

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR



DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

THEME

UTILISATION D'UN CONVERTISSEUR QUASI-
RESONNANT DANS UN ENTRAINEMENT ELECTRIQUE
ETUDE ET SIMULATION

Proposé et dirigé par :

M^{me}. BELOUNIS Ouassila

Présenté par :

BELFAR Mouiz eddine

SOUALMI Elyamine

Année Universitaire : 2006 / 2007



SOMMAIRE

NOTATION	1
INTRODUCTION GENERALE	3
<u>CHAPITRE 1 : LES FONCTIONS « INTERRUPTEURS »</u>	
INTRODUCTION	5
a) Diode	6
b) Thyristor	7
c) Thyristor GTO	7
d) Transistor	8
1-1 INTERRUPTEUR à 3 SEGMENTS BIDIRECTIONNEL EN COURANT	10
1-1-a) Fonction «thyristor RCT».....	10
1-1-b) Fonction «thyristor dual»	11
1-2 INTERRUPTEUR à 3 SEGMENTS BIDIRECTIONNEL EN TENSION	11
1-2-a) Thyristor	12
1-2-b) Thyristor GTO	12
1-2-c) GTO-Diode « en série ».....	12
1-2-d) Fonction « RCT dual ».....	13
<u>CHAPITRE 2 : LES COMMUTATIONS</u>	
INTRODUCTION	14
2-1 LA COMMUTATION DURE	14
2-2 ADOUCISSEMENT DES COMMUTATIONS	18
2-2-1) Cas des interrupteurs à fermeture ou ouverture commandée	19

2-2-1-a) Effet d'une inductance en série avec un interrupteur	19
2-2-1-b) Effet d'une capacité en parallèle avec un interrupteur.....	21
2-3 LES COMMUTATIONS DOUCES	23
Conclusion	25
<u>CHAPITRE 3: PRESENTATION DES STRUCTURES DES</u>	
CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU	
INTRODUCTION	26
a) Hacheur à transistor.....	26
b) Hacheur à thyristor	27
3-1 LES HACHEURS A LIAISON DIRECTE	28
3-1-1) Hacheur série	28
3-1-2) Hacheur parallèle.....	29
3-1-3) Hacheur réversible en courant	30
3-1-4) Hacheur réversible en tension	30
3-1-5) Hacheur réversible en tension et en courant	31
3-2 LES HACHEURS A LIAISON INDIRECTE	31
3-2-1) Hacheur série (ou dévolteur)	32
a) Fonctionnement	33
b) Formes d'ondes	33
3-2-2) Hacheur parallèle (ou survolteur)	35
a) Fonctionnement.....	35
b) Formes d'ondes.....	35
3-3 RESULTAT DE SIMULATION	36
3-3-1) Hacheur à thyristor.....	36
3-3-2) Hacheur à IGBT	39
3-3-2-a) Structure non réversible en courant.....	39
a-1) Conduction continue	40
a-2) Conduction discontinue.....	41
3-3-2-b) Structure réversible en courant	42

CHAPITRE 4 : LES CONVERTISSEURS CONTINU-

CONTINU A INTERRUPTEUR RESONNANT

INTRODUCTION	45
4-1 LES INTERRUPTEURS RESONNANTS	45
4-1-1) Interrupteurs résonnants à commutation douce à l'ouverture	
(mode ZCS)	46
4-1-1-a) Fonction « thyristor résonnant »	46
4-1-1-b) Fonction « RCT résonnant »	47
4-1-2) Interrupteurs résonnants à commutation douce à la fermeture	
(mode ZVS)	47
4-1-2-a) Fonction « thyristor dual résonnant »	48
4-1-2-b) Fonction « RCT dual résonnant »	48
4-2 CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU QUASI-RESONNANT EN	
MODE ZCS	49
4-2-1) Hacheur série quasi-résonnant en mode ZCS	49
4-2-1-a) Montage avec thyristor résonnant	50
4-2-1-b) Montage avec RCT résonnant	50
4-2-2) Hacheur parallèle quasi résonnant en mode ZCS	51
4-2-2-a) Montage avec « thyristor résonnant »	51
4-2-2-b) Montage avec « RCT résonnant	52
4-3 CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU QUASI-RESONNANTS EN	
MODE ZVS	52
4-3-1) Hacheur série quasi-résonnant en mode ZVS	53
4-3-1-a) Montage à « thyristor dual résonnant »	53
4-3-1-b) Montage à « RCT dual résonnant »	54
4-4 RESULTAT DE SIMULATION	55
4-4-1) Hacheur à RCT résonnant	55

CHAPITRE 5 : ETUDE DE SYSTEME EN BOUCLE FERMEE

INTRODUCTION	58
5-1 LA REGULATION	58

5-1-1) Fonction d'un régulateur	58
5-1-1-a) Limitation de grandeurs créatiques	58
5-1-1-b) Commande précise des variables	58
5-1-1-c) Transfert sans à-coup d'un mode de commande à un autre	58
5-1-1-d) Ajustement et optimisation aisée d'une boucle de commande	58
5-1-2) La régulation en cascade	59
5-1-3) Fonction de transfert du moteur à courant-continu	61
5-1-3-a) Fonction de transfert de la partie électrique	61
5-1-3-b) Fonction de transfert de la partie mécanique	61
5-1-3-c) Calcul des paramètres statiques du moteur	62
5-1-4) Résultat de simulation de moteur à courant-continu	62
5-2 LE CONVERTISSEUR UTILISE	65
Généralité	65
5-2-1) La fonction de transfert de convertisseur	66
5-2-2) Résultat de simulation	67
5-3 ETUDE DE LA BOUCLE DE COURANT	70
Introduction	70
5-3-1) Capteur de courant d'induit	70
5-3-1-a) Synthèse de la boucle de courant	71
5-3-2) Détermination des paramètres du régulateur de courant	72
5-4 ETUDE DE LA BOUCLE DE VITESSE	73
Introduction	73
5-4-1) Capteur de vitesse	74
5-4-1-a) Synthèse de la boucle de vitesse	74
5-4-2) Détermination des paramètres du régulateur de vitesse	75
SIMULATION	77
CONCLUSION GENERALE	78
ANEXE	
ANEXE A : Paramètre de la machine à courant-continu	
ANEXE B : PLECS	
REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES	



CHAPITRE 1 :

Figure 1-1 : Représentation schématique et la caractéristique statique d'une e diode	6
Figure 1-2 : Thyristor	7
Figure 1-3 : Thyristor GTO	8
Figure 1-4 : Transistor de puissance	8
Figure 1-5 : Les caractéristiques des interrupteurs	10
Figure 1-6 : Le thyristor à conduction inverse (RCT)	10
Figure 1-7 : Thyristor dual	11
Figure 1-8 : Thyristor	12
Figure 1-9 : Thyristor GTO	12
Figure 1-10: Interrupteur 3 segments bidirectionnel en tension GTO	13
Figure 1-11: Interrupteur 3 segments à RCT dual	13
Figure 2-1 : Commutation dure	14
Figure 2-2 : La commutation	15
Figure 2-2-1 : $U > 0; I > 0$	16
Figure 2-2-2 : $U > 0; I < 0$	17
Figure 2-2-3: $U < 0; I < 0$	17
Figure 2-2-4 : $U < 0; I < 0$	18
Figure 2-3 : Effet d'une inductance en série avec un interrupteur	20
Figure 2-5 : Effet d'une capacité en parallèle avec un interrupteur	21

Figure 2-6 : Les formes d'ondes de v_k, i_k et $v_{k'}$, $i_{k'}$ pendant l'ouverture de l'interrupteur k	22
Figure 2-7 : Les formes d'ondes de la tension v aux bornes d'un interrupteur et celle du courant i	24
<u>CHAPITRE 3 :</u>	
Figure 3-1 : Convertisseur Continu -Continu	26
Figure 3-2 : Hacheur à transistor	27
Figure 3-3 : Hacheur à thyristor	27
Figure 3-4 : Hacheur série	29
Figure 3-5 : Hacheur parallèle	29
Figure 3-6 : Hacheur réversible en courant	30
Figure 3-7 : Hacheur réversible en tension	30
Figure 3-8 : Hacheur réversible en courant et en tension	31
Figure 3-9 : Hacheur série à liaison indirecte	32
Figure 3-10 : Forme d'onde de la conduction continue et discontinue pour un hacheur série	34
Figure 3-11 : Hacheur parallèle à liaison indirecte	35
Figure 3-12 : Formes d'onde de la conduction continue et discontinue pour hacheur parallèle	36
Figure 3-13 : Modèle Simulink de simulation du hacheur à thyristor	37
Figure 3-14 : Détails de bloc (PLECS circuit)	37
Figure 3-15 : La tension aux bornes de la charge	38
Figure 3-16 : Le courant aux bornes de la charge	38
Figure 3-17 : Modèle Simulink pour la simulation du hacheur à IGBT	39
Figure 3-18 : Détails de bloc (PLECS circuit)	39
Figure 3-19 : La tension aux bornes de la charge	40
Figure 3-20 : Le courant aux bornes de la charge	40
Figure 3-21 : La tension et le courant aux bornes de la charge	40

Figure 3-22 : La tension aux bornes de la charge	41
Figure 3-23 : Le courant aux bornes de la charge	41
Figure 3-24 : La tension et le courant aux bornes de la charge	41
Figure 3-25 : Simulink du hacheur à transistor bidirectionnel en courant (réversible en courant)	42
Figure 3-26 : Détails du bloc (PLECS circuit)	42
Figure 3-27 : L'impulsion de IGBT 1	43
Figure 3-28 : L'impulsion de IGBT 2	43
Figure 3-29 : La tension aux bornes de la charge	43
Figure 3-30 : Le courant qui traverse IGBT 1	44
Figure 3-31 : Le courant qui traverse IGBT 2	44
Figure 3-32 : Le courant aux bornes de la charge	44

CHAPITRE 4 :

Figure 4-1 : Interrupteur résonnant à commutation douce à l'ouverture (mode ZCS)	46
Figure 4-2 : Interrupteur à commutation douce à thyristor résonnant (mode ZCS)	47
Figure 4-4 : Interrupteur résonnant à commutation douce à la fermeture (mode ZVS)	48
Figure 4-6 : Interrupteur résonnant à commutation douce à RCT dual résonnant (mode ZVS)	48
Figure 4-7 : Hacheur série quasi-résonnant à thyristor résonnant en (mode ZCS)	49
Figure 4-8 : Hacheur série quasi-résonnant en mode ZCS à RCT résonnant	50
Figure 4-9 : Hacheur parallèle quasi-résonnants en (Mode ZCS)	51
Figure 4-10 : Hacheur parallèle quasi-résonnant à thyristor résonnant en (mode ZCS)	52

Figure 4-11 : Hacheur parallèle quasi-résonnant à RCT résonnant en (mode ZCS)	52
Figure 4-12 : Hacheur quasi-résonnant à thyristor dual résonnant en mode ZVS	53
Figure 4 -13 : Hacheur série quasi-résonnant en mode ZVS à RCT dual résonnant.	54
Figure 4-14 : Modèle Simulink de simulation du hacheur à RCT résonnant	55
Figure 4-15 : Détails de bloc (PLECS circuit)	55
Figure 4-16 : La tension aux bornes de la charge	56
Figure 4-17 : La tension aux bornes de la charge	56
Figure 4-18 : Le courant aux bornes de la charge	57
Figure 4-19 : Le courant aux bornes de la charge	57
 <u>CHAPITRE 5 :</u>	
Figure 5 -1 : Réglage en cascade	59
Figure 5-2 : Structure globale d'une régulation en cascade d'un entraînement à courant continu	60
Figure 5-3 : Schéma bloc de la structure globale	60
Figure 5-4 : Schéma bloc du Moteur à courant continu	63
Figure 5-5 : Marche à vide ($U_{ind}=220v$; $C_r=0$ N.m)	64
Figure 5-6 : Marche en charge ($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127N.m$)	64
Figure 5-7 : Marche en charge à ($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127N.m$; $t=5s$)	64
Figure 5-8 : Marche à vide avec perturbation ($U_{ind}=220v$; $t=3s$; $t=6.5s$)	64
Figure 5-9 : Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$) ; puis à ($t=5s$; $U_{ind} =220v$)	65
Figure 5-10 : Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind} =220v$) et perturbation ($t=3s$; $t=6.5s$)	65
Figure 5-11 : Caractéristique idéale	67

Figure 5-12 : Schéma fonctionnel de l'association Hacheur-Moteur à courant-continu	67
Figure 5-13 : Marche à vide ($U_{ind}=220v$; $C_r =0$ N.m)	68
Figure 5-14 : Marche en charge ($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$N.m)	68
Figure 5-15 : Marche à vide puis en charge ($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$N.m ; $t=5s$)	68
Figure 5-16 : Marche à vide avec perturbation ($U_{ind}=220v$; $t=3s$ $t=6.5s$)	68
Figure 5-17 : Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t =5s$; $U_{ind} =220v$)	69
Figure 5-18 : Marche à vide avec changement de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind} =220v$) et perturbation ($t=3s$; $t=6.5s$)	69
Figure 5-19 : Schéma bloc de régulation de courant.	72
Figure 5-20 : Le schéma bloc final de l'association convertisseur-moteur courant-continu	74
Figure 5-21 : Marche à vide ($U_{ind}=220v$; $C_r =0$ N.m)	76
Figure 5-22 : Marche en charge ($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m)	76
Figure 5-25 : Marche avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind} =220v$)	77
Figure 5-26 : Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind} =220v$) et perturbation ($t=3s$; $t=6.5s$)	77



NOTATIONS

A	: Anode
A,B,C,D	: Les branches des segments
a	: Fermeture commandé
b	: Ouverture commandé
C	: Capacité
C	: Collecteur
C_r	: Couple résistant
C_m	: Couple moteur
D	: Diode
E	: Emeteur
f	: Fréquence
G	: Gâchette
G_1, \dots, G_7	: Des Fonctions de transfert
G_r	: Fonction de transfert de régulateur
G_{cc}	: Fonction de transfert de capteur de courant
G_{con}	: Fonction de transfert de convertisseur
G_{rc}	: Fonction de transfert de régulateur de courant
G_{cv}	: Fonction de transfert de capteur de vitesse
h	: Coefficient d'amplification de régulateur de courant
h'	: Coefficient d'amplification de régulateur de vitesse
i	: Valeur instantané de courant
i_B	: Courant de base
I	: Courant de sortie
I_d	: Courant continu d'induit
I_{dn}	: Courant continu nominal
I_{max}	: Courant admissible d'induit
J	: Moment d'inertie
j	: Courant d'excitation (courant d'inducteur)
K	: Coefficient de moteur
K	: Cathode
k, k'	: Interrupteur
K_{cc}	: Facteur de transfert pour un convertisseur de courant
K_{con}	: Coefficient de convertisseur statique
K_{cv}	: Facteur de transfert du capteur de vitesse
K_m	: Coefficient électromécanique
L	: Inductance
L_a	: Inductance d'induit
M	: Moteur à courant continu
N	: Vitesse de rotation (tr/min)
P	: Nombre d'indice de pulsation
R_a	: Résistance d'induit du moteur
R	: Résistance
P	: Opérateur de laplace
P_c	: Perte de commutation

T	: Constantes de temps de régulateur de courant
T'	: Constantes de temps de régulateur de vitesse
T_{cc}	: Constante de temps de capteur de courant
T_{cm}	: Constante de temps de convertisseur de courant
T_e	: Constante de temps électrique du moteur
T_i	: Constante du temps d'intégration
T	: Période de hachage
T	: Constant de temps électromécanique
t	: Temps
Th	: Thyristor
U	: Tension de d'entrée
U_{moy}	: Tension moyenne
U_{max}	: Tension de capteur de sortie maximale
U_d	: Tension continue d'induit
u	: Tension d'entrée
u'	: Tension de sortie
U_a	: La tension de commande
V_{CE}	: La tension aux bornes considérées
w	: Vitesse de rotation (rad/s)
W_{cbi}	: La fréquence de coupure de boucle de courant
w_n	: Vitesse de rotation nominale (rad/s)
ϕ	: Flux magnétique
T_1, T_2, T'_1, T'_2	: Les constantes du temps de fonction de transfert standard
ZCS	: Passage par zéro de courant [zero current switching]
ZVS	: Passage par zéro de tension [zero voltage switching]
α	: Rapport cyclique de hacheur



CHAPITRE 1 :

*LES FONCTIONS
« INTERRUPTEURS »*

INTRODUCTION :

L'électronique de puissance utilise des semi-conducteurs fonctionnent en « interrupteurs », un « interrupteur » peut être formé par un seul semi-conducteur ou par un groupement en série ou en parallèle de plusieurs semi-conducteurs pour montrer le rôle qu'un « interrupteur » peut remplir, on indique dans le plan [tension v aux bornes, courant i traversant l'interrupteur] :

- La branche de caractéristique où il peut travailler.
- Les changements de branches qu'il peut assurer.

Un interrupteur semi-conducteur, comme un interrupteur mécanique, équivaut à une résistance très faible lorsqu'il est fermé, ou très forte lorsqu'il est ouvert, mais toujours positive, son point de fonctionnement ne peut se situer que dans les quadrants 1 et 3 du plan $[v, i]$ ou v/i est positif. Le passage de l'un de ces quadrants à l'autre ne peut se faire qu'en passant par le point O.

Puisqu'un interrupteur dynamique fonctionne par tout ou rien, en dehors des commutations son point de fonctionnement ne peut se déplacer que sur les branches que les segments suivants :

- OA, fermé avec un courant direct ($i > 0, v > 0$ très faible),
- OB, ouvert avec une polarisation directe ($v > 0, i > 0$ très faible),
- OC, fermé avec un courant inverse ($i < 0, v < 0$ très faible),
- OD, ouvert avec une polarisation inverse ($v < 0, i < 0$ très faible).

La caractéristique statique d'un interrupteur est formée des segments sur lesquels son point de fonctionnement peut se déplacer.

Si l'interrupteur est commandable à la fermeture par action sur l'électrode de commande, on peut faire passer très rapidement son point de fonctionnement du segment OB au segment OA (ou de OD à OC).

S'il est commandable à l'ouverture, on peut faire passer très rapidement son point de fonctionnement de OA à OB (ou de OC à OD).

En première approximation, lors de l'étude des circuits, on suppose les interrupteurs parfaits :

- On néglige la chute de tension à l'état fermé,

- On néglige le courant de fuite à l'état ouvert,
- On suppose que les changements d'état sont instantanés. [1]

Avant d'aborder l'étude des montages à semi-conducteurs quelques rappels sur les semi-conducteurs, nous indiquent simplement les caractéristiques à l'état passant et à l'état bloqué et indiquons ce qui permet de passer d'un état à l'autre.

a) Diode :

La diode est un composant à deux électrodes, l'anode A et la cathode K , sans électrode de commande son fonctionnement, lui est totalement imposé par le circuit dans lequel elle est insérée.

La figure (1-1-a) donne le schéma utilisé pour représenter une diode et indique les sens de référence adoptés pour la tension v à ses bornes et le courant i qui la traverse.

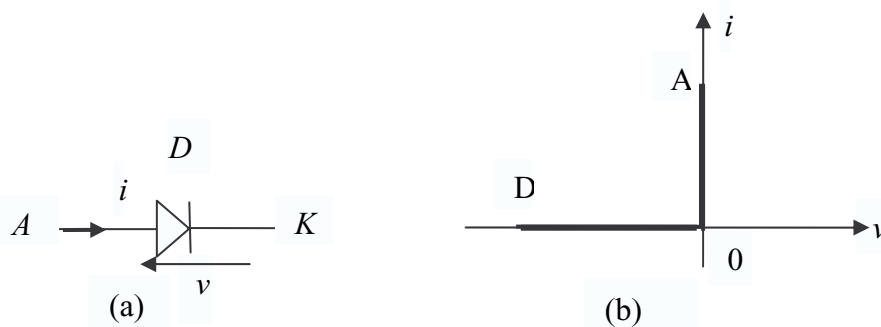


Figure 1-1 Représentation schématique et la caractéristique statique d'une diode

Quand ce circuit tend à faire passer un courant dans le sens direct ou perméable, c'est-à-dire de A vers K , la diode est conductrice ou passante.

Quand ce circuit applique une tension négative ou inverse à ses bornes, la diode est bloquée ou isolante.

Une diode est essentiellement caractérisée par le courant direct moyen qu'elle peut écouler et par la tension maximale qu'elle peut supporter.

La caractéristique statique d'une diode est donc celle d'un interrupteur unidirectionnel en courant et en tension (figure 1-1-b). [2]

b) Thyristor :

Le thyristor ordinaire (figure 1-2-a) est un semi-conducteur à *fermeture commandée*. Entre l'anode A et la cathode K , il possède une électrode de commande, la gâchette G .

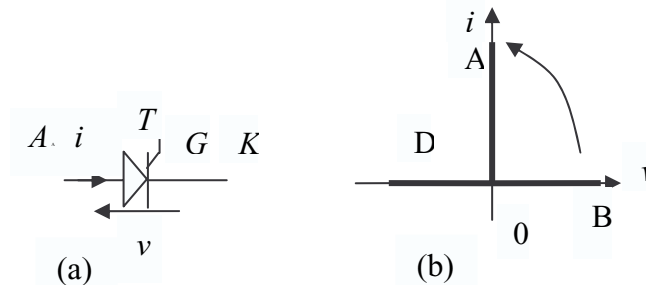


Figure 1-2 Thyristor

Le thyristor est bloqué quand la tension v à ses bornes est négative. Si de négative la tension v positive, il reste bloqué.

Mais si v étant positive, on fait passer une impulsion positive de courant de la gâchette vers la cathode, le thyristor devient passant. La figure (1-2-b) montre les trois segments de fonctionnement.

Les thyristors *symétriques* ont une tension inverse maximale égale à la tension directe qu'ils peuvent bloquer à courant de gâchette nul. Les thyristors *asymétriques* ne peuvent tenir en inverse qu'une tension très inférieure à leur tension directe maximale.

La caractéristique statique d'un thyristor est donc celle d'un interrupteur *unidirectionnel en courant et bidirectionnel en tension*. [2]

c) Thyristor GTO :

Le thyristor **GTO** (*gâche- tourne – off*), souvent appelé simplement GTO, est un semi-conducteur dont la *fermeture et l'ouverture* peuvent être commandées par la gâchette. La figure (1-3) montre le symbole de GTO et les trois segments de sa caractéristique statique de fonctionnement.

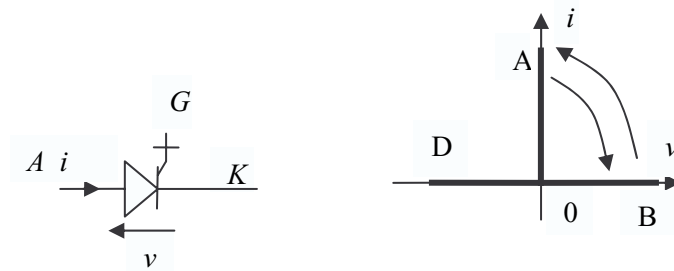


Figure 1-3 Thyristor GTO

Le **GTO** est bloqué quand v est négative, quand v est positive, une impulsion positive de courant de gâchette permet de le fermer (passage direct de OB à OA).

Quand il est conducteur, il peut se bloquer spontanément quand le circuit dans lequel il est inséré annule le courant qui le traverse (passage par O de OA à OD). Mais une *forte impulsion négative de courant de gâchette* permet de commander son ouverture (passage direct de OA à OB).

Lors de l'ouverture commandée, pendant la remontée de la tension v positive aux bornes du GTO, le courant i positif ne s'annule qu'assez lentement, il y a ce qu'on appelle un « *courant de queue* ».

La caractéristique statique de thyristor GTO est donc celle d'un interrupteur unidirectionnel en tension et en courant dans la fermeture et l'ouverture peuvent être commandées. [2]

d) Transistor :

Les transistors de puissance sont des transistors spécialisés adaptés au fonctionnement par tout au rien. La commande externe agit sur la fermeture et l'ouverture.

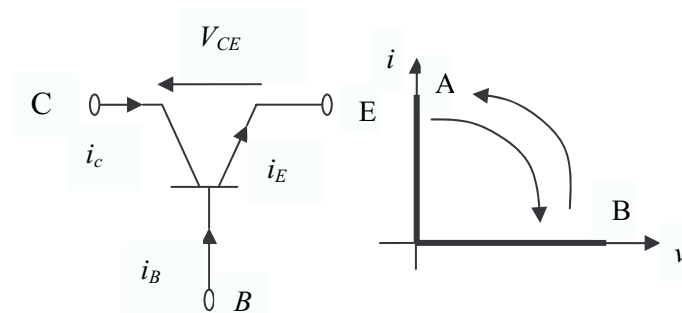


Figure1- 4 Transistor de puissance

Le transistor utilisé est d'ordinaire du type NPN (figure 1-5). La commande s'opère par le courant i_B envoyé dans la jonction base (B)-émetteur(E). La tension aux bornes considérées est la différence de potentiel « V_{CE} » entre le collecteur (C) et l'émetteur (E). Le courant commandé est celui i_c du collecteur. [3]

Le transistor est un interrupteur unidirectionnel en courant et en tension comme le GTO asymétrique.

Les composants semi-conducteurs aujourd'hui disponibles sont unidirectionnels en courant et peuvent se ramener à l'un des trois types suivants :

- Le composant non commandé (symbole D), il a les caractéristiques d'une diode (figure 1-1)
- Le composant à fermeture commandée (symbole T), il a les caractéristiques d'un thyristor est bidirectionnel en tension (figure 1-2)
- Le composant à fermeture et ouverture commandées. Nous utiliserons le symbole Th ou les deux gâchettes, montrent la possibilité de commandé à la fermeture et à l'ouverture ce composant a les caractéristiques d'un GTO *asymétrique* et est d'ordinaire unidirectionnel en tension. Lorsqu'il est bidirectionnel en tension (*GTO symétrique*, thyristor ordinaire complété par son circuit auxiliaire d'extinction).

