



Compte Rendu

Ecole Nationale Supérieure de l'Electronique et de ses Applications

Conversion d'énergie

TP1 - Simulation de hacheurs à accumulation

2^{eme} Année

Année : 2023 - 2024

Camille Lanfredi

Rémi Weidle

1. Etude de la commande du transistor

Dans un premier temps, nous voulons réaliser la commande en PWM d'un transistor IGBT ou permettant de commuter un courant nominal $I_F = 20$ A sous une tension $V_{DC} = 24$ V avec une fréquence de découpage $F_d = 50$ kHz.

Pour réaliser la PWM (Pulse Width Modulation) ou MLI (Modulation de largeur d'impulsion), nous devons comparer un signal triangulaire à un signal de référence. Pour comparer nos signaux, nous utilisons un amplificateur opérationnel (AOP).

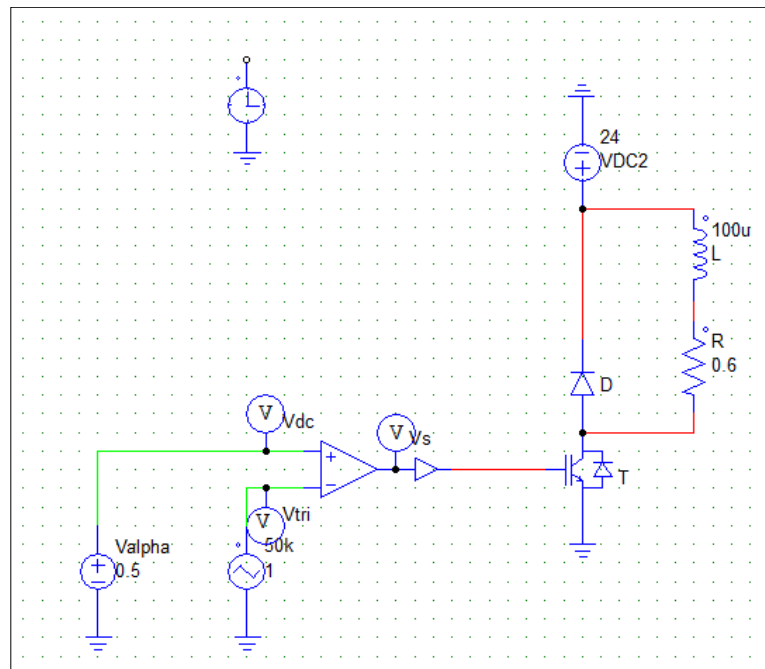


Figure 1. Circuit électrique de la commande et du hacheur série sous Psim

La partie commande est donc composée d'un comparateur ayant à sa borne positive le signal triangulaire d'1V crête à crête et d'une tension V_{alpha} de 0.5V et d'une fréquence $F_d = 50$ kHz à sa borne négative. Il apparaît en sort un signal carré modulable.

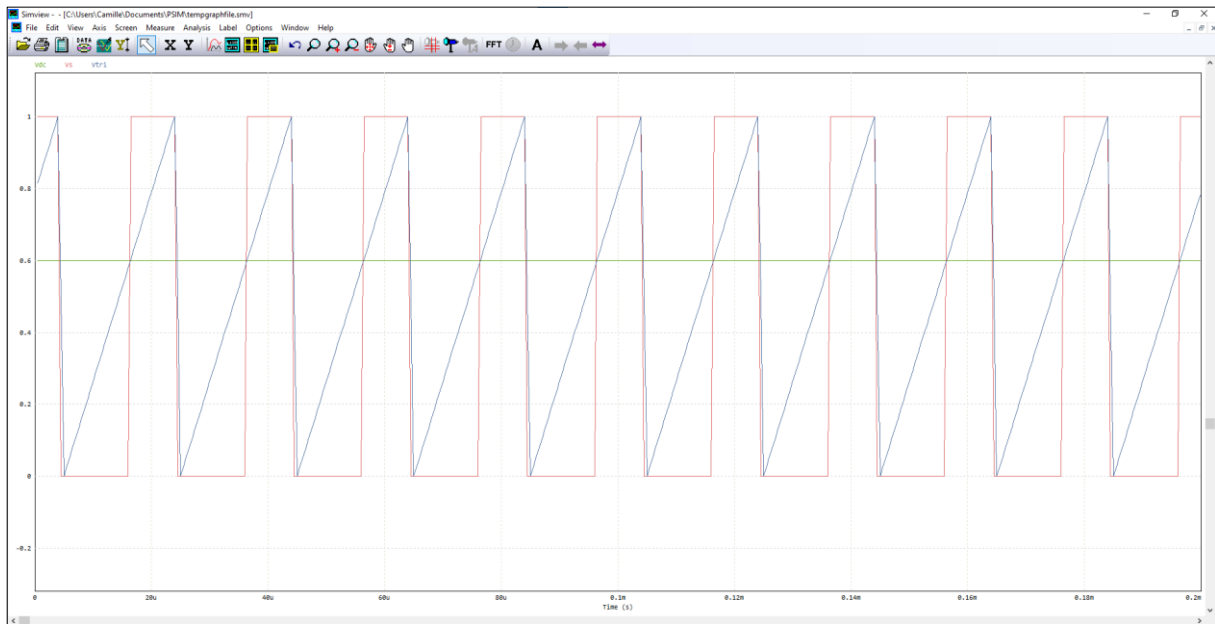


Figure 2. Chronogrammes des tensions V_{DC} , $V_{triangle}$ et V_{sorti}

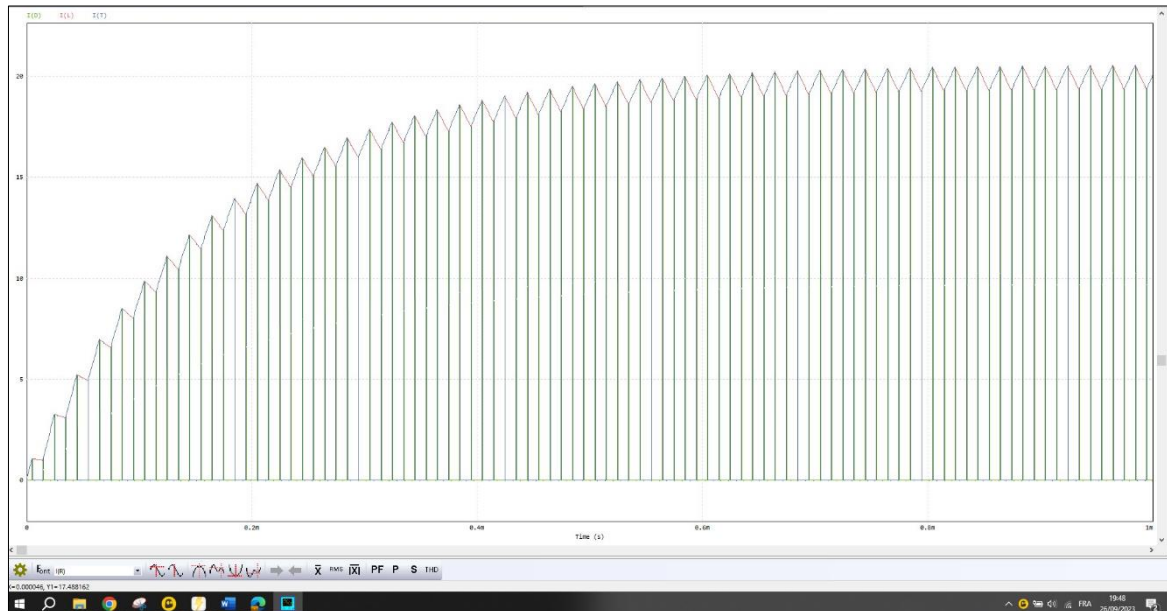


Figure 3. Chronogrammes des courants I_L , I_D et I_{Ti}

V_s , la tension de sortie est donc une Pulse Width Modulation. Pour avoir les effets du rapport cycle, nous avons le module.

