

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Ahmed zabana Relizane

Faculté des Sciences et Technologies

Département de l'électrotechnique et automatique

TRAVAUX PRATIQUES
D'ELECTRONIQUE DE PUISSANCE

Dr. Mahmoud Mostefa Tounsi

Table des matières

Recommandations relatives à la rédaction des comptes rendus	1
TP01 : Redresseur monophasé non contrôlé (à diode).....	3
TP02 : Redresseur monophasé commandé (à thyristor).....	8
TP03 : Les hacheurs (hacheur série).....	10
TP04 : Onduleur de tension.....	14

Recommandations relatives à la rédaction des comptes rendus

Travail de préparation

Les travaux pratiques d'électrotechnique doivent être considérés avec sérieux et attention. Dans ce but le travail de préparation, avant la séance de TP, est essentiel. Il permet de se préparer, avant les manipulations, afin de garantir un bon déroulement des activités prévues, permet de récolter et d'utiliser les informations pour ne pas être handicapé lorsqu'il faut interpréter un résultat. Chaque étudiant devra donc impérativement prendre connaissance du complément théorique et du document concernant le TP à réaliser, puis utiliser la documentation disponible (cours d'électrotechnique, ouvrage spécialisés, sites internet, etc...) afin de répondre aux questions de préparation. Un document comportant les réponses aux questions proposées pour le TP considéré, les tableaux de mesures nécessaires aux différents relevés, devra être obligatoirement montré par les membres du binôme en début de séance à l'enseignant (qui l'emportera), ce dernier sera pris en compte dans l'évaluation finale du TP.

Compte-Rendu

- Il sera remis au début de la séance suivante, à l'enseignant ayant encadré le TP.
- Aucun retard ne sera toléré, tout retard non justifié entraînera une pénalité sur la note du compte-rendu.
- Le compte-rendu sera rédigé sur feuilles A4 et sera restreint à 4 - 10 pages, les graphiques étant inclus.
- Le compte-rendu comportera impérativement les rubriques suivantes :

➤ **une page de garde** : sur laquelle sera mentionné :

- le titre de la manipulation,
- la date de la séance du TP,
- la section d'appartenance et le numéro du binôme (ou du trinôme),
- le nom et prénom du rédacteur principal,
- les noms et prénoms des participants au TP.

➤ **une introduction**

Elle doit être personnelle et présenter brièvement de manière claire tous les objectifs du TP ainsi que le contexte expérimental, sans recopier le fascicule.

➤ **un document de préparation**

Il devra comporter toutes les réponses aux questions proposées pour le TP considéré, ainsi que les tableaux de mesures relatifs aux différentes manipulations. Les réponses devront être brèves et tendant à l'essentiel. Il est inutile de recopier intégralement la partie théorique fournie dans le fascicule.

➤ **Manipulation**

Pour chaque manipulation, il sera nécessaire de rappeler les schémas de montage, les démarches et méthodologies suivies, les hypothèses, ainsi que les principales équations utilisées dans le cadre du TP.

➤ **Résultats et exploitation**

Les résultats seront présentés dans des tableaux, les procédures de calcul utilisées pour vos applications numériques devront être présentées brièvement. Les résultats obtenus seront discutés clairement, en essayant de rechercher leur sens physique et de voir si les valeurs mesurées ou calculées sont cohérentes. Un résultat inattendu n'est pas forcément un mauvais résultat, surtout s'il est reproductible. Les commentaires doivent être scientifiquement pertinents. Lorsque l'on compare un résultat de mesure à un résultat de calcul, la différence ne s'appelle pas une erreur mais un *écart*. Une estimation des erreurs de mesures sera systématiquement accomplie et leurs conséquences sur les grandeurs calculées discutées.

➤ **Les graphes et courbes caractéristiques**

Ils seront traités par un tableur ou un logiciel adéquat pour les tracer (Excel ou autres), ou sur feuille de papier millimétré. Ne pas oublier de préciser les noms et les unités des grandeurs représentées sur les axes et les échelles. Lorsque plusieurs courbes sont tracées sur une même figure, donner une légende claire pour chacune d'elles (par des couleurs par exemple). Sous chaque figure, indiquer explicitement sa légende complète ainsi que son numéro par ordre d'apparition dans le compte-rendu.

➤ **Conclusion générale**

Il s'agit de discuter les objectifs préalablement fixés, ont-ils été atteints ou pas, et commenter la qualité ces résultats. Elle devra comporter une conclusion par manipulation et une récapitulée l'ensemble des résultats obtenus.

Introduction :**Outil de simulation utilisé : PSIM****Généralités**

Il existe de nombreux logiciels de simulation électrique. Certains sont conçus tout particulièrement pour les de circuits d'électronique de puissance. Le logiciel mis à votre disposition, PSIM, fait partie de cette dernière catégorie.

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.

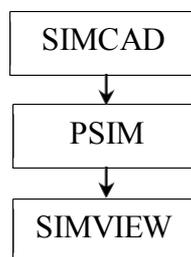


Figure 1 : Représentation du système simulé.

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.