Les caractéristiques demandées aux interrupteurs à utiliser pour réaliser le convertisseur peuvent être différentes de celles des composants. On réalise alors ces interrupteurs en associant plusieurs composants. [2]

Les caractéristiques de ces interrupteurs peuvent être :

- à 2 segments : unidirectionnel en courant et en tension.
- à 3 segments : unidirectionnel en tension et bidirectionnel en courant ou unidirectionnel en courant et bidirectionnel en tension,
- à 4 segments : bidirectionnel en courant et en tension

On se limitant à l'étude des interrupteurs à 3 segments, pour plus d'information sur les autres types de l'interrupteur consulté [2].

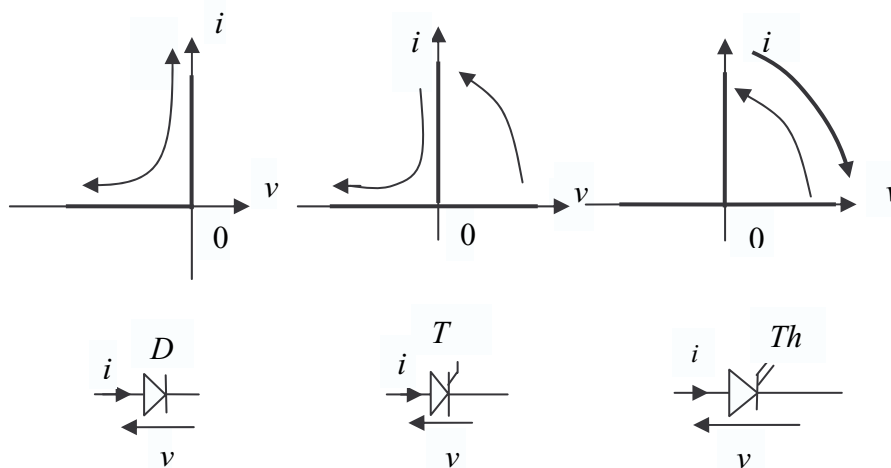


Figure 1-5 Les caractéristiques des interrupteurs

1-1 INTRRUPTEUR à 3 SEGMENTS BIDIRECTIONNEL EN COURANT :

La diode, le thyristor étant tous unidirectionnels en courant, un tel interrupteur ne peut être synthétisé que par l'association de deux composants élémentaires.

1-1-a) Fonction « thyristor RCT » :

Si la fermeture seule doit être commandée, on peut utiliser le thyristor à conduction inverse, désigné par RCT (*Reverse Conducting Thyristor*) ou parfois TH-D (*Thyristor – Diode*).

Le thyristor à conduction inverse correspond à l'association d'un thyristor et d'une diode en parallèle inverse. [2]

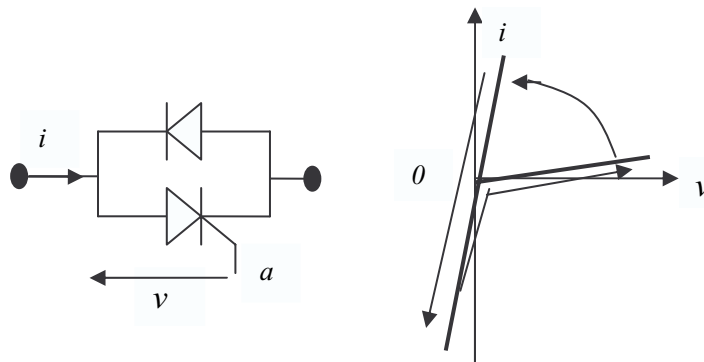


Figure 1-6 Le thyristor à conduction inverse (RCT)

Lorsque l'interrupteur est bloqué, il supporte une tension positive. On peut le rendre conducteur en commandant la mise en conduction du thyristor par une impulsion de gâchette. Lorsque, sous l'action de circuit extérieur, le courant de positif devient négatif, le thyristor se bloque et le courant est transféré à la diode. Le retour à l'état bloqué de l'interrupteur correspond à l'ouverture spontanée de la diode.

1-1-b) Fonction « thyristor dual » :

Si l'ouverture seule doit être commandée, on peut utiliser le thyristor dual. Le thyristor dual, dont le concept est dû à **H.FOCH** et à son équipe, s'obtient en appliquant au thyristor conventionnel le principe de la dualité, non seulement au niveau des variables électriques $v \rightleftharpoons i$; mais aussi au niveau de la commande.

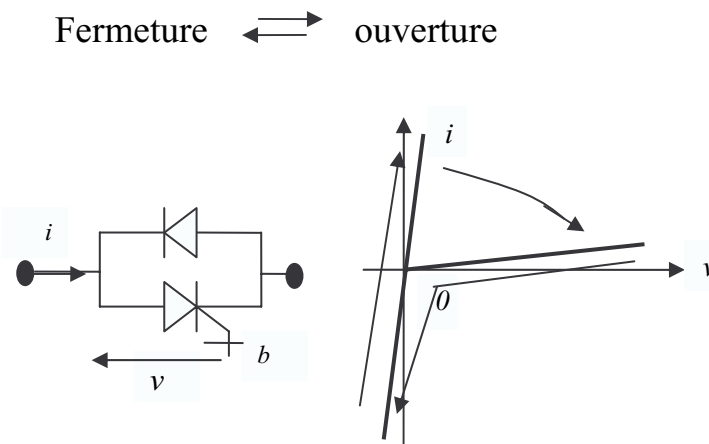


Figure 1-7 Thyristor dual

Comme le montre sa caractéristique dans le plan v et i (Figure 1-7) ; le thyristor dual doit :

- Pouvoir écouler un courant positif ou négatif,
- Se fermer dès que la tension à ses bornes cesse d'être positive,
- Pouvoir être commandé à l'ouverture lorsque le courant qui le traverse est positif.

1-2 INTERRUPTEUR à 3 SEGMENTS BIDIRECTIONNEL EN TENSION :

Cet interrupteur étant unidirectionnel en courant peut être réalisé avec un seul composant ou la mise en série de plusieurs composants. [2]

1-2-a) Thyristor :

Le thyristor peut être bidirectionnel en tension, mais on ne peut utiliser que pour les applications où seule la fermeture doit être commandée.

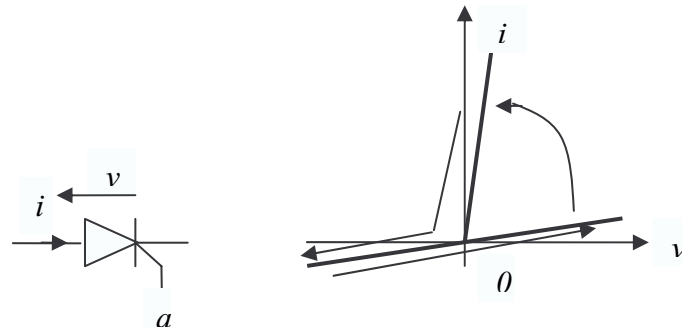


Figure 1-8 Thyristor

1-2-b) Thyristor GTO :

Si l'interrupteur 3 segments doit être à ouverture et fermeture commandées, il faut utiliser un composant lui-même à ouverture et fermeture commandées, si ce composant est bidirectionnel en tension, le GTO symétrique constitue à lui seul l'interrupteur.

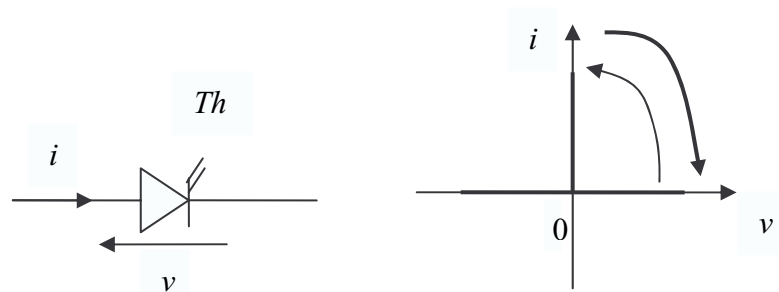


Figure 1-9 Thyristor GTO

1-2-c) GTO –diode « en série » :

Si le composant est unidirectionnel en tension, il faut monter en série avec lui une diode. La figure (1-10) montre la mise en série d'un GTO et d'une diode, dont les caractéristiques ont en commun le segment situé sur l'axe des i , donne la caractéristique désirée.[2]

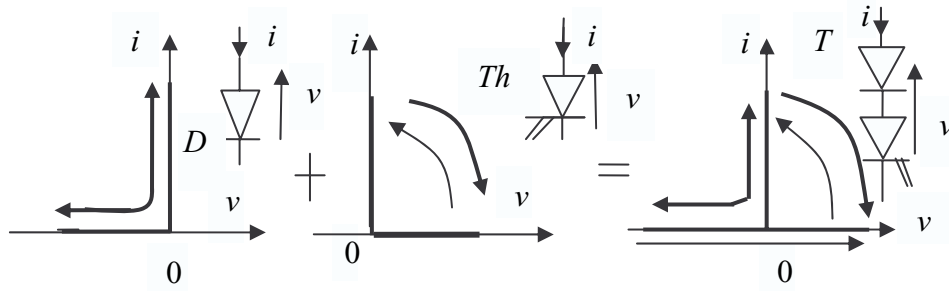


Figure 1-10 Interrupteur 3 segments bidirectionnels en tension GTO

1-2-1) Fonction « RCT dual » :

En appliquant au thyristor a conduction inverse le principe de dualité on obtient le *RCT dual*, interrupteur 3 segments dont seule l'ouverture est commandée. [2]

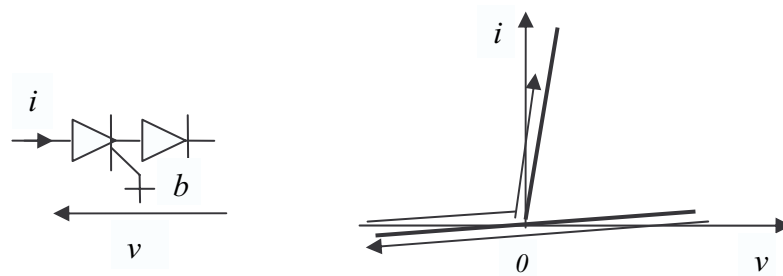


Figure 1-11 Interrupteur 3 segments à RCT dual

CHAPITRE 3 :

*PRESENTATION DES
STRUCTURES DES
CONVERTISSEURS
CONTINU-CONTINU
« LES HACHEURS »*

INTRODUCTION :

Les convertisseurs continu-continu ont pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension continue de départ peut être un réseau alternatif redressé et filtré, une batterie d'accumulateur, une alimentation stabilisée.

On distingue deux types de convertisseur continu-continu. Ceux qui sont non isolés, que l'on appellera hacheurs, et ceux qui comportent un transformateur assurant l'isolation galvanique, que l'on appelle alimentations à découpage (cas des alimentations de PC...), par la suite, nous nous étudierons que les premiers.

Les hacheurs sont les convertisseurs statiques *continu-continu* permettant de fabriquer une source de tension continue variable à partir d'une source de tension continue fixe. La figure (3-1) rappelle le schéma de principe du hacheur. [6]

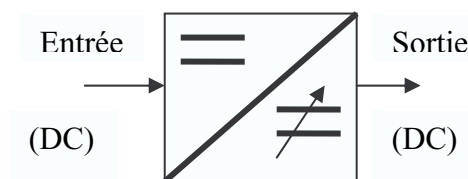


Figure 3-1 Convertisseur Continu -Continu

a)- Hacheur à transistor :

L'apparition de transistor de puissance sur le marché a ouvert de nouvelle voie pour la modulation de l'énergie. On peut réaliser des transistors de puissance ayant un courant de collecteur 200 A et supportant une tension inverse pouvant atteindre 1 000 V.

Ce montage permet d'obtenir des fréquences de hachage beaucoup plus importantes qu'avec des thyristors et ne nécessite pas de circuit d'extinction.

En revanche, un circuit d'aide à la commutation (CALC) est nécessaire pour permettre une commutation plus rapide, donc un meilleur rendement. [6]

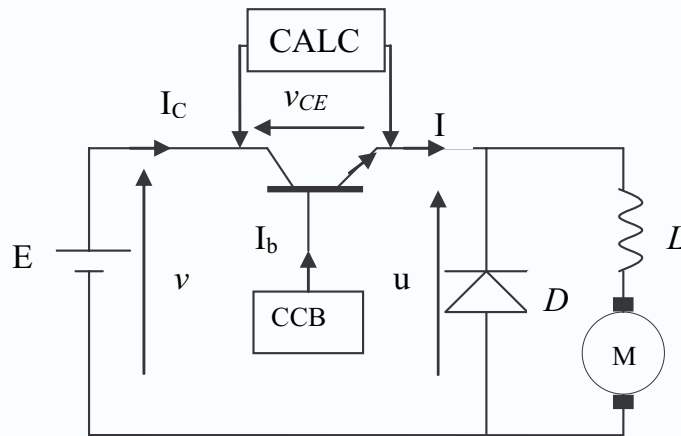


Figure 3-2 Hacheur à transistor

Le transistor n'a pas de pouvoir de blocage en sens inverse. Le passage du courant en inverse sous l'effet d'une tension « V_{CE} » négative provoque sa destruction.

- Circuit d'aide à la commutation (CALC) : permet, par sa mise en conduction, de ralentir la croissance de la tension V_{CE} et, par son blocage, de ralentir la montée du courant I_C .
- Circuit de commande de base (CCB) : assure l'isolement du circuit de puissance et un courant de base suffisant.

b)- Hacheur à thyristor :

Les hacheurs à thyristors sont les hacheurs les plus couramment utilisés, car ils peuvent contrôler des courants intenses et des tensions élevées. Ils sont difficiles d'emploi car, si l'amorçage par la gâchette est difficile, La coupure du courant nécessite un passage à zéro de la tension aux bornes du thyristor ou la création d'une tension inverse sur la cathode.

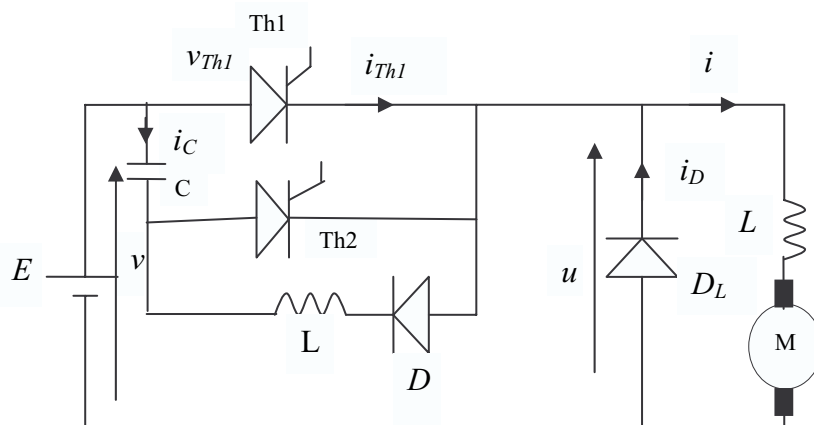


Figure 3-3 Hacheur à thyristor

3-1 LES HACHEURS à LIAISON DIRECTE :

Un hacheur est dit à liaison directe, ou plus brièvement directe, quand *entre son entrée et sa sortie il n'y a pas d'élément de stockage de l'énergie* (inductance ou capacité). Il ne comporte que des semi-conducteurs.

Dans les schémas, on représentera les semi-conducteurs à ouverture et fermeture commandée comme des thyristors à deux gâchettes et on leur affectera le symbole T .

On désignera par :

u et i , la tension et le courant d'entrée,

u' et i' , la tension et le courant de sortie,

U, I, U' et I' , les valeurs moyennes de u, i, u' et i' .

Si on néglige les pertes à l'intérieur du hacheur, les puissances moyennes à l'entrée et à la sortie sont les mêmes dans un hacheur direct, puisqu'il n'y a pas d'élément interne de stockage, il en est de *même des puissances instantanées* : [3]

$$u i = u' i'.$$

3-1-1 Hacheur série :

Le hacheur série commande le débit :

- D'un générateur de tension.
- Dans un récepteur de courant.

On l'appelle hacheur *série* (BUCK Converter), car le semi-conducteur commandé est en série entre l'entrée et la sortie, ou hacheur dévolteur (STEP DOWN Converter), car la tension de sortie a une valeur moyenne inférieure à la tension d'entrée.

Dans la figure (3-4), Le hacheur est formé du semi-conducteur à fermeture et ouverture commandées T et de la diode D . [3]

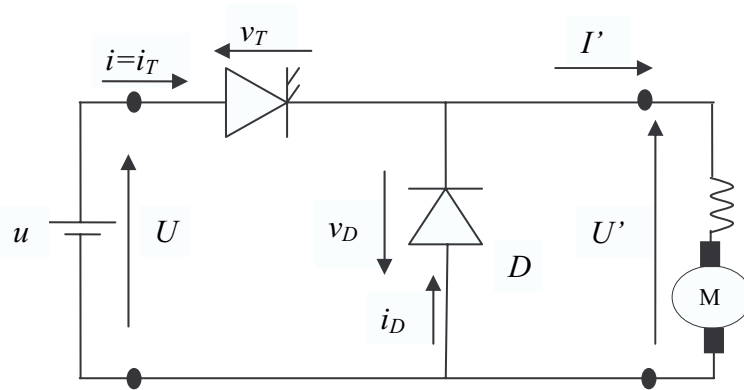


Figure 3-4 Hacheur série

3-1-2) Hacheur parallèle :

Le hacheur parallèle commande le débit :

- D'un générateur de courant,
- Dans un récepteur de tension,

On qualifie ce hacheur de parallèle (BOOST Converter), car le semi-conducteur commandé est dérivé aux bornes du générateur ; on l'appelle aussi hacheur survolteur (STEP UP Converter) car la tension de sortie est supérieure à la valeur moyenne de la tension d'entrée.

Dans la figure (3-5), le hacheur est formé du semi-conducteur à fermeture et ouverture commandées T et de la diode D . [3]

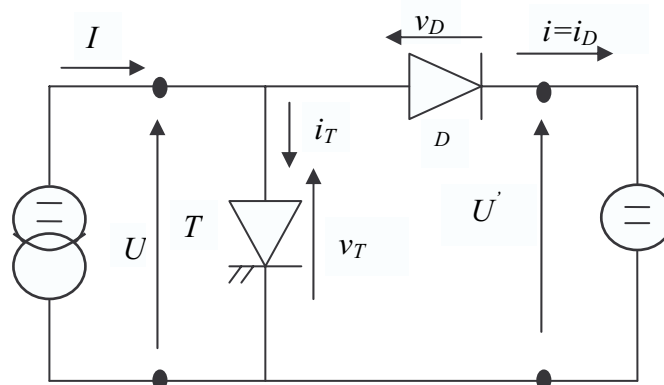


Figure 3-5 Hacheur parallèle

3-1-3) Hacheur réversible en courant :

Avec un schéma à deux interrupteurs on peut commander le transfert de l'énergie dans les deux sens entre une source de tension et une source de courant. Nous nous limiterons à l'étude du schéma le plus utilisé, celui du hacheur *reliant* deux sources réversibles en courant. [3]

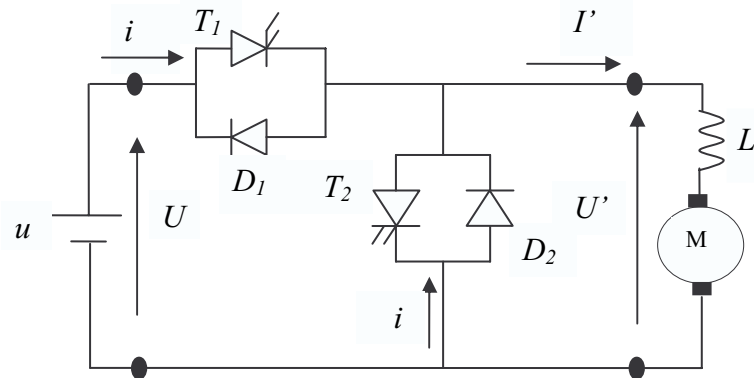


Figure 3-6 Hacheur réversible en courant

3-1-4) Hacheur réversible en tension :

La tension appliquée à la charge peut prendre les valeurs (+E) ou (-E), ce qui permet, suivant la valeur du rapport cyclique de donner une valeur moyenne de tension de sortie positive ou négative. En revanche, le courant doit rester de signe constant dans la charge, car les interrupteurs ne sont pas réversibles.

La charge est formée par une machine à courant continu en série avec une inductance, destinée à limiter l'ondulation de courant dans la machine. La machine fonctionne sous un courant toujours de *même signe*.

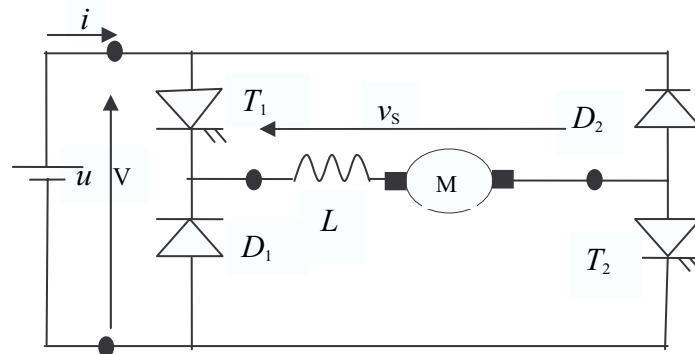


Figure 3-7 Hacheur réversible en tension

Lors de la première phase de fonctionnement, dans l'intervalle de temps $[0, \alpha T]$ les deux Interrupteurs commandés T_1 et T_2 sont fermés et les diodes D_1 et D_2 ouvertes. La charge est sous tension (+E).

Lors de la seconde phase de fonctionnement, sur l'intervalle de temps $[\alpha T, T]$, les Interrupteurs commandés sont ouverts et les diodes passantes. La charge est sous tension (-E). [6]

3-1-5) Hacheur réversible en tension et en courant :

On reprend la structure du hacheur réversible en tension que nous venons de donner en remplaçant les interrupteurs par des interrupteurs réversibles en courant. Dans ce cas, *le courant dans la charge peut changer de signe*.

Comme pour le hacheur simplement réversible en courant, ce sera la diode ou le transistor qui sera passant, suivant le signe du courant dans l'interrupteur.

On obtient donc la structure suivante:

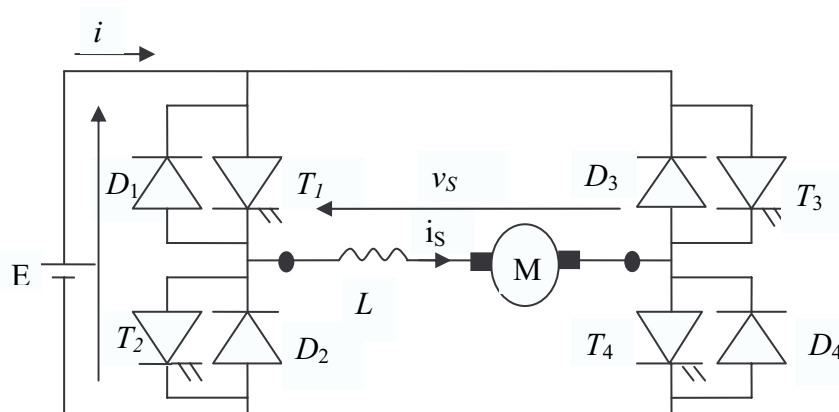


Figure 3-8 Hacheur réversible en courant et en tension

Cette fois, la tension moyenne de sortie et le courant moyen de sortie peuvent être positifs ou négatifs. La source et la charge peuvent avoir leurs rôles inversés suivant le signe de ces grandeurs. [6]

3-2 LES HACHEURS A LIAISON INDIRECTE :

Pour commander le transfert d'énergie *entre deux sources de même nature*, sans changer la nature de l'une d'elles, il faut utiliser un hacheur à liaison indirecte ou à

accumulation .Celui –ci comporte un élément de stockage de l'énergie, inductance ou capacité, que l'on relie tantôt à l'entrée, tantôt à la sortie. Entrée et sortie ne sont jamais reliées directement.

Nous nous limiterons au cas des hacheurs indirects à deux interrupteurs et au cas où ces hacheurs ne sont pas réversibles .On peut évidemment réaliser des hacheurs indirects réversibles ; mais dans le cas où on n'utilise que deux interrupteurs ,les deux sources doivent présenter les mêmes réversibilités .[3]

Nous intéresser, dans un premier temps aux structures les plus simples des hacheurs. Il s'agit de celles qui n'assurent pas la réversibilité, ni en tension ni en courant. L'énergie ne peut donc aller que de la source vers la charge. [6]

3-2-1) Hacheur série (ou dévolteur):

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 à blocage commandés (transistor bipolaire ou IGBT...) et un interrupteur à blocage et amorçage spontanés (diode).

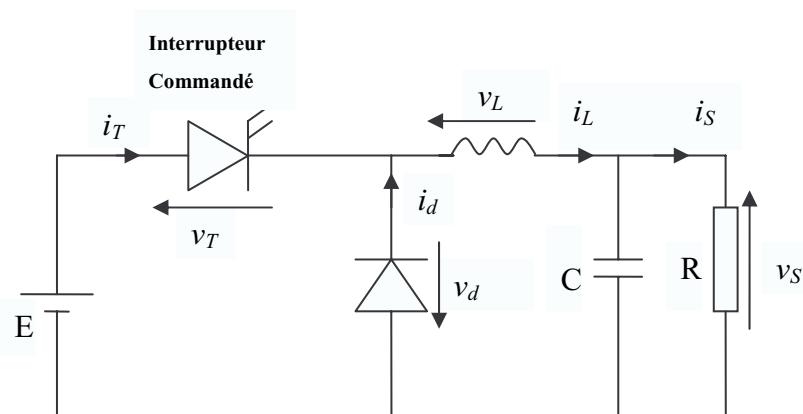


Figure 3-9 Hacheur série à liaison indirecte

La charge est constituée par la résistance R . Les éléments L et C forment un filtre dont le but est de limiter l'ondulation résultant du découpage sur la tension et le courant de sortie. Si ces éléments sont correctement calculés, on peut supposer que « i_S » et « v_S » sont continus (on néglige l'ondulation résiduelle).L'ensemble (filtre + charge) peut être composé différemment, mais nous raisonnerons sur cet exemple par la suite.

a)- Fonctionnement :

Le cycle de fonctionnement, de période de hachage T ($T=1/f$), comporte deux étapes. Lors de la première, on rend le transistor passant et la diode, polarisée en inverse, est bloquée. Cette phase dure de 0 à αT avec α Compris entre 0 et 1 .

