

EA207 Bureau d'étude PSIM

Eddie Gossart
Alexis TREILLES

Décembre 2023



Encadrant :
G. Mejezaze

Table des matières

1	Eléments parasites des convertisseurs statiques	4
1.1	Premier cas : convertisseur faiblement chargé avec filtre de sortie à un seul condensateur . . .	4
1.1.1	Schéma du cas 1	4
1.1.2	Calcul du rapport cyclique	4
1.1.3	Relevé du signal $V_{out}(t)$	4
1.1.4	Relevé du signal $V_{in}(t)$ et $i_L(t)$	5
1.1.5	Relevé du signal $V_{ESR}(t)$	5
1.1.6	Relevé du signal $V_{ESL}(t)$	5
1.1.7	Relevé du signal $V_C(t)$	6
1.1.8	Relevé du signal $V_{out}(t)$	6
1.1.9	Validation du cahier des charges	6
1.2	Deuxième cas : effet d'un appel de courant important sur le convertisseur précédent	6
1.2.1	Schéma du cas 2	7
1.2.2	Relevé du signal $V_{out}(t)$	7
1.2.3	Relevé du signal $V_{out}(t)$	7
1.2.4	Conclusion sur l'apport du courant appelé	8
1.2.5	Variation de V_{out} lors de l'appel de courant	8
1.2.6	Validation du cahier des charges	8
1.3	Troisième cas : filtre de sortie à quatre condensateurs électrolytiques (270 μ F)	8
1.3.1	Schéma du cas 3	9
1.3.2	Relevé du signal $V_{out}(t)$	9
1.3.3	Relevé du signal $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$	9
1.3.4	Variation de i_C lors de l'appel de courant	10
1.3.5	Variation de V_{out} lors de l'appel de courant	10
1.3.6	Validation du cahier des charges	10
1.4	Quatrième cas : filtre de sortie à quatre condensateurs électrolytiques (1500 μ F)	11
1.4.1	Schéma du cas 4	11
1.4.2	Relevé du signal $V_{out}(t)$	11
1.4.3	Relevé du signal $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$	11
1.4.4	Variation de i_C lors de l'appel de courant	12
1.4.5	Variation de V_{out} lors de l'appel de courant	12
1.4.6	Validation du cahier des charges	12
1.5	Cinquième : filtre de sortie à 4 condensateurs électrolytiques additionnés de 30 céramiques de 1 μ F	12
1.5.1	Schéma du cas 5	13
1.5.2	Relevé du signal $V_{out}(t)$	13
1.5.3	Relevé du signal $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$	13
1.5.4	Variation de i_C lors de l'appel de courant	14
1.5.5	Variation de V_{out} lors de l'appel de courant	14
1.5.6	Validation du cahier des charges	14
2	Etude d'un convertisseur non isolé	15
2.1	Etude Théorique	15
2.1.1	Signe de U_s	15
2.1.2	Lois de variations des courants	15
2.1.3	Expression du rapport de conversion des tensions $M = \frac{U_s}{U_e}$	16
2.2	Calibres en courant	17
2.3	Expression de l'inductance critique	17
2.4	Expression du rapport M en conduction discontinu	17

3	Etude par simulation	18
3.1	Convertisseur non isolé	18
3.2	Régimes transitoire et permanent pour i_L et u_s	18
3.3	Caratéristiques en régime permanent	19
3.4	Visualisation des tensions au bornes de R_C, L_C et C	20
3.5	Tracé de U_s en fonction de α	20
3.6	Calcul de l'inductance critique L_c	20
3.7	Visualisation de $i_L(t)$ et $U_S(t)$ avec $R=7,8\Omega$ et $\alpha = 140^\circ$	21
3.8	Visualisation de $i_L(t)$ et $U_S(t)$ avec $R=50\Omega$ et $L=50\mu H$	21

Dans ce Bureau d'étude, on se propose d'étudier dans un premier temps l'effet des composants parasites sur différents convertisseurs statiques. On étudiera alors ensuite le comportement d'un convertisseur non isolé. Pour cela, on utilisera le logiciel PSIM avec lequel on simulera le fonctionnement de l'ensemble des circuits étudiés.

1 Eléments parasites des convertisseurs statiques

1.1 Premier cas : convertisseur faiblement chargé avec filtre de sortie à un seul condensateur

1.1.1 Schéma du cas 1

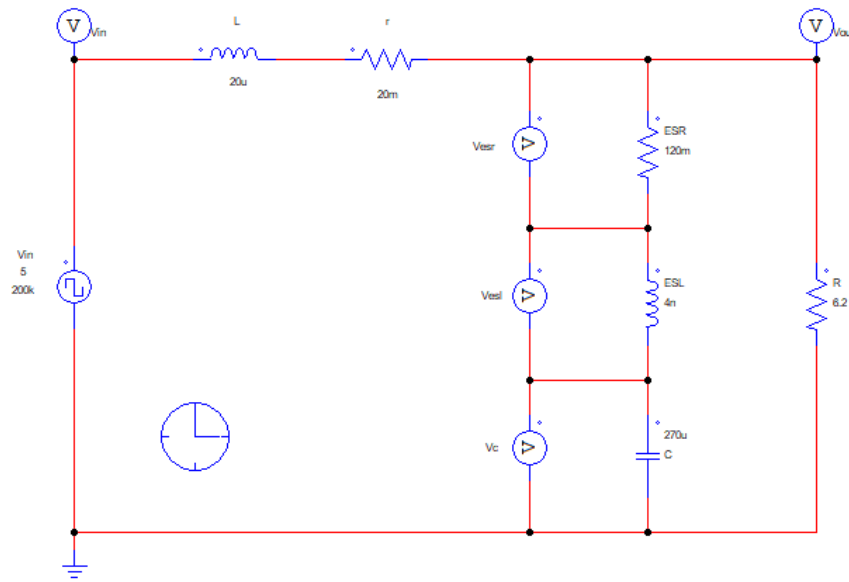


Figure 1: Schéma du cas 1

1.1.2 Calcul du rapport cyclique

On calcule α :

$$\alpha = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3.1}{5.1} = 0,62 = 62\%$$

1.1.3 Relevé du signal $V_{out}(t)$

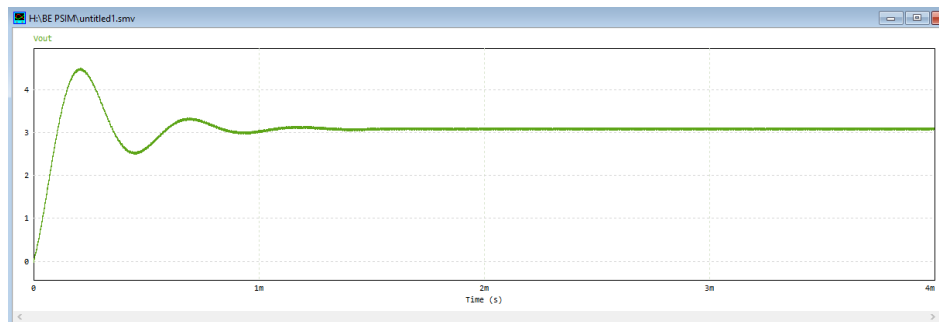


Figure 2: Visualisation de $V_{out}(t)$ sur l'intervalle $[0;4\text{ms}]$

On observe bien un passage d'un état transitoire oscillant au régime permanent au bout de 1 ms.

