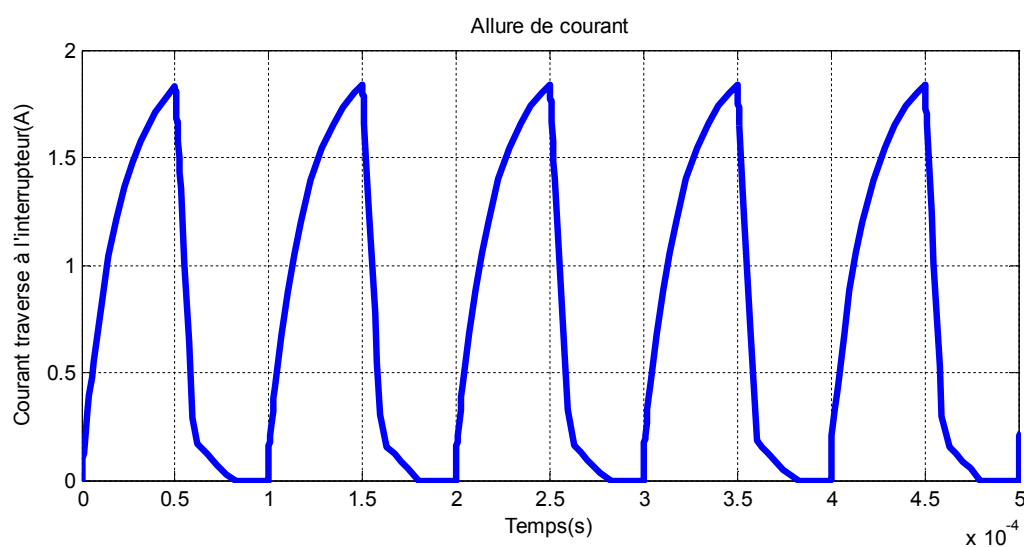


Figure I.11: allure de courant traverse à l'interrupteur H d'un hacheur série avec charge $R L$

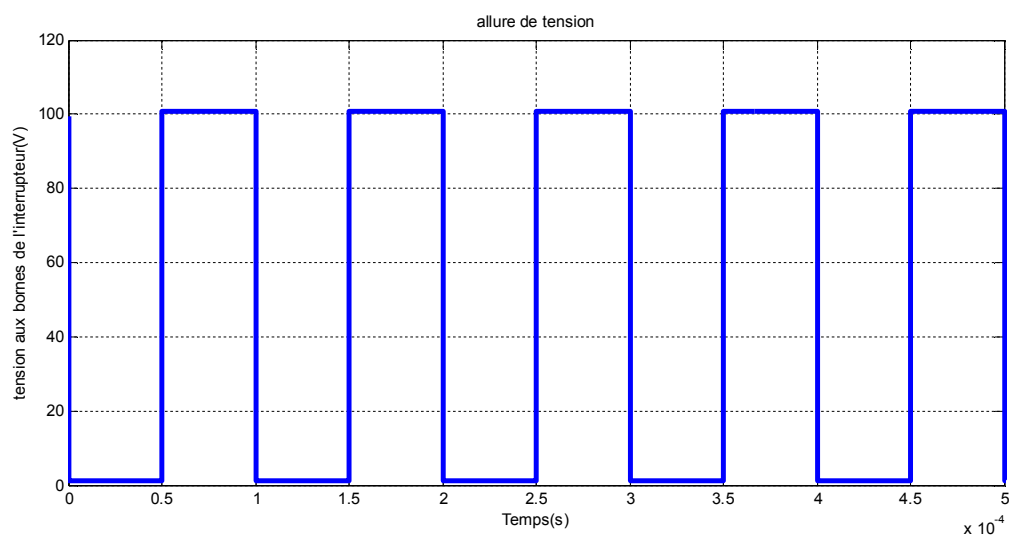
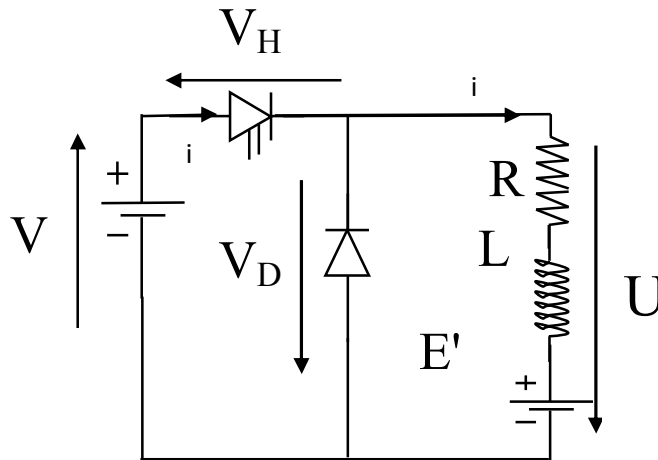


Figure I.12: allure de tension aux bornes de l'interrupteur H d'un hacheur série avec charge $R L$

I.1.2.1.6 Charge R-L-E :**I.1.2.1.6.1 Schéma de montage:****Figure I.13 :schéma de hacheur série avec charge R-L-E****I.1.2.1.6 .2 Analyse de fonctionnement:**

- **$t \in [0, \alpha T]$** : H fermé (passant) . diode ouvert

$$U = V = Ri + L \frac{di}{dt} + E$$

$$V_H = 0 \quad ; \quad V_D = V$$

$$i_s = i \quad ;$$

L'intensité du courant dans la charge vérifie l'équation différentielle suivante:

$$U = V = Ri + L \frac{di}{dt} + E$$

- **$t \in [\alpha T, T]$** : H ouvert (bloqué) . diode fermé

$$U = Ri + L \frac{di}{dt} + E' = 0$$

$$V_D = 0 \quad ; \quad V_H = V$$

$$U = 0 \quad ; \quad i_D = i$$

L'intensité du courant dans la charge vérifie l'équation différentielle suivante:

$$Ri + L \frac{di}{dt} + E' = 0$$

Hypothèse :en générale R est très faible et on suppose la chute du tension U_R négligé

L'équation(1) devient: $U = V = Ri + L \frac{di}{dt} + E$

Soit: $di = \frac{V-E}{L} dt$

On intègre membre à membre:

$$\int di = \frac{V-E}{L} \int dt \rightarrow i \text{ augmente}$$

$$i = \frac{V-E}{L}t + I$$

I: valeur de l'intensité dans la charge lors de la fermeture de H en régime établi

L'équation(2) devient : $L \frac{di}{dt} + E = 0$

Soit : $di = \frac{-E}{L}dt$

On intègre membre à membre :

$$\int di = \frac{-E}{L} \int dt \rightarrow i \text{ diminue}$$

$$i = \frac{-E}{L}(t - \alpha T) + I$$

I : valeur de l'intensité dans la charge lors de l'ouverture de H en régime établi.

- si on néglige R, on assimile les portions de courbes réelles (exponentielles) à des droites

I.1.2.1.6 .3 Chronogrammes:

Pour : $V = 100 \text{ v}$; $E = 30 \text{ v}$; $R = 50 \Omega$; $L = 0.001 \text{ H}$; $T = 0.0001 \text{ s}$; $\alpha = 0.5$

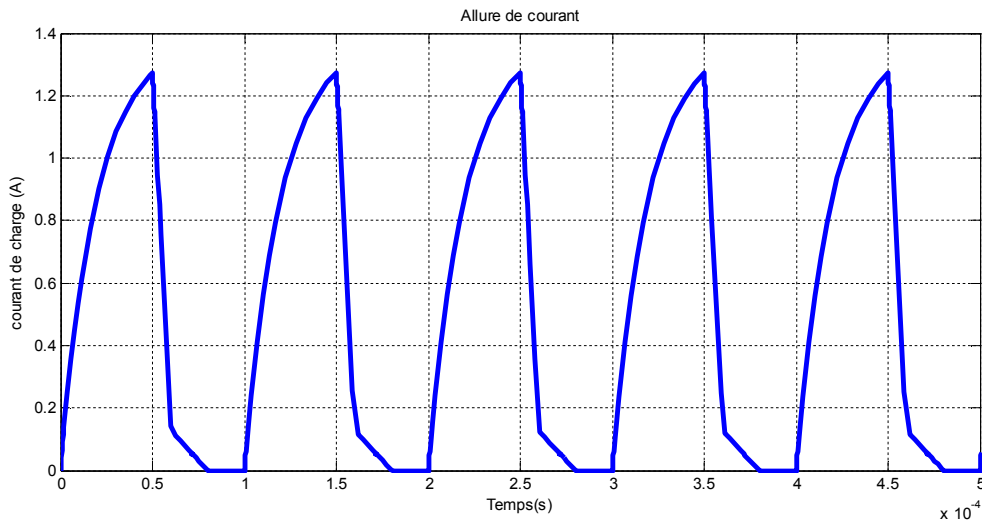


Figure I.14: allure de courant du charge R L E d'un hacheur série

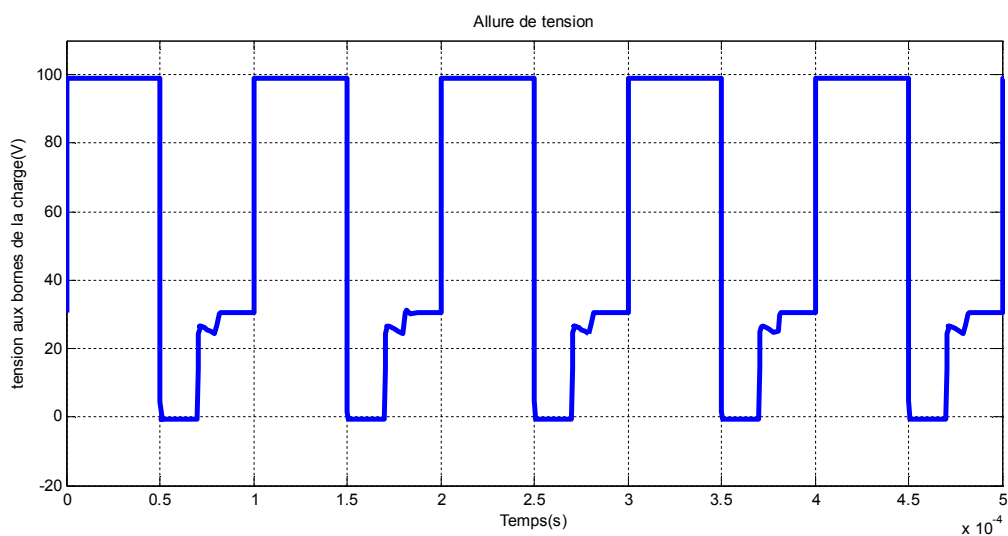


Figure I.15 : allure de tension du charge R L E d'un hacheur série

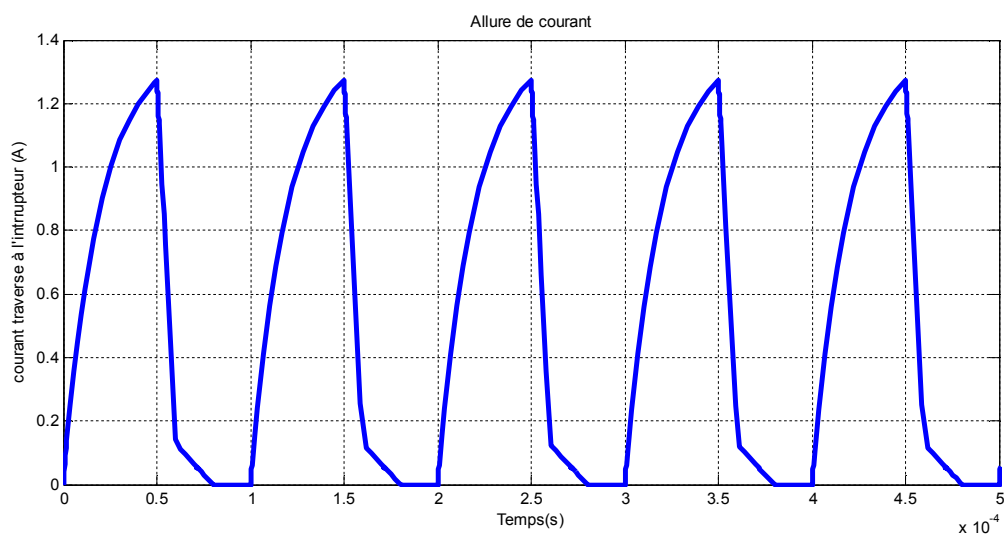


Figure I.16: allure de courant traverse à l'interrupteur d'un hacheur série avec charge R L E