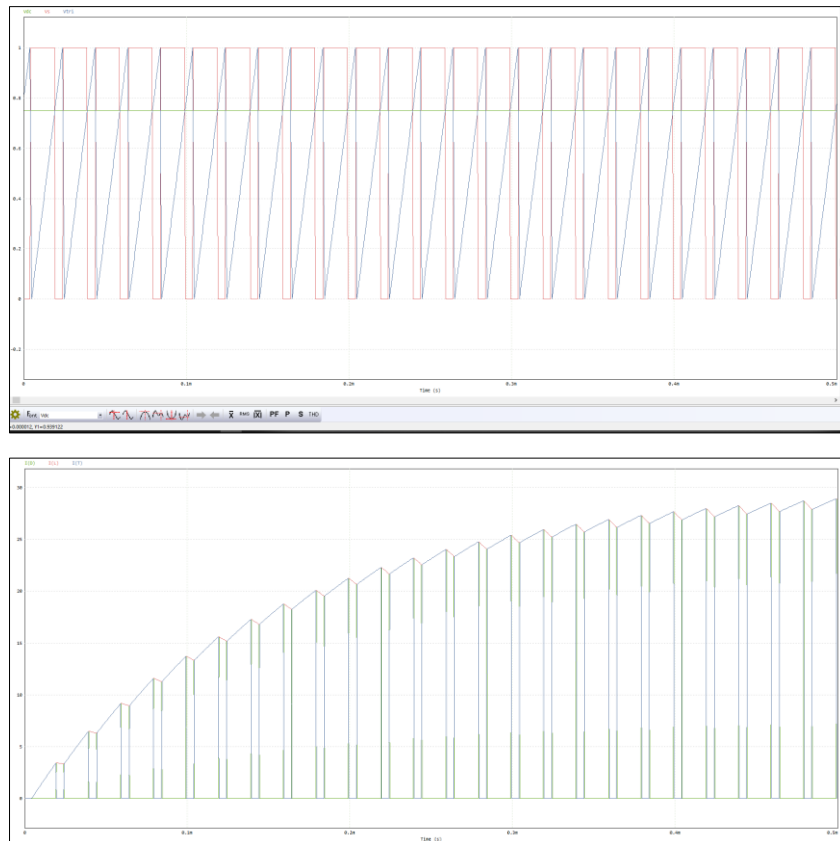


Figure 4. Chronogrammes des tensions et courants pour un α de 0,75

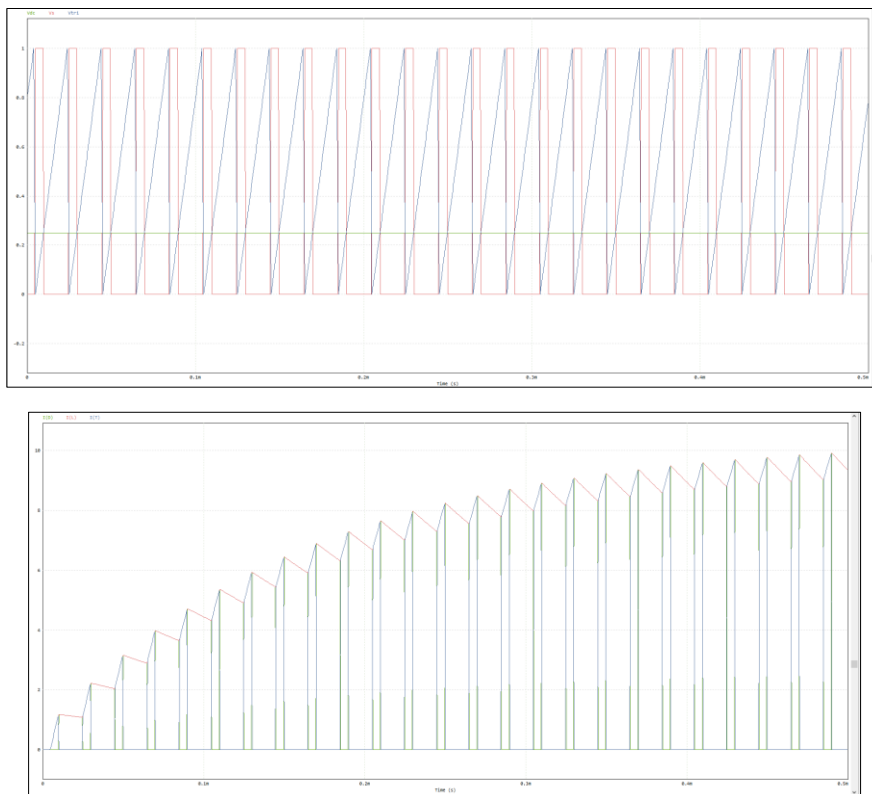


Figure 5. Chronogrammes des tensions et courants pour un α de 0,25

Après observation, nous pouvons constater que la tension de sortie et les courants varient en fonction du rapport cyclique α . Plus le rapport cycle tend vers 1 (100%) plus la PWM est positive et plus elle tend vers 0, plus la PWM est négative.

2. Etude du hacheur à accumulation inductive (hacheur inverseur)

Dans un premier temps, nous réalisons le schéma de simulation en y intégrant la commande vue précédemment en déterminant les valeurs composants L, Cs et Rs pour respecter les contraintes suivantes :

- Tension nominale en sortie : $V_s = 24 \text{ V}$, taux d'ondulation inférieur à 0,1 %
- Puissance nominale en sortie $P_s = 250 \text{ W}$
- Fonctionnement nominal en régime de conduction « critique » dans l'inductance

Calcul de α :

$$\alpha = \frac{V_s}{V_s + V_{DC}} = \frac{24}{48} = 0.5$$

Calcul de R_s :

$$P = \frac{V_s^2}{R_s} \text{ donc } R_s = \frac{24^2}{250} = 2.3\Omega$$

Calcul de L :

$$P = V_s * I_s \text{ donc } I_s = \frac{250}{24} = 10.42A$$

$$I_s = \frac{V_s * V_{DC}^2}{(V_s + V_{DC})^2} * \frac{1}{2 * f * L} \text{ donc } L = \frac{24 * 24^2}{48^2} * \frac{1}{2 * 50.10^3 * 10.416} = 5.76\mu H$$

Calcul de C

$$C_s = \frac{I_s(1 - \alpha)}{\Delta V_s * f} = \frac{10.416(1 - 0.5)}{0.001 * 24 * 50.10^3} = 4.34mF$$

