

Rapport de laboratoire

Ecole supérieure

Électronique
Laboratoire EIND
Salle R110

TP2 Convertisseur DC-DC élévateur

Réalisé par :

Nicolas Besson
Etienne de Olivera

A l'attention de :

Serge Gavin
Philippe Bovey

Dates :

Début du laboratoire : 08.01.2025
Fin du laboratoire : 12.02.2025

Table des matières

1. Introduction	4
2. Théorie	4
2.1. Calcule de la résistance de charge.....	4
2.2. Calcule de T_s , D , V_{DS} , I_{in} , ΔIL , I_Q , V_{DR} , ID ,	5
3. Simulation du montage.....	7
3.1. Méthode de simulation	7
3.2. Résultat.....	7
4. Mesure 50kHz	8
4.1. Schéma de mesure	8
4.1.1. Méthode de mesure	8
4.2. Mesures avec le rapport cyclique calculé	8
5. Mesure tension Vds.....	9
5.1. Schéma de mesure	9
5.1.1. Méthode de mesure	9
5.2. Mesure.....	9
6. Mesure courant I_Q	10
6.1. Schéma de mesure	10
6.1.1. Méthode de mesure	10
6.2. Mesures	11
7. Mesure IL	12
7.1. Schéma de mesure	12
7.1.1. Méthode de mesure	12
7.2. Mesures	13
8. Partie additionnelle.....	14
8.1. Schéma de mesure	14
8.1.1. Méthode de mesure	14
8.2. Mesures	14
9. Conclusion	15
10. Annexes.....	16
10.1. Simulation.....	16
10.1.1. Simulation Période.....	17
10.1.2. Simulation Rapport cyclique	17
10.1.3. Tension drain \rightarrow source V_{DS}	18
10.1.4. Courant d'entrée.....	18
10.1.5. Courant d'ondulation de la bobine ΔIL	19

10.1.6.	Courant dans le transistor Mosfet (I_q)	19
10.1.7.	Tension drain source du mosfet.....	20
10.1.8.	Tension de sortie	20
10.2.	Liste d'appareille de mesures	20
10.3.	Liste de composant de mesure.....	21
10.4.	Partie additionnelle	21

1.Introduction

2.Théorie

2.1. Calcule de la résistance de charge

Dans un premier temps nous devons calculer une résistance de charge afin d'obtenir 0.2A a la sortie du montage avec une tension de sortie de 24V

$$R_{ch} = \frac{U_{out}}{I_{out}} = \frac{24}{0.2} = 120 \Omega$$

Nous avons ensuite calculé la puissance dissiper sur cette même résistance.

$$P_{disRch} = U_{out} \cdot I_{out} = 24 \cdot 0.2 = 4.8W$$

Suite à cela, n'ayant pas de résistance de 120 Ω , nous avons utilisé les résistances disponibles afin de nous en approcher au mieux.

Nous avons donc pris une résistance de 47 Ω en série avec une de 58 Ω

$$R_{ch'} = 47 + 58 = 115 \Omega$$

Nous avons ensuite calculé l'écart de résistance entre la valeur initialement déterminée et celle finalement choisie, afin de vérifier qu'elle respecte bien la tolérance de $\pm 10\%$ imposée par la consigne.

$$R_{ch-écart} = \frac{R_{ch} - R_{ch'}}{R_{ch}} = \frac{120 - 115}{120} = 4.17\%$$

À la suite de ce choix, nous avons recalculé le courant ainsi que la puissance afin de prévoir les résultats lors de la simulation et la mesure. Malgré une légère variation au niveau de la résistance de charge, les valeurs obtenues pour le courant et la puissance restent très proches de ce que nous voulions initialement.

$$I_{out'} = \frac{U_{out}}{R_{ch'}} = \frac{24}{115} = 208.7mA$$

$$P_{disRch'} = U_{out} \cdot I_{out'} = 24 \cdot 0.2087 = 5.01W$$

2.2. Calcule de T_s , D , V_{DS} , I_{in} , ΔI_L , I_Q , V_{DR} , I_D ,

Afin de comparer nos valeurs théoriques avec les simulations et les mesures, nous avons calculé les différentes valeurs suivantes

Calcule de la période de la PWM (T_s) :

$$T_s = \frac{1}{f_{in}} = \frac{1}{50 \cdot 10^3} = 20 \cdot 10^{-6} s$$

Calcule du rapport cyclique de la PWM (D) :

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{15}{24} = 0.375 \Rightarrow 37.5\%$$

Calcule de la tension drain \rightarrow source du transistor (V_{DS}) :

$$V_{DS} = V_{out} = 24V$$

Calcule de courant d'entrée du montage (I_{in}) :

$$I_{in} = I_{out} \cdot \frac{V_{out}}{V_{in}} = 208.7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{24}{15} = 333.9mA$$

Calcule du courant d'ondulation dans la bobine (ΔI_L) :

$$\Delta I_L = \frac{(V_{out} - V_{in}) \cdot (1 - D) \cdot T_s}{L} = \frac{(24 - 15) \cdot (1 - 0.375) \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-3}} = 112.5mA$$

Calcule dans le drain du Mosfet (I_Q) :

$$I_Q = \frac{I_{out}}{(1 - D)} + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{208.7 \cdot 10^{-3}}{(1 - 0.375)} + \frac{112.5 \cdot 10^{-3}}{2} = 390.2mA$$

Calcule de V_{DR} :

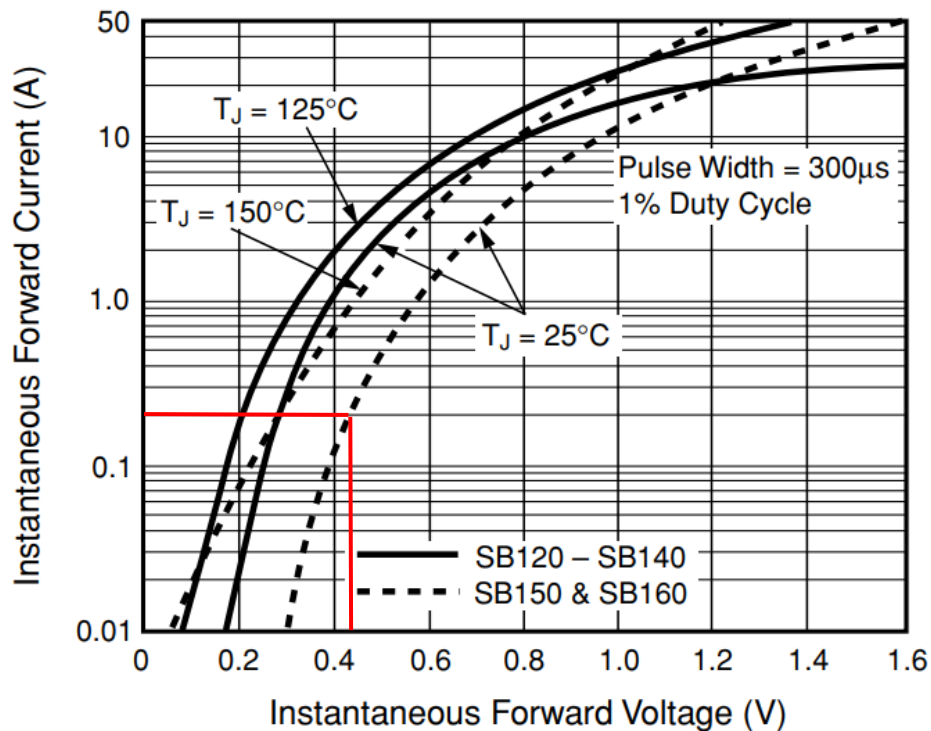
La tension V_{dr} (Reverse Breakdown Voltage) d'une diode Schottky correspond à la tension inverse maximale qu'elle peut tolérer avant d'atteindre son seuil de claquage

Maximum repetitive peak reverse voltage	VRRM	20	30	40	50	60	V
---	------	----	----	----	----	----	---

Pour la diode SB160 la tension inverse max est de 60V.