α : est appelé rapport cyclique.

Lors de la seconde, on bloque le transistor. La diode devient passante. Cette phase dure de αT à T .

b)- Formes d'ondes :

Nous allons être amenés à distinguer deux cas : *la conduction continue* et *la conduction discontinue*.

- Dans le premier, le courant de sortie est suffisamment *fort* et le courant dans l'inductance ne s'annule jamais, même avec l'ondulation due au découpage.
- Dans le second, le courant de sortie *moyen* est bien entendu positif, mais, en raison de sa faible valeur moyenne, l'ondulation du courant dans l'inductance peut amener ce dernier à s'annuler. Or, les interrupteurs étant unidirectionnels, le courant ne peut changer de signe et reste à 0 .

Les formes d'ondes données maintenant supposent que les composants sont tous parfaits et que tension et courant de sortie, v_S et i_S , peuvent être assimilés à leur valeur moyenne (Ondulations de sortie négligées).

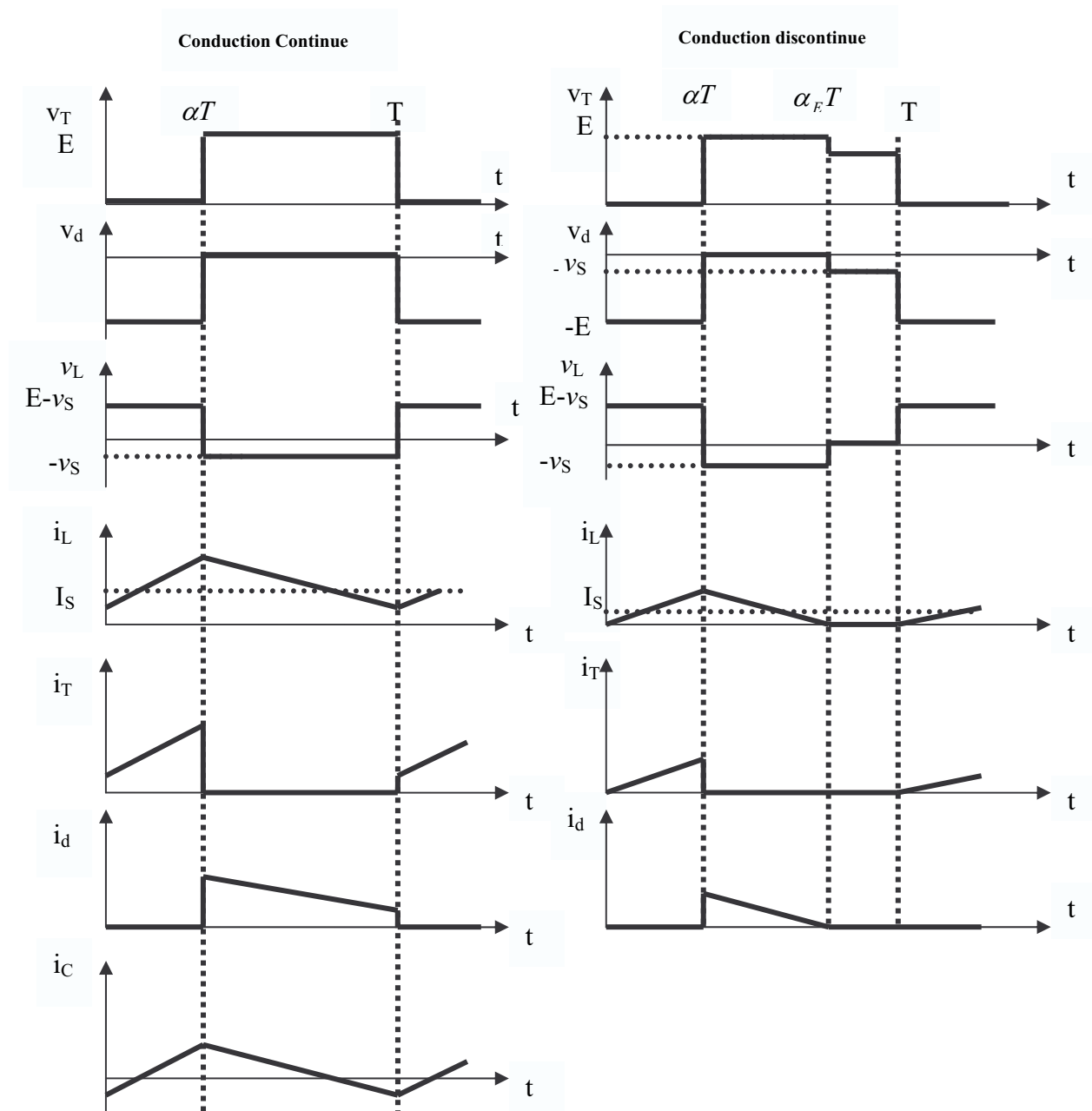


Figure 3-10 Formes d'ondes de la conduction continue et discontinue pour un hacheur série

3-2-2) Hacheur parallèle (ou survolteur) :

Dans ce hacheur, la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée, d'où son nom. Cette structure demande un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (transistor bipolaire ou IGBT...) et une diode (amorçage et blocage spontanés).

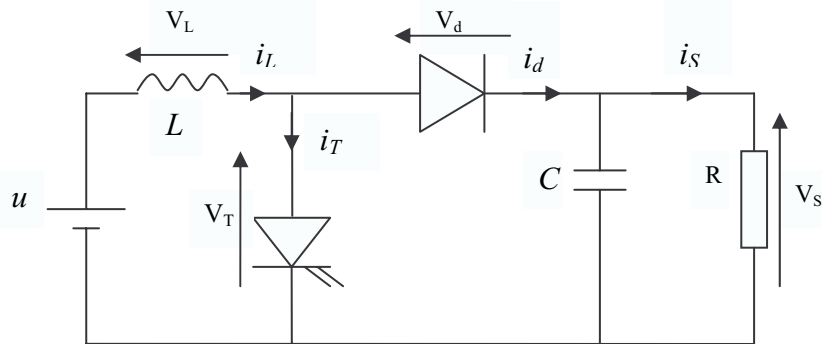


Figure 3-11 Hacheur parallèle à liaison indirecte

L'inductance L permet de lisser le courant appeler sur la source. La capacité C permet de limiter l'ondulation de tension en sortie.

a)- Fonctionnement :

Lors de la première partie du cycle de fonctionnement, de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé (passant). Cette fois, la source et la charge ne sont pas en contact durant cette phase la diode est alors bloquée.

Lors de la seconde partie du cycle, de αT à T , on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante. C'est alors que la source et la charge sont reliées.

b)- Formes d'ondes :

Les formes d'ondes sont de la forme suivante (en supposant la tension et le courant de sortie continue).

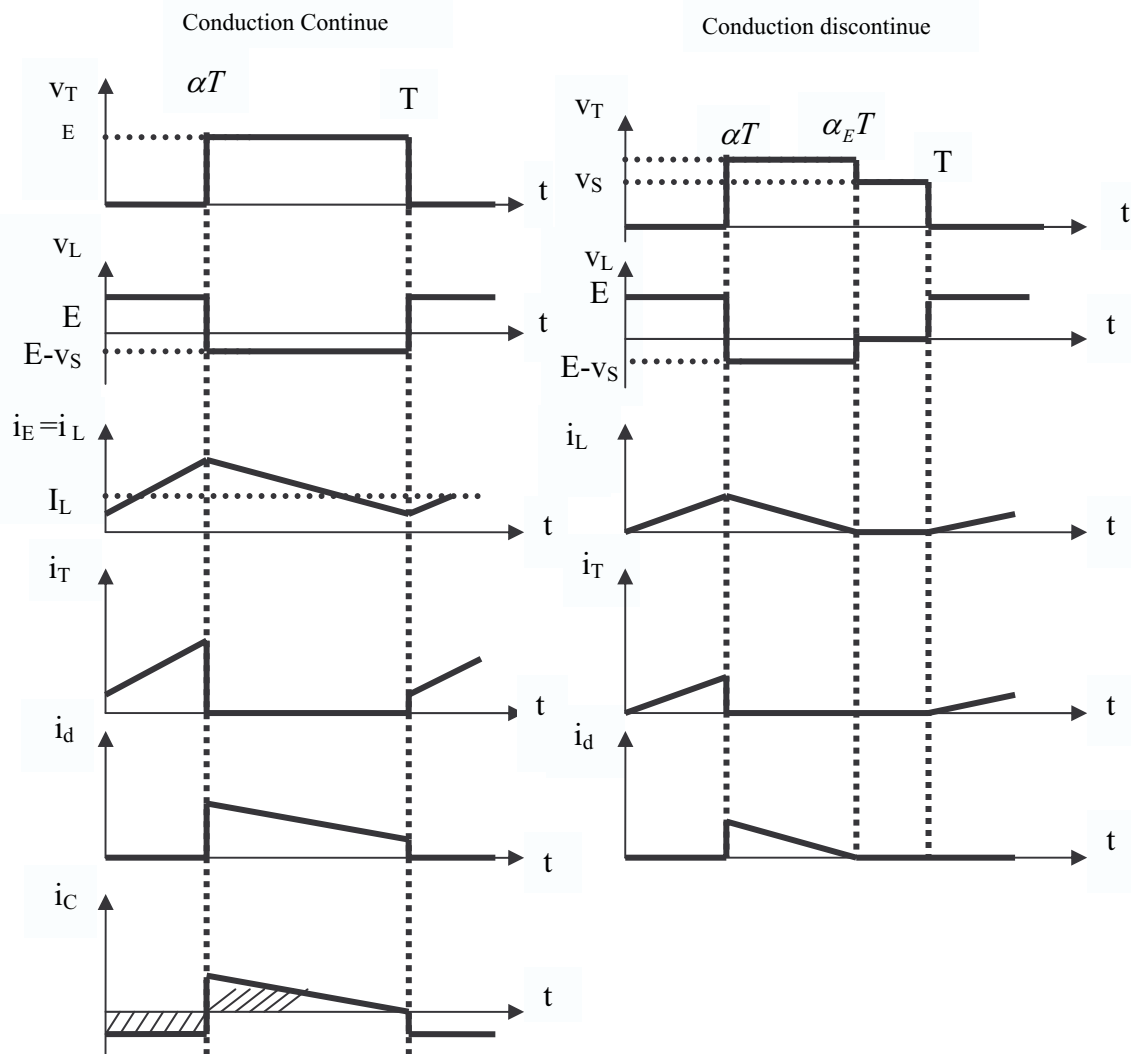
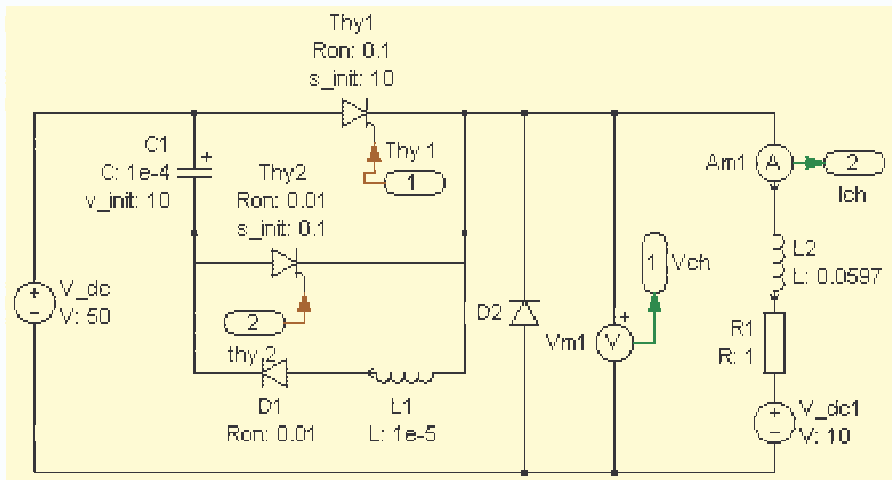
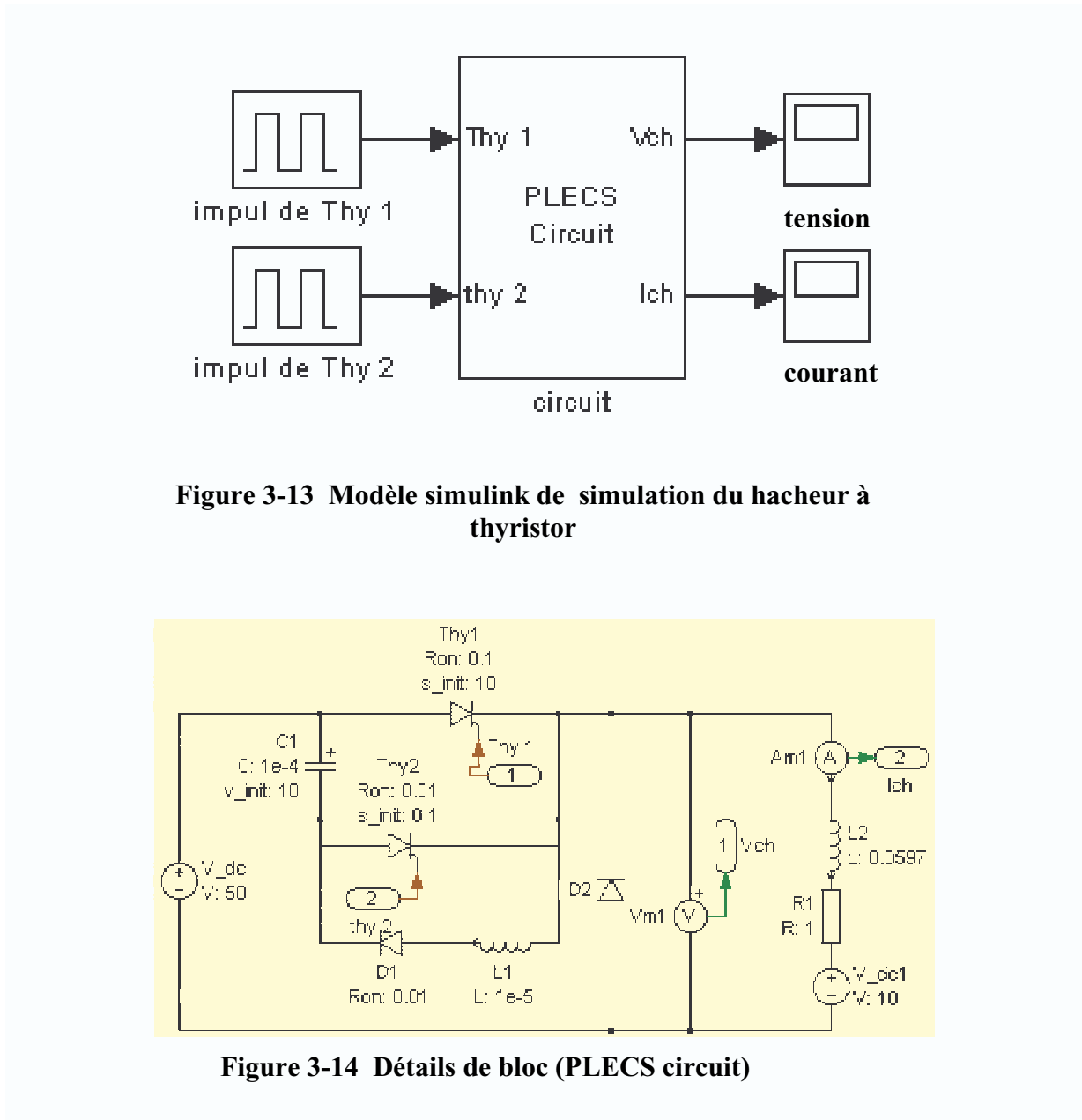


Figure 3-12 Formes d'ondes de la conduction continue et discontinue pour hacheur parallèle

3-4 RESULTAT DE SIMULATION :

3-4-1) Hacheur à thyristor :



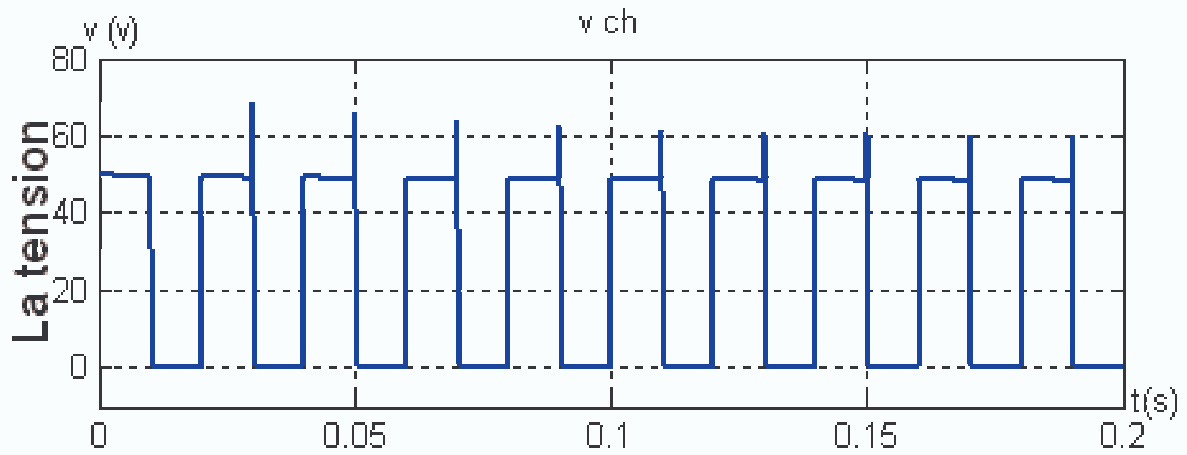


Figure 3-15 La tension aux bornes de la charge

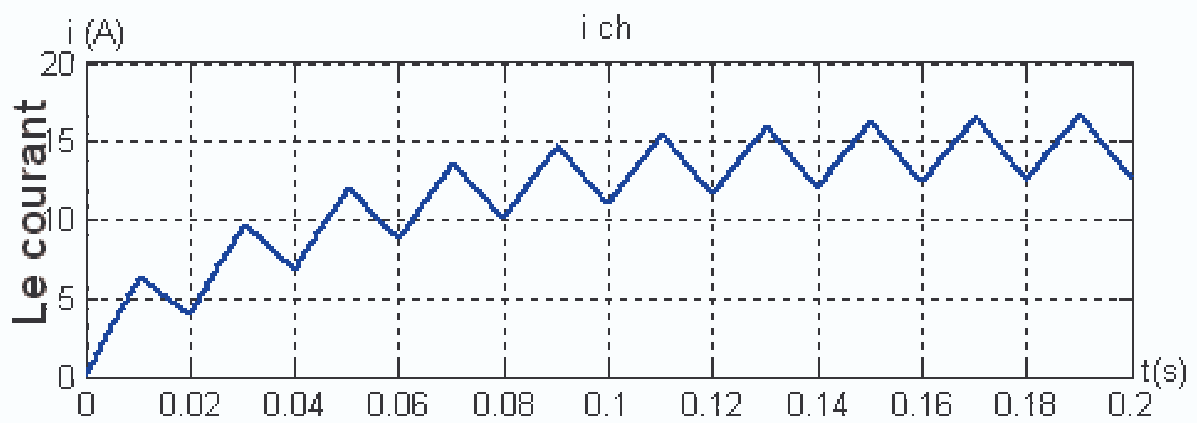


Figure 3-16 Le courant aux bornes de la charge

3-4-2) Hacheur à IGBT :

a)- Structure non réversible en courant :

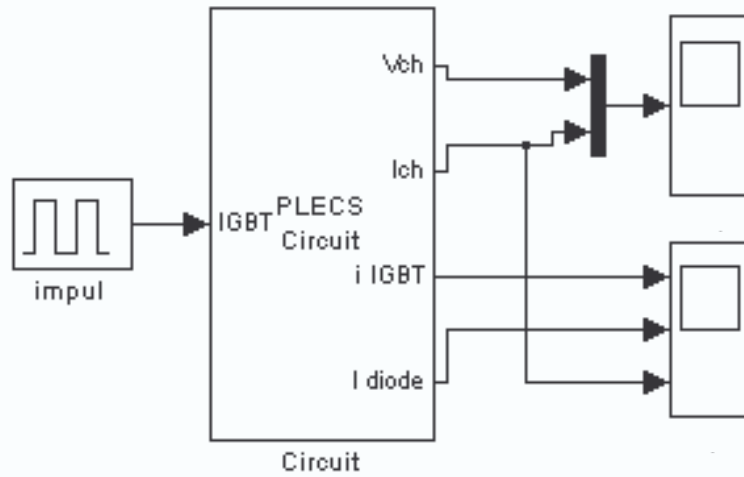


Figure 3-17 Modèle simulink pour la simulation du hacheur à IGBT

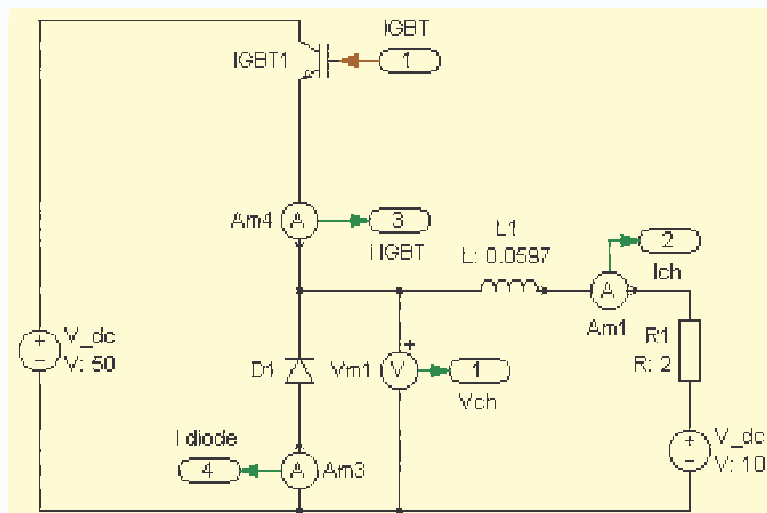


Figure 3-18 Détails de bloc (PLECS circuit)

a-1)- Conduction continue :

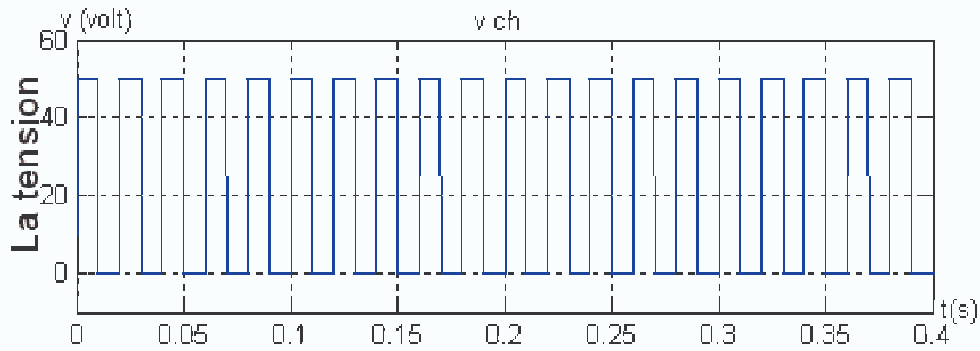


Figure 3-19 La tension aux bornes de la charge

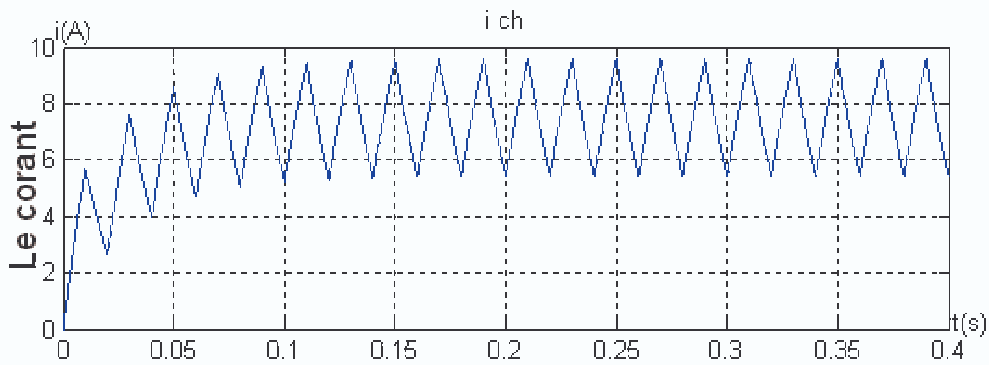


Figure 3-20 Le courant aux bornes de la charge

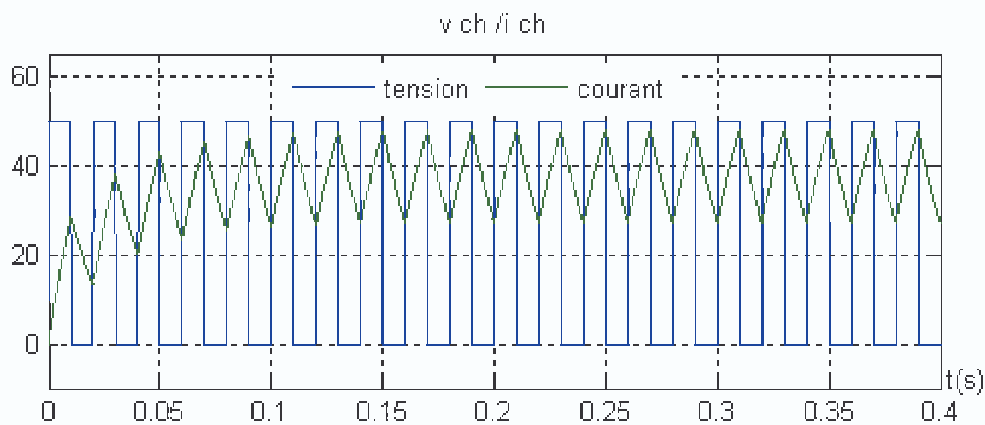


Figure 3-21 La tension et le courant aux bornes de la charge

a-2)- Conduction discontinue :