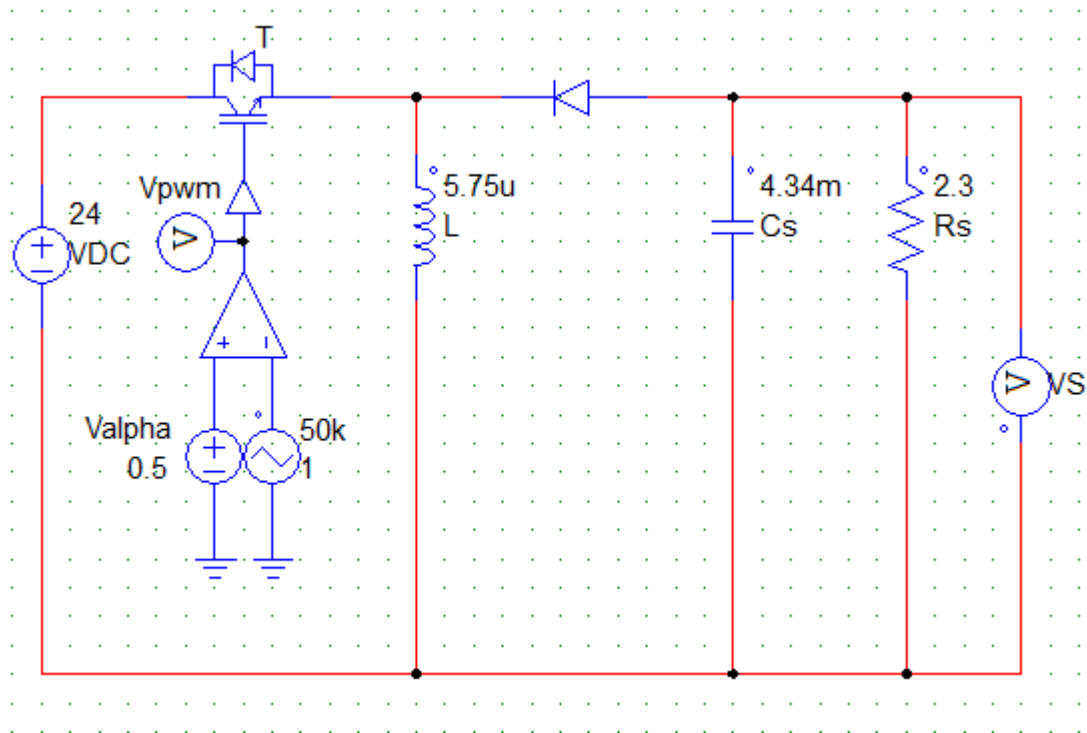


Figure 6. Schéma du hacheur inverseur

Lors du régime transitoire, on observe d'importantes variations de courant dans le condensateur, cela correspond à la phase où le condensateur se charge. Une fois le régime permanent établi, les diverses valeurs tendent vers les valeurs désirées.

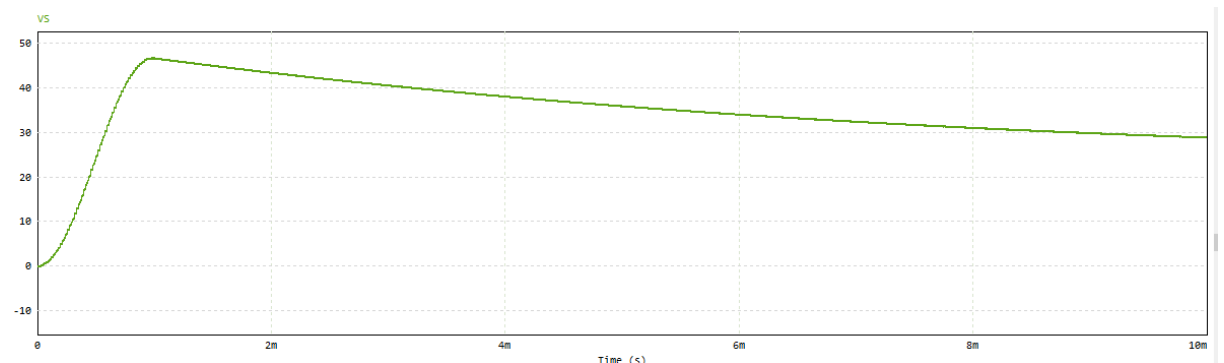


Figure 7. Vs en fonction du temps en s lors du chargement du condensateur

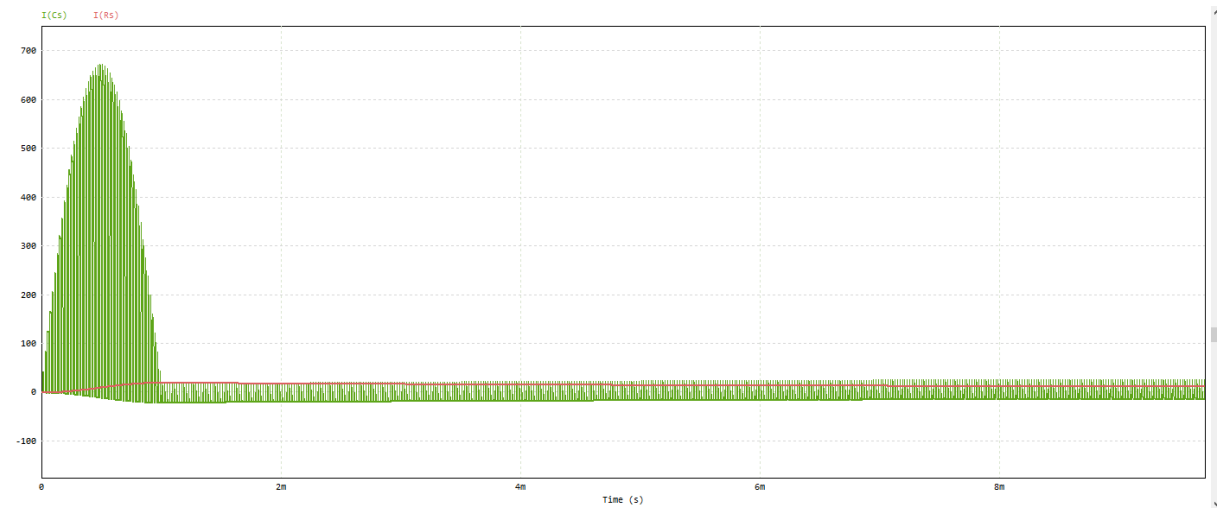


Figure8. Variation des courants en fonction du temps

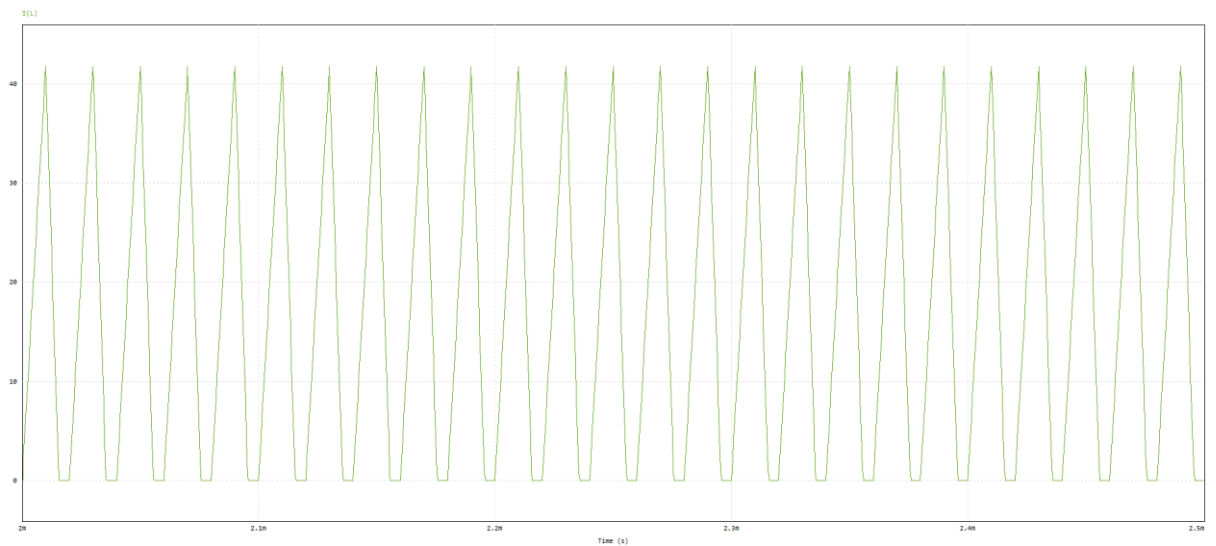


Figure 9 : Zoom de la figure 8

Le courant $I(L)$ coupe à 0A. Le courant de l'inductance est bien en régime de conduction "critique" : à la fin de chaque période de conduction, le courant redevient bien nul.