La figure 2 représente le système d'électronique de puissance simulé tel qu'il est considéré par le simulateur. Les informations de contrôle des interrupteurs de puissance issues du circuit de commande sont transmises au circuit de puissance par l'intermédiaire de blocs d'interface ou de contrôle d'interrupteurs. Les informations sur les grandeurs du circuit de puissance, courants, tensions, vitesses, couples,..., sont transmises au circuit de commande par l'intermédiaire de capteurs.

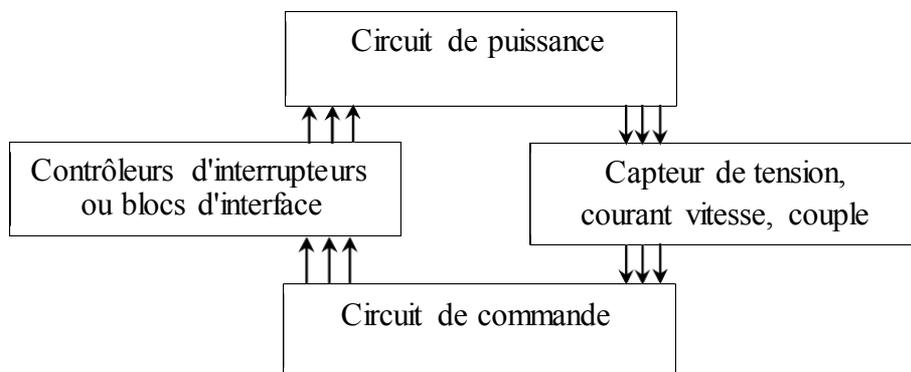


Figure 2 : Représentation du système simulé

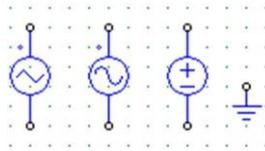
Description du système à simuler

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.

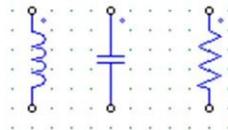


Voici quelques éléments parmi les plus fréquemment employés :

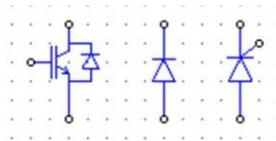
- Sources de tension, triangulaire, sinusoïdale et continue :



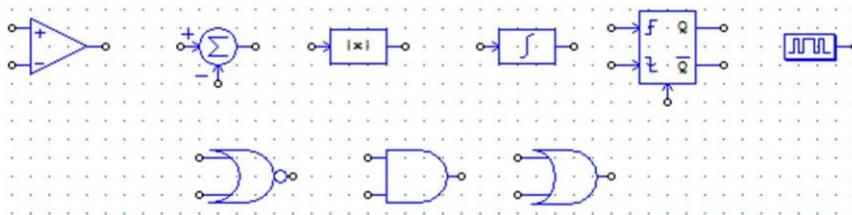
- Éléments passifs, inductance, condensateur et résistance.



- Interrupteur, IGBT, diode, thyristor.



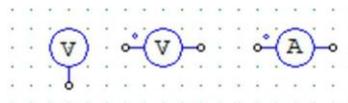
- Éléments propres au circuit de commande, comparateur, additionneur- soustracteur, intégrateur, monostable, éléments logiques,...



- Capteurs pour l'interfaçage du circuit de puissance vers le circuit de commande



- Sondes de tension et de courant pour rendre les résultats de simulation accessibles dans le logiciel d'affichage SIMVIEW



- Paramètres de simulation, pas de calcul et longueur de la simulation



I. But du TP : Le but de ce TP est de :

- 1- 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- La prise en compte des différences de caractéristiques du redressement monophasé, selon le type de charge.

II. Précautions d'emploi :

Vous devez impérativement avant d'exécuter une simulation réaliser les points suivants :

- ✓ Construire le schéma électrique du circuit de commande (lorsqu'il existe),
- ✓ Définir les valeurs des paramètres des éléments du circuit de commande,
- ✓ Etablir le schéma électrique du circuit de puissance,
- ✓ Définir les valeurs des paramètres des éléments du circuit de puissance,
- ✓ Placer les sondes de mesures -courant, tension-, afin de pouvoir accéder sous SIMVIEW, aux résultats de simulation souhaités,
- ✓ Définir les paramètres de simulation.

On utilisera, sauf indication contraire, comme paramètres de simulation :

- ✓ Time Step: 1.10^{-4} seconde.
- ✓ Total Time: 0.1 seconde.

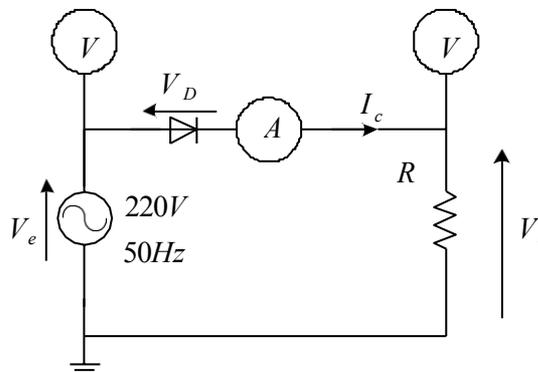
III. Applications :

Pour l'ensemble des montages ci-dessous, vous devez :

- ✓ De manière théorique :
 - Représenter l'allure du courant et de la tension dans la charge,
 - Calculer l'expression analytique de :
 - La valeur moyenne du courant et de la tension dans la charge,
 - La valeur efficace du courant et de la tension dans la charge,
- ✓ Avec PSIM sur le même graphique:
 - Tracer la tension d'entrée et la tension de la charge.
 - Tracer le courant d'entrée, le courant dans la charge.
 - Donner l'expression calculée par le logiciel de la valeur moyenne de la tension et du courant dans la charge.