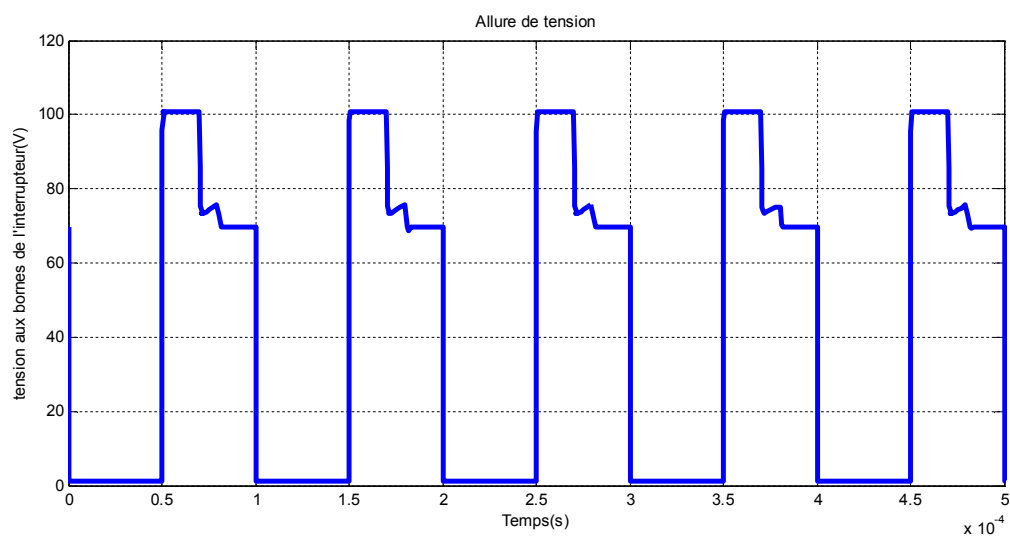


Figure I.17: allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur série avec charge R L E

I.1.2.2 Hacheur parallèle:

I.1.2.2.1 Schéma de simulation :

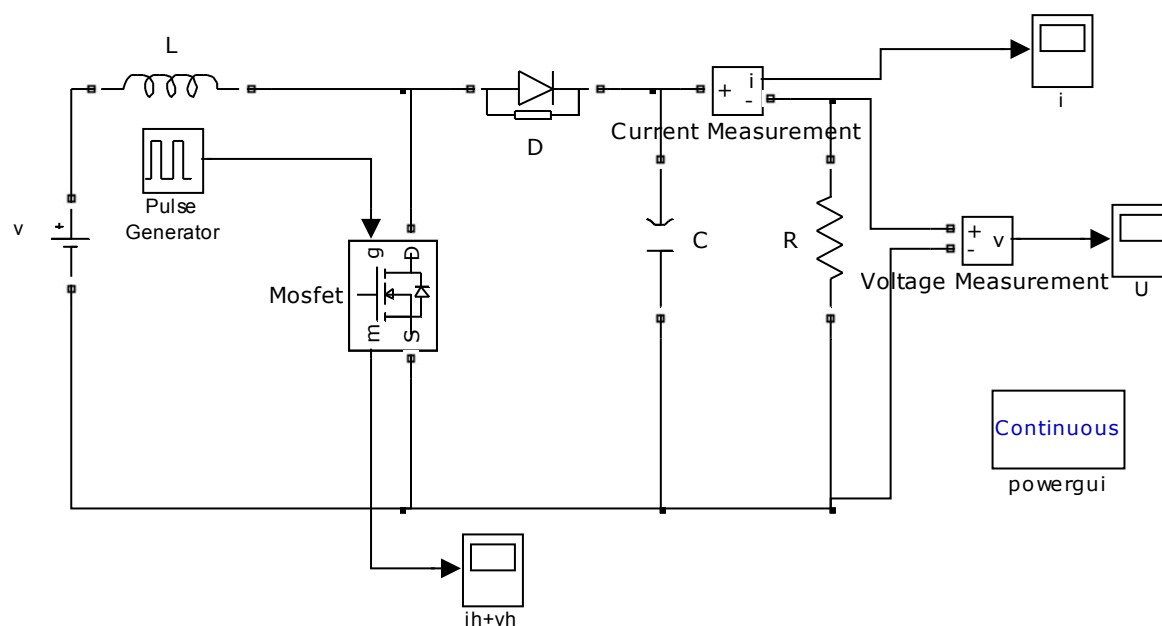
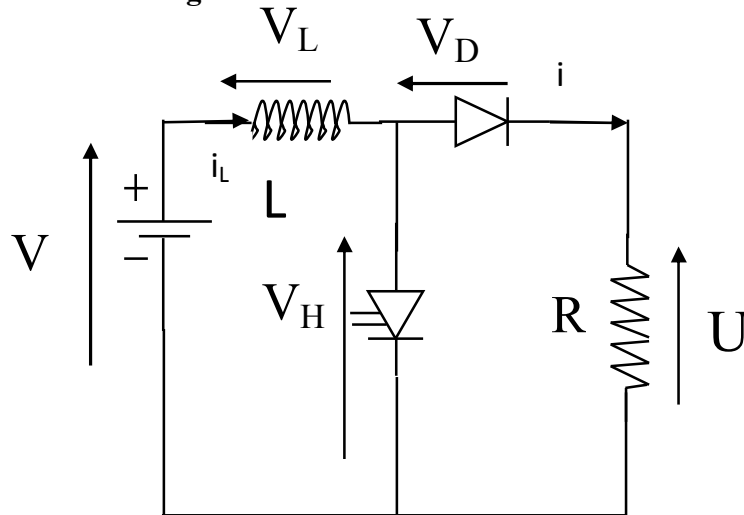


Figure I.18: schéma de simulation de convertisseur boost

I.1.2.2.2 Charge résistive:**I.1.2.2.2.1 Schéma de montage:****FIGURE I.19:hacheur parallèle avec charge R****I.1.2.2.2.2 Analyse du fonctionnement:**

- **$t \in [0, \alpha T]$** : H fermé (passant) .

L'inductance L se charge à travers l'interrupteur commandé H est passant

$$V_L = V = L \frac{di_L}{dt}$$

Soit :

$$i_L = \frac{V}{L}t + i_L(0)$$

- **$t \in [\alpha T, T]$** : H ouvert (bloqué) .

la self se décharge dans la charge via la diode D

$$\text{La tension } V_L \text{ devient } V_L = V - U = L \frac{di_L}{dt}$$

Soit :

$$i_L = \frac{V-U}{L}(t - \alpha T) + i_L(\alpha T)$$

la valeur moyenne de la tension entre les bornes de la charge est :

$$U_{\text{moy}} = \frac{V}{1-\alpha}$$

Puisque Le rapport cyclique est compris entre 0 et 1 donc la tension de sortie U est nécessairement supérieure à la tension d'entrée V (montage survolteur).

L'ondulation du courant dans la self est reflétée par le facteur d'ondulation Δi_L tel que :

$$\Delta i_L = \frac{\alpha V}{L f} \quad f = 1/T$$

I.1.2.2.3 Chronogrammes :

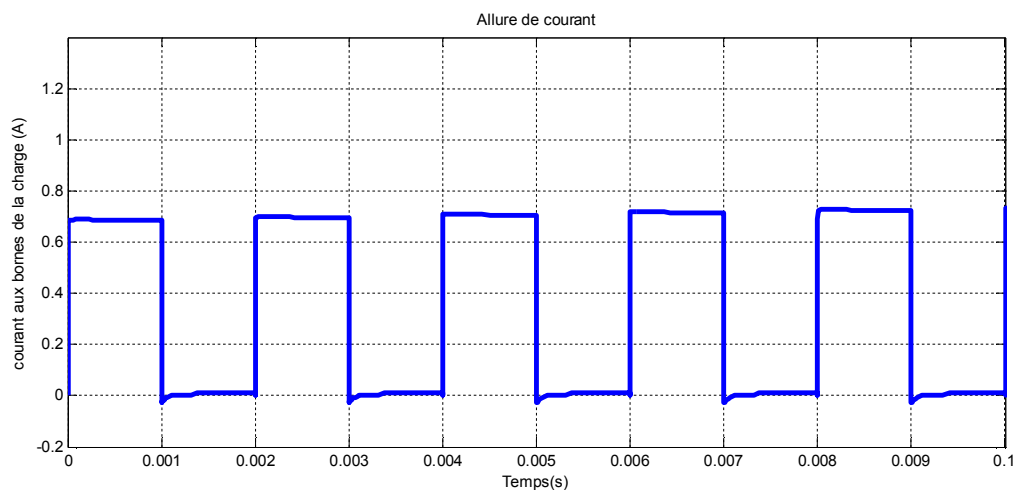


FIGURE I.20: Courant aux bornes de la charge R d'un hacheur parallèle

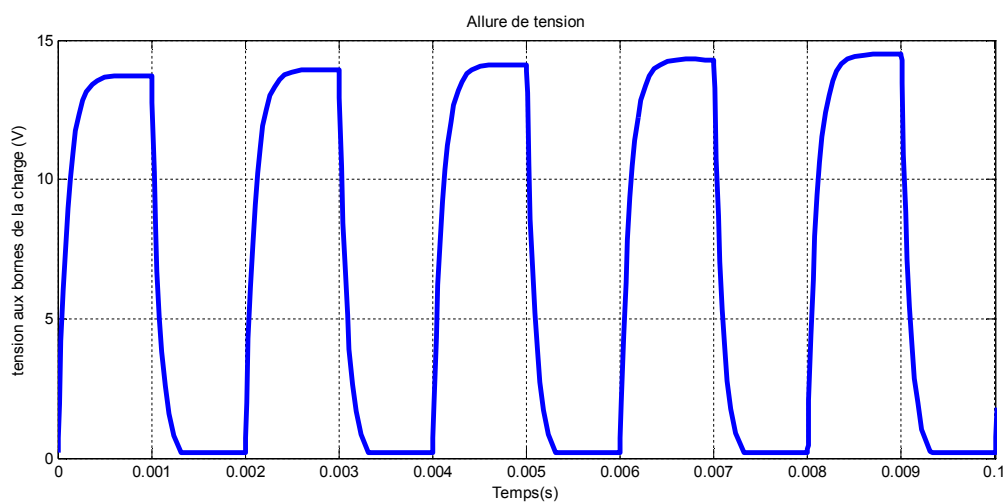


FIGURE I.21: tension aux bornes de la charge R d'un hacheur parallèle

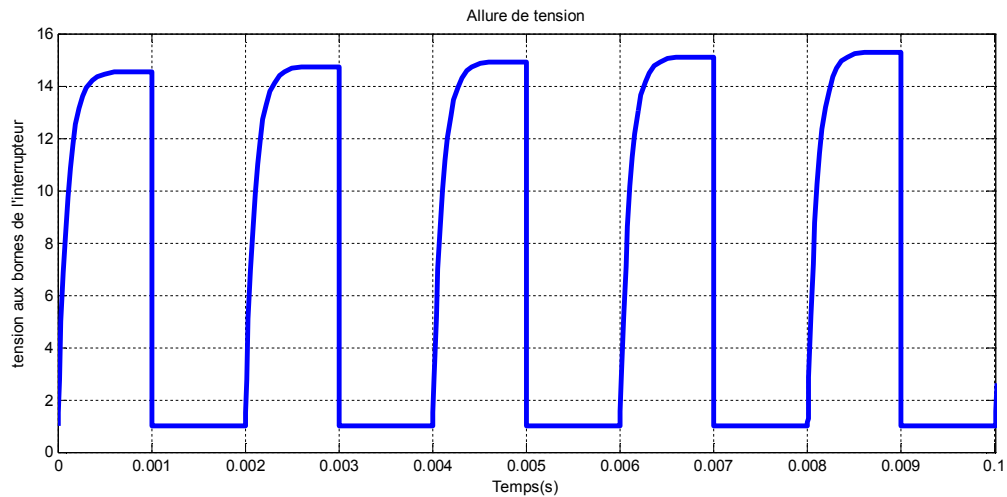


FIGURE I.22: tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur parallèle avec charge R