1.1.4 Relevé du signal $V_{in}(t)$ et $i_L(t)$

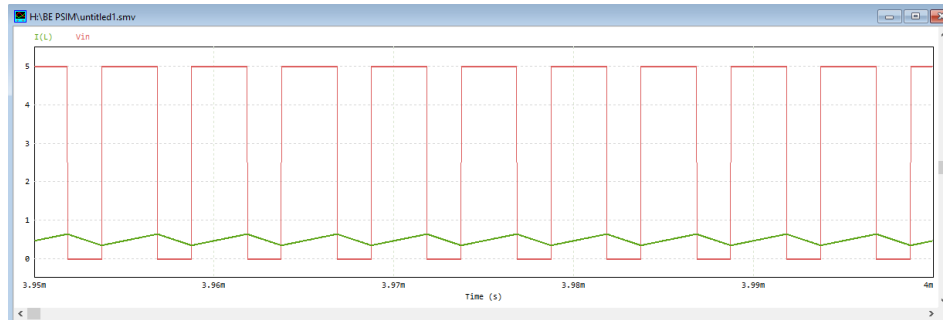


Figure 3: Visualisation de $V_{in}(t)$ et $i_L(t)$ sur l'intervalle [3,95;4ms]

1.1.5 Relevé du signal $V_{ESR}(t)$

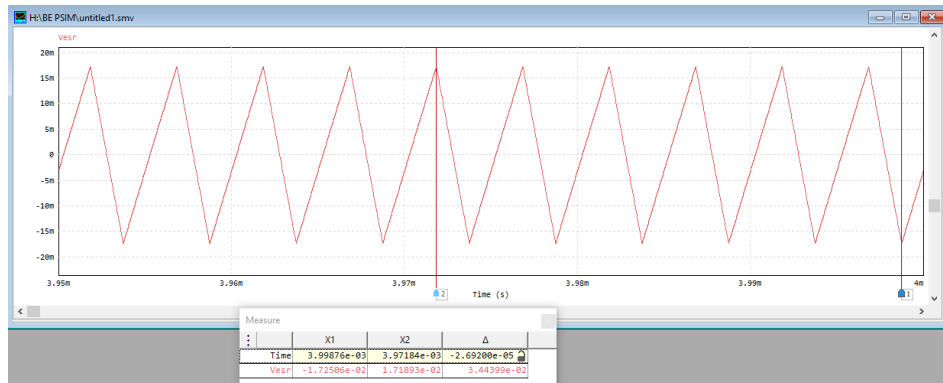


Figure 4: Visualisation de $V_{ESR}(t)$ sur l'intervalle [3,95;4ms]

$$\Delta V_{ESR}(t) = 3.44 * 10^{-2} V$$

1.1.6 Relevé du signal $V_{ESL}(t)$

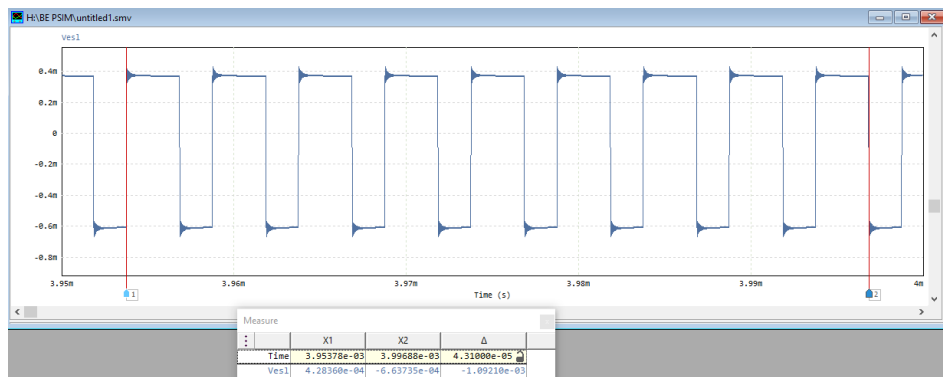


Figure 5: Visualisation de $V_{ESL}(t)$ sur l'intervalle [3,95;4ms]

$$\Delta V_{ESL}(t) = 1.09 * 10^{-3} V$$

1.1.7 Relevé du signal $V_C(t)$

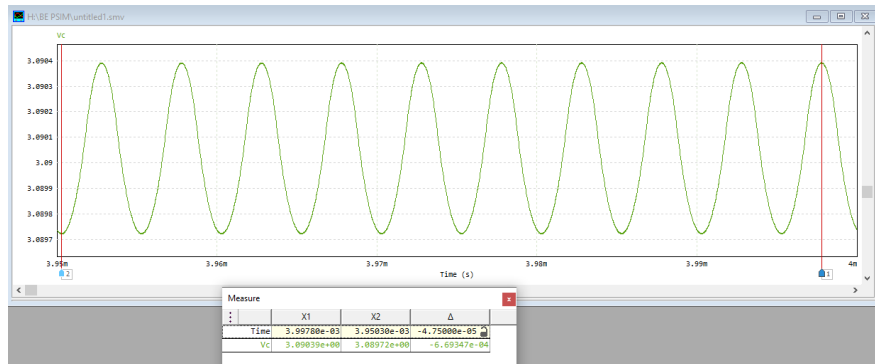


Figure 6: Visualisation de $V_C(t)$ sur l'intervalle [3,95;4ms]

$$\Delta V_C(t) = 6.69 * 10^{-4} V$$

1.1.8 Relevé du signal $V_{out}(t)$

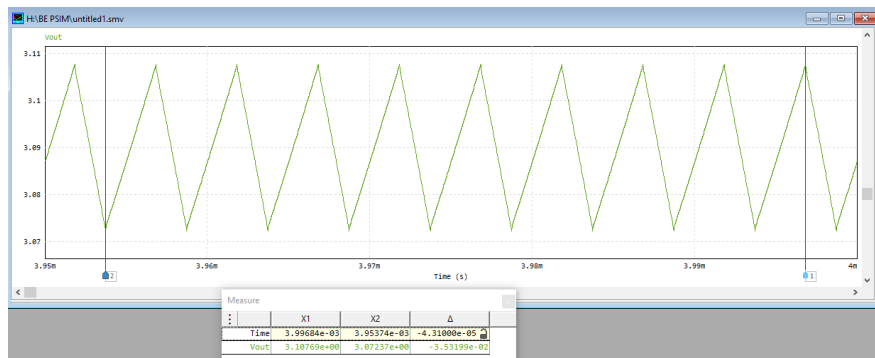


Figure 7: Visualisation de $V_{out}(t)$ sur l'intervalle [3,95;4ms]

$$\Delta V_{out}(t) = 3.53 * 10^{-2} V$$

1.1.9 Validation du cahier des charges

Le cahier des charges exige une ondulation de la tension de sortie $\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} < 1\%$.

