

Compte-rendu TP1

Etude d'un hacheur abaisseur de tension

1. Introduction

Lors de ce TP, nous nous intéresserons au hacheur dévolteur, ce qui est un convertisseur DC/DC. Nous allons analyser le principe de fonctionnement d'un hacheur abaisseur de tension et nous étudierons en détail les points suivants:

- Principe de fonctionnement
- Signaux de commande du hacheur
- Caractérisation de l'ondulation de courant de sortie
- Influence de l'inductance sur l'ondulation

2. Préparation

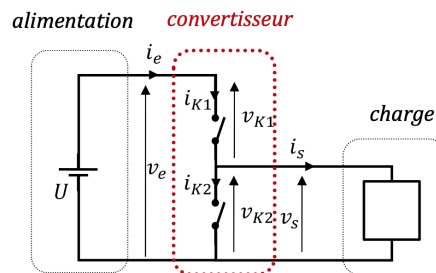


Figure 1. Schéma de principe du hacheur étudié

On va étudier le hacheur représenté sur le schéma ci-dessus. On suppose que les deux interrupteurs K1 et K2 qui forment une cellule de commutation sont parfaits.

L'interrupteur K1 est commandé par un bit de commande, il est fermé pendant $[0, \alpha T]$ et ouvert pendant $[\alpha T, T]$.

On peut donc écrire les équations différentielles et les résoudre (C.I: i_0):

$$i_s(t) = \begin{cases} \frac{U}{R} + \left(i_0 - \frac{U}{R}\right) e^{-\frac{R}{L}t} & \text{si } 0 \leq t < \alpha T \\ i_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-T)} & \text{si } \alpha T \leq t < T \end{cases}, \text{ où } i_0 = \frac{U}{R} \frac{e^{+\frac{R}{L}\alpha T} - 1}{e^{+\frac{R}{L}T} - 1}$$

On écrit donc un programme Matlab permettant de tracer le graphe de i_s sur l'intervalle $[-T, T]$, pour les paramètres suivants: $U = 30 \text{ V}$, $R = 10 \Omega$, $L = 8 \text{ mH}$ et $T = 1 \text{ ms}$. On choisit par exemple $\alpha = 0.5$:

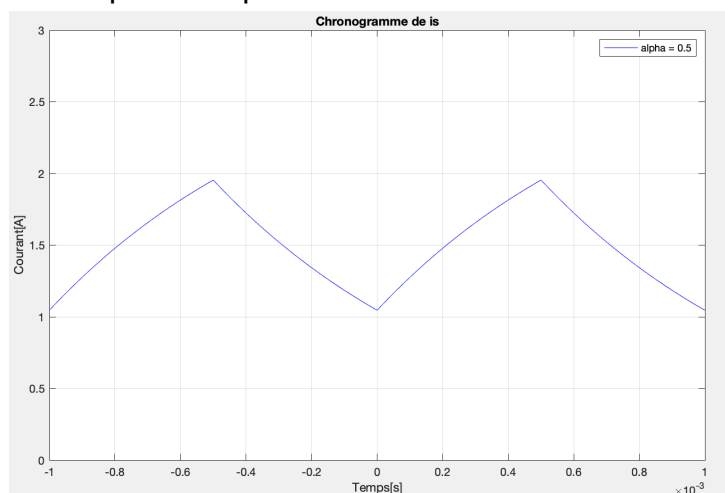


Figure 2. Simulation pour $\alpha = 0.5$

```
Courant moyen = 1.4995 [A]
Ondulation = 0.9081 [A]
i_0 = 1.0459 [A]
i_alpha = 1.9541 [A]>>
```

Pour étudier l'influence du rapport cyclique α , on prend les valeurs suivantes de α : 0.3, 0.5 et 0.7. On trace le chronogramme de i_s en superposant les trois courbes:

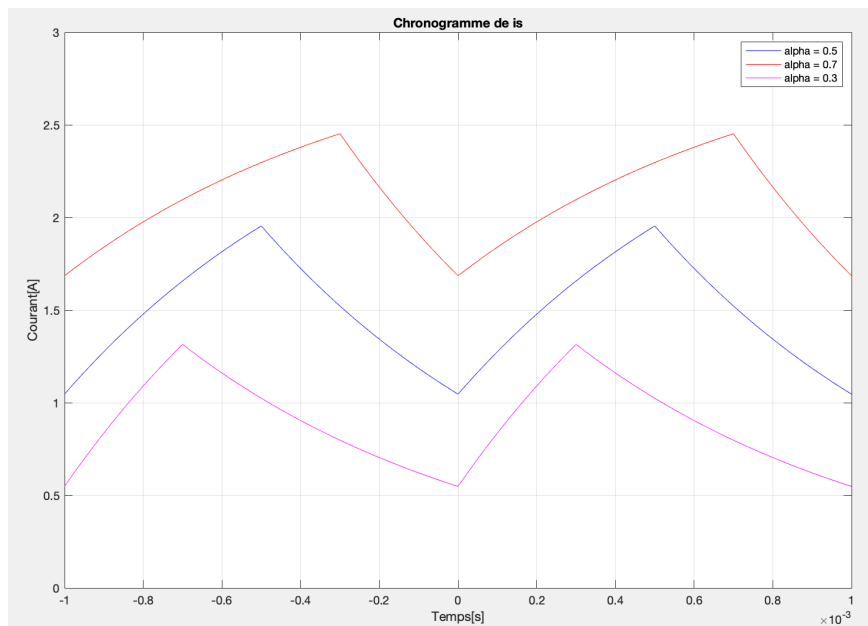


Figure 3. Simulation - comparaison valeur α

On trouve que plus α est grand, plus la valeur moyenne du courant est grande.