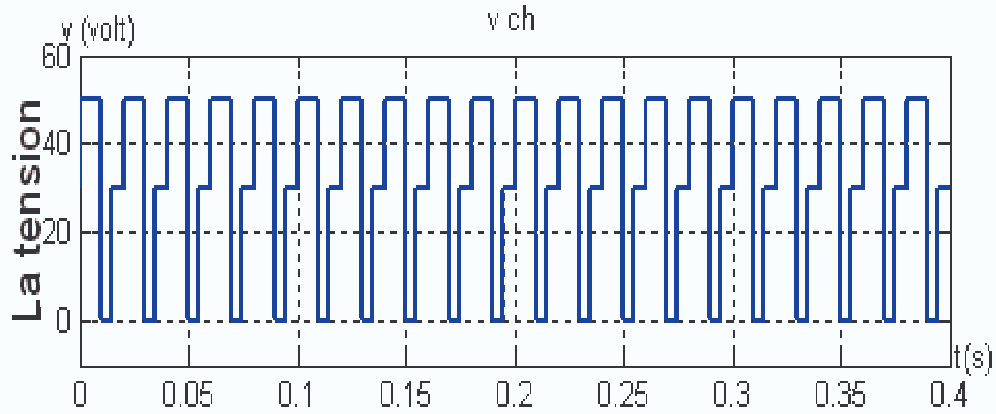


Figure 3-22 La tension aux bornes de la charge

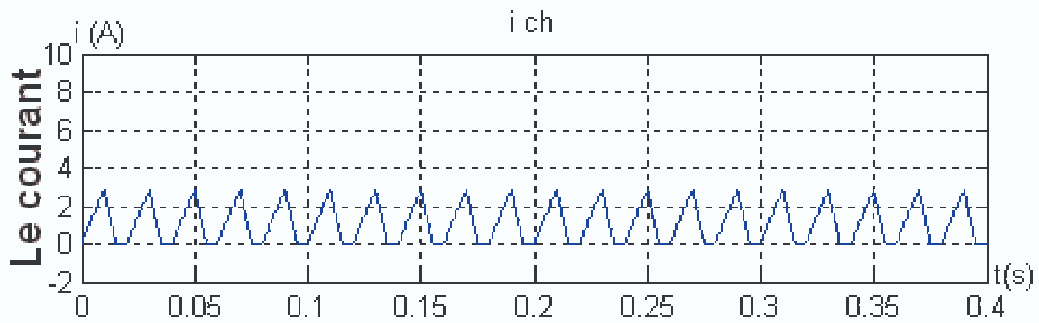


Figure 3-23 Le courant aux bornes de la charge

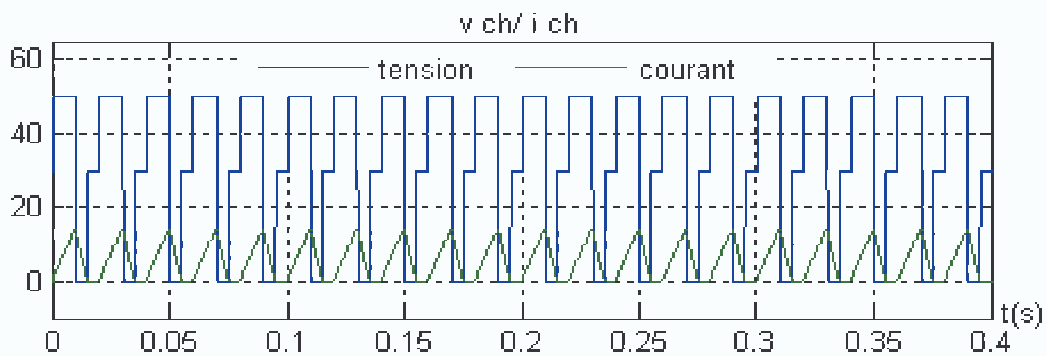


Figure 3-24 La tension et le courant aux bornes de la charge

b)- Structure réversible en courant :

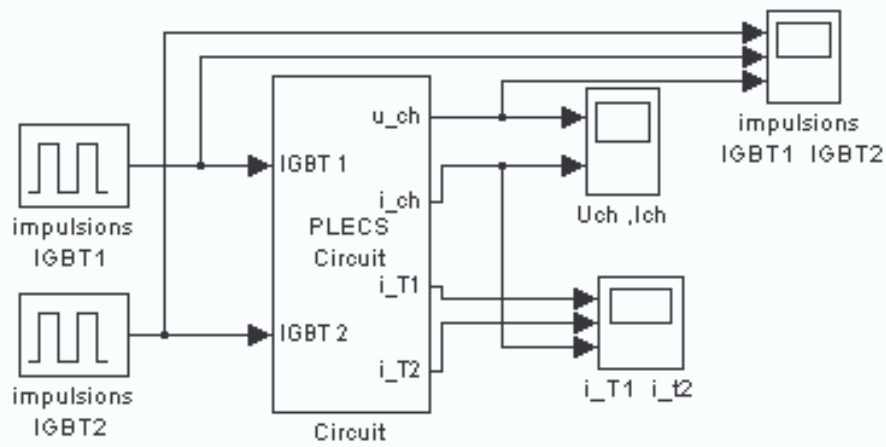


Figure 3-25 Simulink du hacheur à transistor bidirectionnel en courant (réversible en courant)

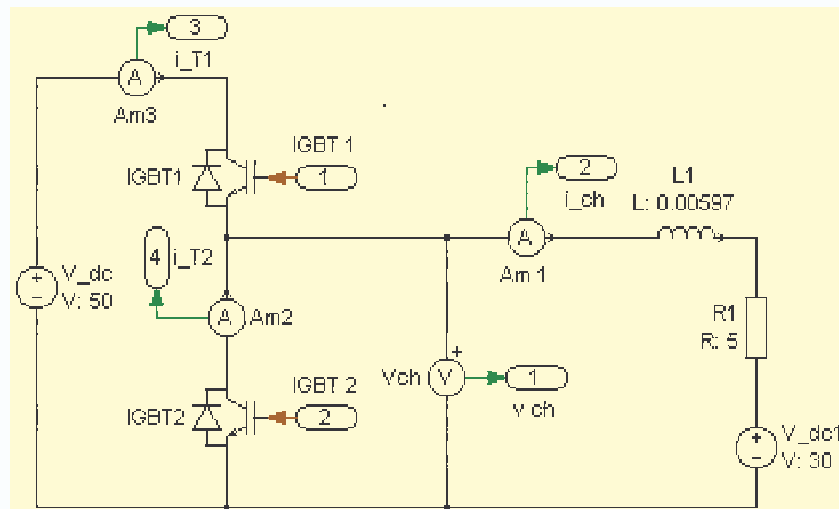


Figure 3-26 Détails du bloc (PLECS circuit)

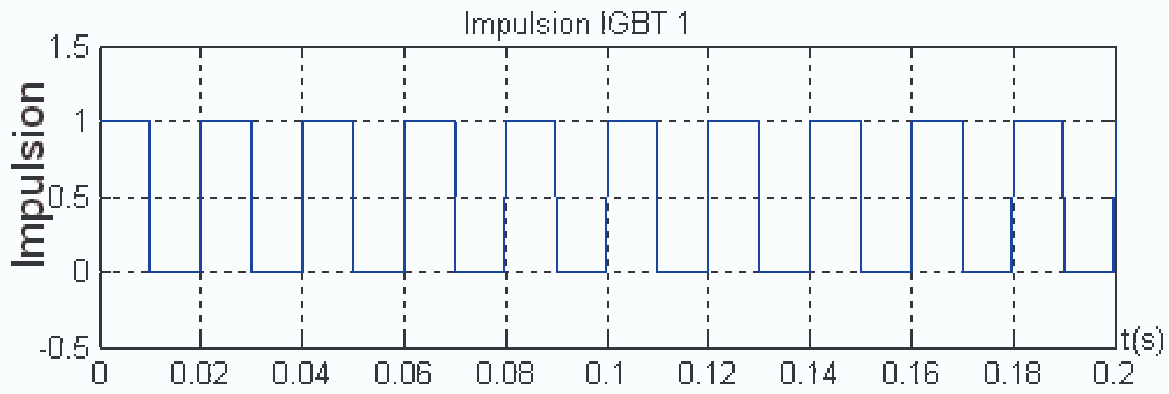


Figure 3-27 L'impulsion de IGBT 1

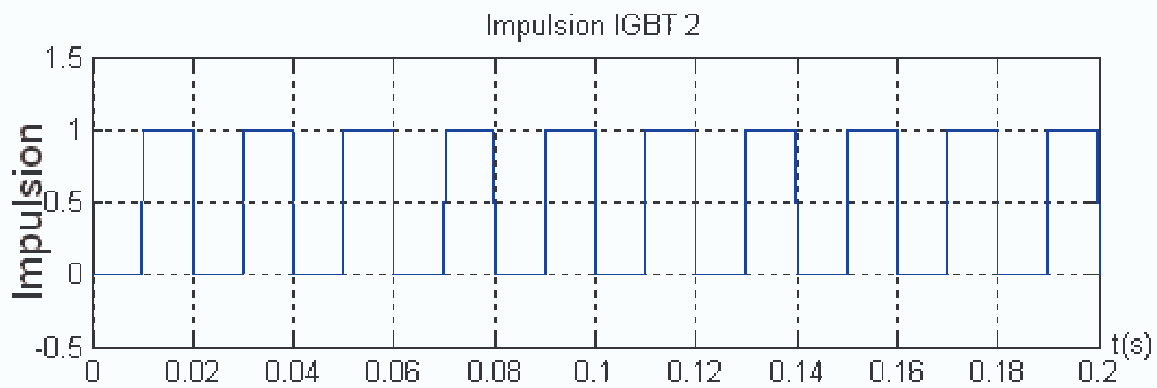


Figure 3-28 L'impulsion de IGBT 2

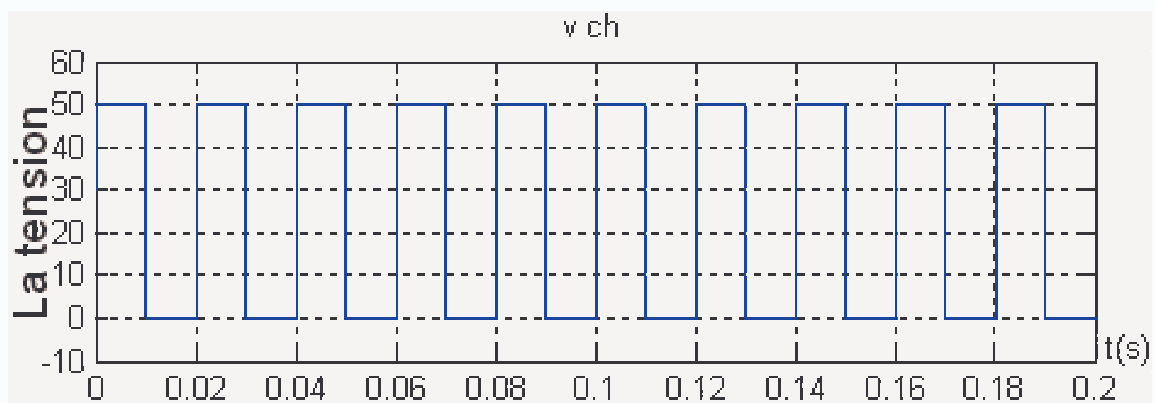


Figure 3-29 La tension aux bornes de la charge

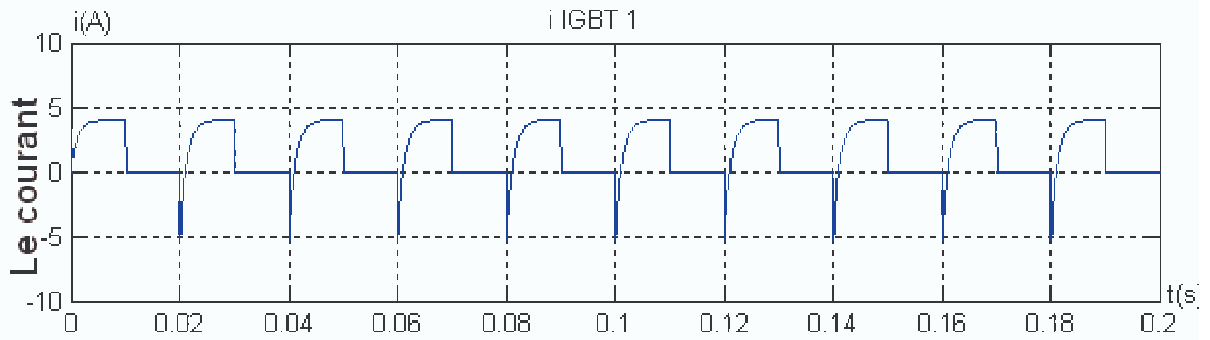


Figure 3-30 Le courant qui traverse IGBT 1

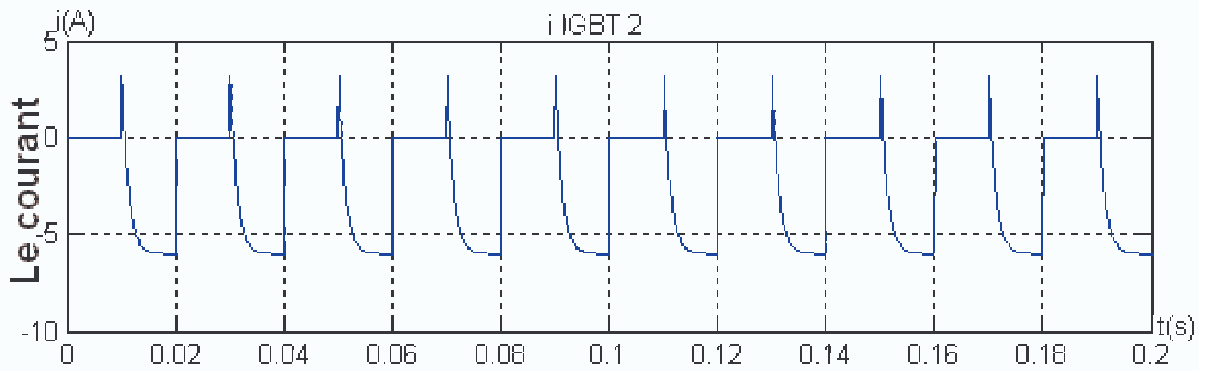


Figure 3-31 Le courant qui traverse IGBT 2

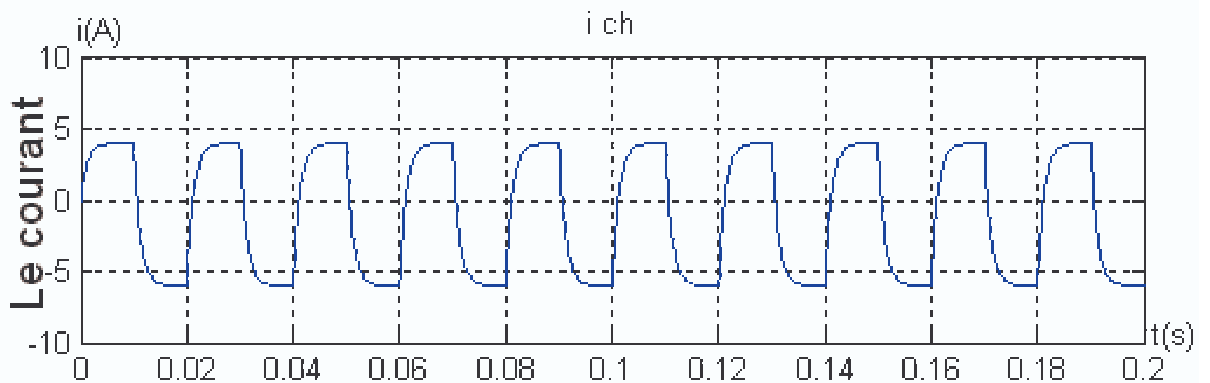


Figure 3-32 Le courant aux bornes de la charge

CHAPITRE 4 :

*LES
CONVERTISSEURS
CONTINU-CONTINU
A INTERRUPTEURS
RESONNANTS*

INTRODUCTION :

La montée en fréquence des convertisseurs statiques est en grande partie limitée par les pertes de commutation dans les interrupteurs à semi-conducteurs.

En faisant travailler ces interrupteurs en commutation douce à la fermeture ou à l'ouverture, on peut augmenter sensiblement les valeurs maximales des fréquences de commutation. [2]

4-1 LES INTERRUPTEURS RESONNANTS:

Un interrupteur résonnant peut être réalisé à partir:

- D'un seul interrupteur commandé, associé à un circuit résonnant d'ordre deux ou plus.
- Ou de deux interrupteurs commandés, permettant alors le fonctionnement en modulation de largeur d'impulsions à fréquence fixe, comme avec un interrupteur à commutations dures.

La fonction « interrupteur résonnant » correspond à un interrupteur dont l'une des commutations est douce, et l'autre dure mais adoucie. La commutation douce et l'adoucissement de la commutation dure sont obtenus à l'aide d'un circuit résonnant *LC*.

La commutation douce peut être :

- Soit la commutation à l'ouverture ; elle se fait alors au zéro de courant : mode ZCS (zéro current switching).
- Soit la commutation à la fermeture ; elle se fait alors à tension nulle : mode ZVS (zéro voltage switching).

Le fait qu'une commutation soit douce et l'autre dure nécessite le fonctionnement de l'interrupteur dans les deux quadrants à v/i positif du plan courant-tension de l'interrupteur (passage d'un quadrant à l'autre lors de la commutation douce, passage d'un segment à l'autre de même quadrant lors de la commutation commandée). La caractéristique de l'interrupteur doit être formée de trois segments.

Suivant que l'interrupteur est bidirectionnel en tension ou en courant est suivant que la commutation dure est celle de fermeture ou celle d'ouverture, on peut distinguer quatre types de fonctions *interrupteurs résonnant*.

4-1-1 Interrupteurs résonnants à commutation douce à l'ouverture

(mode ZCS):

La figure (4-1) donne le schéma d'un interrupteur résonnant à ouverture au zéro de courant

k : est commandé à la fermeture

L : adoucit la commutation à la fermeture

LC : provoque une oscillation conduisant à l'annulation de i donc à une ouverture spontanée.

$$i = i_L, v = v_C - L \frac{di_L}{dt}$$

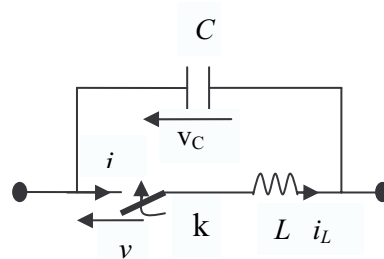


Figure 4-1 Interrupteur résonnant à commutation douce à l'ouverture mode ZCS.

4-1-1-a) Fonction "Thyristor résonnant ":

La fonction « *thyristor résonnant* » est réalisée à partir d'un interrupteur bidirectionnel en tension commandé à la fermeture (figure 4-2) , donc assurant la fonction "thyristor ", au quel on ajoute:

- Une inductance L en série pour adoucir la commutation à la fermeture.
- Un condensateur C monté en parallèle sur l'ensemble qui assure le retour au zéro du courant i en entrant en oscillation avec L .

Pour le thyristor, le retour du courant i à zéro est imposé par le circuit extérieur ; pour le thyristor résonnant, se retour imposé par le circuit résonnant LC .

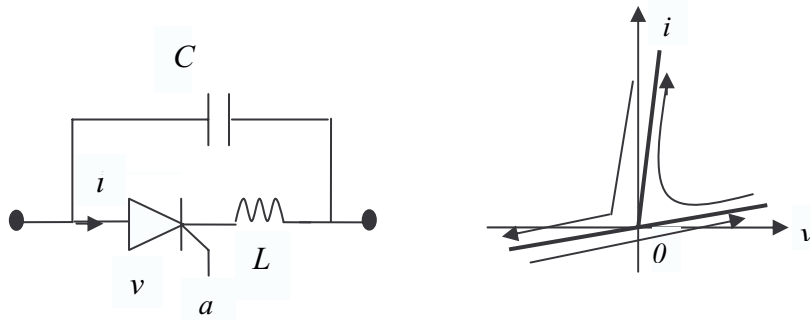


Figure 4 -2 Interrupteur à commutation douce à thyristor résonnant (Mode ZCS)

4-1-1-b) Fonction " RCT résonnant ":

La fonction « RCT (*reverse conducting thyristor*) résonnant » s'obtient en remplaçant dans le schéma de la (figure 4-1), l'interrupteur k par un thyristor à conduction inverse, c'est-à-dire un interrupteur bidirectionnel en courant commandé à la fermeture figure (4 -3).

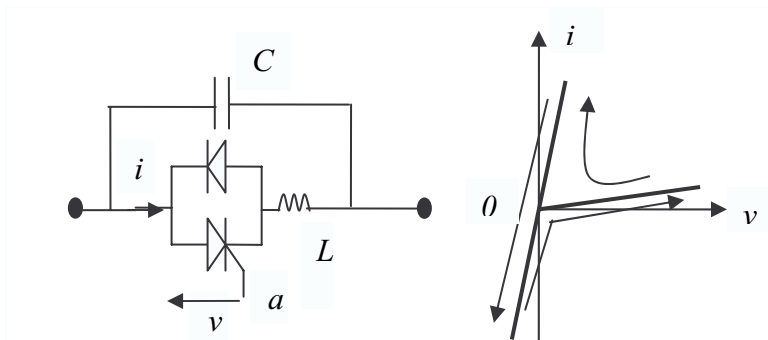


Figure 4-3 Interrupteur à commutation douce à RCT résonnant (MODE ZCS)

4-1-2 Interrupteurs résonnants à commutation douce à la fermeture

(MODE ZVS):

L'obtention d'un interrupteur résonnant à fermeture spontanée au zéro de tension v nécessite un interrupteur k commandé à l'ouverture, un condensateur C dérivé à ses bornes et une inductance en série avec cet ensemble (figure 4-4).

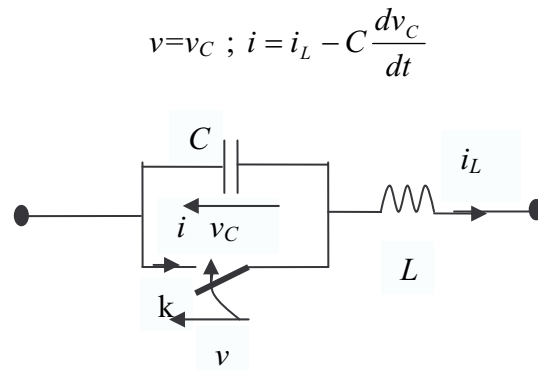


Figure 4-4 Interrupteur résonnant à commutation douce à la fermeture (Mode ZVS)

4-1-2-a) Fonction "Thyristor dual résonnant":

La fonction « thyristor dual résonnant » est réalisée à partir d'un interrupteur bidirectionnel en courant commandé à l'ouverture (fonction thyristor dual). Avec un condensateur C branché en parallèle adoucit la commutation à l'ouverture et une inductance L en série avec l'ensemble, en entrant en oscillation avec C , assure le retour à zéro de la tension v entraînant l'amorçage spontané du composant figure (4-5).

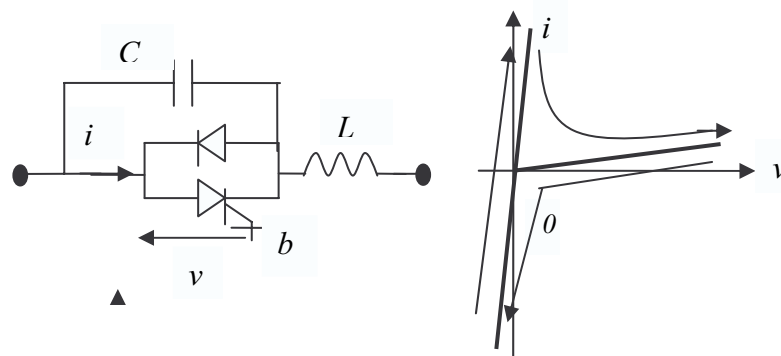


Figure 4-5 Interrupteur résonnant à commutation douce à thyristor dual résonnant (mode ZVS)

4-1-2-b) Fonction "RCT dual résonnant":

La fonction « RCT dual résonnant » est obtenue en remplaçant dans le schéma de la figure (4-4), l'interrupteur k par un interrupteur "RCT dual", c'est-à-dire un interrupteur commandé à l'ouverture et bidirectionnel en tension figure (4-6).

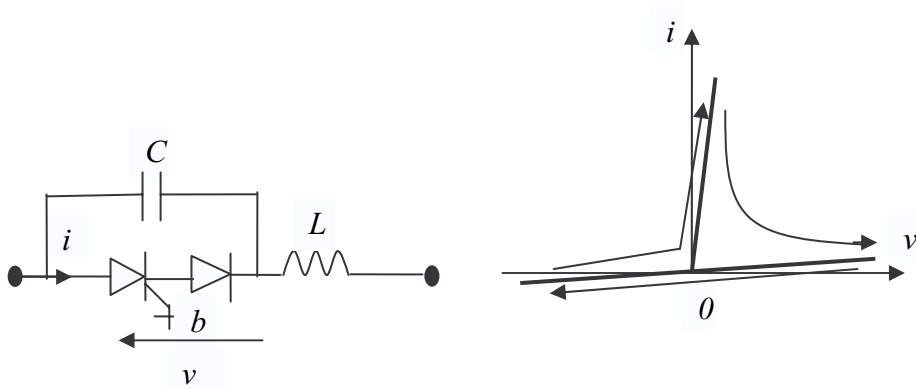


Figure 4-6 Interrupteur résonnant à commutation douce à RCT dual résonnant (mode ZVS)

Le principal intérêt des interrupteurs résonnants est de pouvoir fonctionner à des fréquences de commutation plus élevées que les interrupteurs classiques puisque les pertes de commutation sont notablement réduites. Mais cet avantage est obtenu au prix de la perte d'un degré de liberté ou niveau de la commande de convertisseur, puisque l'instant de la commutation douce est imposé à l'interrupteur par l'ensemble du circuit extérieur.

4-2 CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU QUASI-RESONNANT EN MODE ZCS:

Les convertisseurs utilisant des interrupteurs résonnants sont dits "quasi-résonnant " pour les différencier des convertisseurs résonnants ou à résonance. [2]

On appelle *convertisseurs quasi-résonnants* ceux qui utilisent ces interrupteurs pour les distinguer des convertisseurs à résonance, où le circuit résonnant n'est pas inséré dans l'interrupteur mais constitue le récepteur. [1]

4-2-1 Hacheur série quasi-résonnant en mode ZCS:

En appliquant directement au hacheur série :

U : est la tension du générateur de tension d'entrée.