D'après les mesures précédentes on a : $\frac{3.53 * 10^{-2}}{3.09} = 1,14\%$

Le cahier des charges n'est donc pas respecté.

1.2 Deuxième cas : effet d'un appel de courant important sur le convertisseur précédent

On ajoute en parallèle une source de courant passant de 0 à 9,5A active entre 4ms et 5ms.

1.2.1 Schéma du cas 2

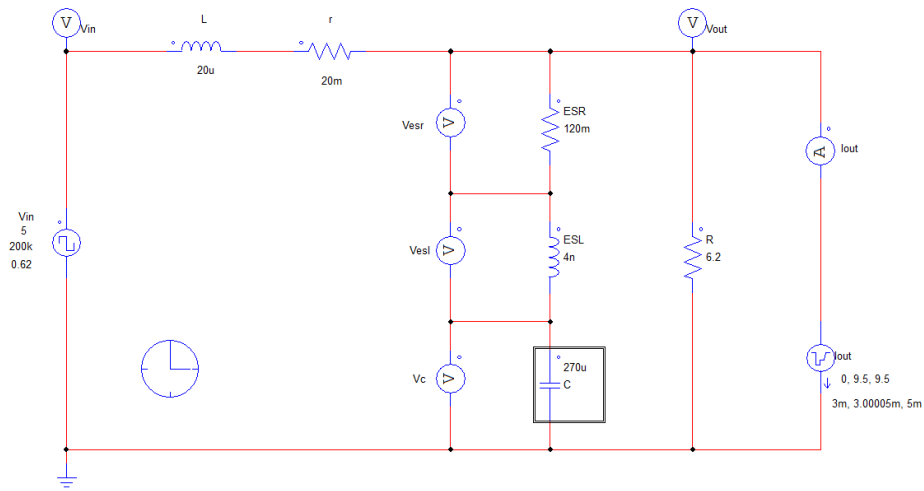


Figure 8: Schéma du cas 2

1.2.2 Relevé du signal $V_{out}(t)$

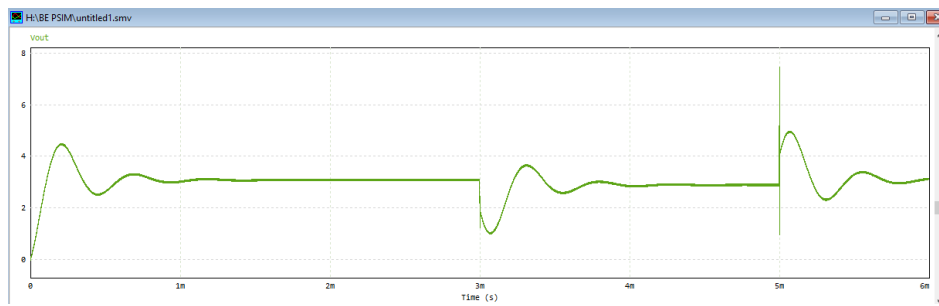


Figure 9: Visualisation de $V_{out}(t)$ sur l'intervalle [0;6ms]

1.2.3 Relevé du signal $V_{out}(t)$



Figure 10: Visualisation de $i_L(t)$, $i_{ESR}(t)$, $i_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$ sur l'intervalle [2.99;3.02ms]

1.2.4 Conclusion sur sur l'apport du courant appelé

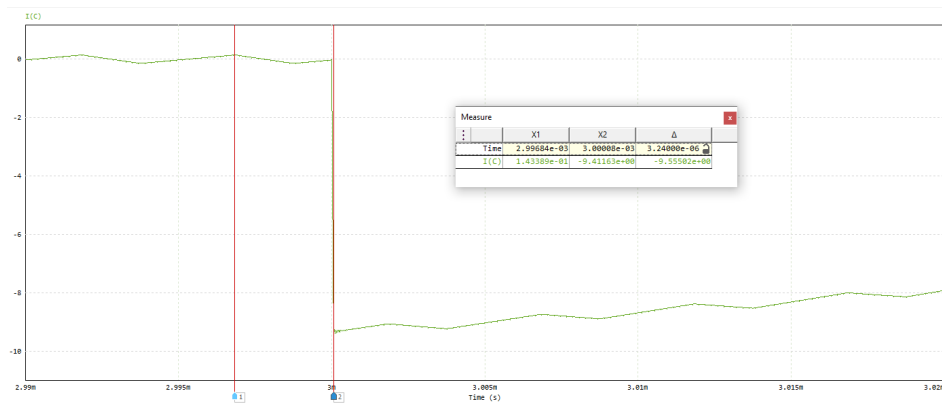


Figure 11: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle [2.99;3.02ms]

Le courant appelé est donc de 9,55A

1.2.5 Variation de V_{out} lors de l'appel de courant

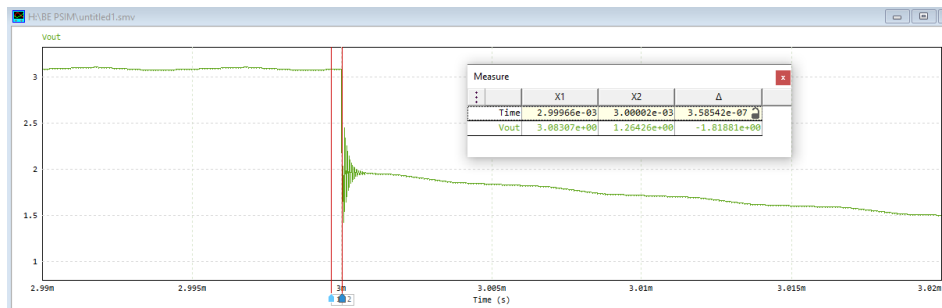


Figure 12: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle [2.99;3.02ms]

On observe une variation de $V_{out}(t)$ de 1,82V

1.2.6 Validation du cahier des charges

Le cahier des charges exige une ondulation de la tension de sortie $\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} < 1\%$ d'après les mesures précédentes on à: $\frac{1.82}{3.09} = 58\%$
Le cahier des charges n'est donc pas respecté.