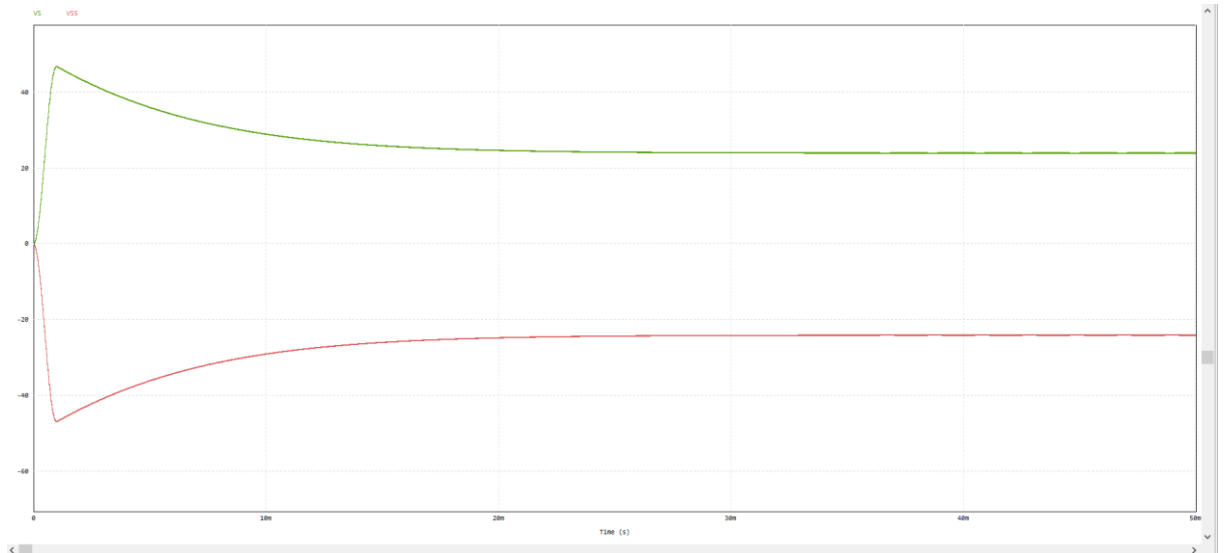


Figure 10. Schéma des tensions en fonction du temps avec le hacheur inverseur

$\Delta V = 0.0145\% < 0.1\%$. On respecte bien le cahier des charges.

Retrouver une valeur négative correspond bien à un hacheur inverseur.

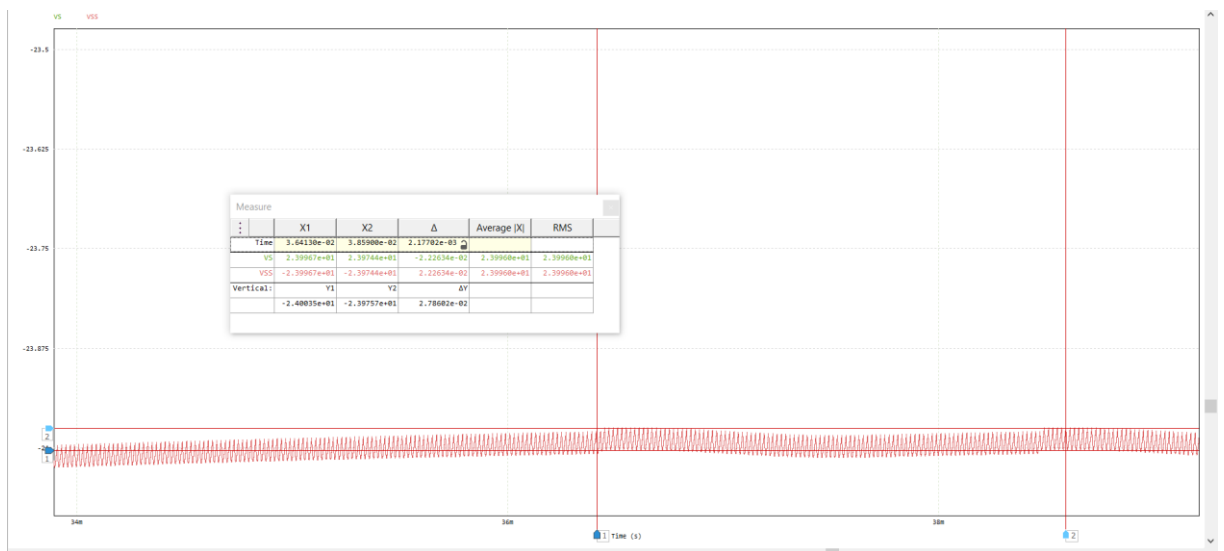


Figure 11. Prise des mesures prouvant que le cahier des charges est respecté

3. Etude du hacheur à accumulation capacitive (structure SEPIC)

Dans un premier temps, nous réalisons le schéma de simulation en y intégrant la commande vue précédemment en déterminant les valeurs composants L1, L2, Cs pour respecter les contraintes suivantes :

Dans un premier temps, nous réalisons le schéma de simulation en y intégrant la commande vue précédemment en déterminant les valeurs composants L1, L2 et C pour respecter les contraintes suivantes :

- Ondulation de la tension Vc inférieure à 1 %
- Ondulations du courant dans les inductances inférieures à 5% de leur valeur moyenne

Calcul de L :

$$L = \frac{\alpha_{max} * V_{DC}}{\Delta I_L * f} = \frac{24 * 0.5}{0.52 * 50 * 10^3} = 4610 \mu H$$

Calcul de C

$$C_S = \frac{I_E * \alpha_{max}}{\Delta V_C * f} \text{ avec } I_E = I_S \text{ car } \frac{I_E}{I_f} = \frac{1 - \alpha}{\alpha} \text{ donc } C_S = \frac{10.416(1 - \alpha)}{0.001 * 24 * 50 * 10^3} = 4.34 mF$$

Nous pouvons désormais réaliser le circuit électrique suivant :