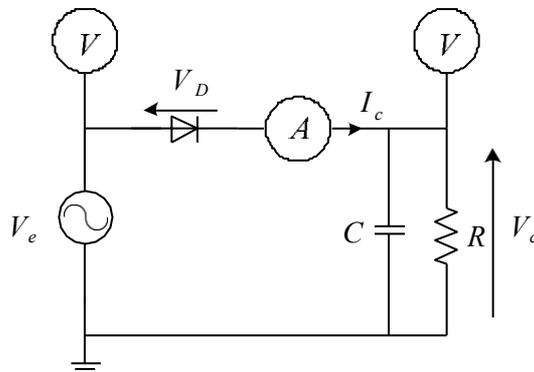
A- Redressement mono-alternance :

1- Charge résistive :



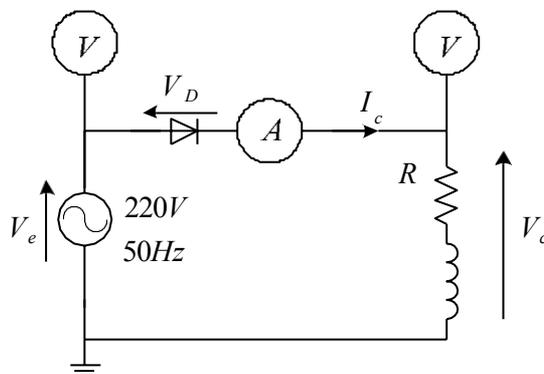
$R=100\Omega, 50\Omega, 10\Omega.$

2- Charge capacitif :



$C = 1\mu\text{F}, 10\mu\text{F}, 50\mu\text{F}, 100\mu\text{F}$, et R fixé à 100Ω

3- Filtrage inductif :



$L = 1\text{mH}, 10\text{mH}, 50\text{mH}, 100\text{mH}$, et R fixé à 100Ω

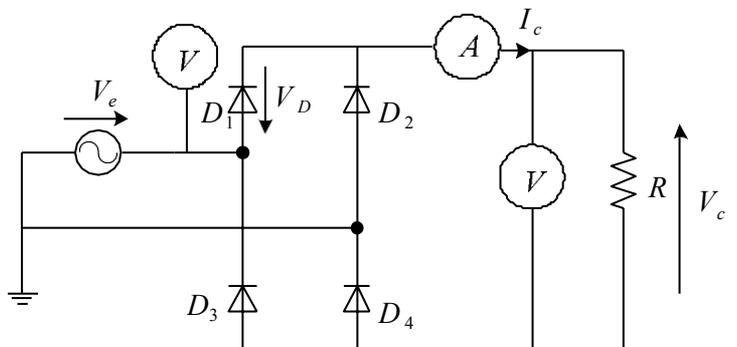
4- Conclusion sur le redressement mono-alternance :

Expliquer les graphiques obtenus lorsque l'on fait varier l'impédance de R ou celle du condensateur ou de l'inductance.

Voyez-vous certaines similitudes entre le redressement mono-alternance sur charge capacitive et sur charge inductive? Si oui lesquelles?

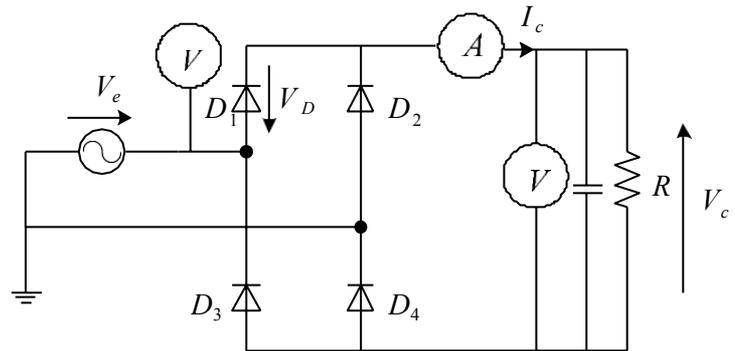
B - Redressement double-alternance :

1- Charge résistive :



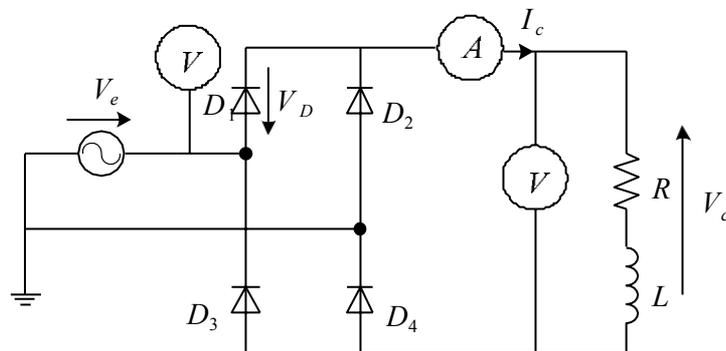
$R=100\Omega, 50\Omega, 10\Omega$.

2 - Filtrage capacitif :



$C= 1\mu\text{F}, 10\mu\text{F}, 50\mu\text{F}, 100\mu\text{F}$, et R fixé à 100Ω

3- Filtrage inductif :



$L= 1\text{mH}, 10\text{mH}, 50\text{mH}, 100\text{mH}$, et R fixé à 100Ω

4- Conclusion dur le redressement double-alternance :

Expliquer les graphiques obtenus lorsque l'on fait varier l'impédance de R ou celle du condensateur ou de l'inductance.

Voyez-vous certaines similitudes entre le redressement double-alternance sur charge capacitive et sur charge inductive? Si oui lesquelles?

Au vu des différents fonctionnements analysés dans ce T.P. énoncez les avantages et inconvénients des redressements mono et double alternance.

Est-il possible avec les montages ou l'un des montages proposés de fabriquer une tension négative? Justifiez votre réponse.

I. But du TP :

Le but de ce TP est de déterminer les performances d'un redresseur monophasé simple et double alternance à **thyristor** commandé avec une charge résistive et inductive.

II. Partie Théorique

Pour l'ensemble des montages ci-dessous, vous devez :

- Représenter l'allure du courant et de la tension dans la charge, la tension inverse au borne du thyristor.
- Calculer l'expression analytique de :
 -
 - La valeur moyenne du courant et de la tension dans la charge,
 - La valeur efficace du courant et de la tension dans la charge,

III. Partie pratique

Redressement commandé mono-alternance :

1- Charge résistive :

Effectuer le montage électrique représenté sur le schéma de la figure (1).

- Réguler les paramètres de simulation comme suite :

- ✓ Time Step: $1 \cdot 10^{-4}$ seconde.
- ✓ Total Time: 0.1 seconde.

- On donne : $V_m=220V, f=50Hz$, avec: ($V_s = V_m \sin(\omega t)$, $\omega = 2\pi f$), $R=100\Omega$

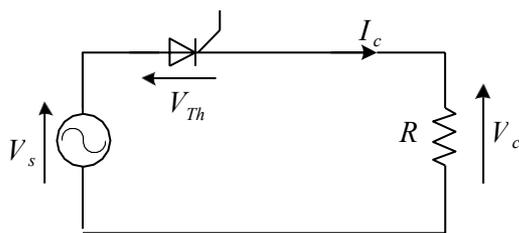


Figure (1)

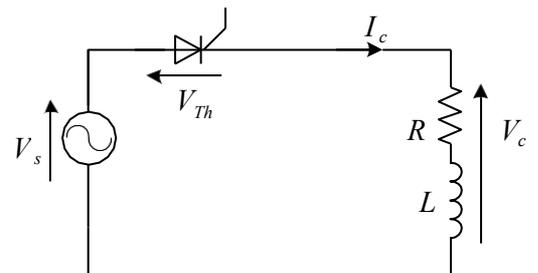


Figure (2)

- Tracer la forme d'onde de la tension de la source V_s , la tension redressée V_c , la tension inverse au borne du thyristor V_{Th} , et le courant I_c pour $\alpha = 0, 30^\circ$, et 60° , (α est l'angle d'amorçage du thyristor).
- Distinguer les différents modes de conduction dans la charge (continue et discontinue).
- Tracer la variation de la valeur moyenne et la valeur efficace de la tension aux bornes de la charge (V_c) en fonction de l'angle d'amorçage α .

α (degré)	0	30°	60°	90°	110°	150°	180°
V_{cmoy}							
V_{ceff}							

2- Charge inductive :

Effectuer le montage électrique représenté sur le schéma de la figure (2), avec : $L=1H$.

- Refaire le même travail pour charge résistive.

Redressement double-alternance à thyristor :

1. Charge résistive :

Effectuer le montage électrique représenté sur le schéma de la figure (1) (utiliser les mêmes paramètres précédents).

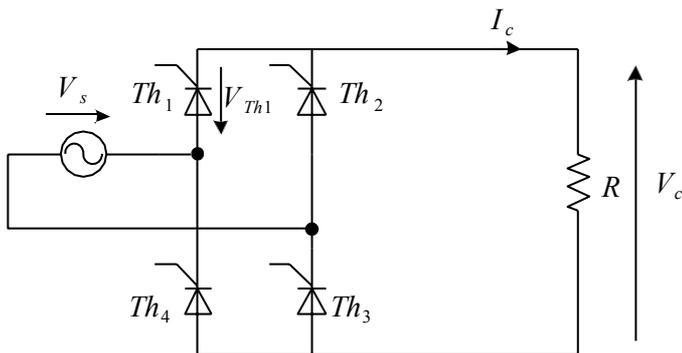


Figure (3)