Tension VF de la diode :

Fig. 3 - Typical Instantaneous Forward Characteristics



D'après la datasheet, nous avons relevé une valeur de VF de 0.42V pour un courant de 200mA (CDG), conformément à nos caractéristiques.

Calcule du courant dans la diode (I_D) :

$$I_D = \frac{I_{out}}{(1-D)} + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{208.7 \cdot 10^{-3}}{(1-0.375)} + \frac{112.5 \cdot 10^{-3}}{2} = 390.2 \text{ mA}$$

3. Simulation du montage

3.1. Méthode de simulation

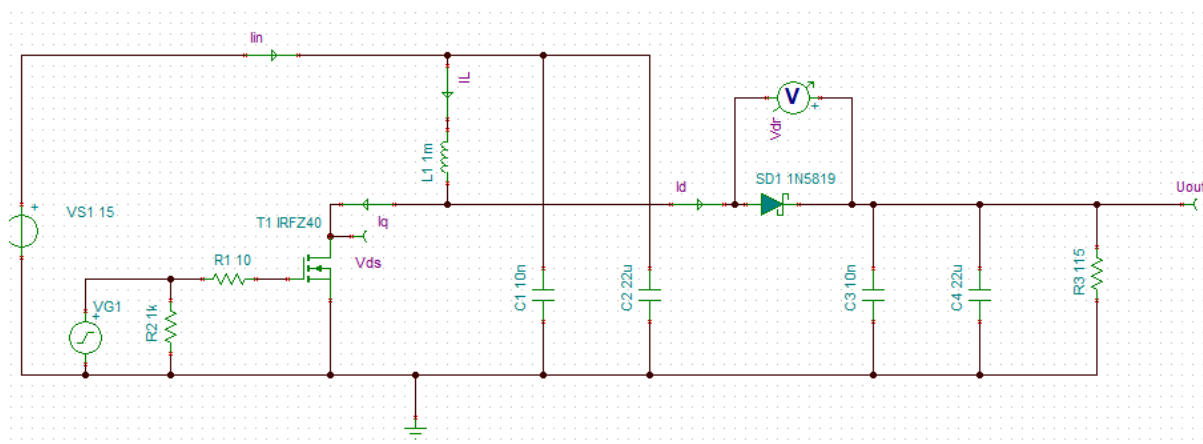


Figure 1 Schéma de simulation

- Régler le générateur avec un signal carré avec le rapport calcique calculé (Paramètre annexe 10.1)
- Régler la tension VS1 à 15v
- Lancer la simulation sur un temps de 100ms pour une mesure complètement stable.

3.2. Résultat

	Valeur Theorique	Valeur Simulée	Erreur [%]
T_s [us]	20	20.01	0.050
D [%]	37.5	37.6	0.267
V_{ds} [V]	24	24.17	0.708
V_{dr} [V]	24	24.17	0.708
V_{out} [V]	24	23.99	0.042
I_q [mA]	390.2	388.4	0.461
ΔI_L [mA]	112.5	111.58	0.818
$I_{in} = I_L$ [mA]	339.9	334	1.736

Figure 2 Tableau des résultats de simulation

Les valeurs obtenues sont correctes, aucune ne dépasse un pour cent. Celle qui nous intéressait le plus était la tension de sortie, et nous constatons une erreur inférieure à un pour cent. Cette légère différence s'explique par une petite imprécision au niveau du rapport cyclique (0,26 %).

La plus grande erreur que nous obtenons concerne le courant d'entrée/ le courant dans la bobine du montage. Cette différence peut s'expliquer par le fait que la bobine modélisée sur TINA n'est pas parfaite, contrairement à celle considérée dans nos calculs.

À noter aussi que pour la simulation, nous n'avons pas pu prendre exactement la même diode que dans la pratique, car le modèle n'existait pas sur Tina. Nous avons donc choisi le modèle sur conseil de M. Gavin.

Toutes les simulations se trouve en annexes 10.1.

4. Mesure 50kHz

4.1. Schéma de mesure

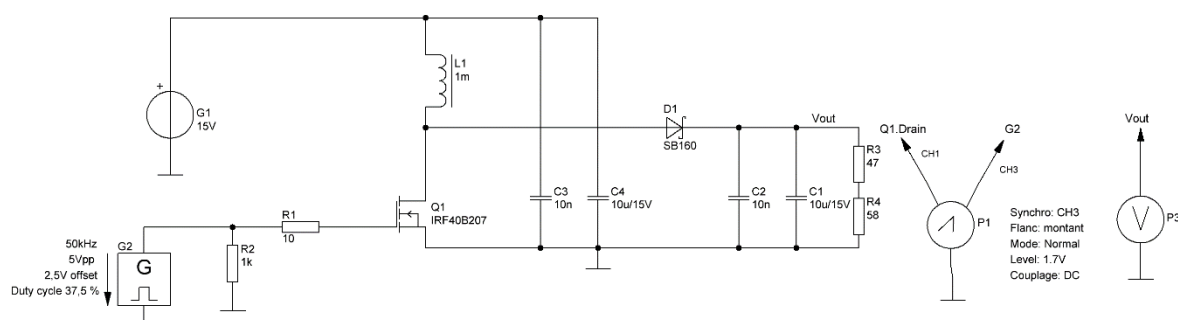


Figure 3 Schéma de mesure

4.1.1. Méthode de mesure

1. Réaliser le montage sur breadboard.
2. Régler le duty-cycle à la valeur calculé au point 2.2.
3. Observer avec le voltmètre la tension de sortie.
4. Régler en conséquence la tension de sortie, en faisant varier le rapport cyclique sur G2.
5. Une fois la tension à 24V noter le rapport cyclique.

4.2. Mesures avec le rapport cyclique calculé

	Non corrigé	Corrigé
Rapport cyclique [%]	37.5	36.5
Tension sortie [V]	24.22	24.02

Figure 4 Tension de sortie avec rapport cyclique 37.5 %

Lors de cette mesure, une légère différence a été observée entre la tension de sortie théorique et la tension réellement mesurée. Les calculs indiquaient une tension de 24V pour un rapport cyclique de 37,5 %. La mesure effectuée a montré une tension de 24,22V. Cet écart peut s'expliquer par plusieurs facteurs liés aux composants utilisés. La diode Schottky possède une chute de tension qui peut légèrement influencer la régulation de la sortie. De plus, les tolérances des composants, notamment celles de l'inductance et des condensateurs, peuvent créer des variations par rapport aux valeurs prévues. La résistance série des condensateurs, ainsi que les pertes dans le MOSFET due à sa résistance $R_{DS(on)}$ influencent aussi la tension de sortie.

Pour obtenir cette tension le rapport cyclique doit être de 36,5%. Lu sur affichage du générateur G2.

Constat la tension vaut maintenant 24,02V.

5. Mesure tension Vds

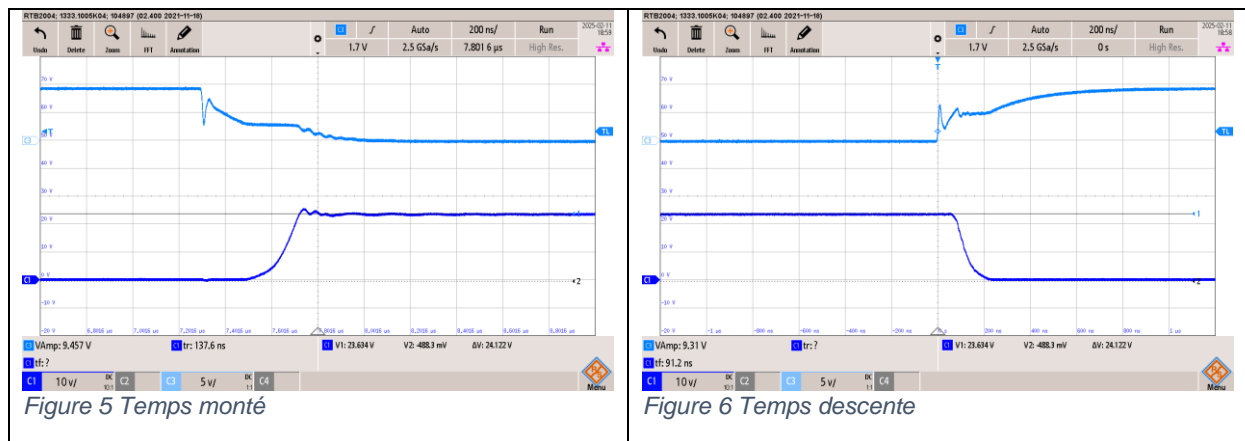
5.1. Schéma de mesure

Se référer au schéma au point 5.1.