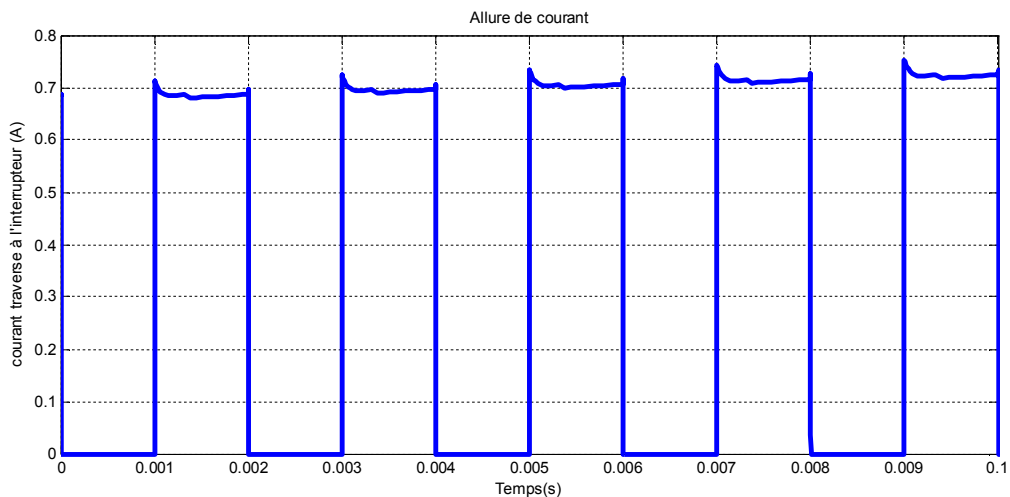


FIGURE I.23: Allure de courant traverse de l'interrupteur d'un hacheur parallèle avec charge R

I.3 Hacheur à liaison indirect :

Les hacheurs série et parallèle sont dits hacheurs directs car ils réalisent la connexion entre deux sources de nature différentes. Par contre, les hacheurs à stockage intermédiaire sont dits indirects puisqu'ils mettent en connexion deux sources de même nature. L'énergie issue de la source est stockée dans un composant (source) intermédiaire avant d'être restituée à la charge. La tension de sortie est en général inversée par rapport à la tension d'entrée, d'où le nom de hacheurs inverseurs.

I.3.1 Hacheurs à stockage inductif ou BUCK-BOOST:

I.3.1 Schéma de simulation :

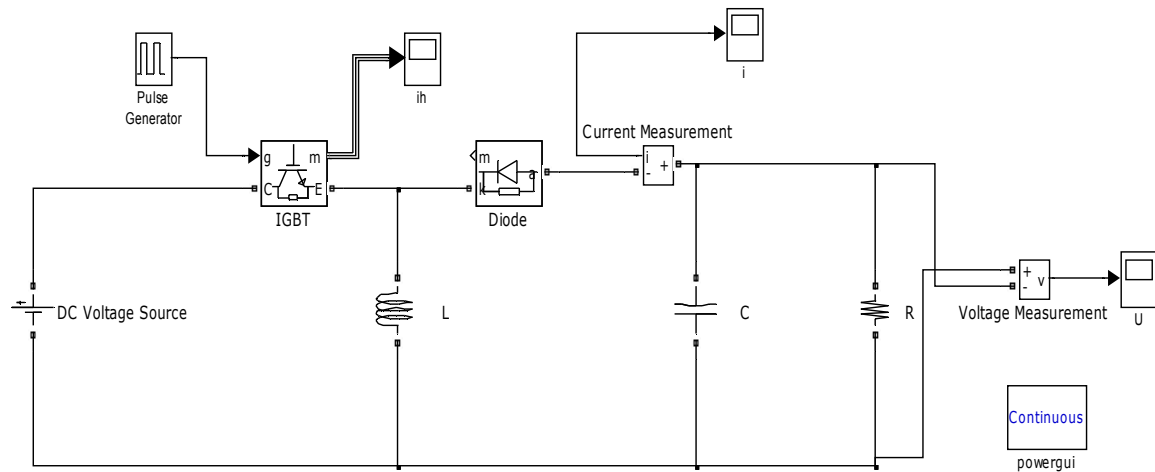


FIGURE I.24: schéma de simulation de hacheur à accumulation inductive

I.3.2 Charge résistive:

I.3.2.1 Schéma de principe et fonctionnement :

Ce type de hacheur relie indirectement deux sources de tensions par l'intermédiaire de la self (source courant)

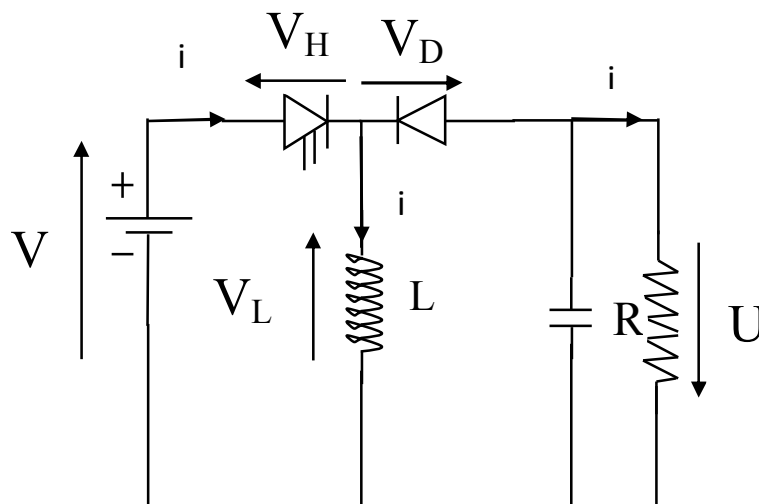


FIGURE I.25:schéma de hacheur à stockage inductif

Les interrupteurs H et D sont toujours complémentaires

- **$t \in [0, \alpha T]$** : la diode D est bloquée, H conduit : $V_L = V = L \frac{di_L}{dt}$

Soit : $i_L = \frac{V}{L}t + i_L(0)$

On assiste donc à la charge de l'inductance **L**

- **$t \in [\alpha T, T]$** : l'interrupteur principal H est bloqué, la diode D est donc en conduction.

L'équation différentielle du circuit s'écrit :

$$V_L = -U = L \frac{di_L}{dt}$$

Soit :

$$i_L = \frac{U}{L}(t - \alpha T) + i_L(\alpha T)$$

L'inductance L se décharge dans (R, C) à travers la diode D

Chronogrammes :

Principales relations

L'expression de la valeur moyenne de la tension de sortie est donnée par la relation:

$$U_{\text{moy}} = \frac{\alpha}{1-\alpha} V$$

Ce montage est survolteur ou dévolteur selon que $\alpha > 0.5$ ou $\alpha < 0.5$

L'ondulation du courant dans la charge est reflétée par le facteur d'ondulation Δi_L tel que:

$$\Delta i_L = \frac{\alpha V}{L f}$$

I.3.2.2 Chronogrammes:

On pose : $R = 100 \, \Omega$; $L = 0.001 \, \text{H}$; $C = 22 \cdot 10^{-6} \, \text{F}$

$T = 0.0001 \, \text{s}$; $\alpha = 0.25$; $V = 48 \, \text{V}$

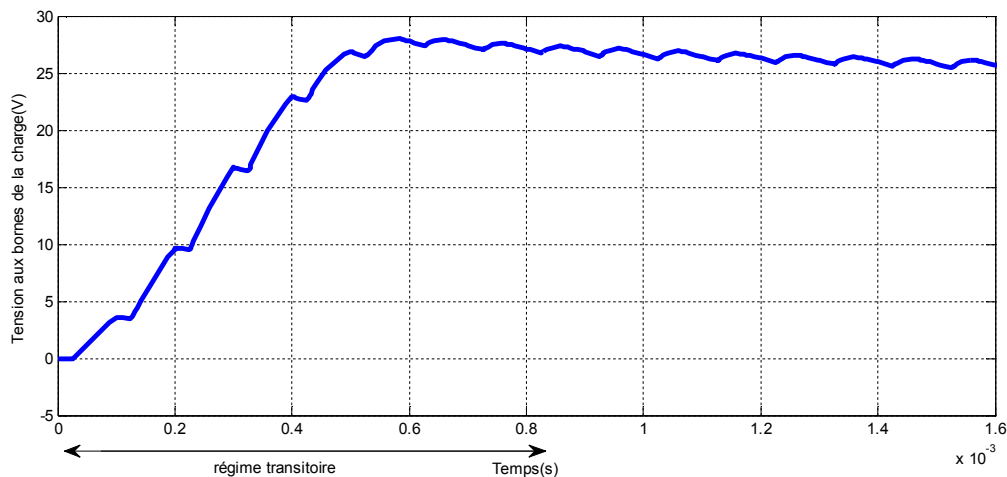


FIGURE I.26: Tension aux bornes de la charge R d'un hacheur à stockage inductif

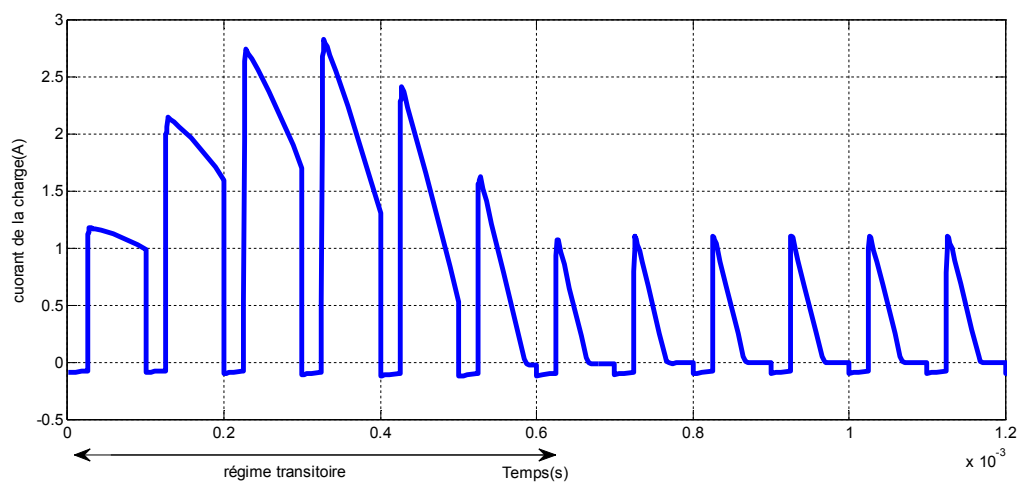


FIGURE I.27: Allure du courant de charge R d'un hacheur à stockage inductif

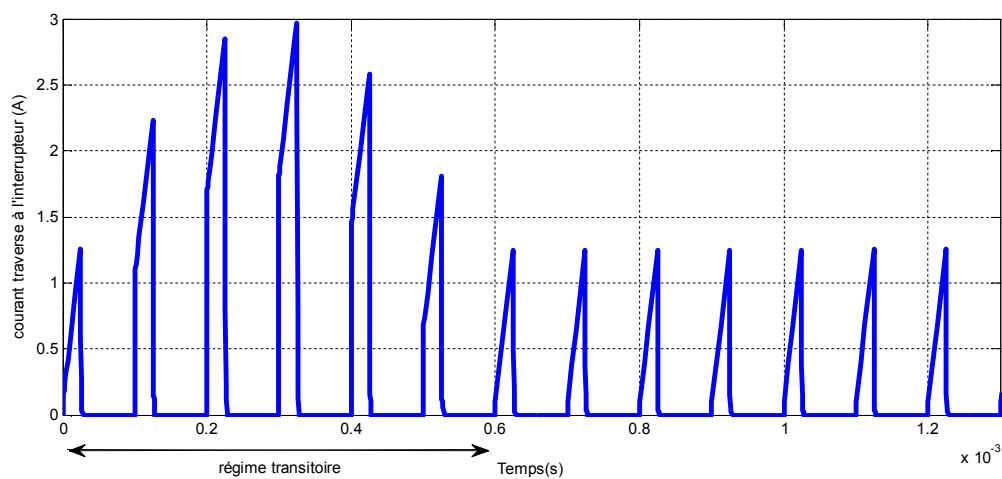


FIGURE I.28: allure de courant traversant l'interrupteur d'un hacheur à stockage inductif charge R

