

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

Université MOHAMED BOUDIAF de M'sila

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique



Synthèse du TP

Electronique de puissance avancée

Pour: 1^{ere} année Master Electromécanique

Par:

Dr. BELHAMDI SAAD

**Maître de Conférence "A" en Electrotechnique à l'Université MOHAMED
BOUDIAF de M'sila**

2017/2018

Avant-Propos

Ce polycopié de travaux pratiques intitulé Electronique de puissance avancée avec Power Sim a été réalisé au sein du département d'électrotechnique et est destiné aux étudiants de Master1, Electromécanique ainsi qu'à tous ceux qui ont à enseigner et à mettre en œuvre l'électrotechnique, Il est également adapté aux 1er et 2ème cycle universitaire. Le logiciel permet de dessiner le schéma du montage, à partir des éléments de la bibliothèque (moteur, transformateurs, interrupteurs électroniques, éléments de commande et de contrôle...). Le logiciel graphique Power Sim est téléchargeable gratuitement en version Démo, qui est largement suffisante pour permettre la réalisation de la majorité des travaux pratiques proposés ici.

J'espère que ce recueil sera apprécié par mes collègues et les étudiants et je serais très heureux de recevoir avec reconnaissance leurs remarques, critiques et suggestions.

Dr. S. BELHAMDI

المسيلة في: 30/05/2018

رقم: 114/.../2018

مستخلص من محضر اجتماع اللجنة العلمية لقسم الهندسة الكهربائية
المنعقد بتاريخ 2018/05/30

بخصوص مطبوعة الدروس للأستاذ بلحمدي ساعد

بخصوص مطبوعة الدروس المنجزة من طرف الأستاذ بلحمدي ساعد أستاذ محاضر قسم - أ - تحت عنوان :
électronique de puissance avancée . فقد اطلعت اللجنة على تقارير لجنة الخبراء المكونة من الأستاذ رابحي بوعلاقة أستاذ بجامعة
بسكرة , الأستاذ خوجة جلال الدين أستاذ محاضر أ بجامعة المسيلة و الأستاذ شقرون سليم أستاذ محاضر قسم أ بجامعة المسيلة و التي كانت كلها
إيجابية , لهذا فان اللجنة لا ترى مانعا أن تتخذ سندا في تدريس طلبة ماستر أو أن تعتمد في أي تقييم للمسار العلمي للأستاذ المعني.

رئيس اللجنة العلمية للقسم



Table des matières

Introduction

TP01 Prise en main pour simuler sous PSIM

TP02 HACHEUR DEVOLTEUR

TP03 HACHEUR EN CONDUCTION CONTINUE

TP04 ONDULEUR MONOPHASE

TP05 ONDULEUR TRIPHASE

Introduction

PSIM est un logiciel de simulation conçu pour l'électronique de puissance, contrôle moteur, et la simulation dynamique du système.

PSIM utilise un algorithme fort dédié aux circuits électriques (méthode par morceaux, des modèles génériques et un fixe pas de temps). En conséquence, les temps de simulation sont considérablement réduits, les problèmes de convergence sont évités, et la précision des résultats est au rendez-vous: on peut rapidement obtenir des résultats fiables conformes aux attentes et aux exigences propres.

Grâce à la simulation rapide et une interface conviviale, PSIM fournit un environnement de simulation puissant pour répondre à vos besoins de simulation.

PSIM fournit une interface utilisateur intuitive et facile à utiliser pour l'édition graphique schématique. Un circuit peut être facilement créé et édité. Pour gérer les grands systèmes, PSIM assure la fonction de sous-circuit qui permet à une partie d'un circuit d'être représenté par un bloc de sous-circuit.

Avec son interface conviviale, sa vitesse de simulation, sa capacité de simuler tout type de convertisseurs de puissance et circuits de commande, PSIM est idéal pour au niveau du système de simulation, conception de la boucle de contrôle, et les études du système d'entraînement à moteur

PSIM est un logiciel de simulation pour l'électronique de puissance. Le logiciel permet de dessiner le schéma du montage, à partir des éléments de la bibliothèque (machines, transformateurs, interrupteurs électroniques, éléments de commande et de contrôle...). Les appareils de mesure disposés sur le schéma de montage définissent les courbes représentatives des grandeurs électriques et mécaniques que l'on peut obtenir après simulation.

TP01 Prise en main pour simuler sous PSIM

1. BUT:

L'apprentissage d'un logiciel de simulation d'électronique de puissance, outil qui va par la suite être utilisé régulièrement dans l'ensemble des autres T.P. d'électronique de puissance.

2. Présentation du logiciel PSIM

PSIM fournit une interface utilisateur intuitive et facile à utiliser pour l'édition graphique schématique. Un circuit peut être facilement créé et édité. Pour gérer les grands systèmes, PSIM assure la fonction de sous-circuit qui permet à une partie d'un circuit d'être représenté par un bloc de sous-circuit.

3. Introduction

Le logiciel **PSIM**, est conçu tout particulièrement pour les de circuits d'électrotechnique et d'électronique de puissance.

Il s'agit d'un ensemble logiciel formé de trois modules liés:

- Un éditeur de schéma, **SIMCAD**, servant à décrire l'ensemble du système à simuler.
- Le simulateur électrique proprement dit, **PSIM**.
- Un programme d'affichage graphique des résultats de simulation, **SIMVIEW**.

La simulation d'un montage se décompose en 4 étapes:

- dessin du schéma de montage
- entrée des valeurs des éléments du montage et des paramètres de la simulation
- calcul
- visualisation des courbes.

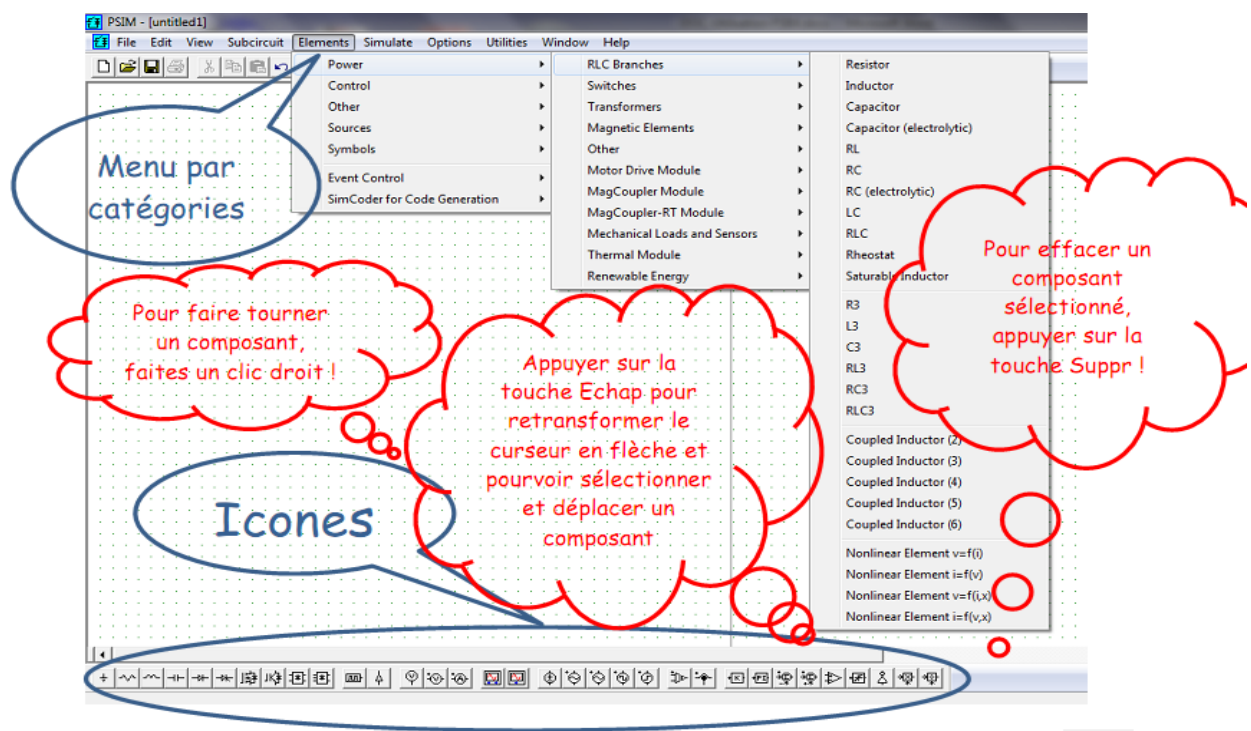
La simulation peut-être utilisée de manière complémentaire à chacune des trois étapes :

- Préparation : la simulation permet de se libérer de nombreux problèmes de calculs, et donc d'étudier les montages de manière plus précise. Elle permet de se focaliser plus facilement sur le fonctionnement sans être limité par des calculs trop lourds.
- Manipulation : l'organisation du montage, le réglage des paramètres, le mode opératoire et les mesures peuvent être abordés en simulation.
- Exploitation : la simulation peut être très utile car elle permet de prendre en compte ou non les hypothèses simplificatrices. Elle permet de séparer les problèmes et de voir l'effet de chaque hypothèse prise séparément.

Ce logiciel considère les semi-conducteurs de puissance comme des interrupteurs, ouverts ou fermés. Les diodes, transistors ou thyristors ne présentent donc pas de chute de tension aux bornes lorsqu'ils sont en conduction.

Le logiciel permet de dessiner le schéma du montage, à partir des éléments de la bibliothèque (éléments de commande et de contrôle, machines, transformateurs, interrupteurs électroniques,...).

Placer les éléments du montage à étudier (menu Eléments -> Ou l'icône correspondante).



Pour relier les composants par des fils, utiliser l'outil Wire (menu File -> Edit ou l'icône correspondante).