I' : le courant de récepteur de courant de sortie.

4-2-1-a) Montage avec thyristor résonnant :

La figure (4-7) donne le schéma d'un hacheur série dans lequel on a remplacé l'interrupteur à fermeture et ouverture commandées par un interrupteur à thyristor résonnant.

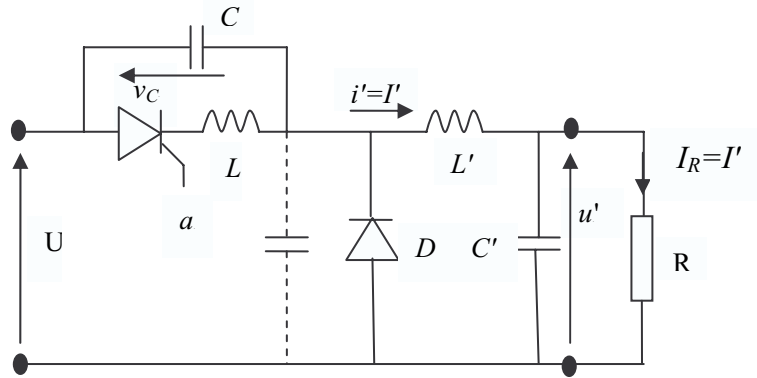


Figure 4-7 Hacheur série quasi-résonnant à thyristor résonnant en mode ZCS.

4-2-1-b) Montage avec RCT résonnant :

Si on remplace le thyristor résonnant, qui est unidirectionnel en courant par un RCT résonnant bidirectionnel en courant, on obtient le montage schématisé à la figure (4-8). [2]

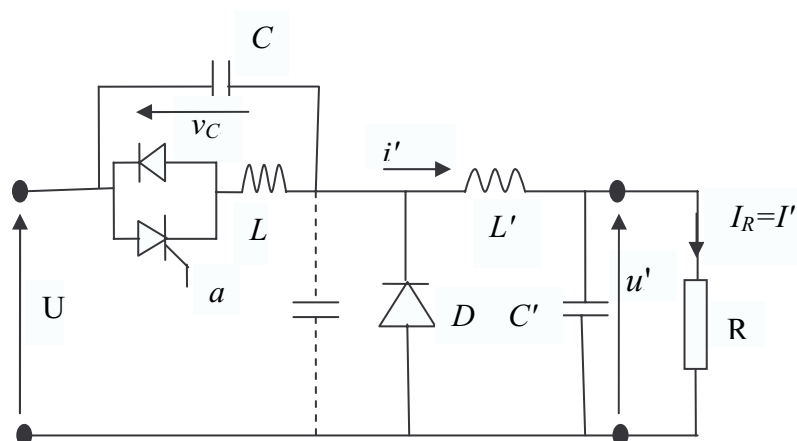


Figure 4-8 Hacheur série quasi-résonnant en mode ZCS à RCT résonnant

Contrairement au montage à thyristor résonnant, on voit que la tension de sortie est pratiquement indépendante de α , c'est –à –dire du courant I fourni au récepteur.

Pour ces deux montages, le condensateur du circuit oscillant LC peut être branché au bornes de la diode D , comme indiqué, en traits interrompus, sur les figures (4-7)et (4-8).

4-2-2 Hacheur parallèle quasi-résonnant en (Mode ZCS):

On peut appliquer au hacheur parallèle les résultats de cellule de commutation, à condition de remarquer que :

- La tension aux bornes de la cellule est maintenant la tension U' du récepteur de tension monté à la sortie du hacheur.
- La tension d'entrée à la même valeur moyenne que la tension aux bornes du condensateur.

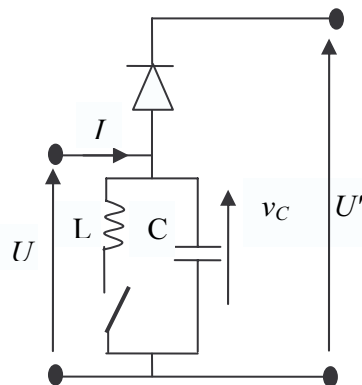


Figure 4-9 Hacheur parallèle quasi-résonnants en (Mode ZCS)

4-2-2-a) Montage avec « thyristor résonnant » :

La figure (4-10) donne le schéma de principe avec le hacheur monté entre la source de courant « I »et le récepteur de tension « U' ».

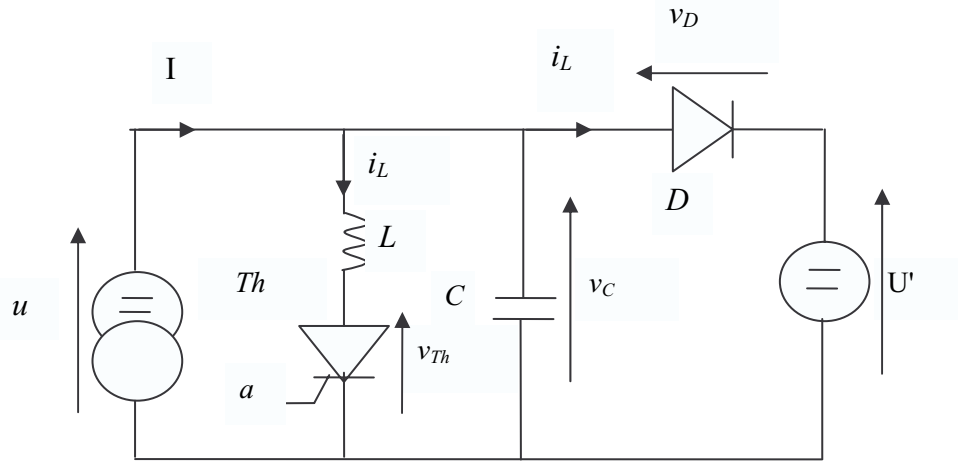


Figure 4-10 Hacheur parallèle quasi –résonnant à thyristor résonnant en mode ZCS

4-2-2-b) Montage avec « RCT résonnant » :

Pour le montage RCT résonnant figure (4-11) en procédant aux mêmes substitutions que pour le montage précédent.

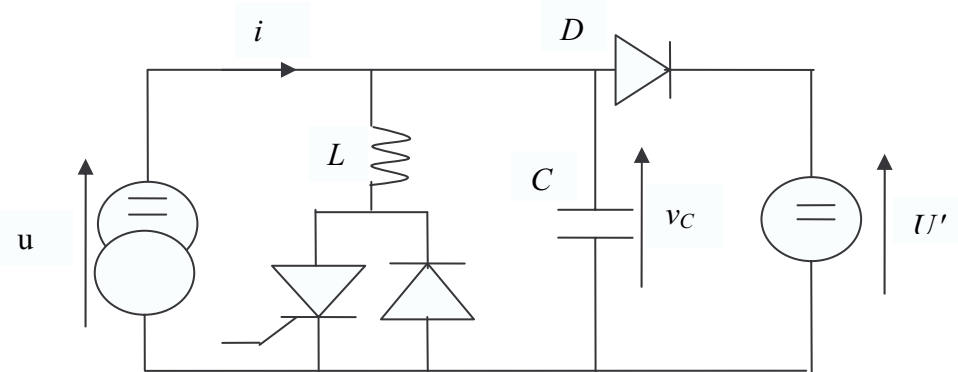


Figure 4-11 Hacheur parallèle quasi-résonnant à RCT résonnant en mode ZCS

4-3 CONVERTISSEURS CONTINU-CONTINU QUASI-RESONNANTS

EN MODE ZVS:

Ces montages sont les duaux des montages quasi- résonnants en courant .Leurs applications sont moins nombreuses à cause du surdimensionnement en tension et de l'impossibilité de conserver la commutation douce aux faibles charge ($\alpha < 1$).

4-3-1) Hacheur série quasi-résonnant en mode ZVS:

On appliquant directement :

- La tension d'entrée U et la ddp aux bornes de la cellule,
- La tension moyenne de sortie U' est égale à la tension d'entrée diminuée de la valeur moyenne de la tension aux bornes du condensateur.

$$U' = U - v_{C \text{ moy}}$$

4-3-1-a) Montage à thyristor dual résonnant :

La figure (4-12) donne le schéma du montage .Puisque la valeur moyenne de la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on a :

$$U' = U - v_{C \text{ moy}}$$

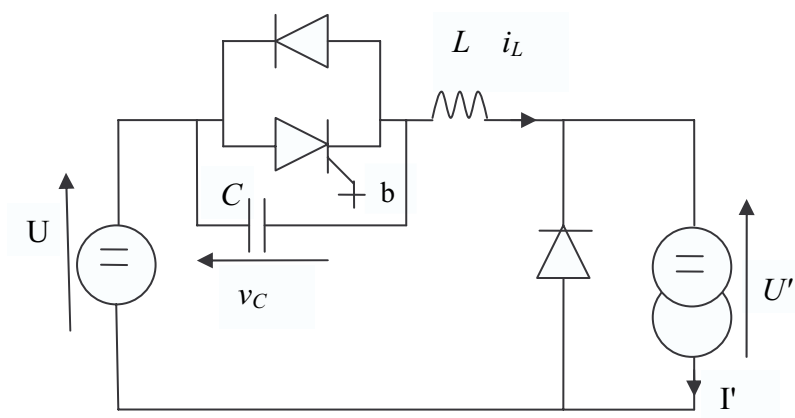


Figure 4-12 Hacheur quasi-résonnant à thyristor dual résonnant en mode ZVS

4-3-1-b) Montage à « RCT dual résonnant » :

Le schéma du montage est indiqué à la figure (4-13)

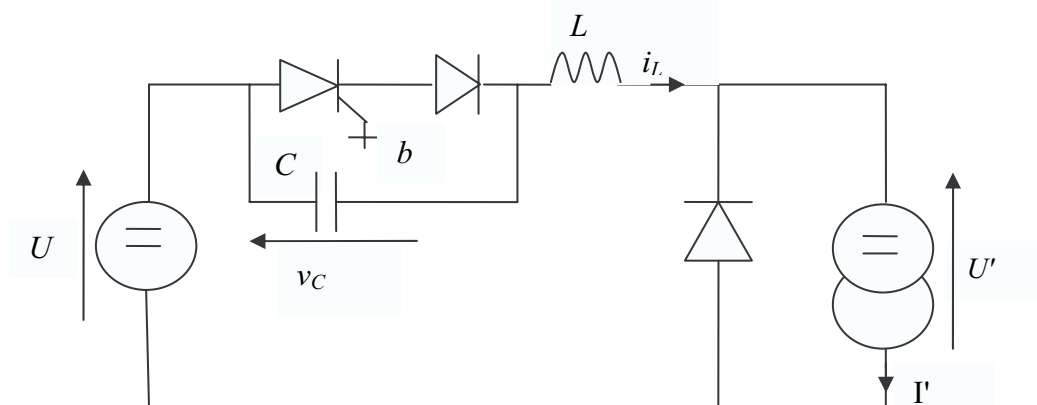


Figure 4 -13 Hacheur série quasi-résonnant en mode ZVS à RCT dual résonnant.

4-4 RESULTAT DE SIMULATION :

4-4-1 Hacheur à RCT résonant :

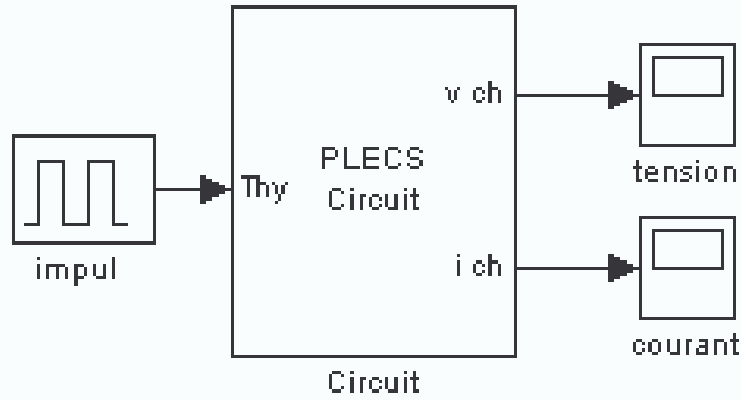


Figure 4-14 Modèle Simulink de simulation du hacheur à RCT

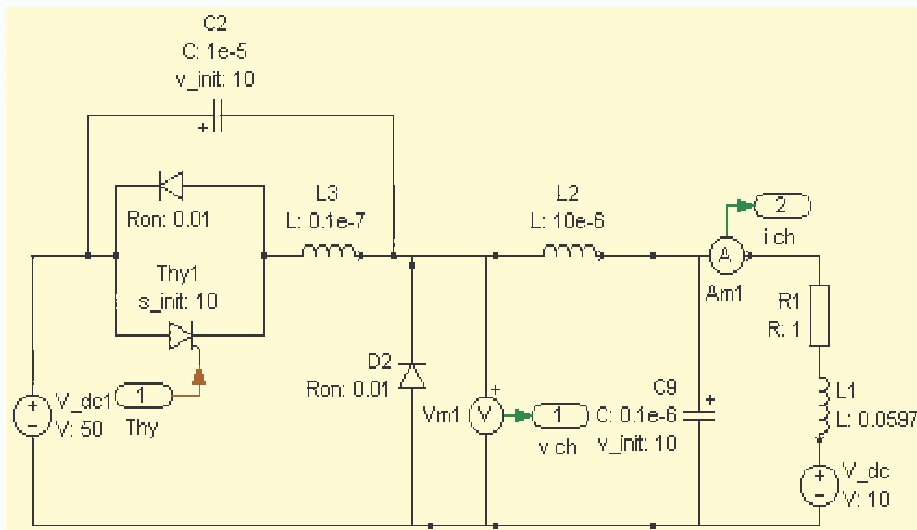


Figure 4-15 Détails de bloc (PLECS circuit)

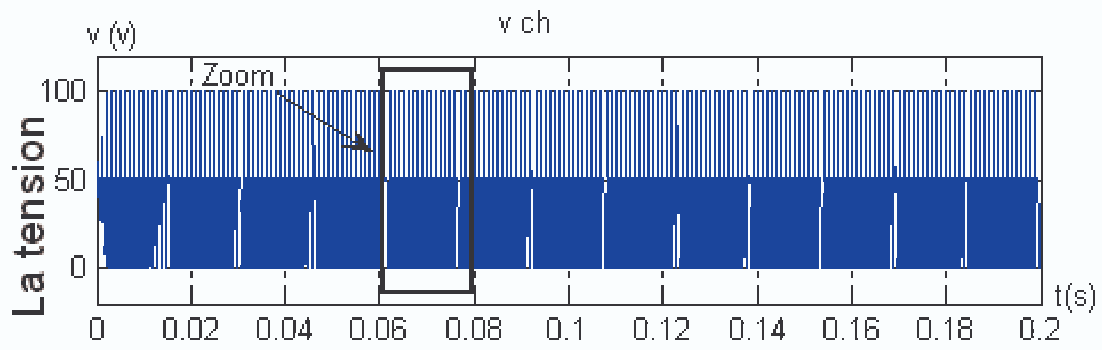


Figure 4-16 La tension aux bornes de la charge

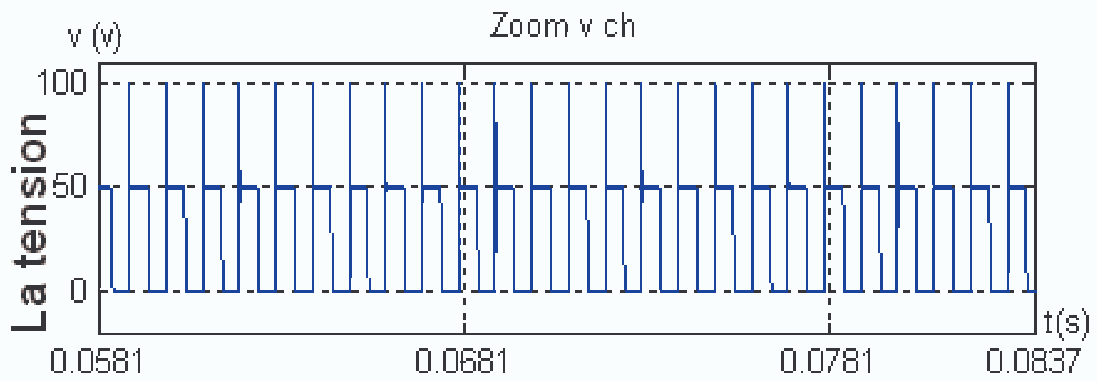


Figure 4-17 La tension aux bornes de la charge

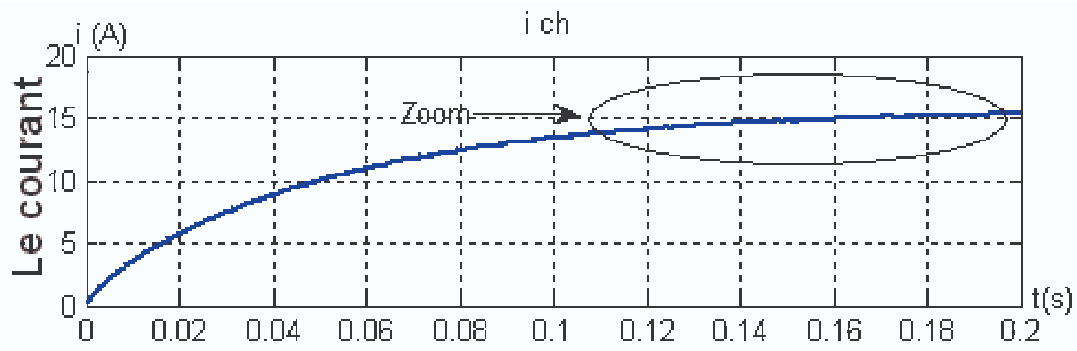


Figure 4-18 Le courant aux bornes de la charge

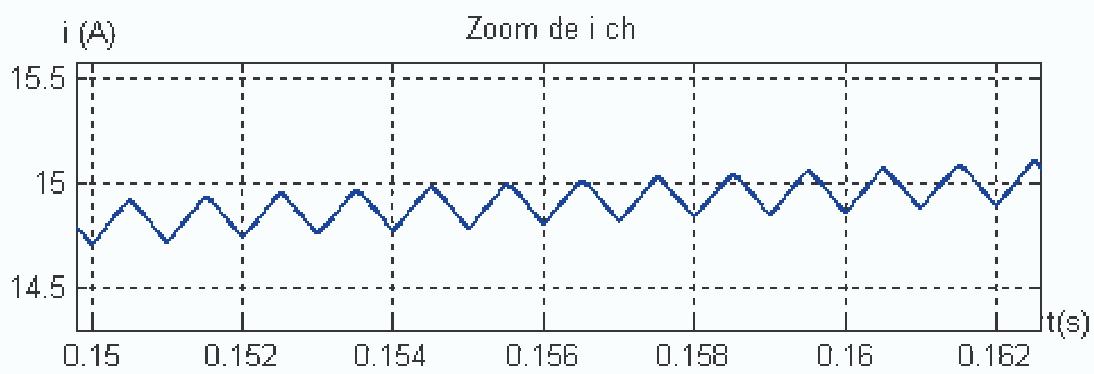


Figure 4-19 Le courant aux bornes de la charge



CHAPITRE 5 :

*ETUDE DE SYSTEME
EN BOUCLE FERMEE*

INTRODUCTION :

Le fonctionnement des moteurs à courant continu sans régulation présente un certain nombre d'inconvénients tel qu'un courant important du démarrage , une diminution de vitesse de rotation en cas d'augmentation de la charge , de ce fait pour effectuer un certain travail avec des performances données, le système doit être asservi.

5-1 LA REGULATION:

Le premier rôle d'un système de régulation est d'obliger la ou les grandeurs asservies (sortie de système) à conserver des valeurs aussi proche que possible de celles que l'on considère comme idéales. Ces valeurs idéales ou, théoriques, sont à leur tour des fonctions des grandeurs d'entrées du système (référence) et de perturbations. [7]

Généralement les systèmes de commande sont à boucle fermée qui consiste en une commande à rétro-action puisque c'est le moyen le plus commode de réaliser les relations désirées entre l'entrée et la sortie des systèmes, ce qui permet une compensation interne des imprécisions et les dérivées des caractéristiques du système.

5-1-1 Fonction d'un régulateur :

On ne demande pas seulement à un régulateur de faire concorder la valeur de la variable primaire, par exemple la vitesse, avec une grandeur de référence, mais encore de remplir un certain nombre de fonctions, nécessaires au bon comportement des machines :

5-1-1-a) Limitation de grandeurs critiques : Comme le courant ou la tension d'induit ; c'est là une fonction de protection.

5-1-1-b) Commande précise des variables : De façon à éviter une rapidité excessive dans leurs évolutions; par exemple, le contrôle du gradient de courant dans un induit est une nécessité pour obtenir une bonne commutation.

5-1-1-c) Transfert sans à-coup d'un mode de commande à un autre : Ainsi la commutation de la régulation de vitesse avec limitation de courant à la régulation du courant doit se faire sans brutalité ;

5-1-1-d) Ajustement et optimisation aisées d'une boucle de commande : Indépendamment des autres ; cela est indispensable pour la période de mise en service, et aussi dans le cas où l'on serait amené à changer un régulateur, ou même à modifier ses fonctions. [8]

5-1-2 La régulation en cascade :

Une régulation en cascade est composée de deux boucles imbriquées. Le système peut être décomposé en deux sous systèmes liés par une grandeur intermédiaire mesurable. Une première boucle, la boucle esclave, a pour grandeur réglée cette grandeur intermédiaire. La deuxième boucle, la boucle maître, a pour grandeur réglée la grandeur réglée de la régulation cascade et commande la consigne de la régulation esclave. [5]

Dans le domaine de l'électronique industrielle, l'application des circuits de réglage en cascade (figure 5-1) est très répandue .On peut même mettre en cascade plus de deux régulateurs.

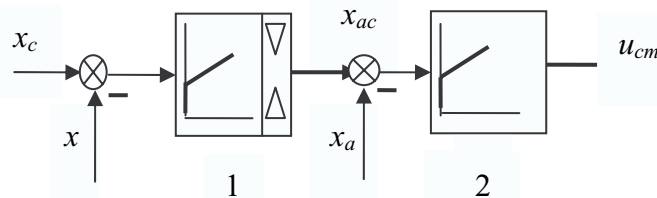


Figure 5 -1 Réglage en cascade

Dans la pratique, les réglages en cascade sont faciles à mettre en service. On boucle d'abord le circuit de réglage le plus proche de système à régler. On ajuste ce régulateur (le régulateur 2), de sorte que ce circuit de réglage soit stable et bien amorti. Ensuite, on boucle le circuit de réglage superposé et ainsi de suite. On procède aussi de la même manière pour le dimensionnement des régulateurs. [4]

La (figure 5-2) donne la structure globale de l'application de la régulation en cascade d'un entraînement à courant continu, il s'agit de l'association d'un moteur à courant continu à un convertisseur statique.

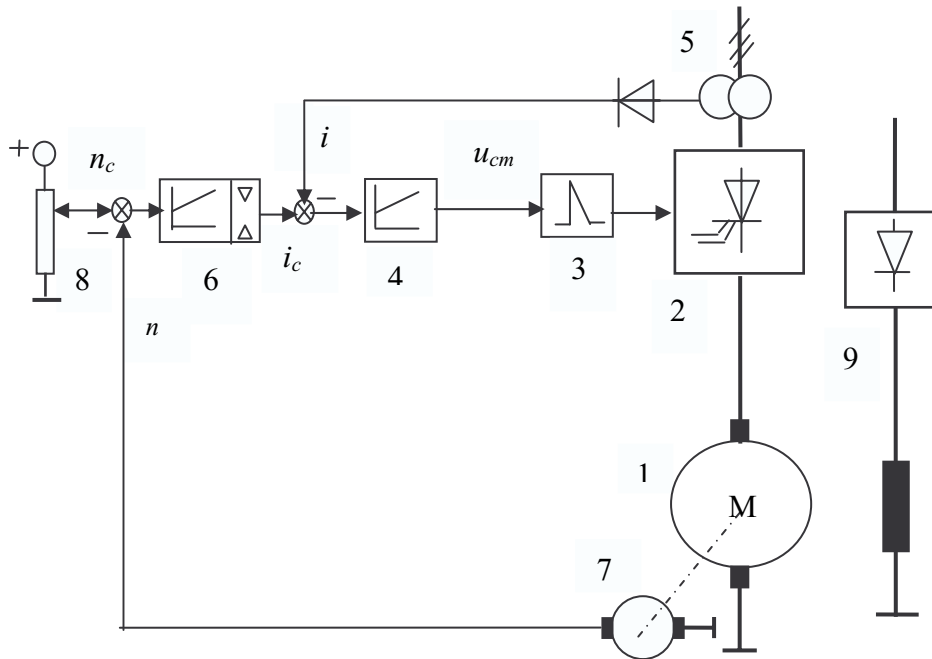


Figure 5-2 Structure globale d'une régulation en cascade d'un entraînement à courant continu

Le circuit de réglage du courant d'induit est composé du dispositif de commande de gâchettes 3, du régulateur 4 et de la mesure du courant d'induit 5. Le circuit de réglage de vitesse contient le régulateur 6, la mesure de vitesse à l'aide d'une dynamo tachymétrie 7, ainsi que l'organe de consigne 8 (potentiomètre, par exemple). [4]

Pour assurer l'excitation on utilise un pont à diodes 9, ce dernier maintient le courant d'excitation constant.