1.3 Troisième cas : filtre de sortie à quatre condensateurs électrolytiques ($270\mu F$)

On remplace maintenant le filtre par des capacités parallèles, quatres condensateurs de $270\mu F$

1.3.1 Schéma du cas 3

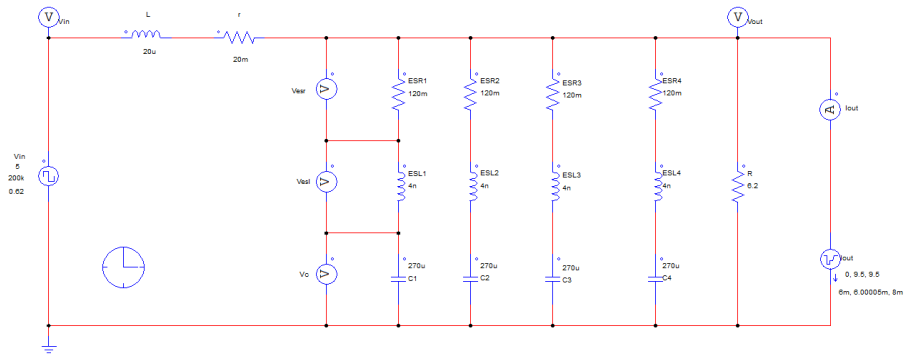


Figure 13: Schéma du cas 3

1.3.2 Relevé du signal $V_{out}(t)$

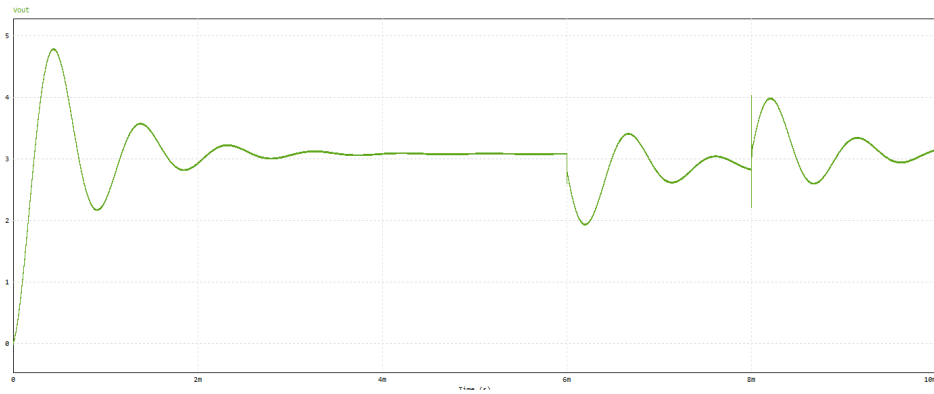


Figure 14: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle $[0;10\text{ms}]$

1.3.3 Relevé du signal $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$

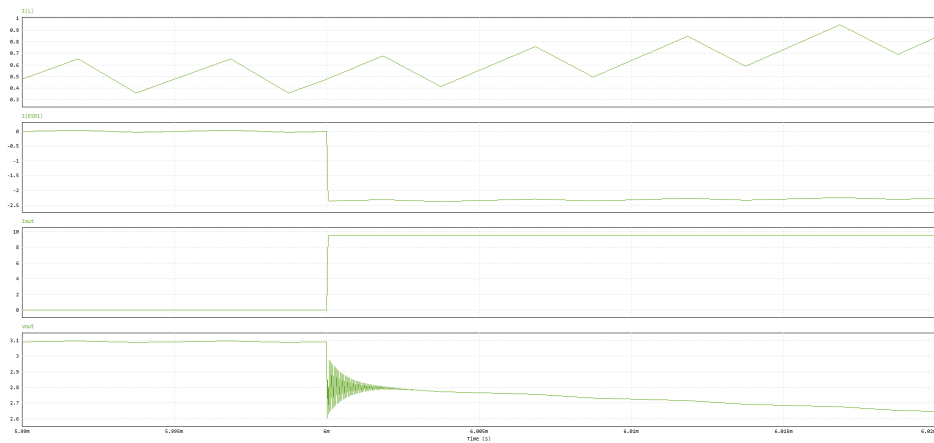


Figure 15: Visualisation de $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$ sur l'intervalle $[5.99;6.02\text{ms}]$

1.3.4 Variation de i_C lors de l'appel de courant

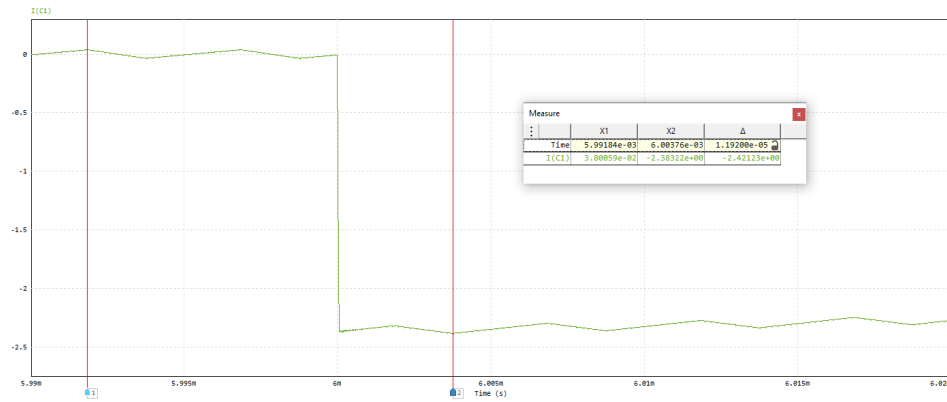


Figure 16: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle [5.99;6.02ms]

La chute de courant sur les branches des condensateurs est de 2,42A

1.3.5 Variation de V_{out} lors de l'appel de courant

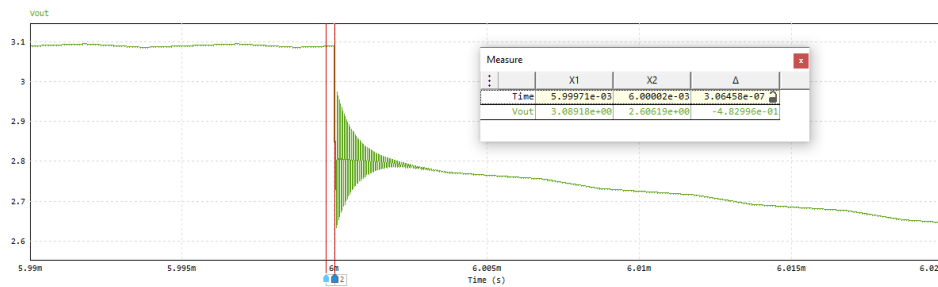


Figure 17: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle [5.99;6.02ms]

$$\Delta V_{out}(t) = 0,48V$$

1.3.6 Validation du cahier des charges

Le cahier des charges exige une ondulation de la tension de sortie $\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} < 1\%$ d'après les mesures précédentes on à: $\frac{0.48}{3.09} = 15\%$ Le cahier des charges n'est donc pas respecté, cependant on observe un nette amélioration par rapport aux cas précédents.

1.4 Quatrième cas : filtre de sortie à quatre condensateurs électrolytiques ($1500\mu\text{F}$)

On modifie la valeur des capacités ainsi que des résistances ESR et ESL. Le courant est maintenant actif sur l'intervalle $[8 ; 10]$ ms.

