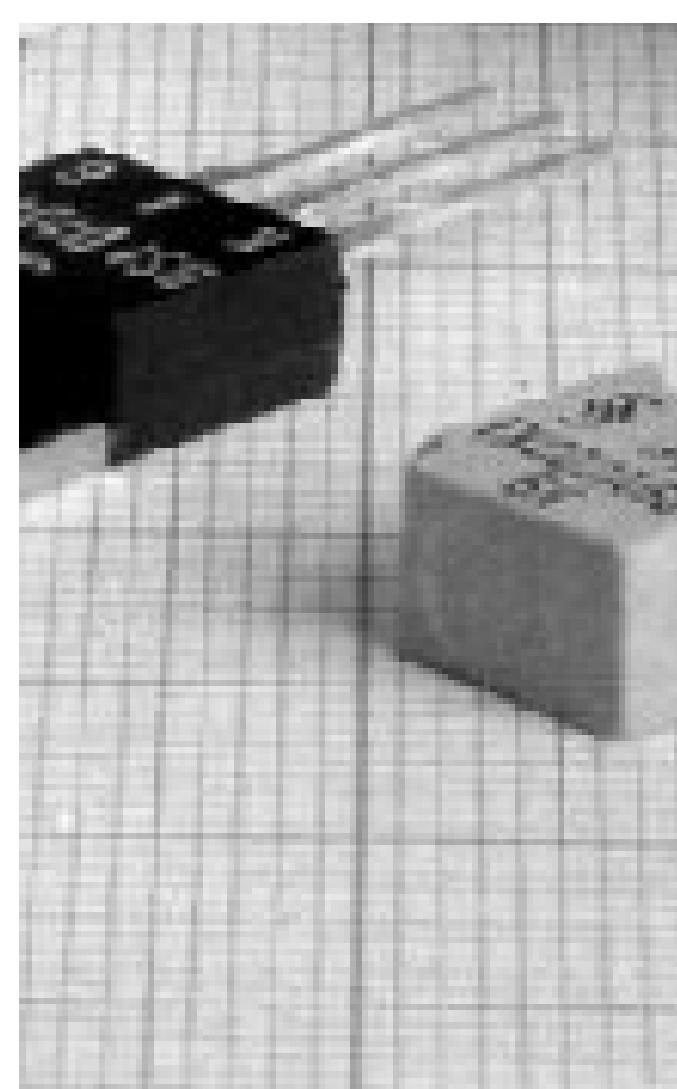
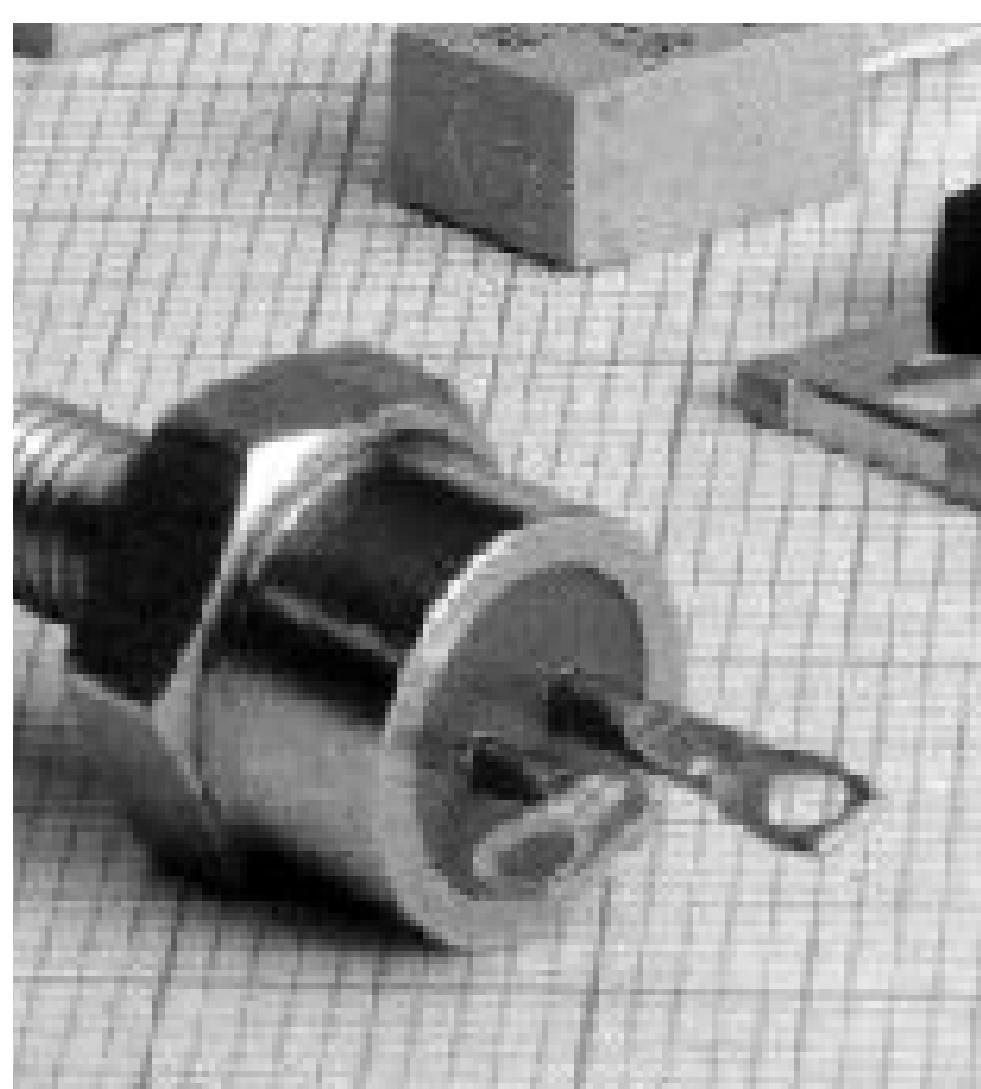
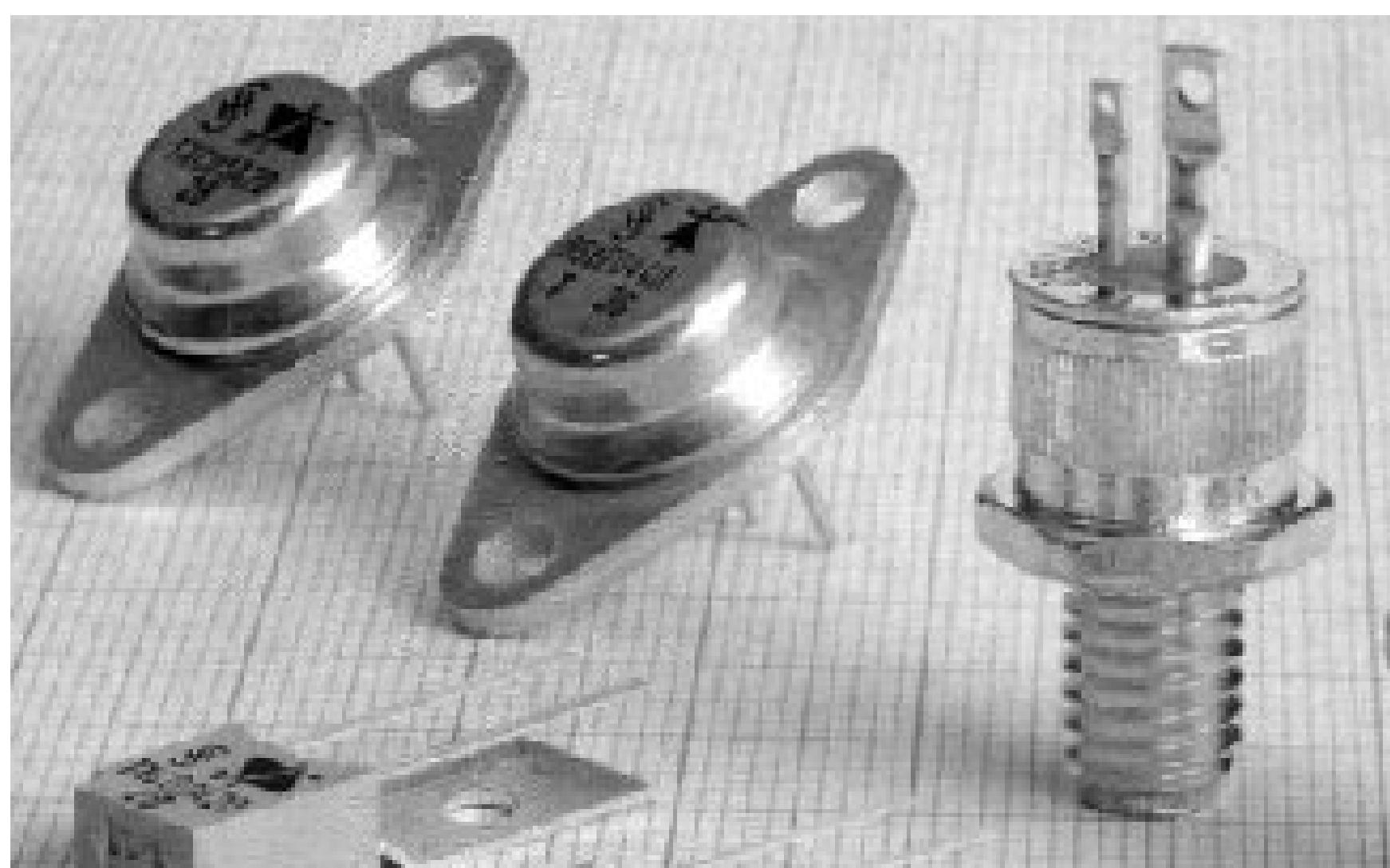


# *rappor t de TP*

## *SIMULATION EN ELECTRONIQUE DE PUISANCE*



Encadré par: M. EL MRABET

Réalisé par:  
Zaid EL FILALI

# **COMPTE RENDU**

## **SIMULATION EN ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE**

Pr: M. EL MRABET

### **- Introduction -**

L'objectif de ce compte rendu réside dans la synthèse des apprentissages acquis lors de la manipulation du logiciel de simulation temporelle dédié à l'électronique de puissance, en l'occurrence PSIM. Cette démarche s'inscrit dans une double finalité : premièrement, maîtriser de manière efficace l'utilisation de cet outil logiciel, et deuxièmement, approfondir la compréhension des diverses architectures de conversion de l'énergie électrique.

Dans la première section de ce compte rendu, nous explorerons les convertisseurs alternatif-continu, en mettant particulièrement l'accent sur les redresseurs. La deuxième partie sera consacrée à l'étude des convertisseurs alternatif-alternatif, plus précisément des gradateurs. Enfin, la troisième section se penchera sur la conversion continu-continu, en examinant de près les hacheurs.

Cette approche séquentielle nous permettra non seulement de nous familiariser avec les fonctionnalités du logiciel PSIM, mais aussi d'approfondir nos connaissances sur les différentes structures de conversion de l'énergie électrique. L'ensemble de ces expérimentations contribuera à enrichir notre compréhension pratique et théorique dans le domaine de l'électronique de puissance.

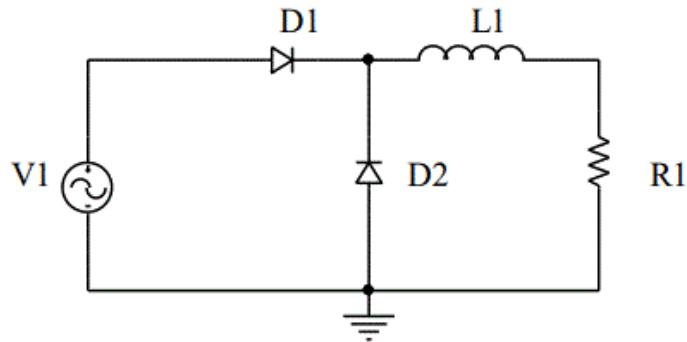
## TP1

### Étude de redresseurs avec le logiciel PSIM

#### I. Redresseurs à diodes :

##### 1. Montage Redresseur Simple Alternance (figure 1):

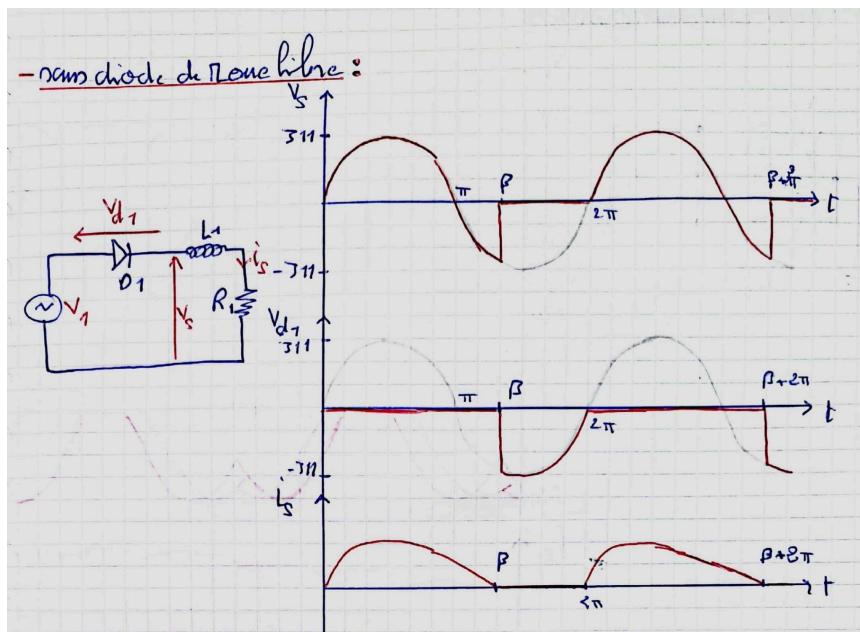
Dans cette partie on va étudier ce montage ci dessous, en premier lieu nous avons étudié ce redresseur sans diode de roue libre, puis on ajoute la diode de roue libre.



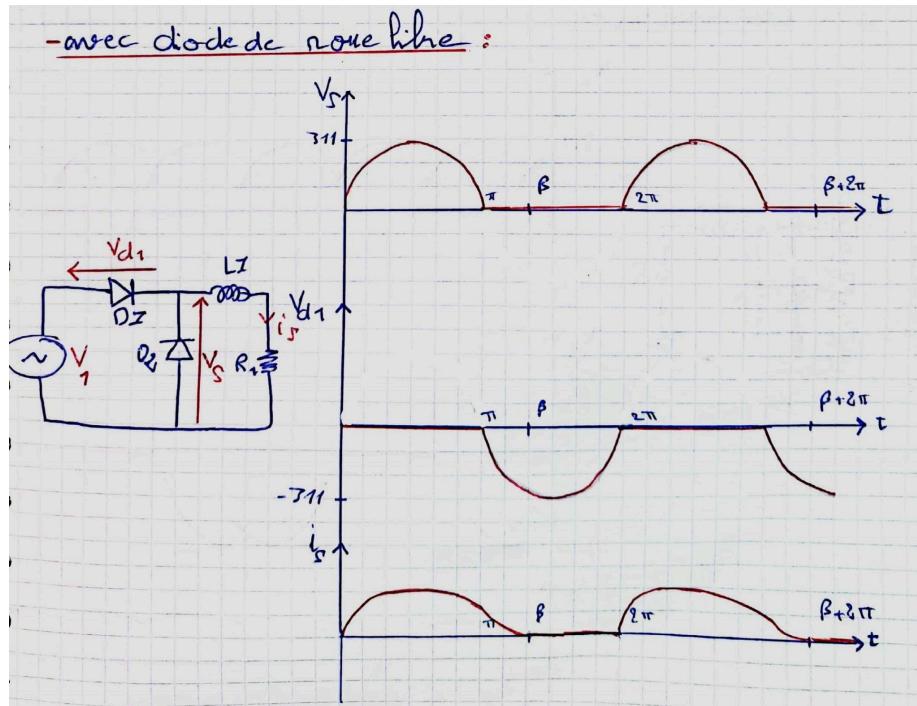
**Fig1:**  $L_1 = 100\text{mH}$ ,  $R_1 = 4,7\Omega$   
 $V_1 = 220\text{V}/50\text{Hz}$

##### a. Allures Théoriques Des Grandeur :

l'image suivante représente les allures théoriques de montage sans diode de roue libre contient de tension au borne de la charge, courante de sortie et de tension au borne de diode D1.

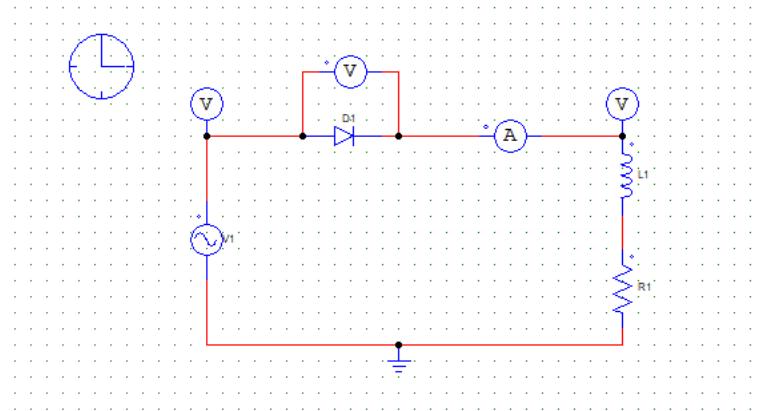


l'image suivante représente les allures théoriques de montage avec diode de roue libre contient de tension au borne de la charge, courante de sortie et de tension au borne de diode D1.



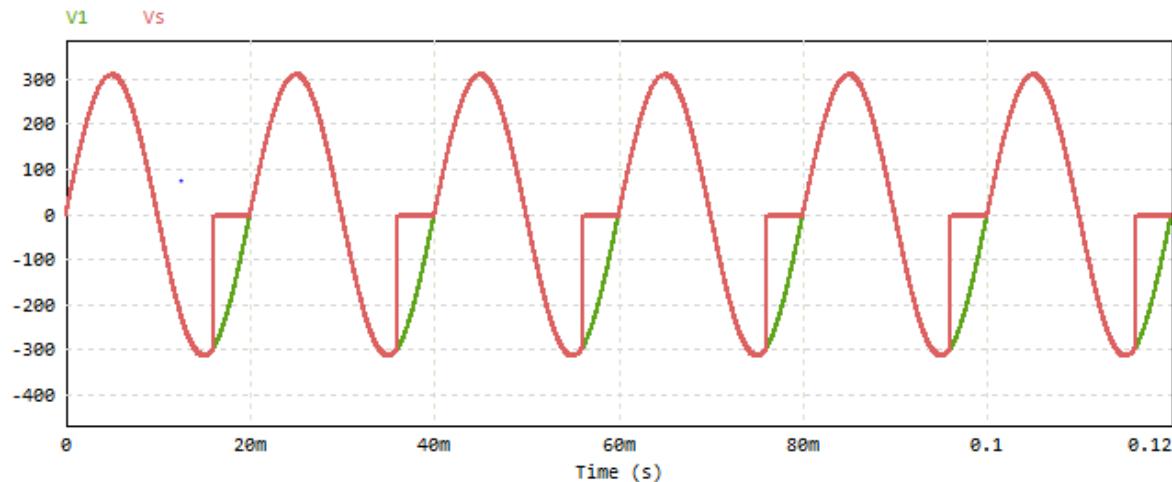
### b. Sans Diode De Roue Libre:

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivant:

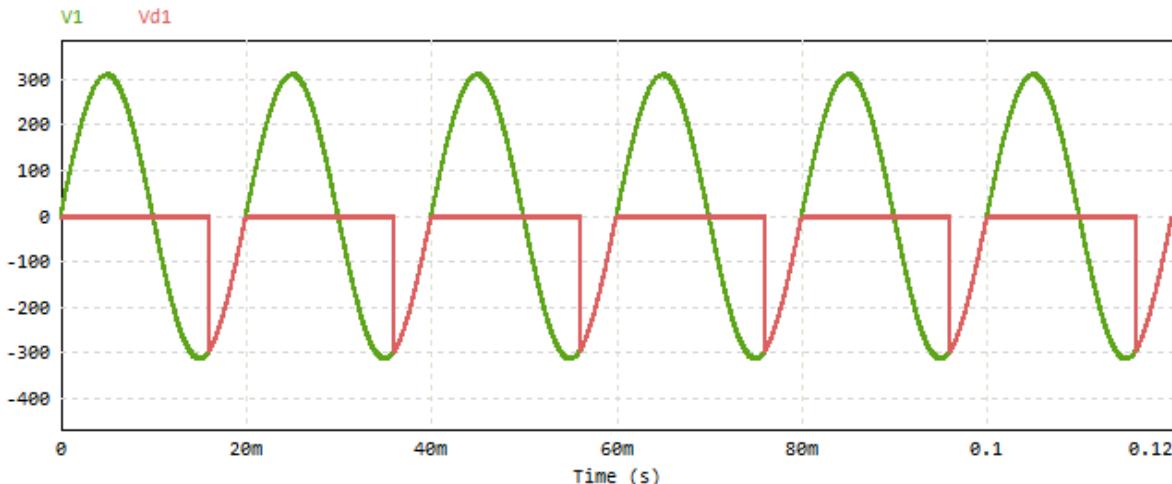


on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:

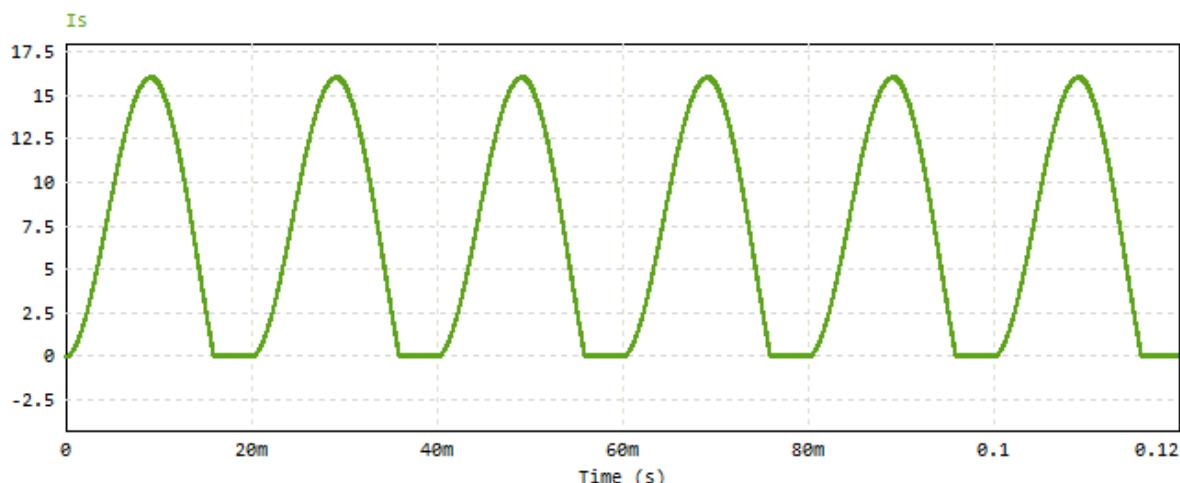
courbe de la tension de sortie Vs:



courbe de la tension au borne de diode (D1) Vd1:



courbe de courant de sortie Is:

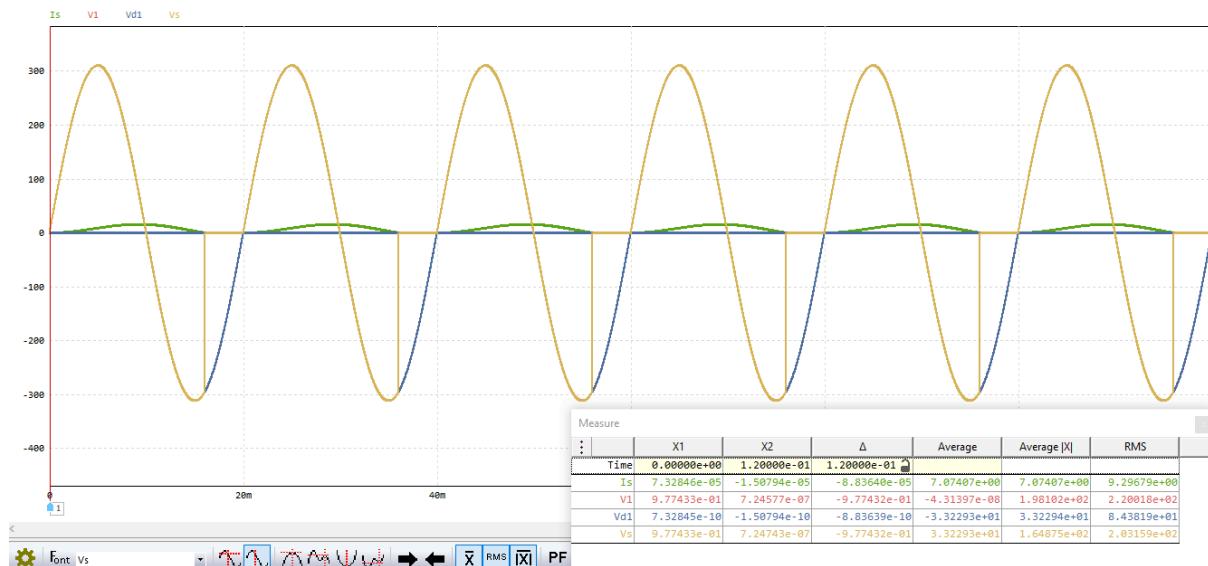


La diode ne se bloque pas en  $\omega t = 180^\circ$ , car la charge est inductive: le courant ne peut pas s'annuler instantanément à  $\omega t = 180^\circ$ , le courant continue à circuler dans la diode jusqu'à l'annulation du courant, on va déterminer l'angle d'extinction courant graphiquement comme montrer la figure suivant:



on visualiser que  $\Delta t = 0.016$  s correspondant à l'angle d'extinction  $\beta = 288^\circ$

À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes et efficaces des tensions et des courants en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW:



On obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension de sortie:  $V_s = 33.22 \text{ V}$

valeur moyenne de courant de sortie:  $I_s = 7.07 \text{ A}$

valeur moyenne de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = -33.22 \text{ V}$

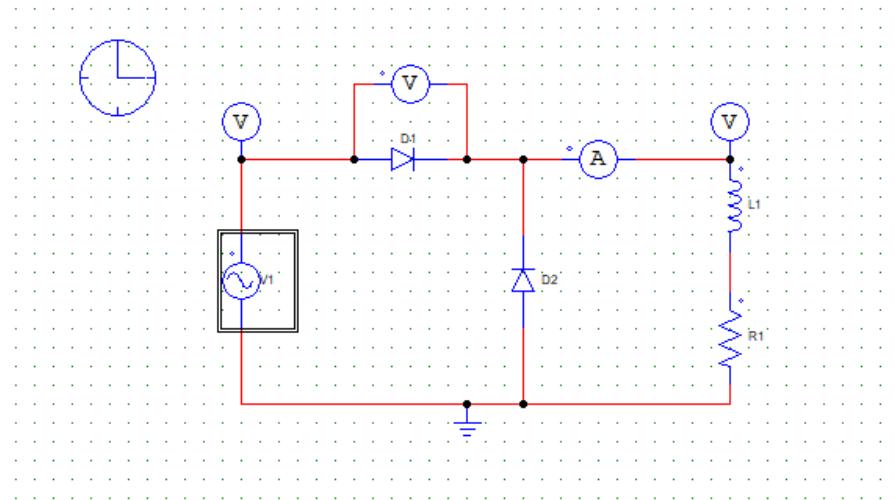
valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 203.15 \text{ V}$

valeur efficace de courant de sortie:  $I_s = 9.29 \text{ A}$

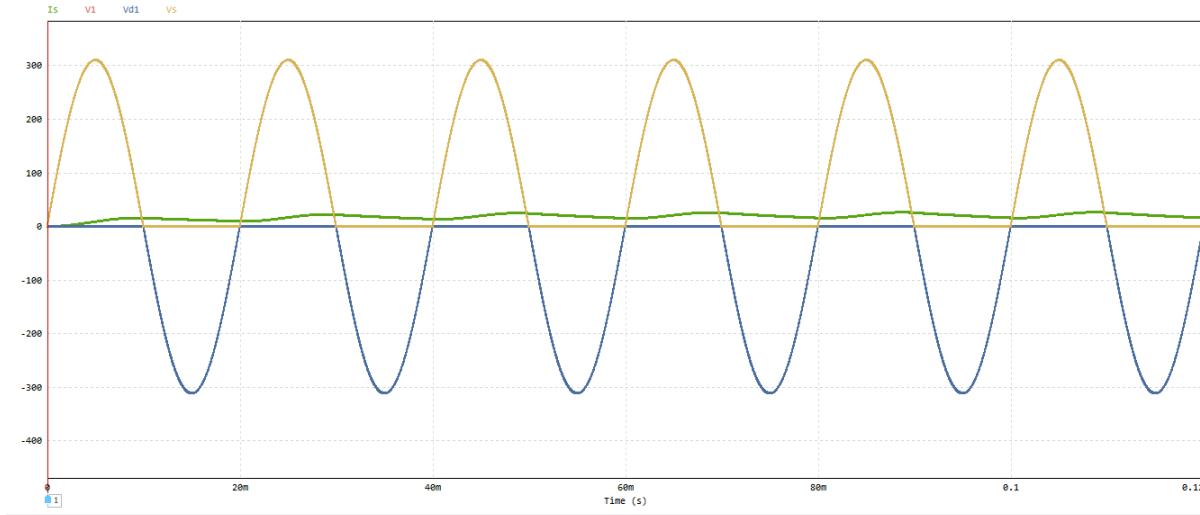
valeur efficace de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = 84.38 \text{ V}$

### c. Avec Diode De Roue Libre:

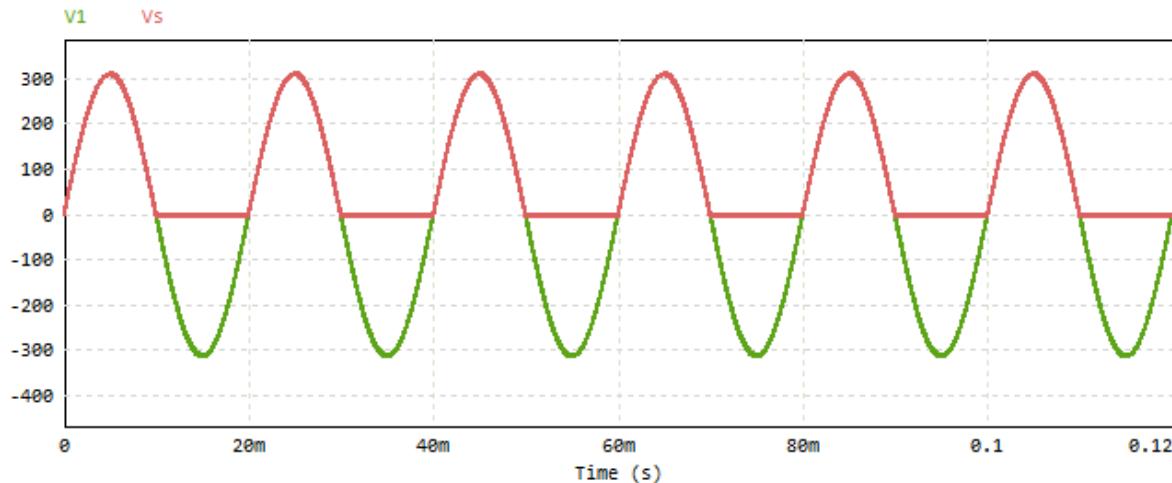
Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivante:



On lance la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivants :

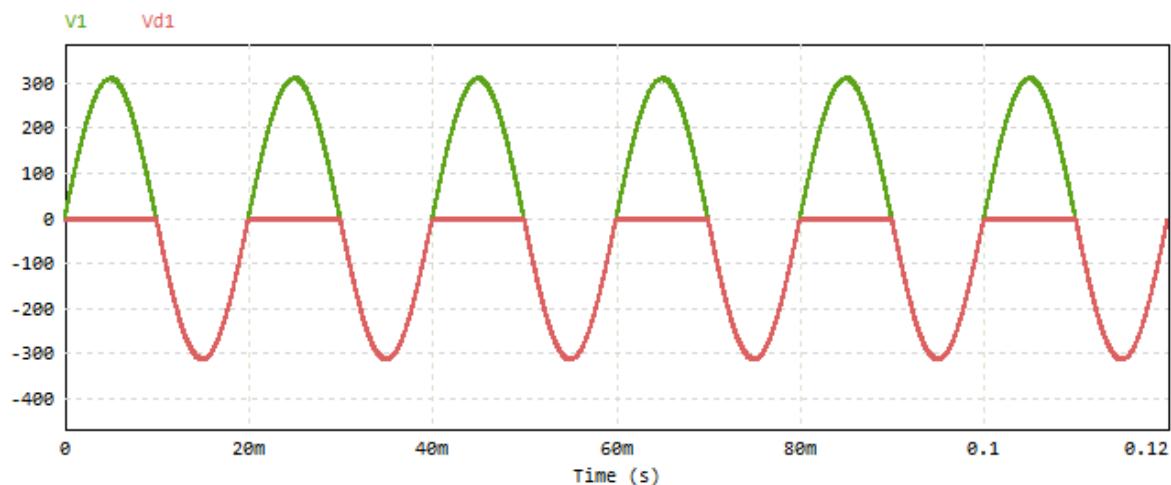


Courbe de la tension de sortie Vs:

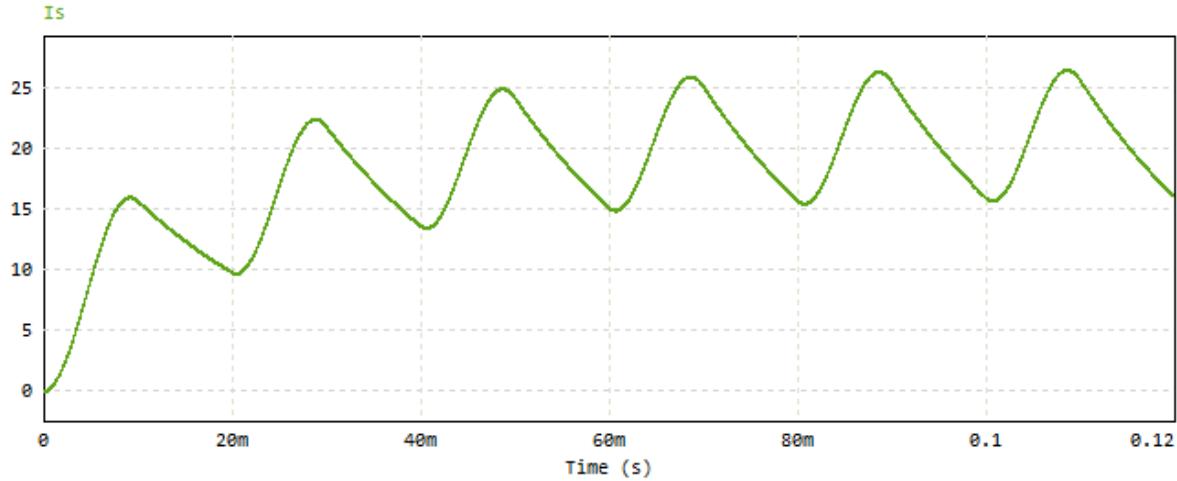


En remarque que la tension de sortie s'annule après  $\omega t = 180^\circ$

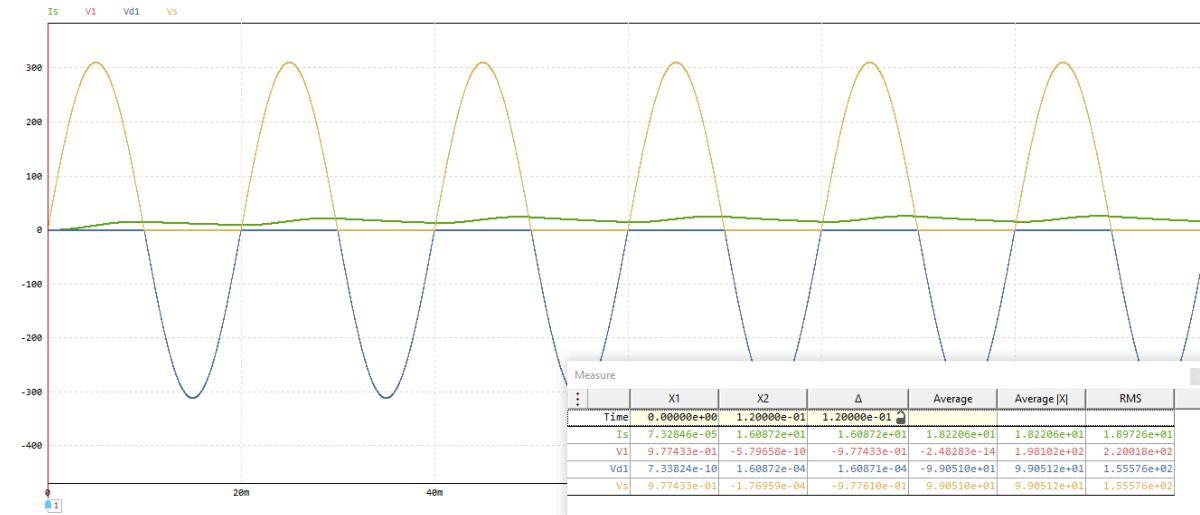
courbe de la tension au borne de diode (D1) Vd1:



Courbe de courant de sortie  $I_s$ :



À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes et efficaces des tensions et des courants en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW:



On obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension de sortie:  $V_s = 99.05 \text{ V}$

valeur moyenne de courant de sortie:  $I_s = 18.22 \text{ A}$

valeur moyenne de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = -99.05 \text{ V}$

valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 155.57 \text{ V}$

valeur efficace de courant de sortie:  $I_s = 18.97 \text{ A}$

valeur efficace de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = 155.57 \text{ V}$

#### d. Interpretation Des Resultat :

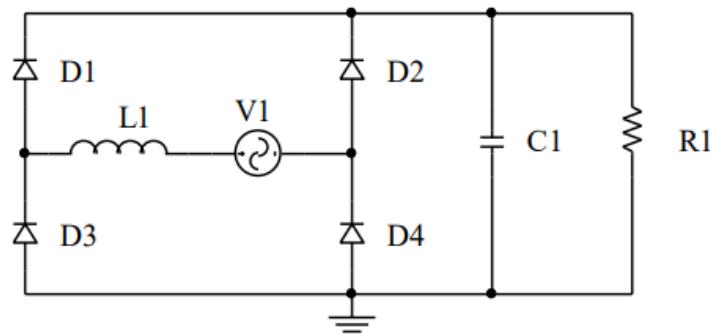
Dans la premier circuit (sans diode de roue libre), en voir que la tension de sortie  $V_s$  commence à conduire après  $\omega t = 180^\circ$  jusqu'à l'annulation de courant à cause de l'énergie emmagasinée dans l'inductance so forme d'une courant électrique qui commence à circuler jusqu'à l'annulation de ce dernier à l'angle  $\beta = 288^\circ$  l'angle d'extinction.

Dans la deuxième circuit (avec diode de roue libre), on remarque que la tension de sortie s'annule à  $\omega t = 180^\circ$ . Ces résultats peuvent être expliqués par : lorsqu'on  $\omega t = 180^\circ$ , la bobine va devenir génératrice, ce qui va permettre de rendre la diode de roue libre (D2) passante, et le courant  $I_s$  va alors circuler dans la diode de rous libre. La continuité de courant Il va donc éliminer la surtension présente sans diode de roue libre, et cette diode va aussi imposer une tension null court circuit (dans cas idéal) aux bornes de la bobine, c-à-d  $V_s = 0$ .

Ce montage (avec diode de roue libre) a permis de corriger le problème survenant avec une charge de type inductif. De plus, la valeur moyenne de la tension de sortie est supérieure. Cependant, la valeur efficace du courant traversant la charge est inférieure au cas sans diode de roue libre.

#### 2. Montage Redresseur Double Alternance (Figure 2):

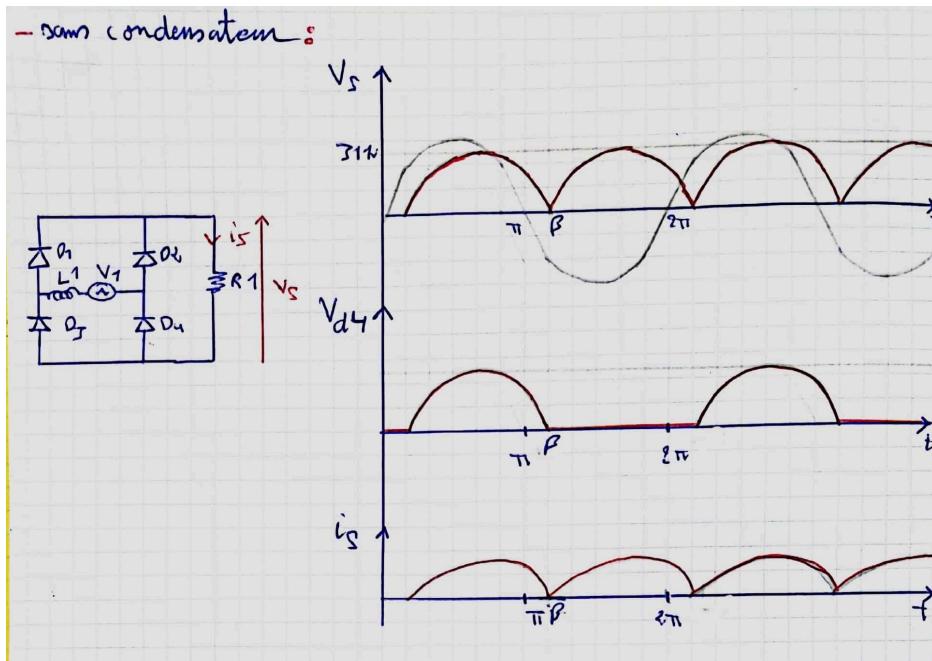
Dans cette partie on va étudier ce montage ci dessous, en premier lieu nous avons étudié ce redresseur avec une charge résistive , puis on a ajouté une condensateur en parallèle avec la résistance.



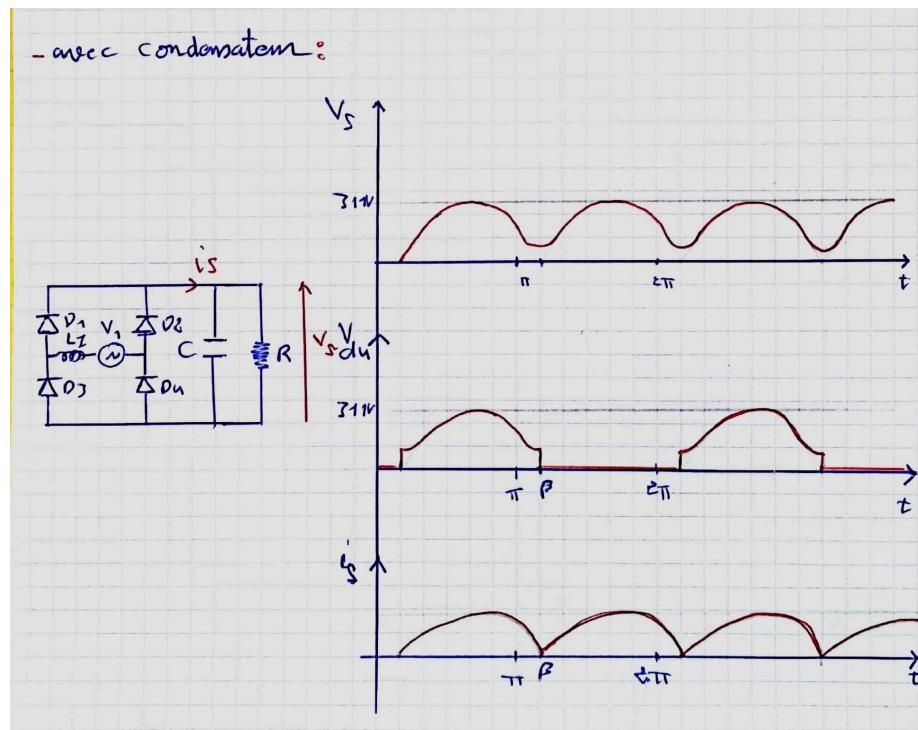
**Fig2:**  $L_1 = 100\text{mH}; R_1 = 47\Omega;$   
 $V_1 = 220\text{V}/50\text{Hz}$

### a. Allures Théoriques Des Grandeur :

l'image suivante représente les allures théoriques de montage sans condensateur contient de de tension au borne de la charge, courante de sortie et de tension au borne de diode D4.

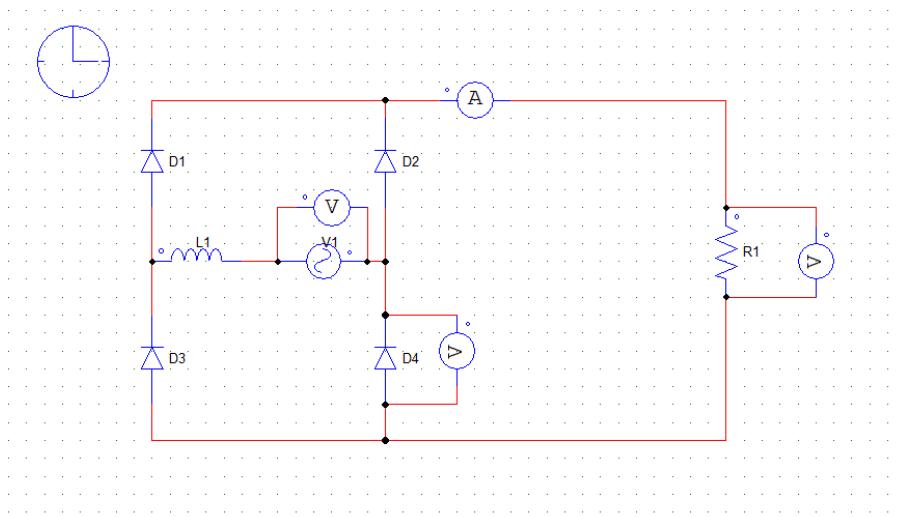


l'image suivante représente les allures théoriques de montage avec condensateur contient de de tension au borne de la charge, courante de sortie et de tension au borne de diode D4.