Le calcul des régulateurs et des capteurs se fait à partir du schéma bloc correspondant à la structure ci-dessous :

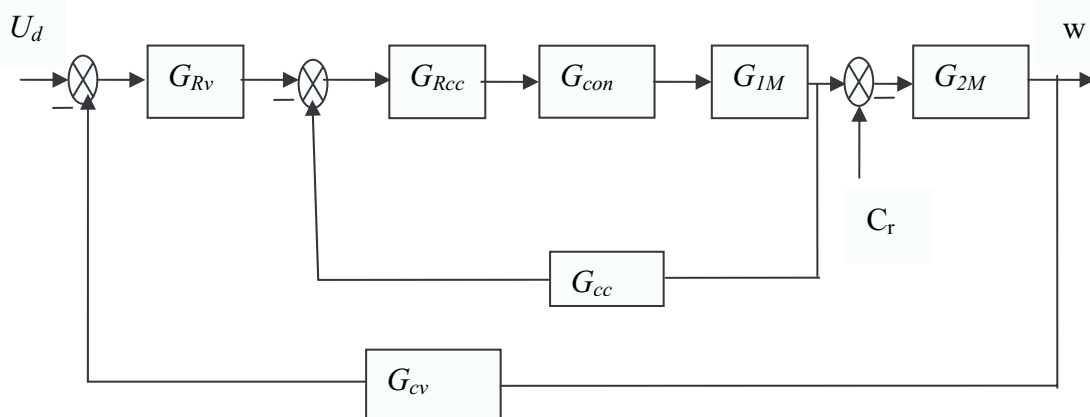


Figure 5-3 Schéma bloc de la structure globale

Le variable asservie principale (vitesse) est régulée par une boucle extérieure. La sortie du régulateur de vitesse sert d'entrée, c'est-à-dire de référence au régulateur de la boucle intérieure (courant). En limitant la sortie de régulateur externe de vitesse on limite donc la référence du régulateur de courant, et on obtient très simplement la caractéristique de limitation désirée. [7]

5-1-3 Fonction de transfert du moteur à courant continu :

5-1-3-1) Fonction de transfert de la partie électrique :

La tension d'induit du moteur est égale :

$$U_d = E + R_a I_d + L_a \frac{dI_d}{dt} \quad (5-1)$$

Après la transformation de Laplace :

$$U_d(P) = E(P) + (R_a + L_a P) I_d(P) \quad (5-2)$$

$$I_d(P) = \frac{U_d(P) - E(P)}{R_a + L_a P} \quad (5-3)$$

La fonction de transfert de la partie électrique:

$$G_{1M}(P) = \frac{I_d(P)}{U_d(P) - E(P)} = \frac{1/R_a}{1 + \frac{L_a}{R_a} P} \quad (5-4)$$

$$G_{1M}(P) = \frac{1/R_a}{1 + T_e P} \quad (5-5)$$

Avec : $T_e = \frac{L_a}{R_a}$ constante de temps électrique.

5-1-3-2) Fonction de transfert de la Partie mécanique :

Ce calcul est généralement réalisé à partir de principe fondamental de la dynamique appliqué en rotation :

$$C_m - C_r = J \frac{dW_{1M}}{dt} \quad (5-6)$$

Après la transformation de Laplace :

$$C_m(P) - C_r(P) = JPW_{1M}(P) \quad (5-7)$$

Et d'autre part :

$$C_m = K' \phi I_d = KI_d \quad (5-8)$$

$$E = K' \phi \omega_n = K\omega_n \quad (5-9)$$

Où :

$$K = K' \phi \quad (5-10)$$

On a :

$$W_{1M}(P) = \frac{C_m(P) - C_r(P)}{JP} \quad (5-11)$$

Avec : $T_m = \frac{R_a J}{K^2}$ constant de temps électromécanique.

La fonction de transfert de la partie mécanique est écrite comme suite :

$$G_{2M}(P) = \frac{W_{1M}(P)}{C_m(P) - C_r(P)} = \frac{1}{JP} \quad (5-12)$$

5-1-3-3) Calcul des paramètres statiques du moteur :

➤ Coefficients de transfert du moteur :

En régime permanent l'équation (5-1), devienne :

$$U_d = E + R_a I_d \quad (5-13)$$

On remplace l'équation (5-10) dans l'équation (5-13), alors :

$$U_d = K\omega_n + R_a I_d \Rightarrow K = \frac{U_d - R_a I_d}{\omega_n} \quad (5-14)$$

A.N:

$$K = \frac{220 - 17.6}{209.33} \Rightarrow K = 0.9668 \text{ v s/rad} \quad (5-15)$$

➤ Coefficient électromécanique:

$$K_m = 1 / K \tag{5-16}$$

$$K_m = 1 / 0.9668 \Rightarrow K_m = 1.0343 \text{ rad/v}$$

➤ Le constant de temps électromécanique est donc :

$$T_m = \frac{R_a J}{K^2} = \frac{8 * 0.005}{(0.9668)^2} = 0.04279s \tag{5-17}$$

D'où :

$$G_{1M}(P) = \frac{1 / R_a}{1 + T_e P}$$

➤ La constante de temps électrique veut donc :

$$T_e = \frac{59.71 \cdot 10^{-3}}{8} \Rightarrow T_e = 0.007 \text{ s}$$

➤ La vitesse de rotation w_n :

$$w_n = \frac{2 \pi n}{60} = 209.33 \text{ rad/s}$$

A partir de ces équations on représente le schéma fonctionnel du moteur à courant continu par la (figure 5-4.) ci-dessous :

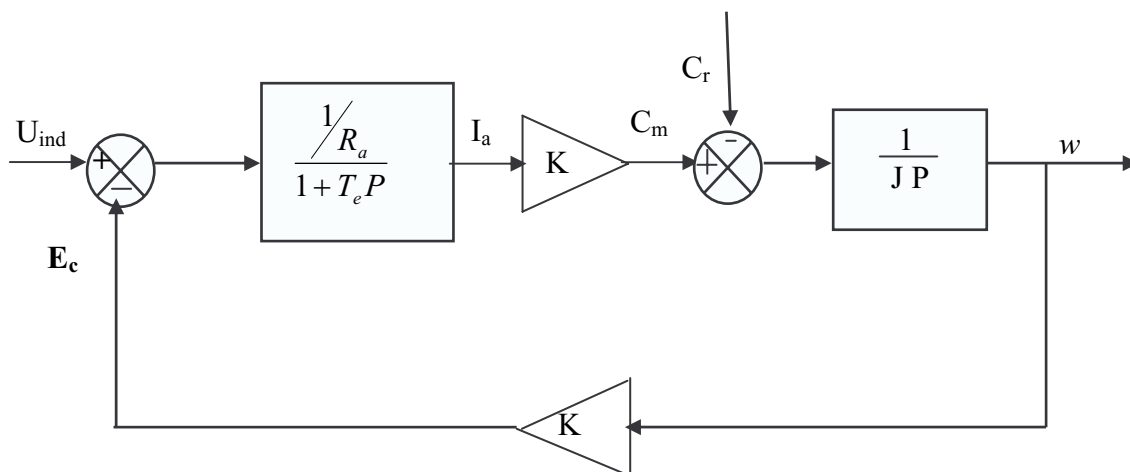


Figure 5-4 Schéma bloc du Moteur à courant continu

5-1-4 Résultat du simulation de moteur à courant-continu :

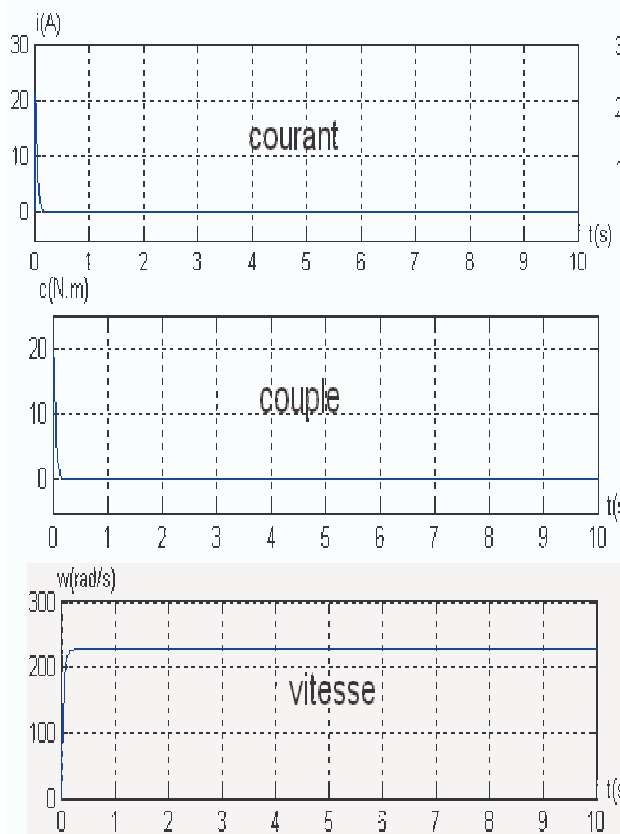


Figure 5-5 Marche à vide
($U_{ind}=220v$; $C_r=0$ N.m)

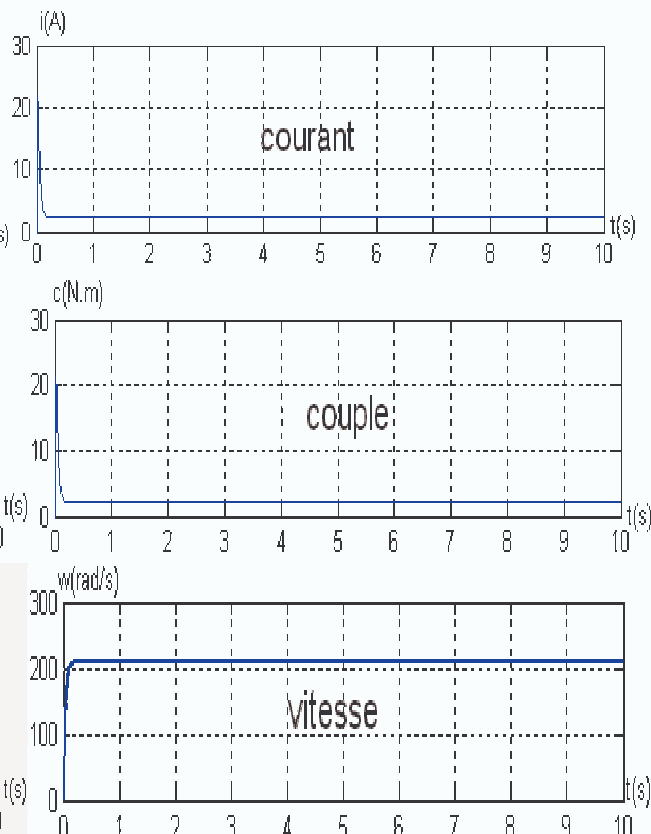


Figure 5-6 Marche en charge
($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m)

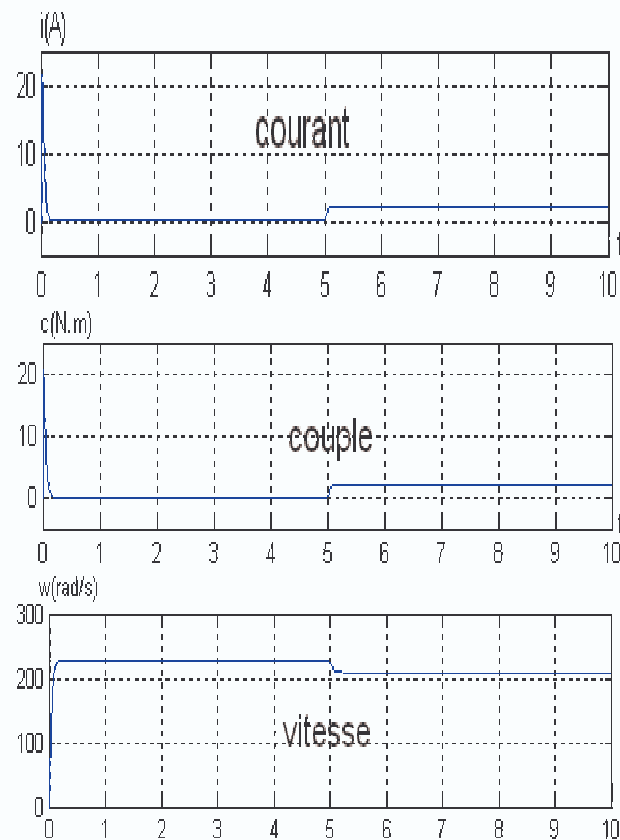


Figure 5-7 Marche en charge à
($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m ; $t=5s$)

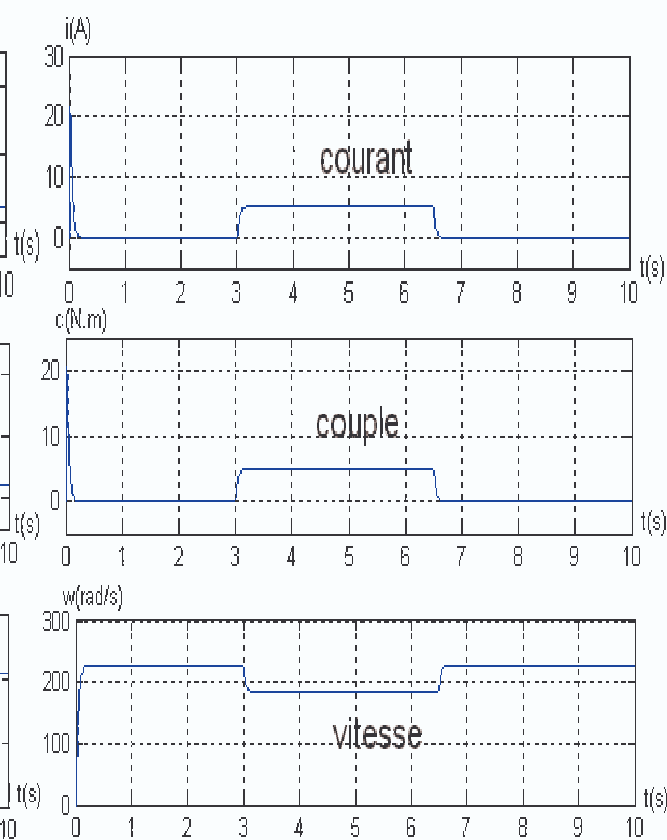


Figure 5-8 Marche à vide avec
perturbation ($U_{ind}=220v$; $t=3s$; $t=6.5s$)

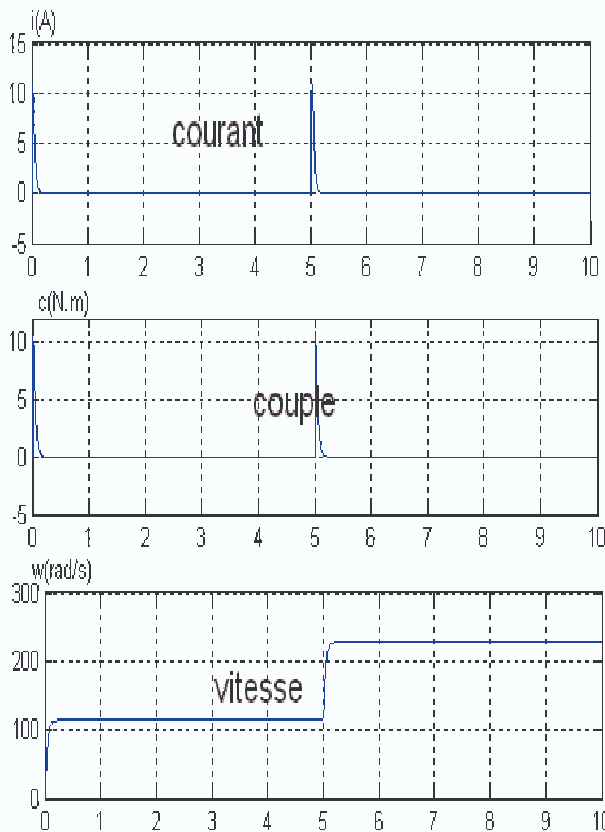


Figure 5-9 Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$) ; puis à ($t=5s$; $U_{ind}=220v$)

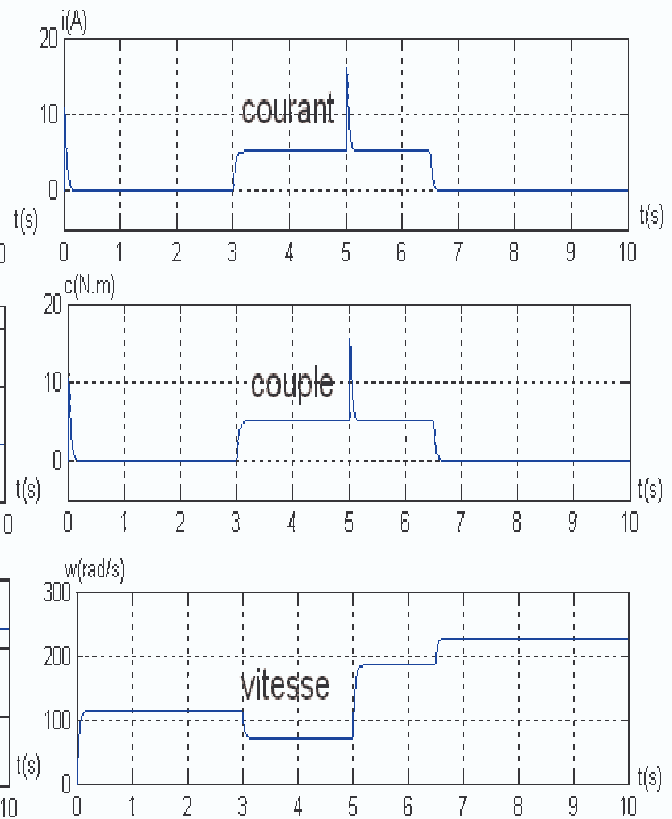


Figure 5-10 Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind}=220v$) et perturbation ($t=3s$; $t=6.5s$)

5-2 LE CONVERTISSEUR UTILISE :

- **Généralité :**

Le choix du convertisseur est directement lié au choix du moteur : hacheur ou redresseur pour le moteur à courant continu.

Pour la commande des moteurs on utilise surtout des hacheurs série ou des hacheurs à quatre quadrants .On admet ici que la source de tension et la source de courant sont à courant continu de valeur constante [11] .

On utilisé le hacheur pour la commande en vitesse ou en position des moteurs à courant continu . Ce type de convertisseur est généralement le plus intéressant par ce qu'il permet le réglage du *transfert de la puissance* entre une source de tension continu et le moteur. Selon la nature de la charge mécanique , de la source et du hacheur , plusieurs cas peuvent se présenter :

- Le transfert s'effectue dans un seul quadrant. La tension et le courant relatifs au moteur sont toujours de même signe, et la puissance est toujours en transit de la source vers le moteur. C'est le cas lorsqu'on utilise le hacheur série.
- Le transfert s'effectue dans deux quadrants. La tension aux bornes du moteur est toujours de même signe, mais le courant et la puissance sont soit de la source vers la machine, soit l'inverse. C'est le cas lorsqu'on utilise le hacheur série- parallèle (ou réversible en courant).
- Le transfert s'effectue dans quatre quadrants. La tension aux bornes du moteur est positive ou négative selon la commande, et le courant et la puissance sont soit de la source vers la machine, soit l'inverse. C'est le cas lorsqu'on utilise le hacheur à quatre quadrants (réversible en tension et en courant). [11]

5-2-1 La Fonction de transfert de convertisseur :

K_{con} : Coefficient du convertisseur statique. Il est déterminé d'après la caractéristique de réglage par le rapport : $\frac{U_{moy}}{U_a}$.

Avec U_a : la tension de commande égale à 10 v

- Calcul de K_{con} :

$$K_{con} = \frac{220}{10} = 22 \Rightarrow K_{con} = 22$$

Le rapport cyclique α du hacheur est le rapport de la durée de conduction à la période de hachage.

$$\alpha = \frac{t_{off}}{T} \in [0,1]$$

$$U_{moy} = \alpha U_a ; \alpha \in [0,1] \Rightarrow U_{moy} \leq U_a$$

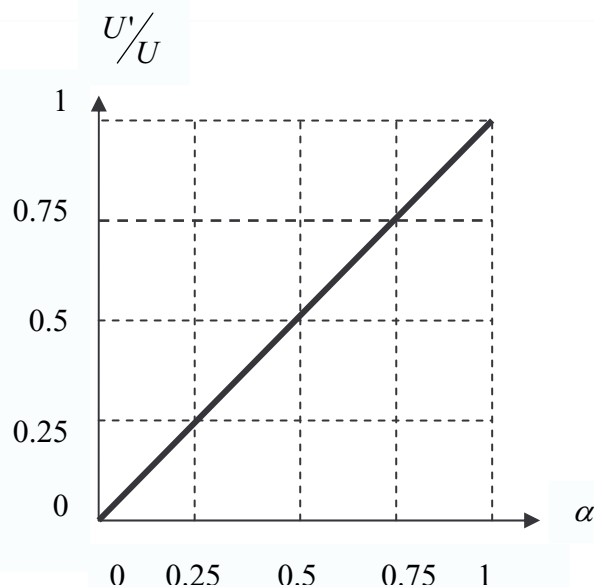


Figure 5-11 Caractéristique idéale

➤ Schéma bloc de l'ensemble Convertisseur–Moteur à courant continu :

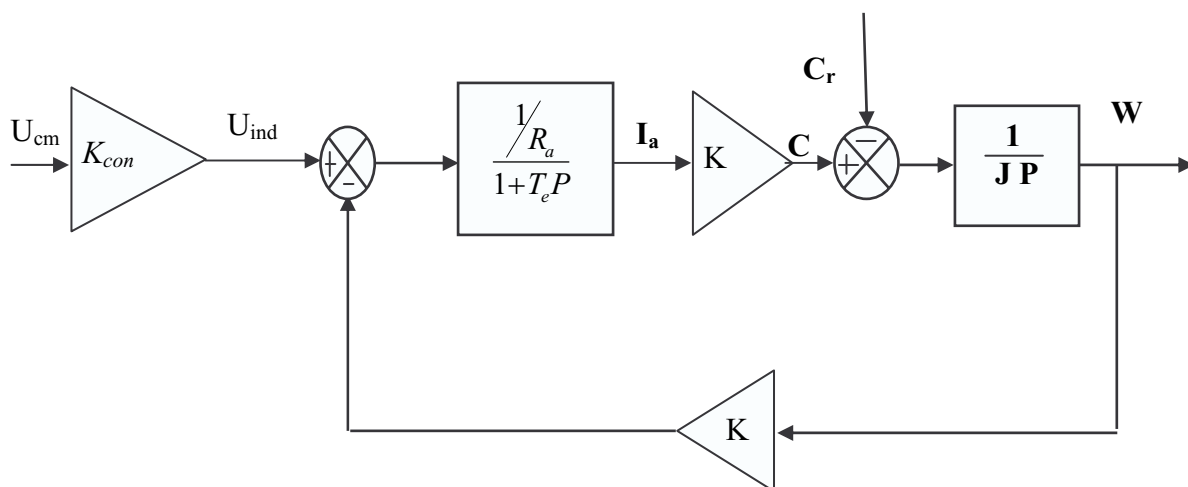


Figure 5-12 Schéma fonctionnel de l'association Hacheur-Moteur à courant continu

5-2-2 Résultat de simulation :

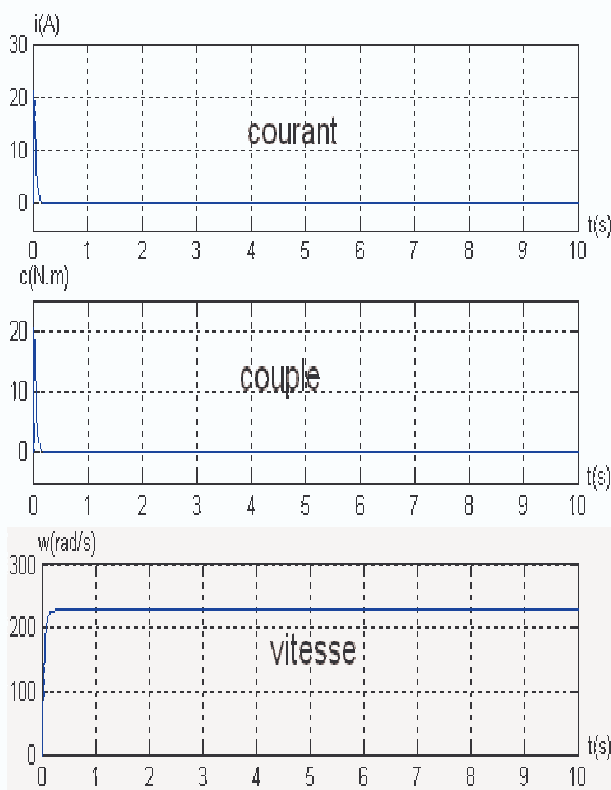


Figure 5-13 Marche à vide
($U_{ind}=220v$; $C_r=0$ N.m)

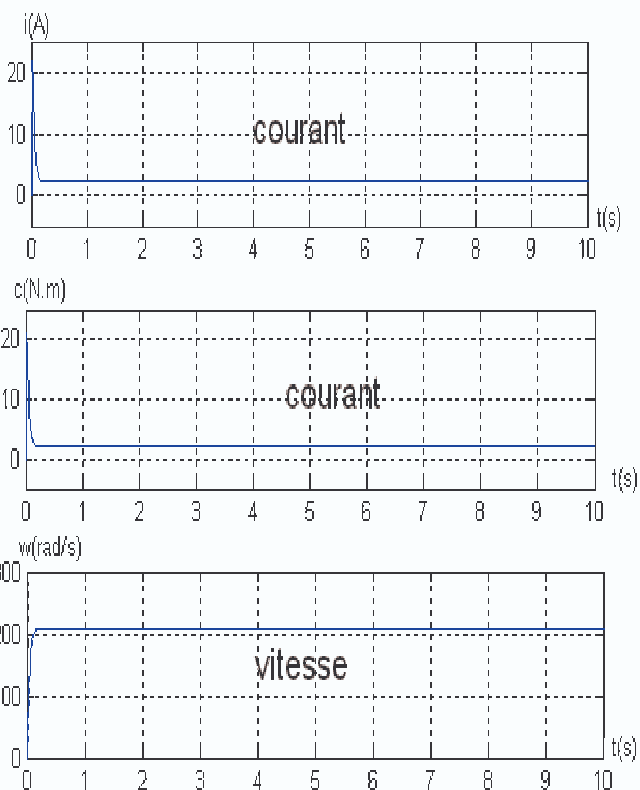


Figure 5-14 Marche en charge
($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m)

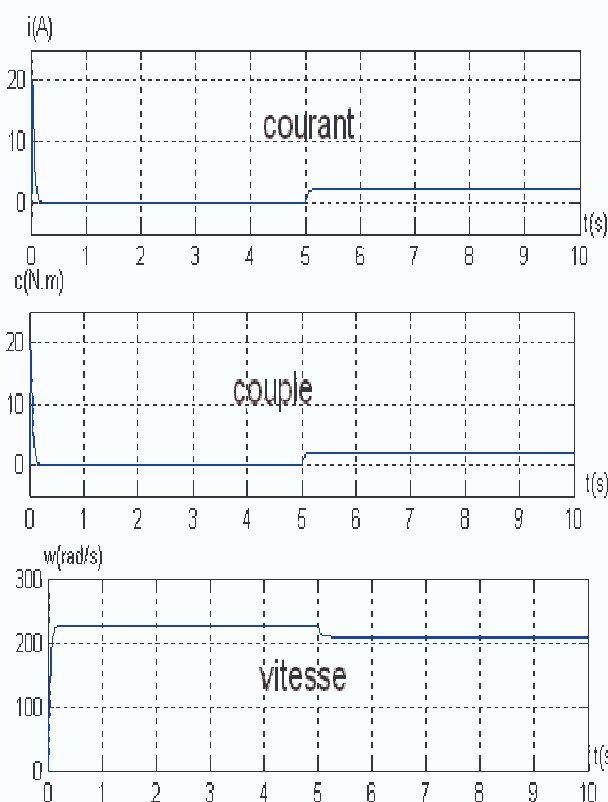


Figure 5-15 Marche à vide puis en charge
($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m ; $t=5s$)

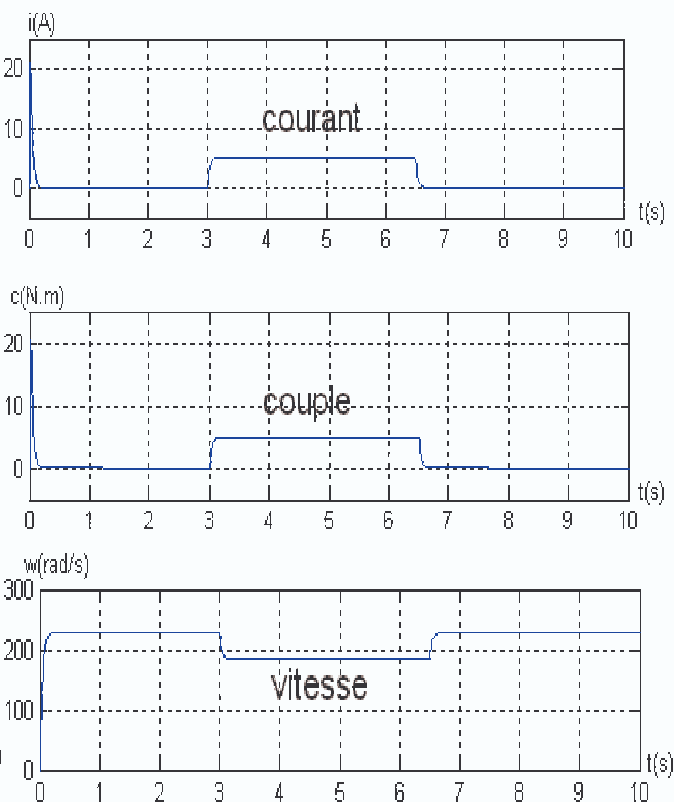


Figure 5-16 Marche à vide avec perturbation
($U_{ind}=220v$; $t=3s$ $t=6.5s$)

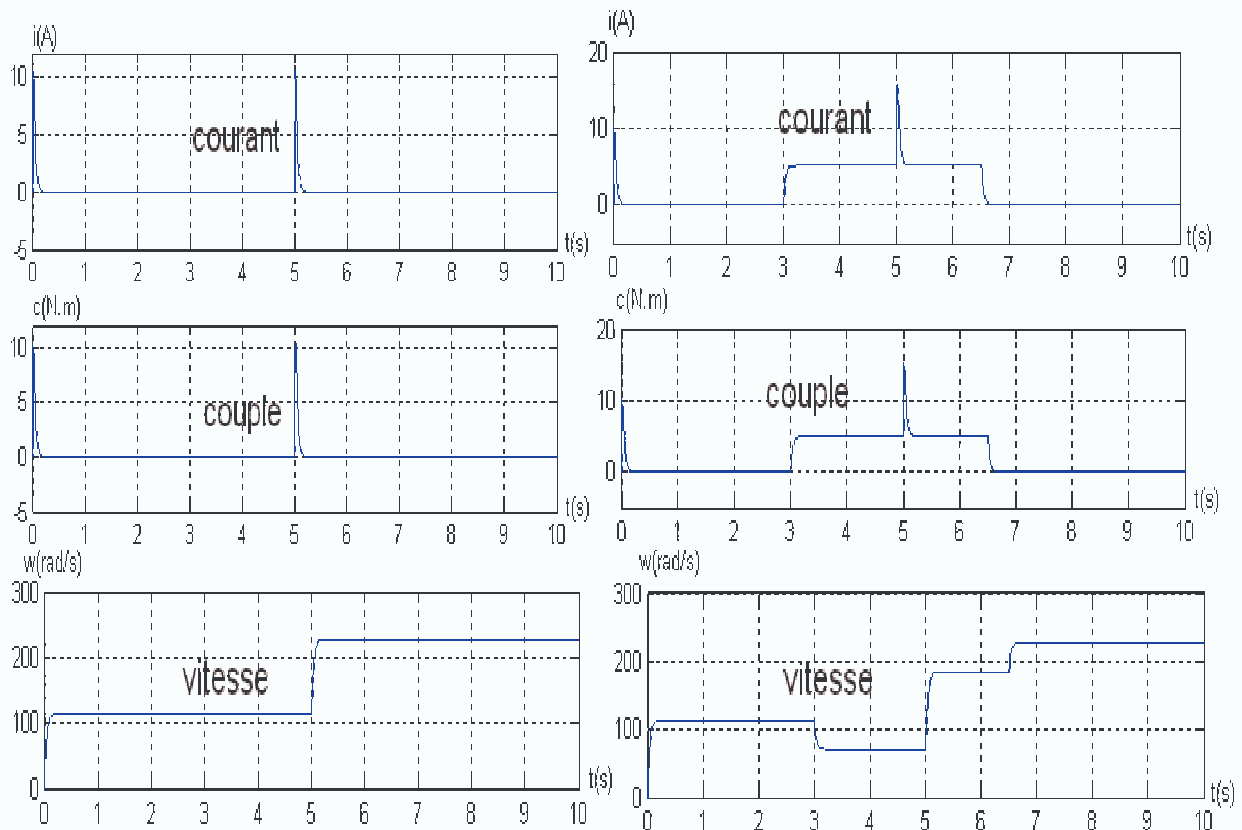


Figure 5-17 Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind} =220v$)

Figure 5-18 Marche à vide avec changement de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind} =220v$) et perturbation ($t=3s$; $t=6.5s$)

Interprétation :

On a représenté dans les figures précédentes les courbes du courant, du couple et de vitesse pour différentes étapes du fonctionnement d'un moteur à courant continu.

Au premier lieu, il est bien remarquer que les caractéristiques (courant - couple - temps) ont un fort appel pendant le démarrage; en régime permanent sont stabilisés à des valeurs nulles.

On a remarquer premièrement que les caractéristiques de (courant- couple – temps) stabilisé à des valeurs nulles en régime permanent, après les forts appels pendant le démarrage. On remarque dans la courbe de vitesse qu'elle est d'une forme apériodique durant le régime transitoire, puis elle se stabilise à la vitesse nominale w_n en régime permanent.

Quand on applique une charge nominale ($C_r=C_n$) figure (5-14), les valeurs du courant, du couple et de vitesse se stabilisent respectivement : au courant nominale I_{dn} , au couple

nominal C_n et la vitesse nominale w_n (l'appel du courant, couple et de vitesse dépend de l'application d'un couple résistant (la charge)).

A la figure (5-17) on applique à l'entrée un échelon positif, après un certain temps on applique un autre échelon positif supérieur pour voir clairement le passage d'un état stationnaire à un autre.

Quand on applique au système deux échelons d'amplitudes différentes décalés ($U_d=110$ v, $U_d=220$ v), la vitesse atteint une valeur correspondante à ce changement ($U_d=110$ v, $C_r=0$), puis la vitesse proportionnelle à la tension ($U_d=220$ v, $C_r=0$ N.m).

Dans la dernière application figure (5-18), on applique deux échelons positifs différents, avec application d'une perturbation, on remarque le passage d'un état à l'autre avec le changement de la vitesse, qu'elle est proportionnelle à la variation de la tension.

Les résultats de simulation convertisseur-moteur sont les mêmes résultats que la simulation du moteur à courant continu.

5-3 ETUDE DE LA BOUCLE DE COURANT :

- **Introduction :**

La variation brutale de la valeur de consigne provoque une augmentation de la tension d'induit qui conduit à une surintensité dans d'induit qui ne sont pas admissibles. Aussi, pour contrôler le courant d'induit, on introduit dans la boucle de courant :

Un capteur de courant qui délivrera une tension proportionnelle au courant d'induit du moteur, et un régulateur de courant pour le contrôle et la correction [12].

5-3-1 Capteur de courant d'induit :

La mesure de courant est effectuée à l'aide d'un transformateur de courant continu basé sur le principe des amplificateurs. Il est constitué des éléments suivants :

- Transformateur de courant.
- Pont à diodes pour avoir une tension redressée fixe.
- Une résistance fixe et une autre variable le réglage.

- Potentiomètre pour ajuster la tension.

➤ *Calcul du facteur de transfert :*

Il est déterminé d'après la formule suivante :

$$K_{cc} = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} \quad (5-18)$$

U_{\max} : tension de capteur de sortie maximale.

I_{\max} : courant admissible d'induit.

$$K_{cc} = \frac{10}{2.5 \cdot 2.2} = 1.818 \text{ V/A}$$

➤ *Constante de temps T_{cc} :*

Cette constante est égale à celle du temps du filtre placé à la sortie du transformateur de compensation et sa valeur égale à $T_{cc} = 0.005 \text{ s}$

➤ *Fonction de transfert du capteur de courant :*

La fonction de transfert du capteur de courant est :

$$G_{cc}(P) = \frac{K_{cc}}{1 + T_{cc}P} \quad (5-19)$$

$$G_{cc}(P) = \frac{1.818}{1 + 0.005P}$$

5-3-1-a) Synthèse de la boucle de courant :

Selon la méthode de l'optimum symétrique (méthode de *kessler*), on peut schématiser la boucle de courant comme suit :

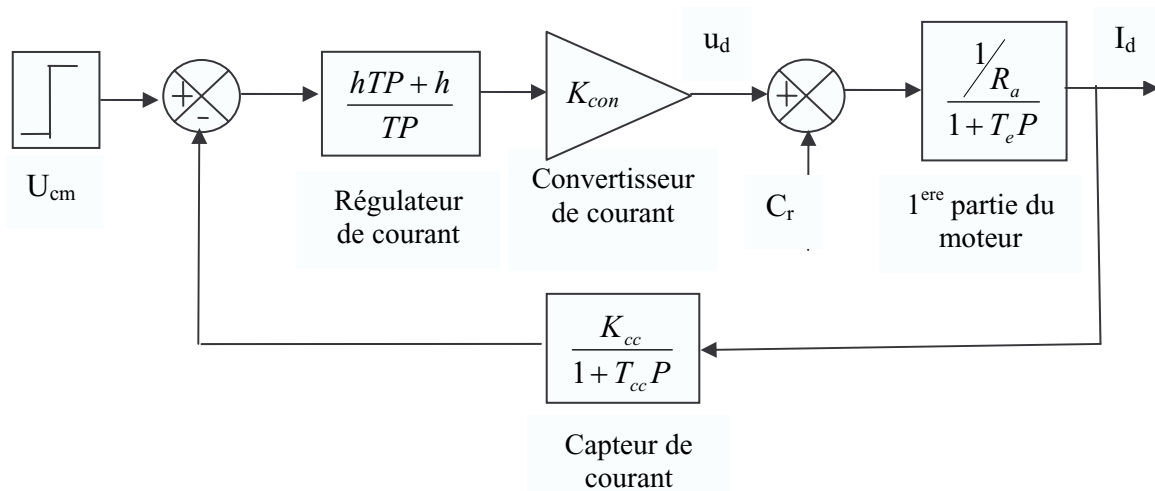


Figure 5-19 Schéma bloc de régulation de courant.

5-3-2 Détermination des paramètres du régulateur de courant :

Avec la méthode de *kessler*, la fonction de transfert standard en boucle ouverte du système linéaire second ordre est de la forme suivante :

$$G_3(P) = \frac{1}{T_1 P (1 + T_2 P)} \quad (5-20)$$

Et que l'on règle avec un régulateur proportionnel intégral, de fonction de transfert général :

$$G_{Rc}(P) = h \frac{1 + TP}{TP} \quad (5-21)$$

Pour déterminer cet optimum, *kessler* introduit un coefficient d'avance de phase (a), tel que :

$$a = T / T_2 \quad ; \quad h = \frac{T_1}{T_2 \sqrt{a}} .$$

a : coefficient d'avance de phase.

T : constante de temps de régulateur de courant

h : Coefficient d'amplification de régulateur de courant.

➤ La fonction de transfert en boucle ouverte de courant est :

$$G_4(P) = \frac{hK_{con}K_{cc}(1/R_a)}{TP} \frac{1 + TP}{(1 + T_{cc}P)(1 + T_eP)} \quad (5-22)$$

Après l'approximation, on approche $G_4(P)$ par la forme :

$$G_5(P) = \frac{hK_{con}K_{cc}}{R_aT} \frac{1 + TP}{[1 + T_{cc}P]T_eP^2} \quad (5-23)$$

On peut faire l'égalité entre la fonction de transfert standard et la fonction de transfert de la boucle de courant ouverte [12].

Après la simplification, on trouve :

$$T_2 = T_{cc} = 0.005 \text{ s.}$$

$$T_1 = \frac{R_a.T_e}{K_{cc}.K_{cm}} = \frac{8 \cdot 0.007}{1.818 \cdot 22} = \frac{0.056}{39.996} = 0.0014 \text{ s}$$

Et avec l'application numérique on trouve les paramètres du régulateur de courant :

$$T = 0.02 \text{ s}$$

$$h = 0.149$$

5-4 ETUDE DE LA BOUCLE DE VITESSE :

Introduction :

Les exigences de l'évolution du besoin industriel des variateurs de vitesse ne cesse de devenir de plus en plus contraignantes.

Ces contraintes requièrent, généralement une habilité à suivre les changements du point de fonctionnement et une aptitude à régler les perturbations de charge et les variations paramétriques.

Le régulateur conventionnel proportionnel intégral (PI) utilisés pour ces variations sont conçus sur la base d'une linéarisation autour d'un point de fonctionnement [13].

5-4-1 Capteur de vitesse :

Pour mesurer la vitesse de rotation du moteur, on utilise une dynamo-tachymétrique qui représente une petite génératrice à aimant permanent. Entre les deux balais du rotor on obtient une tension proportionnelle à la vitesse dont la polarité est une indication pour le sens de rotation.

➤ *Facteur de transfert du capteur de vitesse :*

On obtient ce facteur d'après la condition suivante :

- La tension de sortie du capteur de vitesse doit être égale à 10V quand la vitesse est maximale et on aura :

$$K_{cv} = \frac{U_{\max}}{w_{\max}} = \frac{10}{209.33} \Rightarrow K_{cv} = 0.047 \text{ v.rad / s}$$

➤ *La fonction de transfert du capteur de vitesse est :*

$$G_{cv}(P) = K_{cv}$$

5-4-1-a) Synthèse de la boucle de vitesse: Le schéma bloc final du moteur

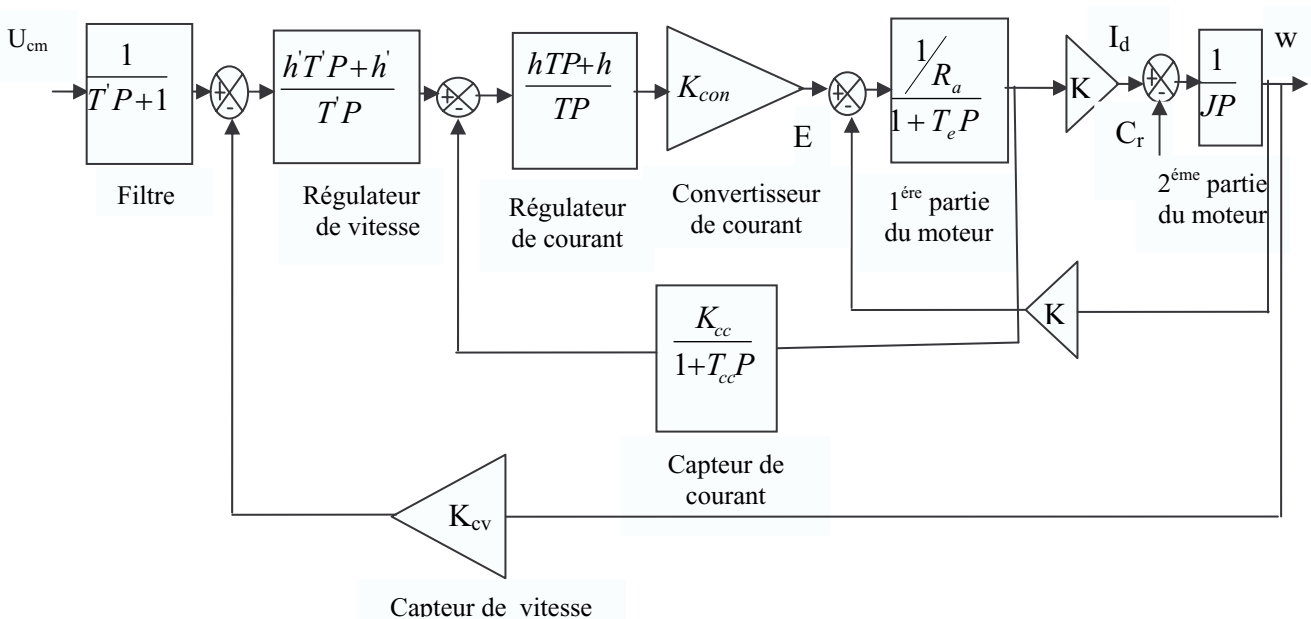


Figure 5-20 Le schéma bloc final de l'association convertisseur-MCC

5-4-2 Détermination des paramètres de régulateur de vitesse :

Pour pouvoir déterminer le régulateur de vitesse, il faut connaître la fonction de transfert du courant en boucle fermée. Pour simplifier l'étude de la boucle de vitesse, on peut simplifier la boucle de courant dans la forme suivante :

$$G_6(P) = \frac{1}{K_{cc} \left(1 + \frac{P}{W_{cbi}}\right)} \quad (5-23)$$

Tel que :

$$w_{cbi} = \frac{1}{T_{cc} \sqrt{a}} \quad (5-24)$$

W_{cbi} : La fréquence de coupure de la boucle de courant.

➤ La fonction de transfert de régulateur de vitesse est de la forme suivante :

$$G_{Rv}(P) = h' \frac{1 + T' P}{T' P} \quad (5-25)$$

Selon la méthode de « kessler » la fonction de transfert de la boucle de vitesse ouverte :

$$G_7(P) = \frac{h' . K . K_{cv}}{T' . K_{cc} . J} \frac{1 + T' P}{P^2 \left(1 + \frac{P}{W_{cbi}}\right)} \quad (5-26)$$

Comme le calcul des paramètres du régulateur de courant. On fait le même travail pour déterminer les paramètres du régulateur de vitesse.

On trouve :

$$T'_1 = \frac{J . K_{cc}}{K . K_{cv}} \quad , \quad T'_2 = \frac{1}{W_{cbi}}$$

$$T' = a . T'_2 \quad ; \quad h' = \frac{1}{\sqrt{a}} \frac{T'_1}{T'_2}$$

T' : constante de temps de régulateur de vitesse

h' : coefficient d'amplification de régulateur de vitesse

A.N : $T' = 0.04 \text{ s} \quad ; \quad h' = 10.7$

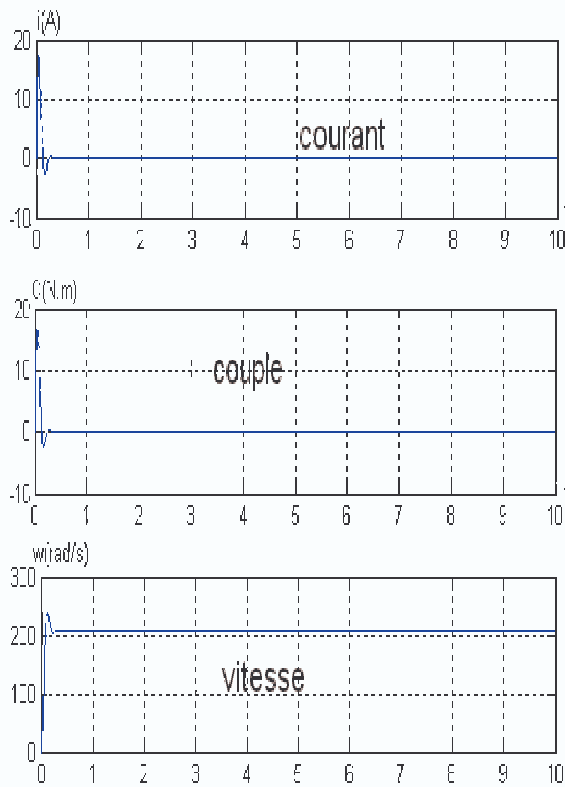


Figure 5-21 Marche à vide
($U_{ind}=220v$; $C_r =0$ N.m)

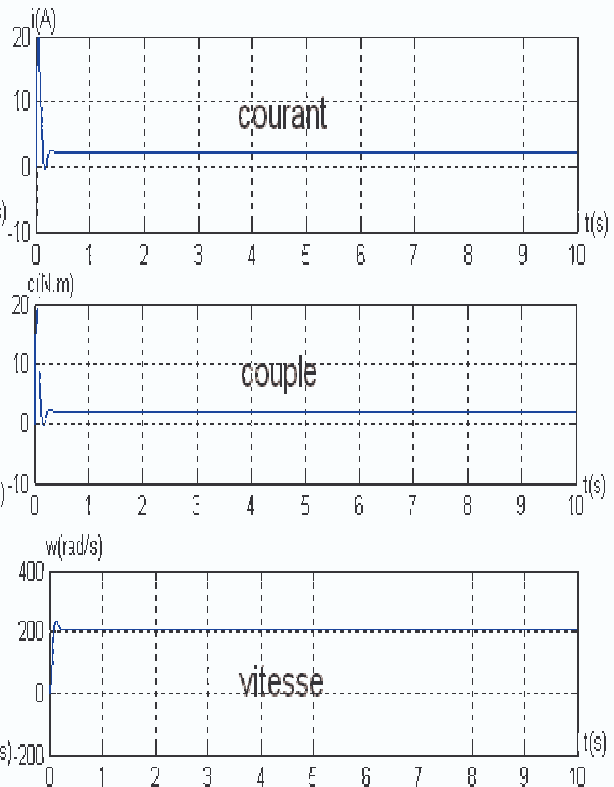


Figure 5-22 Marche en charge
($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m)

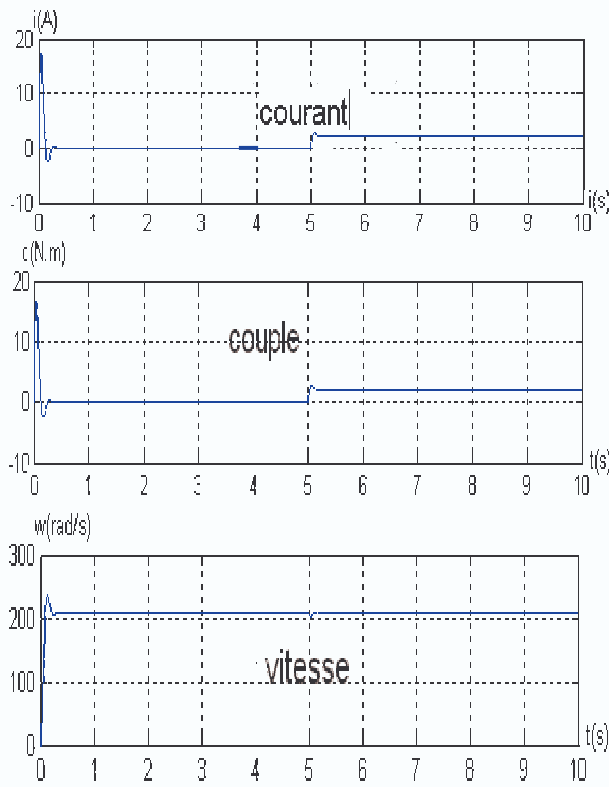


Figure 5-23 Marche à vide puis en charge
($U_{ind}=220v$; $C_r=2.127$ N.m, $t=5$ s)

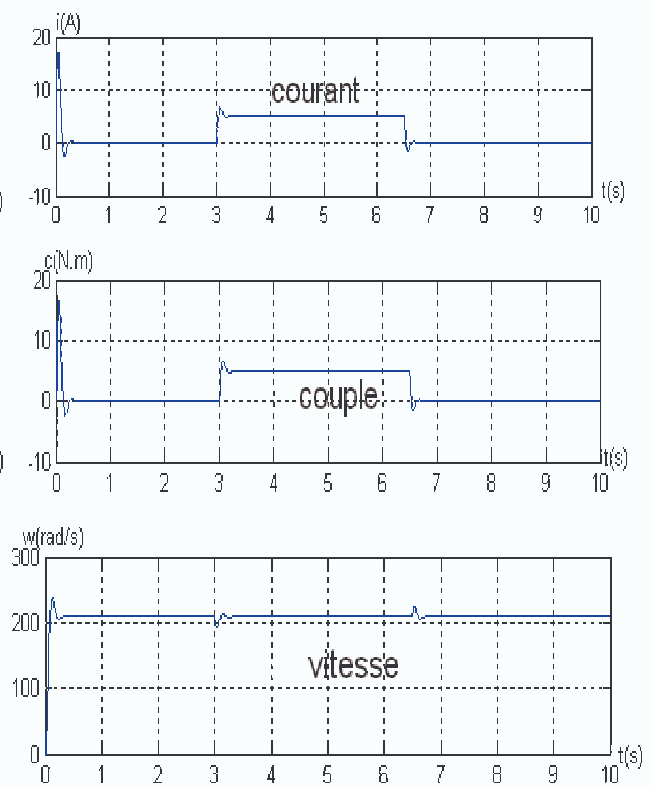


Figure 5-24 Marche à vide avec perturbation
($U_{ind}=220v$; $t=3s$ $t=6.5s$)