1.4.1 Schéma du cas 4

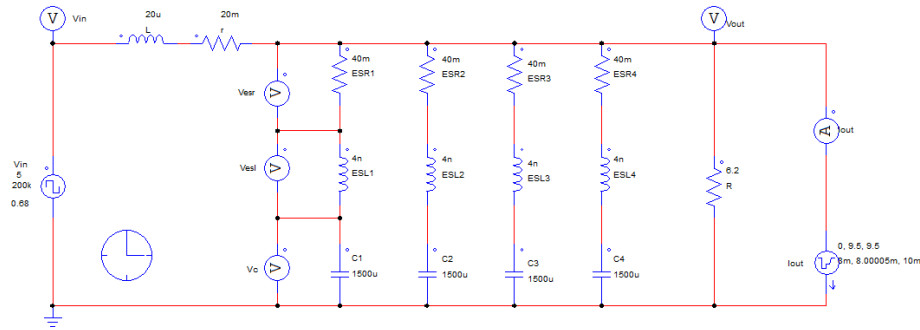


Figure 18: Schéma du cas 4

1.4.2 Relevé du signal $V_{\text{out}}(t)$

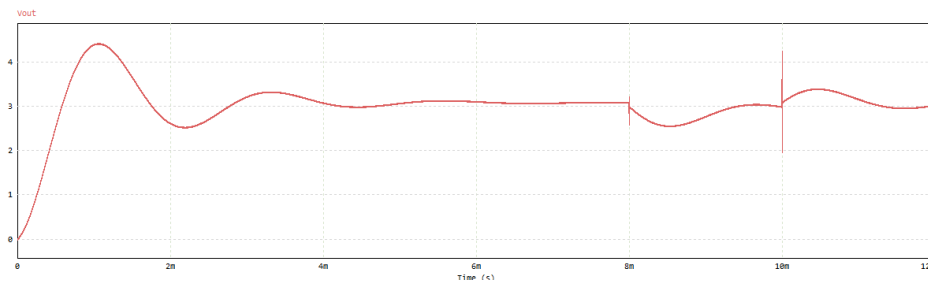


Figure 19: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle $[0;12\text{ms}]$

1.4.3 Relevé du signal $I_L(t), I_{\text{ESR1}}(t), I_{\text{out}}(t)$ et $V_{\text{out}}(t)$



Figure 20: Visualisation de $I_L(t), I_{\text{ESR1}}(t), I_{\text{out}}(t)$ et $V_{\text{out}}(t)$ sur l'intervalle $[7.99;8.02\text{ms}]$

1.4.4 Variation de i_C lors de l'appel de courant

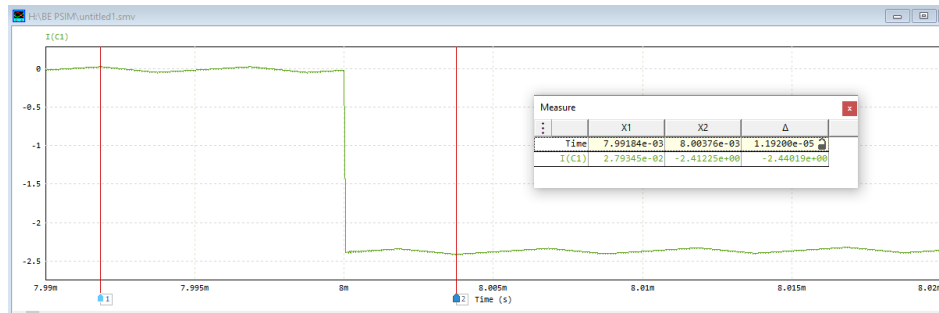


Figure 21: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle [7.99;8.02ms]

La chute de courant sur les branches des condensateurs est de 2,42A

1.4.5 Variation de V_{out} lors de l'appel de courant

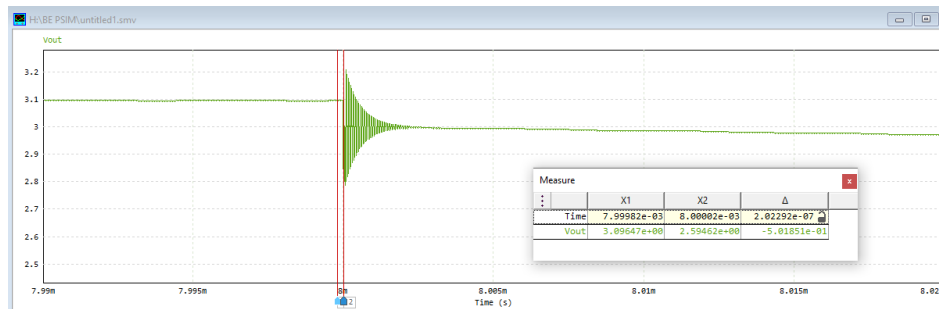


Figure 22: Visualisation de $V_{out}(t)$ sur l'intervalle [7.99;8.02ms]

$$\Delta V_{out}(t) = 0,502V$$

1.4.6 Validation du cahier des charges

Le cahier des charges exige une ondulation de la tension de sortie $\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} < 1\%$ d'après les mesures précédentes

on à: $\frac{0.502}{3.09} = 16\%$

Le cahier des charges n'est donc pas respecté.

1.5 Cinquième : filtre de sortie à 4 condensateurs électrolytiques additionnés de 30 céramiques de $1\mu F$

On ajoute finalement un sous-circuit S1 composé de 30 condensateurs céramiques en parallèle (équivalents ici à 30 dipôles RLC en parallèle) (voir figure 24). On introduit également une résistance r_c ainsi qu'une inductance l_c en série.