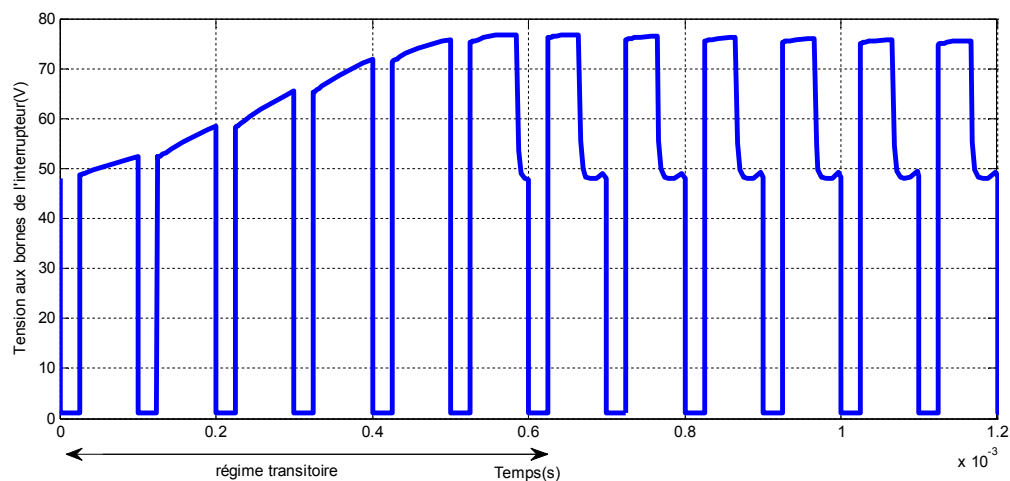


FIGURE I.29: allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur à stockage inductif charge R

I.4 conclusion :

Dans ce premier chapitre nous avons simulé quelques hacheurs non réversibles de deux types (à liaison directe et indirecte) avec quelque types de charge (ohmique, inductive et active), nous avons expliqué le principe de fonctionnement de chaque montage à part et donné les résultats de simulation.

Dans le chapitre suivant nous allons abordé le deuxième type de hacheurs : les hacheurs réversibles qui se divisent eux aussi en deux catégories : les hacheurs en deux et en quatre quadrants. Pour chaque catégorie nous allons donner quelques montages qui existent, les simuler, expliqué le principe de fonctionnement et enfin donner les résultats de simulation.

CHAPITRE II :

Hacheur Révérable

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons aborder le deuxième type de hacheurs : les hacheurs réversibles qui se divisent en deux catégories : les hacheurs en deux et en quatre quadrants. Pour chaque catégorie nous allons donner quelques montages qui existent : réversibles en courant en tension et en réversibilité totale, les simuler, expliqué le principe de fonctionnement et enfin donner les résultats de simulation.

II.2 Hacheur à deux quadrants

II.2.1 Réversible en courant:

II.2.1.1 Schéma de simulation :

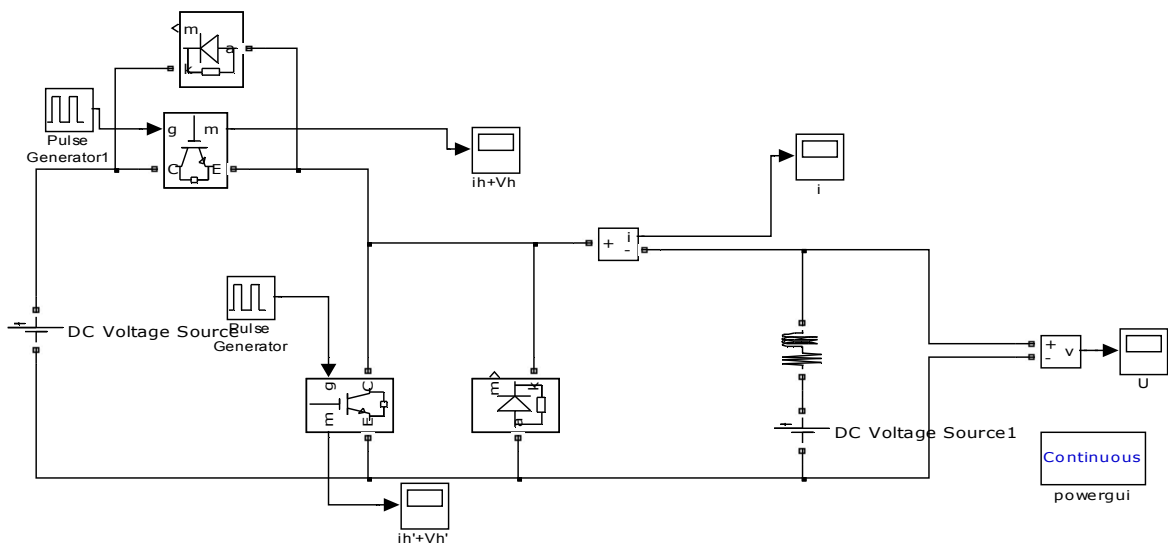


FIGURE II.1: schéma de simulation de hacheur réversible en courant

II.2.1.2 charge R L E:

II.2.1.2.1 Schéma de principe: i_s

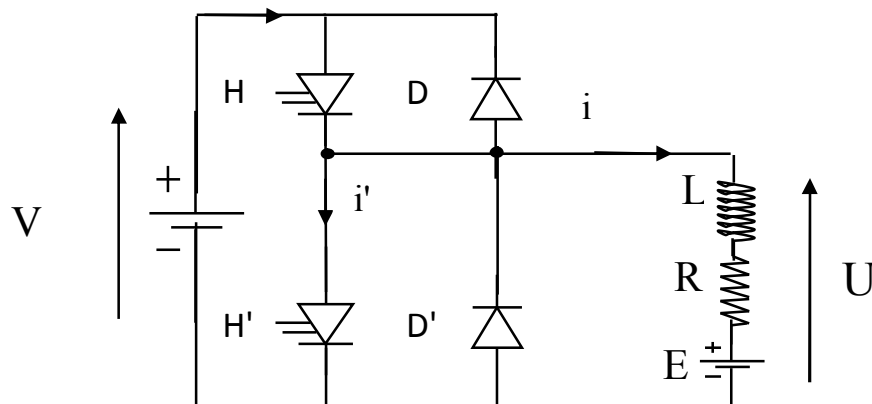


FIGURE II.2 : schéma de principe de hacheur deux quadrant(réversible en courant)

Une source de tension V alimente une charge modélisée par une f.é.m. E en série avec une inductance L et une résistance R . La structure du hacheur est formée de deux interrupteurs réversibles en courant, commandés à l'ouverture et à la fermeture.

➤ **$t \in [0, \alpha T]$** : H est fermé et H' ouvert; nous avons $U = V$ donc D est bloquée et $i' = 0$; Le courant $i = i_s$ imposé par la charge passe dans H s'il est positif et dans D s'il est négatif.

➤ **$t \in [\alpha T, T]$** : H est ouvert et H' fermé; nous avons $U = 0$ donc D est bloquée et $i_s = 0$.

Le courant $i' = -i$ passe dans D' s'il est positif et dans H' s'il est négatif. La structure fonctionne donc avec i positif ou négatif; la tension u est égale à V ou à 0 elle est donc positive en valeur moyenne ; le hacheur est réversible en courant mais pas en tension.

La réversibilité en courant permet la conduction permanente de i pour tout régime de fonctionnement contrairement aux hacheurs non réversibles

II.2.1.2.2 Analyse du fonctionnement:

L'équation de la charge est $U = L \frac{di}{dt} + Ri + E$

Soit : $i + L \frac{di}{dt} = \frac{U-E}{R}$

➤ **$t \in [0, \alpha T]$** : la conduction de H impose $U = V$; nous en déduisons.

Si $i > 0$, la structure fonctionne en hacheur dévolteur donc $V > E$ et i est croissant durant cette phase. Si $i < 0$, la structure fonctionne en hacheur survolteur donc

$V > E$ et i diminue en valeur absolue et augmente en valeur algébrique; nous en déduisons que $i(0) = I_{\min}$ et $i(\alpha T) = I_{\max}$.

Il vient ; en posant $X = e^{\frac{-\alpha T}{\tau}}$, nous obtenons :

➤ **$t \in [\alpha T, T]$** : la conduction de H' impose $U = 0$; nous en déduisons en posant $t' = t - \alpha T$ en posant $Y = e^{\frac{-(1-\alpha)T}{\tau}}$, nous obtenons en régime permanent .

Nous déduisons les extremums du courant i :

L'ondulation crête à crête est, valeur indépendante de la f.é.m E .

La forme d'onde de u est identique à celle du hacheur série donc on retrouve les mêmes relations sur le courant i .

En valeurs moyenne $U = E + Ri = \alpha V$.

Lorsque la constante de temps $\tau = L/r$ est très grande devant la période T de découpage, le courant i a une forme proche d'un signal triangulaire. Le calcul étant identique à celui du hacheur série en conduction permanente

L'ondulation crête à crête du courant charge :

Extremum du courant : $I_{\max} = I + \frac{\Delta i}{2}$ et $I_{\min} = I - \frac{\Delta i}{2}$

Valeurs moyennes : $U = \alpha V$; $I = \frac{U-E}{R}$; $i_s = \alpha$.

- ❖ $t \in [0 \text{ à } \alpha T]$, la commande impose H passant ou D passante, H si $i > 0$ et D si $i < 0$
- ❖ $t \in [\alpha T \text{ à } T]$, la commande impose H' passant ou D' passante, H' si $i < 0$ et D' si $i > 0$.