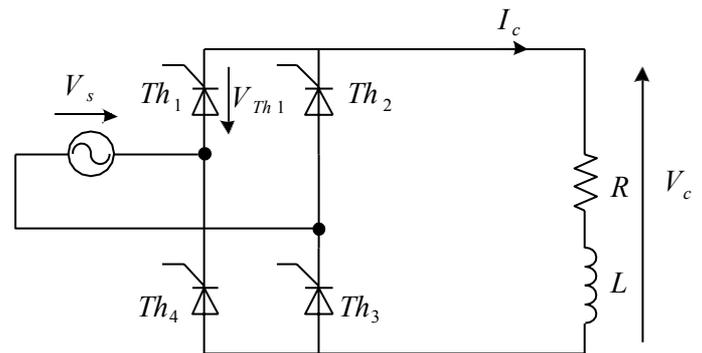


Figure (4)

- Tracer la forme d'onde de la tension de la source V_s , la tension redressée V_c , la tension inverse au borne du thyristor V_{Th} , et le courant I_c pour $\alpha = 60^\circ, 90^\circ$, et 120° , (α est l'angle d'amorçage du thyristor).
- Distinguer les différents modes de conduction dans la charge (continue et discontinue).
- Tracer la variation de la valeur moyenne et la valeur efficace de la tension aux bornes de la charge (V_c) en fonction de l'angle d'amorçage α .

α (degré)	0	30°	60°	90°	110°	150°	180°
V_{cmoy}							
V_{ceff}							

2. Charge inductive :

Effectuer le montage électrique représenté sur le schéma de la figure (4), avec : $L=1H$.

Refaire le même travail pour charge résistive.

- Si l'angle $\alpha > 90^\circ$, Que remarquez-vous? Que pouvons-nous appeler ce convertisseur dans ce cas ? Justifiez votre réponse.

En fin donner une conclusion générale.

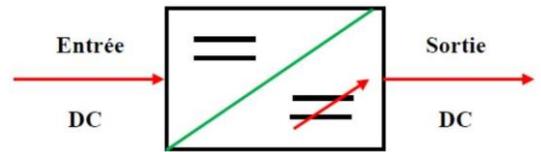
But du TP :

Le but de ce TP est de déterminer les performances d'un hacheur série avec une charge résistive et inductive.

I. Partie théorique

Définition : L'hacheur est un dispositif permettant d'obtenir une tension continue de valeur moyenne réglable à partir d'une source de tension continue fixe (batterie d'accumulateurs ou bien pont redresseur - alimenté par le réseau de distribution).

Un hacheur peut être réalisé à l'aide des interrupteurs électroniques commandables à la fermeture et à l'ouverture telle que les transistors bipolaires ou IGBT ou les thyristors GTO.



Exemple d'application : le hacheur permet de faire varier et de régler la vitesse des moteurs à courant continu.

Principe de fonctionnement : Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source- charge à l'aide d'un interrupteur électronique.

Le rapport cyclique α : Le rapport cyclique est défini comme le temps t_F pendant lequel l'interrupteur est fermé divisé par la période de fonctionnement du montage T , ($\alpha = \frac{t_F}{T}$).

La valeur de rapport cyclique : $0 \leq \alpha \leq 1$.

Le hacheur série (buck):

Débit sur une charge résistive :

Soit le montage suivant :

H : Interrupteur unidirectionnel parfait

Analyse de fonctionnement

- $0 \leq t \leq \alpha T$: H est fermé

$V_H = 0$

$V_s = U$

$i_s = \frac{U}{R}$

$i_e = i_s$

- $\alpha T \leq t \leq T$: H est ouvert

$V_H = U$

$V_s = 0$

$i_s = 0$

$i_e = i_s = 0$

Valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge :

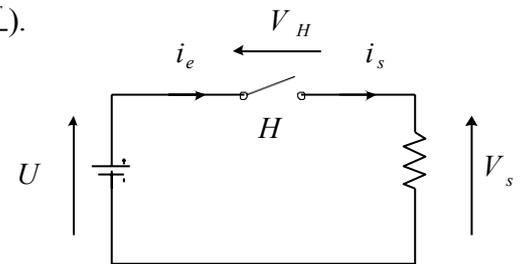
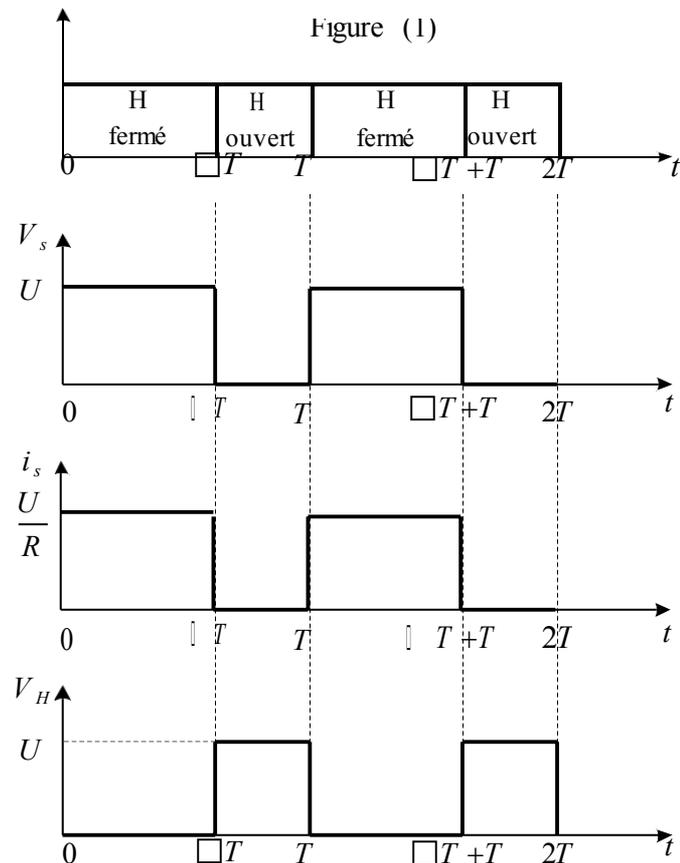