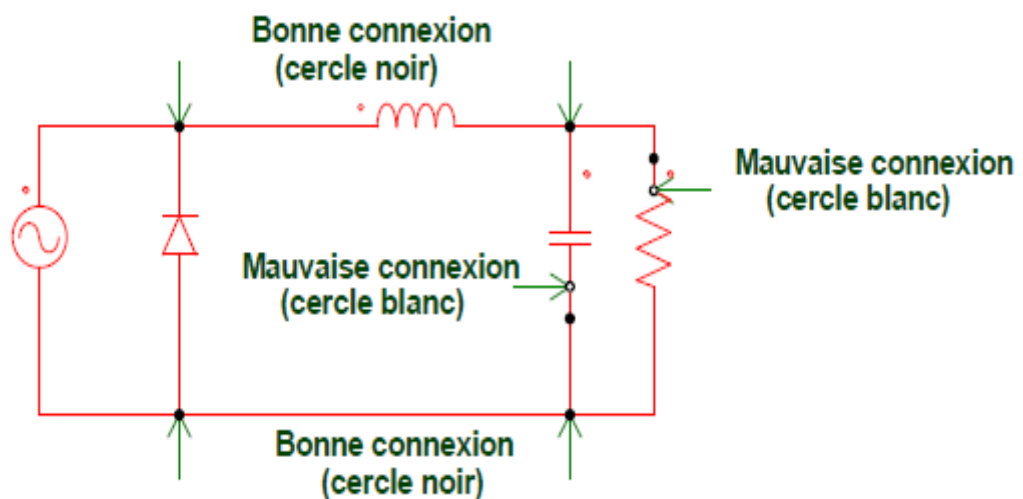
4. Description du système à simuler

La description du système à simuler est réalisée graphiquement sous forme de schéma électrique. Une barre d'outils, en bas de l'écran permet d'accéder rapidement à la plupart des éléments nécessaires.



Les liaisons électriques entre les composants s'effectuent également à la souris après avoir choisi l'outil de connexion.

- Une mauvaise connexion se traduit par un petit cercle au lieu d'un point, vous aurez alors un message d'erreur.



Pour affecter les valeurs et/ou paramètres des éléments, faire un double clic sur l'élément.

Sine Dialog:

Parameter	Value	Display
Name	V1	☐
Peak Amplitude	15	☐
Frequency	500	☐
Phase Angle	0	☐
DC Offset	0	☐
Tstart	0	☐

Resistor Dialog:

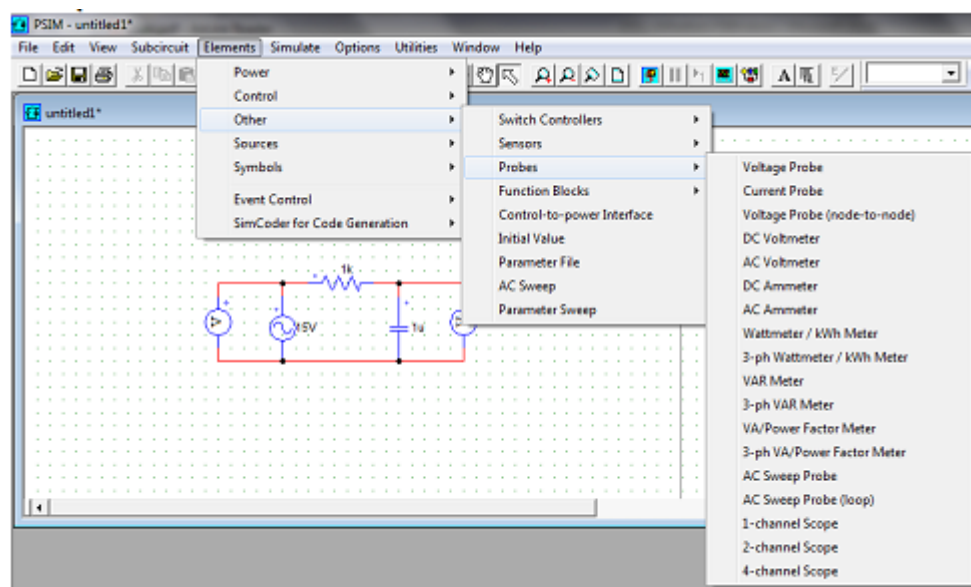
Parameter	Value	Display
Name	R1	☐
Resistance	1kohm	☒
Current Flag	0	☒

Callouts:

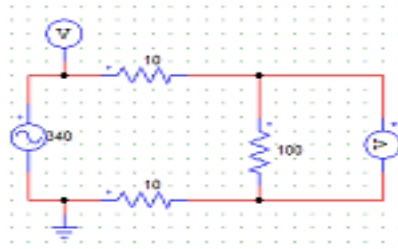
- Blue:** A cocher pour afficher sur le schéma (Check to display on the schematic)
- Red:** La fermeture de la boîte de dialogue enregistre les nouveaux paramètres (Closing the dialog box saves the new parameters)
- Red:** L'unité n'est pas nécessaire pour le logiciel mais il est conseillé de la mettre pour vous ! (The unit is not necessary for the software but it is recommended to put it for you !)
- Blue:** Mettre un 1 et cocher l'affichage (Display) pour obtenir l'affichage de l'intensité du courant lors de la simulation (Put a 1 and check the display (Display) to get the display of the current intensity during the simulation)

5. Paramètre et lancer une simulation temporelle.

* Avant de faire une simulation, il est nécessaire de placer sur le schéma les différents appareils de mesure (menu Eléments -> Other -> Probes -> ou l'icône correspondante) .



- * Attention, pour fonctionner une sonde de tension placée en un point fait référence à la terre qui doit être obligatoirement placée sur le schéma pour obtenir une simulation cohérente.



- * Placer à coté du schéma un contrôle de simulation

.(menu Simulate -> Simulation Control).

- * Attention à bien régler vos paramètres de simulation

pour ne pas obtenir de résultats abérants, en particulier

le temps de simulation total qui fixera l'échelle

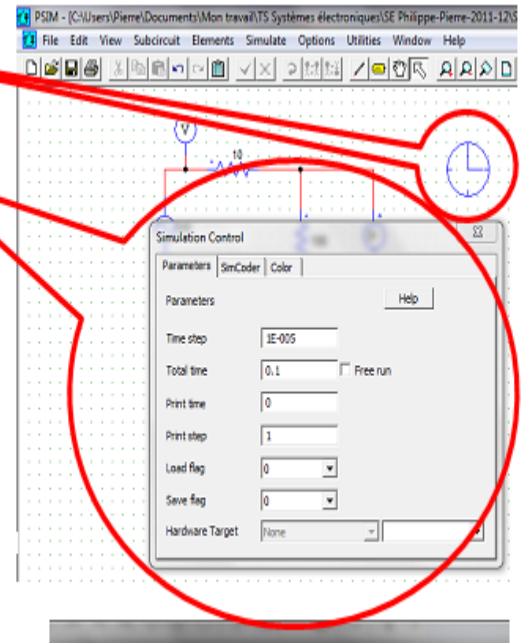
d'affichage des chronogrammes.

- * La fermeture de la boîte de dialogue enregistre les

nouveaux paramètres.

- * Lancer la simulation (menu Simulate -> Run simulation

ou la touche de fonction F8 ou l'icône correspondante).



6. Obtenir et exploiter des chronogrammes (fenêtre SIMVIEW)

- * Sélectionner les variables voulues, puis les afficher .

En appuyant sur Add .

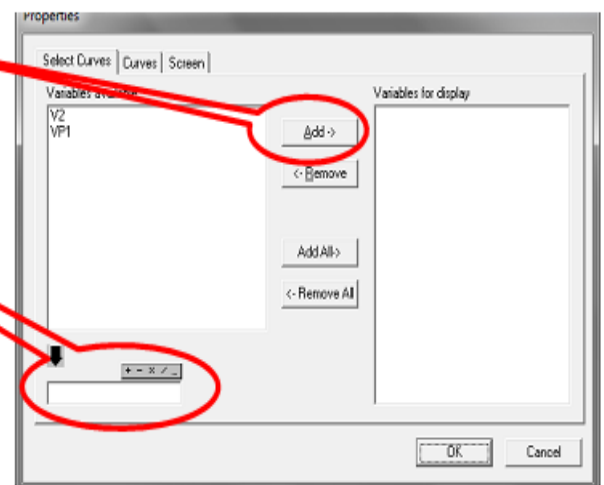
- * Il est possible de réaliser des opérations entre les

variables sélectionnées .

- * Il est possible d'ajouter ou

supprimer des courbes sur le même graphe

(menu Screen -> Add/Delete Curves).



* Il est possible d'ajouter un autre graphe pour tracer d'autres courbes (menu Screen -> Add Screen) .

* Il est possible de modifier les échelles des axes (menu Axis -> X Axis ou Y Axis) et/ou choisir la variable de l'axe des abscisses (menu Axis <- Choose X Axis Variable) .

* Il est possible de faire des mesures de

valeurs instantanées sur les courbes

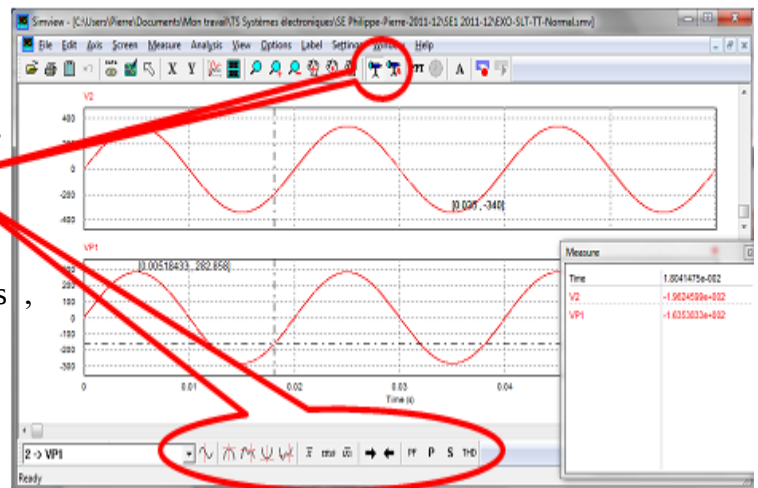
en déplaçant des curseurs, d'obtenir les

mesures des valeurs maximales ,

minimales, valeurs moyennes, efficaces ,

taux de distorsion harmonique ... et

de les afficher .

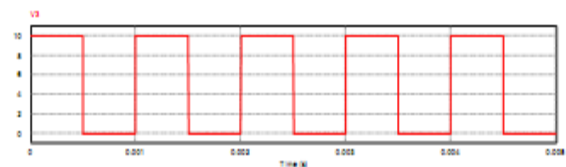


* Il est possible d'imprimer les courbes

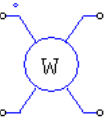
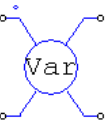
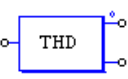
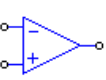
(menu File -> Print ...)

* Il est copier les courbes sur un éditeur

de texte (menu Edit -> Copy to Clipboard ->...).