1.5.1 Schéma du cas 5

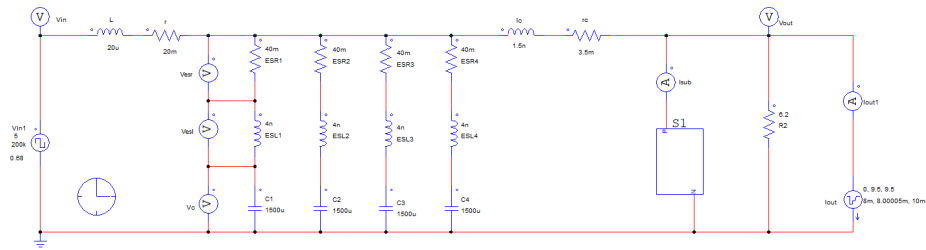


Figure 23: Schéma du cas 5

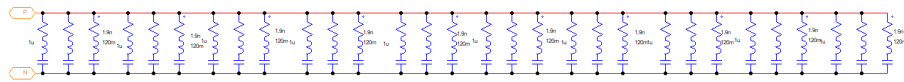


Figure 24: Schéma de S1

1.5.2 Relevé du signal $V_{out}(t)$

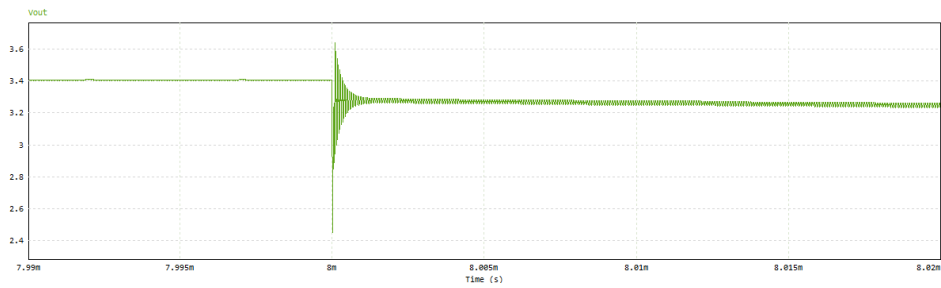


Figure 25: Visualisation de $V_{out}(t)$ sur l'intervalle $[0;12ms]$

1.5.3 Relevé du signal $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$

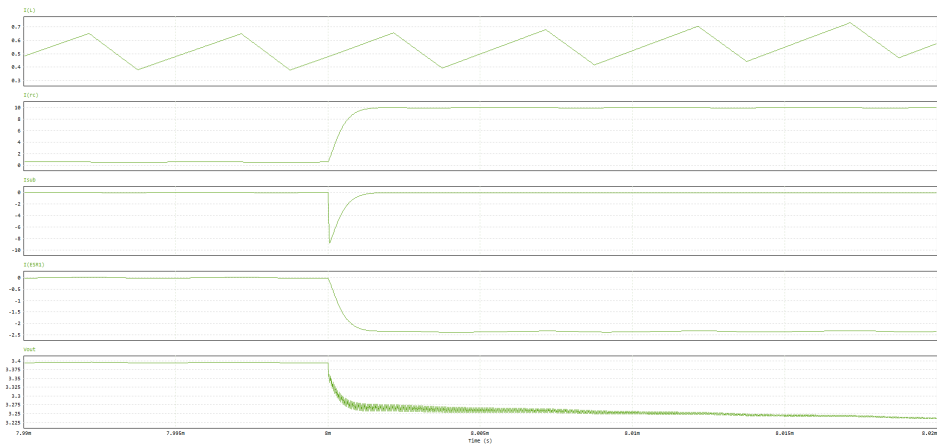


Figure 26: Visualisation de $I_L(t), I_{ESR1}(t), I_{out}(t)$ et $V_{out}(t)$ sur l'intervalle $[7.99;8.02ms]$

1.5.4 Variation de i_C lors de l'appel de courant

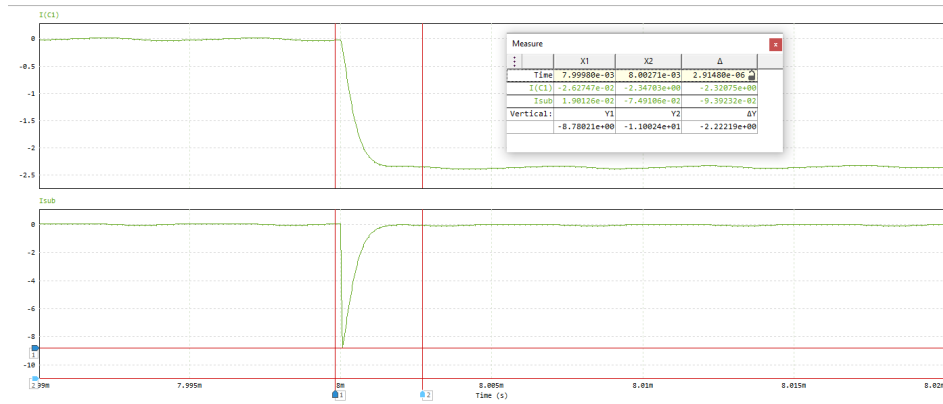


Figure 27: Visualisation de $i_C(t)$ sur l'intervalle [7.99;8.02ms]

La chute de courant sur les branches des condensateurs est de 2.32A

1.5.5 Variation de V_{out} lors de l'appel de courant

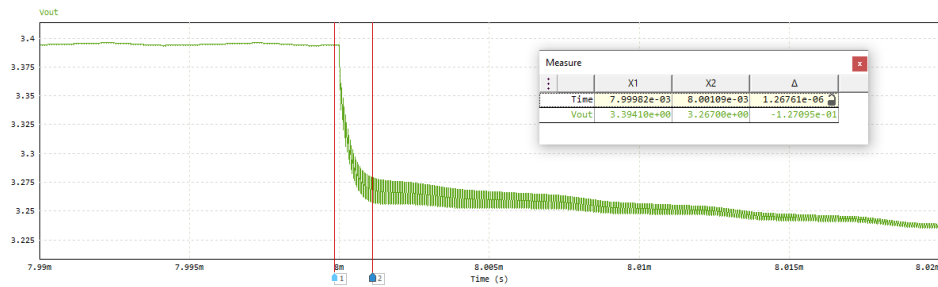


Figure 28: Visualisation de $V_{out}(t)$ sur l'intervalle [7.99;8.02ms]

$$\Delta V_{out}(t) = 0,127V$$

1.5.6 Validation du cahier des charges

Le cahier des charges exige une ondulation de la tension de sortie $\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} < 1\%$ d'après les mesures précédentes

on à: $\frac{0.127}{3.09} = 4.1\%$

Le cahier des charges n'est donc pas respecté, mais grâce aux 30 condensateurs en parallèle on réduit encore plus la variation de V_{out} .

2 Etude d'un convertisseur non isolé

2.1 Etude Théorique

2.1.1 Signe de U_s

$i_{DL} = i_s + i_c$. Or le courant moyen passant dans un condensateur est nul. Donc $I_{DL} = I_s$
De plus, le courant moyen passant dans une diode est toujours positif et R est en convention récepteur.
Donc U_s est positif.

2.1.2 Lois de variations des courants

Pour $0 \leq t \leq \alpha T$:

Les transistors sont équivalents à des court-circuits tandis que les diodes sont équivalentes à des circuits ouverts.

$$V_L(t) = V_e(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$\text{donc } i_L(t) = \frac{V_e}{L}t + I_1$$