Afin d'étudier l'influence de la fréquence, on choisit $T_1 = 1$ ms et $T_2 = 0.2$ ms. Les autres paramètres restent inchangés et on choisit $\alpha = 0.5$. On superpose de la même façon les deux courbes:

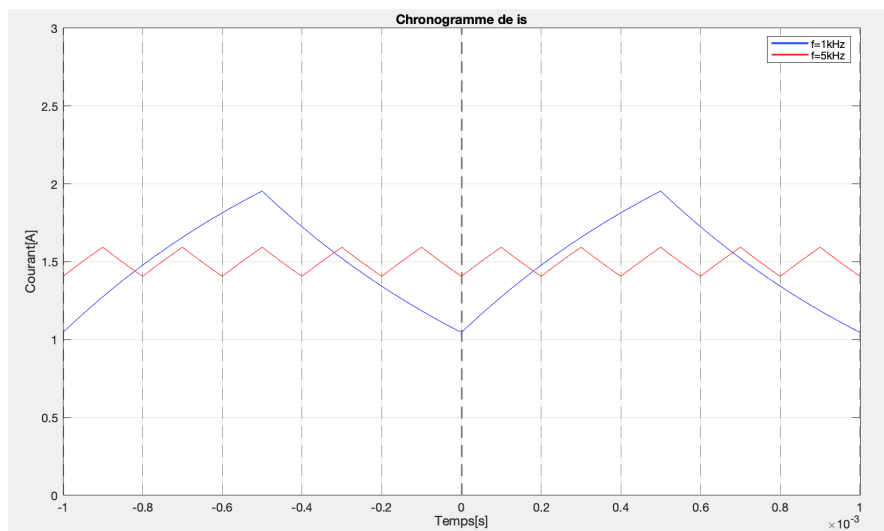


Figure 4. Simulation - comparaison de f différentes

Courant moyen = 0.8996 [A]
 Ondulation = 0.7667 [A]
 $i_0 = 0.5481$ [A]
 $i_{\alpha} = 1.3148$ [A]

Courant moyen = 1.4995 [A]
 Ondulation = 0.9081 [A]
 $i_0 = 1.0459$ [A]
 $i_{\alpha} = 1.9541$ [A]>>

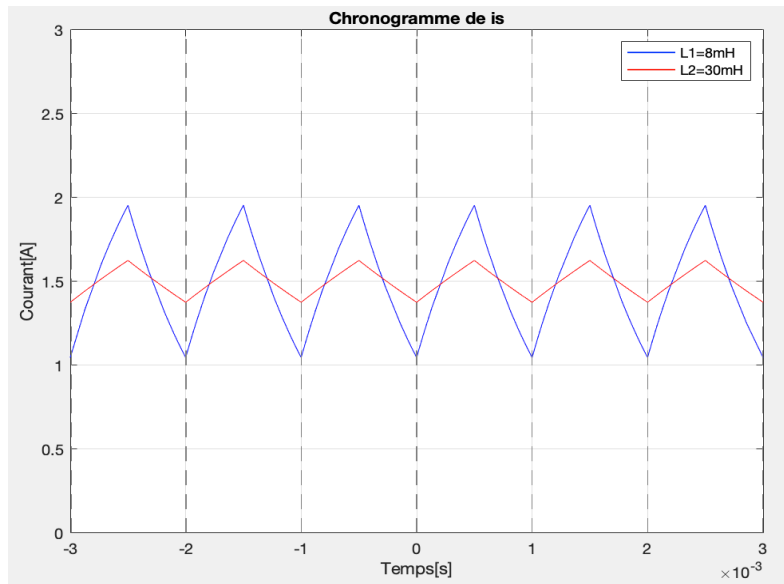
Courant moyen = 2.0996 [A]
 Ondulation = 0.7667 [A]
 $i_0 = 1.6852$ [A]
 $i_{\alpha} = 2.4519$ [A]

Courant moyen = 1.4995 [A]
 Ondulation = 0.9081 [A]
 $i_0 = 1.0459$ [A]
 $i_{\alpha} = 1.9541$ [A]

Courant moyen = 1.4999 [A]
 Ondulation = 0.1873 [A]
 $i_0 = 1.4064$ [A]
 $i_{\alpha} = 1.5936$ [A]

On constate que quand on augmente la fréquence de hachage, il y a moins d'ondulation de courant. La valeur moyenne du courant ne varie pas.

On étudie enfin l'influence de l'inductance L . Les autres paramètres du hacheur ne changent pas et on garde la fréquence de hachage constante et on choisit $f = 1 \text{ kHz}$ ($T = 1 \text{ ms}$) et on compare les 2 cas de figure: $L1 = 8 \text{ mH}$ et $L2 = 30 \text{ mH}$:



Courant moyen = 1.4995 [A]
 Ondulation = 0.9081 [A]
 $i_0 = 1.0459 \text{ [A]}$
 $i_{\alpha} = 1.9541 \text{ [A]}$

Courant moyen = 1.4999 [A]
 Ondulation = 0.2494 [A]
 $i_0 = 1.3753 \text{ [A]}$
 $i_{\alpha} = 1.6247 \text{ [A]}$

Figure 5. Simulation - comparaison L différentes

On remarque que plus l'inductance L est grande, plus le courant est lisse, donc l'ondulation de courant diminue. La valeur moyenne du courant est toujours constante.

Conclusion: On peut augmenter la fréquence de hachage f ou l'inductance de lissage pour diminuer l'ondulation de courant afin d'obtenir un courant le plus constant possible.

Remarque (après avoir fini le TP): les valeurs utilisées dans les simulations ne correspondent pas exactement à celles en expérimentation car la valeur maximale du courant supporté par la maquette est 2 A, ce qui change R à 15Ω . Néanmoins, les formes des signaux et le comportement du convertisseur restent les mêmes.

3. Travail en séance

A- Etude de la commande du convertisseur

La valeur maximale de tension: 30V

La valeur maximale de courant: 2A

On réalise par la suite le câblage pour alimenter le convertisseur en $\pm 15V$.

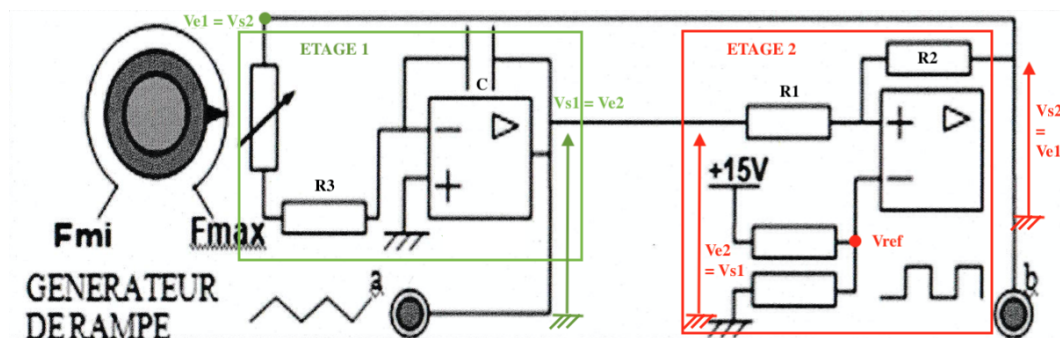


Figure 6. Bloc générateur de rampe

Fonctionnement du générateur de rampe:

Ce générateur est composé de deux étages. La première correspond à un intégrateur à base d'AOP et la deuxième correspond à un trigger de schmitt avec une tension de référence sur l'entrée inverseuse. Cette tension est créée à partir de la tension d'alimentation +15V.

