

SIMULATION

LES REDRESSEURS A ABSORPTION SINUSOÏDALE DE COURANT EN MOYENNE PUISSANCE

LES OBJECTIFS : simuler et comparer les résultats de différentes stratégies de commande d'un redresseur/onduleur à absorption sinusoïdale de courant.

utiliser un logiciel de simulation en version gratuite.

LE LOGICIEL : intitulé **PSIMDEMO** et proposé sur Internet par la société canadienne POWERSIM TECHNOLOGIES à l'adresse :

www.powersimtech.com

Ce logiciel est commercialisé pour la France par la société Semikron à Sartrouville. De prise en main intuitive, il peut être utilisé aussi bien en pré bac qu'en post bac.

Le pack fourni comprend :

1. Une quarantaine d'exemples dont un bon nombre sont simulables avec la version démo
2. Un exécutable **SIMCAD.EXE** pour dessiner l'application
3. Un exécutable **PSIM.EXE** pour simuler le fonctionnement de l'application
4. Un exécutable **SIMVIEW.EXE** pour afficher les courbes de l'application.

Le logiciel combine avantageusement pour les élèves la représentation structurelle pour la partie puissance et la représentation fonctionnelle pour la partie commande. Des blocs d'interface pour la commande des semi-conducteurs, le renvoi des grandeurs courant/tension/vitesse/couple créent les liens entre les 2 parties et permettent l'élaboration de commandes asservies. Des appareils de mesure ampèremètre/voltmètre/wattmètre permettent la visualisation des grandeurs électriques.

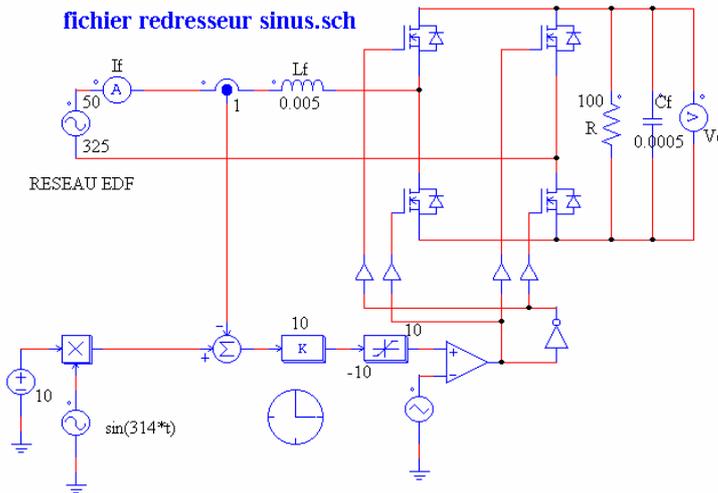
LES SIMULATIONS :

1) simuler le fonctionnement d'un onduleur de tension monophasé à commande MLI dont la description en langage PSIM est rappelée figure 1. Le réseau EDF monophasé alimente un onduleur de tension/redresseur de courant dont la commande MLI autorise l'absorption d'un courant I_1 de forme quelconque, définie par sa loi de commande. L'asservissement de ce courant à une consigne $(I_1)_{ref} = 10 \cdot \sin(100 \cdot \pi \cdot t)$ permet un prélèvement de courant sur le réseau purement actif.

Paramètres de simulation : total time = 0.02 sec. ; time step = 20 µsec. ; time print = 0 puis 0.18 sec. La version démo du logiciel est limitée en nombre de points affichés, hors en électronique de puissance, deux échelles de fréquence sont souvent présentes. Celle relevant du découpage et celle *Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance*

relevant de l'évolution des variables d'état du montage. Observer les variables d'état et simuler à l'échelle du découpage nécessitent un grand nombre de points de calcul à archiver. Nous sommes conduits à mener la simulation en 2 temps. Pour la valeur 0 du paramètre time print, nous observons figure 2 le régime transitoire et pour la valeur 0.18 du paramètre time print, nous observons figure 3 le régime permanent.

La figure 2 illustre les problèmes de mise sous tension des redresseurs. Il s'agit de la réponse d'un circuit RLC alimenté par une source de tension sinusoïdale. La contrainte en courant est minimisée



en pratique par l'insertion temporisée d'une résistance de limitation.

La figure 3 illustre le régime permanent. L'outil mesure de SIMVIEW indique une tension de sortie moyenne de **412V** et une ondulation crête à crête de **22V**. Un calcul approché conforte ces résultats, soit :

$$P = \frac{\bar{V}_c^2}{R} = \frac{230\sqrt{2} * 10}{2} \Rightarrow \bar{V}_c = 403V$$

$$\Delta V_c = \frac{P}{\bar{V}_c * C * \omega} \Rightarrow \Delta V_c = 25V$$

Figure 1 : redresseur à facteur de puissance unitaire

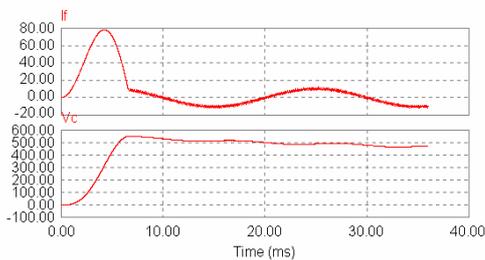


Figure 2 : mise sous tension du convertisseur

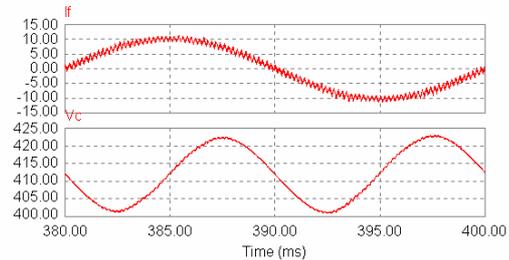
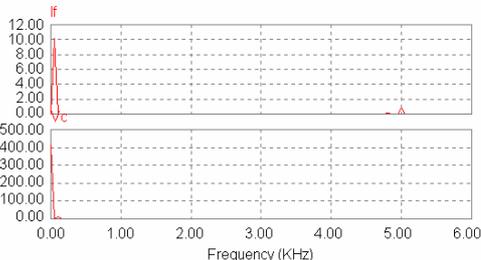


Figure 3 : régime permanent

L'outil FFT de SIMVIEW explicite le comportement de ce dispositif. Le courant de ligne est exempt d'harmoniques bas ; seule une raie à la fréquence de découpage est significative.

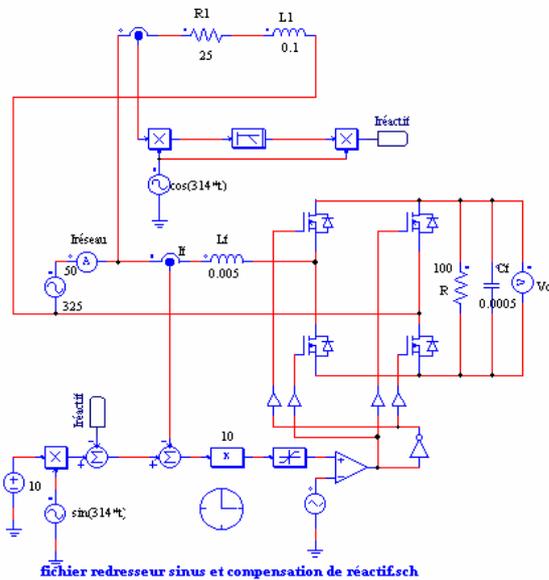


La tension de sortie se réduit à une composante continue à laquelle s'ajoute une raie à 100 Hz inhérente au principe même de l'absorption sinus qui traduit l'échange de la puissance fluctuante.

Figure 4 : FFT des signaux de la figure 3

Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance

2) ajouter sur le réseau 230V/50Hz une charge R1/L1 (25Ω/0.1H). Proposer un schéma d'extraction de la composante réactive du courant absorbé par cette charge et utiliser les possibilités de fonctionnement en compensateur statique de réactif du convertisseur pour faire fonctionner le réseau à facteur de puissance unitaire.



Le montage et les paramètres de simulation sont inchangés. Par contre, le réseau alimente une charge supplémentaire R1/L1 (figure 5).

En l'absence de compensation, la figure 6 représente les différents courants. Le courant réseau, résultante des courants de la charge réactive et du redresseur à facteur de puissance unitaire, est alors en retard sur la tension réseau et donc de valeur efficace majorée.

En présence de compensation, la figure 7 représente les différents courants. Le courant réseau est devenu purement actif, tandis que le convertisseur absorbe un courant dont la composante réactive compense exactement celle absorbée par la charge R1/L1. Il suffit d'ajouter à la consigne active du courant If, une

Figure 5 : alimentation d'une charge réactive

référence égale au signe près au courant réactif extrait du courant de la charge R1/L1. Le principe d'extraction consiste à multiplier ce courant par la fonction $\cos(314 \cdot t)$. Après filtrage à travers une fonction de transfert de type passe-bas de gain statique 2 et de fréquence de coupure très inférieure à 100 Hz, nous retrouvons l'amplitude de la composante réactive du courant de la charge R1/L1. L'usage d'un filtre conduit à une réponse imparfaite lors de variations trop brutales de la charge R1/L1.

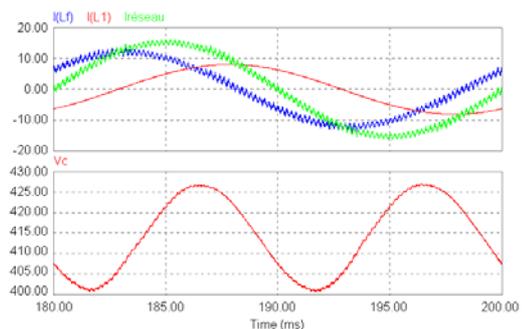
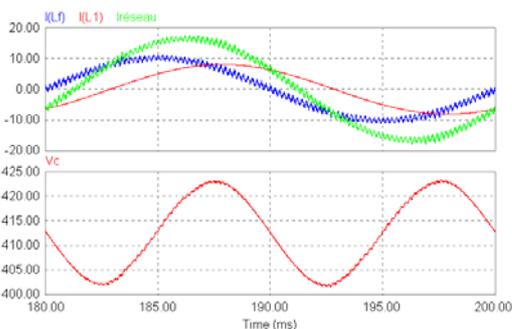


Figure 6 : courants sans compensation

Figure 7 : courants avec compensation

On remarque que la valeur moyenne de la tension Vc n'est pas affectée par le fonctionnement. En effet, la composante active du courant If est inchangée et seule la composante réactive est changée. La majoration de la puissance fluctuante qui en résulte accroît seule la composante alternative à 100 Hz de la tension Vc.

Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance

3) compléter le fichier redresseur sinus afin de simuler un "impact/délestage de charge". Faire la simulation pour une charge supplémentaire de 200 Ω puis 50Ω.

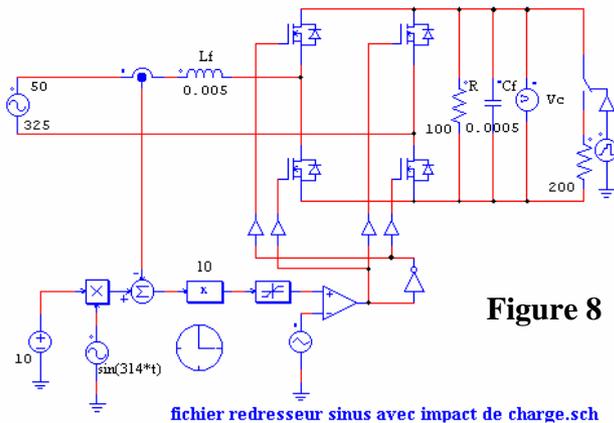


Figure 8

La simulation du montage de la figure 8 donne les résultats suivants. Un impact de charge modéré (200 Ω) exprime le fonctionnement en générateur de puissance du montage par la chute de tension qu'il occasionne, tandis qu'un impact suffisant (50 Ω) pour faire chuter la tension du bus continu en deçà de l'amplitude maximale du réseau exprime la perte du contrôle de la forme du courant secteur. Il existe alors des intervalles de temps pendant lesquels la commande du convertisseur n'est plus capable d'imposer le signe de la tension appliquée à l'inductance Lf et donc le sens

de variation du courant secteur.

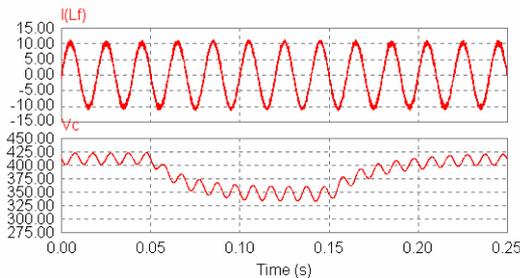


Figure 9 : réponse à un impact de 200Ω

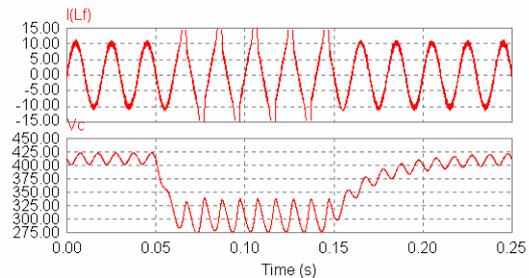


Figure 10 : réponse à un impact de 50Ω

En conclusion, le fonctionnement en générateur de puissance est incompatible avec la plupart des applications. Les variations d'impédance de la charge doivent conduire à des variations de la puissance transmise, afin de maintenir l'amplitude du bus continu à sa valeur nominale. Une boucle d'asservissement de la tension continue dont l'action sur la consigne de l'asservissement de courant doit permettre de maintenir la tension Vc, quelque soit la charge.

4) identifier par un essai indiciel la fonction de transfert $(V_c)^2 / (I_f)_{MAX}$.

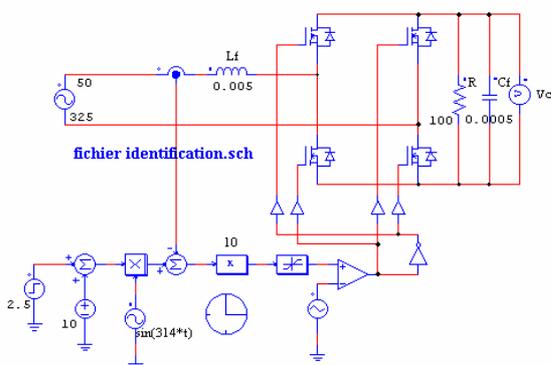


Figure 11

Le fichier identification.sch propose de simuler la réponse du convertisseur à une variation de la consigne $(I_f)_{MAX}$. Pour une charge de 100Ω et une consigne de 10A crête, le point de repos est placé à 411.6V de composante moyenne de la tension Vc.

La figure 12 exprime une réponse du premier ordre en accord avec les éléments de cours qui conduisent à une fonction de transfert :

$$\frac{(V_c)^2}{p_o} = \frac{R}{1 + \frac{R * C_f}{2} p}$$

Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance

avec p_o , la puissance instantanée absorbée par le convertisseur et V_c la tension aux bornes de la charge R . En négligeant la puissance instantanée absorbée par l'inductance L_f , la relation s'applique aussi à la puissance fournie par le secteur. Celle-ci se décompose en un terme de puissance fluctuante à l'origine des ondulations à 100 Hz de la tension V_c et en un terme de puissance moyenne ($\frac{\hat{V}_r * \hat{I}_f}{2}$) à l'origine de la composante continue de V_c .

Pour les composantes continues, l'on peut alors écrire : $\frac{\bar{V}_c^2}{\hat{I}_f} = \frac{\hat{V}_r * R}{2} * \frac{1}{1 + \frac{R * C_f}{2} p} = \frac{H_o}{1 + \tau p}$

Pour $\hat{V}_r = 325V$, $R = 100\Omega$, $C_f = 0.0005F$,

le calcul donne : $H_o = 16250$ et $\tau = 0.025$ sec.

la simulation donne : $H_o = \frac{\Delta \bar{V}_c^2}{\Delta \hat{I}_f} = \frac{459^2 - 411.6^2}{12.5 - 10} = 16506$ et $\tau = 0.026$ sec.

En conclusion, la simulation confirme très bien la prédétermination théorique.

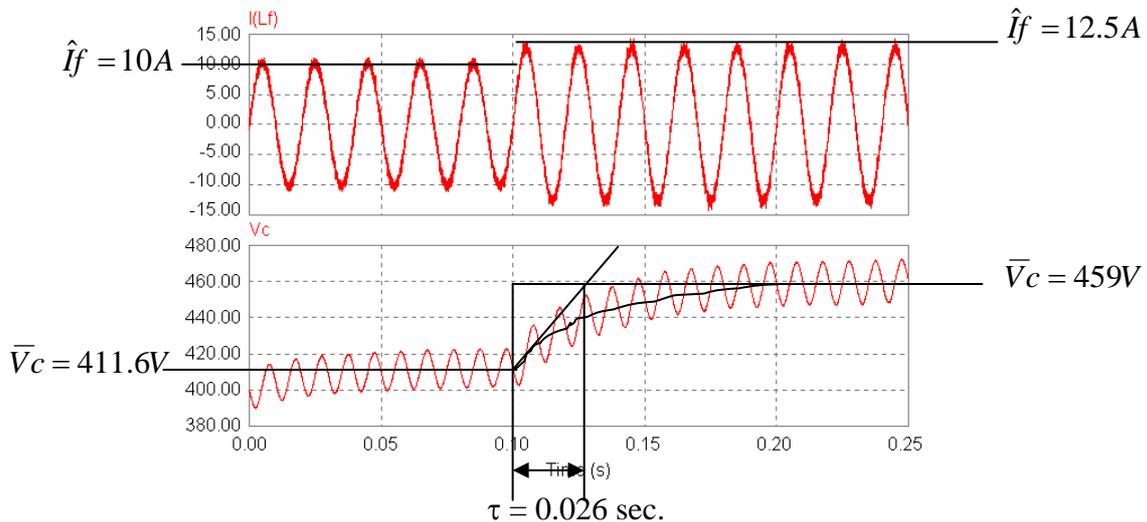


Figure 12 : réponse indicielle de l'asservissement de courant

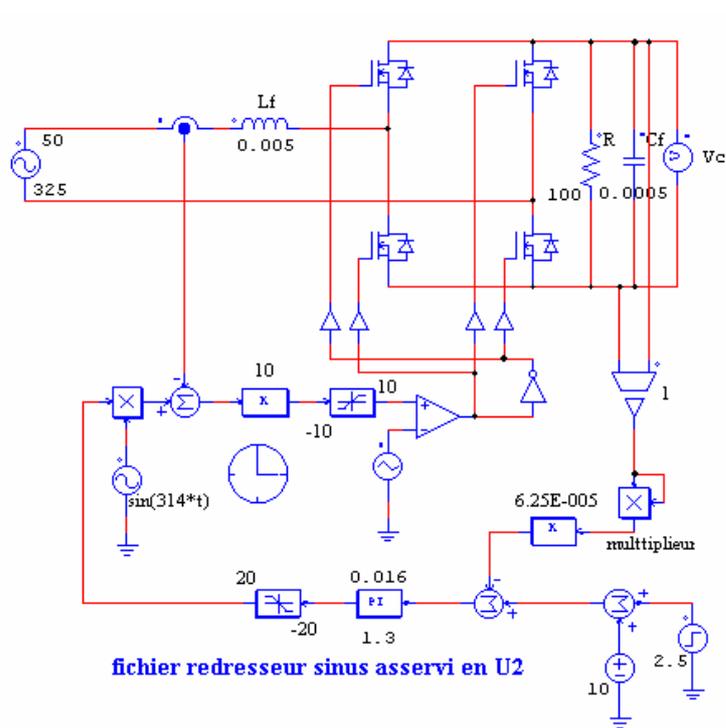
5) construire l'asservissement du carré de la tension de sortie du bus continu. On utilisera un capteur de tension de gain $B = 10/400^2$ pour adapter le signal de retour après élévation au carré. La fonction de transfert du système étant identifiée à celle d'un premier ordre, régler un correcteur PI pour compenser le pôle dominant et imposer une fréquence de coupure en boucle fermée f_c de 10 Hz. Conformément à la figure 13 tester la réponse à un échelon.