$$i_{D1}(t) = i_{D2}(t) = 0$$

$$i_{T1}(t) = i_{T2}(t) = i_L(t)$$

$$V_{T1}(t) = V_{T2}(t) = 0$$

$$V_{D1} = -V_e$$

$$V_{D2} = -V_s$$

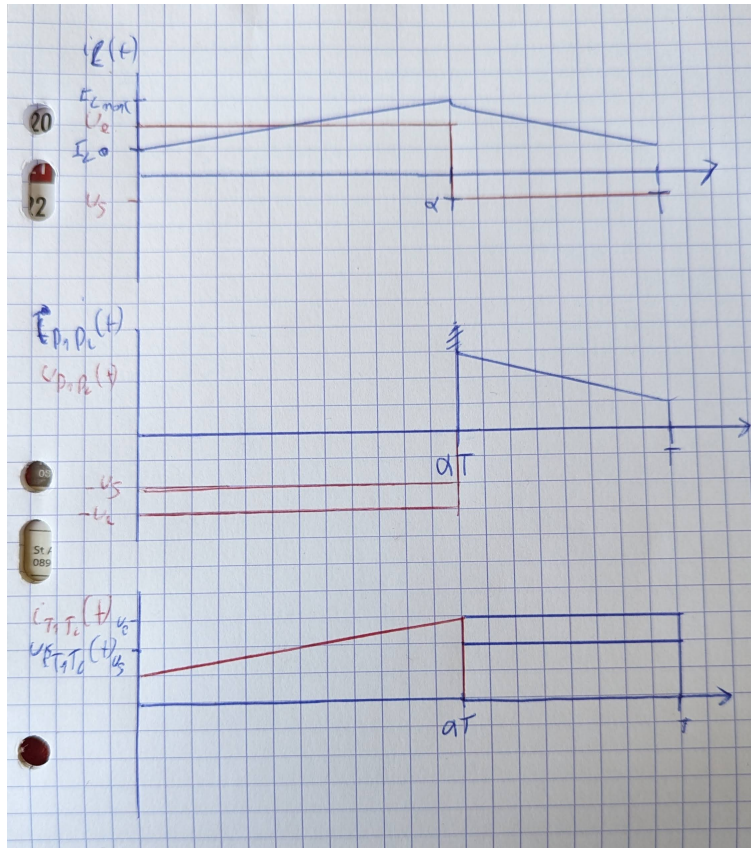


Figure 29: Chronogramme des signaux

2.1.3 Expression du rapport de conversion des tensions $M = \frac{U_s}{U_e}$

Sur la période T , la valeur moyenne de $i_L(t)$ est nulle.

De plus, sur $\alpha T \leq t \leq T$, $U_{D2} = -U_s$ et la valeur moyenne de v_{T1} est $V_{T1} = (1-\alpha)U_e$

$$\text{Donc } V_{D2} = V_e - (1-\alpha)U_e$$

$$\text{Donc } U_s(1-\alpha) = \alpha U_e$$

$$\text{Donc } M = \frac{U_s}{U_e} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

si $\alpha \leq \frac{1}{2}$ c'est un abaisseur de tension, sinon c'est un élévateur de tension.

Pour le rapport de courant, on s'intéresse au rapport des puissances :

$$\frac{P_s}{P_u} = \frac{U_s I_s}{U_e I_e} = 1 \text{ car les composants sont supposés parfaits, et donc le rendement égal à 1.}$$

$$\text{Donc } \frac{I_s}{I_e} = \frac{1}{M} = \frac{(1-\alpha)}{\alpha}$$

2.2 Calibres en courant

Les calibres de tensions et de courant sont : $i_{T1} = i_{T2} = i_L(\alpha.T) = I_2$

$$V_{T1} = V_e$$

$$V_{T2} = V_s$$

$$V_{D1} = -V_e$$

$$V_{D2} = -V_s$$

2.3 Expression de l'inductance critique

En conduction critique, la valeur moyenne de i_L est $I_L = \frac{I_1 + I_2 = I_2}{2}$ car $I_1 = 0$

$$\text{Donc } I_L = \frac{V_e}{2L_c} \alpha.T = I_s = \frac{U_s}{R} \text{ et } M = \frac{U_s}{U_e}$$

$$\text{Donc } L_c = \frac{R \cdot (1-\alpha)^2}{2 \cdot f}$$

2.4 Expression du rapport M en conduction discontinu

En conduction discontinue :

$$\text{Pour } 0 \leq t \leq \alpha T : U_{D2} = -U_s \text{ et } U_{T1} = 0$$

$$\text{Pour } \alpha T \leq t \leq \beta T : U_{D2} = 0 \text{ et } U_{T1} = (\beta - \alpha)U_e$$

$$\text{Pour } \beta T \leq t \leq T : U_{D2} = \text{ et } U_{T1} =$$

En reprenant le calcul de M de la partie 2.1.3, on obtient $M = \frac{1}{1-\alpha(1-\beta)}$

3 Etude par simulation

On simule le régulateur suivant. On utilise des transistors ainsi que des diodes de puissance. On étudie le régulateur en boucle ouverte uniquement.

3.1 Convertisseur non isolé

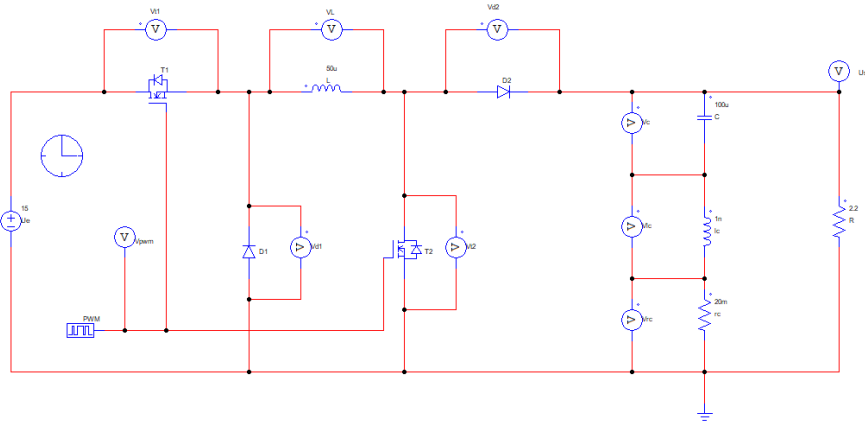


Figure 30: Convertisseur non isolé

3.2 Régimes transitoire et permanent pour i_L et u_s

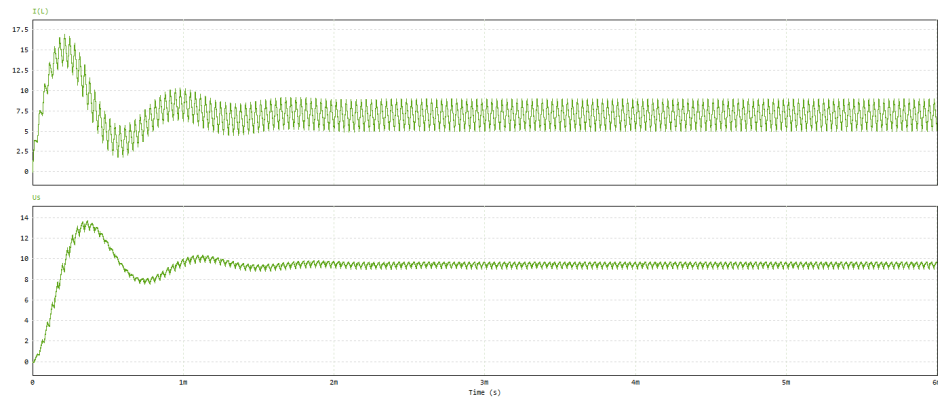


Figure 31: Visualisation de $i_L(t)$ et u_s sur l'intervalle $[0;6\text{ms}]$

3.3 Caractéristiques en régime permanent



Figure 32: Visualisation des signaux sur l'intervalle [19;20ms]

On retrouve bien en simulation les comportements des signaux prévus en théorie.