1) Trigger de schmitt (Étage 2):

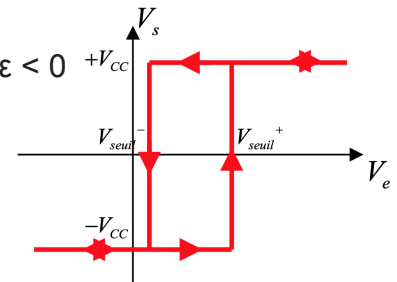
On a $\varepsilon = V_+ = V_-$ (AOP)

L'AOP a une réaction positive, il fonctionne donc en régime de saturation, c'est-à-dire $V_{s2} = \pm V_{sat}$ (les tensions de saturation).

Plus précisément: $V_{s2} = +V_{sat}$ quand $\varepsilon > 0$ et $V_{s2} = -V_{sat}$ quand $\varepsilon < 0$

D'après le théorème de Millman, on a:

$$\varepsilon = \frac{\frac{V_{e2}}{R1} + \frac{V_{s2}}{R2}}{\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}} - V_{ref} = \frac{V_{e2}R2 + V_{s2}R1}{R1 + R2} - V_{ref}$$



Il s'agit d'un comparateur à hystérésis dont les 2 tensions de seuils sont les suivantes:

Les basculement ont lieu quand ε passe à 0 donc les 2 tension de seuils sont:

$$V_{e2} \cdot R2 + V_{sat} \cdot R1 - V_{ref} \cdot (R1 + R2) = 0 \Rightarrow V_{seuil-} = \frac{(R1 + R2)V_{ref} - R1V_{sat}}{R2}$$

$$V_{e2} \cdot R2 - V_{sat} \cdot R1 - V_{ref} \cdot (R1 + R2) = 0 \Rightarrow V_{seuil+} = \frac{(R1 + R2)V_{ref} + R1V_{sat}}{R2}$$

On a donc un signal carré dont la valeur moyenne est calculée à partir de V_{ref} .

2) Intégrateur (Étage 1):

On sait que $i_+ = i_- \approx 0$ donc pour un amplificateur inverseur, on a le courant d'entrée qui est égale au courant dans la boucle de contre-réaction. $Z2$ étant l'impédance dans la boucle de retour.

$$\frac{V_{e1} - 0}{Z1} = \frac{0 - V_{s1}}{Z2} \Rightarrow V_{s1} = -\frac{Z2}{Z1} \cdot V_{e1}$$

Dans notre cas, on a:

$$V_{s1} = -\frac{1}{jC\omega R} V_{e1} = -\frac{V_{e1}}{RC} \frac{1}{j\omega} \Rightarrow V_s = -\frac{1}{RC} \int V_{e1}(t) dt$$

Il s'agit donc d'intégrer la tension V_{e1} , qui est égale à la tension V_{s2} , un signal carré, donc on obtient effectivement, en sortie, un signal de rampe.

On visualise le signal de rampe à l'aide d'un oscilloscope:

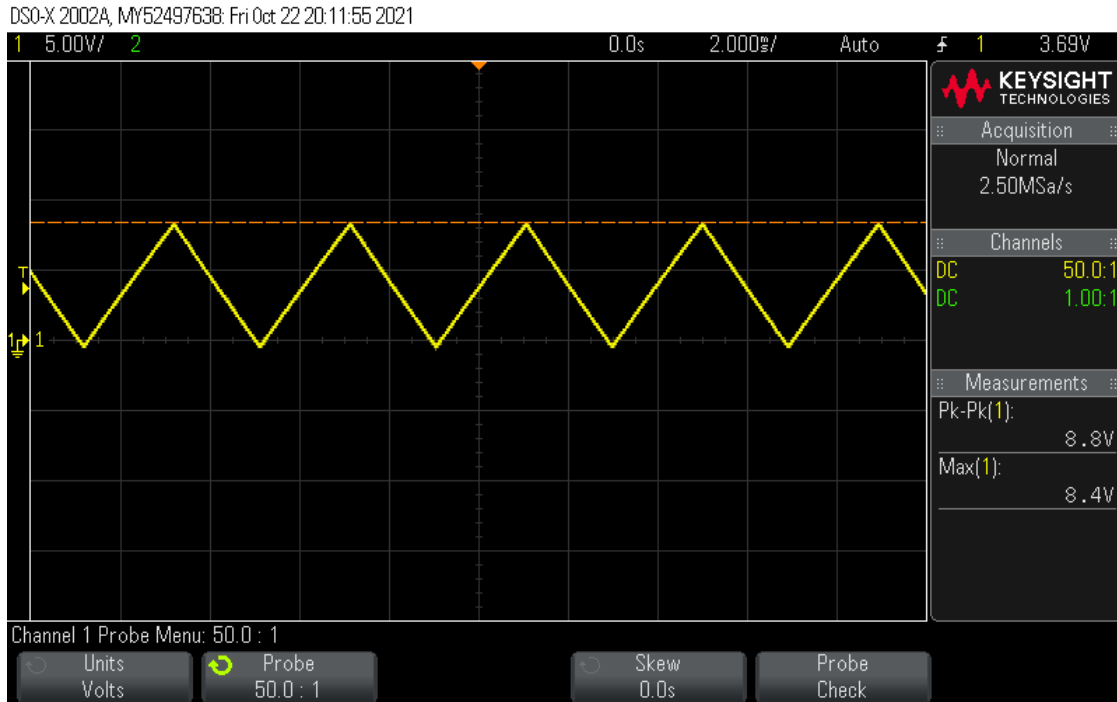


Figure 7. Visualisation sur l'oscilloscope - générateur de rampe

On fait varier ensuite le potentiomètre sur le bloc générateur de rampe, on trouve sur l'oscilloscope que la fréquence minimale $f_{min} = 175.5 \text{ Hz}$ et la fréquence maximale $f_{max} = 1.68 \text{ kHz}$.