<i>Spécificités de quelques composants courants</i>	
	Sonde de tension entre le point de mesure et la masse
	Sonde de tension entre les 2 points de mesure
	Mesure du courant
	Sonde de courant, de gain réglable. Renvoie une tension
	Sonde de tension entre les 2 points de mesure renvoie une tension proportionnelle à celle mesurée

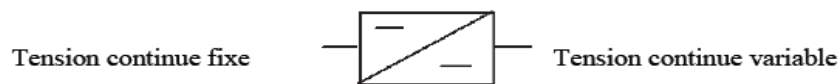
	Oscilloscope: permet de visualiser directement une grandeur. Nécessite la coche free run dans les paramètres de simulation
	Paramètres de déclenchement d'un thyristor par exemple. Le nombre de points indique le nombre de changements de l'état de la porte (0 ou 1) pendant une période fixée par le paramètre fréquence. Si les angles de déclenchements sont indiqués comme sur l'exemple suivant : <i>fréquence 50 Hz ; n° of points 4 ; switching points : 0. 90. 180. 270.</i> La sortie de la porte sera à 1 de 0 à 90° et de 180° à 270° sur une période de 20 ms
	Wattmètre Cut off frequency : fréquence de coupure en dessous de laquelle les signaux ne sont pas pris en compte
	Varmètre Il est nécessaire de lui indiquer la fréquence du fondamental
	Mesure du THD Il faut indiquer la fréquence de coupure et la fréquence du fondamental
	Ampi Opérationnel NB : ne fonctionne pas pour une réaction positive

TPO2 HACHEUR DEVOLTEUR

1. Objectif: Relever et analyser les formes d'onde et les caractéristiques d'un hacheur série.

2. Définition et symbole

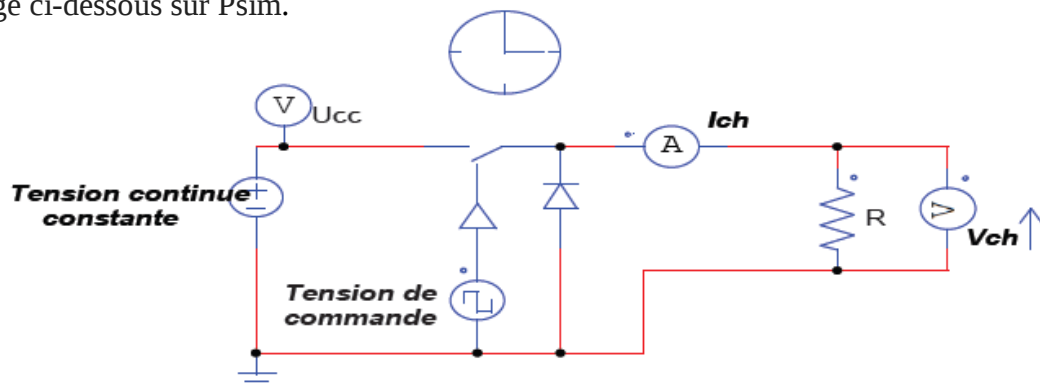
Le hacheur est un convertisseur statique permettant d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe.



3. Principe du hacheur dévolteur

3.1 Débit sur une charge résistive

Pour faire varier la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge, on réalise le montage ci-dessous sur Psim.



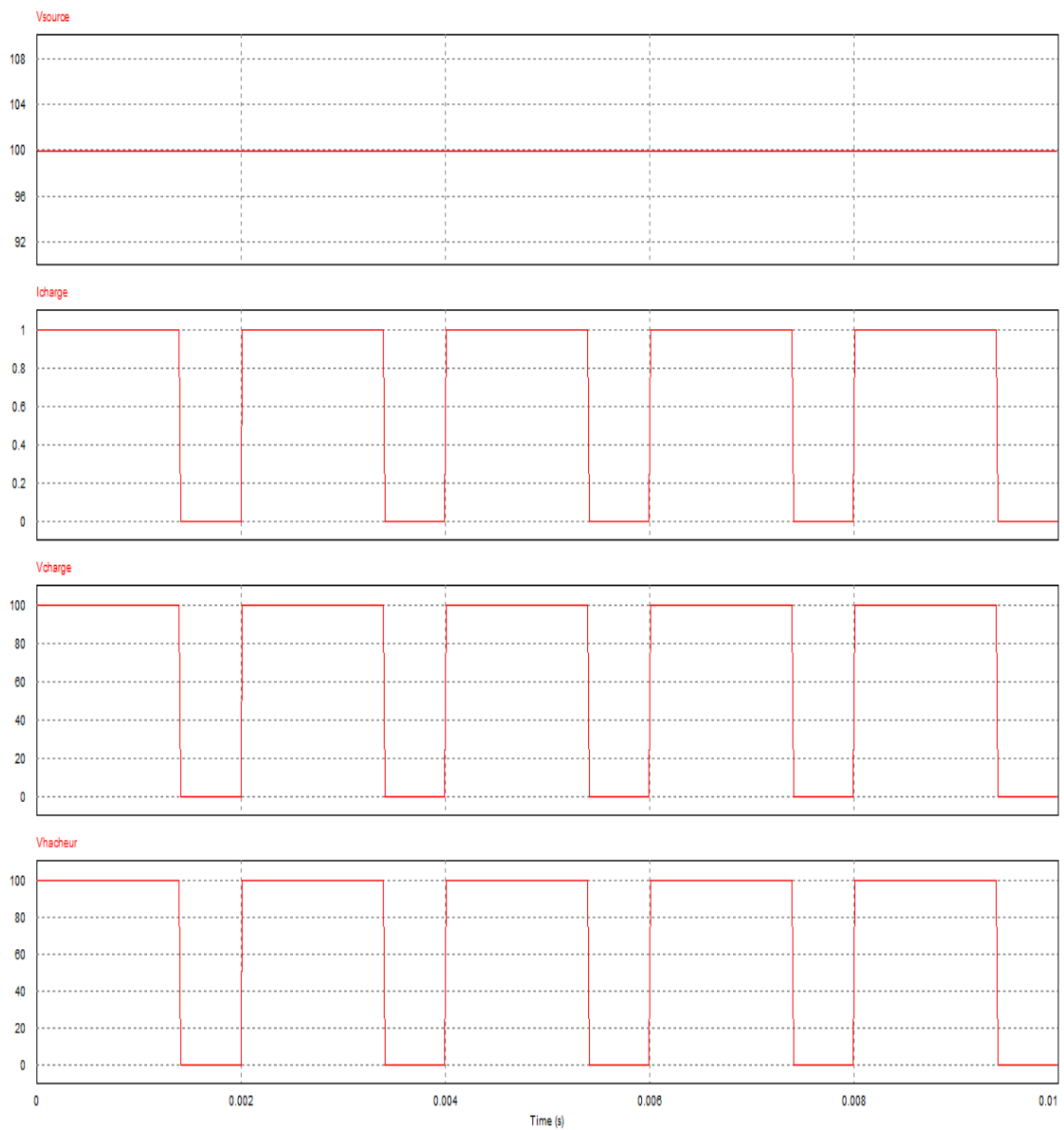
H a un fonctionnement périodique: il est commandé à la fermeture de 0 à αT et est bloqué de αT à T . $\{R\}$. La charge est une résistance de 100Ω . $U_{cc}=100V$.

Quand le signal de commande du générateur carré sera à l'état haut, l'interrupteur bidirectionnel $k1$ se ferme, par conséquent la diode se bloque, en raison de l'application d'un potentiel plus élevé à sa cathode. La commande des 2 interrupteurs est donc complémentaire

Il s'agit d'un hacheur série car l'interrupteur $K1$ est monté en série entre la source VDC et la charge.

3.2. Travail à effectuer

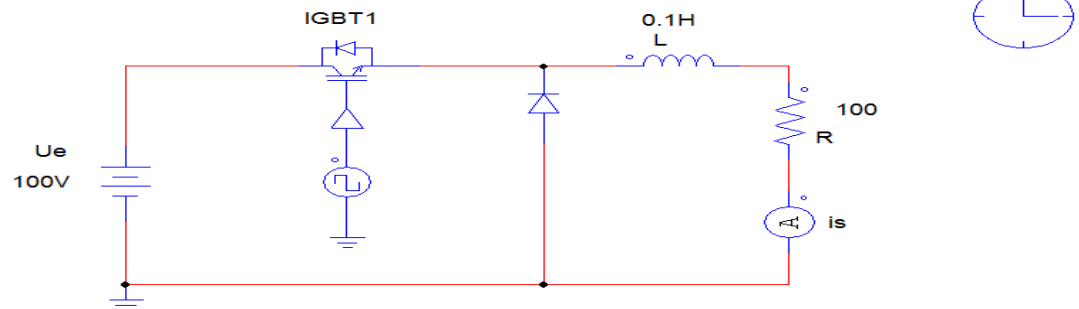
1. Relever les courbes $V_{ch}(t)$ et $i_{ch}(t)$, $i_D(t)$, pour 2 valeurs du rapport cyclique $\alpha(0.7$ et $0.5)$ en conduction continue pour $f=1500\text{Hz}$.
2. Préciser les intervalles de conduction.
3. Quelle est sa période?, sa fréquence ?
4. Calculer la valeur moyenne $\langle u_{ch} \rangle$ de u_{ch} .
5. Calculer la valeur efficace de u_{ch} .