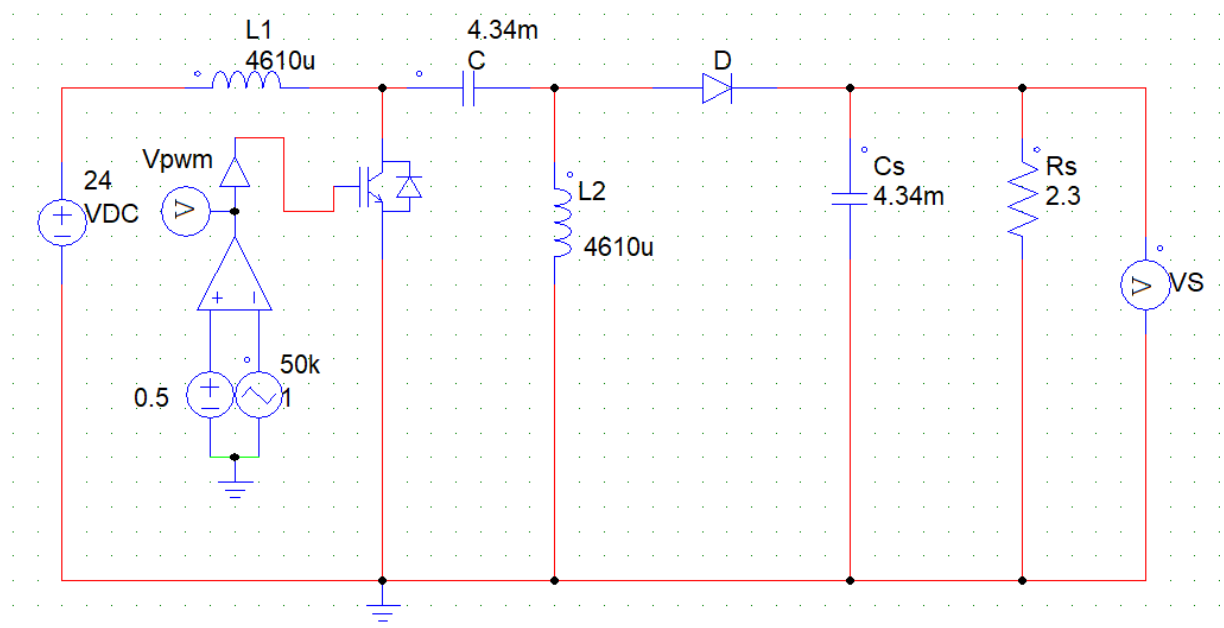


Figure 12. Schéma électrique de la structure SEPIC

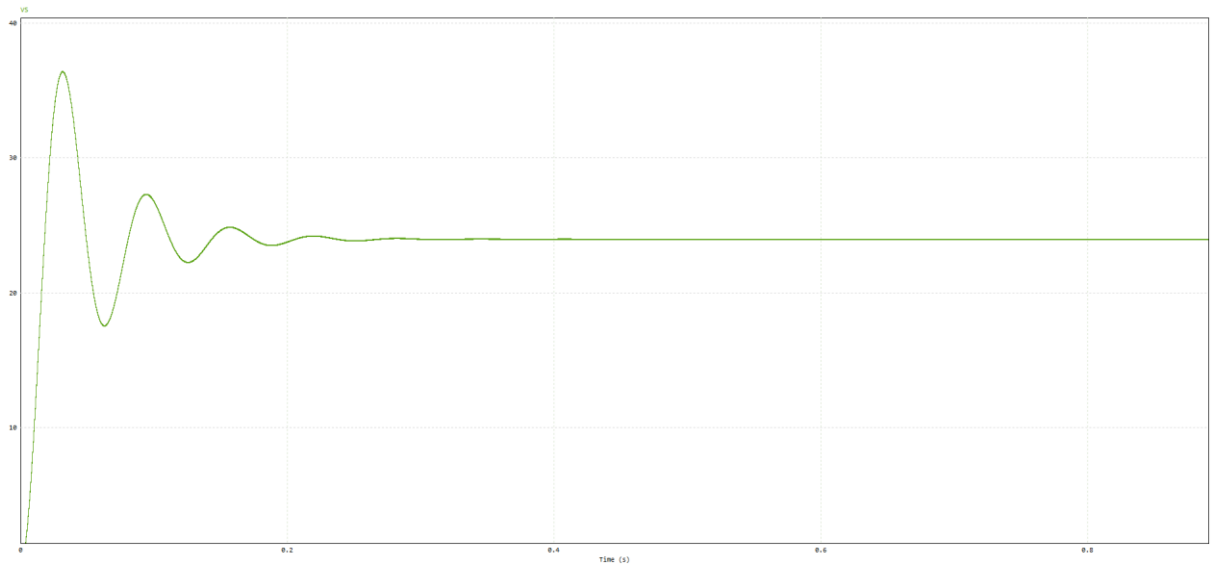
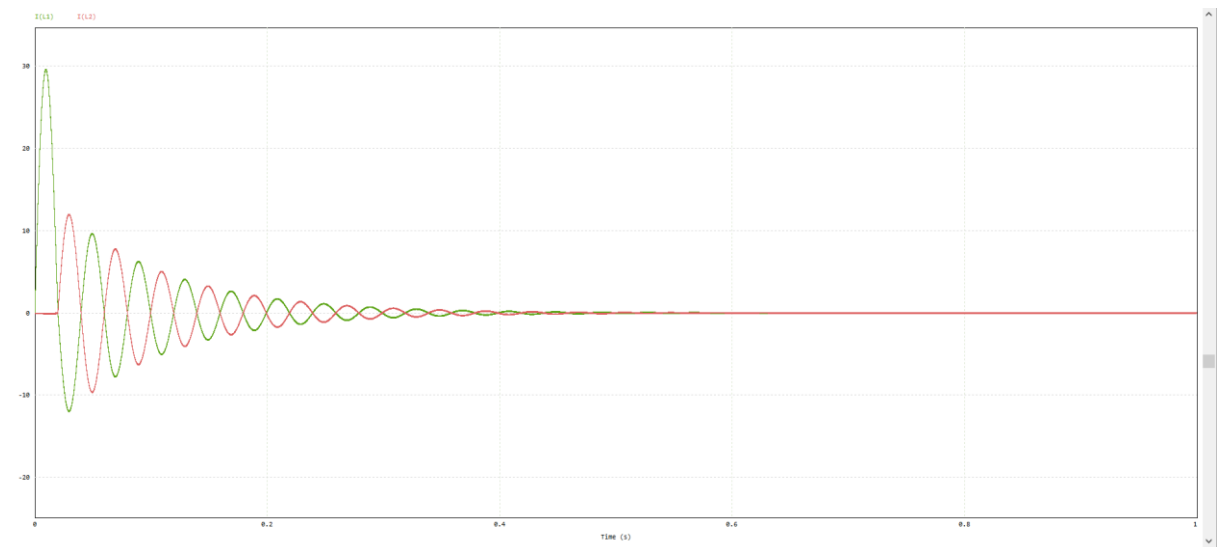


Figure 13. Schéma de la tension VS en fonction du temps

$\Delta V = 0.4\%$ donc inférieure à 1%

Le cahier des charges impose une oscillation sur la tension inférieure à 1% et avec les curseurs celle-ci est à 0,4%. On respecte bien le cahier des charges.