Fonctionnement du bloc commande:

Ce circuit est composé d'une résistance en série avec une résistance ajustable, elles forment un diviseur de tension permettant de changer la tension de sortie entre 0 et 10V. On visualise le signal de commande qui est une tension constante:

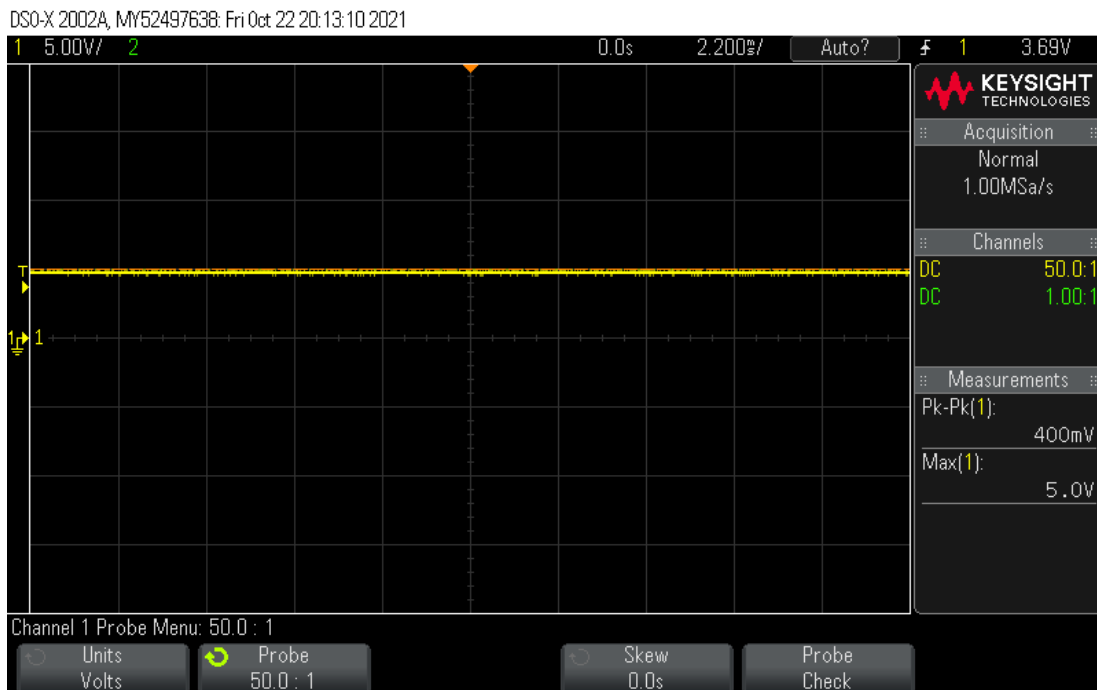


Figure 8. Visualisation sur l'oscilloscope - le bloc commande

Quand on tourne le bouton de commande, on varie la résistance en bas du pont de diviseur de tension, on change donc la tension de sortie (le signal de commande). On constate que ce signal varie de 0 à 9 V (quand le bouton est tourné au fond).

Fonctionnement du bloc comparateur:

Ce circuit est réalisé avec un comparateur à base d'AOP. Le fonctionnement est simple: quand $V_+ > V_-$, $V_s = +V_{cc}$ et sinon $V_s = -V_{cc}$.

Le signal de commande est donc une tension de seuil. On envoie ensuite le signal de rampe en entrée inverseuse du bloc comparateur ainsi que le signal de commande (tension constante) en entrée non inverseuse. La tension de sortie du comparateur varie donc de -15V à +15V (l'alimentation de l'AOP). La forme de ce signal est donc un signal PWM dont le rapport cyclique est variable, ce qui servira à commander le transistor. On visualise le signal de sortie, dont la masse est référencée à -15V, on a donc un signal de sortie de 0 à 30 V:

DSO-X 2002A, MY52497638: Fri Oct 22 20:18:29 2021

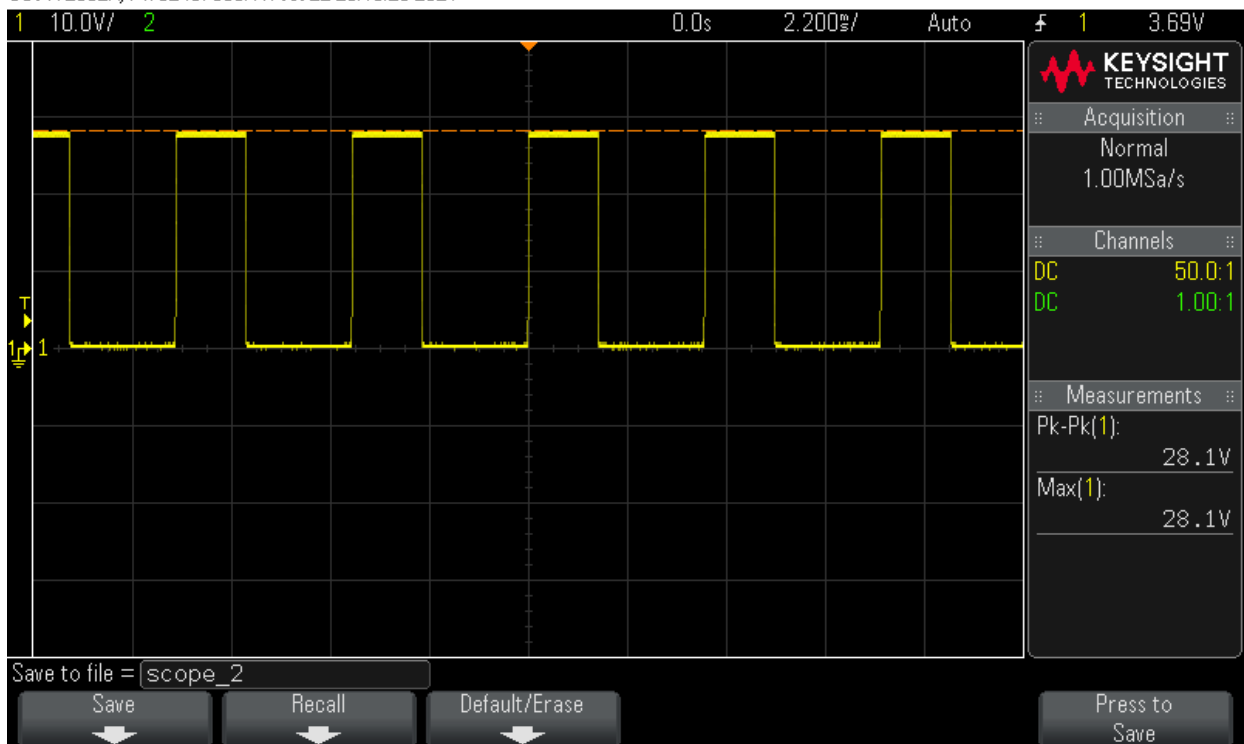


Figure 9. Visualisation sur l'oscilloscope - le bloc comparateur

On visualise ensuite le signal de sortie du comparateur sur la voie 2 de l'oscilloscope pour le superposer avec le signal de rampe, ce qui est sur la voie 1.