II.2.1.2.3 Chronogrammes :

On pose : $V = 100 \text{ V}$; $T = 0.0001 \text{ s}$; $\alpha = 0.5$

$E = 50 \text{ V}$; $R = 5 \Omega$; $L = 0.001 \text{ H}$;

Les interrupteurs H et H' commandées au même temps

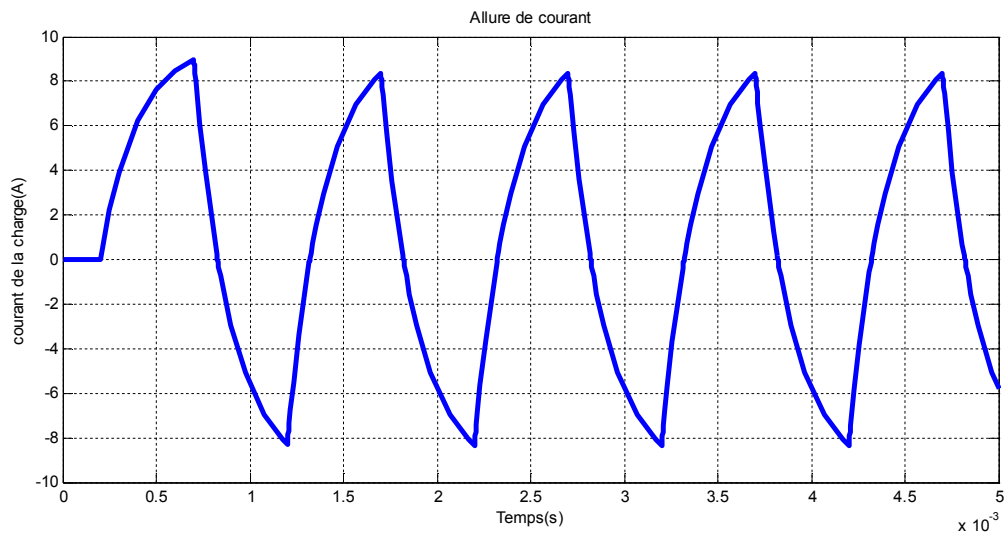


FIGURE II.3: allure de courant de la charge R L E d'un hacheur réversible en courant

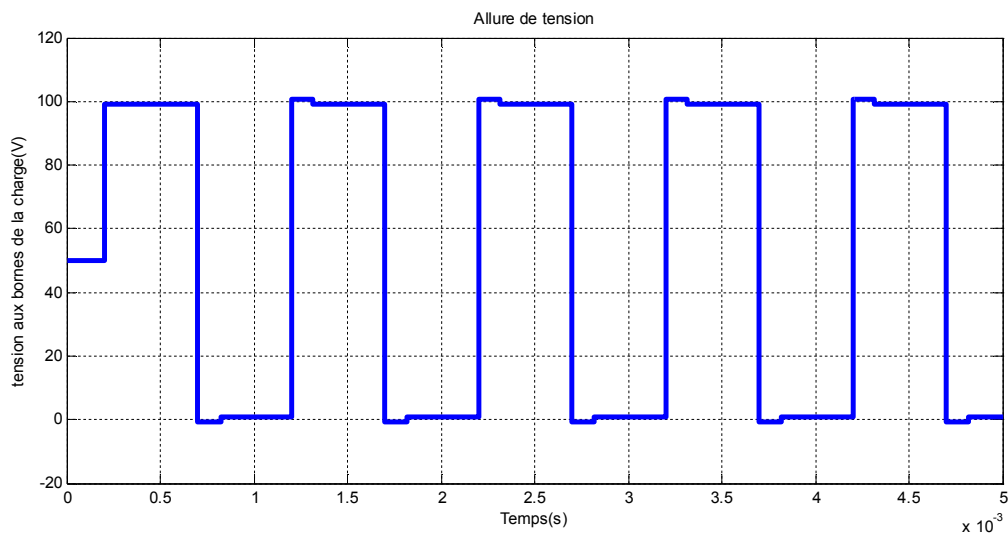


FIGURE II.4: allure de tension aux bornes de la charge d'un hacheur réversible en courant

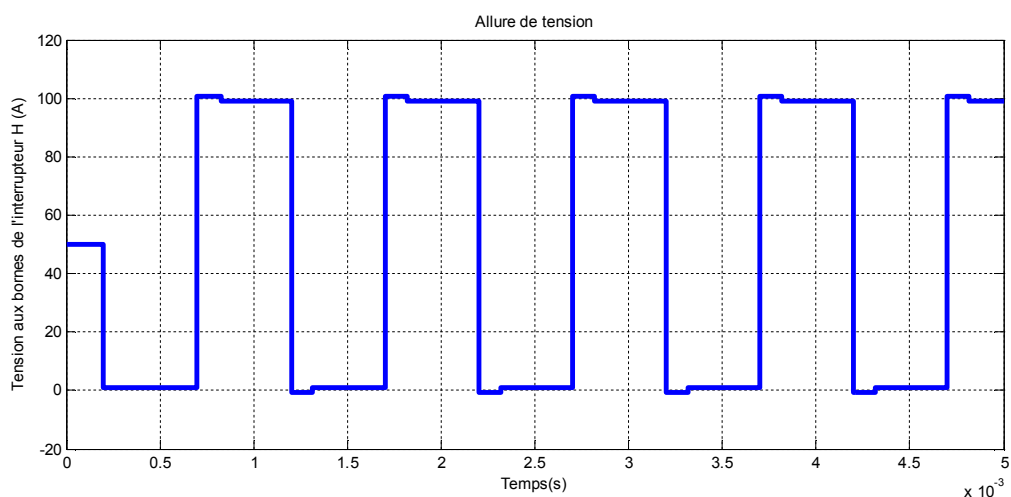


FIGURE II.5: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur réversible en courant charge R L E

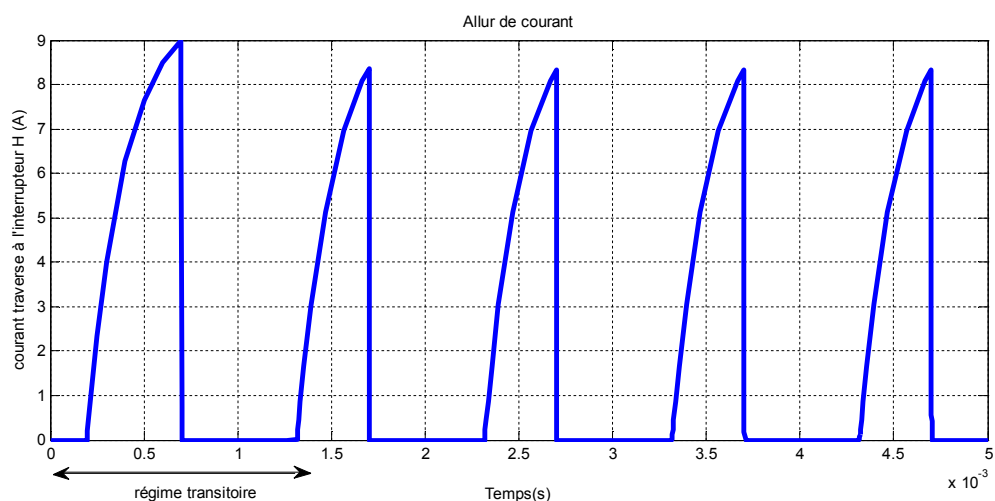


FIGURE II.6: allure de courant traverse à l'interrupteur H d'un hacheur réversible en courant charge R L E

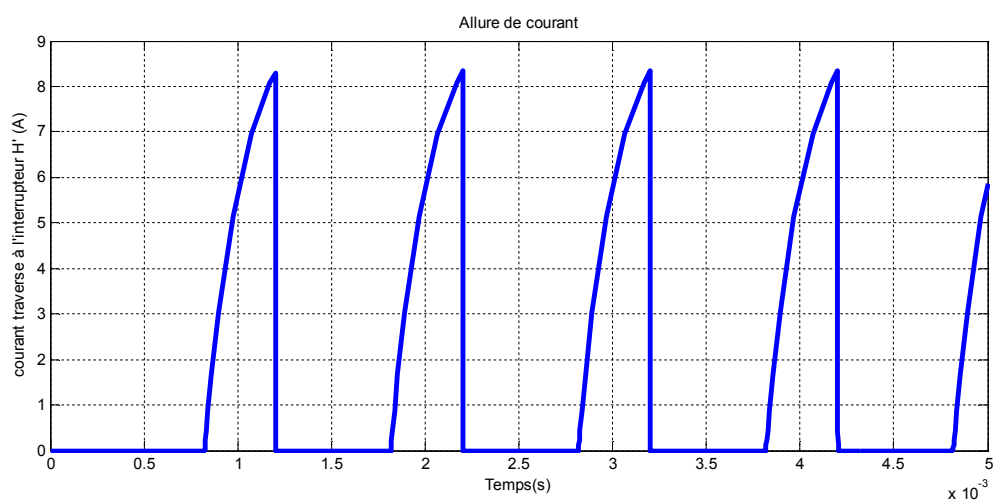


FIGURE II.7: allure de courant traverse à l'interrupteur H' d'un hacheur réversible en courant charge R L E

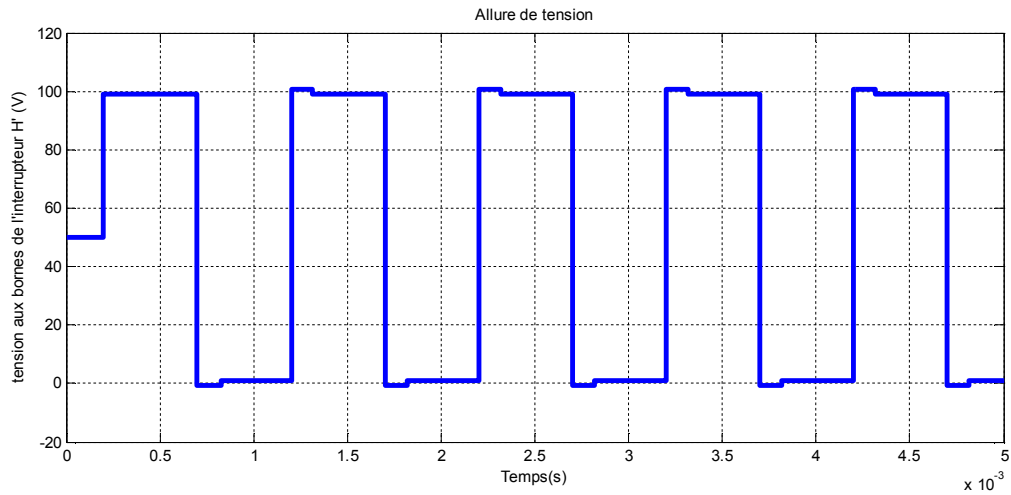


FIGURE II.8: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur H' d'un hacheur réversible en courant charge R L E

II.2.2 hacheur réversible en tension:

II.2.2 .1Schéma de simulation:

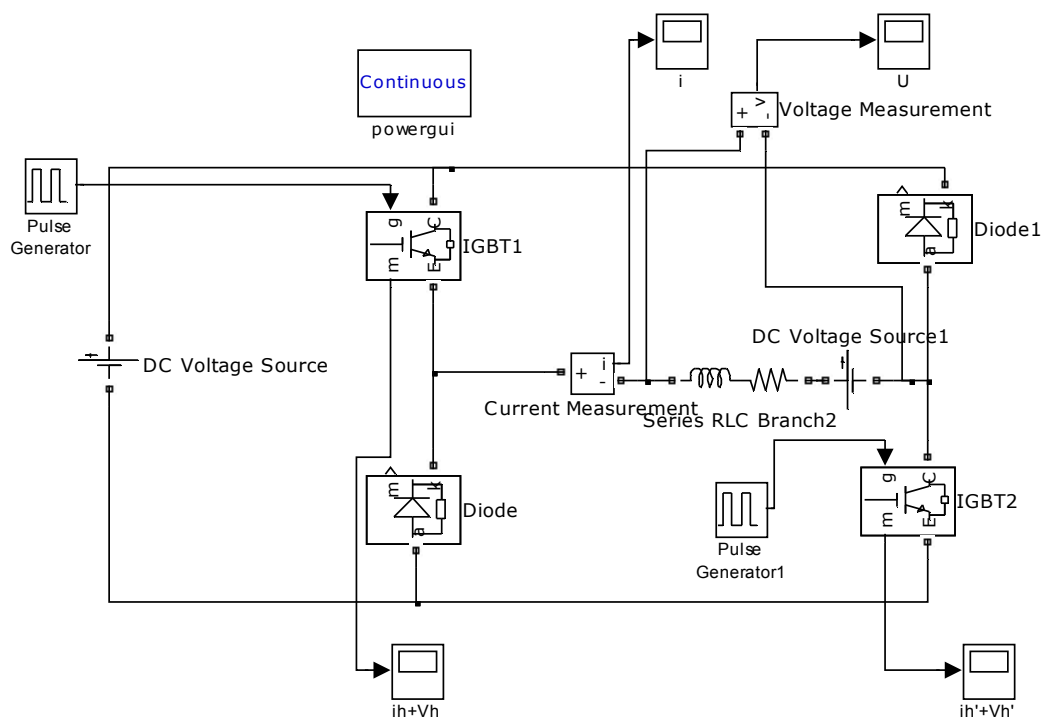


FIGURE II.9:schéma de simulation de hacheur réversible en tension

II.2.2.2 Charge R L E :

II.2.2.2.1 Schéma de Principe:

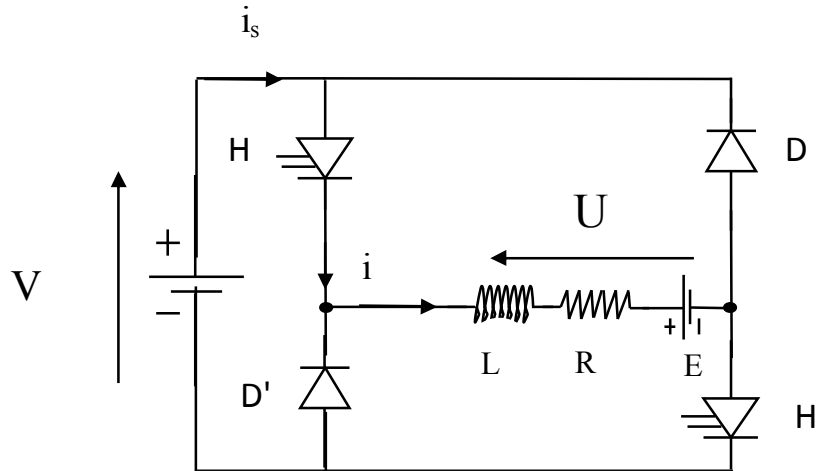


FIGURE II.10: schéma de principe de hacheur réversible en tension

La charge est modélisée par le circuit E - r - L.