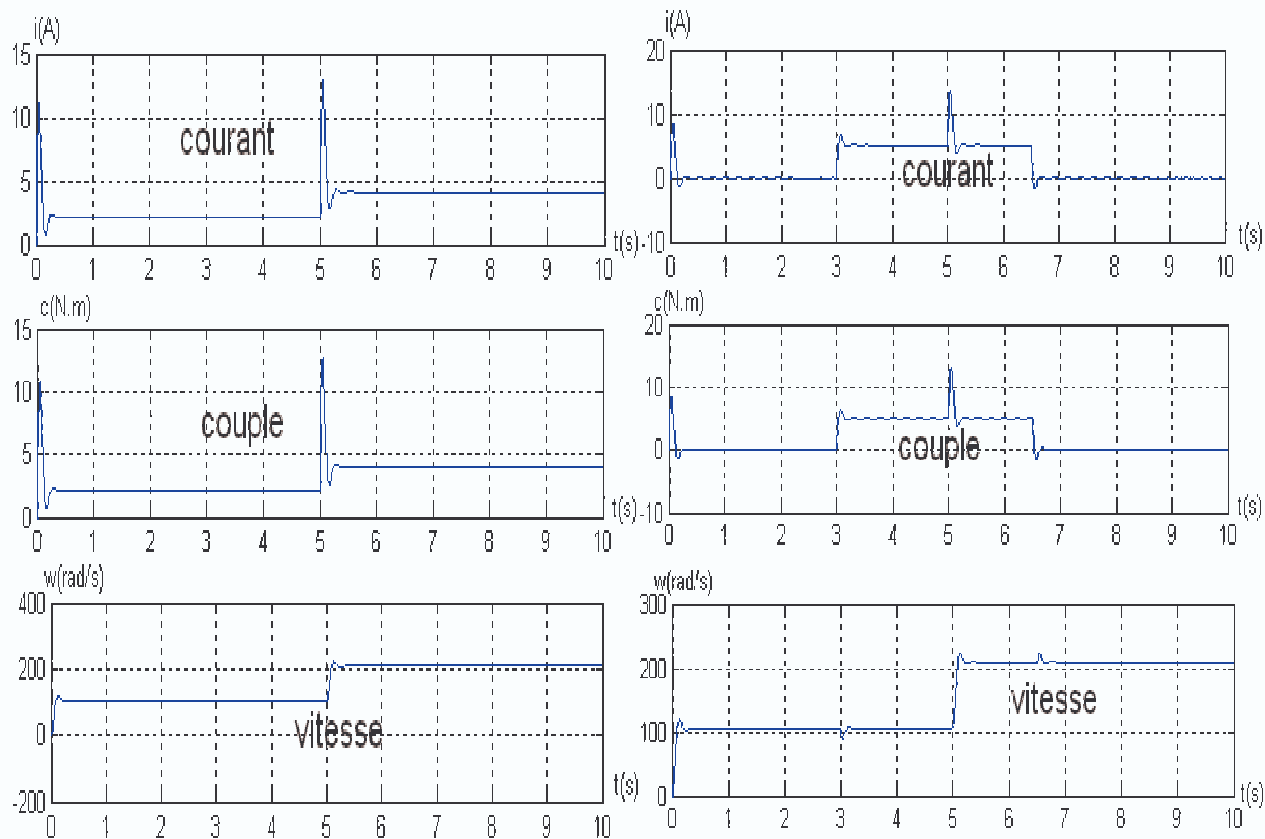


Figure 5-25 Marche avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind}=220v$)

Figure 5-26 Marche à vide avec variation de vitesse ($U_{ind}=110v$; puis à $t=5s$; $U_{ind}=220v$) et perturbation ($t=3s$; $t=6.5s$)

Interprétation :

En premier temps quand on observe les formes des caractéristiques (courant, couple, vitesse), on remarque que la vitesse diminue dans un temps très court à une valeur très proche à la valeur de régime permanent puis elle retourne au régime permanent. Quelque soit la variation du charge ou le changement du tension qui nous appliquons. Celle-ci justifie le rôle du régulateur de vitesse qui maintient la vitesse de sortie à un niveau constant.

Pour les courbes (couple - courant) on remarque qu'il y a une augmentation très rapide puis ils retournent au régime permanent.

Alors on peut dire que les courbes que nous allons représenter montrent l'efficacité de régulateur et la robustesse de système de régulation vis-à-vis le réglage de vitesse et de courant avec la variation de la charge (C_r), et l'aptitude du système à absorber l'apparition des perturbations.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les entraînements réglés c'est-à-dire les entraînements électromécaniques à vitesse variable, constituent l'application la plus importante et la plus vaste de l'électronique industrielle.

Ces entraînements réglés utilisant des moteurs à courant continu, on atteint aujourd'hui un niveau de performances très élevé et on constate une normalisation quasi complète des circuits de puissance et de réglage même pour les entraînements spéciaux.

La première partie de ce travail est consacrée aux structures caractéristiques et à l'utilité des convertisseurs statiques et en particulier la conversion continue-continue.

Ces convertisseurs, n'ont cessé d'être développés et ceux à interrupteurs résonnant représentant l'actuelle génération. Ils trouvent leur principale utilisation quand ils s'agissent de travailler à des fréquences élevées. Ils sont caractérisés aussi par des faibles pertes de commutations.

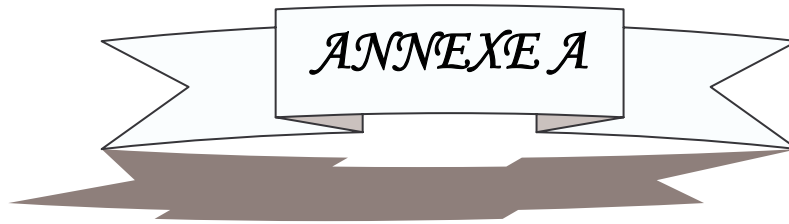
La deuxième partie est une étude de l'association : convertisseur –moteur à courant continu avec deux boucles imbriquées de réglages, l'une du courant et l'autre de la vitesse.

Après avoir calculer les paramètres des régulateurs est afin de vérifier les comportements dynamiques et statique du système on procède à la simulation numérique.

Finalement on espère que les personnes s'intéressent à ce problème trouvant en ce modeste travail une inspiration, leur permettant de développer d'autres idées.



*CONCLUSION
GENERALE*



Paramètres de la machine à courant continu

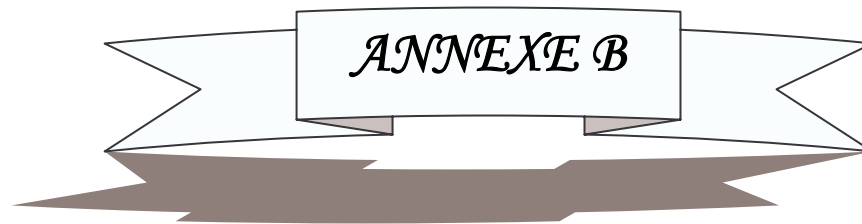
Les caractéristiques du moteur à courant continu utilisées dans notre travail sont :

1- Caractéristiques

$P_n=0.3\text{KW}$	Puissance nominale.
$f= 50\text{HZ}$	Fréquence du réseau.
$U_d = 220 \text{ v}$	Tension nominale.
$N =2000 \text{ tr/min}$	Vitesse de rotation nominale.
$C_n=2.127 \text{ N.m}$	Couple nominal.
$I_{dn}= 2.2 \text{ A}$	Courant nominal.

2- Paramètres

$R_a = 8 \ \Omega$	Résistance d'induit.
$L_a = 0.0597 \text{ H}$	Inductance d'induit.
$J = 0.005 \text{ Kg.m}^2$	Moment d'inertie.



PLECS :

Après avoir fait l'étude théorique de la structure est des comportement du hacheur on procédé à la simulation.

L'outil utilisé est un logiciel qui se nomme PLECS (pièce, vise linear, electrical circuit simulation for SIMULINK), qui comme cette nomination l'indique s'intègre au SIMULINK du MATLAB.

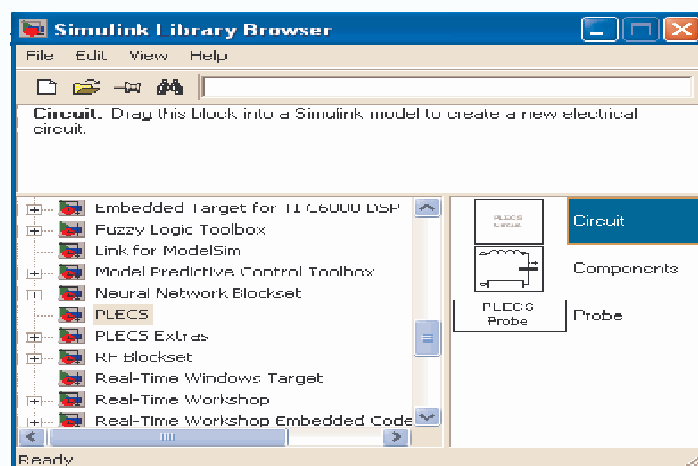
IL a été développé au polytechnique de ZURICH (ETH ZURICH).

La version étudiant peut être librement – télécharger de site du polytechnique de ZURICH. Elle permet de simulé du modèle qui ne contiennent qu'un seule BLOC PLECS.

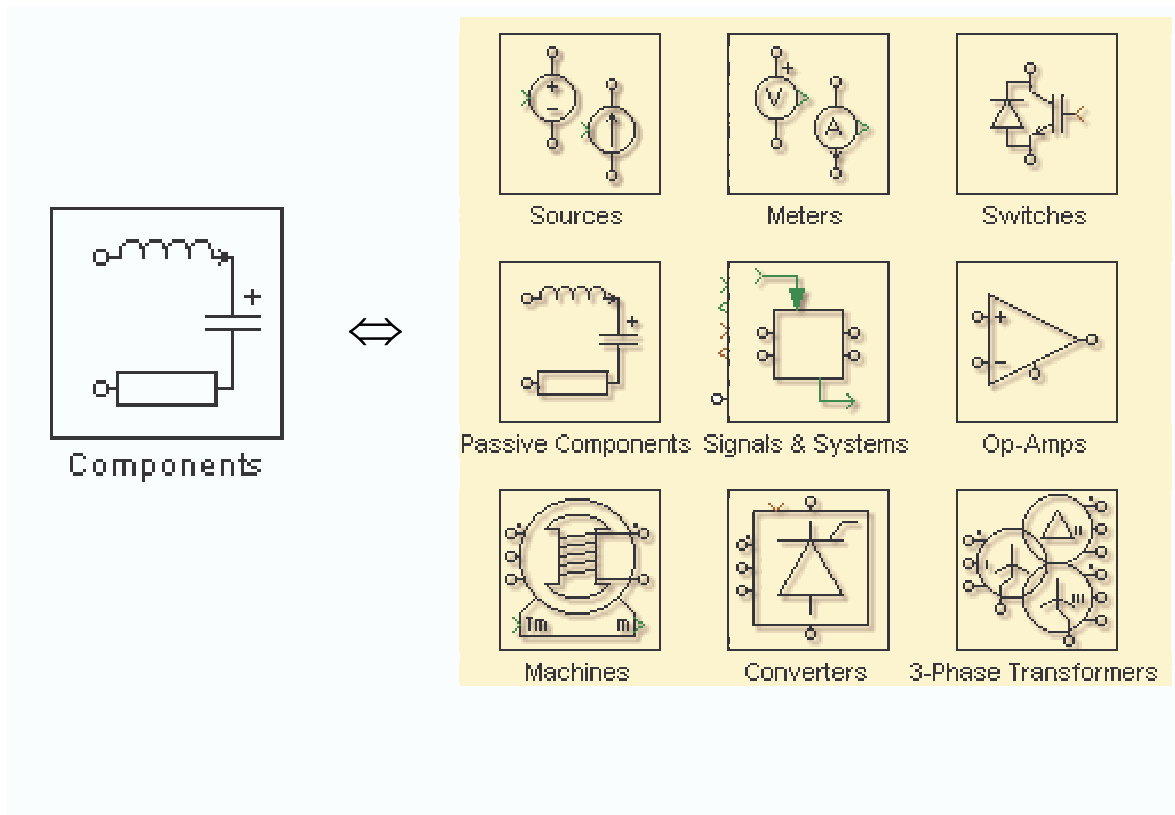
PLECS permet de simuler les schémas de l'électronique de puissance, on les réalisent (saisissant) dans un BLOC PLECS ; qui doit se trouve dans une page simulink.

L'installation consiste à la copie dans le répertoire TOOLBOX du MATLAB.

Pour pouvoir travaille avec PLECS, il faut le choisir comme répertoire du travail actuel, on ouvrant le simulink, on le verra alors apparaître comme un Toolbox :

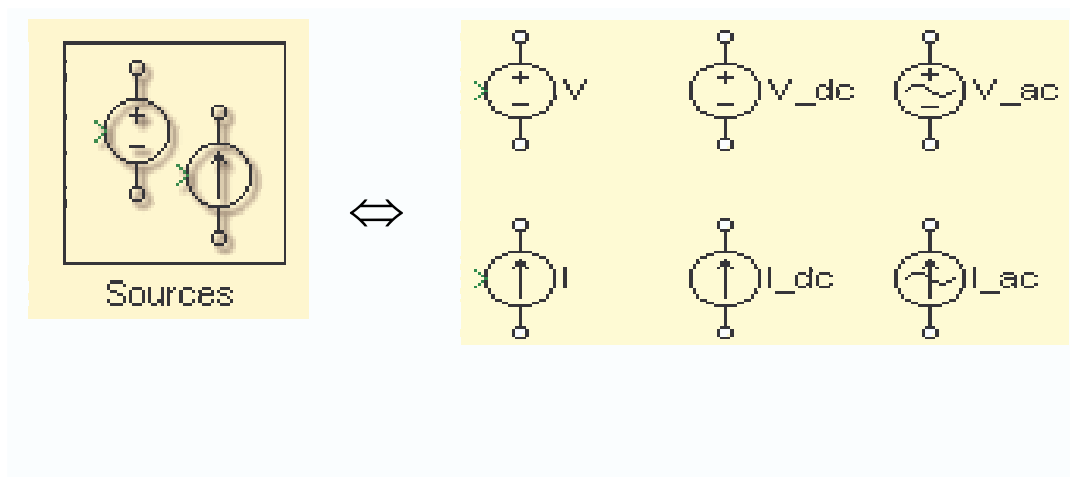


On y trouve les composantes : circuit, components, probe .La partie components représente la véritable bibliothèque de PLECS.



On y trouve les bibliothèques

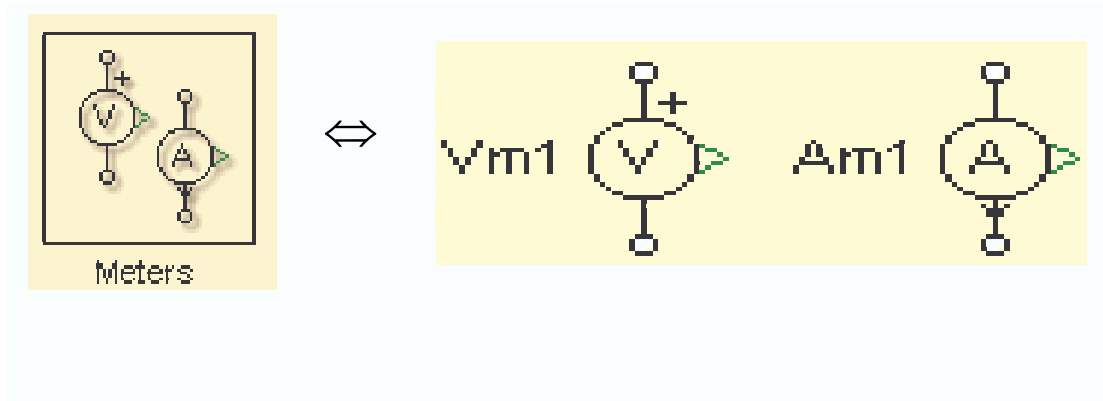
Sources : qui contient :



Sources de tension et de courant continue et alternatives.

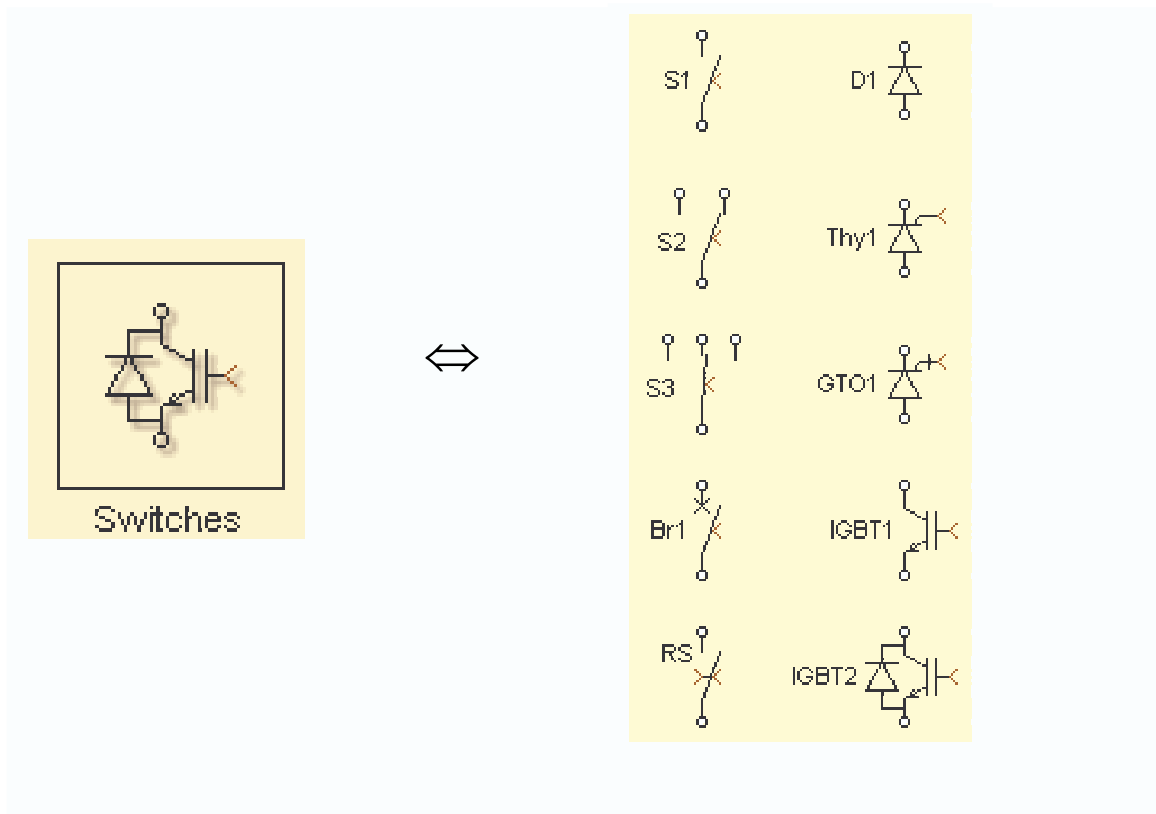
Meters : qui contient :

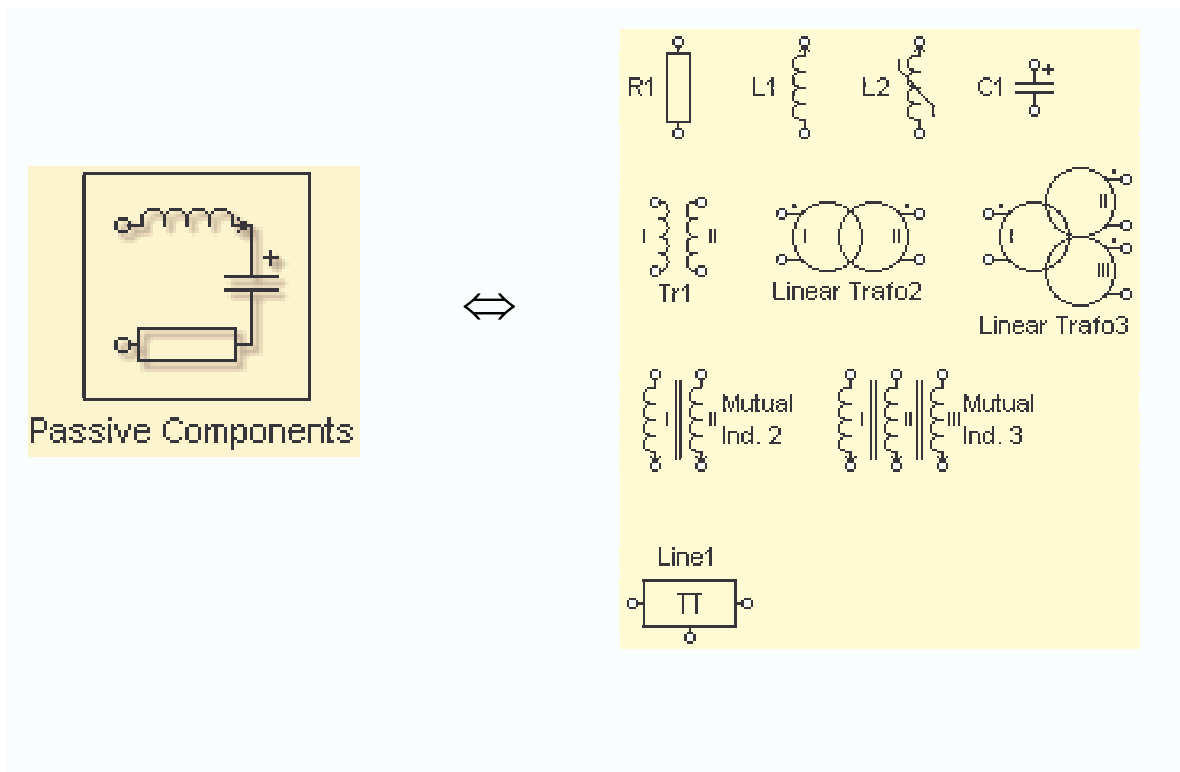
Les appareils de mesure de la tension et de courant.



Les deux instruments sont dotés d'un sens de branchement des résultats de mesure seront connectés à des ports de sortie (signal and systèmes) pour avoir affichés (visualisés) sous environnements SIMULINK.

Switches : est une bibliothèque qui contient les interrupteurs qui existent en réalisation idéale ou bien à base de composants semi-conducteurs.



Passive composants :

Contient tout les composants électriques passifs (résistance, bobine,etc.).

IL y a aussi une bibliothèque des montages de l'électronique de puissance est une autre des différentes machines électriques tournantes.



BIBLIOGRAPHIQUE

[1] Guy SEGUIER,

- " Les fonctions de base et leurs principales applications ",
- 7^{ème} édition ; [Dunond ; 1999].

[2] Guy SEGUIER, Francis LABRIQUE, Robert BAUSIERE

- " Les convertisseurs de L'électronique de puissance (La conversion continu-Continu),
- 2^{ème} édition, [Lavoisier ; 1997].

[3] Guy SEGUIER,

- " Cours et exercices résolus d'électronique de puissance ",
- 6^{ème} édition, [Dunod, 1990].

[4] Handruedi BHULER,

- " Electronique de réglage et de commande ",
- Volume XVI, 3^{ème} édition, [Lavoisier ; 1990].

[5] Mémoire

- " Etude et réalisation pratique d'une carte de commande d'un GTO destinée à un entraînement électrique»,
- [M'sila ,2004-2005], GASMI Abdelmalek, SID AHMED Zine Elabidine

[6] Sites Internet

[7] R.CHAUPRADE,

- " Electronique de puissance", " Commande des moteurs à courant continu ",
- 5^{ème} édition, [EYROLLES ; 1988].

[8] F.DECARFORT, C.FOULARD, J.CALVET,

- " Asservissements linéaires continue"
- 3^{ème} édition, [Dunond ; 1976].

[9] M.DJEDDI, L.HAROUS, T.BAHI,

- " Systèmes asservis linéaires ",
- [Alger ; 1994].

[10] Technique d'ingénieur, [D3]

[11] Michel Pinard,

- "Commande Electronique des moteurs électriques ",
- [Dunod, 2004],

[12] G.Grellet, G.clere,

- " Actionneur électrique “,
- édition EYROLLES, 2^{ème} tirage [2000]

[13] Pascal COSTA, Vincent BOITIER,

- " Electronique de puissance et Electrotechnique "
- [édition ; 1997].

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN GENIE ELECTROTECHNIQUE**

OPTION : ELECTROMECHANIQUE

Proposé et dirigé : M^{me}:O. BELOUNIS

Présenté par : E. SOUALMI et M. BELFAR

Thème :

**UTILISATION D'UN CONVERTISSEUR QUASI-RESONNANT DANS UN
ENTRAINEMENT ELECTRIQUE ETUDE ET SIMULATION**

Résumé :

L'apparition des nouvelles structures des convertisseurs incluant des circuits résonnants pour permettre des commutations soit à courant nul, soit à tension nulle, ce sont les convertisseurs « quasi-résonnants » ou « à interrupteurs-résonnants ».

Nous avons commencé par l'étude des différentes structures caractéristiques, des interrupteurs, des convertisseurs continu-continu, et les convertisseurs continu-continu quasi-résonnants.

A fin de vérifier le comportement statique et dynamique du système (l'association convertisseur-Moteur), on a calculé les paramètres des régulateurs de courant et de vitesse.

Enfin, on a procédé à la simulation numérique de cette association pour différents régimes de fonctionnement.

Mots Clés:

Interrupteurs 3 segments, Interrupteurs résonnants, convertisseur continu-continu quasi-résonnant, Moteur à courant continu, Régulation PI, Simulation (PLECS – MATLAB).