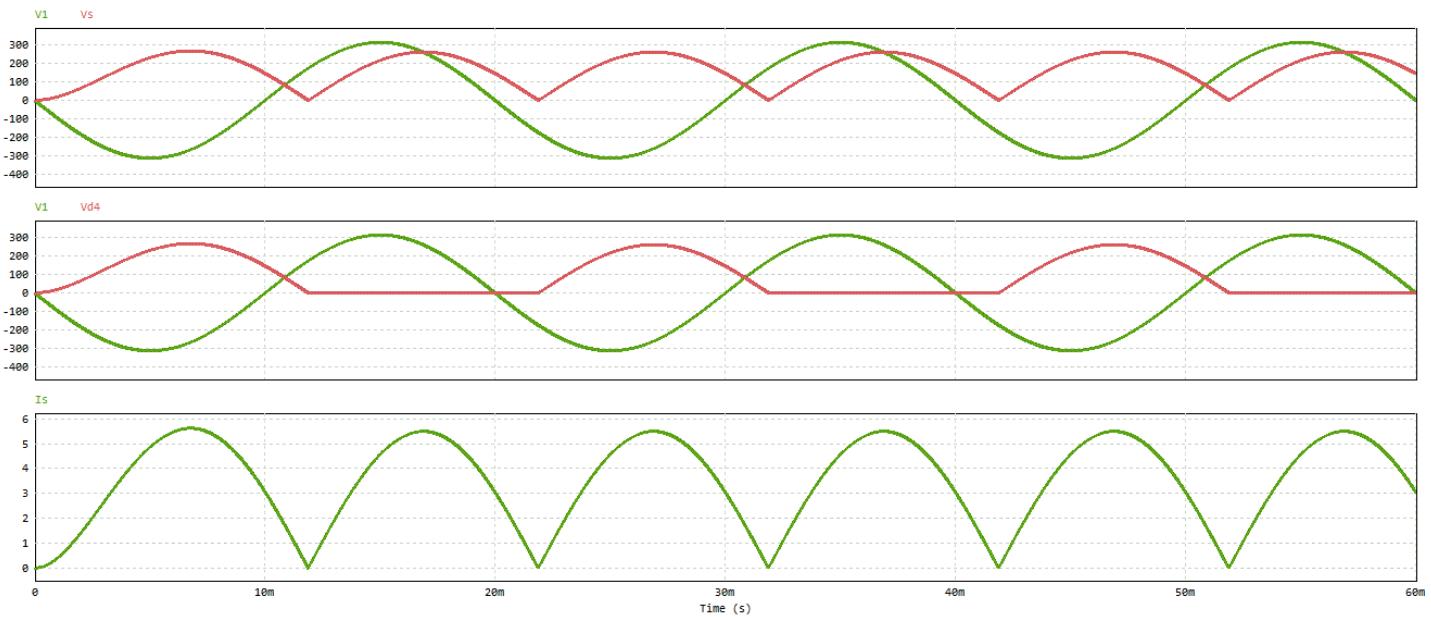


### b. Charge Résistive (sans condensateur) :

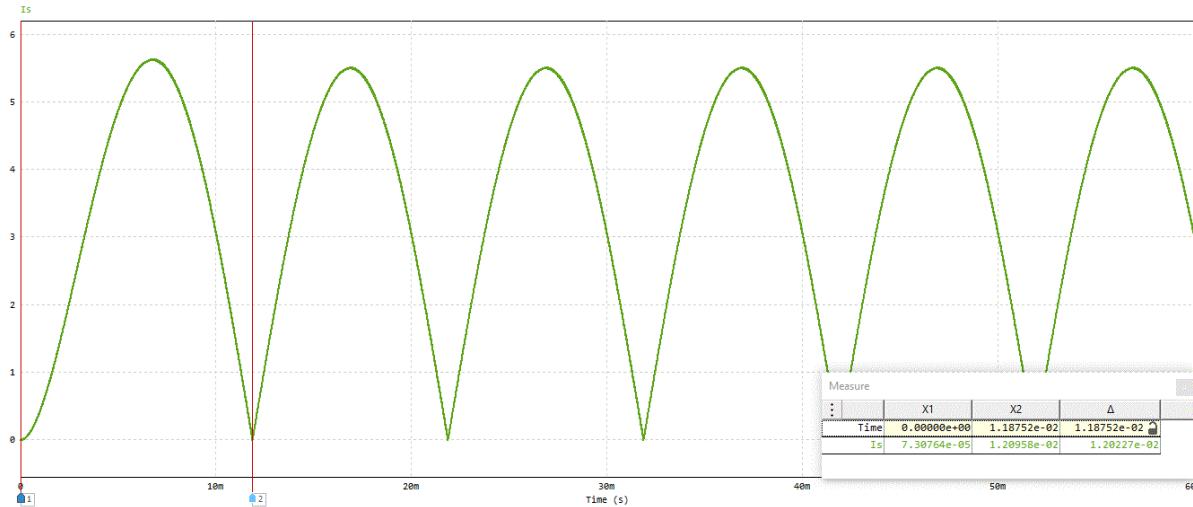
Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivante:



on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivant:

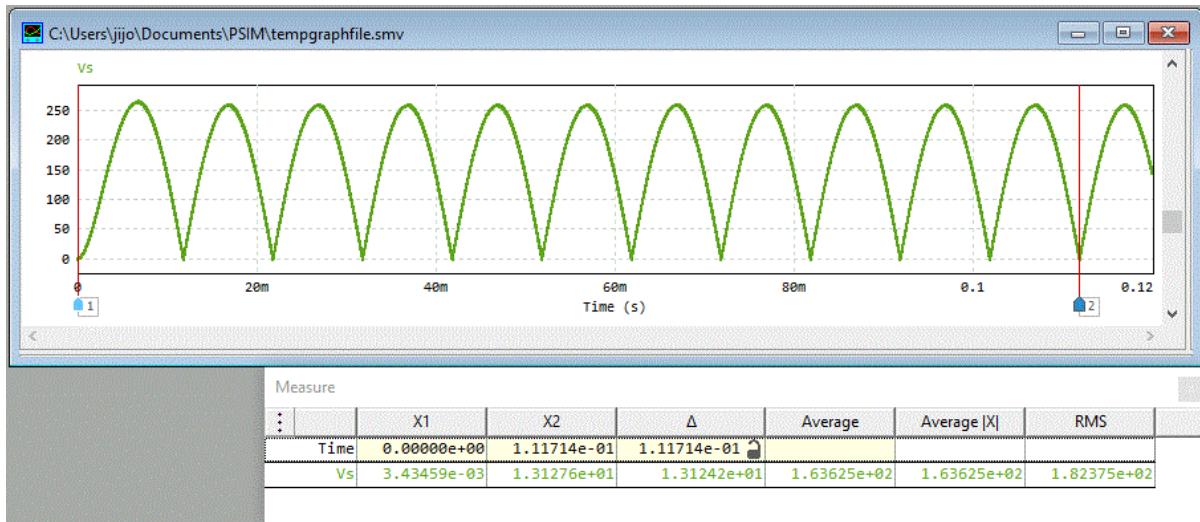


Après on a déterminer l'angle d'extinction de courant graphiquement comme montrer la figure suivant:



À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes et efficaces des tensions et des courants en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW:

Tension de sortie Vs:

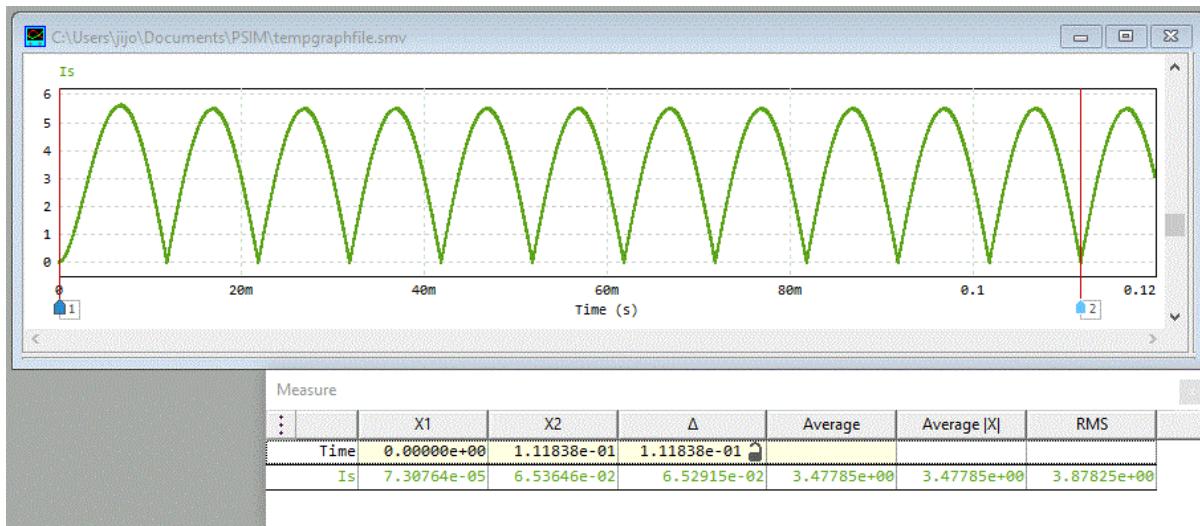


on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension de sortie:  $V_{smoy} = 163.62 \text{ V}$

valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 182.37 \text{ V}$

Courant de sortie  $I_s$ :

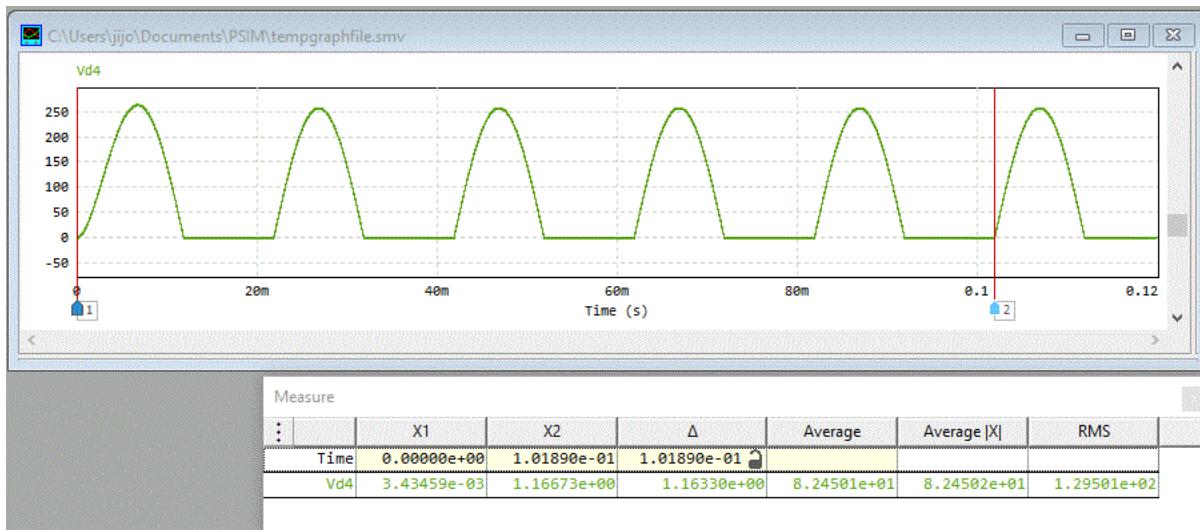


on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de courant de sortie:  $I_{smoy} = 3.47 \text{ A}$

valeur efficace de courant de sortie:  $I_s = 3.87 \text{ A}$

Tension au borne de diode D4:



on obtient les valeurs suivantes :

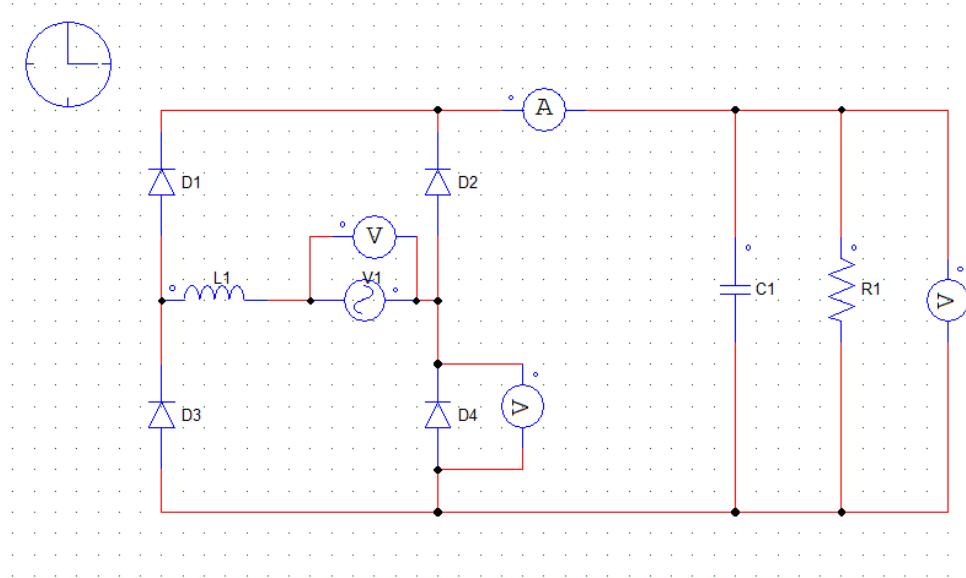
valeur moyenne de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1moy} = 82.45 \text{ V}$

valeur efficace de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = 129.50 \text{ V}$

### c. Ajout d'une condensateur en parallèle :

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils

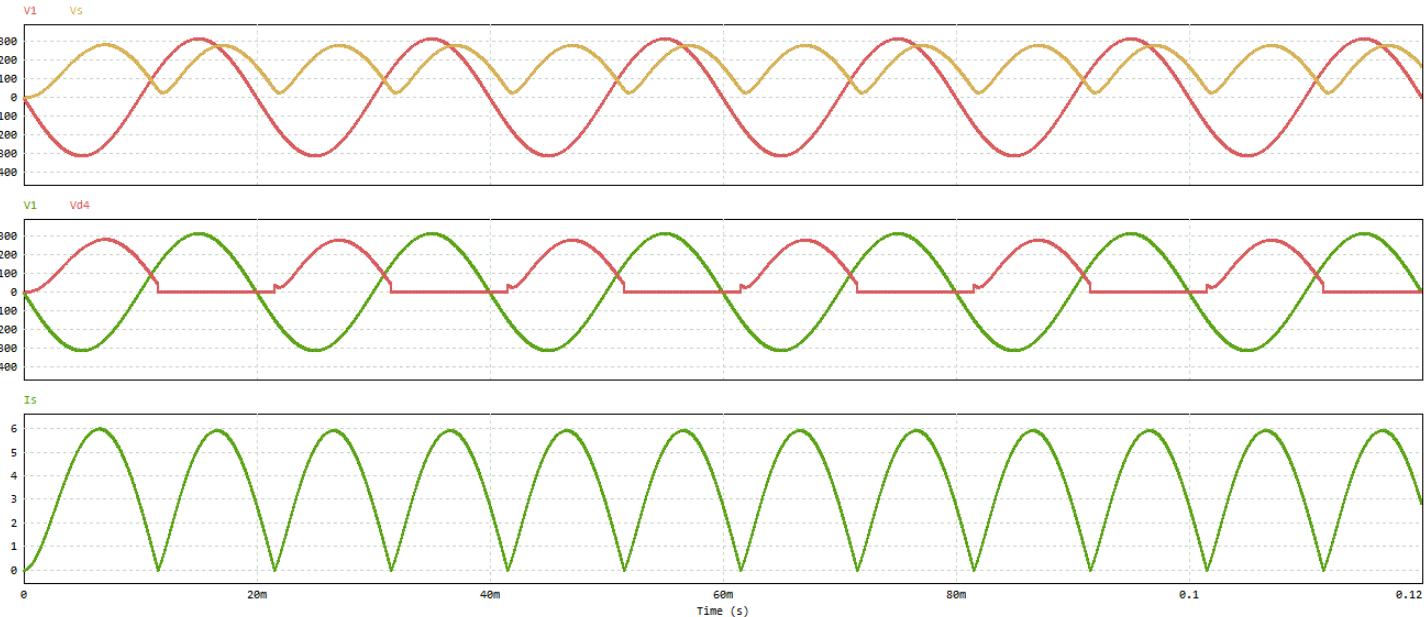
de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivante:



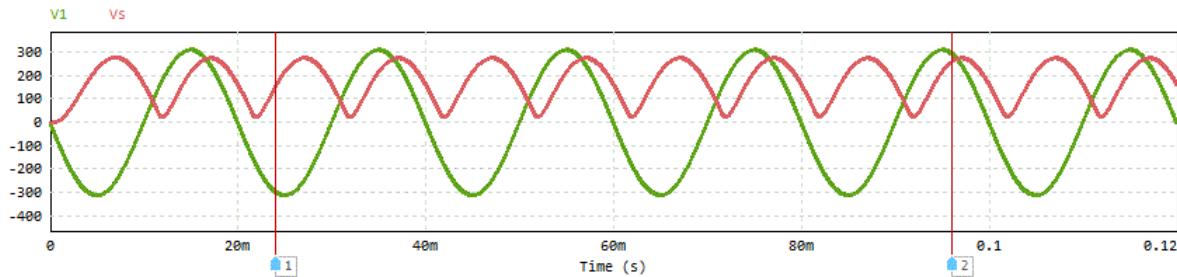
On va choisir 3 valeur pour le condensateur qui sont respectivement 10uF, 100uF, 1000uF.

❖ condensateur de valeur  $C = 10\mu F$

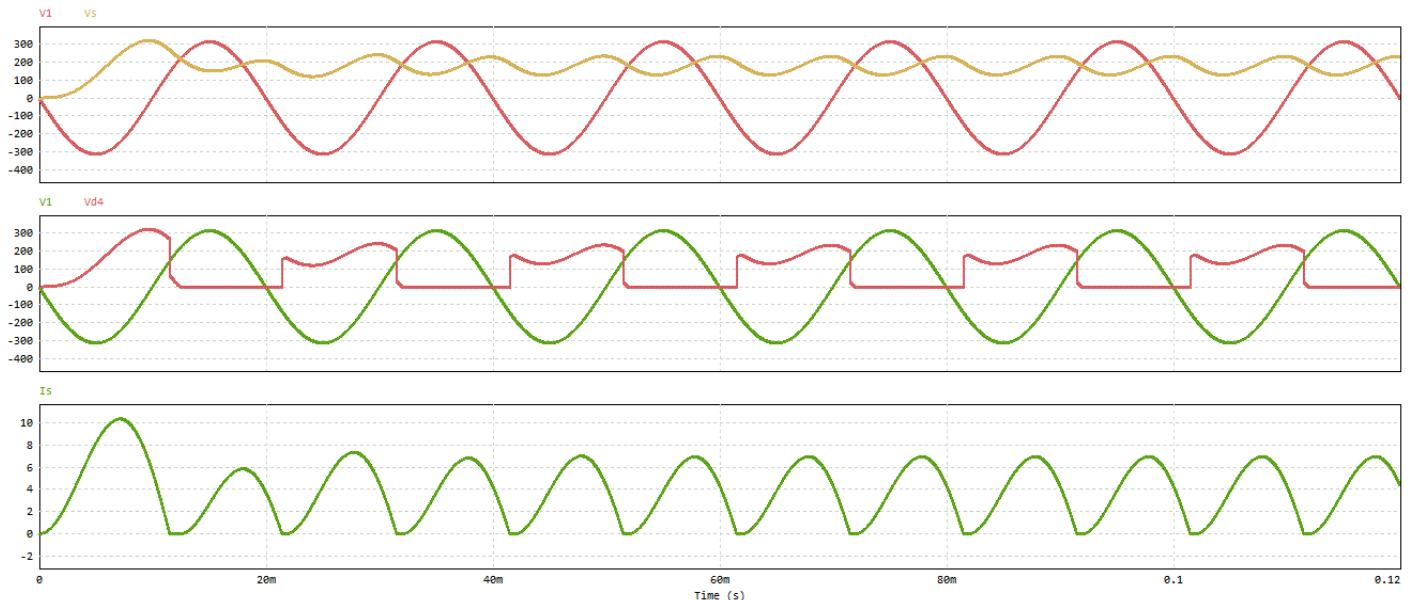
On lance la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivants :



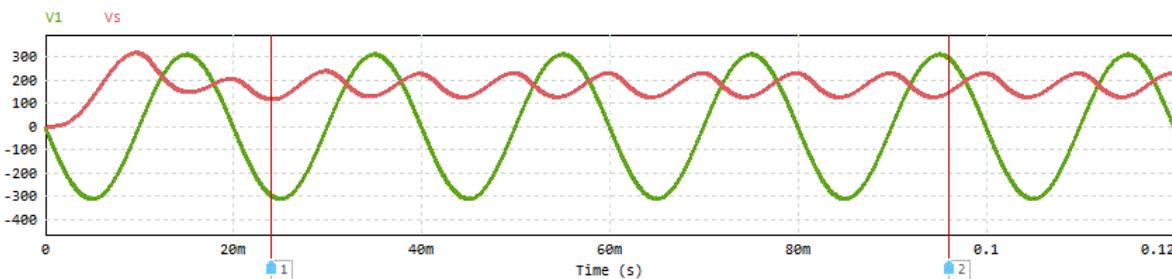
Courbe de la tension de sortie Vs:



❖ condensateur de valeur  $C = 100\mu F$



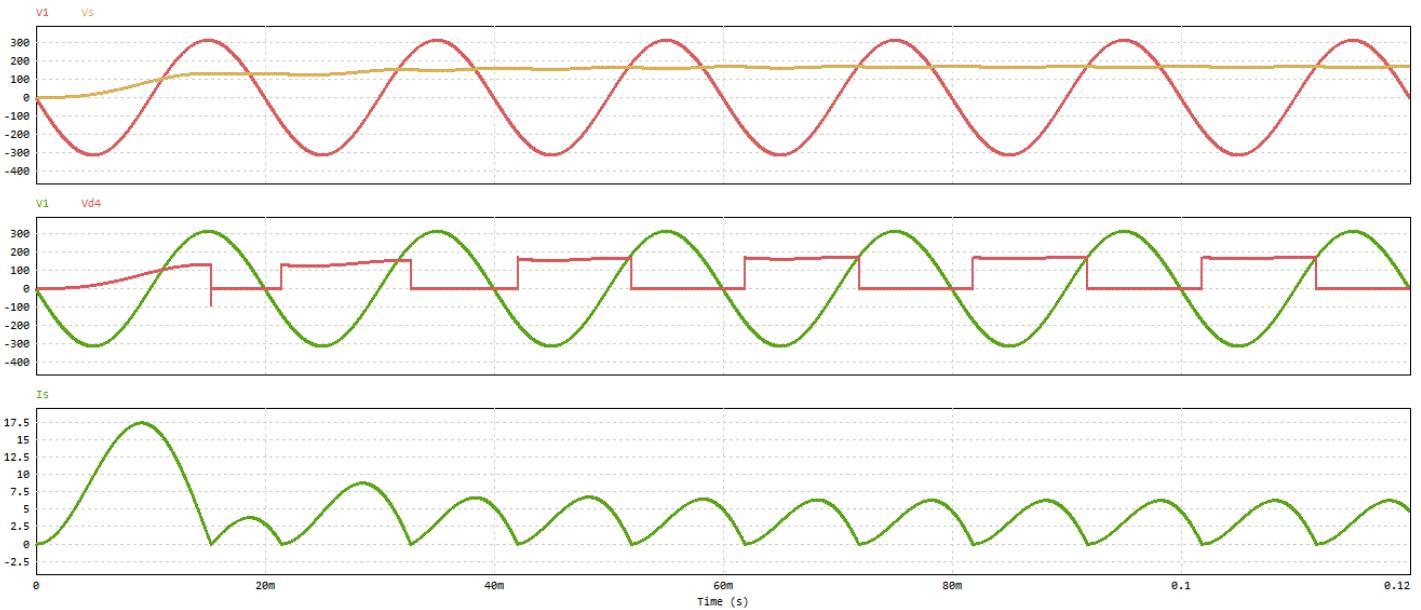
Courbe de la tension de sortie Vs:



❖ condensateur de valeur  $C = 1000\mu F$

On lance la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivantes :

En remarque la tension de sortie et devient presque continue.



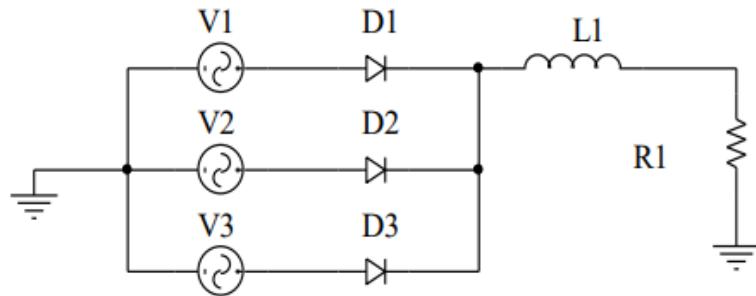
#### d. Interpretation Des Resultat :

Dans le cas quand on a une charge résistive le circuit donne une tension redressé et le courant prend la même form que la tension de sortie, mais lorsqu'on ajouter le condensateur en parallèle la tension de sortie Vs devient plus en plus continue proportionnellement au augmentation de la capacité de condensateur.