3.3 Etude sur une charge inductive

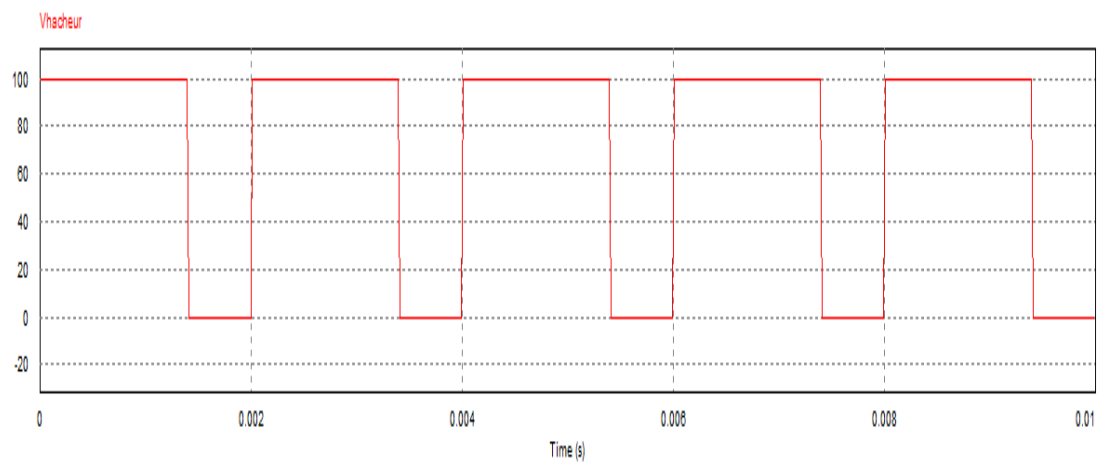
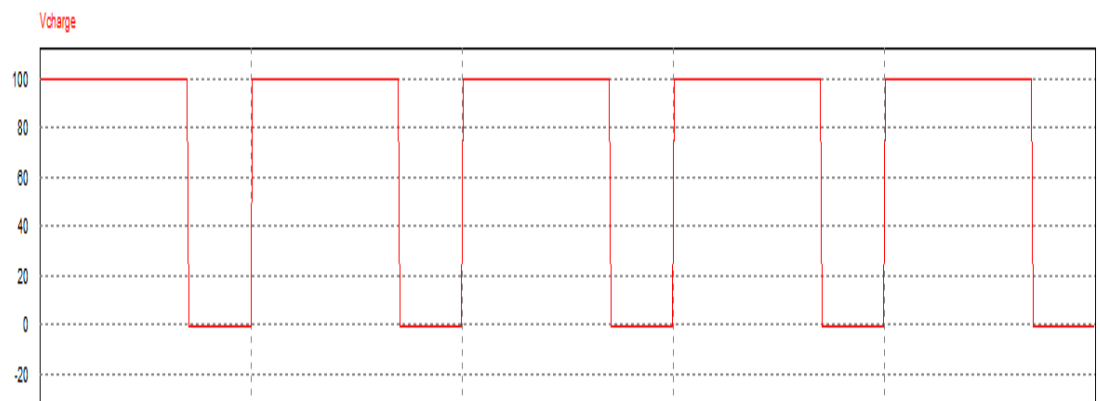
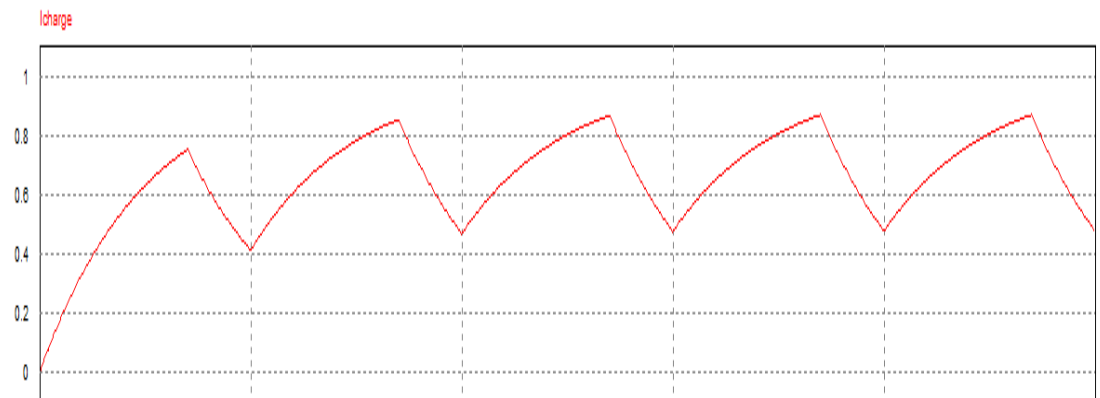
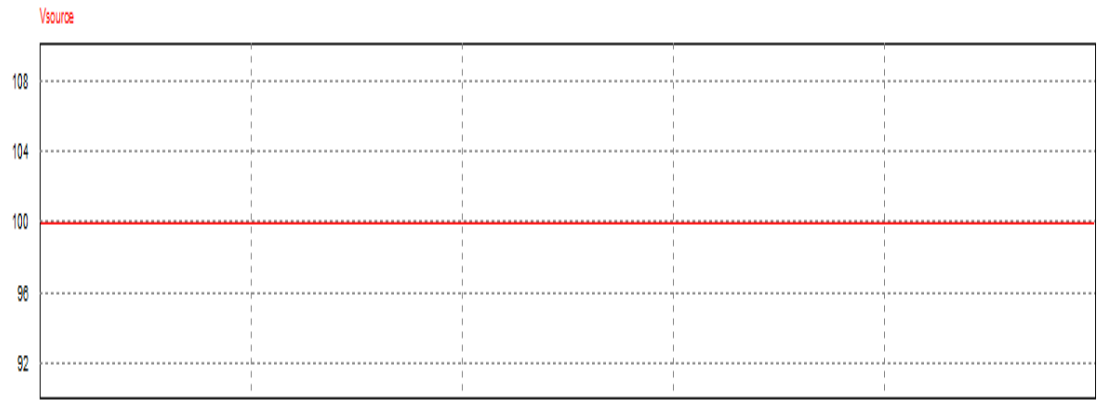
Lorsque l'on travaille sur charge inductive, le courant dans celle-ci ne peut subir de discontinuité: on doit donc ajouter une diode en parallèle sur la charge: on parle de diode de roue libre; elle assure la continuité du courant dans la charge.

b) Realiser le montage suivant:



3.4. Travail à effectuer

1. Relever les courbes $V_{ch}(t)$ et $i_{ch}(t)$, $i_D(t)$, pour 2 valeurs du rapport cyclique α (0.7 et 0.5) en conduction continue pour $f=1500\text{Hz}$.
2. Préciser les intervalles de conduction.
4. Quelle est sa période?, sa fréquence ?
5. Calculer la valeur moyenne $\langle u_{ch} \rangle$ de u_{ch} .
6. Calculer la valeur efficace de u_{ch} .
7. Conclusions.



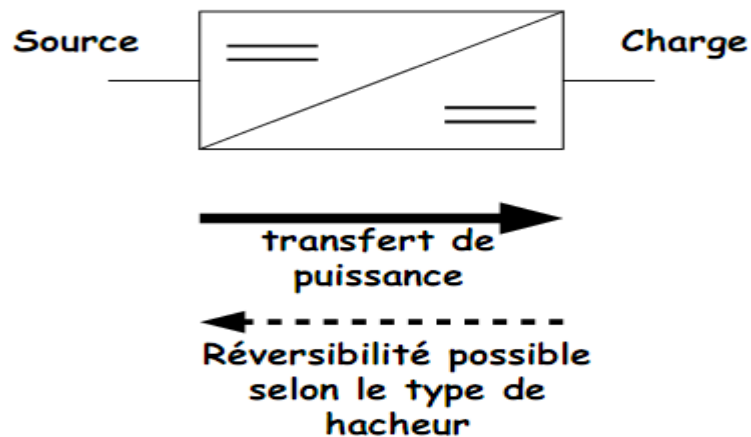
TP03 HACHEUR EN CONDUCTION CONTINUE

1. **Objectif:** IL s'agit essentiellement de relever et analyser les formes d'ondes et les caractéristiques d'un hacheur en conduction continue.

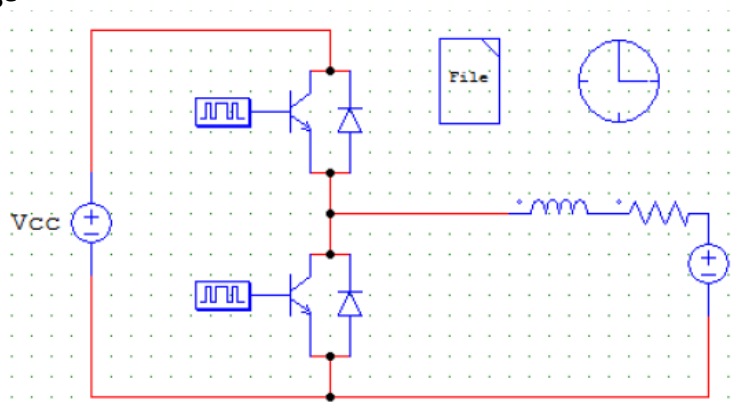
2. Qu'est-ce qu'un hacheur?

Un hacheur est un convertisseur statique qui permet de régler le transfert d'énergie entre une source électrique continue et une charge électrique continue.

Son symbole normalisé est :



3. Schéma du montage

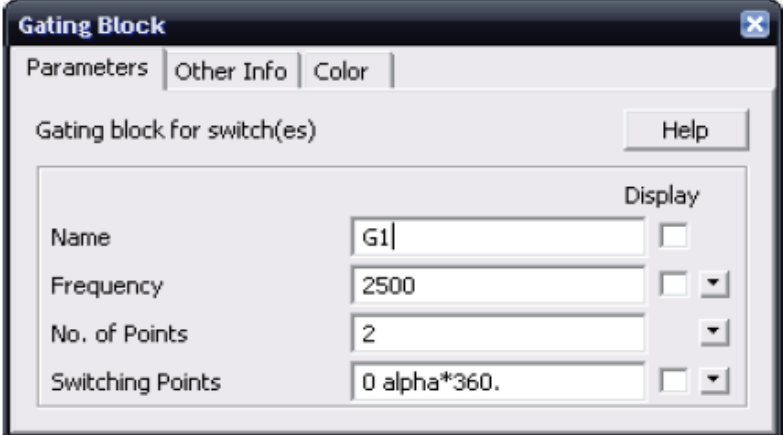


La charge R , L , E correspond au modèle équivalent du moteur.

On prendra: $R= 12 \Omega$, $L= 12\text{mH}$, $E=100\text{V}$, $V_{cc}=200\text{V}$, $\alpha=0.8$.