Fonction de transfert du système : $\frac{\bar{V}_c^2}{\hat{I}_f} = \frac{\hat{V}_r * R}{2} * \frac{1}{1 + \frac{R * C_f}{2} p} = \frac{H_o}{1 + \tau p}$

Fonction de transfert du correcteur : $\frac{\hat{I}_f}{\varepsilon} = C(p) = \frac{1 + A * T_i * p}{T_i * p}$

Fonction de transfert de la chaîne de retour : $\varepsilon = \text{consigne} - B * \bar{V}_c^2$

Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance



Deux relations élémentaires permettent la connaissance des paramètres de correction, soit le gain proportionnel A et la constante de temps d'intégration T_i .

Relation 1 :

$$A * T_i = R * C_f / 2$$

Relation 2 :

$$\frac{1}{2 * \pi * f_c} = \frac{2 * T_i}{B * R * \hat{V}_r}$$

Il vient : A = 1.3 ; $T_i = 0.016$ sec.

Figure 13 : réglage et mise en place de l'asservissement de tension

Les résultats de simulation de la figure 14 valident un modèle en boucle fermée au premier ordre de temps de réponse $3 * 1 / (2 * \pi * f_c)$.

Etudier la réponse à des variations de charge $100 \rightarrow 50 \Omega$ puis $100 \rightarrow 200 \Omega$, puis à des variations de consigne pour les valeurs de charge 50Ω , 200Ω .

Conclure sur la robustesse des réglages.

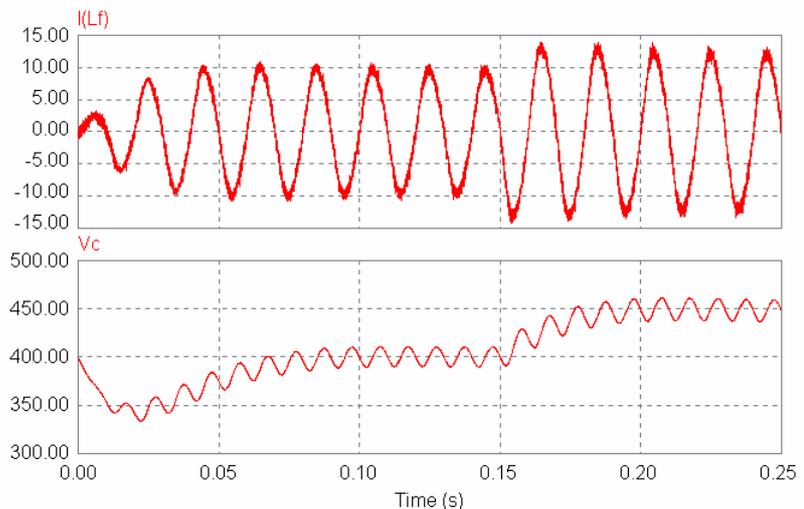


Figure 14 : réponse de V_c à une variation de consigne

6) pour une consigne de 10V ($V_c = 400V$), et une charge de 100Ω , simuler la réponse de la boucle de tension lors de l'application sur la sortie d'une charge active supplémentaire fournissant une puissance égale à deux fois celle dissipée initialement par la résistance de charge. Observer la tension réseau, le courant réseau et la tension de sortie. Conclure sur les aptitudes de fonctionnement 4 quadrants du dispositif.

Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance

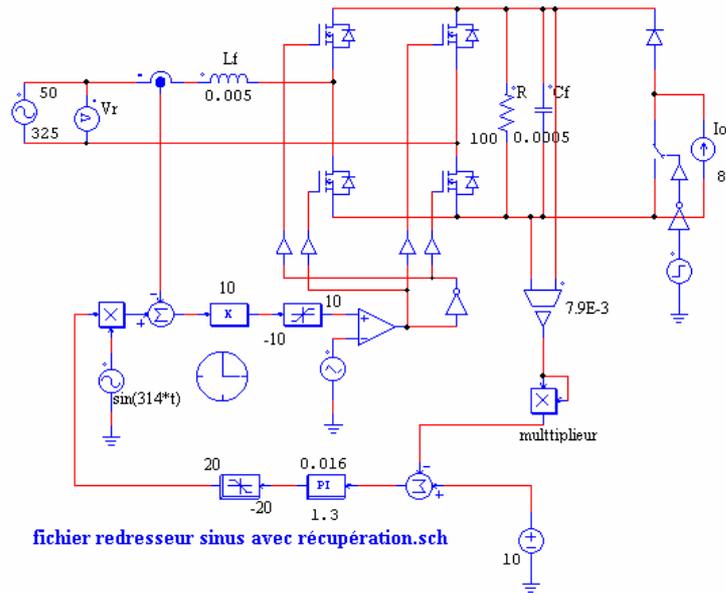


Figure 15 : mode récupération d'énergie

Il en résulte une élévation de la tension V_c et une réaction de la boucle de tension continue sur la référence de courant secteur. Le fonctionnement ne se stabilisera que lorsque cette référence sera passée de $+\hat{I}_f$ à $-\hat{I}_f$. La figure 16 illustre les résultats obtenus. La superposition du courant I_f avec la tension secteur illustre le passage de redresseur de courant à onduleur de tension pour une même puissance au signe près.

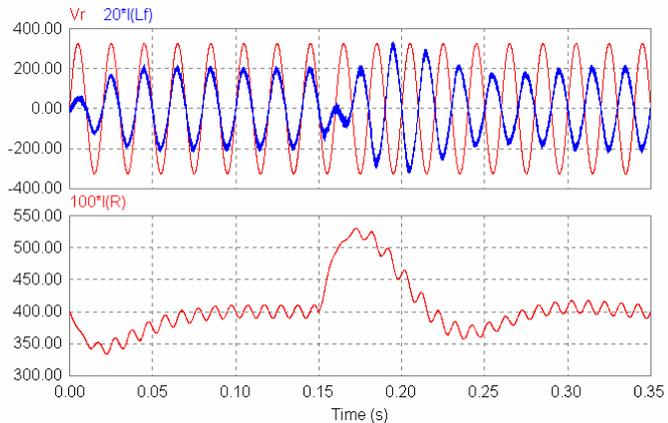


Figure 16 : fonctionnement en récupération d'énergie

Pour mener à bien cette simulation, il faut limiter le nombre d'objets à ce que psimdemo tolère. Nous sommes conduits à supprimer le gain B de la chaîne de retour et le voltmètre V_c comme figure 15.

Pour respecter les règles d'interconnexion des sources, la charge active est constituée d'une source de courant I_o en roue libre pendant 0.15 sec. puis injectée sur la sortie du montage redresseur. Sous 400V, le courant dans R est de 4A, donc on prendra $I_o = 8A$. A l'insertion de la source I_o , celle-ci alimente la charge R (4A) et alimente le condensateur Cf (4A).

Les redresseurs à absorption sinusoïdale de courant en moyenne puissance