Il est important de noter qu'un condensateur est un réservoir à charges électriques. Lorsque la tension augmente, le condensateur se charge. Lorsque la tension à la sortie tend à diminuer, le condensateur se décharge ce qui réduit fortement la chute de la tension. Si on augmente la valeur de condensateur (1000uF notre cas) a une capacité suffisante, les variations de la tension de sortie Vs peuvent être négligeables, la tension de sortie Vs est quasiment continue.

#### 3. Montage Redresseur P3 (Figure 3):

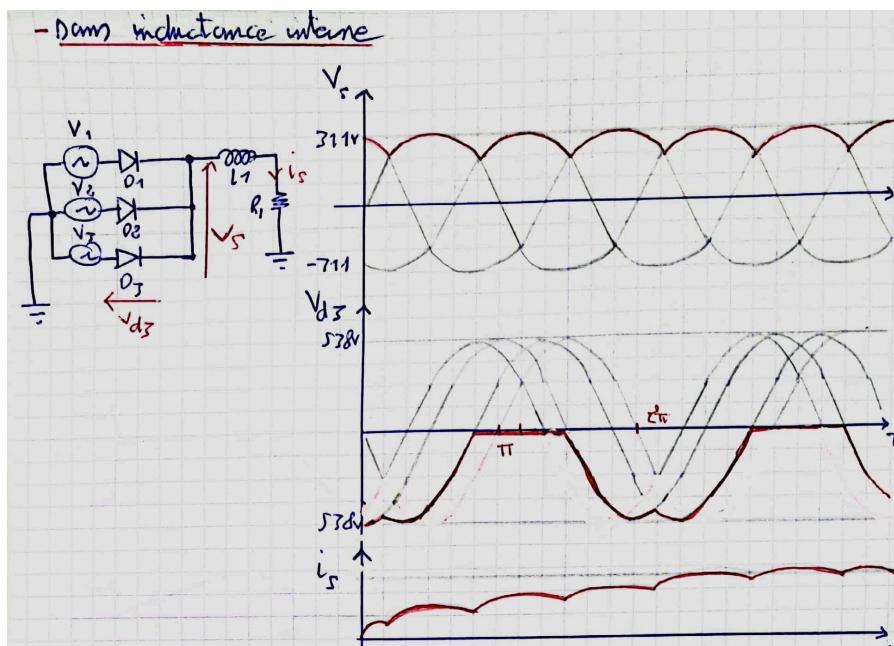
Dans cette partie on va étudier ce montage ci dessous, en premier lieu nous avons étudié ce redresseur P3, puis on ajoute d'une inductance interne  $L_i = 10mH$  disposer à la source et on traite ces effets sur notre circuit.



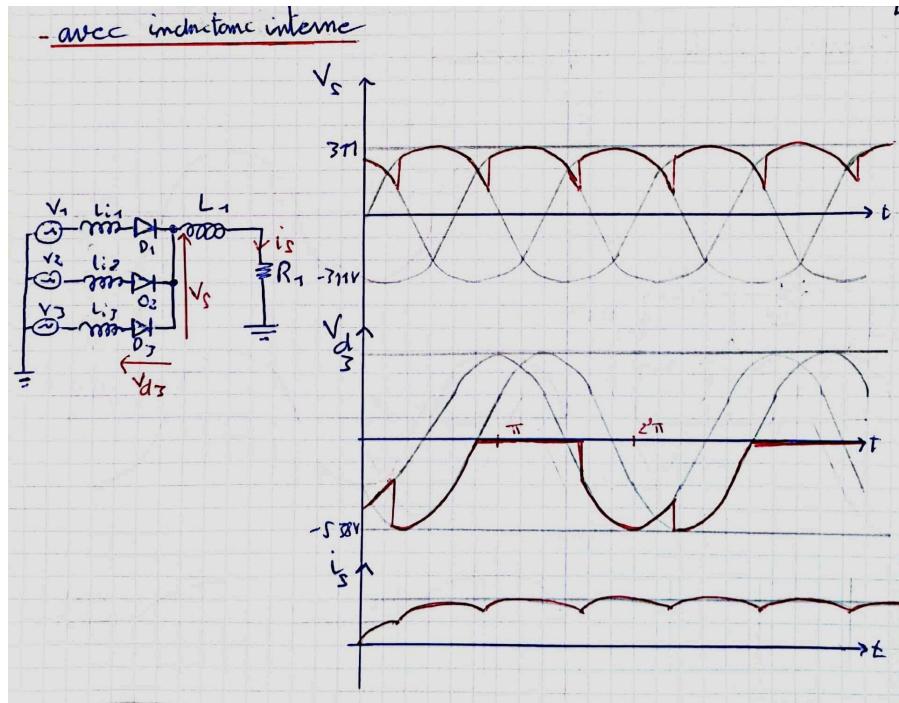
**Fig3:**  $L_1 = 50\text{mH}$ ;  $R_1 = 2\Omega$ ;  
 $V_1 = 220\text{V}/60\text{Hz}$

#### a. Allures Théoriques Des Grandeur :

l'image suivante représente les allures théoriques de montage sans inductance intérieur contient de tension au borne de la charge, courante de sortie et de tension au borne de diode D1.

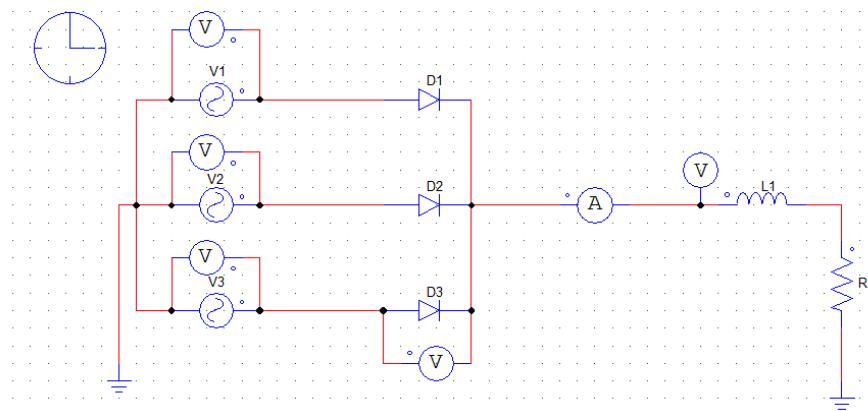


l'image suivante représente les allures théoriques de montage avec l'induction interne dans la source, contient de tension au borne de la charge, courante de sortie et de tension au borne de diode D1.

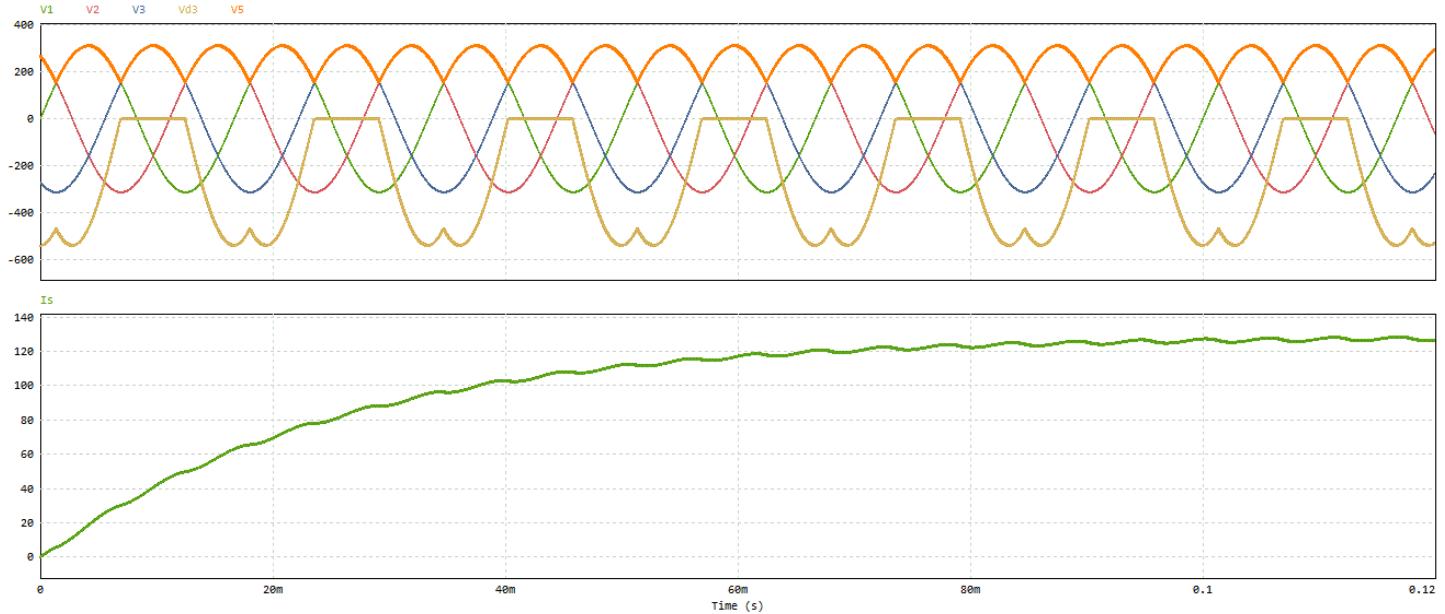


### b. Sans Inductance Interne :

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivant:



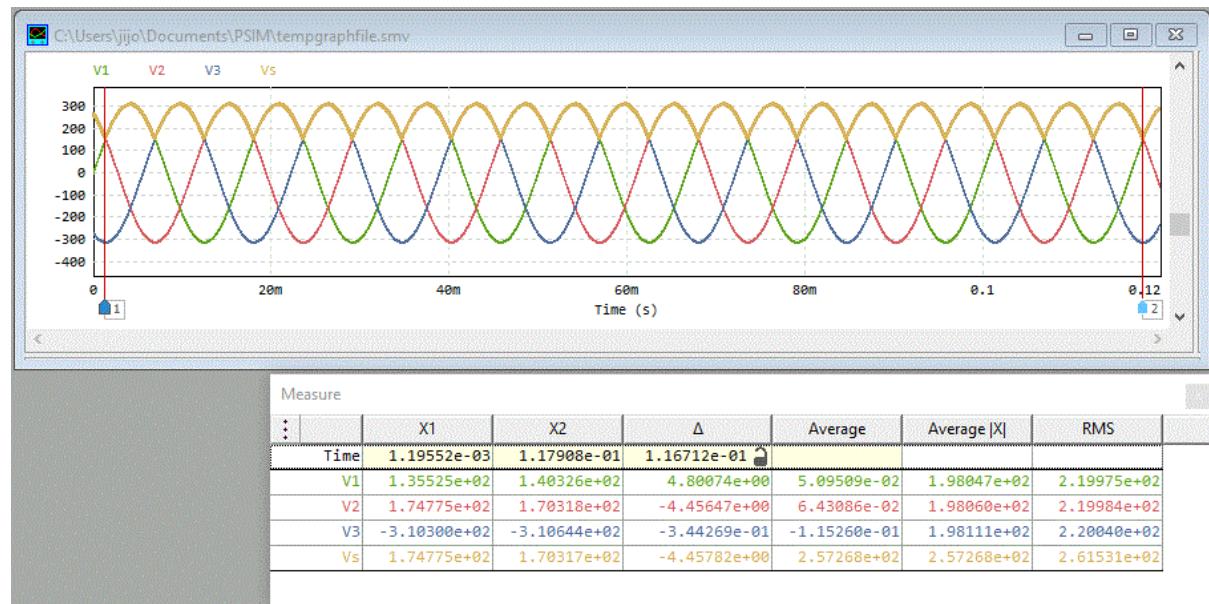
on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivant:



en Remarque que la courbe de tension  $V_s$  ne représente pas des l'angle d'empietement.

À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes et efficaces des tensions et des courants en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW.

Tension de sortie  $V_s$ :

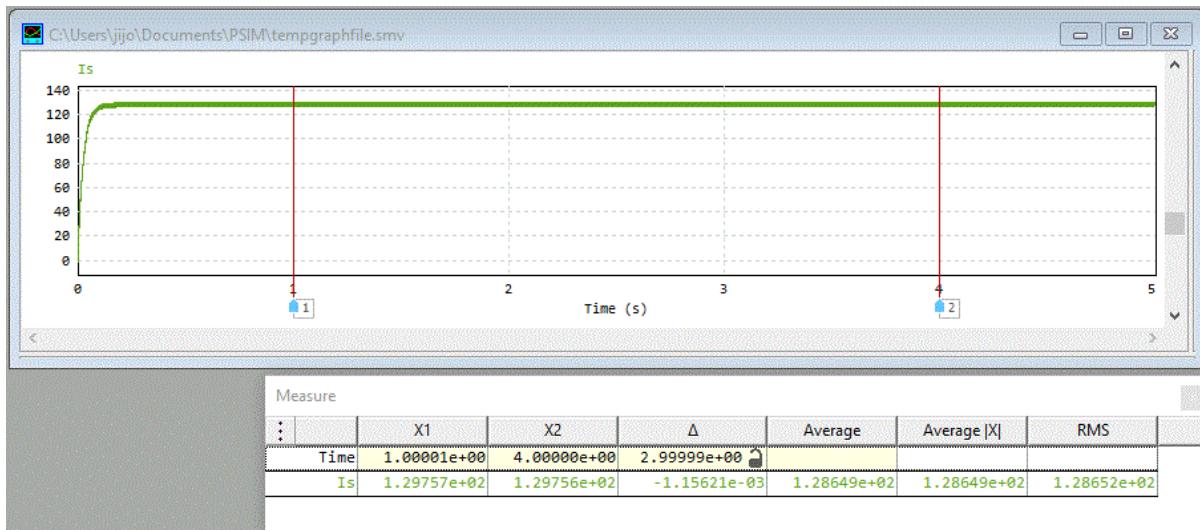


on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension de sortie:  $V_{smoy} = 257.26 \text{ V}$

valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 261.53 \text{ V}$

Courant de sortie  $I_s$ :

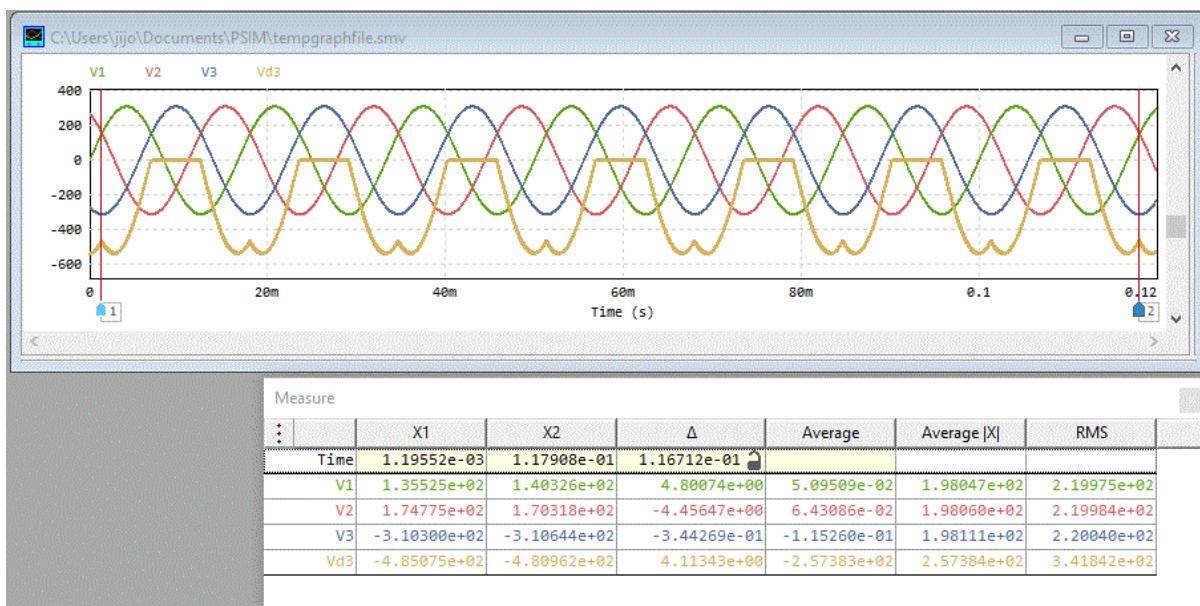


on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de courant de sortie:  $I_{smoy} = 128.65 \text{ A}$

valeur efficace de courant de sortie:  $I_s = 128.64 \text{ A}$

Tension au borne de diode D4:



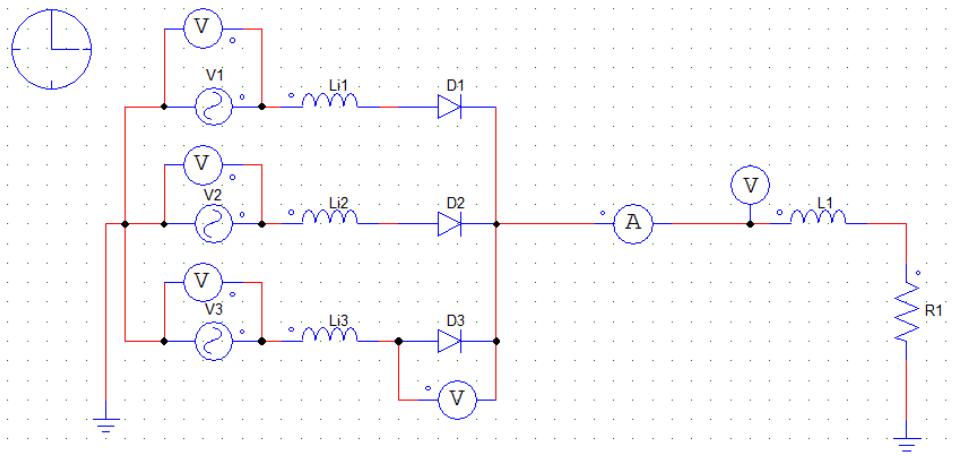
on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1moy} = -257.38 \text{ V}$

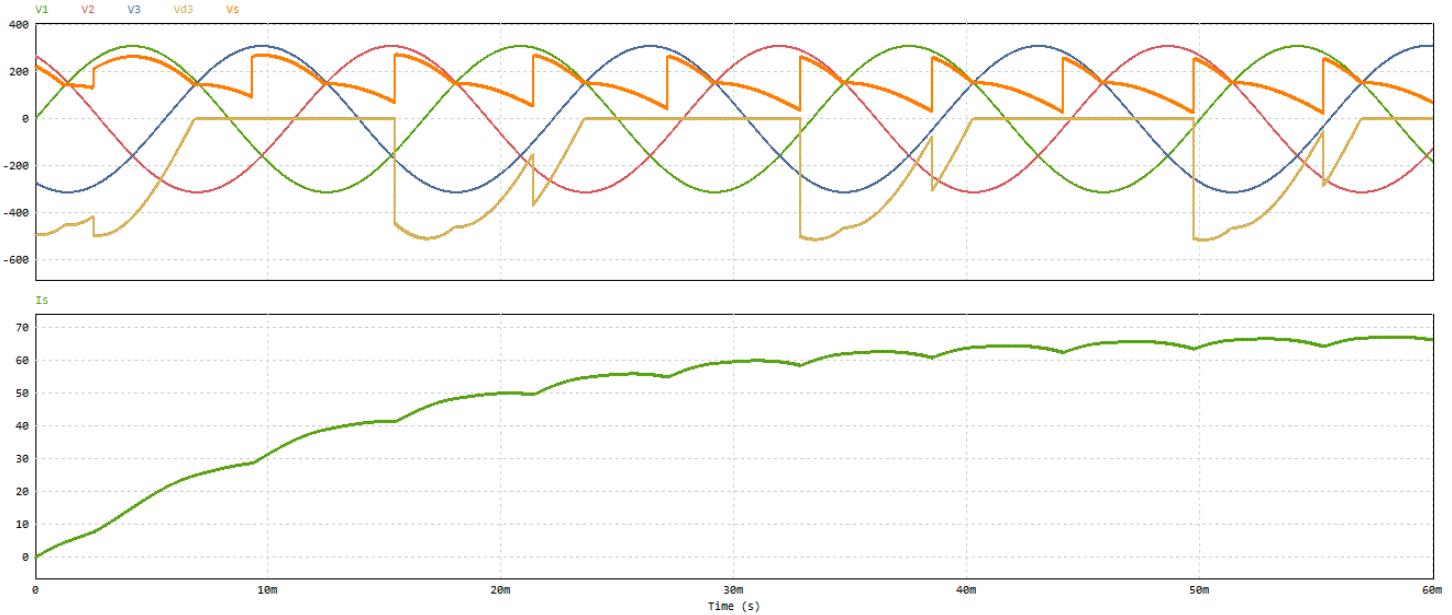
valeur efficace de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = 341.84 \text{ V}$

### c. Avec inductance Interne :

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivante:

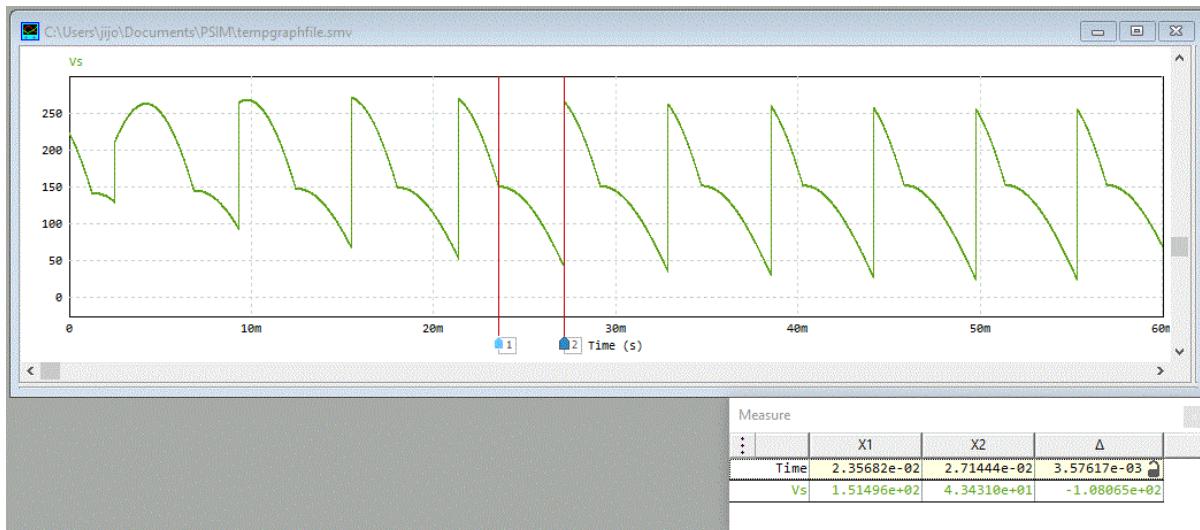


On lance la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivants :



en remarque qui il ya une l'angle d'empietement dans la courbe de tension de sortie Vs.