On ajuste les 2 potentiomètres:

- Rapport cyclique varié, fréquence constante (on prend 1 kHz):

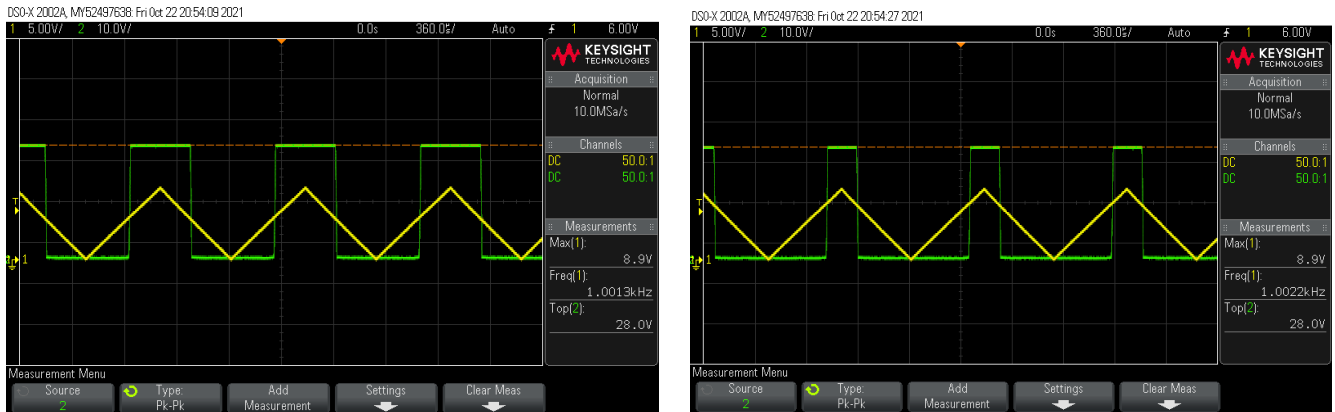


Figure 10. Visualisation du signal de sortie - α varie

On trouve que le potentiomètre présent sur le bloc générateur de rampe permet de varier la fréquence de hachage.

- Rapport cyclique constant, fréquence variée:

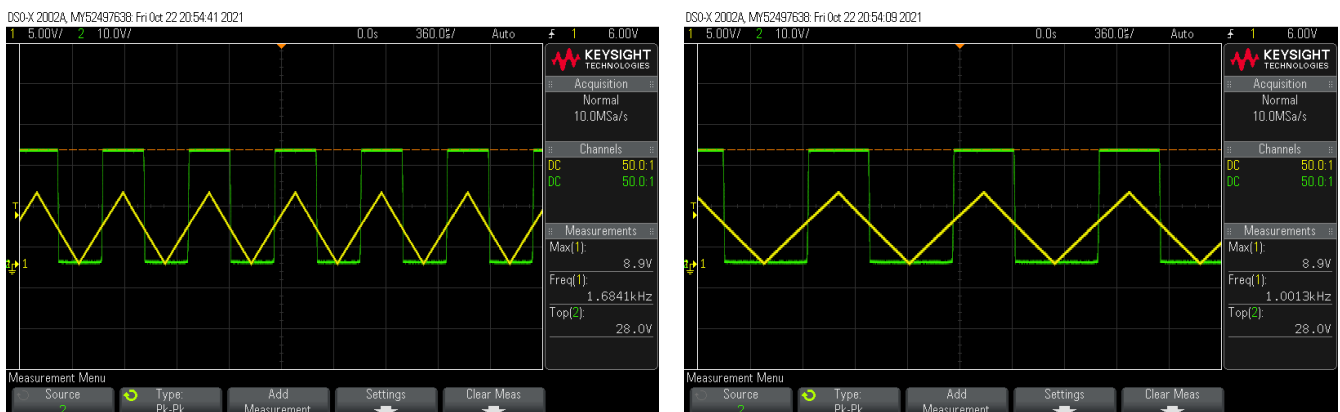


Figure 11. Visualisation du signal de sortie - f varie

On trouve que le potentiomètre sur le bloc commande permet de changer le paramètre α , le rapport cyclique du hacheur.

B- Alimentation d'une charge résistive :

Dans cette partie, on va analyser lors que la charge est une charge purement résistive. On règle la fréquence de hachage à 500 Hz et règle la source de tension continue constante à 30 V. Pour pouvoir obtenir un courant de 2 A (valeur maximale de courant du convertisseur), il faut que la résistance soit réglée à $30/2 = 15 \Omega$ car $V_{smax} = V_e = 30 V$ si $\alpha = 1$. Si $R = 15 \Omega$, le courant ne va jamais dépasser 2 A car $0 \leq \alpha \leq 1$.

Le schéma de principe (Difficile de présenter la photo du montage car il y a trop de fils, on annote donc le schéma sur le sujet):

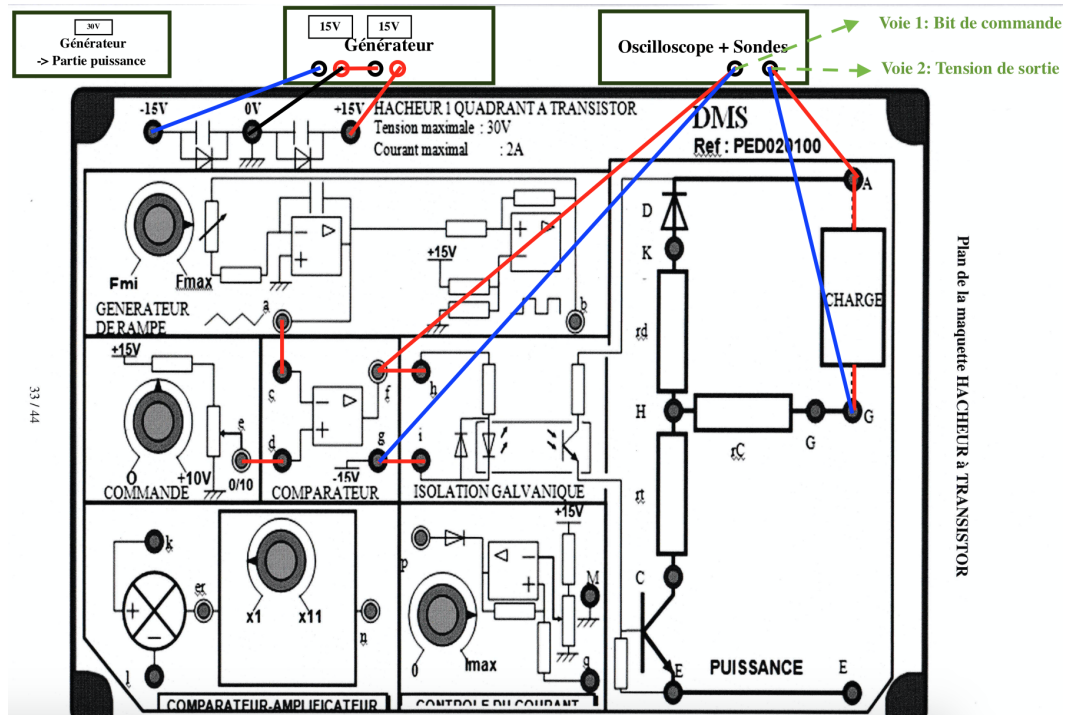


Figure 12. schéma principe du montage - charge R

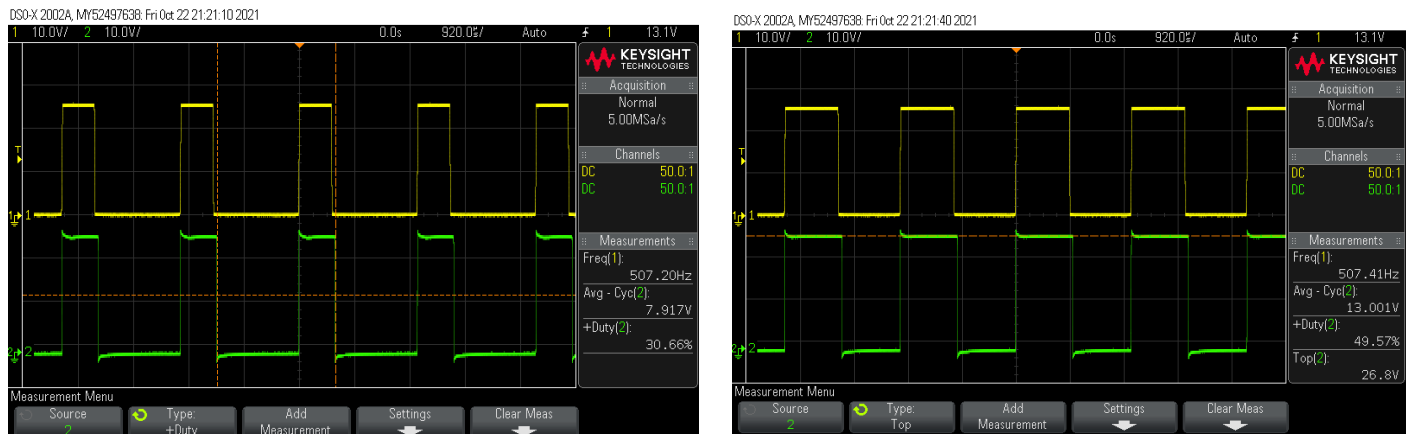


Figure 13. Visualisation du signal de commande et de la tension de sortie avec $a=0.3$ et 0.5

On constate sur l'oscilloscope que quand $\alpha = 0.3$, $V_{s_moy} = 8 \text{ V}$ ($\approx 26.8 \cdot 30\%$) et quand $\alpha = 0.5$, $V_{s_moy} = 13 \text{ V}$ ($\approx 26.8 \cdot 50\%$), la tension de sortie est donc conforme aux attentes.

Le courant dans la charge est discontinu car il n'y a pas d'inductance dans la charge pour assurer la continuité du courant, c'est-à-dire que le courant ne diminue pas lentement en fonction de la constante de temps. Le courant passe donc à 0 pendant chaque période.

C- Alimentation d'une charge RL :

On va étudier ensuite le cas d'une charge RL. On ajoute une inductance de 10 mH en série avec la résistance. Le schéma de principe change cette fois. Cette fois la charge est une résistance en série avec une inductance et on ne possède pas d'une sonde de courant. On branche donc la voie 2 de l'oscilloscope aux bornes de la résistance pour visualiser la tension aux bornes de la résistance pour déduire le courant dans la charge.

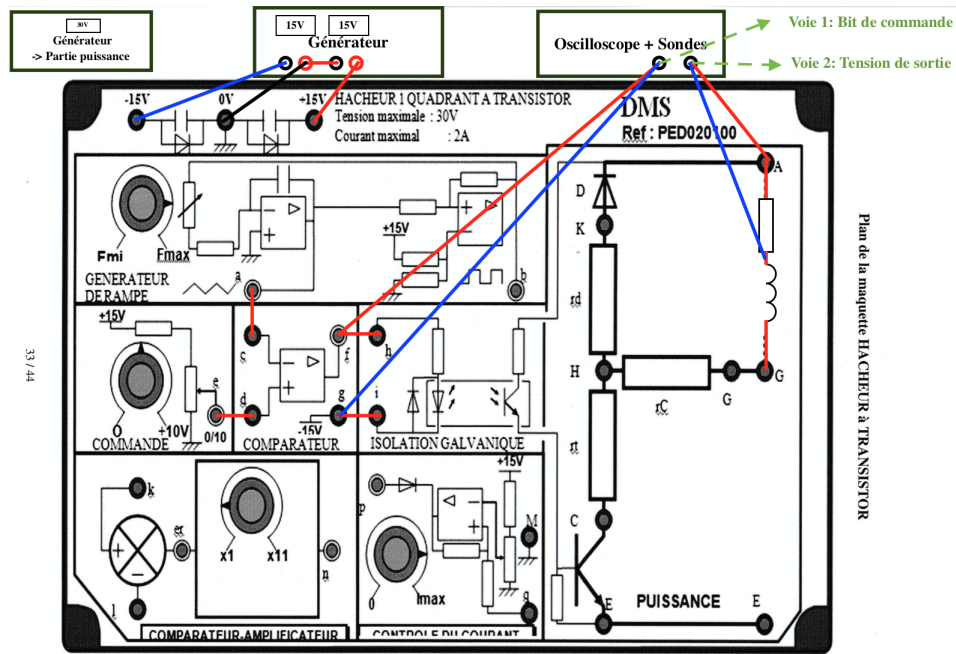


Figure 14. schéma principe du montage - charge RL

1) On fixe la fréquence $f = 500$ Hz et on fait varier le rapport cyclique α . Quand $\alpha = 0.5$, la plus grande ondulation de courant est $22.5/15 = 1.5$ A.