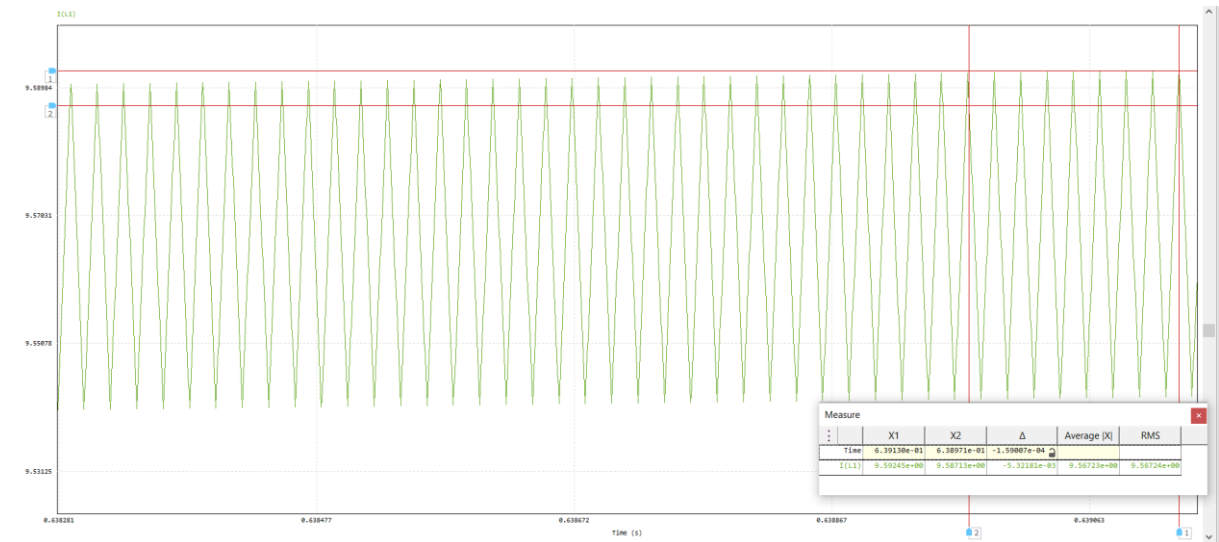


Figure 14/15. Courants dans les bobines non parfaites en fonction du temps

En supposant les bobines parfaites :

Delta $i = 8.63\%$ supérieure à 5% mais ceci s'explique qu'on néglige les imperfections de la bobine.

Supposons maintenant une bobine réelle soit un circuit RL série parfait. Il y a donc de l'amortissement ce qui entraîne de la dissipation thermique et par conséquent un courant moins stable.

4. Régulation de la tension de sortie

Avec un correcteur proportionnel P, le système est instable jusqu'à une valeur gain importante de l'ordre de 100 voir 1000.

Un correcteur P réduit l'erreur statique en augmentant le gain et la stabilité. Une faible erreur est amplifiée, ce qui rend instable le système. Le correcteur P n'est pas suffisant pour rendre le système stable.

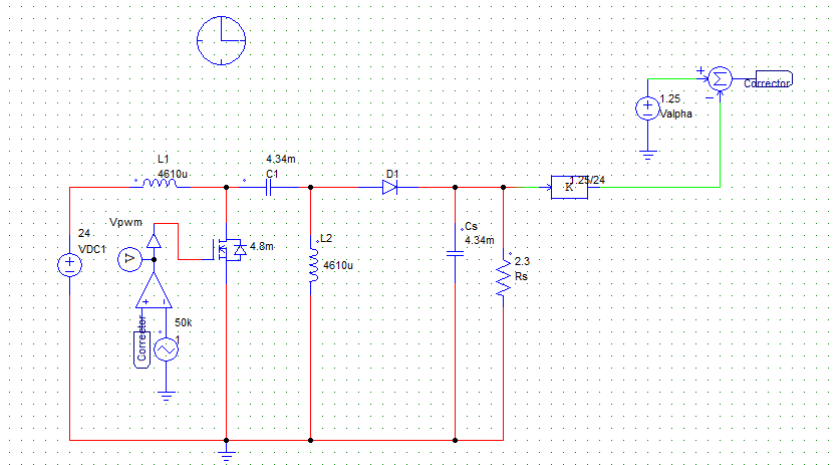


Figure 16. Schéma électrique du montage avec le correcteur P

Donc nous optons pour un correcteur proportionnel intégral PI qui rend des échelons de tensions. L'Erreur statique d'un échelon de tension dans un système asservi par un correcteur PI est nul d'après le théorème de la valeur finale. Il faut cependant trouver un gain acceptable afin d'éviter les problèmes d'instabilités. On réalise donc le schéma ci-dessous...

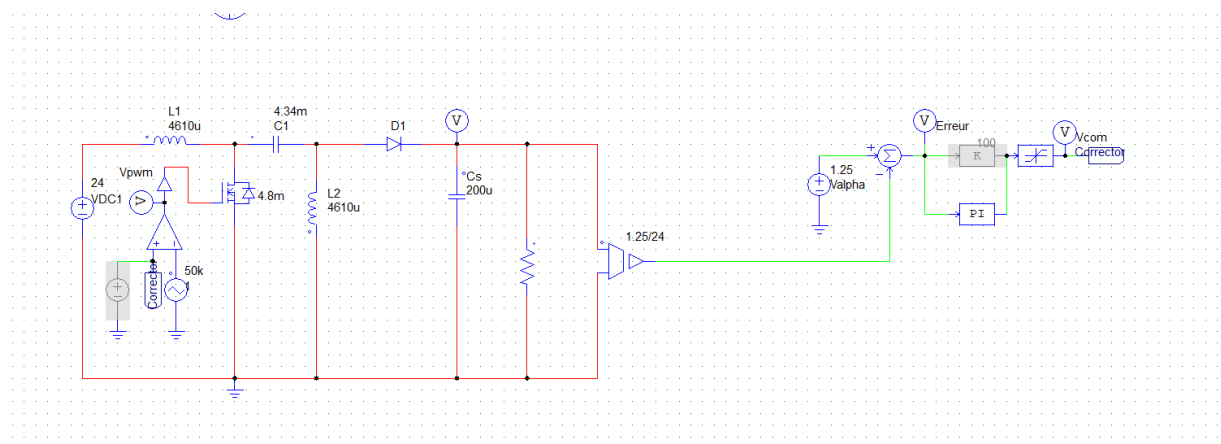


Figure 17. Schéma électrique du montage avec le correcteur PI

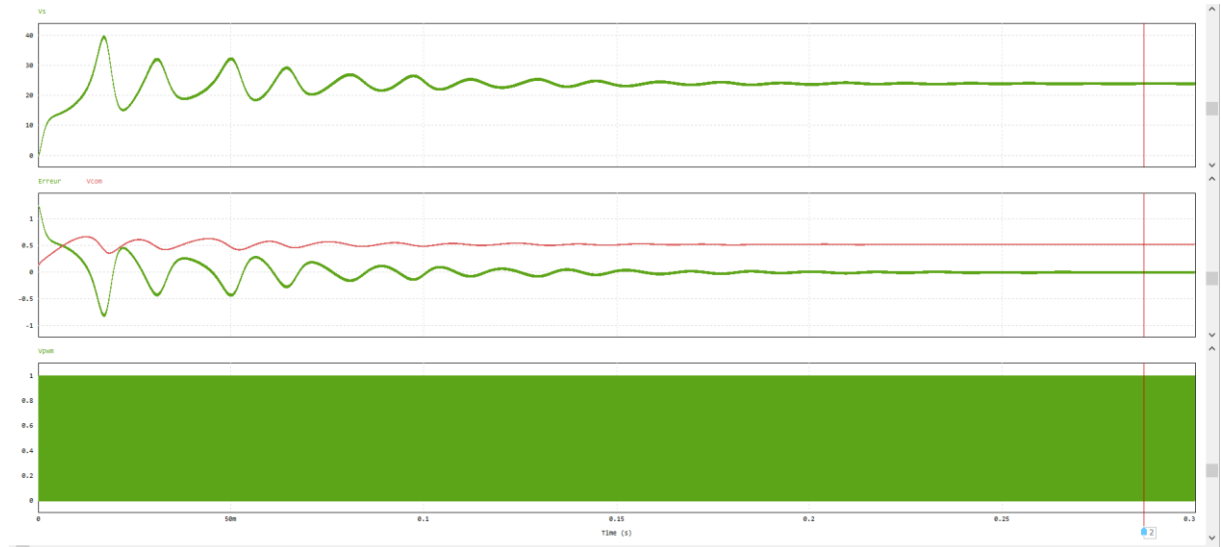


Figure 18. Chronogrammes de la tension et de l'erreur avec le PI et Cs a 200µF

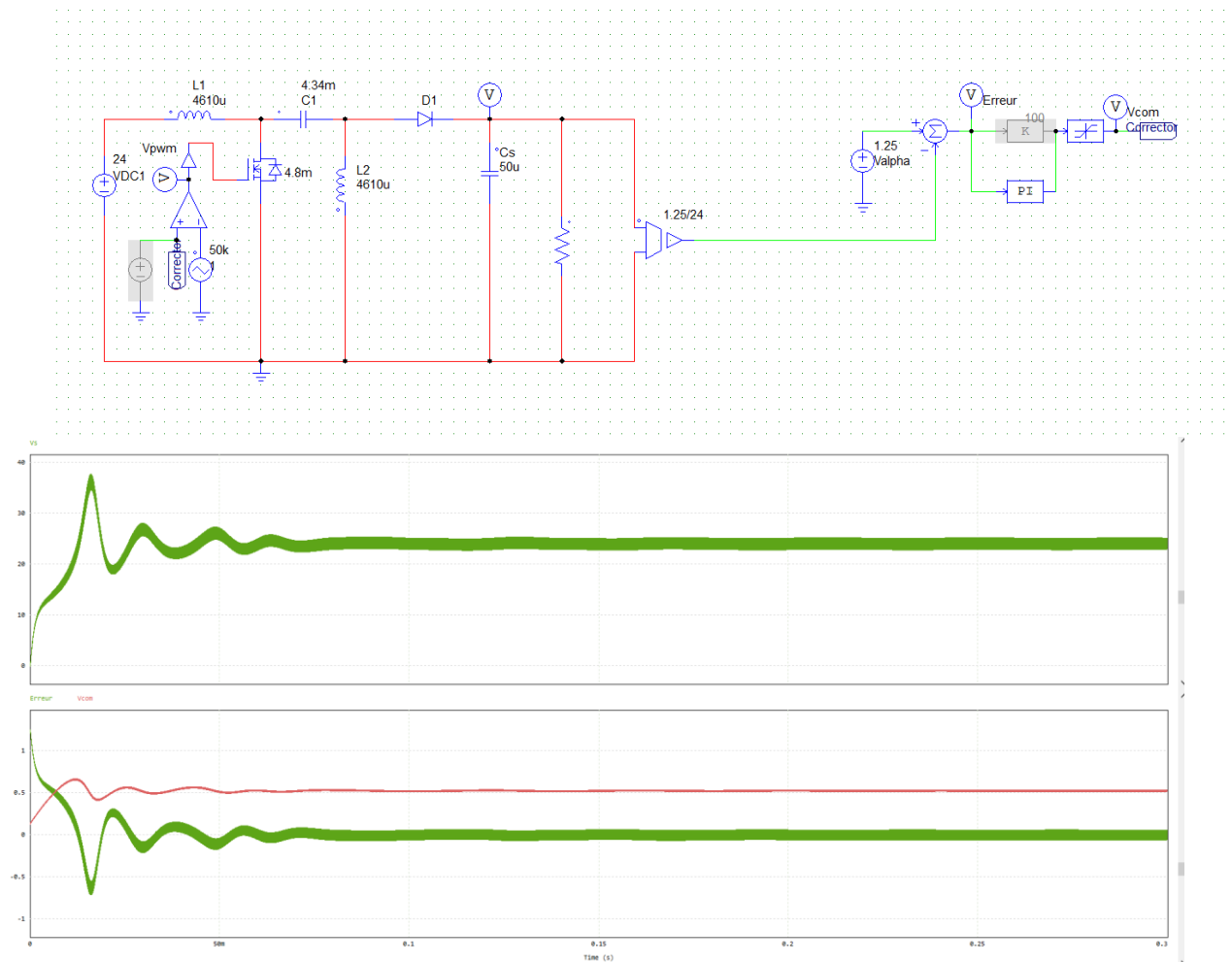


Figure 19/20. Chronogrammes et schéma électrique de la tension et de l'erreur avec le PI et Cs a 50µF

On remarque ainsi qu'influencer le circuit RC sans changer la fonction de transfert du PI permet d'augmenter la rapidité du système (Temps de réponse à 95%) mais qu'en

contrepartie ceci augmente la modulation de V_s . Ceci est logique, le condensateur est plus petit et donc lisse moins la tension V_s .

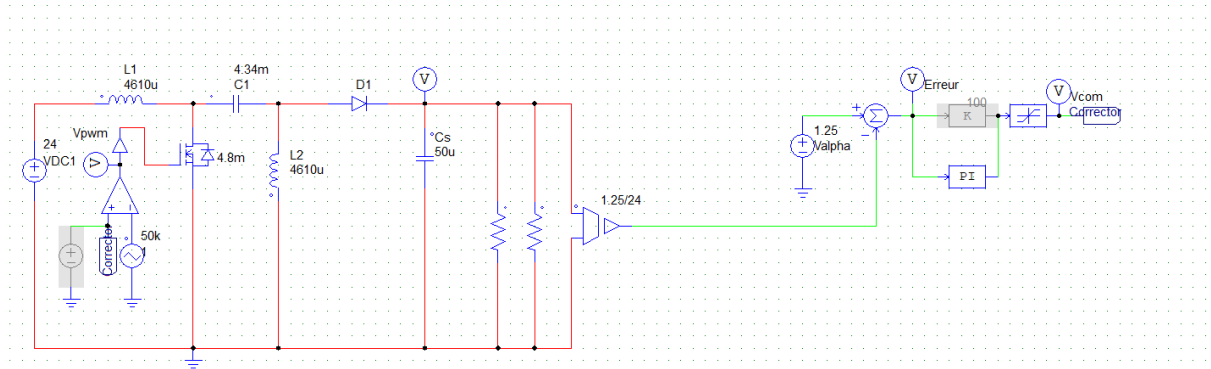


Figure 21. Schéma électrique avec l'ajout d'une charge en parallèle de 2.3Ω comme la charge actuelle

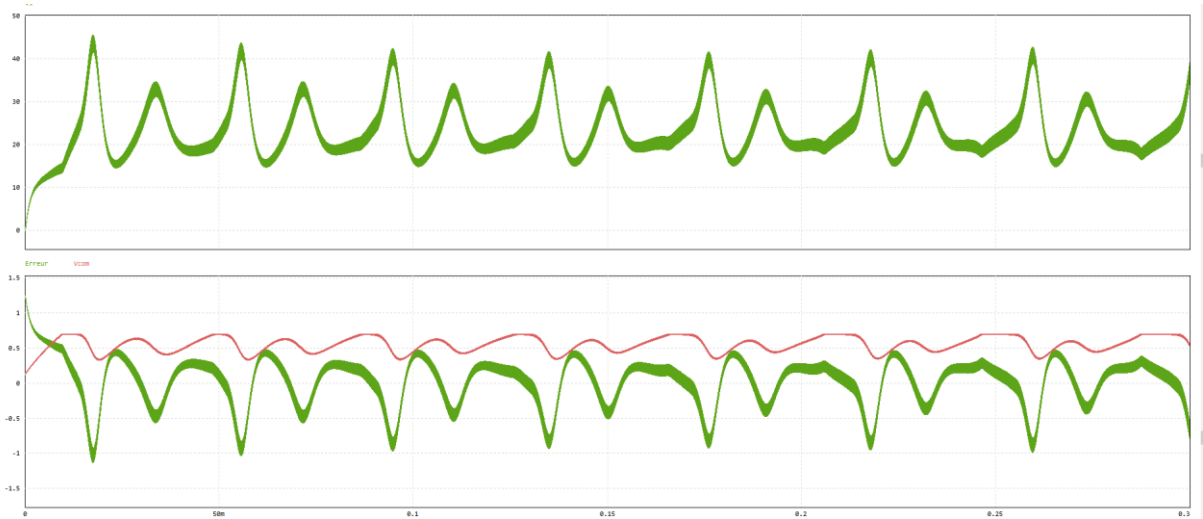


Figure 22. Chronogrammes de la tension et de l'erreur avec le PI et une plus grosse charge

On ajoute une charge en parallèle de 2.3Ω . Cela surcharge la charge donc la fonctionne transfert puisque le circuit RC est différent. La fonction de transfert du correcteur PI est inchangée puisque nous étions à la limite de la stabilité donc le système devient complètement instable. Voir chronogramme ci-dessus.

On décide donc d'ajouter une perturbation commandée :

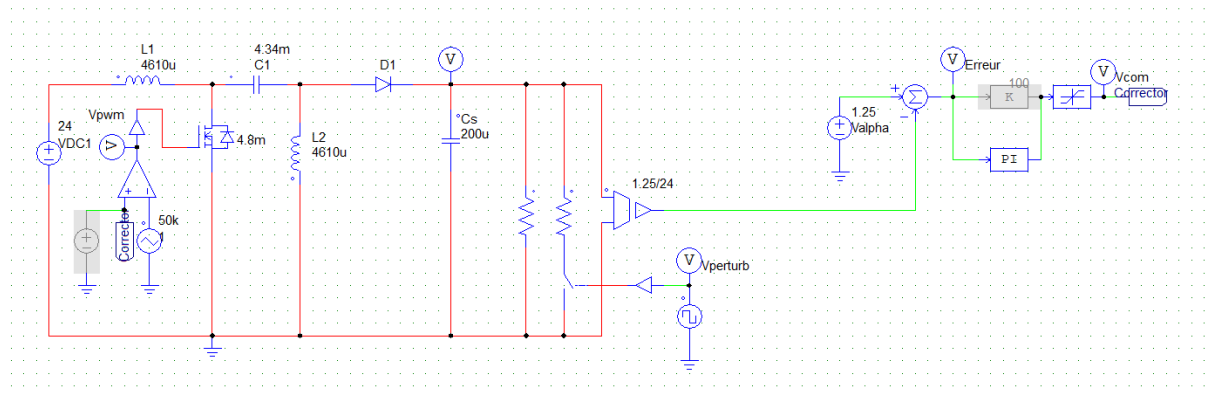


Figure 23. Schéma électrique avec une perturbation commandée sur la charge

Nous décidons de mettre en parallèle cette fois ci 2 résistances de 4.6Ω dont l'une est commandée par une source de courant de fréquence 1Hz et 1V crête à crête. Par conséquent, toutes les secondes on a une charge de 4.6Ω . Une alternance de charge de 4.6 à 2.3Ω . Comme le correcteur PI reste inchangé, la charge de 4.6Ω a pour effet, toutes les secondes, de perturber le système. Ainsi, nous optons les courbes suivantes :

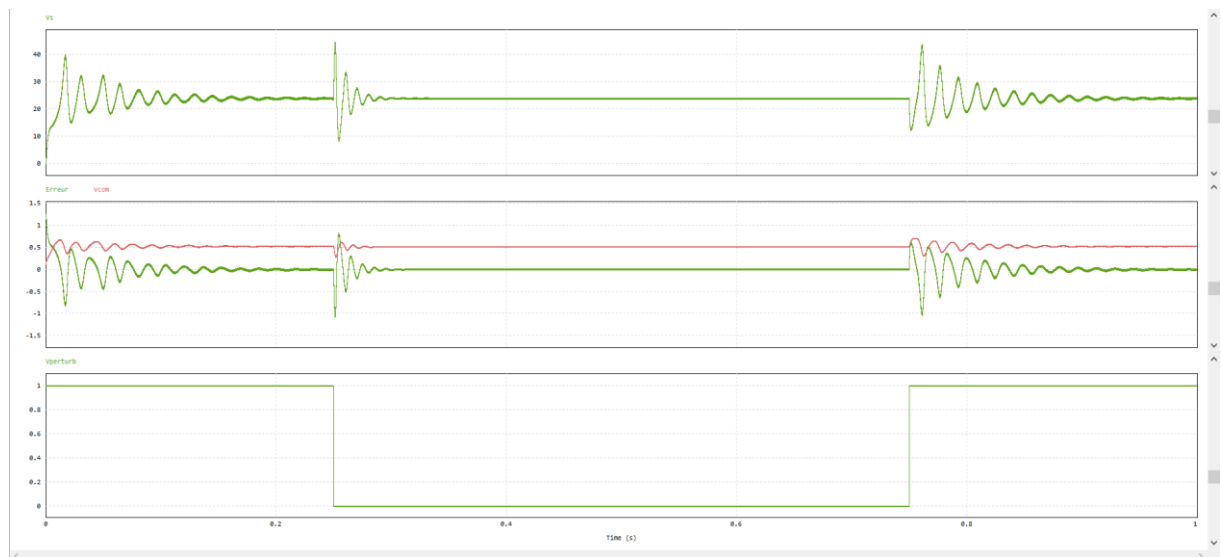


Figure 24. Chronogrammes et schéma électrique de la tension et de l'erreur avec le PI et la perturbation commandée.

On y remarque clairement trois zones allant de 0s à 0.25s, 0.25s à 7.5s, 7.5s à 1s

Dans la première zone on y voit la perturbation qui apparaît à la commutation du transistor et donc la charge qui passe de 2.3 à 4.6Ω . Le système possède donc une correction qui n'est pas adaptée mais suffisante pour converger au bout d'un certain temps.

Dans la deuxième zone, on reconnaît parfaitement *Figure 20.* ou le PI est dimensionné pour la rapidité au détriment de la précision mais au moins l'erreur statique devient nulle et le système converge rapidement.

Dans la troisième zone on retrouve ce qui se passe dans la première zone et l'ajout de la perturbation.

Conclusion

Pour conclure si jamais un système possède des charges variables il faut absolument mettre en place une correction adaptative afin de toujours réussir à corriger au mieux le système et ne pas tomber dans un système instable. Si jamais ce n'est pas possible le minimum serait de réussir à dimensionner le correcteur sur la charge la plus probable et vérifier que le système reste à peu près stable en toute circonstance.