Les quatre interrupteurs étant unidirectionnels en courant, le courant dans la charge ne peut être que positif ou nul.

➤ **$t \in [0, \alpha T]$** : H et H' sont fermés; nous avons $U = V$ et $i_s = i$; le courant charge devant être positif, la structure doit fonctionner en survolteur : $V > E$.

➤ **$t \in [\alpha T, T]$** : H et H' sont ouverts; la continuité du courant i impose la conduction de D et de D'; nous avons donc $U = -V$ et $i_s = -i < 0$; la source de tension V doit donc être réversible en courant . Le courant tend vers la valeur de régime permanent $-\frac{(V-E)}{R}$; cette valeur étant négative et i ne pouvant s'inverser, nous devons examiner deux cas :

❖ l'énergie emmagasinée dans L durant la phase de transfert d'énergie est suffisante pour que l'intensité reste positive de αT à T ; nous sommes en régime de conduction continue.

❖ l'énergie dans L est insuffisante pour assurer la conduction continue; à l'instant $t = \beta T < T$, le courant i s'annule et les diodes se bloquent; de $\beta.T$ à T , nous avons $i = i_s = 0$ et $U = E$

II.2.2.2.2 Analyse de fonctionnement:

Conduction permanente

➤ **$t \in [0, \alpha T]$** , nous avons une liaison directe entre source et charge : $i = i_s$ et $V = L \frac{di}{dt} + Ri + E$; en posant $\tau = L/R$, la solution de cette équation est : le courant étant croissant sur cette phase, nous avons : $i(0) = I_{\min} = A + \frac{(V-E)}{R}$; nous en déduisons :

A la fin de cette phase, nous avons : $i(\alpha T) = I_{\max} = X \cdot I_{\min} + (1-X) \cdot \frac{(V-E)}{R}$, en posant $X = e^{-\frac{\alpha T}{\tau}}$

➤ **$t \in [\alpha T, T]$** , nous avons une liaison croisée entre source et charge : $i = -i_s$ et $-V = L \frac{di}{dt} + Ri + E$; en posant $t' = t - \alpha T$, la solution de cette équation est : la continuité du courant en $t' = 0$ impose $i(t'=0) = I_{\max} = B \cdot \frac{(V+E)}{R}$; nous en déduisons :

A la fin de cette phase $t' = (1-\alpha) \cdot T$, nous avons en régime permanent: $i[t'=(1-\alpha) \cdot T] = I_{\min} = Y \cdot I_{\max} - (1-Y) \cdot \frac{(V+E)}{R}$, en posant $Y = e^{-\frac{(1-\alpha)T}{\tau}}$

Calculons les valeurs moyennes des grandeurs. La tension u est une tension en créneau; nous avons : $U = (2\alpha-1) V$.

La tension charge moyenne est positive pour $\alpha > 0,5$ et négative pour $\alpha < 0,5$.

L'équation de la branche courant donne $I = \frac{(u+E)}{R}$

Cherchons la condition de conduction permanente :

❖ Le hacheur n'étant pas réversible en courant $i(t) > 0$ donc $I > 0$ soit $U > E$; nous en déduisons une condition nécessaire : $\alpha > \frac{E+V}{2V}$.

❖ La condition nécessaire et suffisante de conduction permanente est $I_{\min} > 0$ soit avec $2 \cdot Y - 1 - X \cdot Y > (1-X \cdot Y) \cdot E$; comme $X \cdot Y = e^{-\frac{T}{\tau}}$ ne dépend pas du rapport cyclique, nous en déduisons $Y > \frac{1+XY+(1-XY)E}{2}$ soit

Conduction discontinue

Lorsque la condition ci-dessus n'est pas satisfaite, le courant i s'annule avant la fin de la période donc $i(0) = I_{\min} = 0$.

➤ **$[0, \alpha T]$** , nous avons le même fonctionnement qu'en conduction continue; nous en déduisons

$U = V$; le courant maximal est $I_{\max} = \frac{(1-X)(V-E)}{R}$.

➤ **$[\alpha T, \beta T]$** les diodes D et D' conduisent : $U = -V$ et $i_s = -i$. La solution est identique à celle de conduction permanente :

Le courant dans la charge s'annule en $t = \beta \cdot T$ soit en $t' = (\beta - \alpha) \cdot T$; nous en déduisons l'expression de β :

➤ **$[\beta T, T]$** le courant est nul donc $U = E$.

Valeurs moyennes:

De tension:

$$U_{\text{moy}} = (2 \cdot \alpha - \beta) \cdot V + (1 - \beta) \cdot E$$

De courant

$$I_{\text{moy}} = \frac{U-E}{R}$$

II.2.2 .2.3 Chronogrammes:

On pose : $V = 100 \text{ V}$; $T = 0.0001 \text{ s}$; $\alpha = 0.5$

$E = 10 \text{ V}$; $R = 5 \Omega$; $L = 0.5 \text{ H}$;

Les interrupteurs H et H' commandées à la même temps

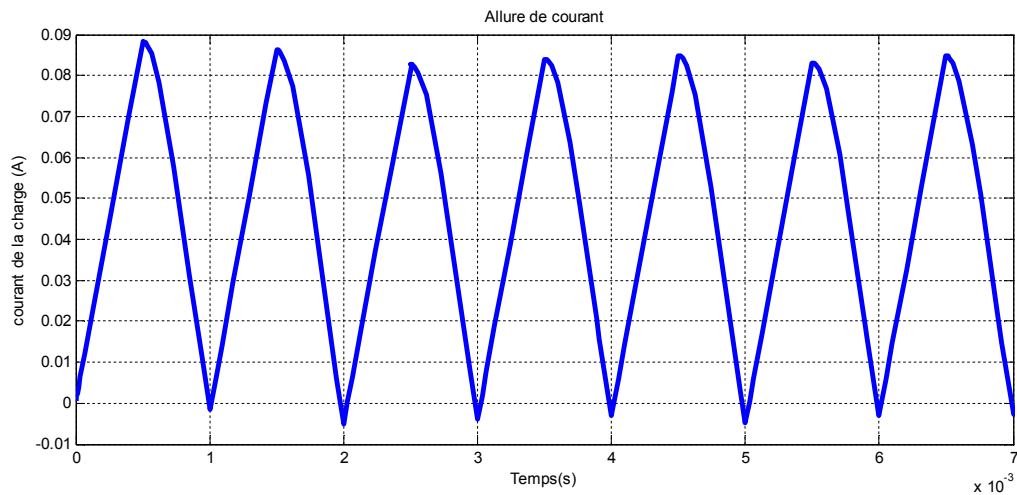


FIGURE II.11: Allure de courant de la charge d'un hacheur réversible en tension

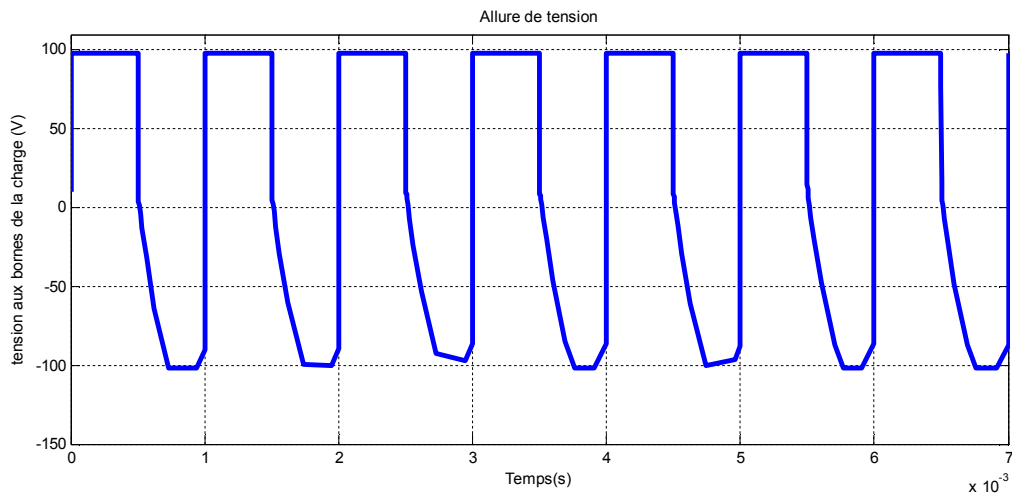


FIGURE II.12: Allure de tension aux bornes de la charge d'un hacheur réversible en tension

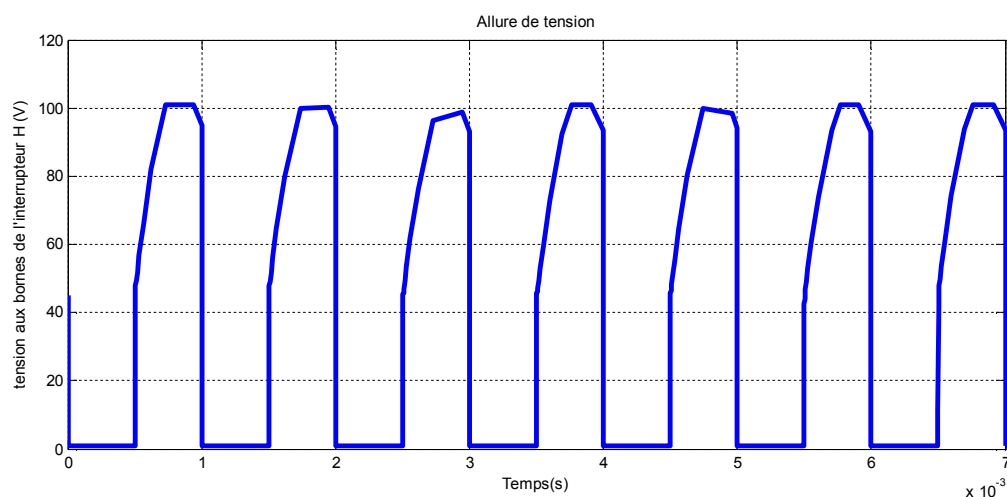


FIGURE II.13: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension

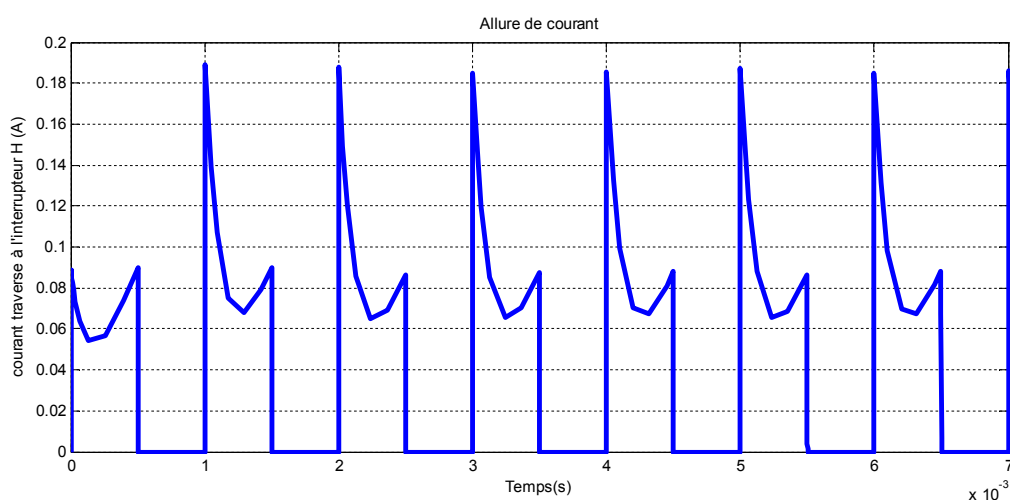


FIGURE II.14: Allure de courant traverse à l'interrupteur H l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension

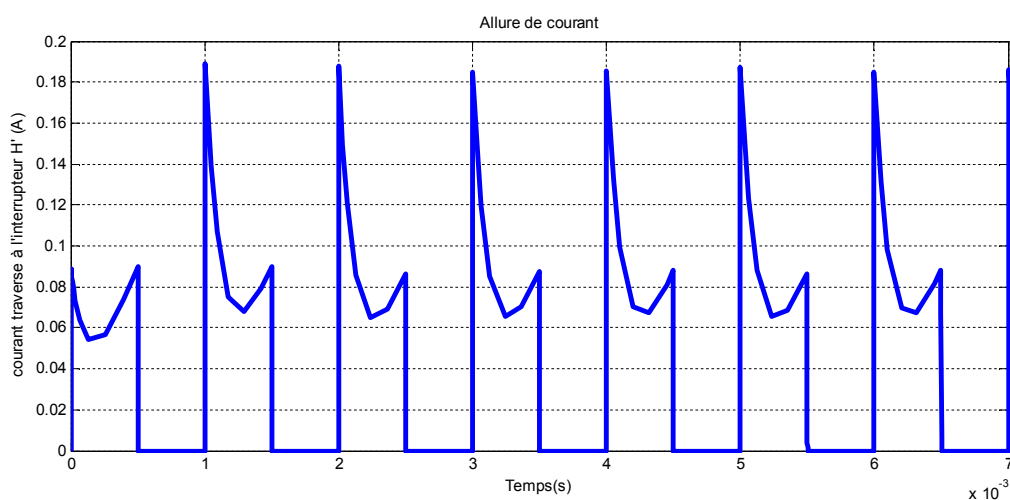


FIGURE II.15: Allure de courant de traverse de l'interrupteur H l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension

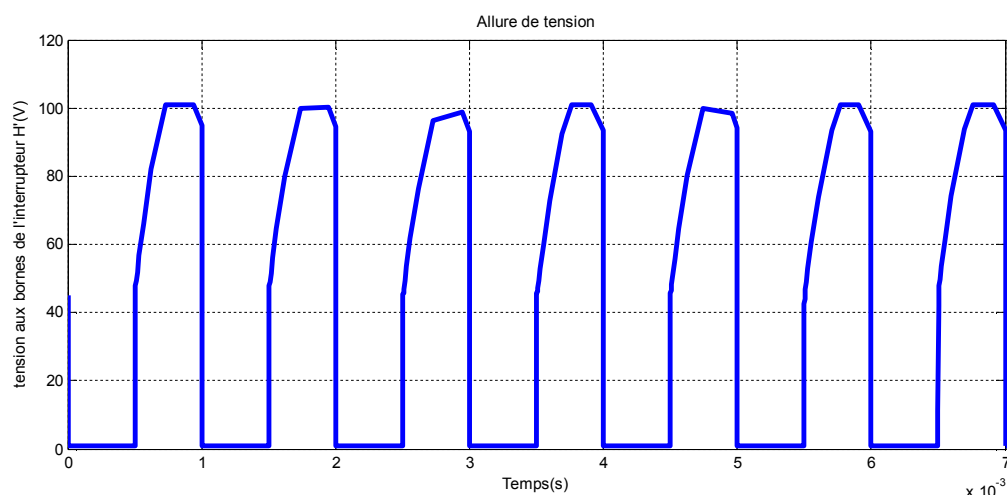


FIGURE II.16: Allure de tension aux bornes de l'interrupteur H' l'interrupteur d'un hacheur réversible en tension charge d'un hacheur réversible en tension

II.3 Hacheur quatre quadrants:

II.3.1 Schéma de simulation:

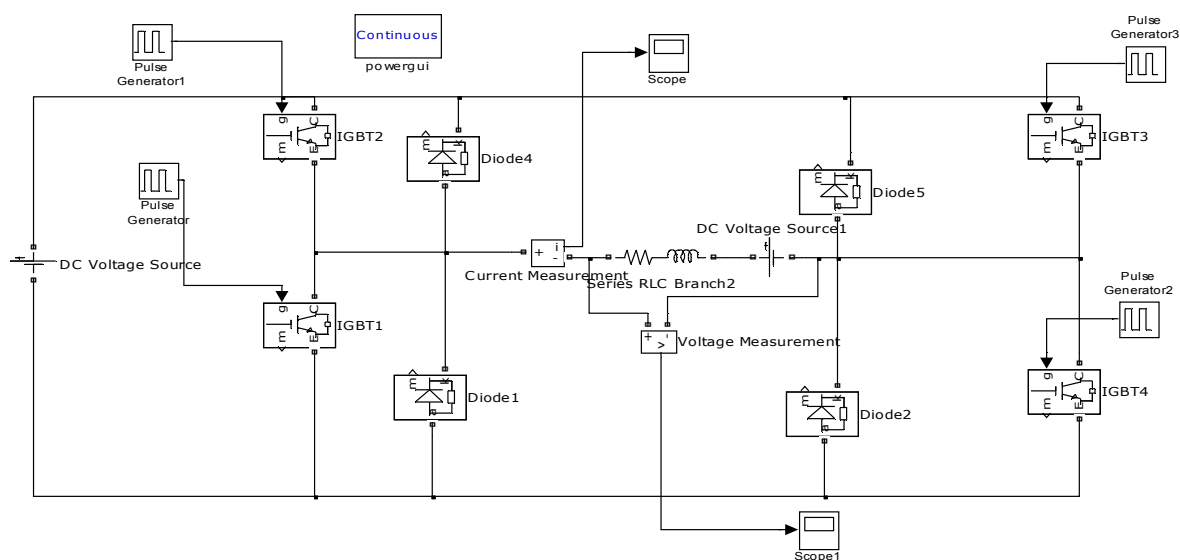


FIGURE II.17 schéma de simulation de hacheur quatre quadrants

II.3.2 charge R L E :

II.3.2.1 Schéma de principe:

On considère le montage suivant:

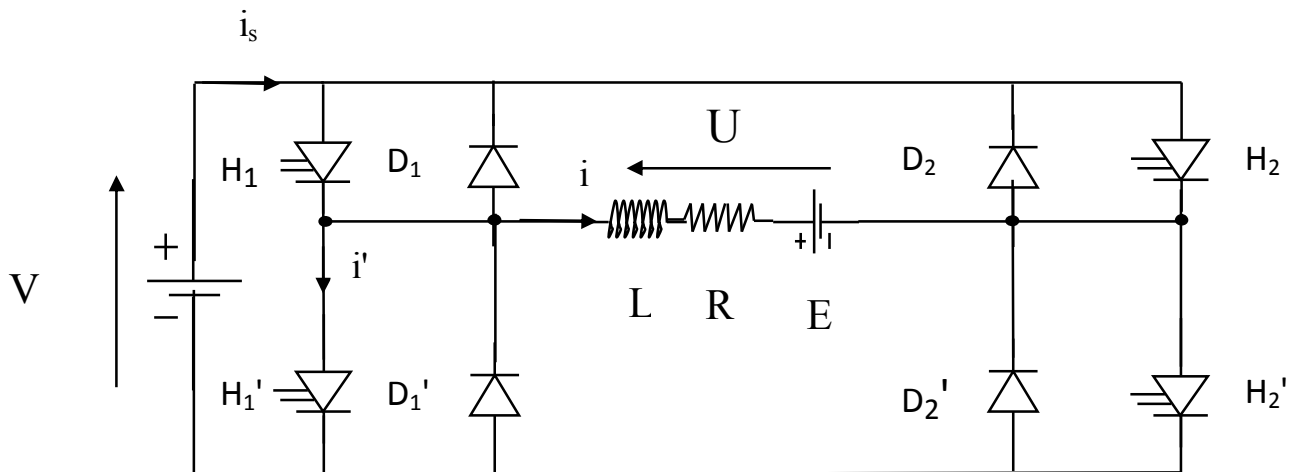


FIGURE II.18:schéma de principe de hacheur quatre quadrant

L'utilisation la plus fréquente du hacheur en pont correspond à la liaison d'une source de tension réversible en courant ($V > 0$ $i_s > 0$ ou $i_s < 0$) à une source de courant réversible en courant et en tension ($i > 0$ ou $i < 0$, $U > 0$ ou $U < 0$). donc le transfert d'énergie s'effectue dans les deux sens avec une réversible en tension et une réversible en courant

II.3.2.2 Analyse du fonctionnement:

- $t \in [0, \alpha T]$: H_1 et H_2' fermés .

$$U = V$$

- $t \in [\alpha T, T]$: H_1' et H_2 fermés

$$U = -V$$

Donc la commande de H_1 et H_1' d'une part et H_2' et H_2 d'autre part étant complémentaire.

La valeur moyenne de tension de charge :

$$U_{\text{moy}} = V(2\alpha - 1)$$

$$t \in [0, \alpha T] \quad i_s = i \quad U = V$$

$$\text{on a : } Ri + L \frac{di}{dt} + E = V$$

$$\rightarrow i_1(t) = \frac{V-E}{R} + \left(i_{\text{min}} - \frac{V-E}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$I_1(t) > 0 \rightarrow H_1 \text{ et } H_2' \text{ conduisent } i(t) < 0 \rightarrow D_1 D_2 \text{ conduisent}$$

$$t \in [\alpha T, T] : i_s = -i ; U = -V_s$$

$$\text{on a } Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + E = -V$$

$$\rightarrow i_2(t) = -\frac{V-E}{R} \left(i_{\max} + \frac{V+E}{R} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$i_2(t) > 0 \rightarrow D'_1 D_2$ conduisent $i_2(t) < 0 \rightarrow H'_1 H_2$ conduisent

II.3.2.3 Chronogrammes :

On pose : $V = 100 \text{ V}$; $T = 0.0001 \text{ s}$; $\alpha = 0.5$

$E = 10 \text{ V}$; $R = 20 \Omega$; $L = 0.005 \text{ H}$;