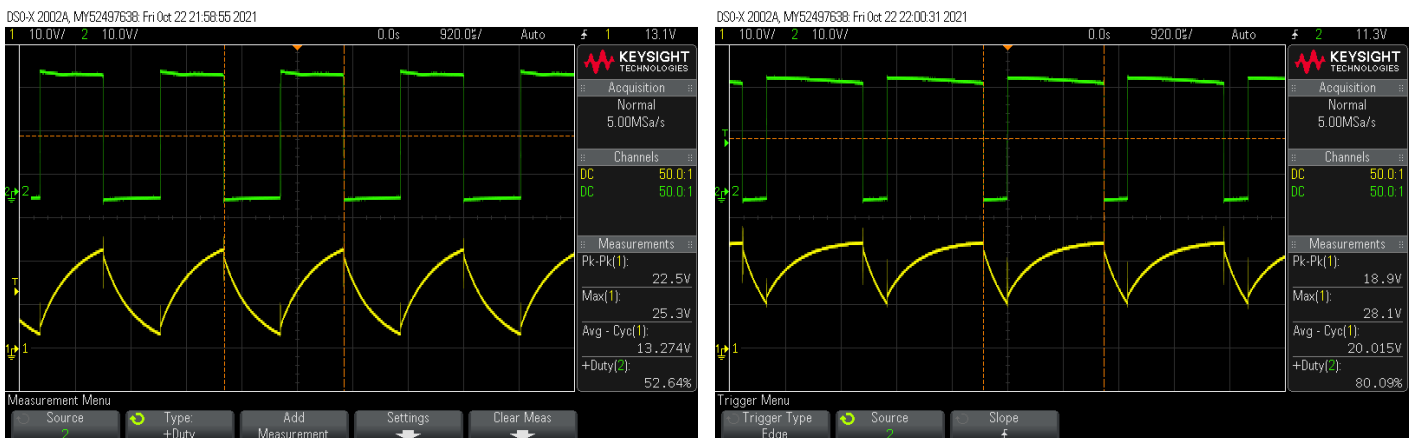


Figure 15. Visualisation du courant de sortie à $f = 500$ Hz

Pour $\alpha = 0.5$: $i_{smoy} = 0,9$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.5$ A;

Pour $\alpha = 0.8$: $i_{smoy} = 1.33$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.27$ A;

2) À rapport cyclique fixe de 0.5, on fait varier la fréquence de hachage.



Figure 16. Visualisation de $f = 500$ Hz et 1 kHz avec $a=0.5$

Pour $f = 500$ Hz: $i_{smoy} = 0,84$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.45$ A;

Pour $f = 1$ kHz: $i_{smoy} = 0,9$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1$ A;

Conclusion: on constate que quand le rapport cyclique reste constant, plus la fréquence est élevée, plus l'ondulation de courant est petite, donc pour avoir un courant de sortie le plus constant possible, on peut augmenter la fréquence de hachage.

3) On fixe maintenant la fréquence à la fréquence minimale (180 Hz) et fait varier le rapport cyclique:

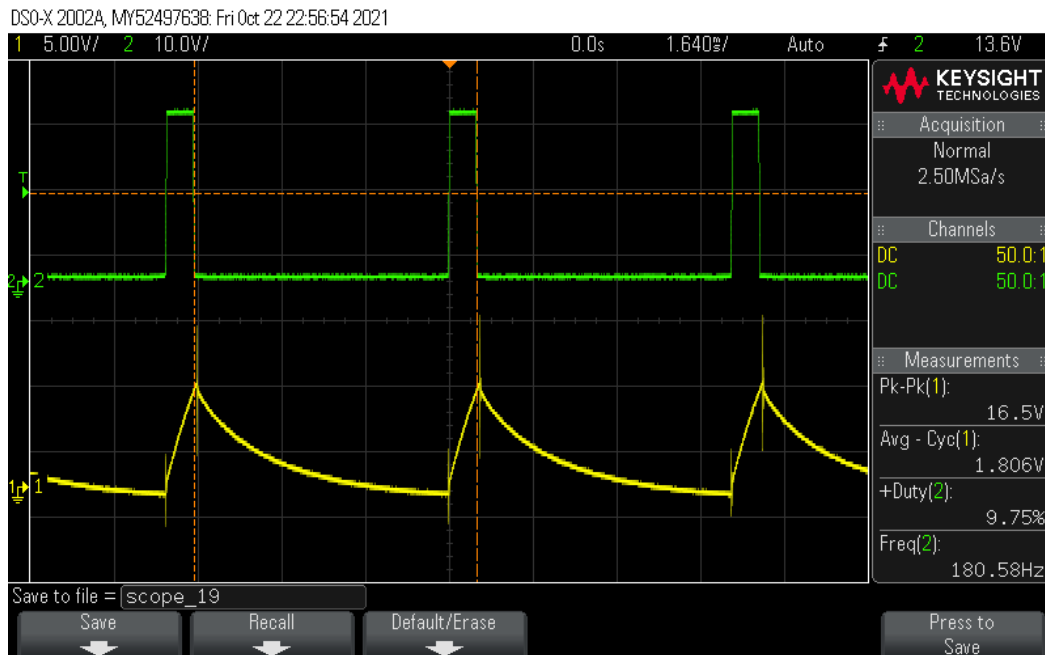


Figure 17. Visualisation de $a=0.1$ avec fréquence minimale

Conclusion: On trouve que quand le rapport cyclique est inférieur de 0.1, le courant devient discontinu parce que la fréquence est très faible, ce qui donne une période T assez grande, ce qui laisse suffisamment de temps pour la décharge du courant dans la bobine. C'est ce qu'on peut voir sur le chronogramme ci-dessus.

4) On change maintenant l'inductance de 10 mH à 30 mH, et choisit les fréquences de 400 Hz et 1 KHz en fixant $\alpha=0.5$ pour étudier l'influence de la fréquence.