5.1.1. Méthode de mesure

1. Régler le rapport cyclique à 36,5% sur G2
2. Observer la tension sur le CH1. Utiliser pour cela les curseurs.
3. Observer les temps de montée et descente sur le CH1. Pour le faire vous pouvez utiliser la mesure automatique du temps de montée (rise time), du temps de descente (fall time).
4. Relever l'oscillogramme.

5.2. Mesure



Constatations le temps de montée est égale à 134,6ns.

Le temps de descente lui vaut 91,2ns.

$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	7.8	—	ns	$V_{DD} = 20V$ $I_D = 30A$ $R_G = 2.7\Omega$ $V_{GS} = 10V④$
t_r	Rise Time	—	35	—		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	25	—		
t_f	Fall Time	—	19	—		

Figure 7 Extrait datasheet p.3 Infineon IRF40B207

Si on compare les temps mesurés avec ceux donné dans le datasheet on constate une grande différence. Plus de 4 fois plus grand pour la descente et 100ns de plus pour la montée. Il faut prendre ces valeurs avec un esprit critique car ils n'ont pas les mêmes conditions de test que nous.

Nos signaux sont car les temps sont fortement liés au courant de commande de la grille du MOSFET. Dans notre cas le courant provient du générateur de fonction. Il y a aussi les inductances parasites qui créent des oscillations, on le remarque sur le temps de montée. Et aussi à cause des condensateurs parasites C_{ds} et C_{gs} ainsi que C_{gd} .

6. Mesure courant IQ

6.1. Schéma de mesure

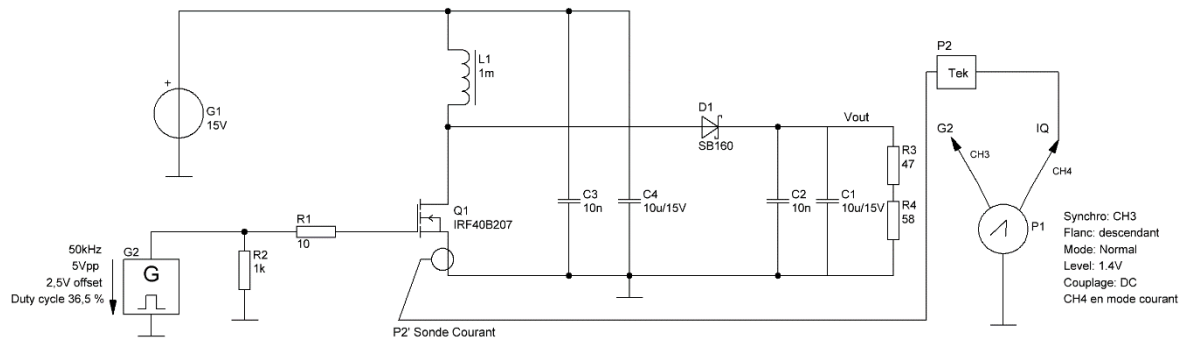


Figure 8 Schéma de mesure

6.1.1. Méthode de mesure

1. Réaliser le montage sur breadboard.
2. Ajouter la sonde de courant.
3. Ajuster la sonde de courant selon les indications sur le boîtier P2.
4. Observer le courant IQ sur le CH4.
5. Relever l'oscillogramme.

6.2. Mesures

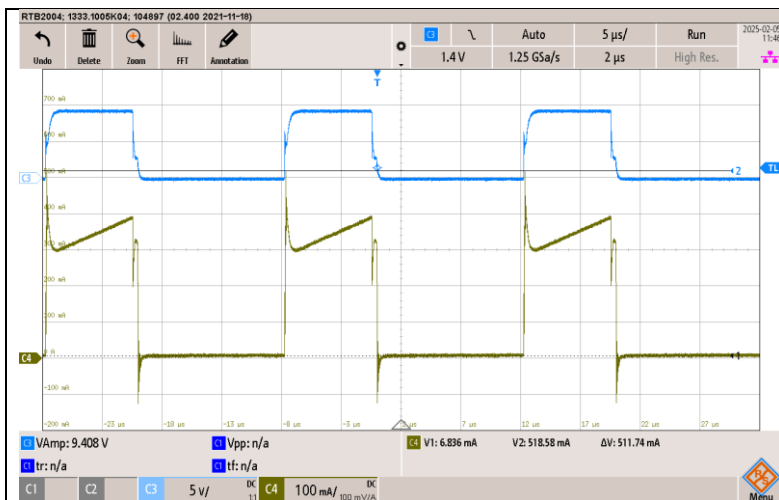


Figure 9 Pic courant max

Mesure du courant maximum au pic, au moment déclenchement du Mosfet, 511,7mA.

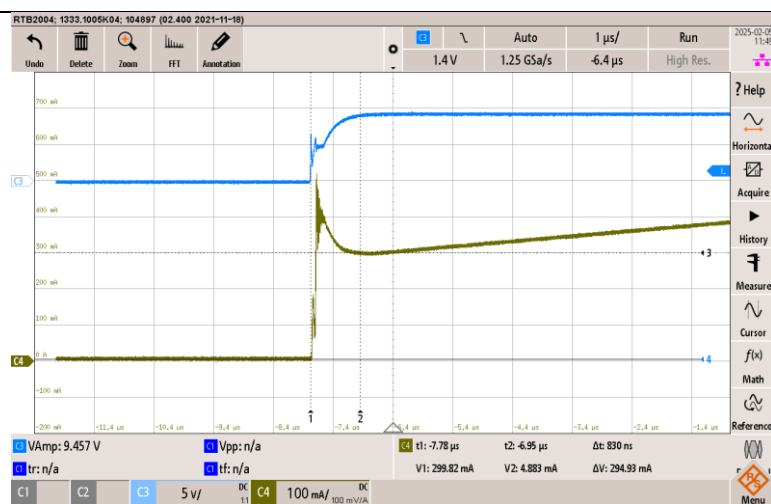


Figure 10 Temps stabilisation courant

Mesure du temps de stabilisation du courant, au moment du déclenchement du Mosfet. Le temps vaut 830ns. Le courant un fois stabiliser est égale à 294,9mA

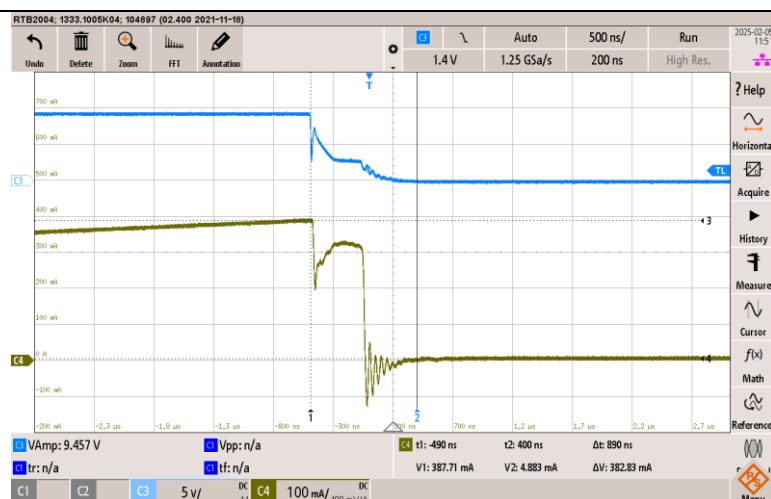


Figure 11 Temps stabilisation courant descente

Mesure temps de stabilisation au moment de l'enclenchement du Mosfet. Le temps est égal à 890ns et le courant à l'instant de l'enclenchement 382,8mA.