▪ Paramétrage :

Commande du transistor 1 :



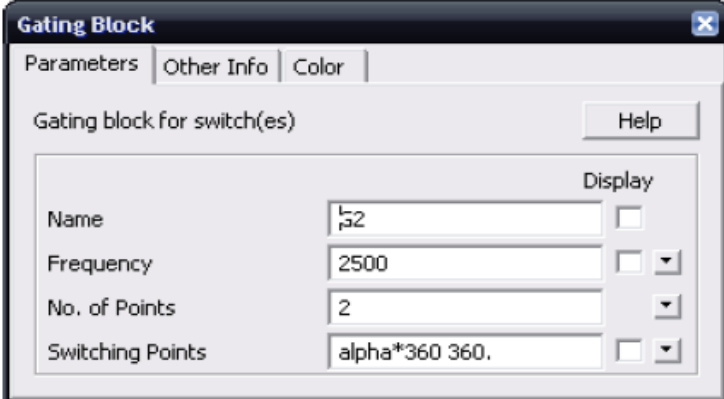
Gating Block

Parameters | Other Info | Color

Gating block for switch(es) Help

		Display
Name	G1	☐
Frequency	2500	☐ ▾
No. of Points	2	☐ ▾
Switching Points	0 alpha*360.	☐ ▾

Commande du transistor 2 :



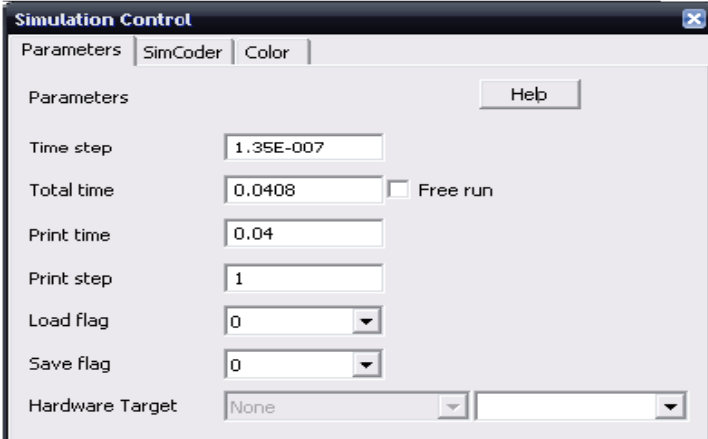
Gating Block

Parameters | Other Info | Color

Gating block for switch(es) Help

		Display
Name	G2	☐
Frequency	2500	☐ ▾
No. of Points	2	☐ ▾
Switching Points	alpha*360 360.	☐ ▾

Paramètres de simulation :

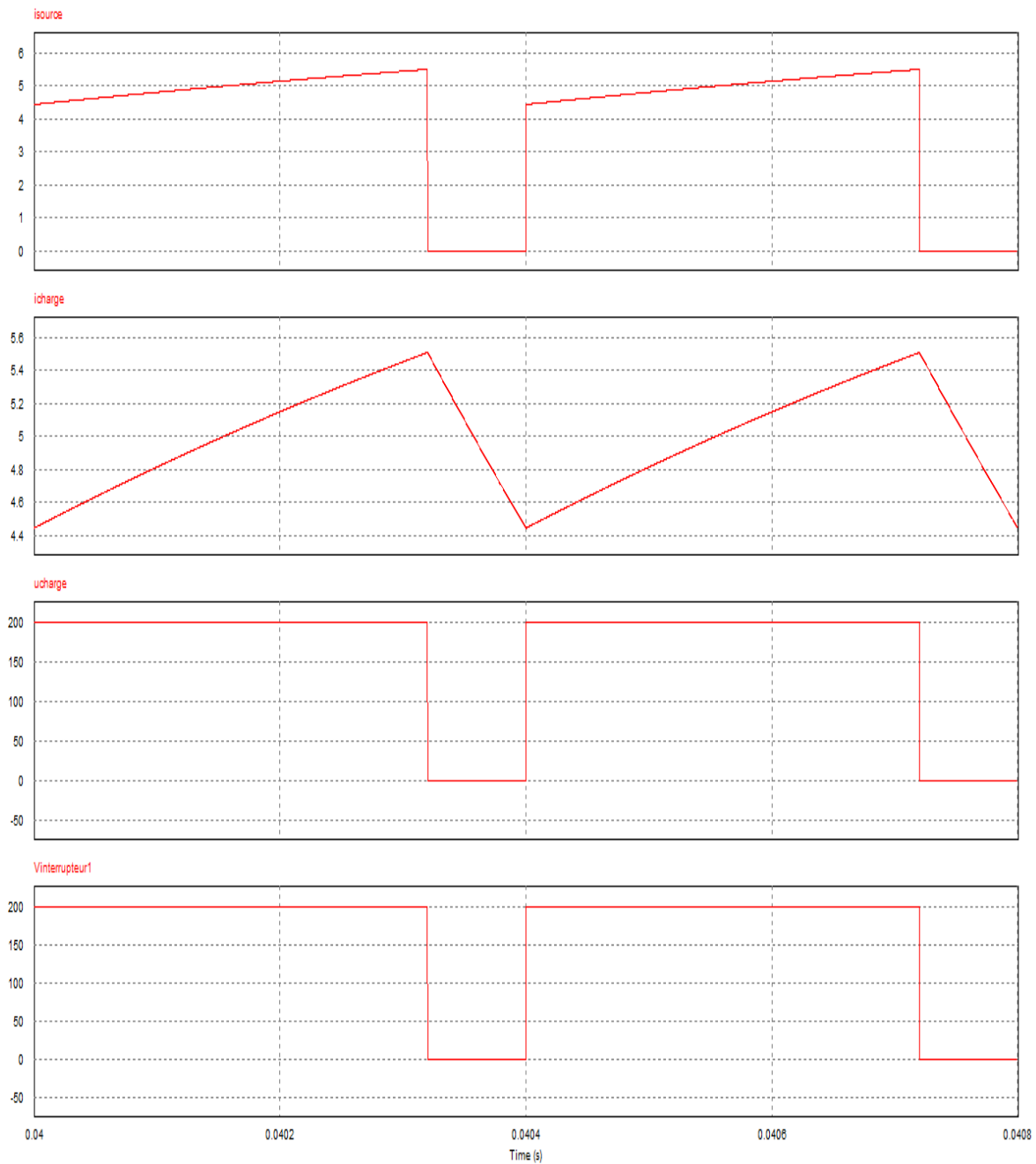


Simulation Control

Parameters | SimCoder | Color

Parameters Help

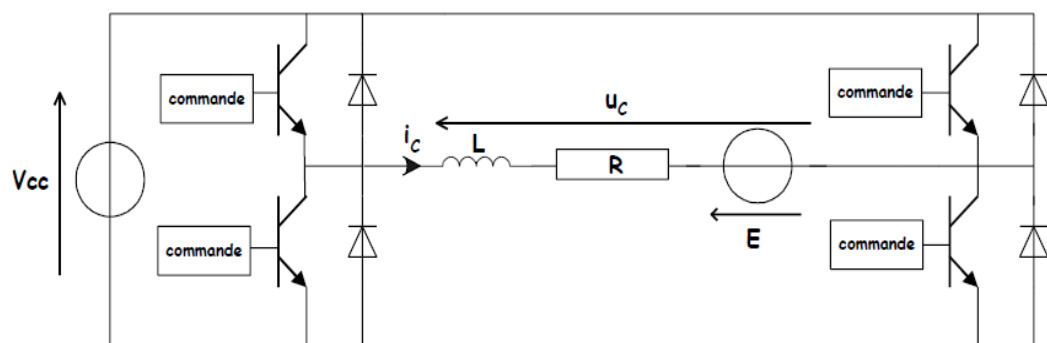
Time step	1.35E-007	
Total time	0.0408	☐ Free run
Print time	0.04	
Print step	1	
Load flag	0 ▾	
Save flag	0 ▾	
Hardware Target	None ▾	▾



Montage n° 2:

Garder les mêmes paramètres que pour le premier hacheur.

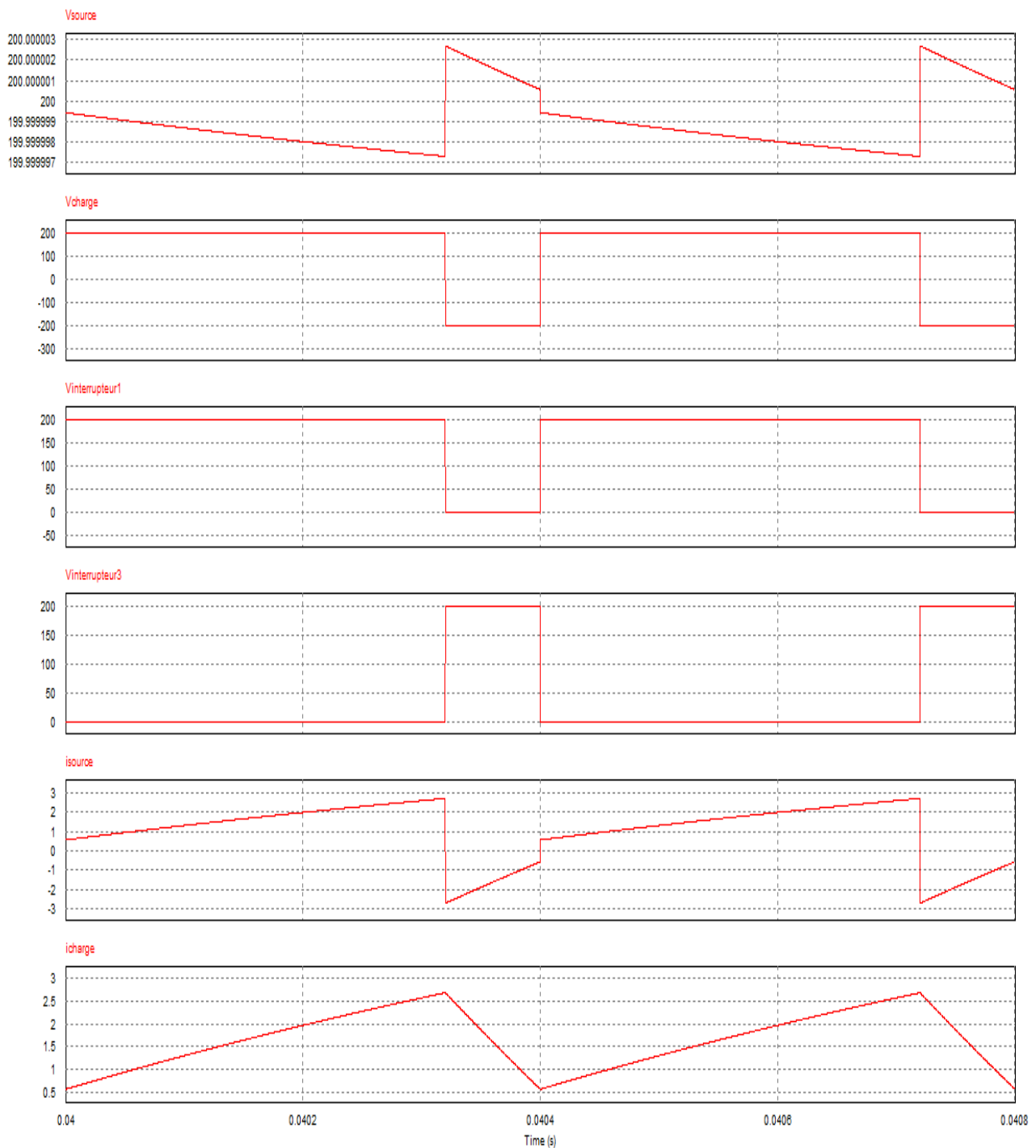
Pour T3 et T4, les paramètres sont les mêmes que pour respectivement T2 et T1.