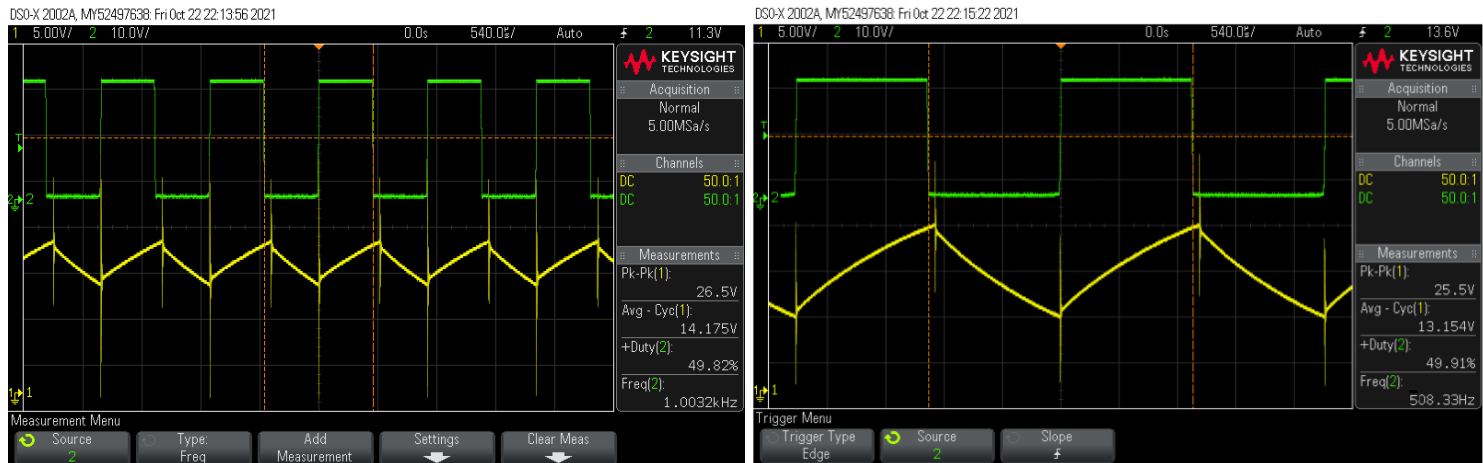


Figure 18. Visualisation de $f=1$ kHz et 500 Hz avec $a=0.5$

Pour $f = 500$ Hz: $i_{smoy} = 0,88$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.7$ A;

Pour $f = 1$ kHz: $i_{smoy} = 0,945$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.06$ A;

Conclusion: on constate que quand le rapport cyclique reste constant, plus la fréquence est élevée, plus l'ondulation de courant est petite, donc pour avoir un courant de sortie le plus constant possible, on peut augmenter la fréquence de hachage.

5) En fixant $f = 1$ kHz on choisit $\alpha=0.5$ et $\alpha=0.8$ pour étudier l'influence du rapport cyclique.

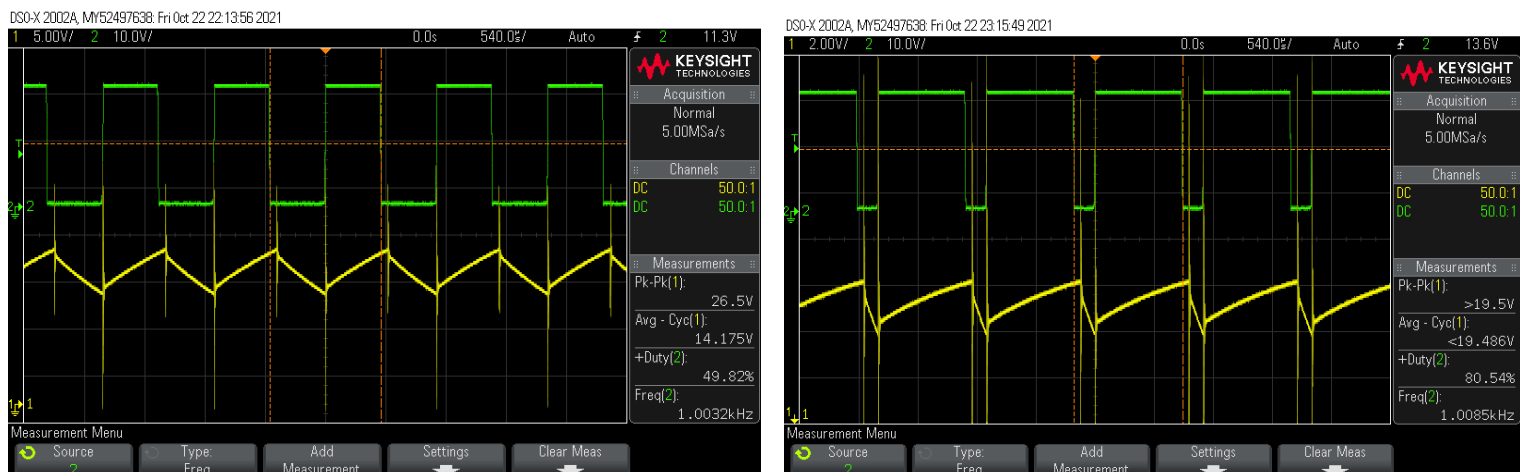


Figure 19. Visualisation de $a=0.5$ et 0.3 avec $f=1$ kHz

Quand $L = 30$ mH:

Pour $\alpha = 0.5$: $i_{smoy} = 0,945$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.06$ A;

Pour $\alpha = 0.8$: $i_{smoy} = 1.3$ A; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.2$ A;

Rappel - quand $L = 10 \text{ mH}$:

Pour $\alpha = 0.5$: $i_{\text{smoy}} = 0,9 \text{ A}$; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.5 \text{ A}$;

Pour $\alpha = 0.8$: $i_{\text{smoy}} = 1.33 \text{ A}$; $\Delta i_s = i_a - i_0 = 1.27 \text{ A}$;

Conclusion: On constate que quand le rapport cyclique augmente, la valeur moyenne du courant augmente. On peut comparer ces résultats avec les résultats obtenus à $L = 10 \text{ mH}$ et on trouve que plus l'inductance est grande, plus l'ondulation de courant est petite. On peut donc diminuer l'ondulation en augmentant l'inductance pour avoir un courant plus constant.

4. Conclusion du TP

On peut avoir un courant le plus constant possible en augmentant la fréquence de hachage et la valeur de l'inductance.

Les résultats expérimentaux des phénomènes et des formes des signaux correspondent effectivement aux résultats théoriques. Les valeurs exactes ne sont pas égales à celles trouvées dans la partie simulation car les valeurs des paramètres ne sont pas les mêmes car les caractéristiques de la maquette utilisée (30V, 2A) sont différentes de celles déclarées (30V, 3A). Néanmoins, cela ne nous empêche pas de vérifier les bons phénomènes et les bonnes formes des signaux.