7. Mesure IL

7.1. Schéma de mesure

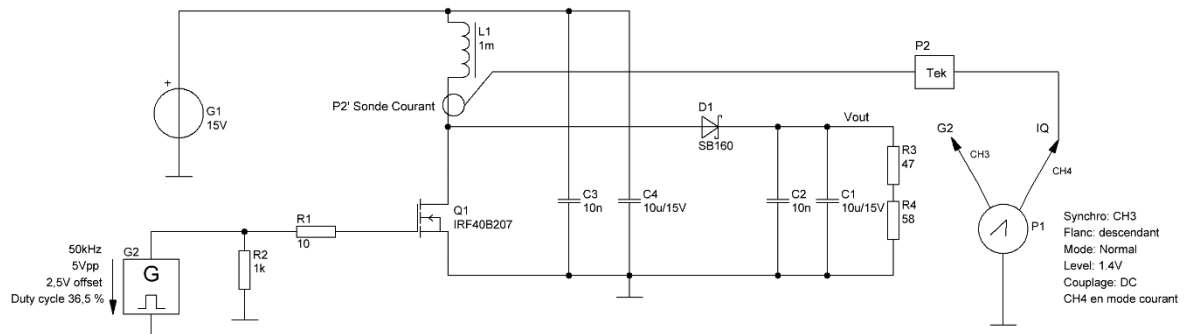


Figure 12 Schéma de mesure

7.1.1. Méthode de mesure

1. Réaliser le montage sur breadboard.
2. Ajouter la sonde de courant.
3. Ajuster la sonde de courant selon les indications sur le boîtier P2.
4. Observer le courant IL sur le CH4.

7.2. Mesures

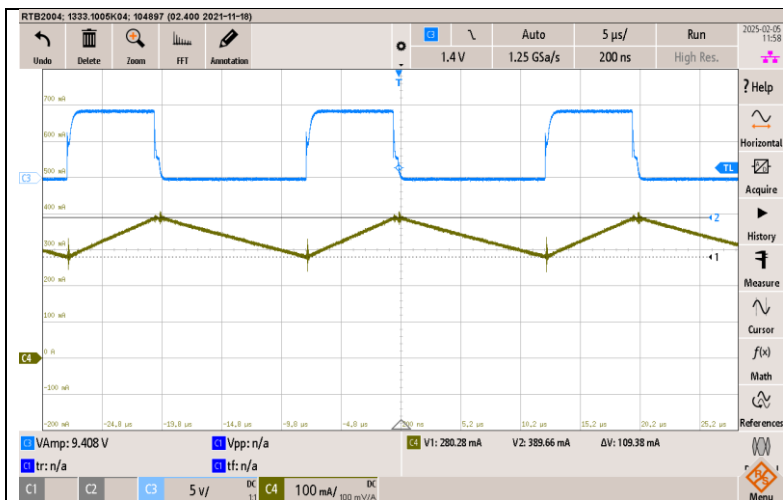


Figure 13 Delta I

Mesure ΔI_L :

Il est constaté une variation de courant sur la bobine de 109,4mA

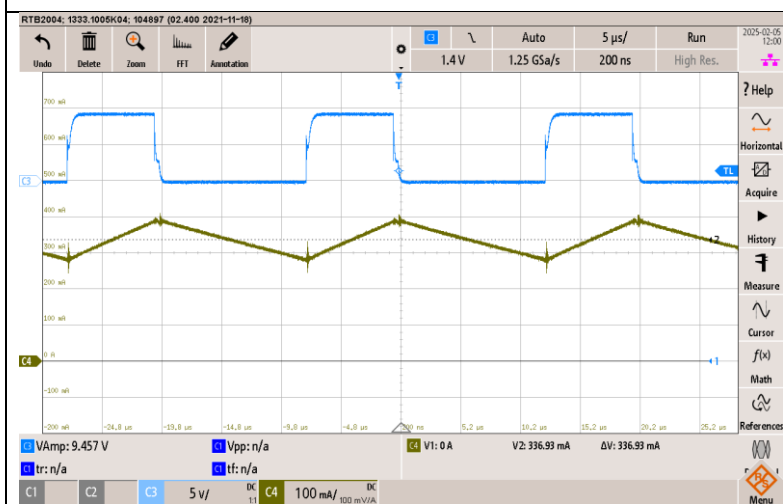


Figure 14 Courant moyen

Mesure courant moyen dans la bobine.

Pour trouver ou mettre les curseurs, il faut prendre la valeur de ΔI_L et la diviser par 2.
 $\Delta I_L / 2 = 109,4 \cdot 10^{-3} = 54,7 \text{ mA}$
 Et ensuite mettre le curseur 1 au 0. Courant moyen = 336,9mA.

8. Partie additionnelle

8.1. Schéma de mesure

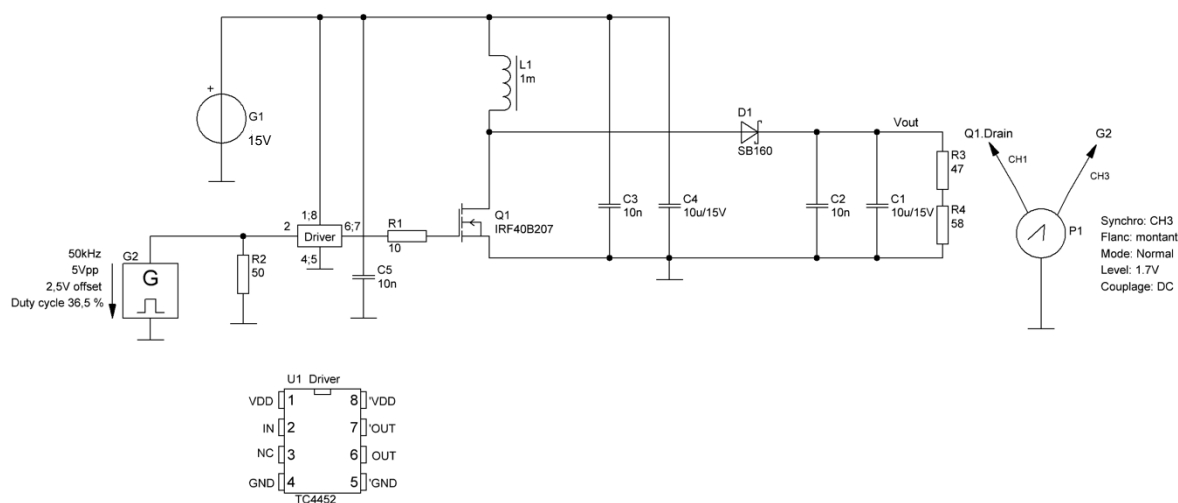
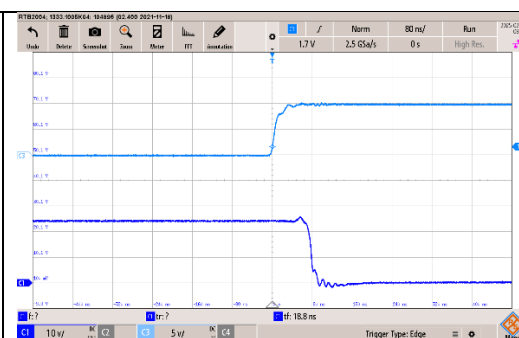
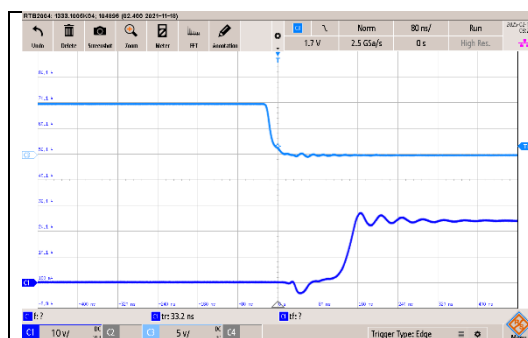


Figure 15 Schéma de mesure de la partie optionnelle

8.1.1. Méthode de mesure

1. Régler le rapport cyclique à 36,5% sur G2
2. Observer la tension sur le CH1. Utiliser pour cela les curseurs.
3. Observer les temps de montée et descente sur le CH1. Pour le faire vous pouvez utiliser la mesure automatique du temps de montée (rise time), du temps de descente (fall time).
4. Relever l'oscillogramme.