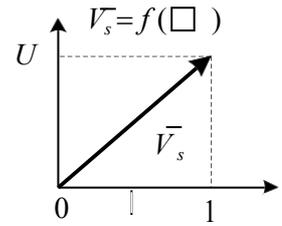
Figure (1)



$$\bar{V}_s = \frac{1}{T} \int_0^T V_s(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T 0 dt$$

$$\bar{V}_s = \alpha U$$

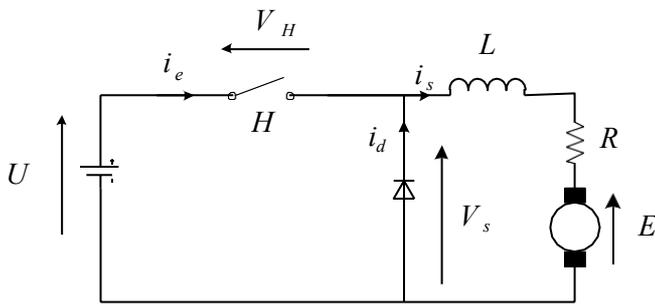
La valeur moyenne de la tension \bar{V}_s peut être ajustée en jouant sur la valeur du rapport cyclique α . Quand on fait varier α de 0 à 1, \bar{V}_s varie linéairement de 0 à U .



Valeur moyenne du courant :

$$i_s = \frac{\bar{V}_s}{R} = \frac{\alpha U}{R}$$

Débit sur une charge active R, L, E :



Analyse du fonctionnement :

- $0 \leq t \leq \alpha T$: H est fermé

$$V_H = 0$$

$$V_s = U$$

$$i_e = i_s$$

$$i_d = 0$$

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

$$U = E + Ri_s + L \frac{di_s}{dt} \quad (1)$$

- $\alpha T \leq t \leq T$: H est ouvert

Le courant imposé par la bobine pourra passer par la diode de roue libre. Donc la diode assure la continuité du courant dans la charge.

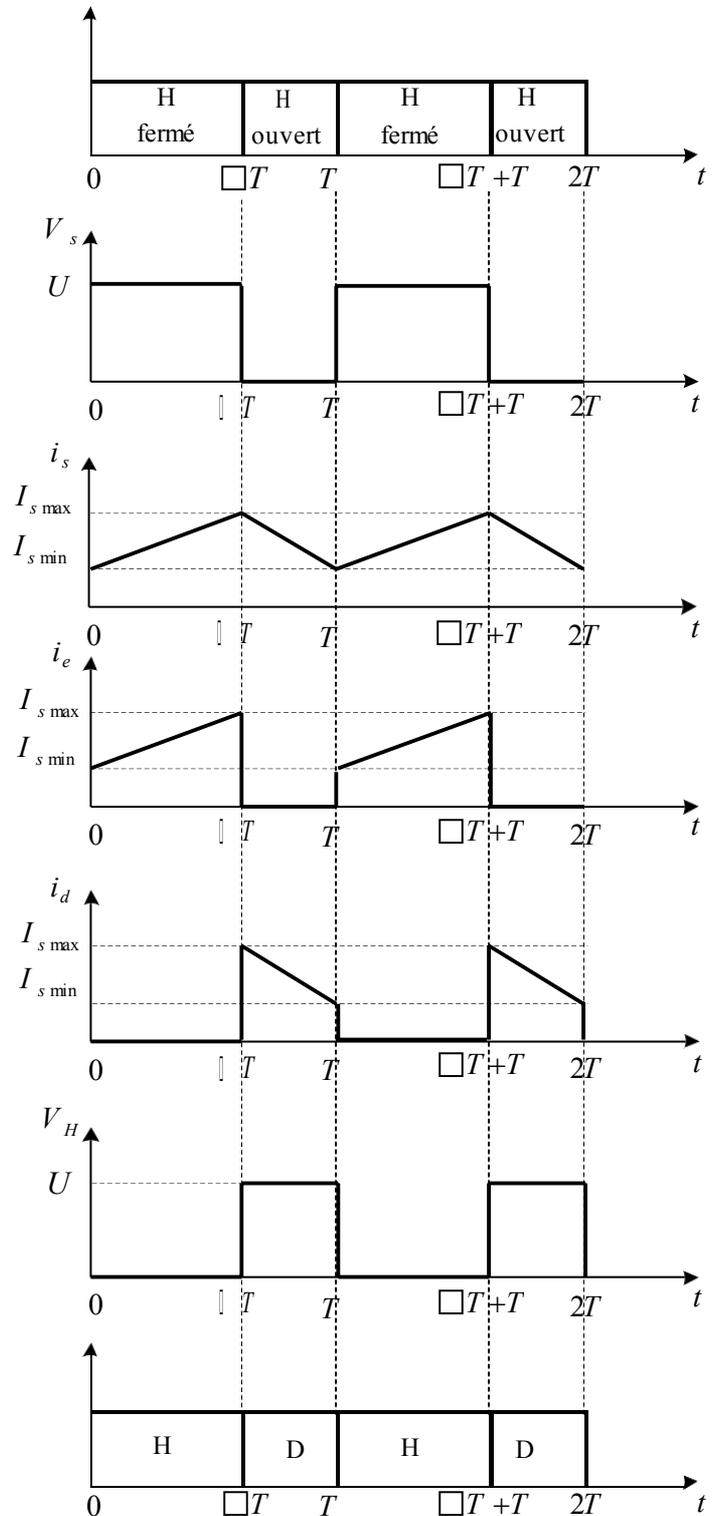
$$V_H = U$$

$$V_s = 0$$

$$i_e = 0$$

$$i_d = i_s$$

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



$$0 = E + Ri_s + L \frac{di_s}{dt} \quad (2)$$

En général les résistances de l'induit et l'inductance sont très faibles, donc on suppose que la chute de tension Ri_s est nulle.

- L'équation (1) devient : $U = E + L \frac{di_s}{dt}$ donc le courant est donné par l'équation suivante :

$$i_s(t) = \left(\frac{U - E}{L} t \right) + i_{s \min}$$

- L'équation (1) devient : $0 = E + L \frac{di_s}{dt}$ donc le courant est donné par l'équation suivante :

$$i_s(t) = - \frac{E}{L} (t - \square T) + i_{s \max}$$

La valeur moyenne de la tension est donnée par : $\bar{V}_s = \square U$

La valeur moyenne du courant est donnée par : $I_s = \frac{\square U - E}{R} = \frac{i_{s \max} + i_{s \min}}{2}$

Ondulation du courant dans la charge :

$$\Delta i_s = i_{s \max} - i_{s \min} = \frac{\square T (1 - \square) U}{L}$$

L'ondulation Δi_s est maximale pour $\frac{d \Delta i_s}{dt} = 0 \Rightarrow \square = 0.5 \Rightarrow \Delta i_{s \max} = \frac{UT}{4L}$

II. Partie simulation

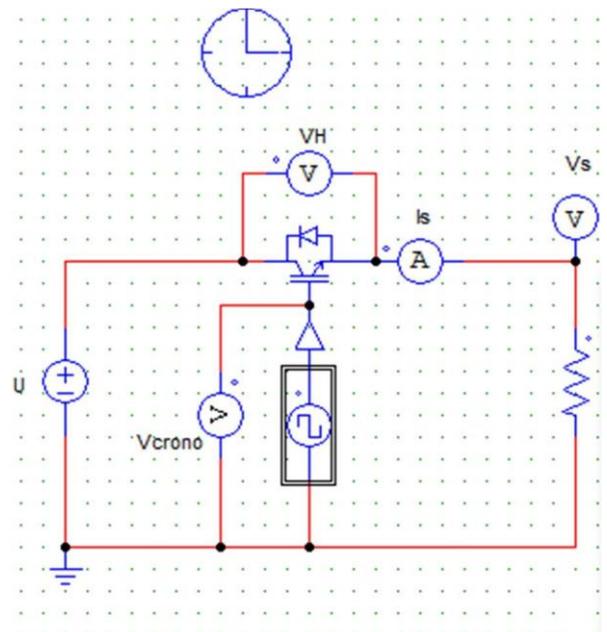
1- Avec charge résistive

Réaliser le schéma de la figure suivante :

Effectuer les réglages suivants:

- Générateur d'entrée: $U=48 V$.
- Résistance: $R=100\Omega$.
- Synchro: $f=1 kHz$ et $\alpha=0.5$.
- Step time = $10\mu s$, Total time = $0.06s$.

- 1- Tracer le signal de commande et les formes d'onde des tensions V_s , V_H , et le courant de sortie i_s dans l'intervalle de $0.05s$ à $0.06s$.
- 2- Calculer la valeur moyenne de la tension V_s et le courant i_s .
- 3- Remplir le tableau suivant et tracer la caractéristique $V_s=f(\alpha)$.
- 4- Comparer ces résultats avec les valeurs théoriques.

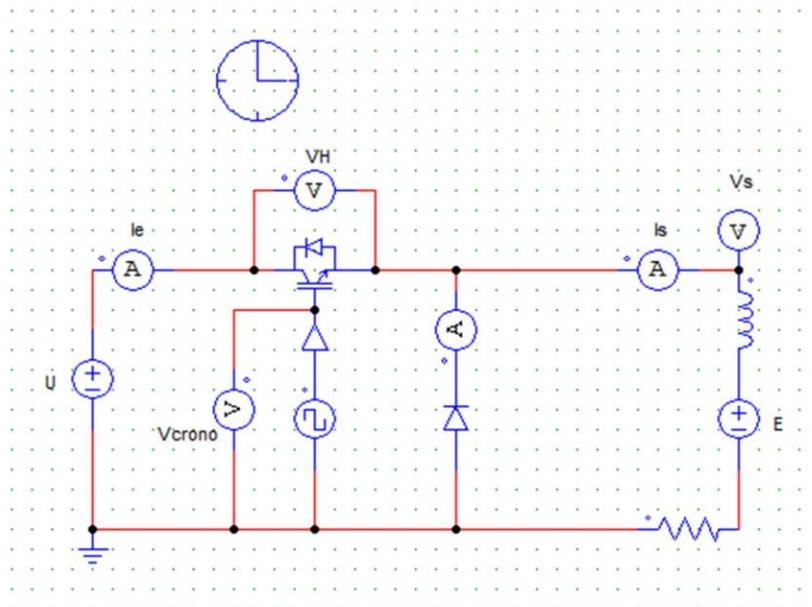


α	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1
\bar{V}_s								

2- Avec charge active R, L, E

Réaliser le schéma de la figure suivante et Effectuer les réglages suivants :

- Générateur d'entrée: $U=48\text{ V}$.
- Générateur de sortie: $E=4.8\text{ V}$.
- Résistance: $R=0.5\Omega$.
- Inductance : $L=0.001\text{H}$.
- Step time = $10\mu\text{s}$, Total time= 0.06s .



- 1- Tracer le signal de commande et les formes d'onde des tensions V_s , V_H , et des courants i_s , i_e et i_d dans l'intervalle de 0.05s à 0.06s.
- 2- Calculer la valeur moyenne de la tension V_s et le courant i_s .
- 3- Calculer l'ondulation du courant Δi_s en utilisant la relation $i_{s\max} - i_{s\min}$.
- 4- Remplir le tableau suivant et tracer la caractéristique $V_s=f(\alpha)$ et $\Delta i_s=f(\alpha)$ (□)

α	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1
\bar{V}_s								
Δi_s								

5- Comparer ces résultats avec les valeurs théoriques.

Interprétez vos résultats et donnez une conclusion générale.

Objectifs de TP:

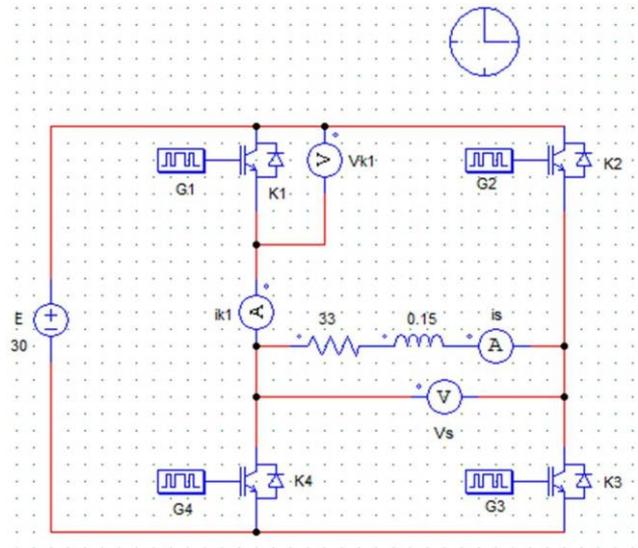
- réalisé, avec un logiciel de simulation, des montages onduleurs à quatre interrupteurs;
- relever les oscillogrammes de divers tensions et courants dans ces montages.

I. Onduleur à commande symétrique

Dessinez dans *Psim* le schéma de simulation suivant.

Effectuer le réglage suivant :

- Base de Temps: *pas (step time)* = $10^{-5}s$, *durée (total time)* = $0.05s$.
- Dans les générateurs des impulsions effectuer les réglages suivants:
-
- G1, G3 : $f=100\text{Hz}$, switching points: 0 180
- G2, G4 : $f=100\text{Hz}$, switching points: 180 360



1- Visualisez, dans quatre graphes séparés:

- la tension v_s aux bornes de la charge,
- le courant i_s dans la charge,
- la tension v_{K1} aux bornes de l'interrupteur K1,
- et le courant i_{K1} de l'interrupteur K1.

- 1- Déduire les états (Fermé ou Ouvert) de l'interrupteur K1, K2, K3 et K4: vous les noterez sous les graphes.
- 2- Déduire les états (Fermé ou Ouvert) des diodes et des transistors : vous les noterez sous les graphes.
- 3- Mesurez la valeur efficace de la tension v_s .

II. Onduleur à commande décalée

➤ Dans le même schéma précédent modifier :

- La commande de G1 : 0 180
- La commande de G4 : 180 360
- La commande de G2 : $180+\alpha$ $\alpha+360$
- La commande de G3 : α $\alpha+180$

On donne $\alpha=45^\circ$

- 1- Répondre les mêmes questions de la partie I.
- 2- Mesurez, pour différentes valeurs de alpha ($\alpha=45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$) la valeur efficace de la tension v_s .
- 3- Quel est l'intérêt de la commande décalée ?
- 4- Visualisez l'allure du courant débité par l'alimentation continue E. En déduire une propriété essentielle que doit posséder cette alimentation.