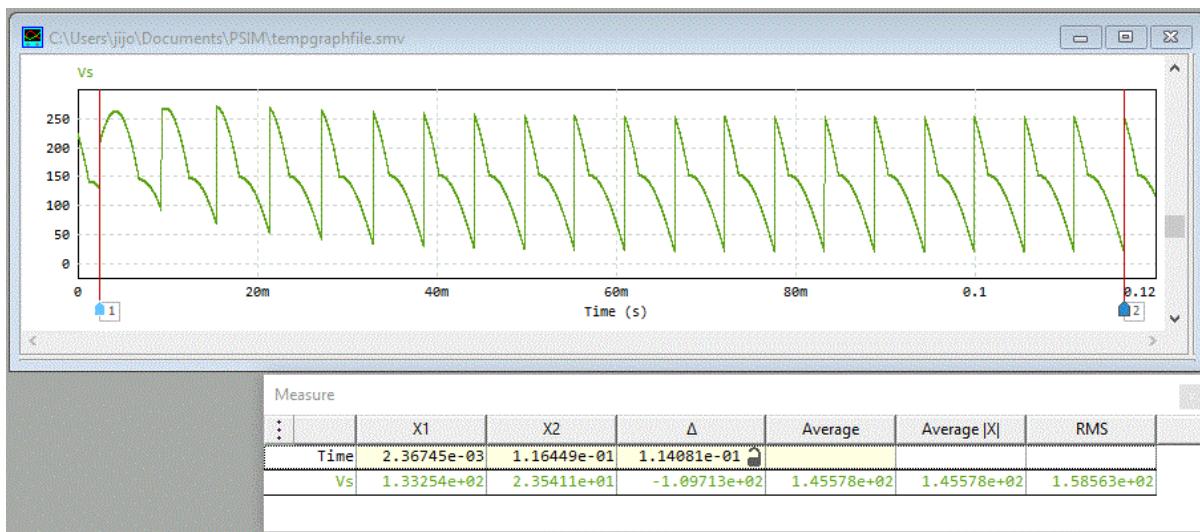
Donc, on va déterminer l'angle d'empiètement présenté dans la courbe de tension de sortie Vs graphiquement comme montrer la figure suivant:



on visualiser que  $\Delta t = 3.57 \text{ ms}$  correspondant à l'angle d'empiètement  $\alpha = 77.11^\circ$

À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes et efficaces des tensions et des courants en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW:

Tension de sortie Vs:

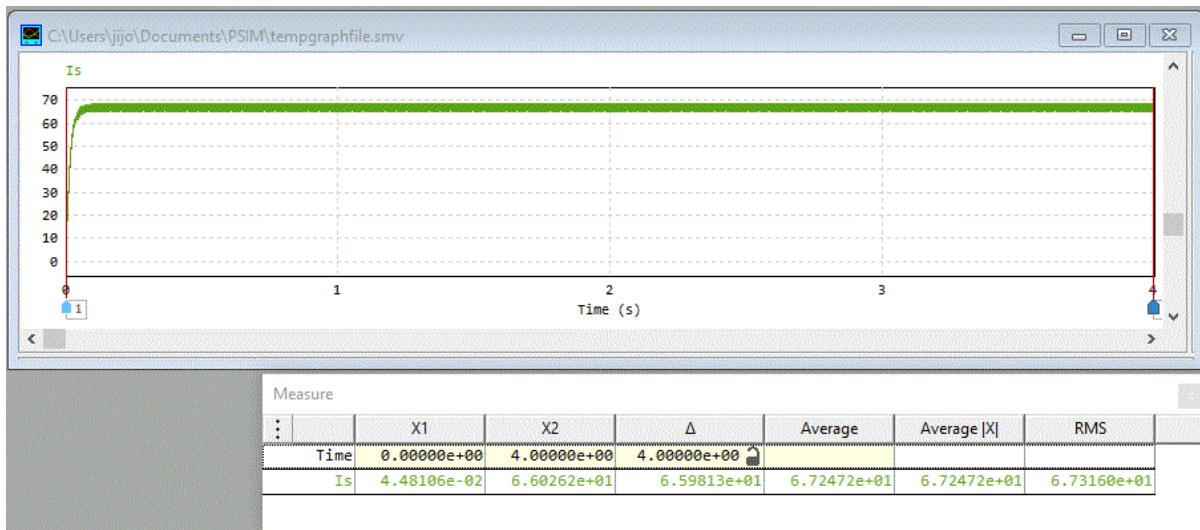


on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension de sortie:  $V_{smoy} = 145.57 \text{ V}$

valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 158.56 \text{ V}$

Courant de sortie  $I_s$ :

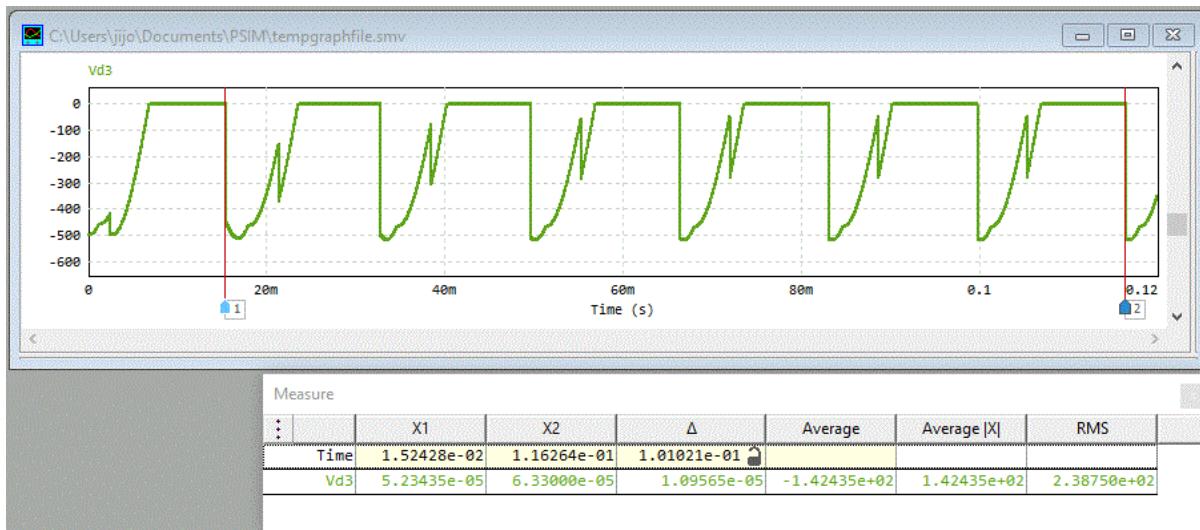


on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de courant de sortie:  $I_{smoy} = 67.24 \text{ A}$

valeur efficace de courant de sortie:  $I_s = 67.31 \text{ A}$

Tension au borne de diode D4:



on obtient les valeurs suivantes :

valeur moyenne de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1moy} = -142.43 \text{ V}$

valeur efficace de tension au borne de la diode (D1) :  $V_{d1} = 238.75 \text{ V}$

#### d. interprétation Des Résultat :

Dans la première partie (sans inductance interne dans la source), on a obtenu une tension de sortie bien redressée de valeur efficace  $V_s = 261.5 \text{ V}$ , notons que la courbe

de cette tension ne porte pas des l'angle d'empiétement, et le courant de sortie est quasiment continue.

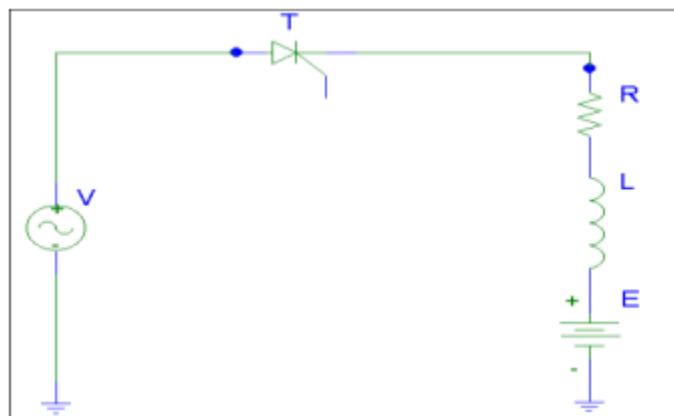
D'un autre côté, et dans la deuxième partie lorsqu'on ajoute les inductance interne ( $L_i=50\text{mH}$ ), la courbe de la tension sortie  $V_s$  présente des l'angle d'empiétement. et aussi important de noter que la valeur de tension de sortie efficace diminue  $V_s = 158.5 \text{ V}$ .

Ces résultats peuvent être expliqués par lors de la commutation de la diode D1 à la diode D2, si on considère que le courant ne commute pas instantanément, il y aura un intervalle de temps pendant lequel deux diodes seront en conduction. La durée de cet intervalle de temps sera  $\alpha = 77.1^\circ$ . cela signifie que durant la commutation, la tension de sortie est inférieure à la tension attendue s'il n'y avait pas d'empiétement.

En conclusion, cette expérience a démontré que les inductances de la source causé de cette phénomène d'empiétement

## II. Redresseur triphasé commandé :

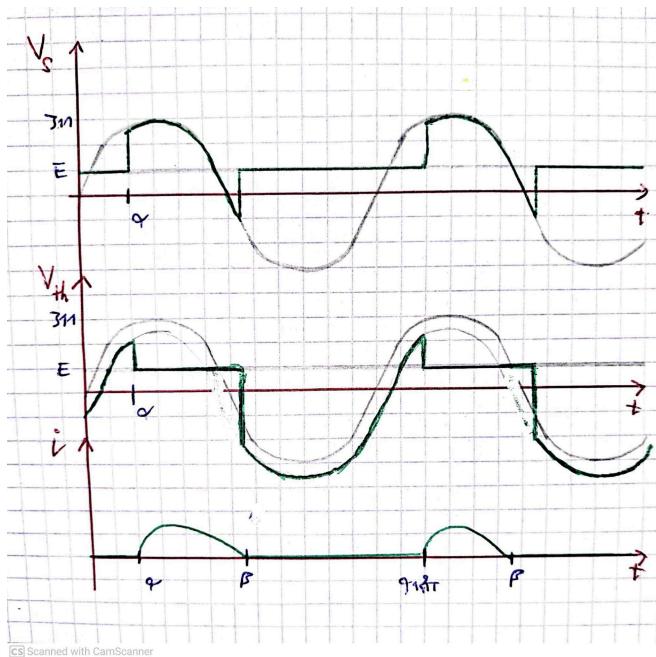
Dans cette partie on va étudier ce montage redresseur commandé aliment une charge contient: résistance R, inductance L et générateur de f.e.m E comme le figure ci dessous :



fonctionnant en régime permanent, où  $v(t)= 220\sqrt{2} \sin(t\omega)$  ,  $f = 50\text{Hz}$  et  $\omega = 2\pi f$  ,  $T = \text{SKT16/04}$ ,  $T_a = 50^\circ\text{C}$

### a. Etude Théorique :

Les formes d'onde de tension de sortie (au borne de la charge), tension a.c. de thyristore et le courant  $I_s$ , est à droite: Ce redresseur est composé d'un thyristor T. Le thyristor T amorcé lorsque  $V_1$  est supérieur à tension E. La charge est constituée d'un résistance R, d'un inductance L et d'un générateur de f.e.m. alors lorsque le thyristore s'amorce il ne reste passante jusqu'à l'annulation de courant.



-Pour déterminer l'intervalle de conduction, il faut comparer la tension d'alimentation avec la tension E, lorsque  $V(t) = 220\sqrt{2} \sin(\omega t) = E$  le thyristore commence à s'amorcer à l'angle  $\theta_1$ , jusqu'à l'angle  $\theta_2$ , alors:

$$V(t) = 220\sqrt{2} \sin(\theta_1) = E$$

$$\sin(\theta_1) = E / 220\sqrt{2}$$

$$\theta_1 = \arcsin(E / 220\sqrt{2})$$

prenant que: **E=100 V, L = 100mH, R = 50 ohm et  $\alpha = 60^\circ$**

$$\theta_1 = \arcsin(100 / 220\sqrt{2}) = 0.3272 \text{ rad} = 18.74^\circ$$

on peut déduire  $\theta_2$  par:  $\theta_2 = \theta_1 - 180^\circ = 18.74^\circ - 180^\circ = 161.25^\circ$

**Donc l'angle d'amorçage de thyristore est : [  $\theta_1 ; \theta_2$  ] = [  $18.74^\circ ; 161.25^\circ$  ]**

calculer de l'angle d'extinction, on a **E=100 V, L = 100mH, R = 50 ohm et  $\alpha = 60^\circ$** .

$$\varphi = \arctan(L\omega / R) = \arctan(2\pi * 50 * 0.1 / 50) = 32.14^\circ$$

$$\varphi = 32.14^\circ$$

$$a = E/U_{max} = 100 / 220\sqrt{2} = 0.3$$

$$a = 0.3$$

on utilise l'abaque de Puchlowski et on trouve que :  **$\beta = 210^\circ$**

**donc l'angle d'induction du thyristore est : [  $\theta_1 ; \beta$  ] = [  $18.74^\circ ; 210^\circ$  ]**

le thyristor ne s'arrête pas à l'angle  $\theta_2$ , il dépasse cette angle jusqu'à l'annulation de courant à l'angle  $\beta$ .

-Pour calculer la valeur moyenne de courant, en calcule d'abord la valeur moyenne de courant:

$$V_{smoy} = \frac{1}{T} \int_{\theta_1}^{\beta} 220\sqrt{2} \sin(t\omega) dt = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \int_{\theta_1}^{\beta} \sin(t\omega) dt = \frac{220\sqrt{2}}{2\pi} \cdot \frac{3.66}{0.32} = 89.97 \text{ V}$$

alors,  $V_{smoy} = 89.97 \text{ V}$

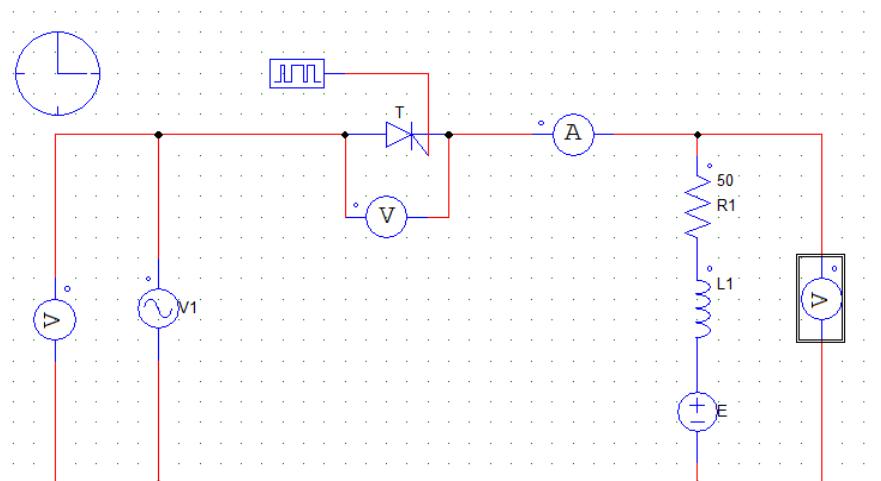
le courant moyenne est donnés par:

$$I_{moy} = \frac{V_{smoy} - E}{R} = \frac{89.97 - 100}{50} = -0.2 \text{ A}$$

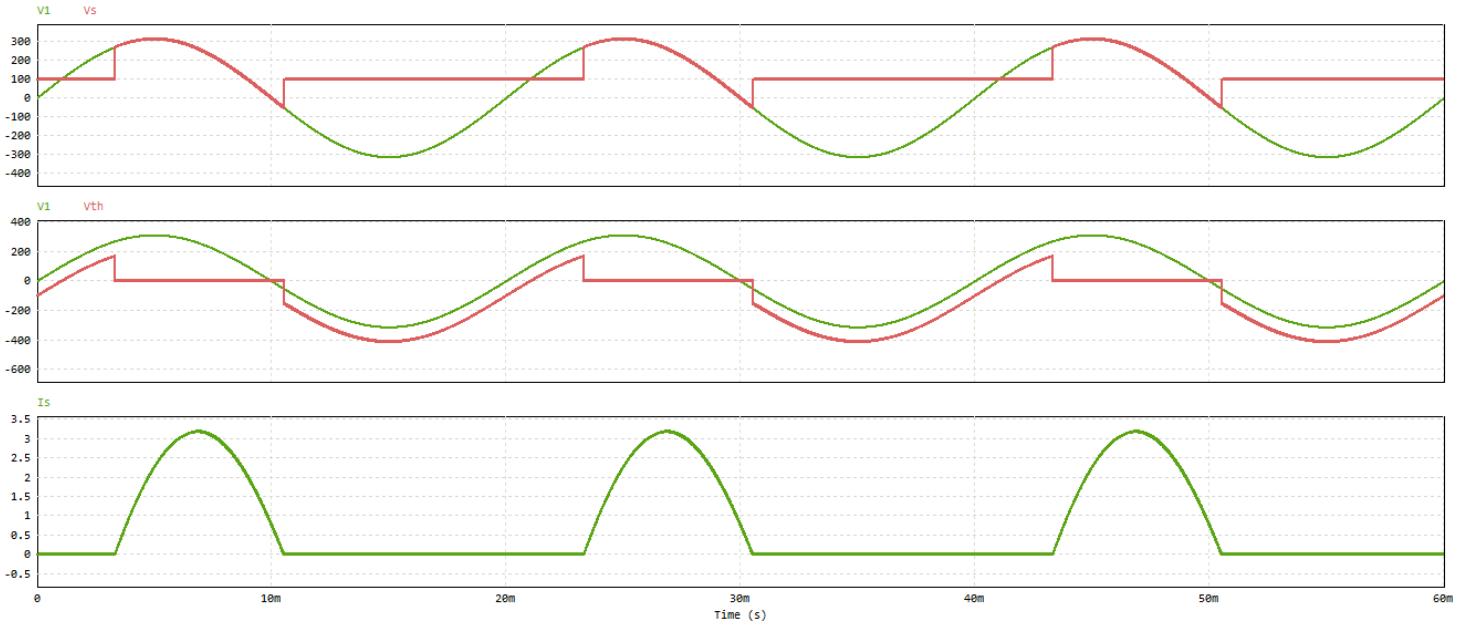
-Les condition qui doit satisfaire  $\alpha$  pour que le thyristore puise s'amorce, est l'angle  $\alpha$  doit être dans la zone d'amorçage  $[\theta_1 ; \beta] = [18.74^\circ ; 210^\circ]$  comme il est démontré précédemment.

### b. Etude Pratique :

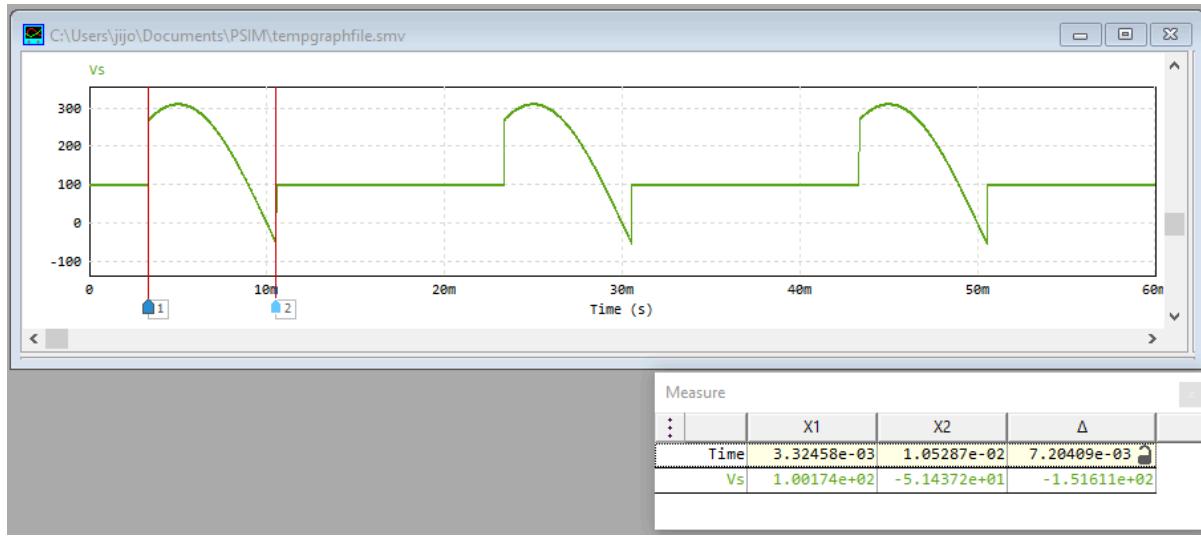
Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension suivante, prendrons les valeur suivant :  $R = 50 \text{ ohm}$ ,  $L = 100\text{mH}$ ,  $E = 100 \text{ V}$  et  $\alpha = 60^\circ$ ,



On prend les valeur suivant :  $R = 50 \text{ ohm}$  ,  $L = 100\text{mH}$  ,  $E = 100 \text{ V}$  et  $\alpha = 60^\circ$ , on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:



On peut calculer l'intervalle de conduction de thyristore, à l'aide de courbe de tension de sortie. lorsque la tension de sortie égale à la tension d'alimentation, comme le montage suivant:



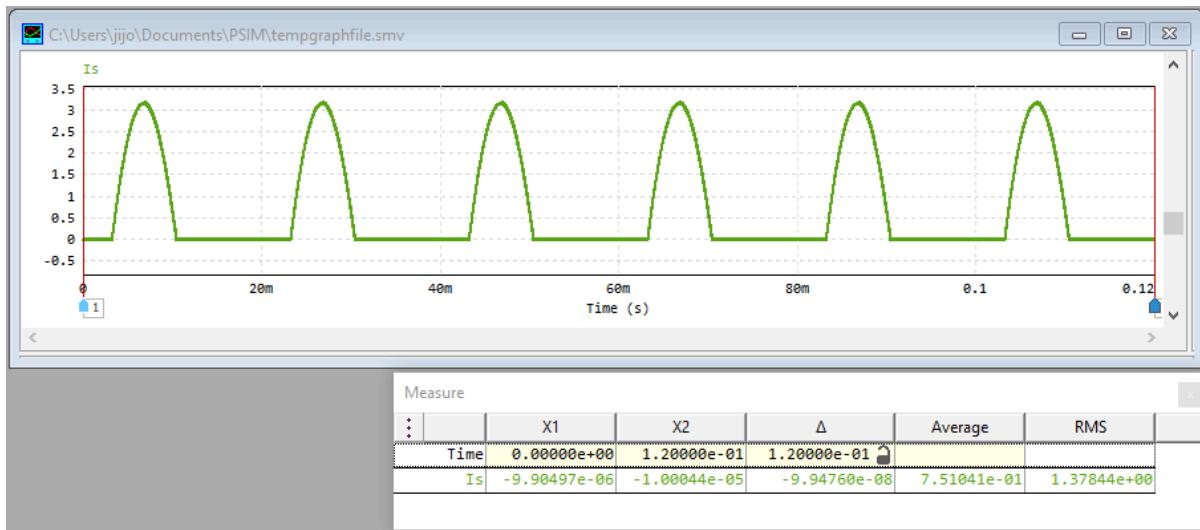
on visualiser que  $\Delta t = 7.20 \text{ ms}$  de l'intervalle de conduction dans un période est :

$$t_1 = 3.32 \text{ ms} \quad = 59.76^\circ$$

$$t_2 = 10.52 \text{ ms} \quad = 189.36^\circ$$

$$\text{alors, } [t_1 ; t_2] = [59.76^\circ ; 189.36^\circ]$$

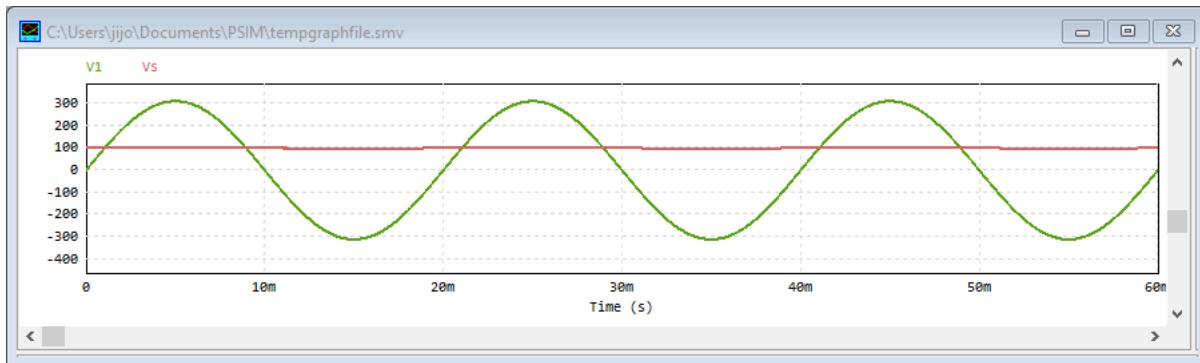
À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes de courant en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW:



la valeur moyenne de courant de sortie est :  $I_{smoy} = 0.751 \text{ A}$

la valeur efficace de courant de sortie est :  $I_s = 1.37 \text{ A}$

On change la valeur de angle d'amorçage  $\alpha = 200^\circ$ , dépasse  $180^\circ$ , et on lance la simulation et on obtient la courbe suivant:



En remarque la tension de sortie égale à  $E = 100 \text{ V}$ . Alors si on dépasse l'angle  $180^\circ$  le thyristore ne s'amorce pas.