8.2. Mesures



Nous avons comparé les mesures effectuées ci-dessus avec celles réalisées au point 5.2 et avons constaté qu'en ajoutant le driver de gate, les transitions du transistor MOSFET s'effectuent plus rapidement. Cela est tout à fait normal, car le driver de gate fournit un courant plus élevé à la grille du MOSFET par rapport au générateur de fonction.

9. Conclusion

Les calculs théoriques réalisés nous ont permis d'estimer les différentes grandeurs du circuit, notamment la résistance de charge, les courants, les tensions. Ces valeurs ont ensuite été comparées aux résultats de la simulation, qui montrent une très bonne concordance, avec des écarts inférieurs à 1 % pour la majorité des paramètres.

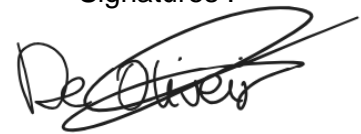
La légère différence observée, notamment sur le courant dans la bobine, peut être due au fait que la simulation ne modélise pas un circuit idéal. Malgré cet écart, les résultats restent cohérents avec les calculs théoriques.

Les mesures effectuées montrent des écarts significatifs entre les temps de commutation relevés et ceux indiqués dans la datasheet, notamment en raison des conditions de test différentes, du courant de grille limité et des effets parasites. Les inductances et capacités parasites influencent la montée et la descente des signaux, entraînant des oscillations. Concernant le courant I_Q , on observe un pic à l'enclenchement ainsi qu'un temps de stabilisation mesurable. La variation du courant I_L dans la bobine a été déterminée, mettant en évidence un courant moyen de 336,9 mA.

Nous avons vu dans la partie optionnelle l'impact qu'a un driver de gâte sur le temps de déclencher. Nous avons remarqué que les temps ont été nettement plus courts que ceux que nous avons eus au point 5.2. Nous avons remarqué qu'avec l'ajout du driver de gate, les temps de montée et de descente correspondent à ceux indiqués dans la datasheet.

Lausanne, le 12 février 2025

Signatures :