Les interrupteurs H_1 et H_2' commandées au même temps

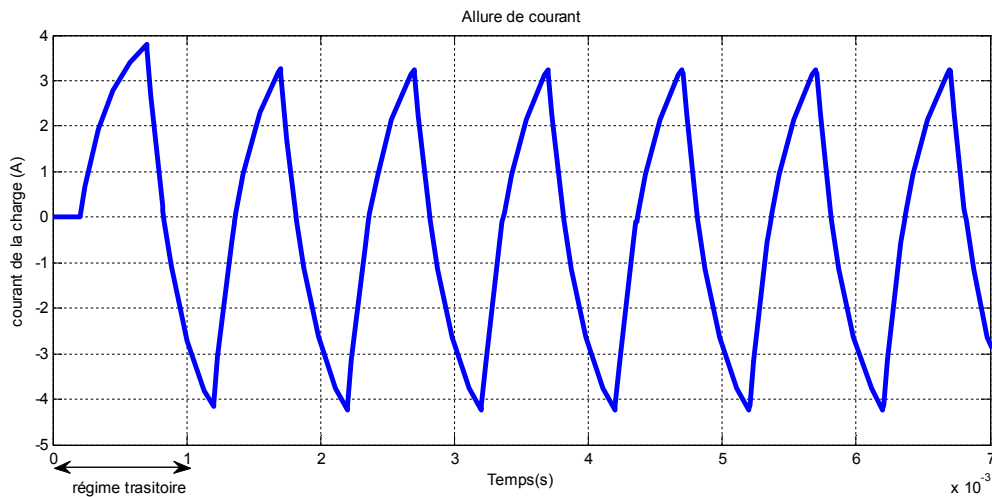


FIGURE II.19: Allure de courant de la charge d'un hacheur 4 quadrants

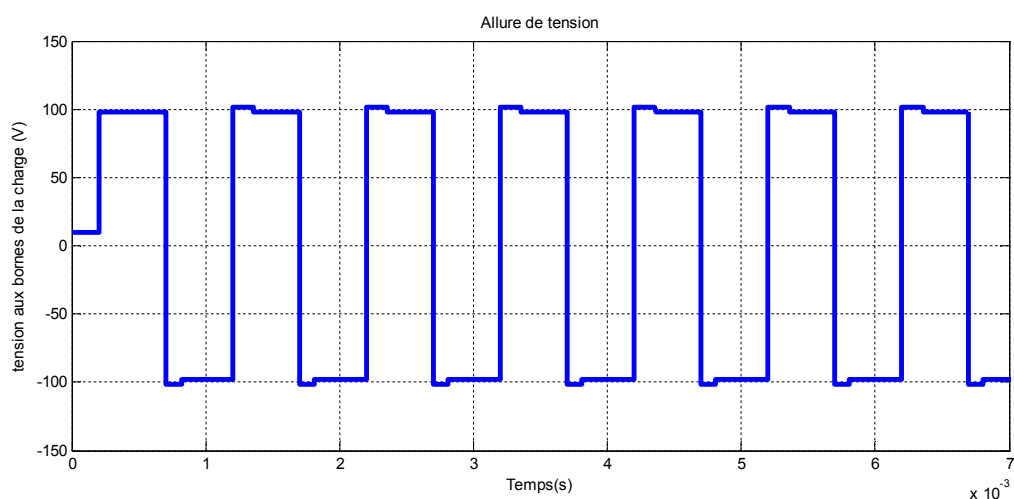


FIGURE II.20: allure de tension de la charge d'un hacheur 4 quadrants

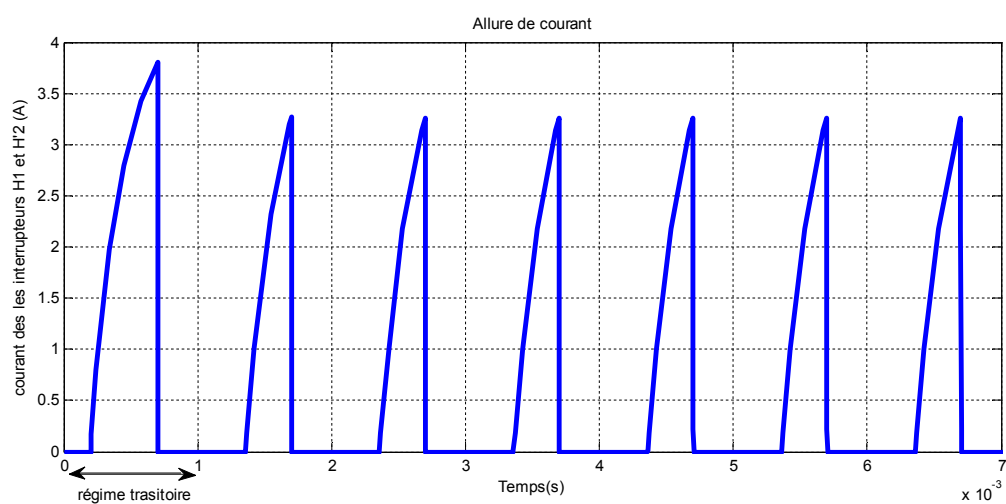


FIGURE II.21: Allure de courant traverse à l'interrupteur H1 et H2' d'un hacheur 4 quadrants charge R L E

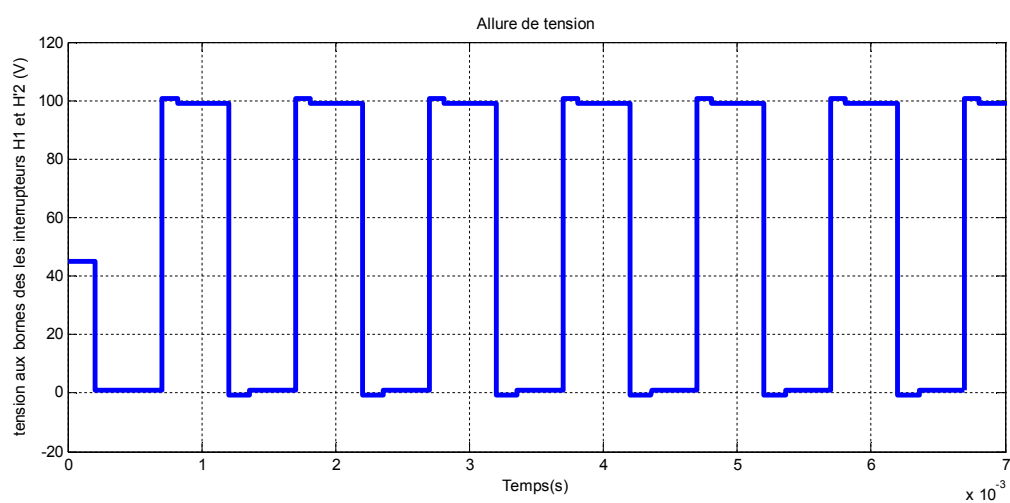


FIGURE II.22: Allure de tension aux bornes des interrupteurs H1 et H2' d'un hacheur 4 quadrants charge R L E

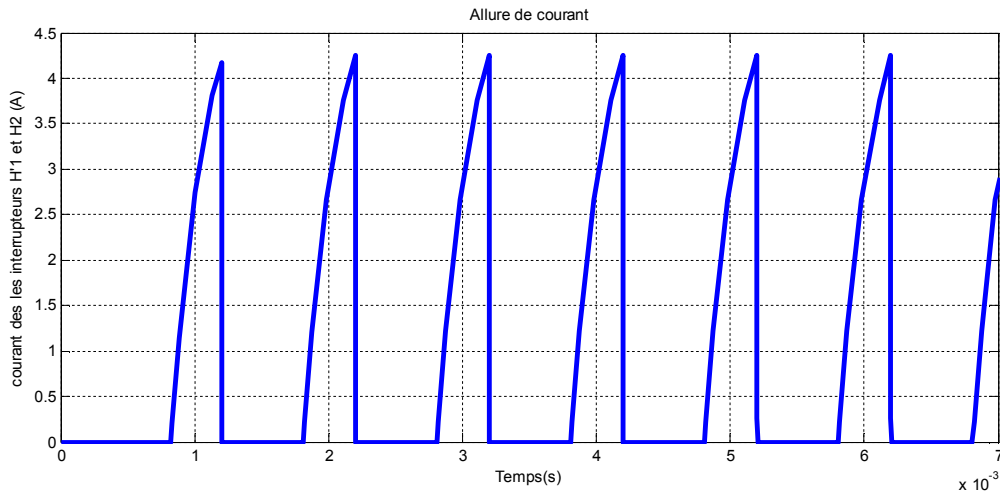


FIGURE II.23: Allure de courant traverse à les interrupteurs H'1 et H2 d'un hacheur 4 quadrants charge R L E

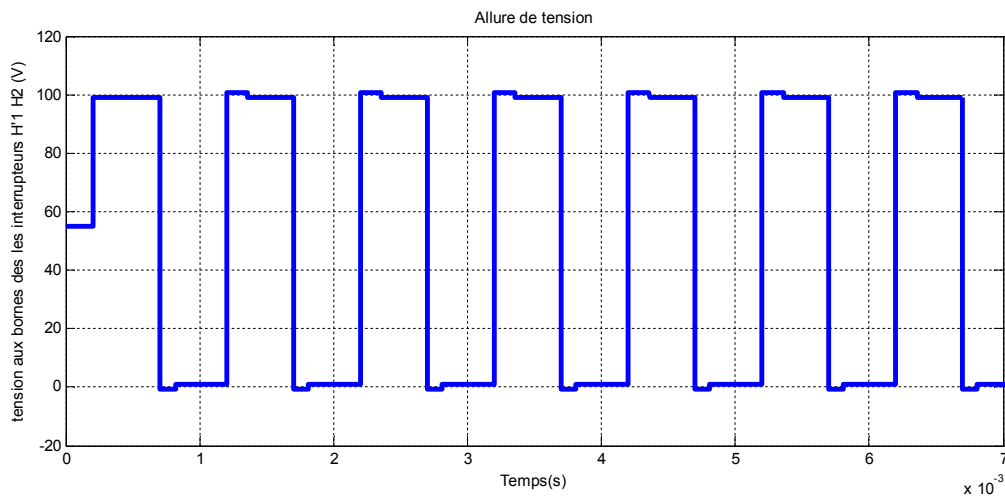


FIGURE II.24: Allure de tension aux bornes des interrupteurs H'1 et H2 d'un hacheur 4 quadrants charge R L E

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons passé en revue les hacheurs réversibles que ce soit réversibles en courant ou en tension ou en courant et tension. Les montages de simulation ont été élaborés, le principe de fonctionnement a été expliqué et les résultats de simulation ont été présentés.

Conclusion Générale

Dans cette étude, nous avons présenté un aperçu général sur quelques types de convertisseurs statiques DC/DC (les hacheurs) avec quelque charge, non réversible ainsi que le hacheur réversible en courant, réversible en tension et le hacheur en pont réversible en courant et en tension du côté continu pour le fonctionnement dans les quatre quadrants.

Dans le premier chapitre nous avons simulé quelques hacheurs non réversibles de deux types (à liaison directe et indirecte) avec quelque types de charge (ohmique, inductive et active), nous avons expliqué le principe de fonctionnement de chaque montage à part et donné les résultats de simulation.

Dans le deuxième chapitre nous avons abordé le deuxième type de hacheurs : les hacheurs réversibles qui se divisent eux aussi en deux catégories : les hacheurs en deux et en quatre quadrants. Pour chaque catégorie nous avons donner quelques montages qui existent, les simuler, expliqué le principe de fonctionnement et enfin donner les résultats de simulation.

Bibliographie:

- [01] M. Pinard , « Convertisseur et Electronique de Puissance », Livre,Paris, 2007.
- [02] A. ZEMOURI, « Etude Exprimmentale d'un convertisseur DC DC controler par une commande robuste », Mémoire de Magister ,université de Batna, 2014.
- [03] F. D. ANDRIAMANANA, « Conception Assistée par Ordinateur d'un Onduleur pour la Commande des Moteurs à Courant Alternatif », Mémoire d'ingénieur, école supérieure polytechnique d'Antananarivo, 03octopre 2003.
- [04] H. M. Andrianarivo, «Influence des Circuits d'Aide à la Commutation (CALC) dans les Hacheurs à Transistor et à Thyristor »,Mémoire d'ingénieur, Université d'Antananarivo Ecole Supérieure Polytechnique, 20 Décembre 2008.
- [05] H. S. Andriatsihoarana, « Les Convertisseurs d'Energie Intégrés dans l'Automatisme Industriel les deux Nouveaux Modèles », Mémoire d'ingénieur, Université D'Antananarivo Ecole Supérieure Polytechnique Antananarivo, 08 juillet 2010.
- [06] Z. Zouaoui , « Commande des Convertisseurs Statiques DC/DC par la Logique Floue»,Mémoire de Magister, Université de Batna , 2007.