### c. Avec Diode De Roue Libre:

Dans ce montage redresseur mono alternance la charge porte d'un générateur de f.e.m ce qui affecte sur la tension au borne de thyristore et Il est important de noter que la tension  $E$  change l'intervalle d'amorçage de thyristore, si il ne pas de ce générateur  $E$

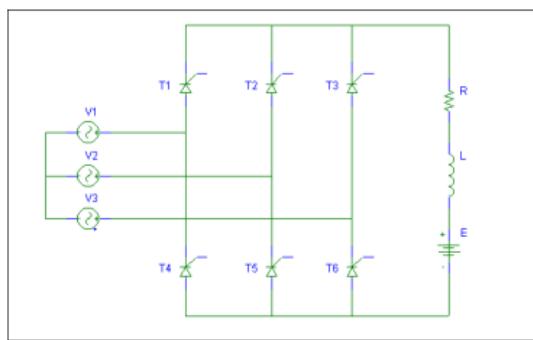
l'intervalle d'amorçage sera de  $0^\circ$  à  $180^\circ$ , mais la présence de f.e.m E l'intervalle réduite, plus que la tension E plus grand plus qu'il réduite.

Normalement lors de la fin de l'intervalle de l'amorçage le thyristore doit se bloquer, mais le thyristore reste conduit jusqu'à l'angle d'excitation  $\beta$ . Ces résultats peuvent être expliqués par les caractéristique physique de l'inductance, notons que l'inductance est emmagasiner l'énergie se forme d'un courant électrique, ce qui signifie que le courant reste circuler même si la tension au borne de thyristore est négative. alors le courant reste conduit jusqu'à qu' à il s'annule, après que le thyristore se bloque. il y plusieurs éléments affectant la durée de circulation de ce courant, alors la plus l'inductance est grande plus que l'angle d'excitation  $\beta$  saura grande.

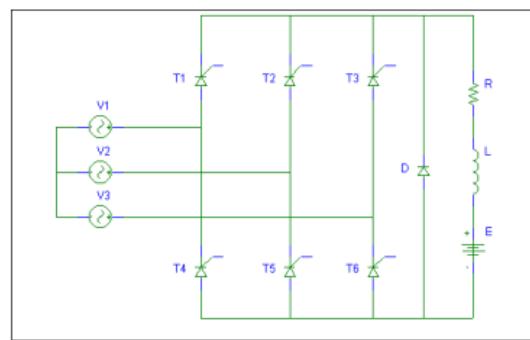
l'angle d'amorçage  $\alpha$  de le thyristore ne doit être pas dépasser  $180^\circ$ , si non la tension de sortie sora null  $V_s = 0$ , car lors de l'envoie de l'impulsion au thyristor, il doit être amorces positive, et si en dépasse  $180^\circ$  la tension devient négative. c-à-d la thyristore reste bloquée.

### III. Redresseur triphasé commandé :

Dans cette partie on va étudier ce montage redresseur triphasé en premier lieu nous avons étudié ce redresseur sans diode de roue libre, puis on ajoute la diode de roue libre. le circuit aliment une charge contient: résistance R, inductance L et générateur de f.e.m E comme le figure ci dessous:



**Fig. 1**



**Fig. 2**

Tellque :  $f = 50\text{Hz}$  et  $\omega = 2\pi f$ . Thyristors SKT 16/04,  $r_{To} = 20\text{m ohm}$ ,  $V_{To} = 1\text{V}$  et  $V1(t) = 110\sqrt{2}\sin(\omega t)$ ,  $V2(t) = 110\sqrt{2}\sin(\omega t - 120^\circ)$  et  $V3(t) = 110\sqrt{2}\sin(\omega t + 120^\circ)$ .  $E = -70\text{V}$ ,  $L = 100\text{mH}$ ,  $R = 10 \text{ ohm}$  et  $\alpha = 45^\circ$ .

### a. Etude Théorique :

Ce redresseur est composé de 6 thyristors. Les thyristors T1, T3 et T5 sont amorcés pendant l'alternance positive des tensions v1, v2 et v3. Les thyristors T2, T4 et T6 sont amorcés pendant l'alternance négative. La référence des angles d'amorçage est toujours l'angle d'amorçage naturel. La charge est constituée d'un résistance R, d'un inductance L et d'un générateur de f.e.m.

Le réseau d'alimentation est :

$$V1(t) = 110\sqrt{2} \sin(\omega t)$$

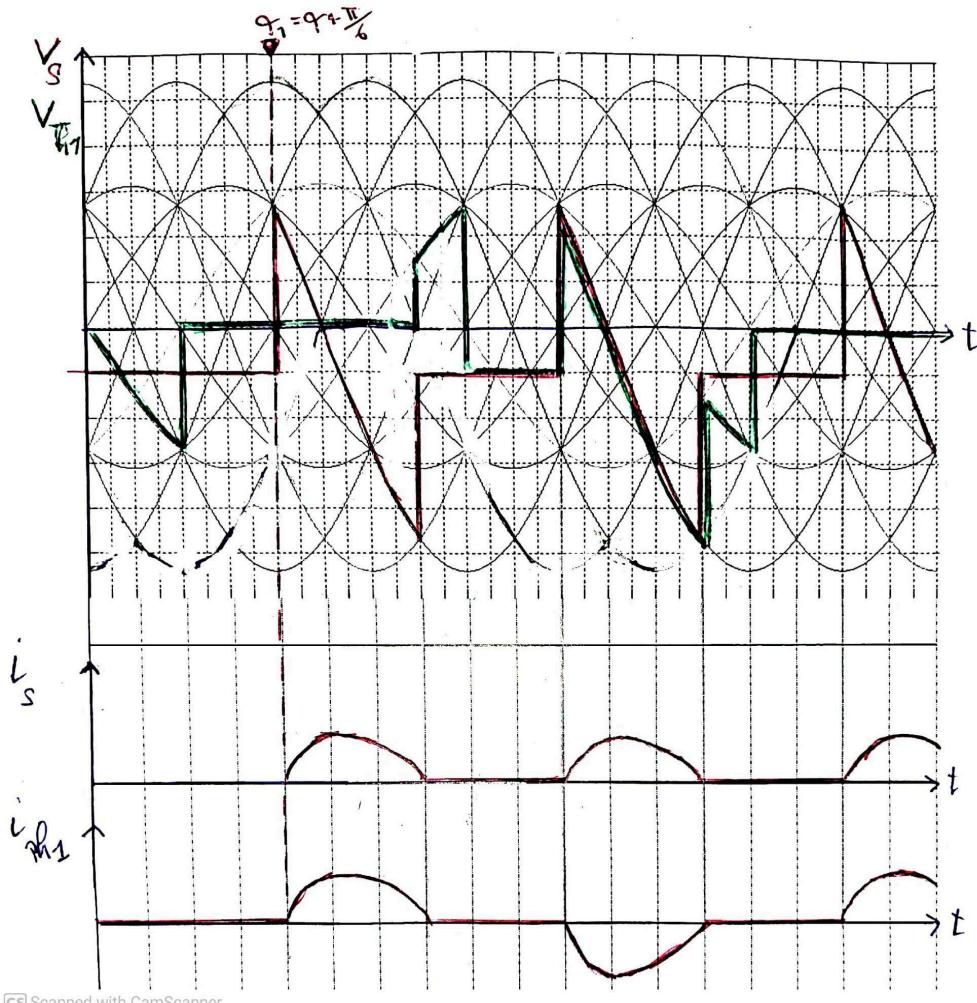
$$V2(\omega t) = 110\sqrt{2} \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$V3(\omega t) = 110\sqrt{2} \sin(\omega t + 120^\circ)$$

Le retard à l'amorçage est  $\alpha$  : on détermine la tension  $V_a$  pour cette valeur d'angle d'amorçage ensuite, on détermine la tension  $V_b$  pour la même valeur de l'angle de commande. Il est alors possible de déterminer les grandeurs caractéristiques de ce redresseur. En opérant par intervalles successifs, on obtient le tableau suivante :

intervalle	Thyristor conduct	Tension de sortie $V_s$	Tension au bornes de T1	comant $i_{T1}$	comant $i_1$
$\alpha + \frac{\pi}{6} ; \alpha + \frac{2\pi}{3}$	$T_1, T_4$	$V_1 - V_2 = U_{12}$	0	$I_0$	$I_0$
$\alpha + \frac{\pi}{3} ; \alpha + \frac{5\pi}{6}$	$T_1, T_6$	$V_1 - V_3 = U_{13}$	0	$I_0$	$I_0$
$\alpha + \frac{5\pi}{6} ; \alpha + \frac{7\pi}{6}$	$T_3, T_6$	$V_2 - V_3 = U_{23}$	$V_1 - V_3$	0	0
$\alpha + \frac{7\pi}{6} ; \alpha + \frac{11\pi}{6}$	$T_3, T_2$	$V_2 - V_1 = U_{21}$	$V_1 - V_2$	0	$-I_0$
$\alpha + \frac{11\pi}{6} ; \alpha + \frac{17\pi}{6}$	$T_5, T_6$	$V_3 - V_1 = U_{31}$	$V_1 - V_3$	0	$-I_0$
$\alpha + \frac{17\pi}{6} ; \alpha + \frac{19\pi}{6}$	$T_5, T_4$	$V_3 - V_2 = U_{32}$	$V_1 - V_2$	0	0

Formes d'ondes des différentes grandeurs:



Il doit être vérifier que à l'angle "α" le thyristor peut être amorcé, le thyristore s'amorce lorsque  $U_{12} > E$ , alors on a :

$$U_{12} = 110\sqrt{3}\sqrt{2} \sin(\alpha_1 + 30^\circ) > E = -70 \text{ V} \quad \text{avec } \alpha_1 = \alpha + 30^\circ$$

$$110\sqrt{3}\sqrt{2} \sin(\alpha + 60^\circ) > -70$$

$$\sin(\alpha + 60^\circ) > -70 / 110\sqrt{3}\sqrt{2}$$

$$\sin(\alpha + 60^\circ) > -0.2597$$

$$\alpha > \arcsin(-0.2597) - 60^\circ = 45^\circ$$

**α > 45°** pour que le thyristore s'amorce

calculer de l'angle d'extinction, en suppose que  $\alpha = 45^\circ$ ,  $E = -70V$ ,  $L = 100mH$ ,  $R = 10$  ohm.

$$\varphi = \arctan(L\omega / R) = \arctan(2\pi * 50 * 0.1 / 10) = 72.34^\circ$$

**φ = 72.34°**

$$a = E/U_{max} = 0.2$$

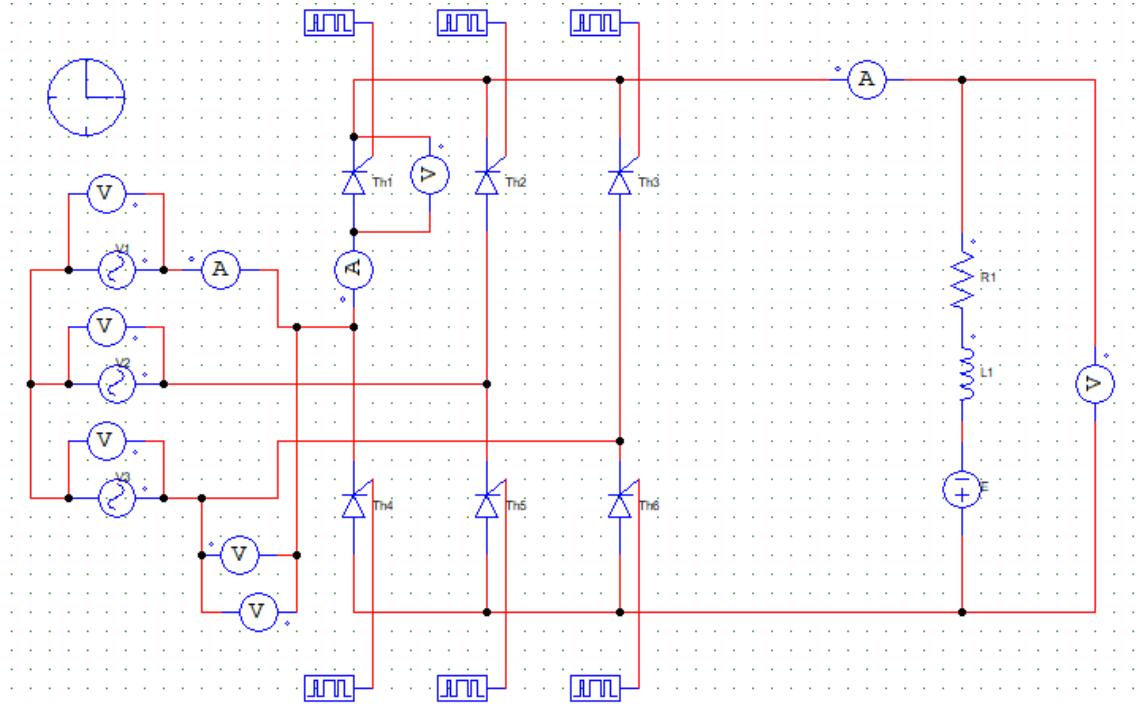
$$\mathbf{a = 0.2}$$

on utilise l'abaque de Puchlowski et on trouve que :  $\beta = 235^\circ$   
puisque'on a  $180^\circ < \beta < 360^\circ$ , alors la conduction est continue

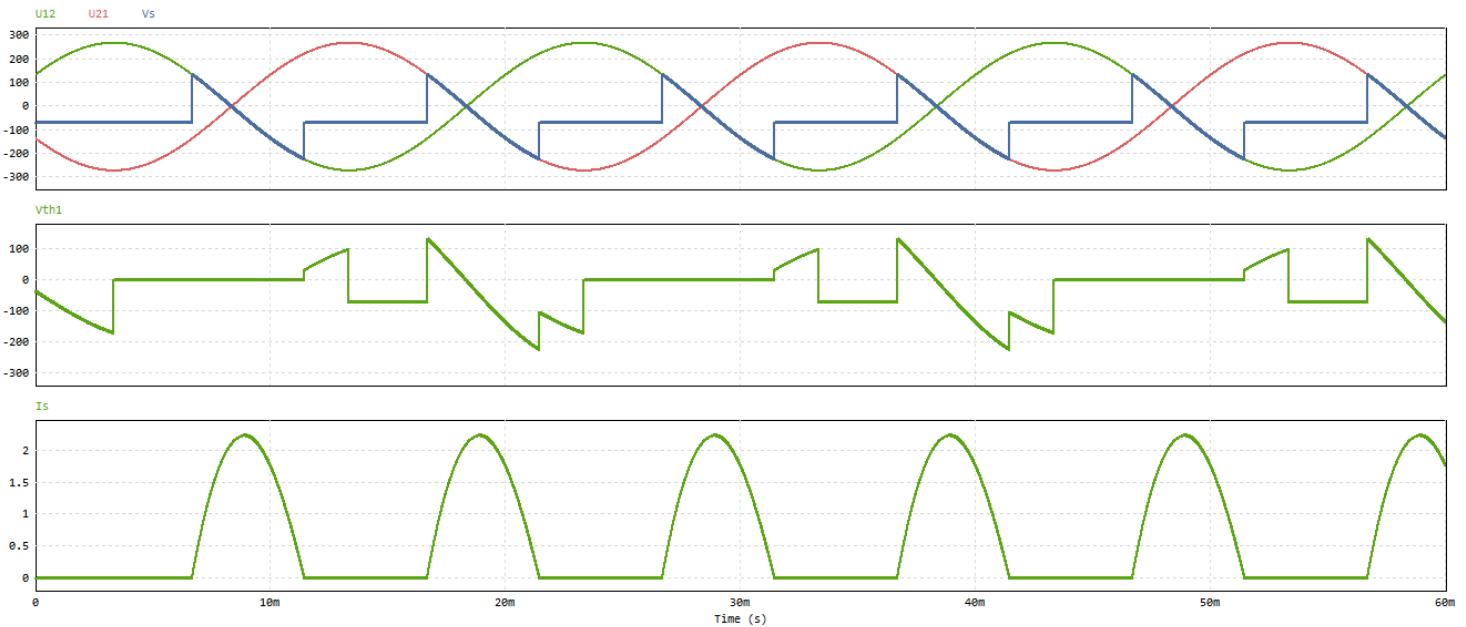
b. Etude Pratique :

❖ sans diode de roue libre:

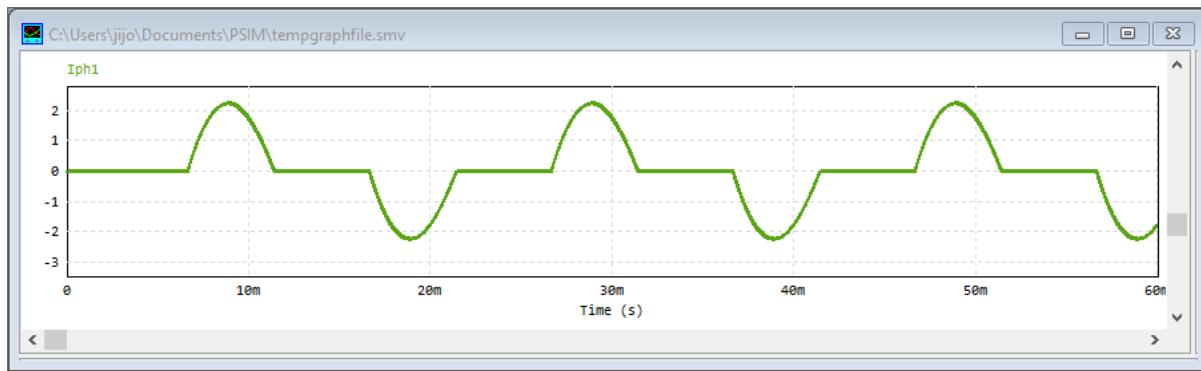
Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance et d'inductance, comme le circuit suivante:



On fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:

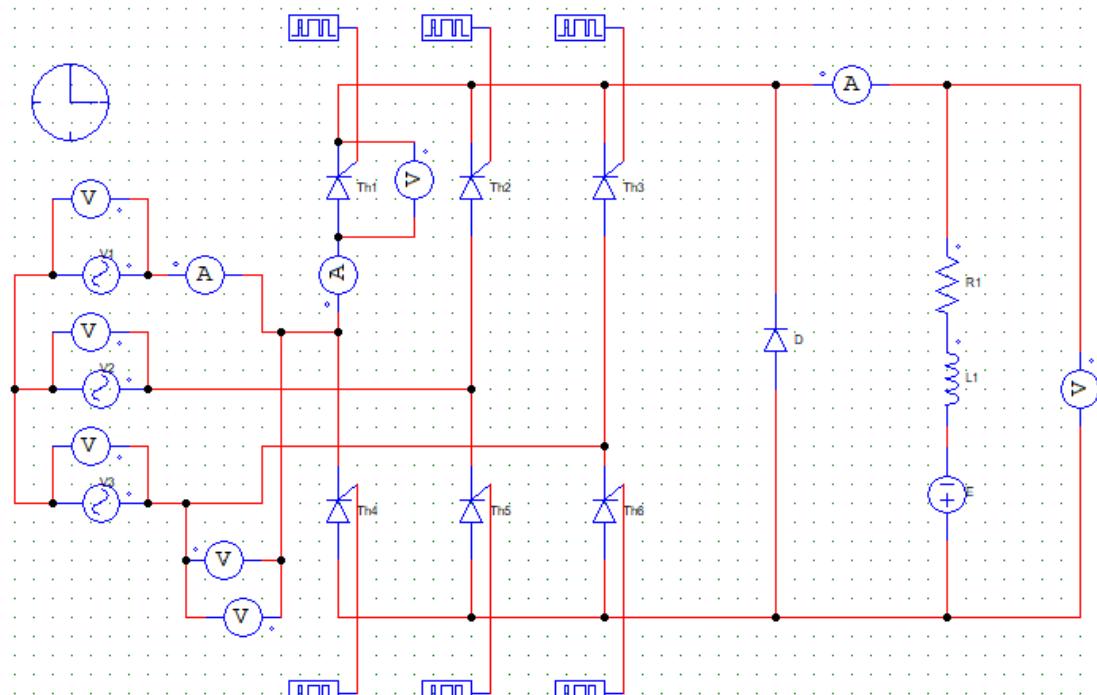


courbe du courant dans la phase 1 (Iph1):

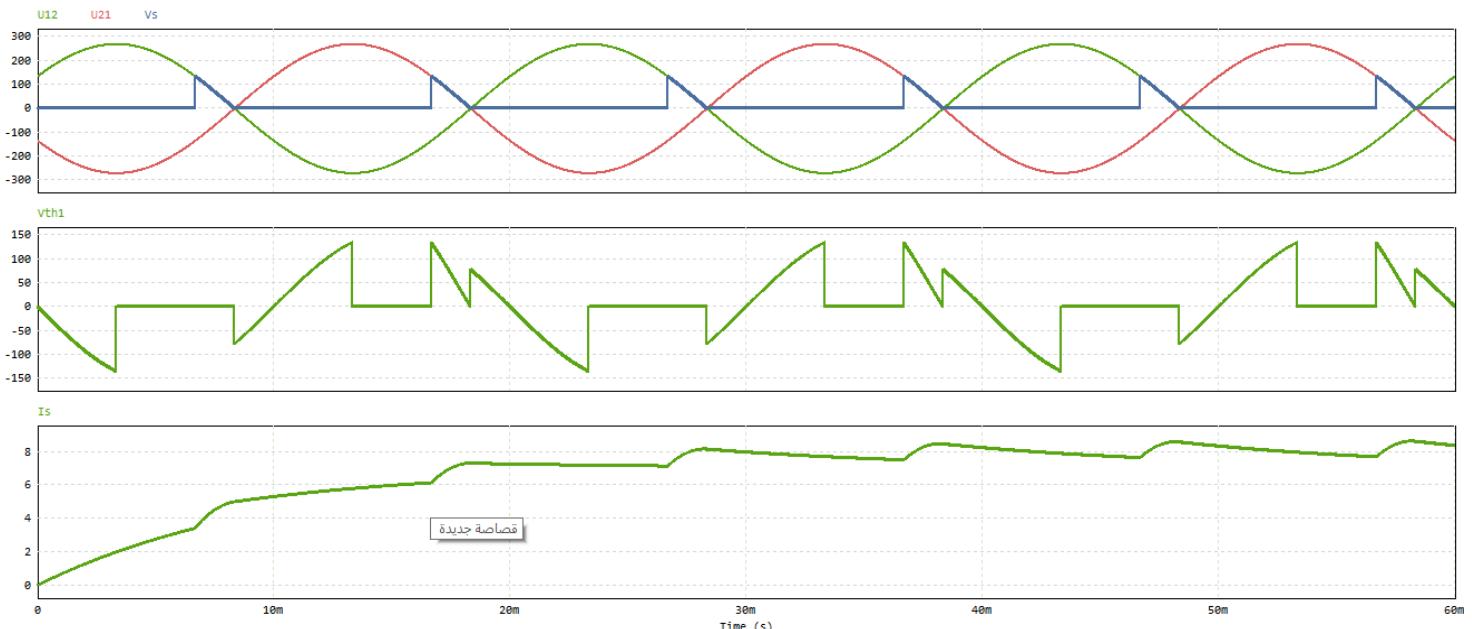


❖ avec diode de **roue libre** :

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance et d'inductance, comme le circuit suivante:



D'après la lancement de la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:



On remarque que la partie négative de la courbe de tension du sortie est annulée par la diode de roue libre, aussi le courant de sortie devient quasiment continu.

courbe du courant dans la phase 1 (Iph1):



c. interpretation des resultat :

Dans la premier circuit (sans diode de roue libre), en voir que la tension de sortie Vs commence à conduire jusqu'à l'annulation de courant à cause de l'énergie emmagasinée dans l'inductance so forme d'une courant électrique qui commence à circuler jusqu'à l'annulation de ce dernier à l'angle  $\beta = 288^\circ$  l'angle d'extinction. Cela nous pose un problème et que la tension moyenne de sortie est presque nulle, ou bien négative.