10. Annexes

10.1. Simulation

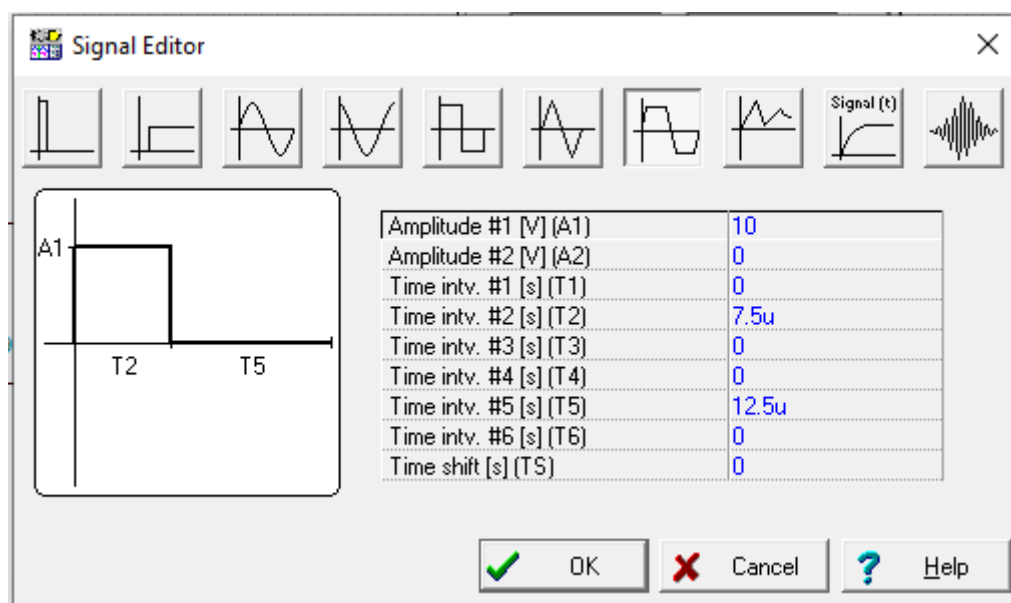


Figure 18 configuration du générateur

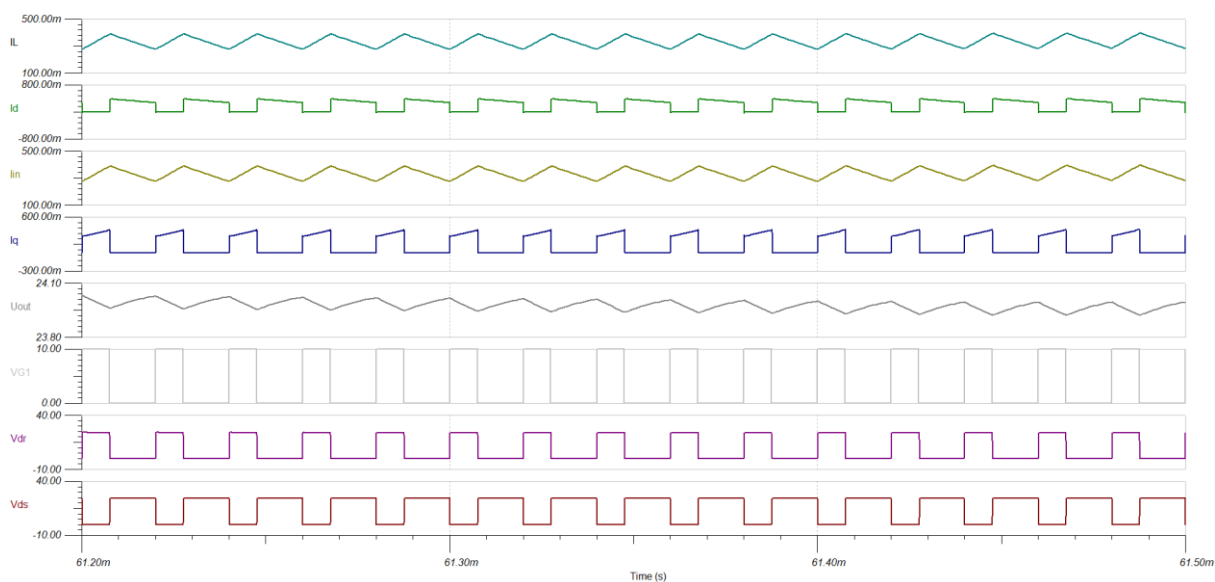


Figure 19 Capture d'écran général de la simulation

10.1.1. Simulation Période

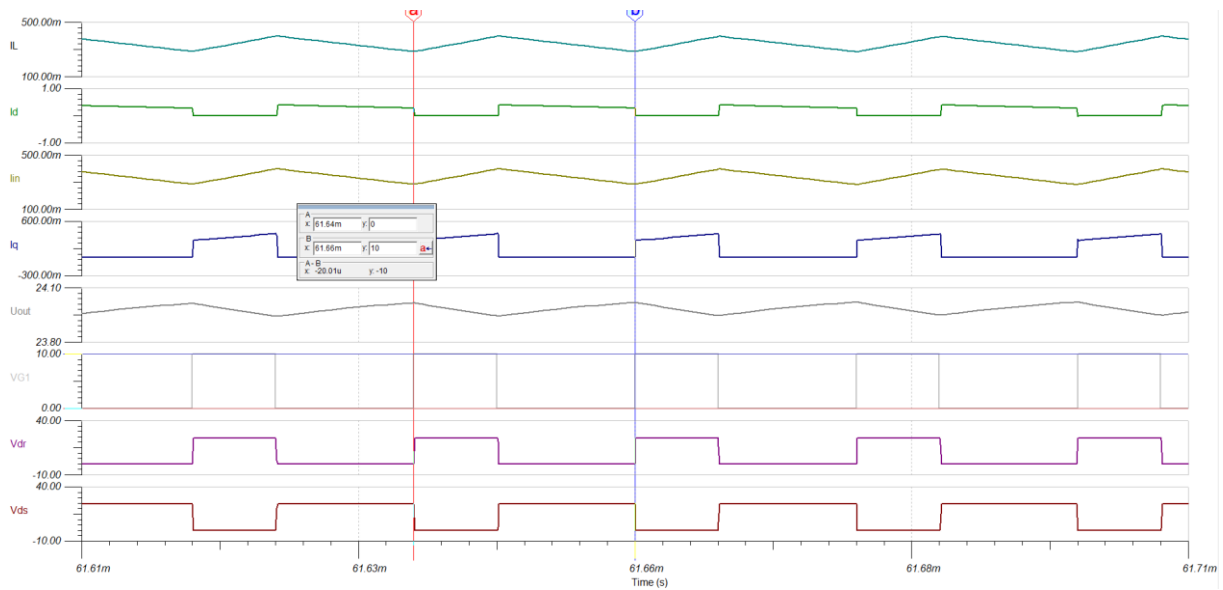


Figure 20 Période PWM

10.1.2. Simulation Rapport cyclique

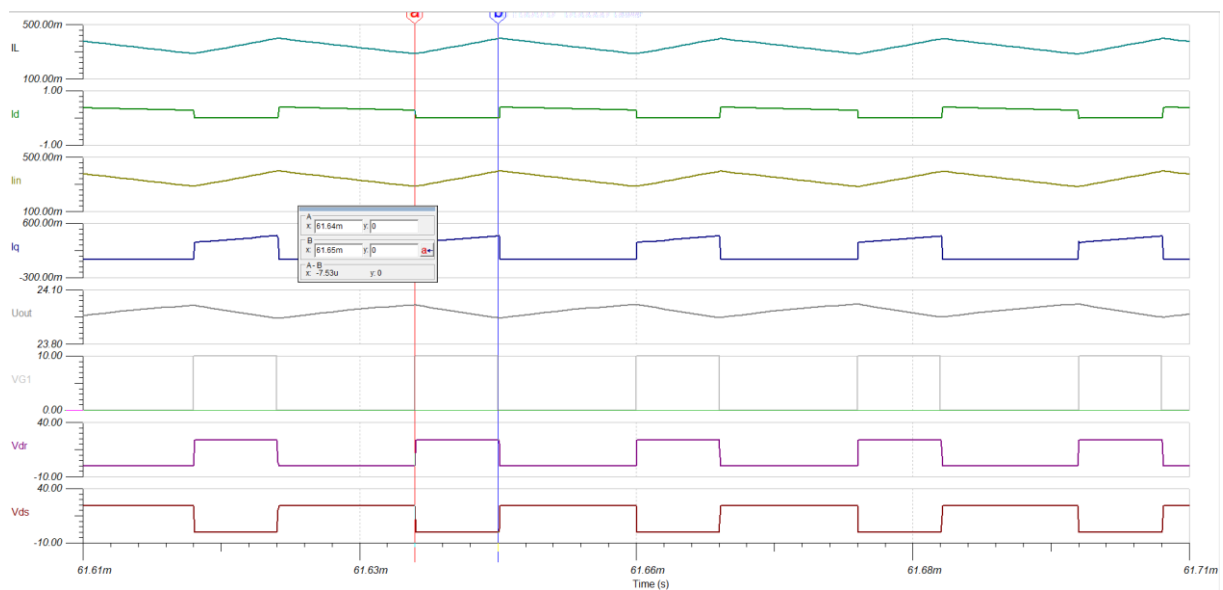


Figure 21 Rapport cyclique PWM

$$D = \frac{T_{on}}{T_s} = \frac{7.53}{20.01} = 0.376 \Rightarrow 37.6\%$$

10.1.3. Tension drain → source VDS

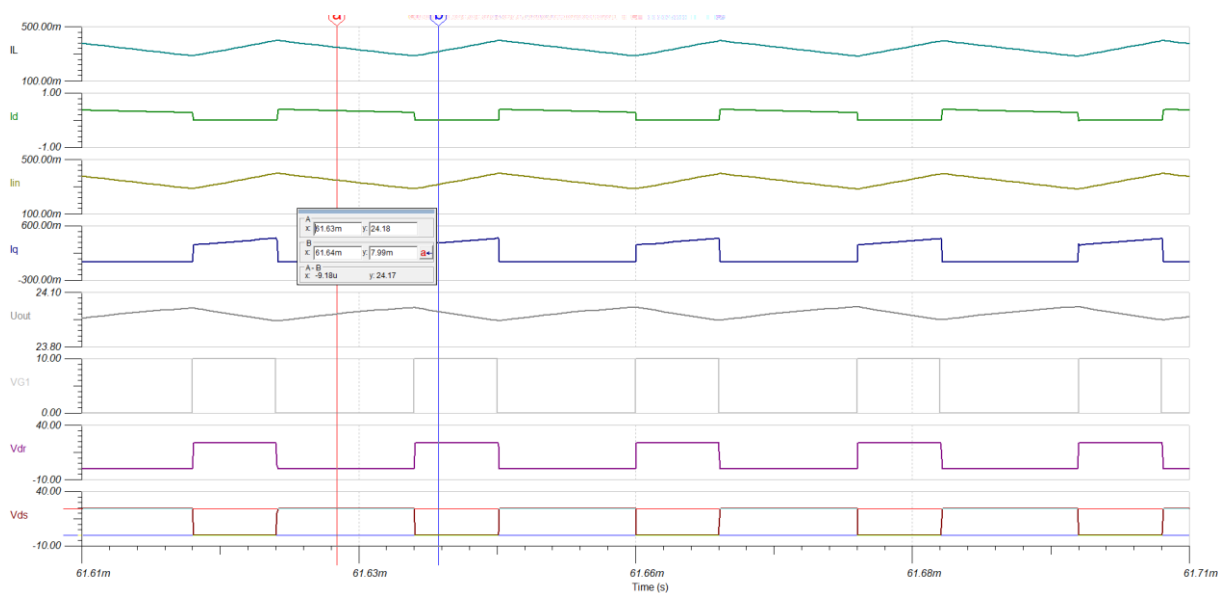
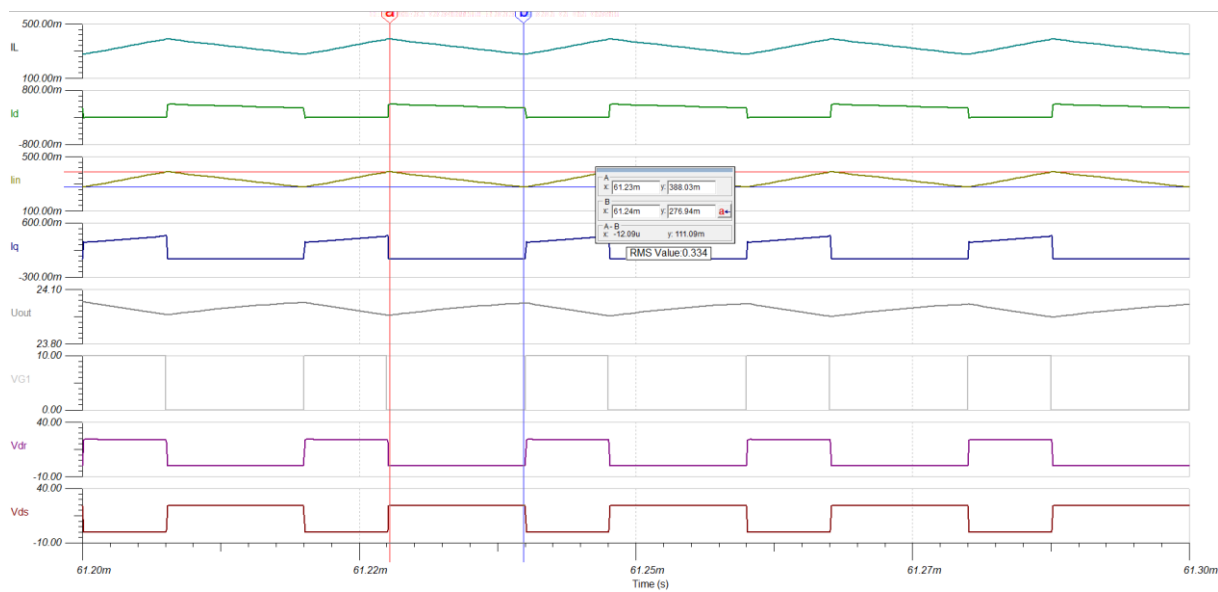


Figure 22 Tension drain -> source

10.1.4. Courant d'entrée



10.1.5. Courant d'ondulation de la bobine ΔI_L

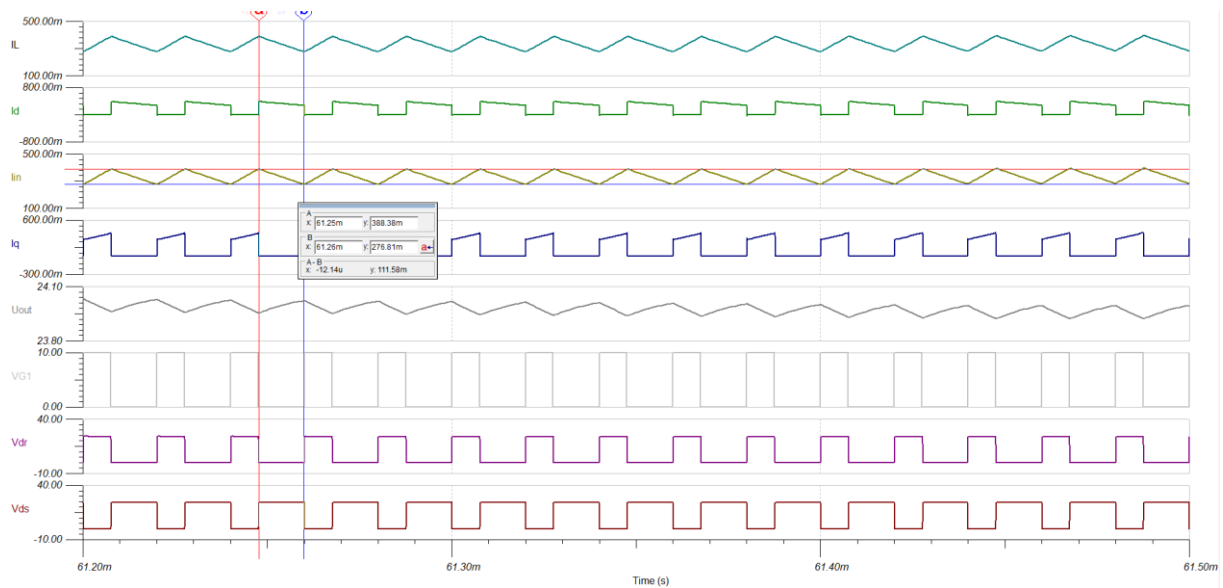


Figure 23 Courant d'ondulation de la bobine

10.1.6. Courant dans le transistor Mosfet (I_q)

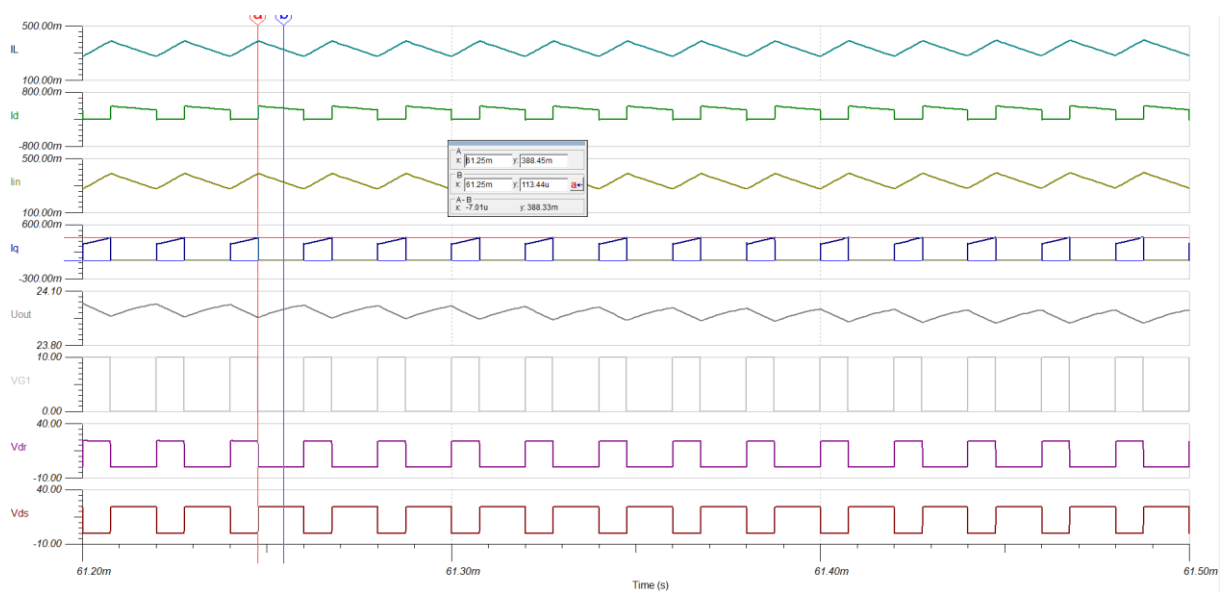


Figure 24 Courant dans le transistor Mosfet

10.1.7. Tension drain source du mosfet

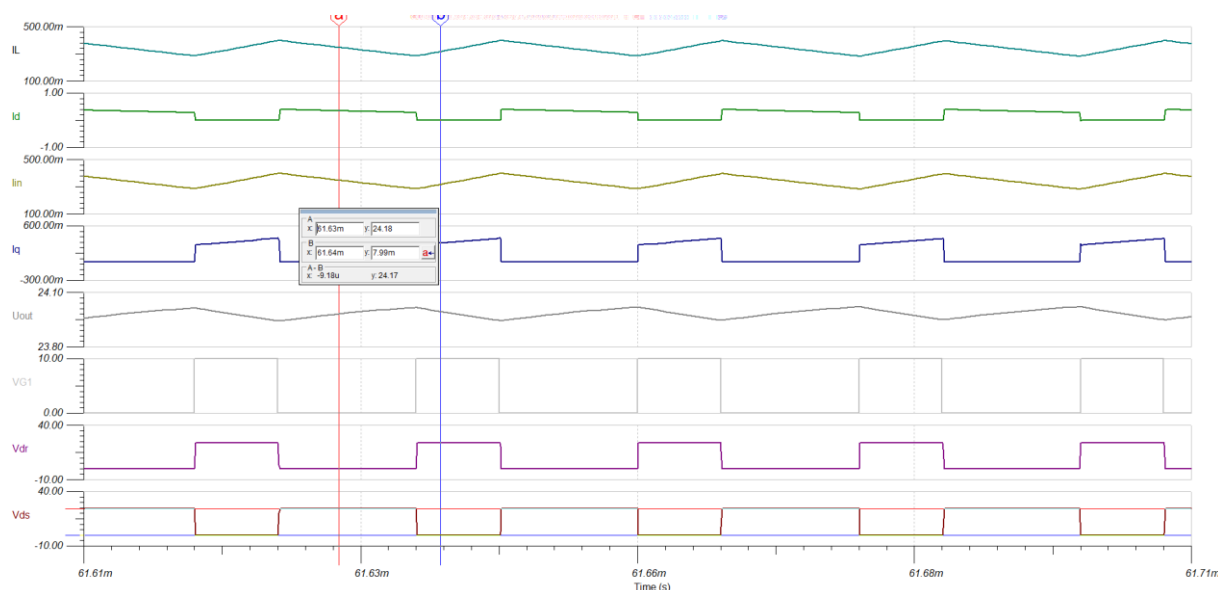


Figure 25 Tension drain source

10.1.8. Tension de sortie

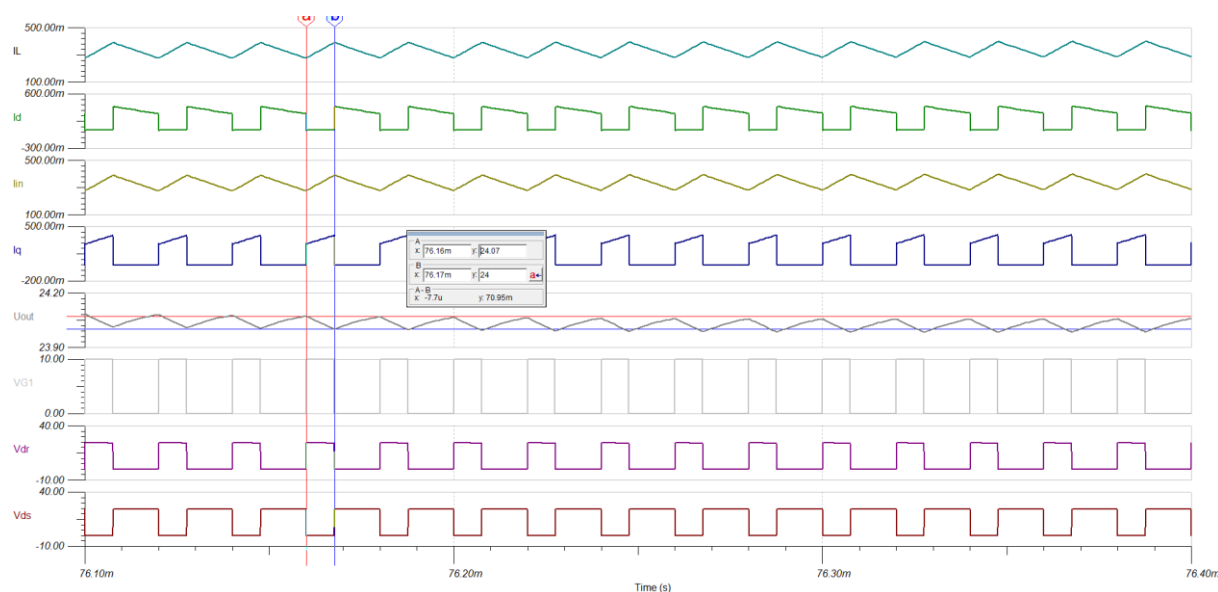


Figure 26 Tension de sortie

10.2. Liste d'appareille de mesures

Désignateur	Marque	Type	Caractéristique	N°d'inventaire
G1	GWinsek	GPC-3030DQ	Alimentation 30V 3A	ES.SLO2.00.00.80
G2	Agilent	33500B	Générateur de fonction	ES.SLO2.00.00.131
P1	Rohde&Schwarz	RTB2004	Oscilloscope	ES.SLO2.05.01.11
P2	Tektronix	1103	Sonde de courant	ES.SLO1.00.06.09
P3	Fluke	85-3	Voltmètre	-

10.3. Liste de composant de mesure

Désignation	Marque	Type	Caractéristiques
R1	-	Résistance	50
R2	-	Résistance	1k
R3	-	Résistance puissance	47Ω
R4	-	Résistance puissance	58Ω
C1, C4	-	Condensateur	10μ
C2, C3, C5	-	Condensateur	10n
L1	-	Inductance avec noyau	1m
D1	Vishay	Diode schottky	SB160
Q1	Infineon	Transistor	IRF40B207
U1	Microchip	Driver gate	TC4452

10.4. Partie additionnelle

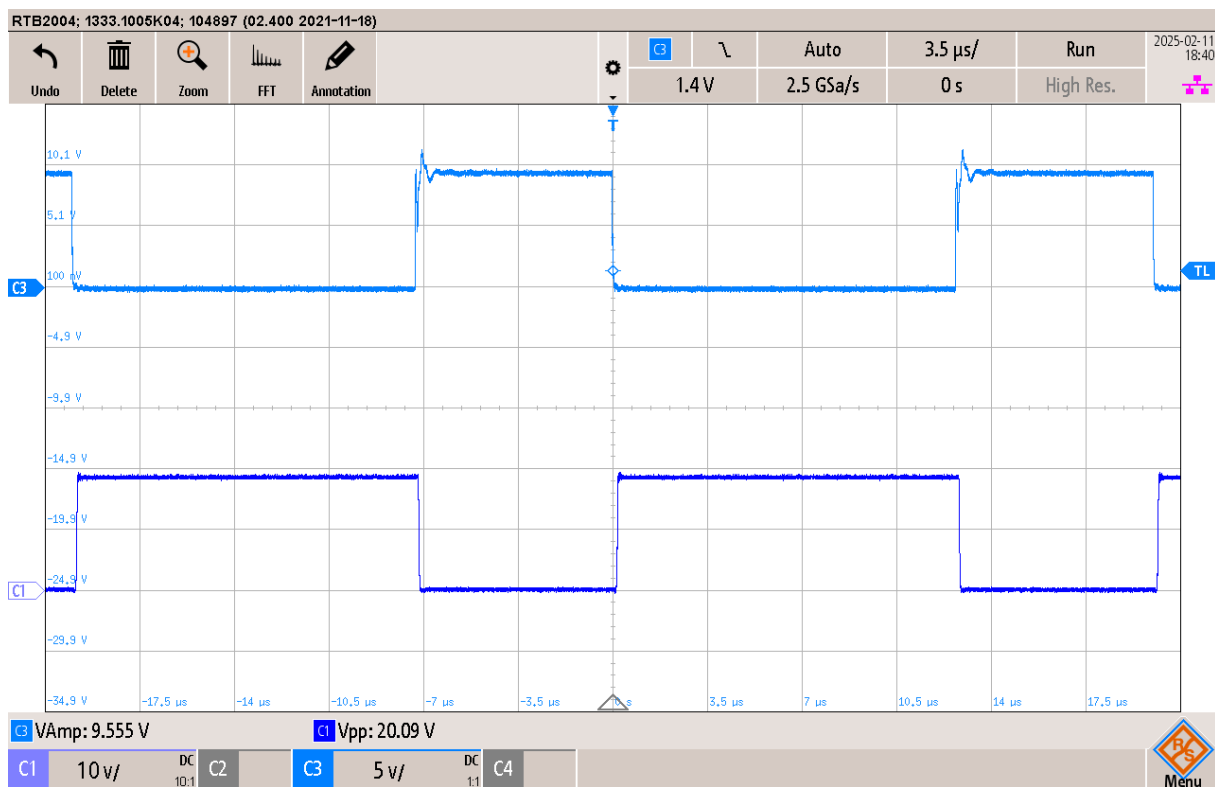


Figure 27 mesure globale du signal avec le driver