3.4 Visualisation des tensions au bornes de R_C , L_C et C

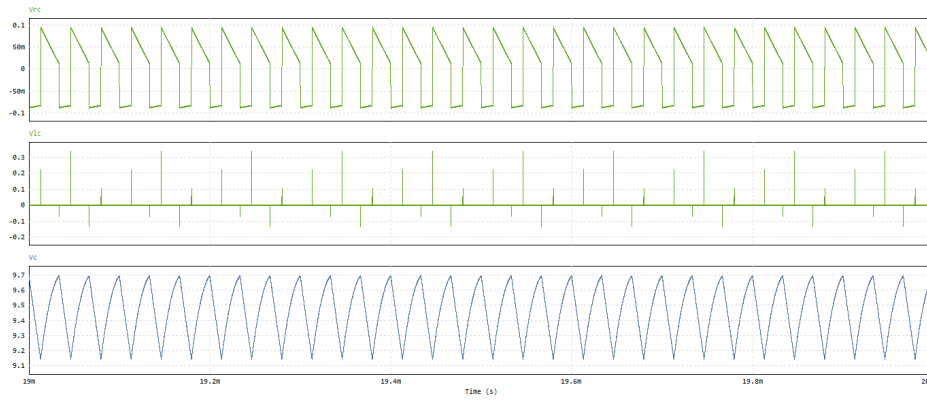


Figure 33: Visualisation des tensions au bornes de R_C , L_C et C sur l'intervalle [19;20ms]

On observe alors que l'inductance l_c permet d'assurer une continuité du courant tandis que la résistance r_c permet elle d'assurer un profil linéaire de la tension de sortie.

3.5 Tracé de U_s en fonction de α

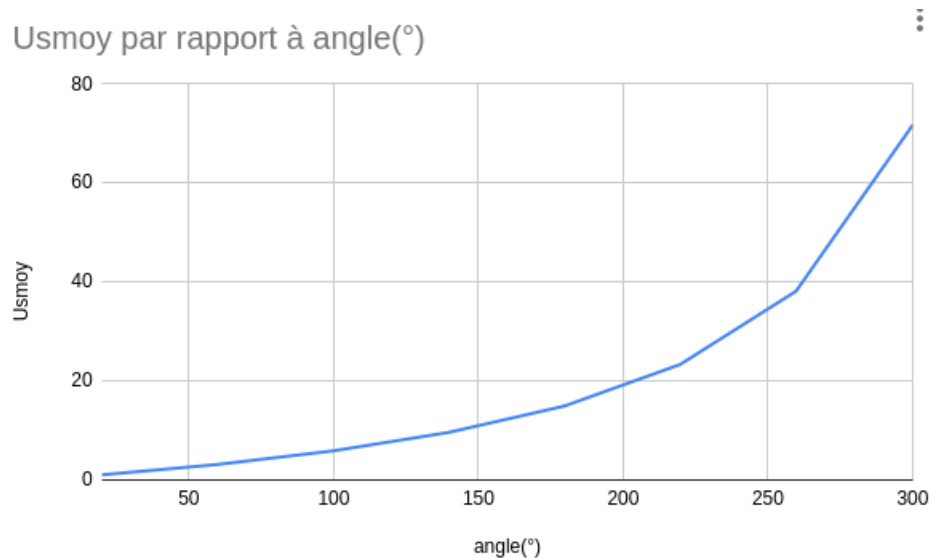


Figure 34: Tracé de U_s en fonction de α

Après avoir effectué différentes mesures en faisant varier α , on remarque que U_s est bien proportionnel à α^2 . Il s'agit donc d'un convertisseur boost.

3.6 Calcul de l'inductance critique L_c

Pour $R=2,2\Omega$ et $\alpha = 140$, on obtient $L_c=5,3\mu H$. En simulant, on retrouve bien la conduction critique attendue.

3.7 Visualisation de $i_L(t)$ et $U_S(t)$ avec $R=7,8\Omega$ et $\alpha = 140^\circ$

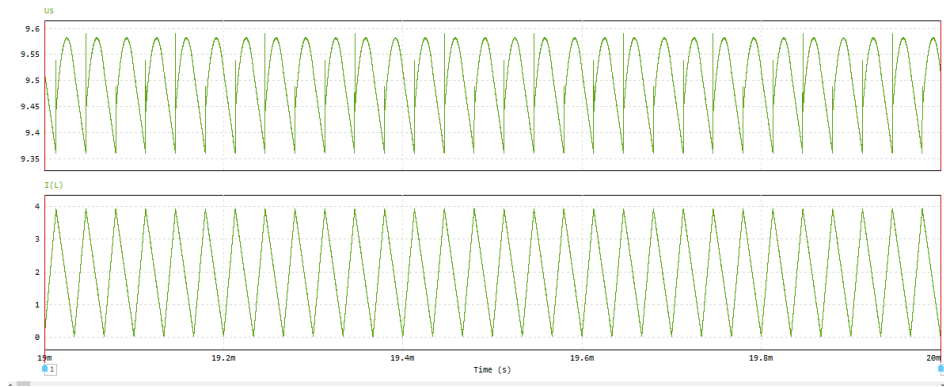


Figure 35: Visualisation de $i_L(t)$ et $U_S(t)$ avec $R=7,8\Omega$ et $\alpha = 140^\circ$

On remarque une ondulation du courant dans L1 de 4 ampères ainsi qu'une variation de tension à la sortie de 0,4V.

On observe que, lorsque R augmente, U_s diminue puis se stabilise lorsque R dépasse la dizaine de Ohm.

3.8 Visualisation de $i_L(t)$ et $U_S(t)$ avec $R=50\Omega$ et $L=50\mu H$

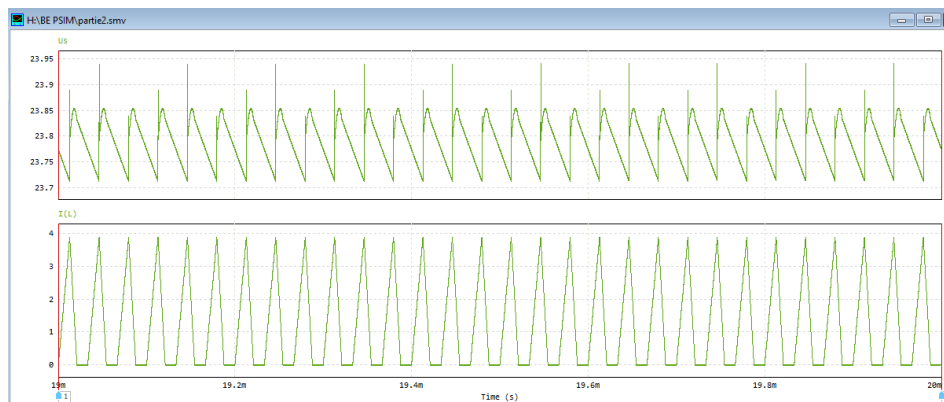


Figure 36: Visualisation de $U_S(t)$ et $i_L(t)$ avec $R=50\Omega$ et $L=50\mu H$

Pour $R=50\Omega$ et $L=50\mu H$, on se trouve en conduction discontinue (le courant s'annule pendant une partie de la période T). On observe alors que U_s est discontinue et oscille faiblement entre 23.72V et 23.85V.

R est constant, donc pour avoir U_s constant il faut fixer i_s et supprimer ses variations.