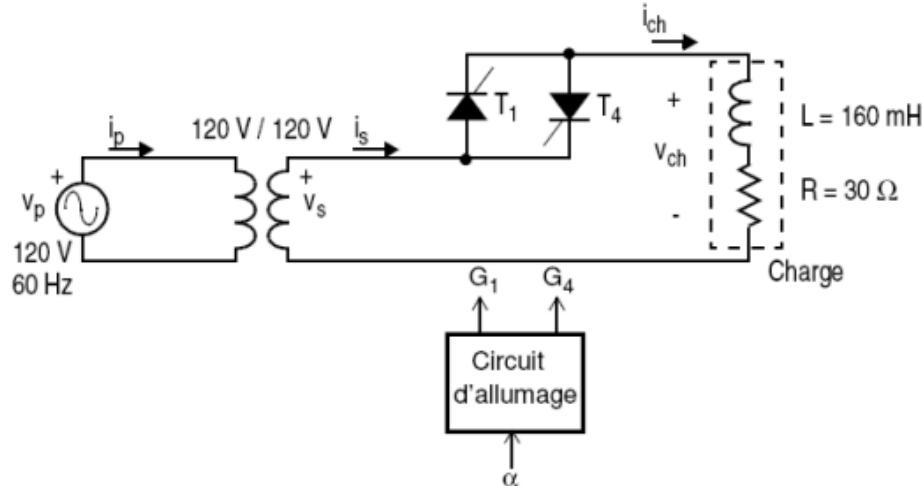
Dans le deuxième circuit (avec diode de roue libre), on remarque que la tension de sortie s'annule à  $150^\circ$ . Ces résultats peuvent être expliqués par : lorsqu'on  $\omega t = 150^\circ$ , la bobine va devenir génératrice, ce qui va permettre de rendre la diode de roue libre (D2) passante, et le courant Is va alors circuler dans la diode de roue libre. La continuité de courant Il va donc éliminer la surtension présente sans diode de roue libre, et cette diode va aussi imposer une tension null court circuit (dans cas idéal) aux bornes de la bobine, c-à-d  $V_s = 0$ . mais la tension efficace de sortie il démunir, par contre la problème de tension moyenne est résolu. aussi le courant de sortie devient quasiment continu car la diode de roue permet au courant de circuler.

Ce montage (avec diode de roue libre) a permis de corriger le problème survenant avec une charge de type inductif. De plus, la valeur moyenne de la tension de sortie est supérieure. Cependant, la valeur effective du courant traversant la charge est inférieure au cas sans diode de roue libre.

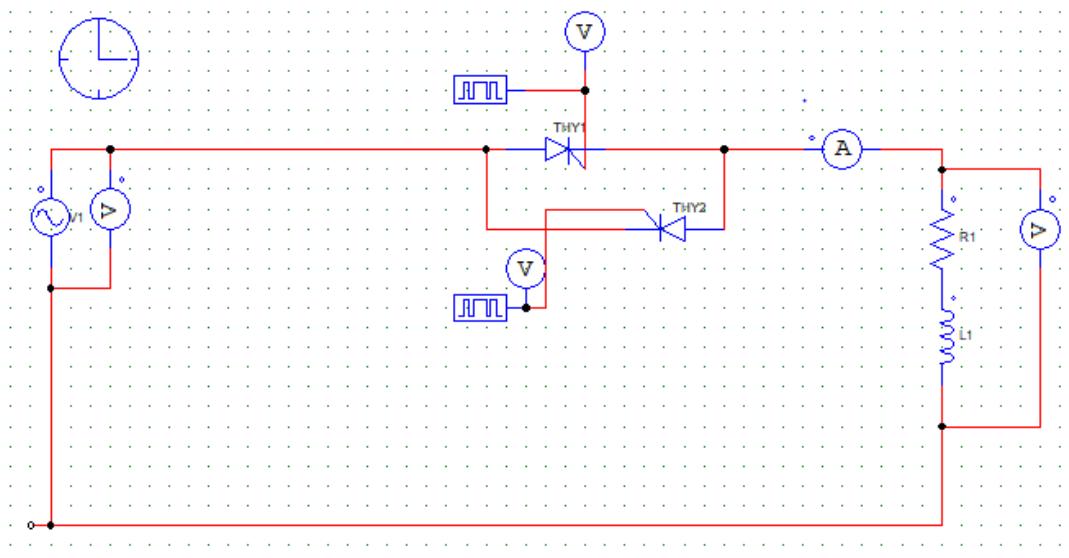
## TP2

### Étude des gradateurs avec le logiciel PSIM

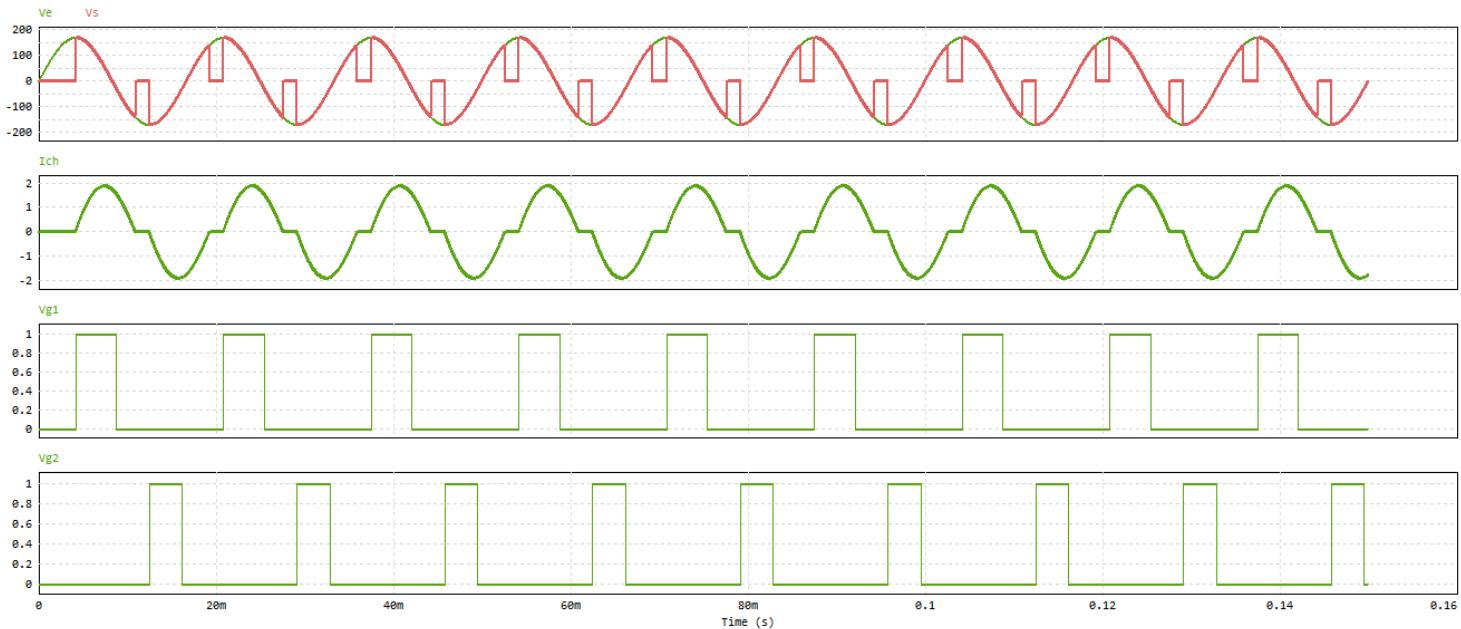
Dans cette partie on va étudier ce montage ci dessous, en premier lieu nous avons étudié ce gradateur avec une charge inductive, simuler les grandeurs tension et courant. puis on a changé l'angle d'amorçage à plusieurs valeurs, et on traite les résultats obtenus.



Nous avons utilisé PSIM, pour initier le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivant:



On fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, on prend  $\alpha = 90^\circ$  et on obtient les courbes suivante:



❖ Détermination l'angle d'amorçage  $\alpha_{min}$  :

Pour déterminer l'angle d'amorçage, il faut calculer d'abord l'angle d'extinction et comparer l'angle d'amorçage. telle que :  $R = 30 \text{ ohm}$ ,  $L = 160 \text{ mH}$ ,  $f = 60 \text{ Hz}$

$$\varphi = \arctan(L\omega / R) = \arctan(2\pi \cdot 60 \cdot 0.16 / 30) = 63.5^\circ$$

$$\varphi = 63.5^\circ$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} = 30.98 \text{ ohm}$$

$$Z = 30.98 \text{ ohm}$$

si on prend l'angle d'amorçage  $\alpha = 90^\circ$

on utilise l'abaque de Puchlowski et on trouve que :  $\beta = 235^\circ$

Enfin pour que le montage fonctionne comme gradateur il faut que  $\beta < \alpha + 180^\circ$ . ce qui signifie que l'angle d'amorçage doit être inférieur à l'angle  $\varphi$  :

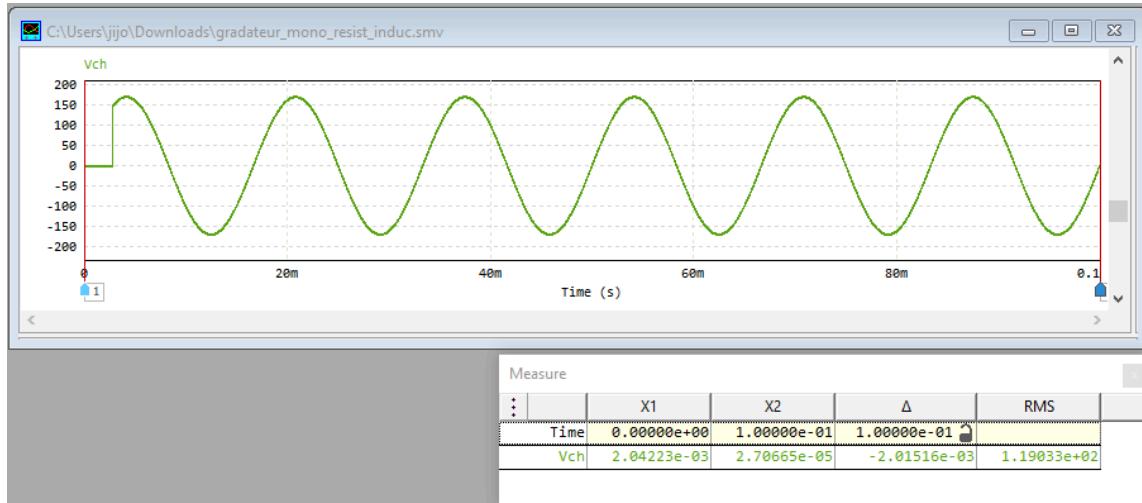
$\alpha > \varphi$ , alors  $\alpha > 63.5^\circ$

Dans l'angle d'amorçage minimal est :  $\alpha_{min} = 63.5^\circ$

- ❖ Mesure de la valeur efficace de la tension vch pour  $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ :

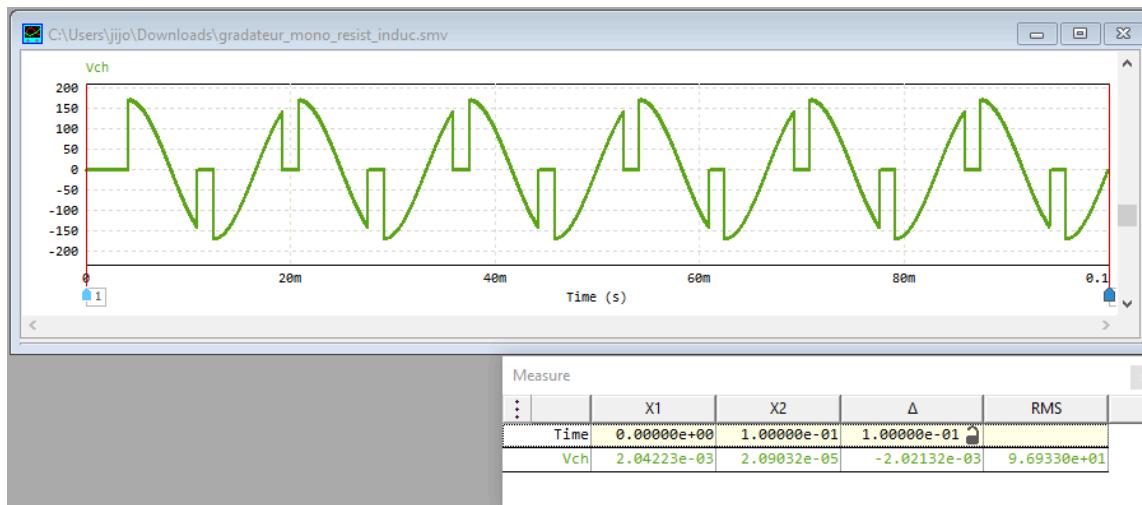
On fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, pour  $\alpha = 90^\circ$ . À l'aide de SIMVIEW, on peut calculer les valeurs moyennes et efficaces des tensions et des courants en utilisant les outils de calcul disponibles sur la barre située en dessous de SIMVIEW:

Pour l'angle  $\alpha = 60^\circ$ , on obtient :



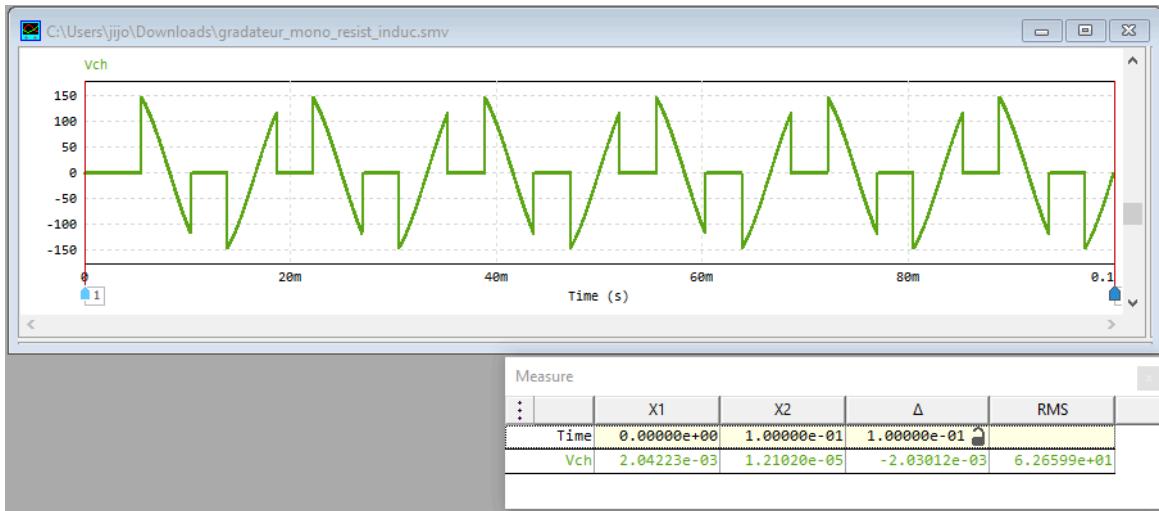
- valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 119.03 \text{ V}$

Pour l'angle  $\alpha = 90^\circ$ , on obtient :



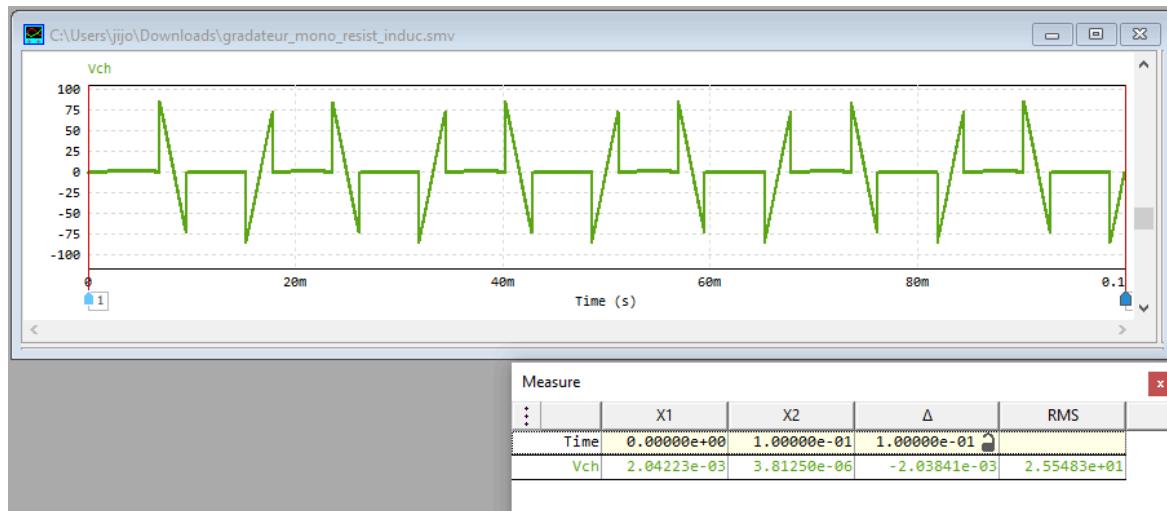
- valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 96.93 \text{ V}$

pour l'angle  $\alpha = 120^\circ$ , on obtient :



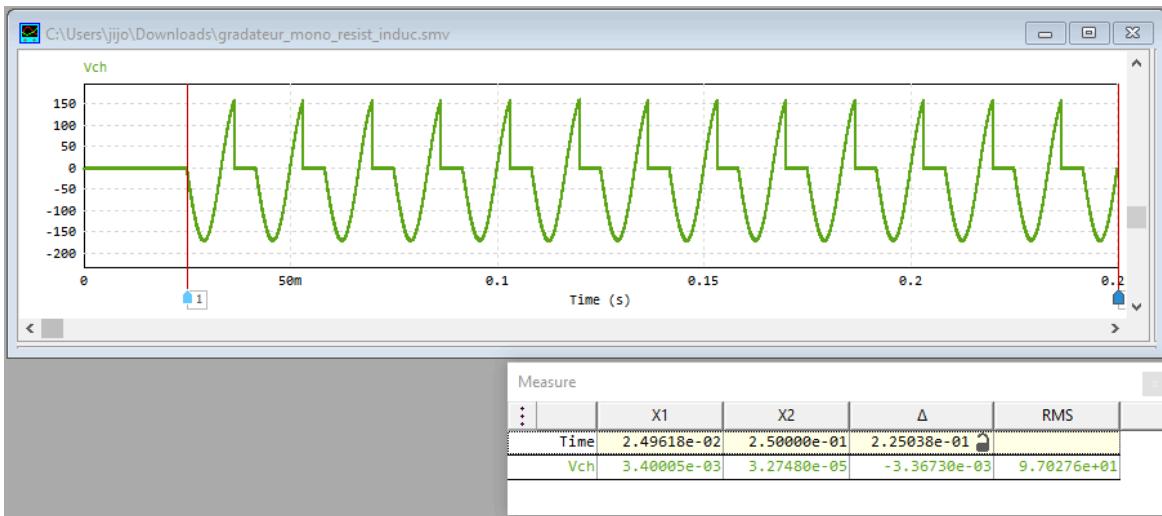
- valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 62.65 \text{ V}$

Pour l'angle  $\alpha = 150^\circ$ , on obtient :



- valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 25.54 \text{ V}$

Pour l'angle  $\alpha = 180^\circ$ , on obtient :



- valeur efficace de tension de sortie:  $V_s = 97.02 \text{ V}$
- ❖ Interpretation des resultat :

Ce montage de gradateur est alimenté une charge inductive, comme on a vu dans le cours, le thyristore commence à conduire jusqu'à l'annulation de courant qui est emmagasinée dans la bobine, alors l'angle d'extinction doit être inférieur à  $\alpha+180^\circ$ , sinon lors de l'envoi de l'impulsion de deuxième thyristore, la première thyristore aura en conduction, ce qui fait que la deuxième thyristore ne voit pas l'impulsion, ce qui donne enfin une tension redressée au sortir. Bien sûr si on commande par train d'impulsion, c-à-d en force la conduction de deuxième thyristore, il donne une tension égale à tension d'alimentation.

lors des essais de changement de l'angle d'amorçage  $\alpha$ , en conclure que si l'angle d'amorçage dépasse  **$\alpha_{\min} = 63.5^\circ$** , comme le cas de  $60^\circ$ , la tension de sortie égale la tension d'entrée car nous allons utiliser la commande similaire de taine d'impulsion. Ce qui montre que notre calcul est vrai.

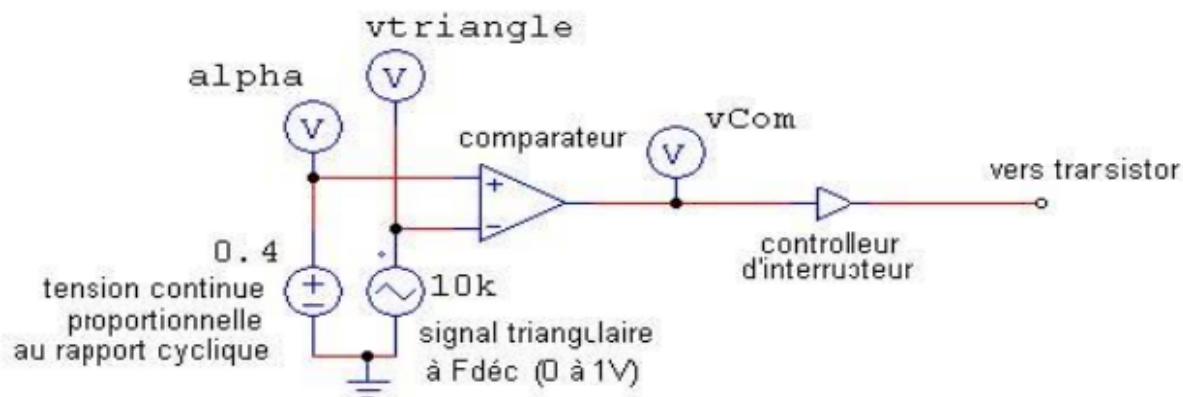
aussi en remarqué que lorsque l'angle d'amorçage dépasse  $180^\circ$ , il donne une tension redressée, on peut expliquer ça par le fait de dépasser  $180^\circ$  le thyristore saura polariser négative, c-à-d même si tu l'envoies une impulsion il ne conduit pas.