Simuler sous PSIM ces 2 montages pour tracer à l'aide d'un tableur $u_c = f(\alpha)$ et $i_c = f(\alpha)$ pour chacun d'eux. Les tensions des interrupteurs.

Répondre aux questions suivantes pour chaque montage:

1. Ce hacheur est réversible ou non? Si oui, est-il réversible en courant, en tension ou en courant et tension?
2. Dans quel(s) quadrant(s) la machine à courant continu pourra-t-elle fonctionner avec ce hacheur?



TP04 ONDULEUR MONOPHASE

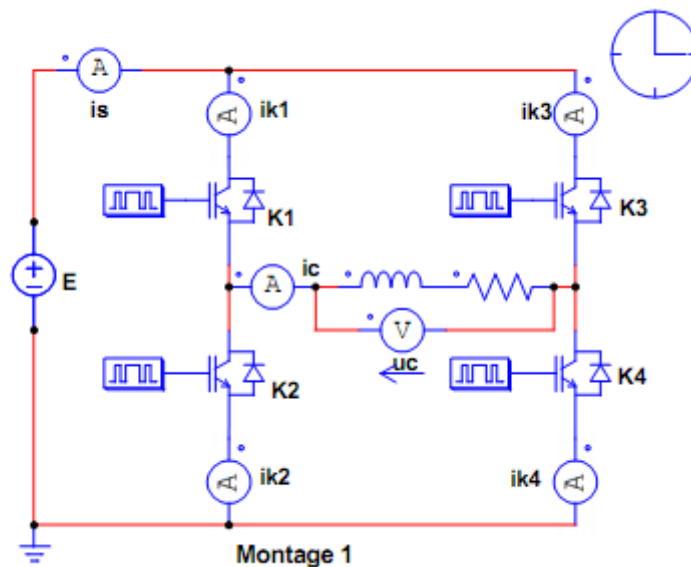
Objectif: comprendre le principe de fonctionnement de l'onduleur avec une charge résistive. Puis analyser son fonctionnement lorsque la charge est inductive.

Présentation : l'onduleur est un convertisseur statique (comme le transformateur ou le hacheur) assurant la conversion d'une tension continue en une tension alternative. On dit qu'il est autonome lorsque la fréquence de la tension de sortie est contrôlable.

Partie 01: Onduleur à commande symétrique

On appelle ce type de commande la commande simultanée, car les interrupteurs $k1$ et $k3$ sont commandés simultanément ; de même pour les interrupteurs $k2$ et $k4$. On l'appelle également commande symétrique car la tension de charge vaut $+E$ ou $-E$.

Réaliser le montage 1. L'onduleur alimente une charge RL , tel que: $R=33\Omega$ et $L=15mH$. La tension continue d'alimentation $E=30V$.



On ferme k_1 et k_4 simultanément de 0 à αT , puis k_2 et k_3 de αT à T . La fréquence de commande des interrupteurs est $f=50\text{Hz}$.

Dans les générateurs des impulsions effectuer les réglages suivants:

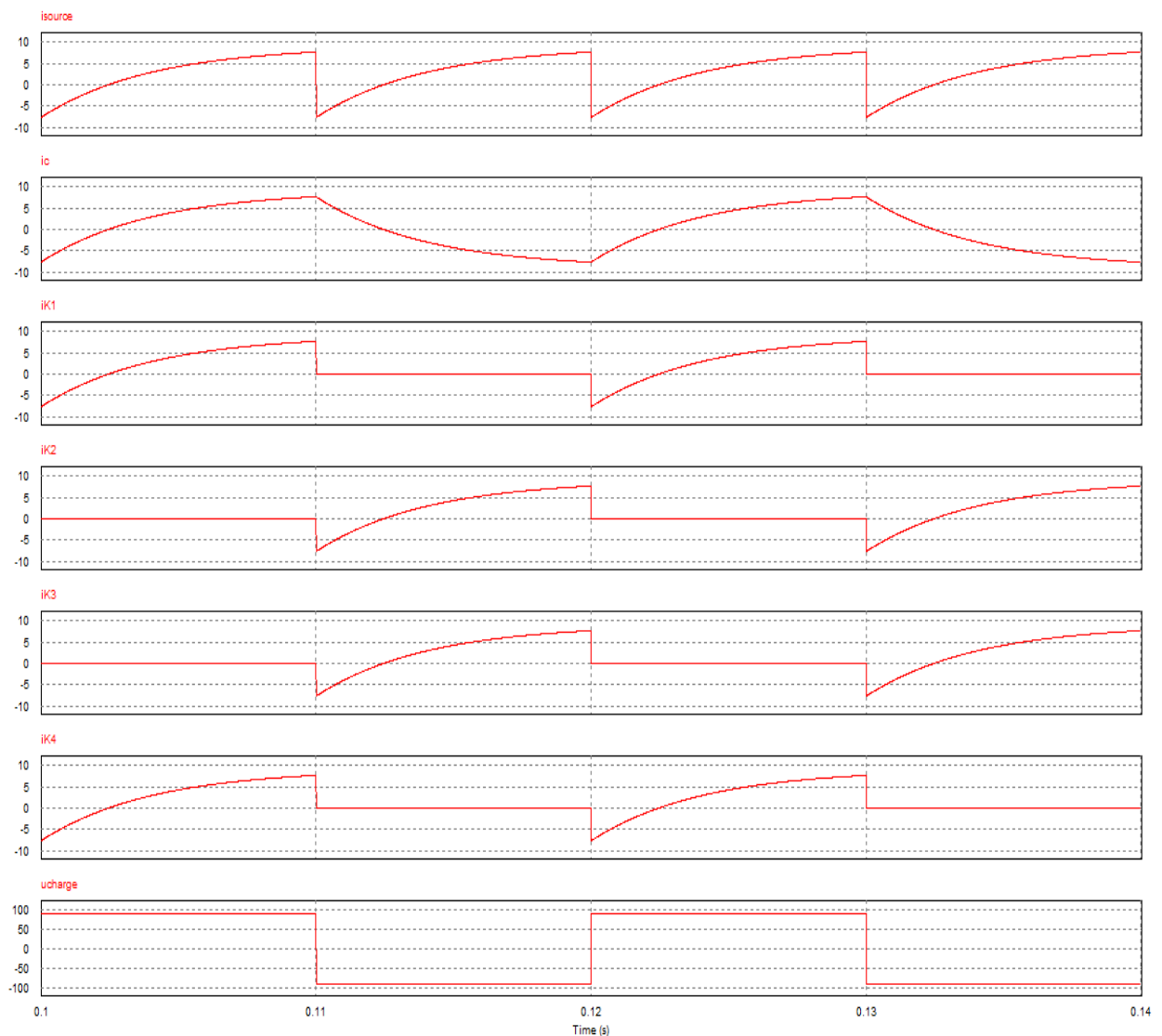
- K_1, K_4 : $f=100\text{Hz}$, switching points: 0 180 - K_2, K_3 : $f=100\text{Hz}$, switching points: 180 360

Chaque interrupteur est formé d'un transistor et d'une diode en parallèle, afin de permettre la visualisation du courant dans chaque semi-conducteur (flag=1).

1- Visualisez, dans quatre graphes séparés:

- La tension u_c aux bornes de la charge,
- Le courant i_c dans la charge,
- La tension v_{K1} aux bornes de l'interrupteur K_1 ,
- Le courant i_{K1} de l'interrupteur K_1 .

2- Déduire les états (Fermé ou Ouvert) de l'interrupteur K_1, K_2, K_3 et K_4 : vous les noterez sous les graphes. 3. Mesurez la valeur efficace de la tension v_c .



Partie 02: Commande décalée

Dans le même schéma précédent modifier:

- La commande de K1: 0 180
- La commande de K2: 180 360
- La commande de K3: $180+\alpha$ $\alpha+360$
- La commande de K4: α $\alpha+180$

On donne $\alpha=45^\circ$

1- Répondre les mêmes questions de la partie I.

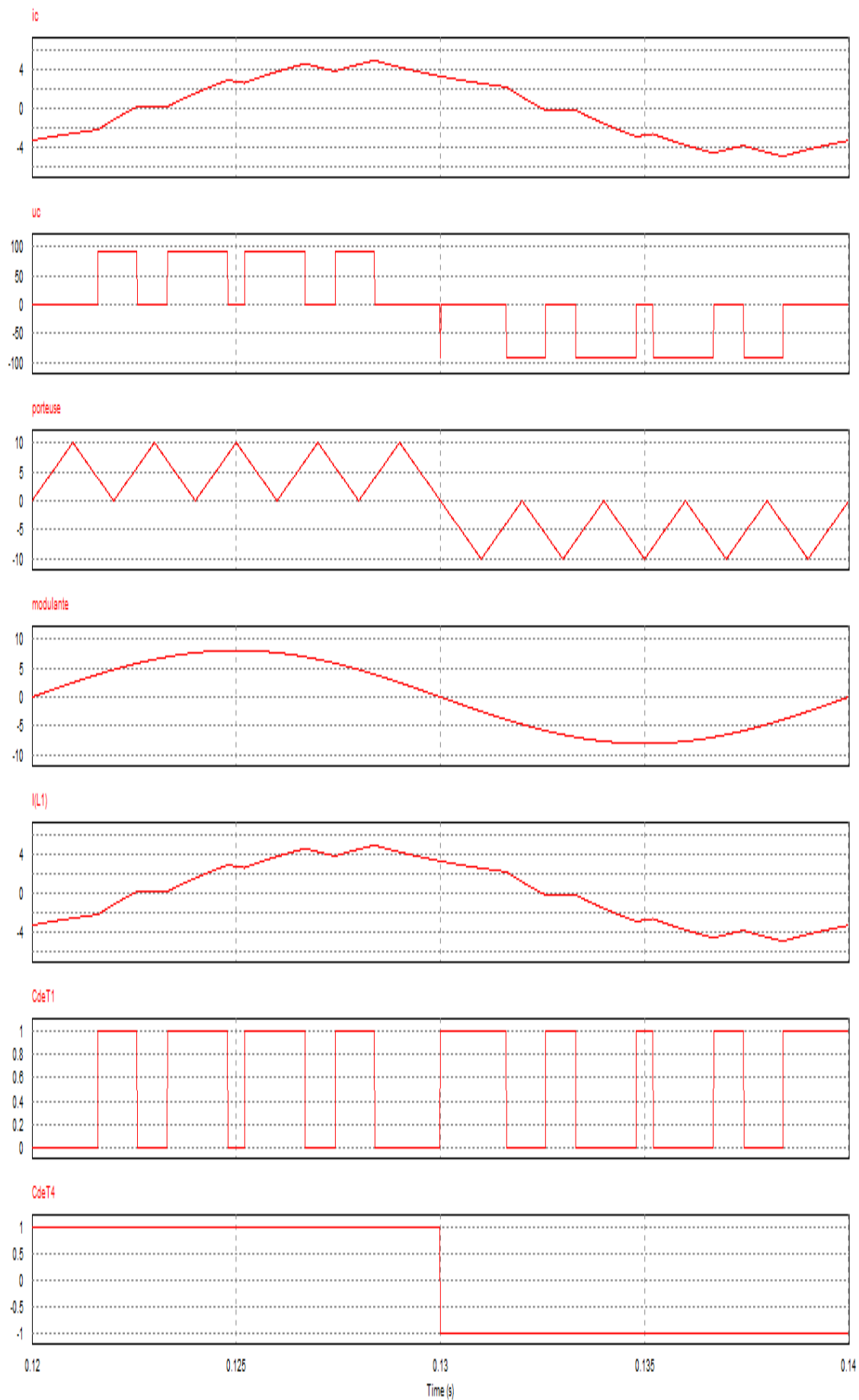
2- Mesurez, pour différentes valeurs de alpha ($\alpha=45^\circ$, 90° , 135°) la valeur efficace de la tension v_c .

3- Quel est l'intérêt de la commande décalée ?

4- Visualisez l'allure du courant débité par l'alimentation continues E. En déduire une propriété essentielle que doit posséder cette alimentation.

5. Pourquoi a-t-on rajouté des diodes en « ***anti-parallèle*** » sur les transistors?

Ces diodes sont appelées « ***diodes de récupérations*** ». Pourquoi ?



TP05 ONDULEUR TRIPHASE

Objectif: Relever et analyser les formes d'onde à la sortie d'un onduleur triphasé pour deux types de commande ; une commande à pleine onde et une commande MLI.

1. Commande MLI: Les signaux de commande des interrupteurs sont obtenus par comparaison d'un signal triangulaire de fréquence élevée (porteuse) et d'un signal sinusoïdal (modulante). La modulante définit la fréquence des grandeurs de sortie.
 $E=90V$, $R=10\Omega$, $L=40mH$, $f=50\text{ Hz}$,

$$m = \frac{\text{Amplitude modulante}}{\text{Amplitude porteuse}}$$

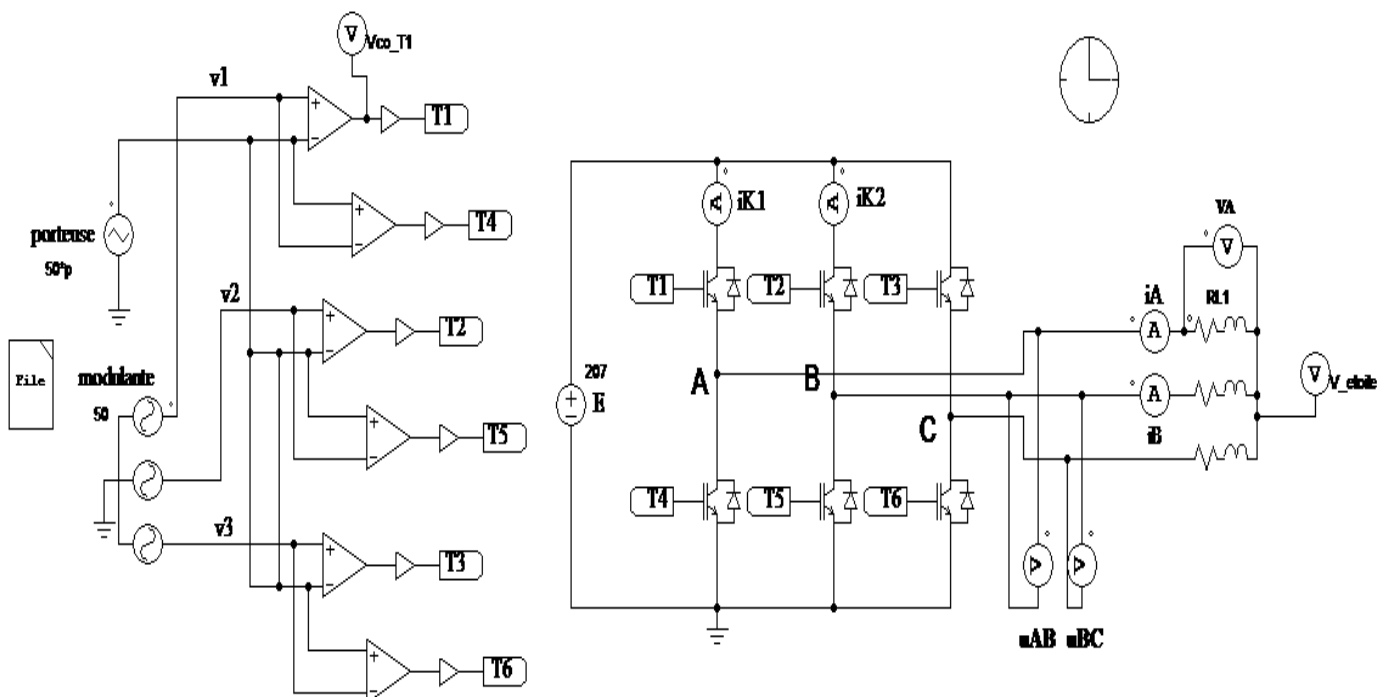
On définit deux paramètres :

$$p = \frac{\text{Fréquence porteuse}}{\text{Fréquence modulante}}$$

1.1. Manipulation1: Débit sur charge inductive RL

La sortie d'une source d'alimentation ne doit jamais être connectée directement au transistor ou autre semi-conducteur mais doit être connecté à travers un **On-Off Switch Controller**.

Schéma et modèle PSIM proposé

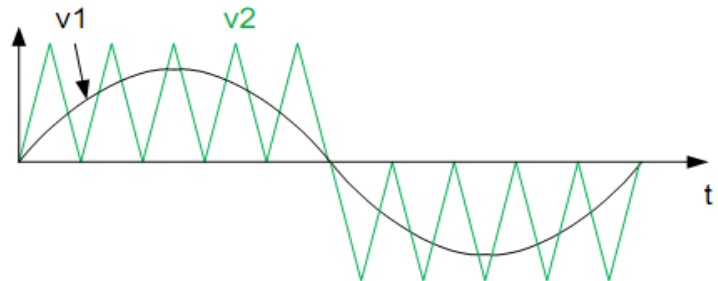


ENONCE-PREPARATION

La modulante v_1 et la porteuse ont l'allure suivante:

La commande des interrupteurs est complémentaire:

- si $v_1 > v_2$ T1 est fermé,
- si $v_2 > v_1$ T2 est fermé,
- si $v_1 > 0$ T4 est fermé,
- si $v_1 < 0$ T3 est fermé,



Sur le fichier file, on affecte les valeurs numériques à $m=0.8$ et $p=6$.

Si la modulante est une tension sinusoïdale de valeur maximale, $V_{max}=12.247*m$ et de fréquence $f=50\text{Hz}$, alors la porteuse est :

Triangular-wave voltage source		Help
Name	porteuse	☐ v
V_peak_to_peak	$440*\sqrt{2}/m$	☐ v
Frequency	$50*p$	☐ v
Duty Cycle	0.5	☐ v
DC Offset	$-220*\sqrt{2}/m$	☐ v
Tstart	0	☐ v
Phase Delay	0	☐ v

En variant les valeurs de m , et/ou p , on peut modifier la largeur du signal à la sortie du comparateur.

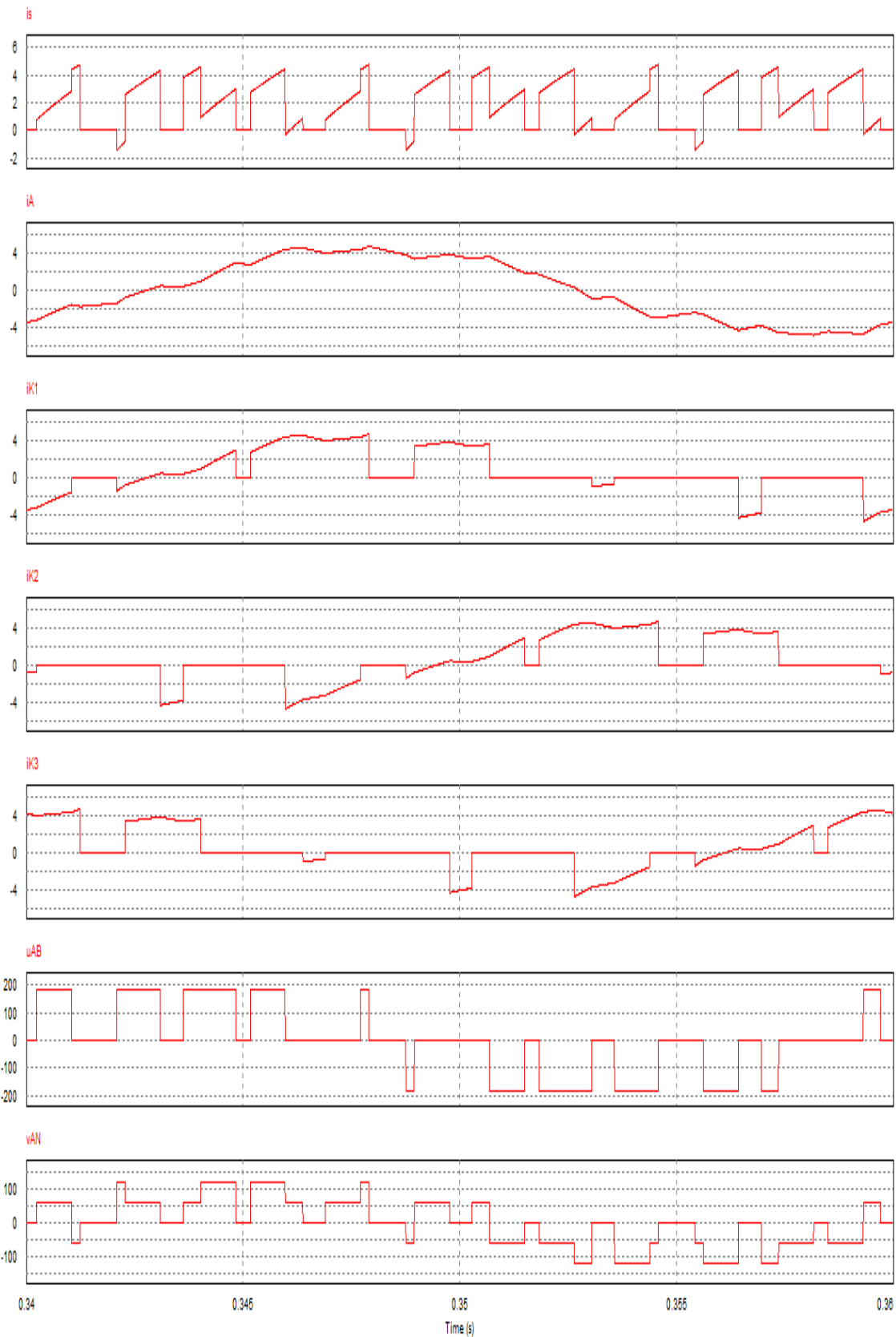
1. afficher dans quatre fenêtres distinctes et dans l'ordre : u_{AB} ; i_A ; u_{BC} ; i_B .

2. Expliquer alors les relations entre les signaux suivants :

a. entre u_{AB} et u_{BC} (forme, fréquence de l'onde fondamentale, de découpage, déphasage...).

b. entre u_{AB} et i_A selon la nature de la charge (forme, fréquence de l'onde fondamentale, de découpage, déphasage...).

On retrouve dans le schéma à gauche les mots « porteuse » et « modulante ». Expliquer ce qu'ils signifient pour les signaux que vous obtenez dans la question précédente.



2. Commande pleine onde:

Chaque interrupteur est formé d'un transistor et d'une diode en parallèle, afin de permettre la visualisation du courant dans chaque semi-conducteur (flag=1).

Chaque interrupteur K_i et K'_i , $i=1, \dots, 3$, est fermé pendant $T/2$.

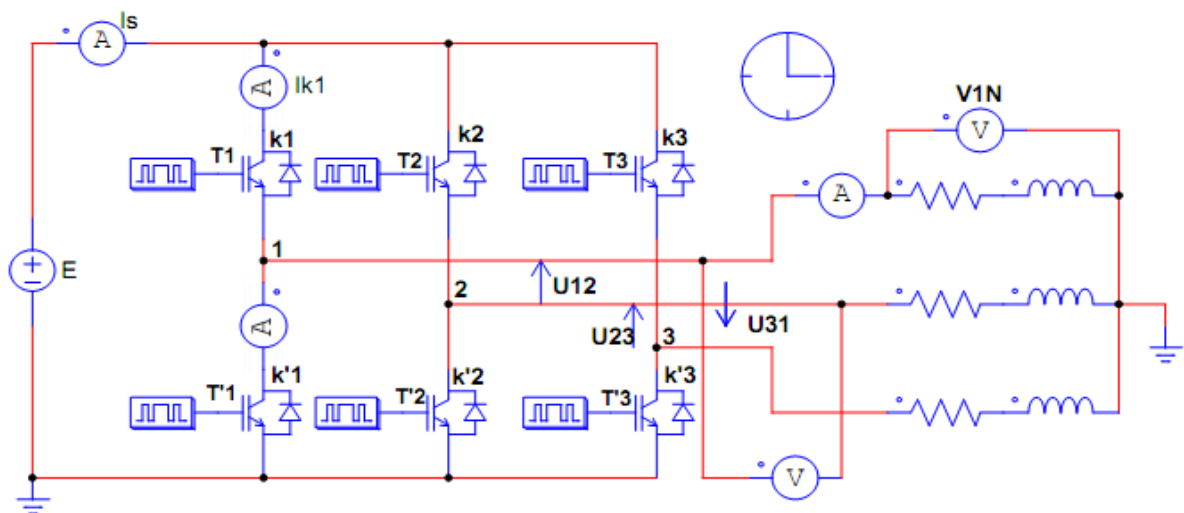
2. 1.Manipulation 2 : Débit sur charge inductive

Réaliser le montage ci-dessous. L'onduleur alimente une charge triphasée équilibrée inductive couplée en étoile. On donne $E=180V$, $R=10\Omega$, et $L=40mH$.

période d'échantillonnage : $10^{-5}s$,

durée de simulation : 40 ms ,

visualisation : à partir de 20 ms.



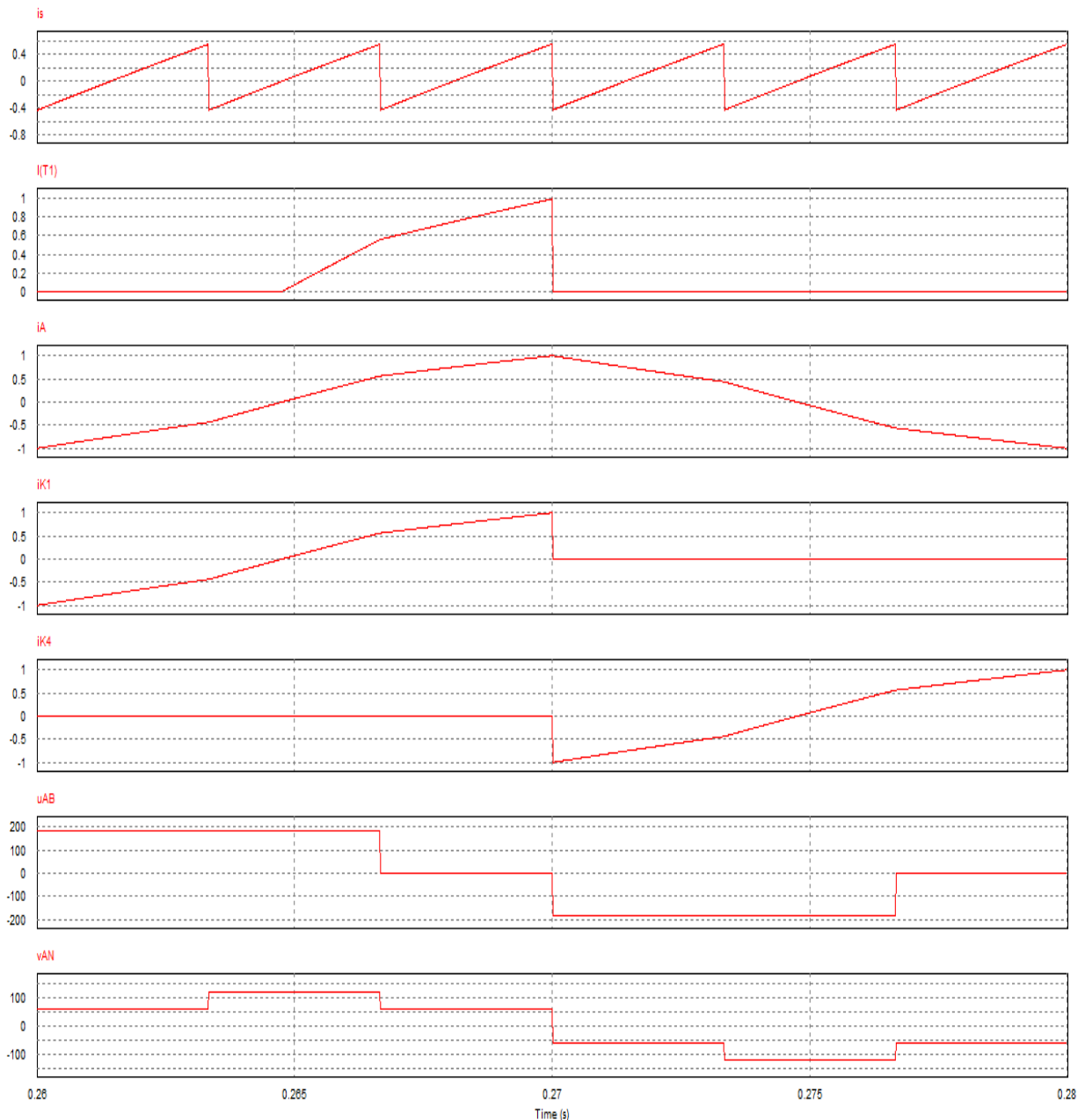
La commande des transistors est effectuée par les modules de commande gating bloc:

Avec un double clic sur ce module, on ajuste la fréquence à 50Hz, 2 points de commutation, la séquence de commande des transistors:

T1 0°-180°	T2 120°-300°	T3 240°-420°
T'1 180°-360°	T'2. 300°-400°	T'3 60°-240°

2.2.Travail à effectuer

1. Préciser la séquence de commande des interrupteurs.
2. Relever les formes d'ondes des tensions composées, $U_{12}(t)$, $U_{23}(t)$, $U_{31}(t)$.
Etablir l'expression de U_{cheff} , en fonction de E .
- 3.Représenter les tensions simples V_{1N} , V_{2N} , V_{3N} . Etablir l'expression de V_{cheff} , en fonction de E .
4. Donner l'expression du courant de ligne $i_l(t)$.
- 5.Calculer la puissance P_c reçue par la charge.
- 6 .Exprimer i_{Ti} , et i_{Di} en fonction de i_{ki} et du signe de i_{ki} .



Liens utiles:

Pour télécharger PSIM démo:

<http://www.powersys.fr/>

<http://www.powersimtech.com/download.html>