Enfin, en voir que si l'angle d'amorçage augmente la valeur efficace de tension diminue, on peut noter que si l'angle  $\alpha$  augmente l'intervalle de conduction démine, bien sur si l'intervalle de conduction diminue l'air de tension en fonction de temps démine aussi, c-à-d la valeur efficace diminue.

## TP3

### Étude de hacheurs avec le logiciel PSIM

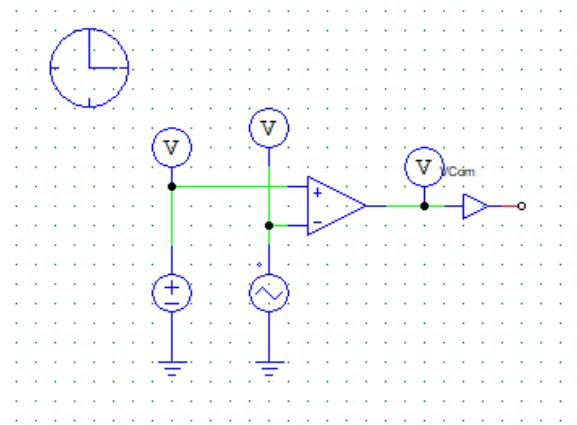
Le fonctionnement du circuit de commande du transistor de puissance sera simulé au moyen d'un schéma inspiré de l'illustration ci-dessous. Le signal de commande est généré en comparant un signal triangulaire, oscillant entre 0 et +1V à la fréquence de découpage, avec une tension continue représentant le rapport cyclique de commande souhaité, noté  $\alpha$ . La sortie du comparateur prend des valeurs définies.



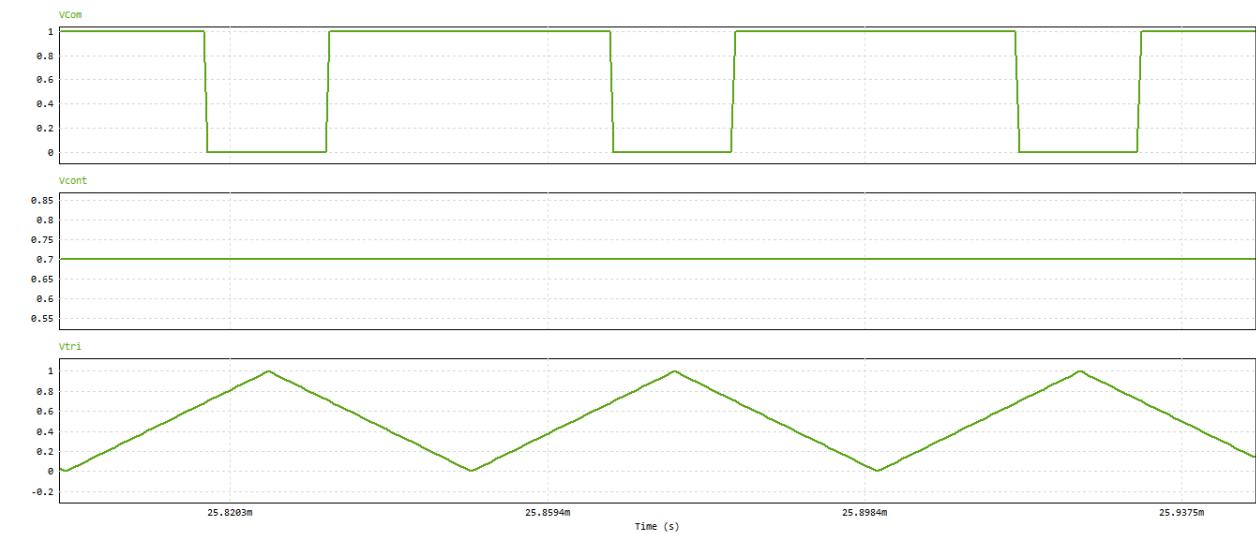
La simulation de ce circuit de commande sera effectuée en variant les valeurs du rapport cyclique et en ajustant les fréquences de découpage. Ensuite, ce circuit sera appliqué aux différents hacheurs étudiés.

## 1. Circuit de commande pour hacheur :

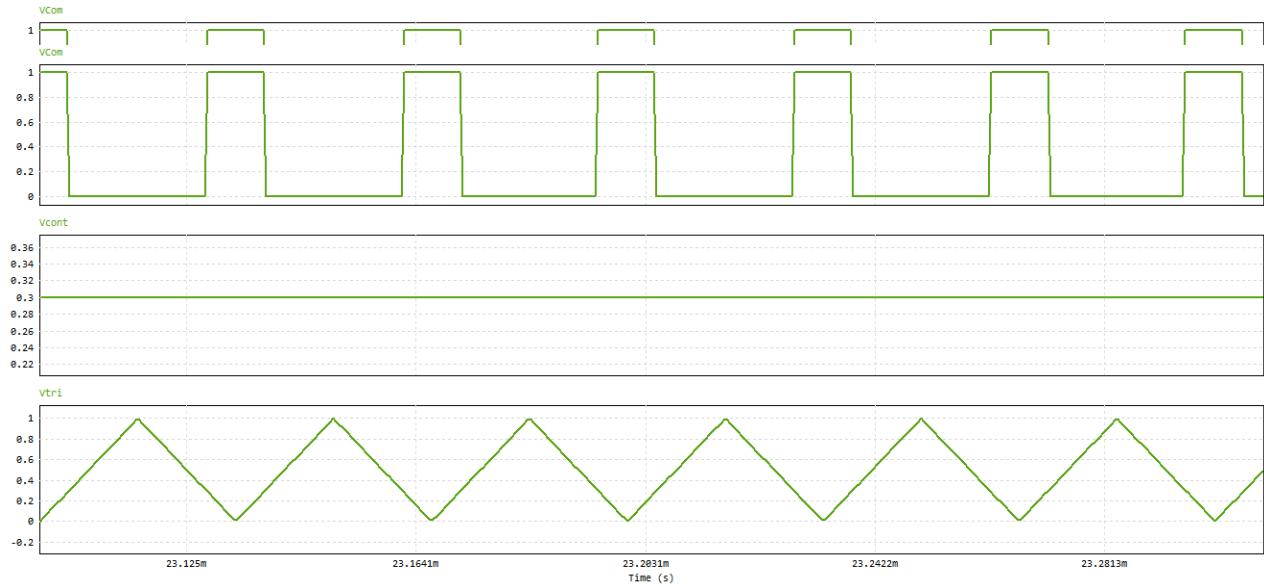
Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivant:



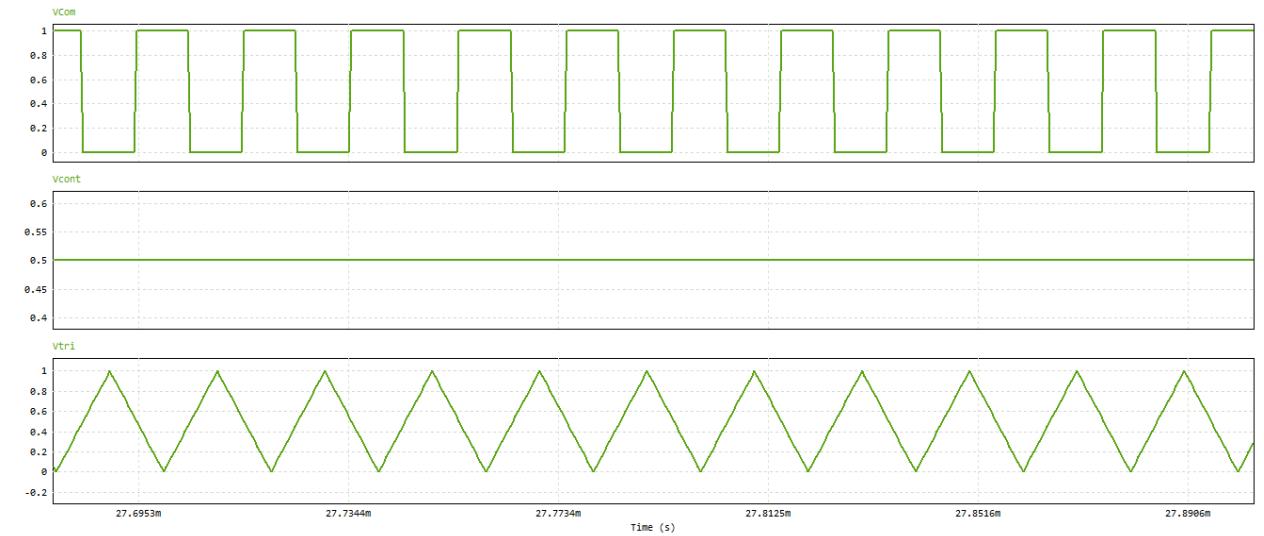
on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:



courbe de duty cycle de 0.3 fréquence de 20KHz :

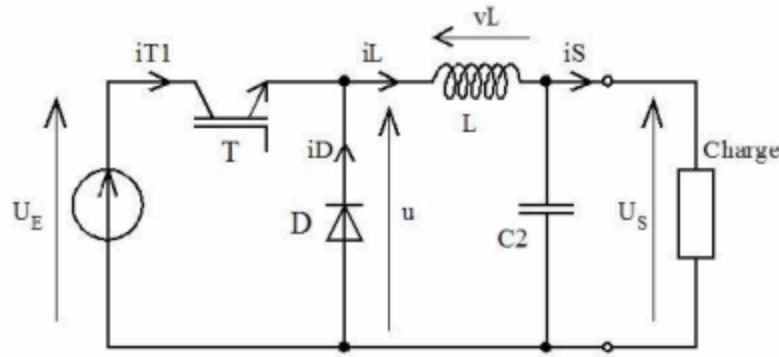


courbe de duty cycle de 0.5 fréquence de 50Khz :



## 2. Hacheur série avec filtre de sortie LC :

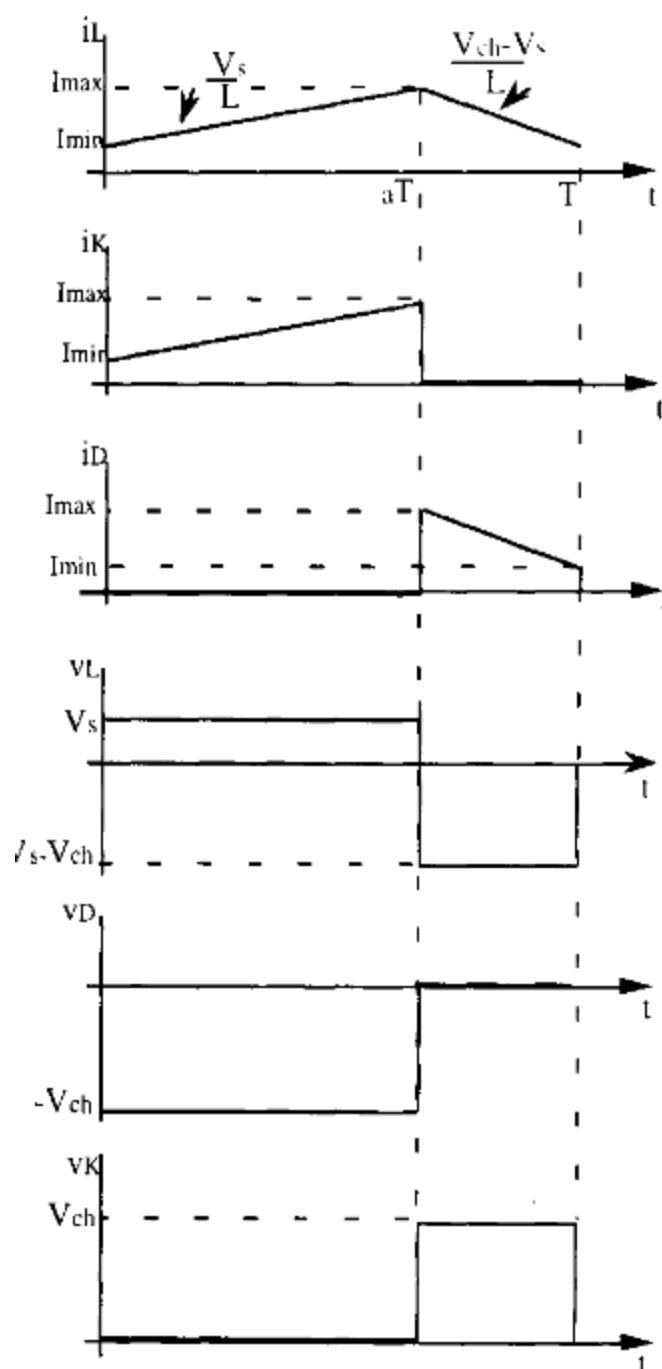
Dans cette partie on va étudier ce montage ci dessous, un hacheur qui alimente une charge absorbe un courant 50A, Ondulations de tension de sortie maximale : 1V crête à crête.



Tension d'entrée  $U_E = +100V$ , Tension de sortie  $U_S = +30V$  Fréquence de découpage  $F_{dec} = 20kHz$  Inductance  $L$  choisie pour que l'ondulation de courant crête à crête soit limitée à 30% du courant de sortie moyen  $I_S$ .

### 1. Etude Théorique :

L'interrupteur électronique  $T$  est commandé par un signal périodique de commande de période fréquence de découpage ,de rapport cyclique  $\alpha = U_S/U_E$  (durée de fermeture sur la période), élaboré physiquement par un circuit électronique isolé du hacheur.



Comme on est dans le mode continu :

La tension moyenne à la charge est donnée par :  $V_s = D \cdot U_e$

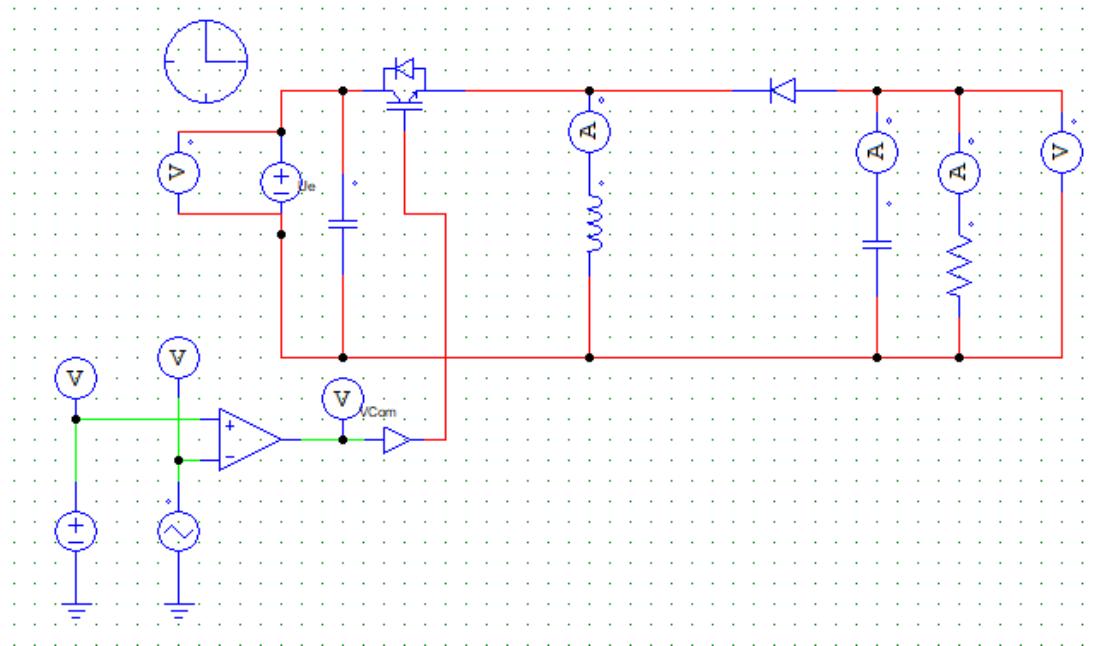
le rapport cyclique donc est  $D = 100/30 = 0.3$

la valeur de l'inductance est calculé par :  $L = (Us*(Ue-Us)) / Deltall*Fs*Ue = 70\mu H$

La valeur de condensateur de sortie est calculé par :  $C = Us*D / DeltaUs*Fs = 75\mu F$

## 2. Etude Pratique :

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivant:

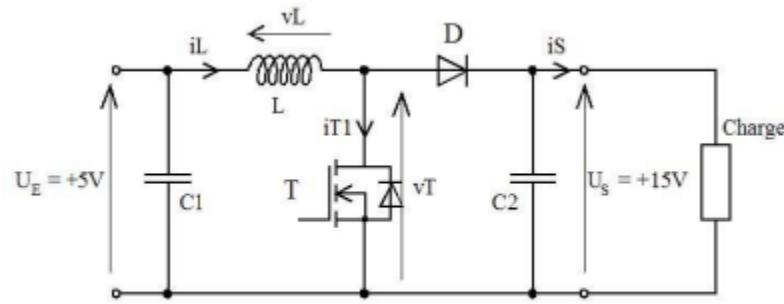


On prendre les valeur suivant :  $R = 0.6 \text{ ohm}$  ,  $L = 70\mu H$  ,  $C= 100 \mu F$  ,  $E = 100 \text{ V}$ , et **duty cycle = 0.3** on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:

## 3. Hacheur parallèle pour créer une tension d'alimentation auxiliaire de +15V à partir de l'alimentation +5V :

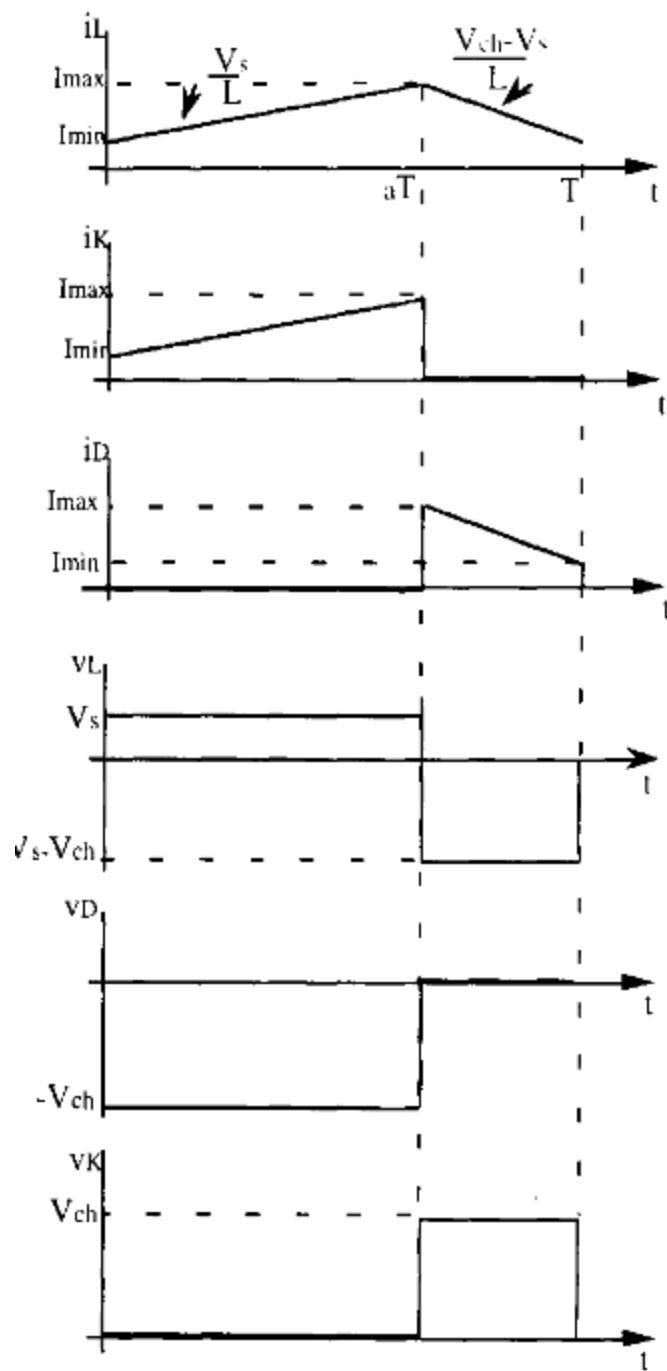
Dans cette partie on va étudier ce montage ci dessous, un hacheur qui alimente une charge qui absorbe un courant 2A, Tension d'entrée  $UE = +5V$  , Tension de sortie  $US =$

+15V Fréquence de découpage  $f_{dec} = 100$  kHz Inductance  $L$  choisie pour que l'ondulation de courant crête à crête soit limitée à 30% du courant d'entrée moyen  $I_E$ .



### a. Etude Théorique :

Comme on peut regarder sur le schéma Lorsque le transistor est fermé, la diode est polarisée en inverse; la charge est donc isolée de la source. La source fournit de l'énergie à l'inductance  $L$ . · Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'étage de sortie ( $C+$  charge) reçoit de l'énergie de la source et de l'inductance



Comme on est dans le mode continu :

le rapport des tensions en fonction de rapport cyclique est égale à :  $V_s/U_e = D^*/(1-D)$

le rapport cyclique donc est  $D=1-V_s/U_e = 1-15/5=0.666$

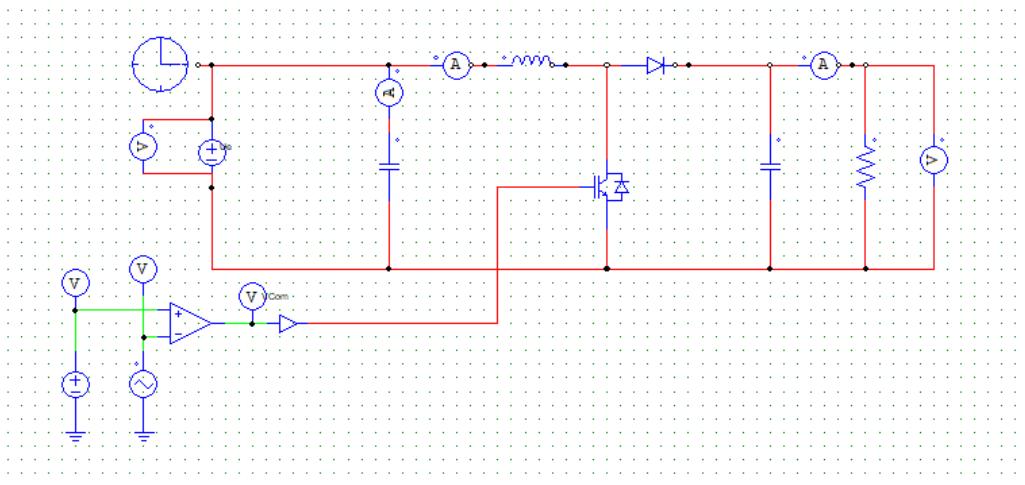
la valeur de l'inductance est calculé par :  $L = (U_e * (U_s - U_e)) / \Delta I L * F_s * U_s = 18.5 \mu H$

La valeur de condensateur de sortie est calculé par :  $C = U_s * D / \Delta U_s * F_s = 13.3 \mu F$

Et pour stabiliser la tension d'entrée on ajoute un condensateur selon les fluctuations de la tension d'entre, dans notre cas de simulation la tension est parfaite et pourtant on a ajouté un capa de  $10 \mu F$ .

### b. Etude Pratique :

Nous avons utilisé PSIM, ont initié le processus en plaçant les composants nécessaires tels que les sources de tension, les résistances et les éléments actifs sur la zone de travail virtuelle. Ensuite, nous avons interconnecté ces composants en utilisant les outils de liaison disponibles, en veillant à respecter les connexions électriques appropriées. La définition des paramètres spécifiques de chaque composant, tels que les valeurs de résistance ou de tension, comme le circuit suivant:



On prendre les valeur suivant : **R = 0.6 ohm** , **L = 18.5uH** , **Cout= 13.3 uF**, **Cin = 50 uF**, **E = 5 V**, **duty cycle = 0.668** on fait lancer la simulation dans PSIM en activant la commande dédiée, et on obtient les courbes suivante:

