

Rapport de laboratoire

École supérieure
Électronique

Laboratoire EIND

TP2 Convertisseur DC-DC élévateur

Réalisé par :

Léo Mendes
Abdel-Nasser El-Ghandour

À l'attention de :

Serge Gavin
Philippe Bovey

Dates :

Début du laboratoire : 08.01.2025
Fin du laboratoire : 12.02.2025

Table des matières :

TP2 Convertisseur DC-DC élévateur	1
1 Cahier des charges	5
2 Partie A	5
2.1 Schéma de principe	5
2.2 Dimensionnement	5
2.3 Calcul spécifique	5
2.3.1 Période	5
2.3.2 Duty cycle	6
2.3.3 Vds	6
2.3.3.1 VDS On (MosFet Fermé)	6
2.3.3.2 VDS Off (MosFet Ouvert)	6
2.3.4 I _{in}	6
2.3.5 ΔI	6
2.3.6 I _q courant pic	6
2.3.7 Diode	6
2.3.8 Résumé résultat théorique	7
2.4 Simulations	7
2.4.1 Schéma de mesure	7
2.4.2 Méthode de simulations :	7
2.5 Résultat et comparaison	8
2.6 Mesure	9
2.6.1 Correction du PWM	9
2.6.1.1 Schéma de mesure	9
2.6.1.2 Instruments et composants	9
2.6.1.3 Méthode de mesures	9
2.6.1.4 Résultat et analyse	9
2.6.2 Mesure de Vds pour Ts	10
2.6.2.1 Schéma de mesure	10
2.6.2.2 Méthode de mesures	10
2.6.2.3 Résultat de mesure	10
2.7 Mesure de I _q pour Ts	11
2.7.1 Schéma de mesure	11
2.7.2 Méthode de mesures	11
2.7.3 Résultat de mesure	11
2.8 Mesure d'IL pour Ts	12
2.9 Schéma de mesure	12
2.10 Méthode de mesures	12
2.11 Résultat de mesure	12
3 Partie B – Utilisation de drivers	13
3.1 Schéma de principe	13
3.2 Schéma de mesure	13
3.3 Méthode de mesure	13
3.4 Résultats	13
4 Conclusion	14
5 Signatures	14
6 Annexe	15
6.1 Liste de matériel	15
6.1.1 Instrument	15
6.1.2 Composants	15
6.2 Simulations	16
6.2.1 Mesure au PWM théorique	16
6.2.2 Mesure avec PWM corrigée	17
6.2.3 Mesure comparaison	19
6.3 Mesure	23
6.3.1 Méthode de mesures du rapport cyclique	23
6.3.1.1 Matériaux nécessaires	23
6.3.1.2 Mesure	23
6.3.2 Mesure avec rapport cyclique calculé	24
6.3.3 Correction du rapport cyclique pour être à +24V	24

6.3.4 Méthode de mesures de la Tension V_{ds} durant la période T_s	25
6.3.4.1 Matériaux nécessaires	25
6.3.4.2 Mesure.....	25
6.3.5 Tension V_{ds} durant la période T_s	26
6.3.6 Méthode de mesures du courant I_q	27
6.3.6.1 Matériaux nécessaires	27
6.3.6.2 Mesure.....	27
6.3.7 Courant I_q durant la période T_s	27
6.3.8 Méthode de mesures du courant I_l	29
6.3.8.1 Matériaux nécessaires	29
6.3.8.2 Mesure.....	29
6.3.9 Courant I_l durant la période T_s	29
6.3.10 Méthode de mesures de la Tension V_{ds} durant la période T_s avec un driver	30
6.3.10.1 Matériaux nécessaires.....	30
6.3.10.2 Mesure.....	30
6.4 Mesure partie B avec driveur	30
6.5 Consigne datasheet.....	32

1 Cahier des charges

Voir annexe en point 6.5 :

« TP Convertisseur DC-DC élévateur V0_2 »

« TP2 Convertisseur DC-DC élévateur_Driver_Snubber_V0_2 »

Le but de l'expérimentation est de mieux comprendre et visualiser le fonctionnement d'un convertisseur DC-DC.

2 Partie A

2.1 Schéma de principe

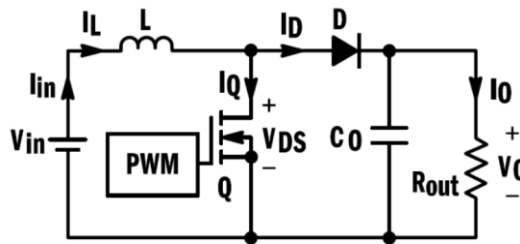


Figure 1 - Schéma de principe – Convertisseur DC- DC step UP

2.2 Dimensionnement

$$U_{out} = 24 [V] \quad I_{consigne} = 0.2 [A]$$

$$R_{L,theorie} = \frac{U_{out}}{I_{consigne}} = \frac{24 [V]}{0.2 [A]} = 120 [\Omega]$$

$$P_{theorique} = U_{out} \cdot I_{consigne} = 24 \cdot 0.2 = 4.8 [W]$$

$$R_{L1} = 47 [\Omega] \pm 10\% \quad (10 [W])$$

$$R_{L2} = 68 [\Omega] \pm 10\% \quad (10 [W])$$

$$R_{L,ideale} = R_{L1} + R_{L2} = 47 + 68 = 115 [\Omega]$$

$$R_{L,min} = R_{L1,min} + R_{L2,min} = (47 \cdot 0.9) + (68 \cdot 0.9) = 42.3 + 61.2 = 103.5 [\Omega]$$

$$R_{L,max} = R_{L1,max} + R_{L2,max} = (47 \cdot 1.1) + (68 \cdot 1.1) = 51.7 + 74.8 = 126.5 [\Omega]$$

$$I_{min} = \frac{U_{out}}{R_{L,max}} = \frac{24}{126.5} = 0.190 [A]$$

$$I_{out,ideal} = \frac{U_{out}}{R_{L,ideale}} = \frac{24 [V]}{115 [\Omega]} = 0.209 [A]$$

$$I_{out,max} = \frac{U_{out}}{R_{L,min}} = \frac{24}{103.5} = 0.232 [A]$$

$$P_{out,min} = U_{out} \cdot I_{min} = 24 \cdot 0.190 = 4.56 [W]$$

$$P_{out,max} = U_{out} \cdot I_{max} = 24 \cdot 0.232 = 5.568 [W]$$

2.3 Calcul spécifique

2.3.1 Période

$$f_s = 50 [kHz] = 50 \cdot 10^3 [Hz]$$

$$T_s = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{50 \cdot 10^3} = 20 [\mu s]$$

2.3.2 Duty cycle

$$U_{in} = 15[V], \quad U_{out} = 24[V]$$

$$U_{out}(1 - D) = U_{in}$$

$$1 - D = \frac{U_{in}}{U_{out}}$$

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

2.3.3 Vds

2.3.3.1 VDS On (MosFet Fermé)

$$I_{out, idéal} = 0.209[A], \quad I_{out, min} = 0.190[A], \quad I_{out, max} = 0.232[A] \quad R_{DS, on} = 3.6[m\Omega]^1$$

$$V_{DS, idéal} = I_{L, idéal} \cdot R_{DS, on} = 0.209 \cdot 3.6 \cdot 10^{-3} = 0.0007524 = 0.7524[mV]$$

2.3.3.2 VDS Off (MosFet Ouvert)

$$V_{out} = 24[V]$$

$$V_{DS, off} = V_{out} + V_{DR} = 24 + 0.3 = 24.3[V]$$

2.3.4 Iin

$$U_{in} = 15[V], \quad U_{out} = 24[V] \quad I_{out, idéal} = 0.209[A]$$

$$I_{in} = \frac{U_{out} \cdot I_{out}}{U_{in}} =$$

$$I_{in, idéal} = \frac{24 \cdot 0.209}{15} = 0.3344[A]$$

2.3.5 ΔI

$$V_{in} = 15[V], \quad V_{out} = 24[V], \quad T_s = 20[\mu s], \quad D = 0.375$$

$$L = 1[mH],$$

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

2.3.6 Iq courant pic

$$I_{out, idéal} = 0.209[A], \quad D = 0.375, \quad \Delta I_{out, idéal} = 112.5[mA],$$

$$I_{q, idéal} = \frac{I_{0, idéal}}{1 - D} + \frac{\Delta I_{L, idéal}}{2} = \frac{0.209}{1 - 0.375} + \frac{0.1125}{2} = 0.3344 + 0.05625 = 0.3907[A]$$

2.3.7 Diode

$$V_f = 0.7[V]^2$$

Avec un signal PWM, la diode ne conduit que pendant une fraction du cycle, ce qui réduit sa tension directe moyenne.

$$V_{dr} = D \cdot V_{f_crête} = 37.5 \cdot 0.7 = 0.263 [V]$$

Plus D est faible, plus la diode conduit rarement, entraînant une diminution significative de V_{f_moy} .

À l'inverse, lorsque D est proche de 1, la diode est presque en conduction continue et V_{f_moy} se rapproche de $V_{f_crête}$. En fonctionnement DC pur ($D = 1$), la diode conduit en permanence et sa tension directe moyenne est égale à sa tension instantanée. En conséquence, avec un PWM, la conduction intermittente permet de réduire la tension directe moyenne et les pertes thermiques, améliorant ainsi le rendement énergétique du circuit.

$$I_D = I_{out, idéal} = 0.209 [A]$$

² Voir datasheet – Diodes Incorporated – page 2 - [Lien](#)

2.3.8 Résumé résultat théorique

Grandeur	Théorique [typique]
$T_s[\mu s]$	20
$D[\%]$	37,5
$V_{ds}[V] - ON$	0,7524
$V_{ds}[V] - OFF$	24.3
$I_{in}[mA]$	304
$DIL[mA]$	115,5
$I_q[mA]$	390,7
$V_{dr}[V]$	0,3
$I_{dr}[mA]$	209

2.4 Simulations

2.4.1 Schéma de mesure

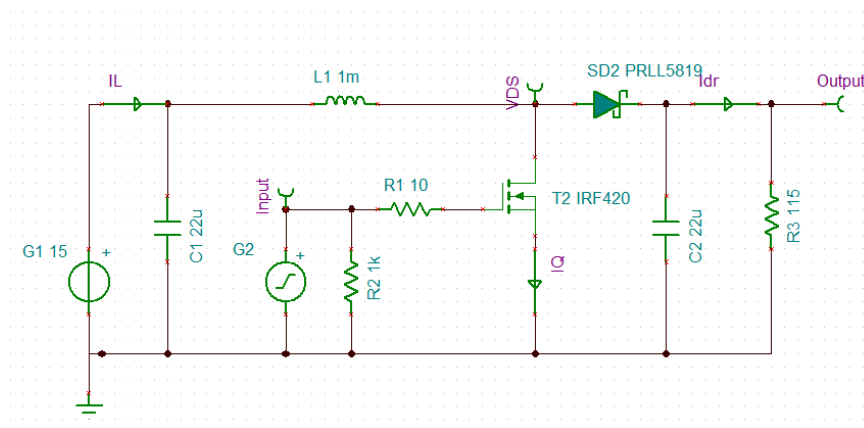


Figure 2 – Schéma de simulations

Les composants spécifiques de la partie mesure n'étant pas disponible des composants similaires ont été utilisés.

2.4.2 Méthode de simulations :

Pour la génération PWM, un générateur de tensions à utiliser. Comme dans le cas de la mesure pratique, la tension de sortie a été réglée au moyen du duty cycle. Celui-ci diffère du Duty cycle théorique.

Les paramètres de celui en mode de génération « General WaveForm » et via les paramètres avancés de gestion de forme nous avons pu paramétrer notre signal.

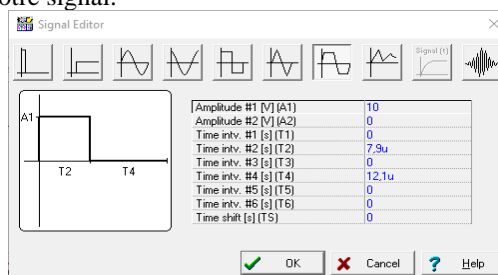


Figure 3

A1 = Tension du signal qui actionnera le MosFet. Elle sera paramétrée à 10[V].

T2 = Temps ON du signal

T4 = Temps OFF du signal

T2+ T4 = Période du signal correspondant à 20[us]

Le reste des paramètres sont définis sur le schéma de simulation.

2.5 Résultat et comparaison

Les mesures de simulations sont disponibles en annexes au point 6.2

Mesure	D[%]	Vout[V]
Valeur Consigne	37,5	23,7
Valeur corrigée	39.5	24.05

Grandeur	Théorique [typique]	Mesurée simulations	Commentaire
Ts[μs]	20	20	
D[%]	37,5	39,5	
Vds[V] - ON	0,7524	0,566	
Vds[V] - OFF	24.3	24,38	
Iin[mA]	304	346,6	Valeur moyenne
DIL[mA]	115,5	113,42	
Iq[mA]	390,7	353,41	Valeur moyenne
Vdr[V]	0,3	0,34	$V_{dr} = V_{DS} - V_{out} = 24.38 - 24.04 = 0.34$
Idr[mA]	209	209,146	Valeur moyenne

La théorie prévoit un rapport cyclique de 37,5 %, tandis que la simulation indique environ 39,5 %. Cette légère augmentation s'explique par la réalité de valeur utilisée par la simulation, notamment celles liées à la diode et au MOSFET, qui diffère de la théorie et nécessite un ajustement du rapport cyclique pour atteindre la tension de sortie cible.

Les tensions Vds (ON), Vds(off), Vdr et Iq relevées en simulation sont inférieures aux prévisions du modèle idéal. Cette différence provient de la résistance Rds(on). Le MosFet théorique possède un MosFet de 3.6[mΩ] comme cité en référence 1. Valeur qui diffère de Rds(on) du MosFet simulé se trouvant à 57.8 [mΩ]

source resistance [Ohm] 57.8m

Figure 4 - Rds(on) du IRF420 simulé

Le courant d'entrée simulé est légèrement supérieur à la valeur théorique, tout comme les écarts observés sur les courants de sortie. Ces écarts s'expliquent par les différences de valeur, notamment celles dues à la résistance RDS(on), à l'ESR de l'inductance, à la chute de tension dans la diode et aux tolérances des résistances de charge.

La simulation confirme le fonctionnement global et l'ordre de grandeur prévus par les calculs théoriques. Les écarts observés sont principalement dus à l'intégration de modèles de composants plus réalistes et différents prenant en compte les tolérances et les pertes, contrairement aux hypothèses idéalisées de la théorie. Malgré ces variations mineures, le dimensionnement du montage reste valide et conforme aux attentes.

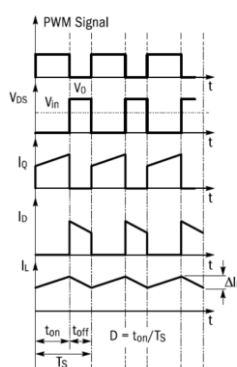


Figure 5 - Signaux théoriques avec grandeur

Les signaux simulés présents en annexe au point 6.2.3 correspondent à nos attentes en théorie pour la forme de ceux-ci étant particulièrement similaire.

2.6 Mesure

2.6.1 Correction du PWM

2.6.1.1 Schéma de mesure

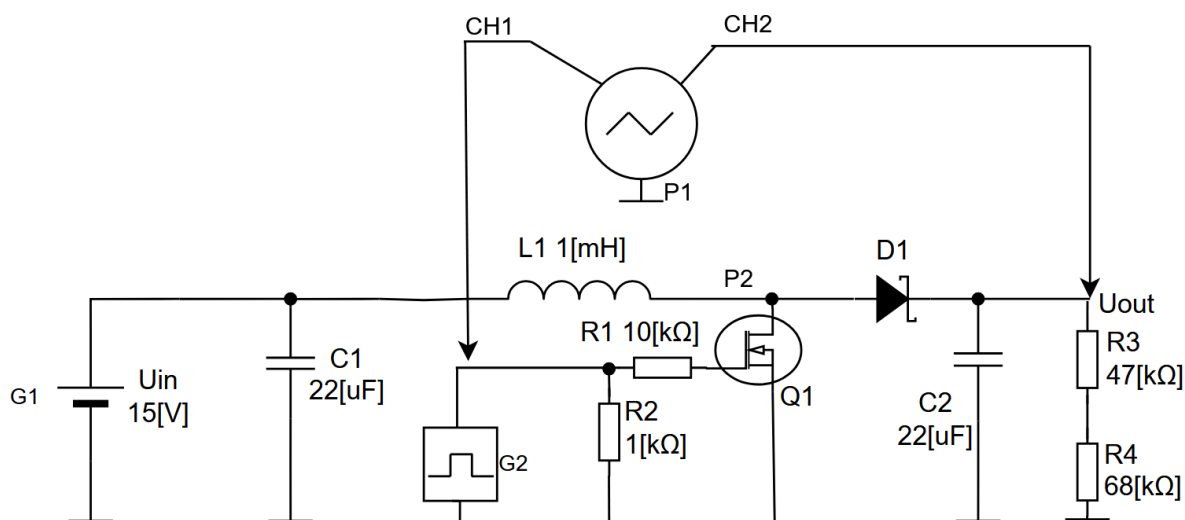


Figure 6 - Schéma de mesure correction PWM

2.6.1.2 Instruments et composants

Les instruments et composants sont présents en annexe au point 6.1

2.6.1.3 Méthode de mesures

La méthode de mesure se trouve en annexe au point 6.3.1

2.6.1.4 Résultat et analyse

Les captures d'écrans des mesures sont en annexe aux points 0 et 6.3.3

Mesure	D[%]	Vout[V]
Valeur Consigne (réelle)	37,51	23,6
Valeur corrigée (réelle)	38,61	24
Valeur Consigne (Simulation)	37,5	23,7
Valeur corrigée (Simulation)	39.5	24.05

Comme pour la simulation, on a dû ajuster le rapport cyclique pour obtenir une tension de sortie correcte. L'écart entre les valeurs théoriques, simulées et mesurées, vient principalement des différences entre les composants réels et leurs modèles idéalisés. En pratique, les tolérances des composants influencent directement les résultats.

Ces écarts font qu'il faut adapter le Duty cycle pour compenser les pertes et atteindre la tension de sortie voulue. En augmentant le temps ON du PWM, on laisse plus d'énergie s'accumuler dans l'inductance, ce qui permet d'élever correctement la tension en sortie. C'est un comportement classique des convertisseurs DC-DC step-up, où l'ajustement du rapport cyclique est essentiel pour s'adapter aux conditions réelles du circuit.

En résumé, même si les calculs donnent une première estimation du rapport cyclique, la simulation et les mesures montrent qu'il faut l'affiner pour tenir compte des pertes réelles. C'est pour ça qu'une validation expérimentale est indispensable pour bien régler le convertisseur et s'assurer qu'il fonctionne comme prévu.

2.6.2 Mesure de Vds pour Ts

2.6.2.1 Schéma de mesure

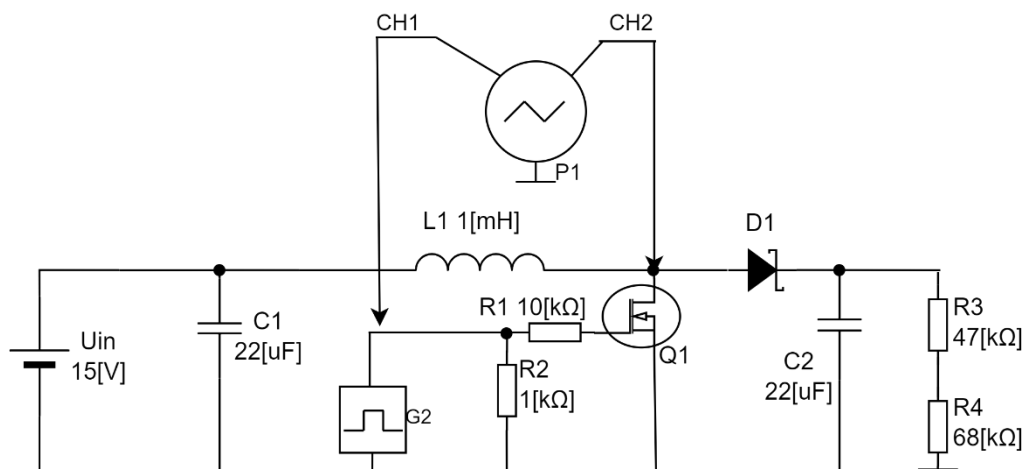


Figure 7 – Schéma de mesure VDS

2.6.2.2 Méthode de mesures

La méthode de mesure se trouve en annexe 6.3.4

2.6.2.3 Résultat de mesure

Les captures d'écran et leur analyse détaillée sont disponibles en annexe au point 6.3.5

Grandeur	Valeur mesurée	Théorie	Simulation
Ts [us]	20	20	20
Vds[V](Ton)	24,42	24.3	24.38
Vds[mV](Toff)	610,38	752	566
Tr[ns]	134,4	-	-
TF[ns]	86,4	-	-

La mesure du Vds (Ton) n'est pas à 24 V, parce qu'il y a la tension dans la diode que théoriquement devrait être à 0,7V, mais vu que la tension effective dépend du courant instantané, elle est plus autour de 0,3V. La tension Vds à Toff mesurée (610,38 mV) se situe entre la valeur théorique et la valeur obtenue en simulation. Cette différence peut s'expliquer par plusieurs facteurs liés aux phénomènes réels du circuit, tels que la capacité parasite Cds du MOSFET qui maintient une tension résiduelle même en coupure, l'énergie stockée dans l'inductance L1 qui génère des transitoires, le courant de fuite du MOSFET qui empêche une coupure parfaite, ainsi que l'influence des composants passifs (C2, R3, R4).

Pour la partie de temps de montée et de descente, les valeurs mesurées ($t_r = 134,4$ ns et $T_F = 86,4$ ns) sont significativement plus élevées que celles du datasheet (35 ns et 19 ns respectivement), ce qui peut être expliqué par une charge plus élevée dans le circuit, une capacité parasite accrue, ainsi qu'une commande de grille sous-dimensionnée limitant la vitesse de commutation du MOSFET. De plus, l'ajout d'une résistance de $50\ \Omega$ due à la sonde d'oscilloscope peut réduire la tension appliquée à la grille du MOSFET, retardant ainsi sa commutation et contribuant à l'allongement des temps de montée et de descente, ce qui impacte l'efficacité du circuit en augmentant les pertes par commutation.

$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	7.8	—	ns
t_r	Rise Time	—	35	—	
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	25	—	
t_f	Fall Time	—	19	—	

Figure 8 temps de monter et descente, de la datasheet du Mosfet³

2.7 Mesure de I_q pour T_s

2.7.1 Schéma de mesure

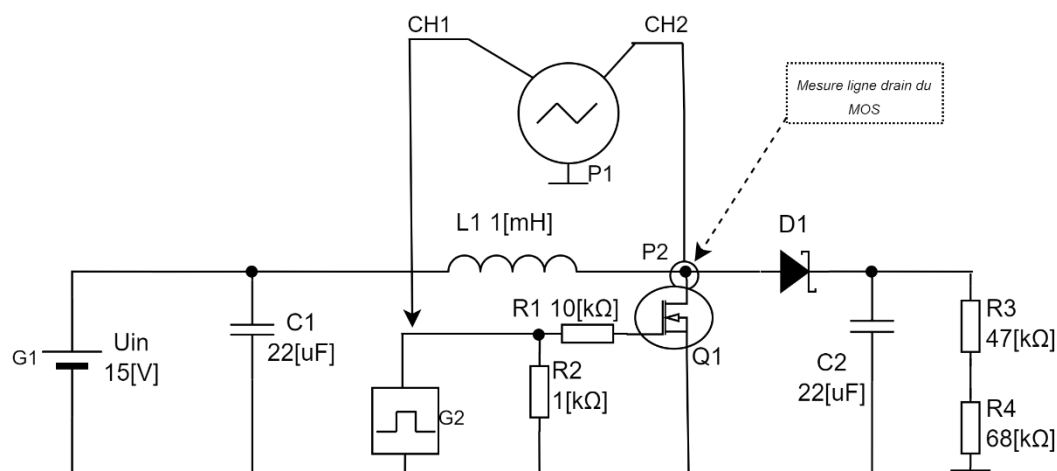


Figure 9- Mesure I_q

2.7.2 Méthode de mesures

La méthode de mesure se trouve en annexe 6.3.6

2.7.3 Résultat de mesure

Les captures d'écran et leur analyse détaillée sont disponibles en annexe au point 6.3.7

Grandeur	Valeur mesurée	Théorie	Simulations
T_s [us]	20	20	20
I_q [mA]	373,06	390.7	353.4

Le courant I_q dépend du rapport cyclique D et de la tolérance de l'inductance $L1$. Une augmentation de D allonge la conduction du MOSFET et augmente I_q . Une diminution réduite de cette durée et limite I_q . Toute variation de D entre théorie, simulation et mesure affecte directement I_q .

La tolérance de $L1$ modifie la pente de montée du courant. Une inductance plus faible accélère la montée et augmente I_q . Une inductance plus élevée réduit la pente et diminue I_q .

L'écart entre les valeurs mesurée (373,06 mA), simulée (353,4 mA) et théorique (390,7 mA) s'explique par la variation de D entre la théorie, la simulation et la mesure. Ainsi que de $L1$ dont les tolérances diffèrent entre chaque situation. Une inductance plus faible ou un rapport cyclique plus grand augmente I_q , tandis qu'une inductance plus élevée ou un rapport cyclique réduit diminue I_q .

Hormis ces différences les valeurs mesurées sont logiques et correspondent aux attentes.

2.8 Mesure d'IL pour Ts

2.9 Schéma de mesure

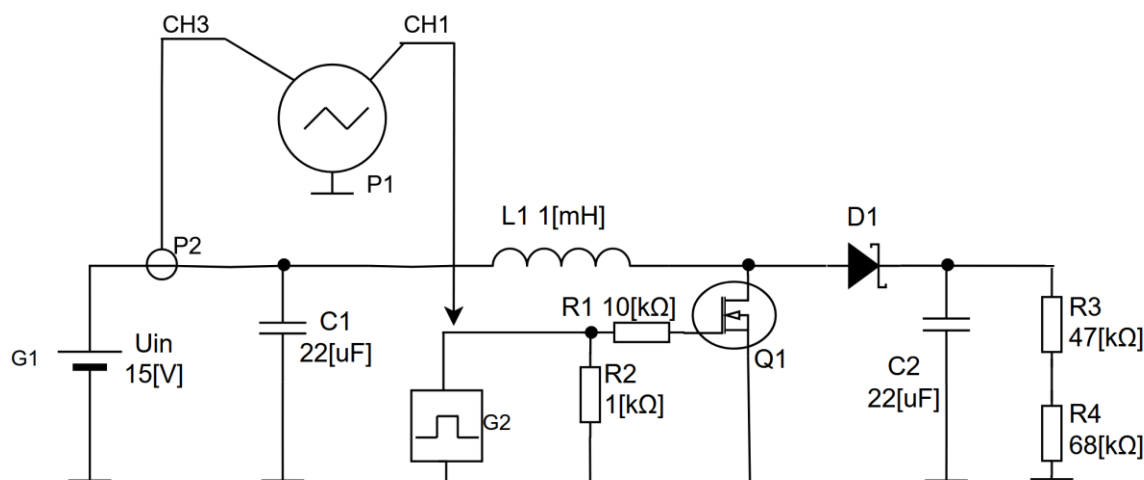


Figure 10 – Mesure IL

2.10 Méthode de mesures

La méthode de mesure se trouve en annexe 6.3.8

2.11 Résultat de mesure

Les captures d'écran et leur analyse détaillée sont disponibles en annexe au point 6.3.9

Grandeur	Valeur mesurée	Théorie	Simulations
Ts [us]	20	20	20
IL[mA]	413,6	304	346.6
ΔI [mA]	120.6	115.5	113.42

La tolérance de L1 influence directement la dynamique du courant dans l'inductance. Une valeur d'inductance plus faible accélère la montée du courant IL, augmentant ainsi son amplitude. Une inductance plus élevée ralentit cette montée et réduit IL. La dispersion des valeurs de L1 entre la théorie, la simulation et la mesure réelle explique une partie des écarts observés.

Le temps de commutation du MOSFET modifie la durée pendant laquelle l'inductance stocke de l'énergie. Une commutation plus lente prolonge le temps de conduction, augmentant IL. Une commutation plus rapide réduit ce temps et diminue IL. La vitesse de commutation réelle du MOSFET peut être légèrement différente de celle prise en compte dans la simulation, entraînant des écarts entre les résultats.

La charge en sortie agit sur la régulation du convertisseur et impacte IL. Une charge plus faible réduit la consommation de courant et diminue IL. Une charge plus élevée augmente la demande en énergie et fait monter IL. Toute différence entre la charge réelle et celle simulée influence la valeur mesurée du courant.

L'écart entre les valeurs mesurée (413,6 mA), simulée (346,6 mA) et théorique (304 mA) résulte des variations de L1, du temps de commutation du MOSFET et des conditions de charge. Une inductance plus faible, un temps de conduction plus long ou une charge plus élevée augmentent IL. Une inductance plus élevée, une commutation plus rapide ou une charge plus faible réduisent IL.

Hormis ces différences, les valeurs obtenues restent cohérentes et conformes aux attentes.

3 Partie B – Utilisation de drivers

3.1 Schéma de principe

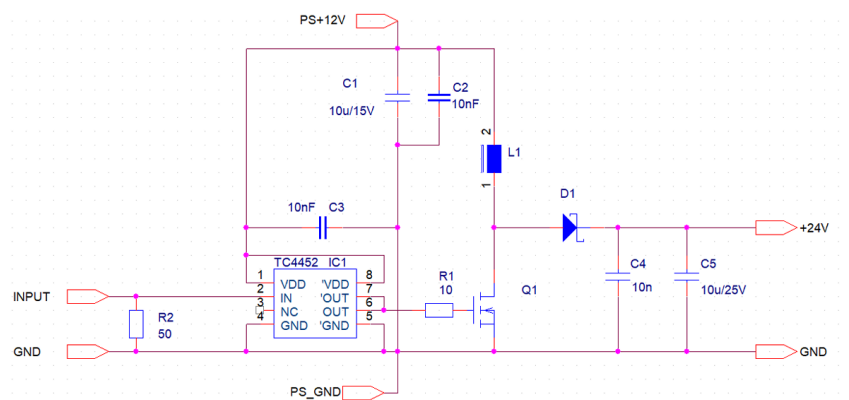


Figure 11

3.2 Schéma de mesure

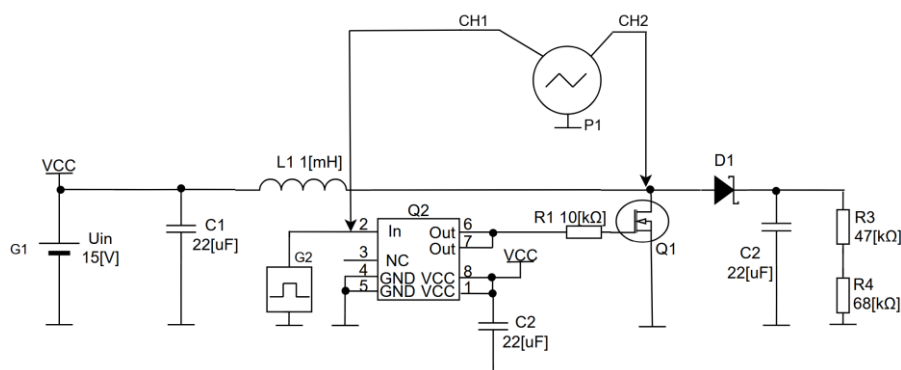


Figure 12 Schéma de mesure avec driver

3.3 Méthode de mesure

La méthode de mesure se trouve en annexe au point 6.4

3.4 Résultats

Les captures d'écran sont disponibles en annexe au point 6.4

Grandeur	Sans driver	Avec Drivers
Tr Out[ns]	134,4	42.8
Tf Out[ns]	86,4	209.6

Avec l'ajout d'un driver, le temps de montée (Tr) du MOSFET a significativement diminué (134,4 ns à 42,8 ns) grâce à une charge plus rapide de la grille, permettant une commutation plus efficace. Cependant, le temps de descente (TF) a considérablement augmenté (86,4 ns à 209,6 ns) en raison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, la résistance de pull-down de la grille peut ne pas être suffisante pour assurer une décharge rapide, ce qui ralentit la coupure du MOSFET. Ensuite, la capacité parasite drain source (Cds) combinée avec les condensateurs de 22 μF présents en sortie du convertisseur contribue à maintenir une tension résiduelle sur le drain du MOSFET, retardant ainsi son passage à l'état OFF. Contrairement à la descente, ces condensateurs n'influencent pas Tr, car ils sont isolés du drain par la diode D1 lors de la phase de montée. Enfin, l'impédance de la sonde d'oscilloscope et la résistance additionnelle de 50 Ω peuvent également réduire la tension appliquée à la grille et perturber la commutation. Pour optimiser la descente du MOSFET, il serait pertinent de réduire la valeur de C2, d'ajouter une résistance de pull-down plus faible, et de choisir un driver avec une meilleure capacité de décharge afin d'accélérer la transition OFF du transistor.

4 Conclusion

L'expérimentation a permis d'analyser le fonctionnement d'un convertisseur DC-DC élévateur de 15V à 24V, en validant les résultats par calculs théoriques, simulations et mesures expérimentales. L'objectif était de déterminer les paramètres clés du circuit, d'optimiser le rapport cyclique et d'évaluer l'influence de composants comme le MOSFET, la diode et l'inductance.

Les calculs théoriques ont fourni une première estimation des valeurs attendues, avec un rapport cyclique de 37.5 %. La simulation a permis de vérifier ces résultats en intégrant des modèles de composants plus réalistes, mettant en évidence un écart nécessitant un ajustement du rapport cyclique à 39.5 % pour atteindre la tension de sortie correcte. Les mesures réelles ont confirmé cet ajustement, avec une valeur finale de 38.61 %.

Les résultats ont montré que, sur un convertisseur DC-DC élévateur, la tension de sortie est directement ajustée par la modification du rapport cyclique du signal PWM. L'écart observé entre théorie, simulation et mesures réelles provient principalement des pertes dans les composants comme le MOSFET, la diode et l'inductance, ainsi que des tolérances des éléments passifs. Les mesures de V_{ds} en conduction et en coupure, du courant I_q et du courant I_L qui ont mis en évidence des phénomènes parasites, notamment les effets de la capacité drain source et des résistances parasites sur la commutation du MOSFET.

L'ajout d'un driver de grille a amélioré le temps de montée, réduisant les pertes par conduction, mais a augmenté le temps de descente, influençant les pertes de commutation.

L'étude a confirmé que le réglage précis du rapport cyclique est essentiel pour compenser les pertes et atteindre la tension de sortie souhaitée. L'optimisation du choix des composants comme le MOSFET, l'inductance et la diode, ainsi que du circuit de commande, notamment avec le driver, permettrait d'améliorer l'efficacité du convertisseur.

5 Signatures

Lausanne, le 12 février 2025
ETML-ES



6 Annexe

6.1 Liste de matériel

6.1.1 Instrument

Désignateur	Marque	Modèle	Type	N° d'inventaire
G1	GwInstek	GPS-3303	Alimentation	ES.SLO2.00.00.82
G2	Keysight	33500 series	Générateur de fonction	ES.SLO2.00.00.137
P1	Rohde & Schwarz	RTB2004	Oscilloscope	ES.SLO2.05.01.07
P2	Tektronics	TCP202	Sonde de courant	ES.SLO1.00.05.12
P2*	Tektronics	1103	Alimentation de sonde de courant	ES.SLO1.00.06.03

6.1.2 Composants

Désignation	Marque	Reference	Type	Valeur	Tolérance	Datasheet
L1	-	102K	Inductance	1m	10%	-
D1	-	SB160	Schottky	-	-	-
Q1	-	IRF40B207	Power MOSFET	-	10%	Lien
C2	-	-	Condensateur, radial	22u	10%	-
C1	-	-	Condensateur, radial	22u	10%	-
R1	-	-	Résistance	10k	10%	-
R2	-	-	Résistance	1k	10%	-
R3	-	-	Résistance	47k	5%	-
R4	-	-	Résistance	68k	5%	-
Q2	-	TC4452	Driver	-	-	Lien
C3	-	-	Condensateur, radial	22u	10%	-

6.2 Simulations

6.2.1 Mesure au PWM théorique

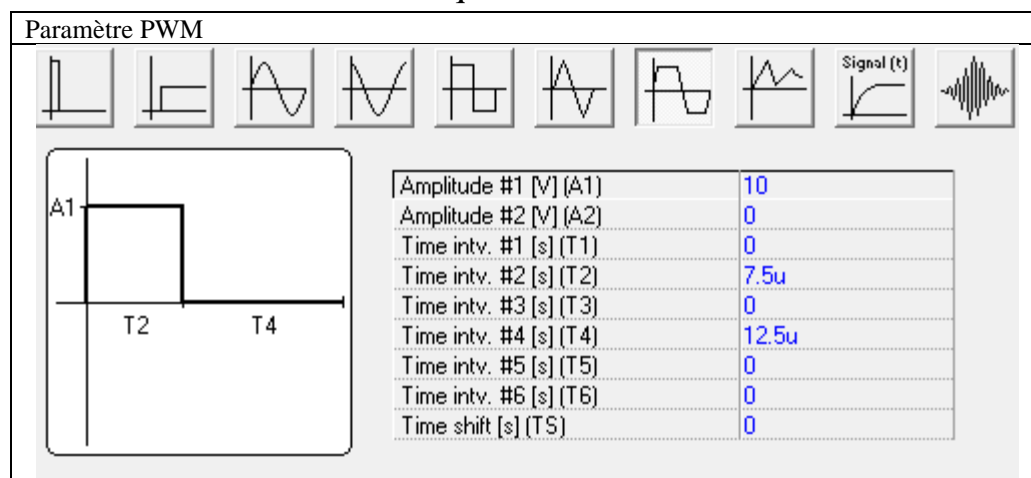


Figure 13

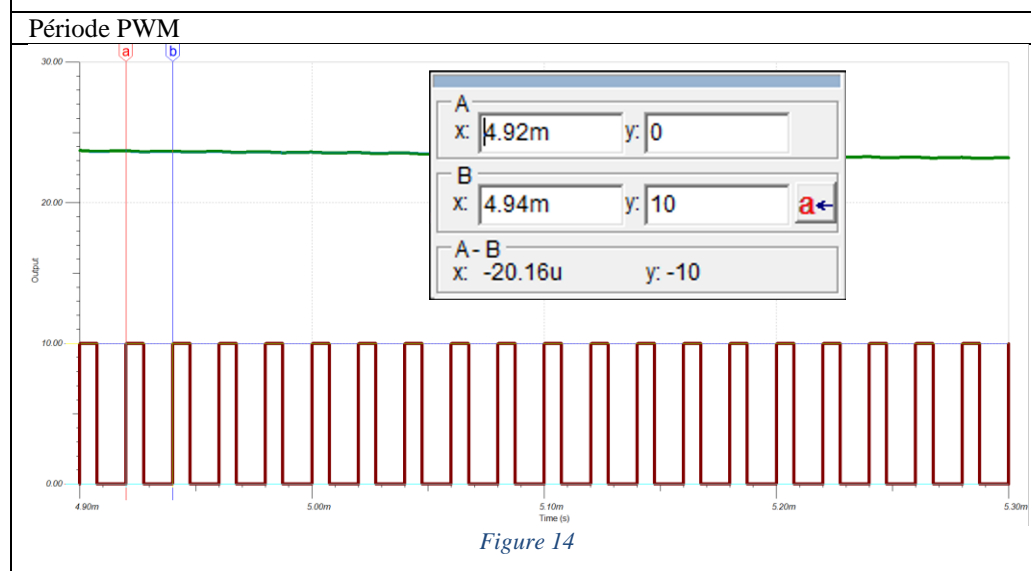


Figure 14

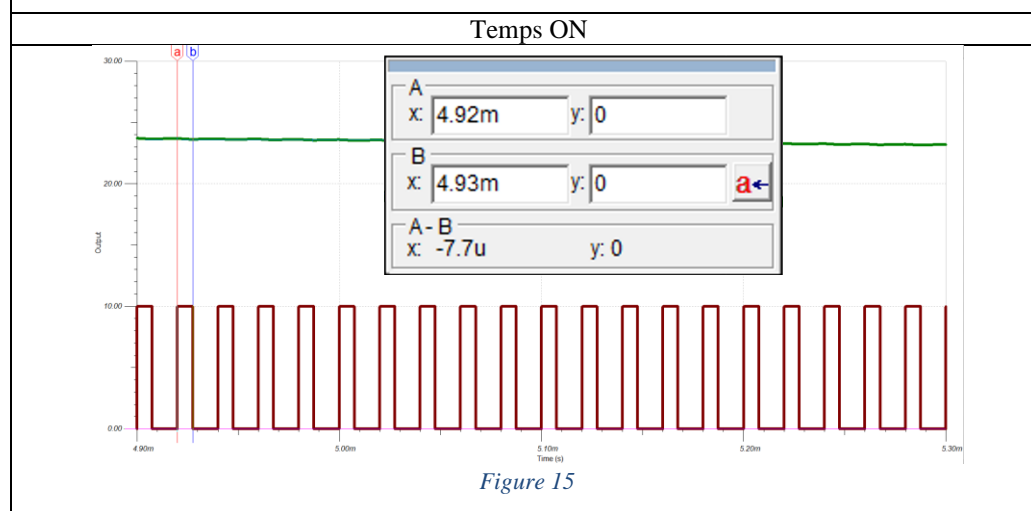


Figure 15

Uout (Stable)

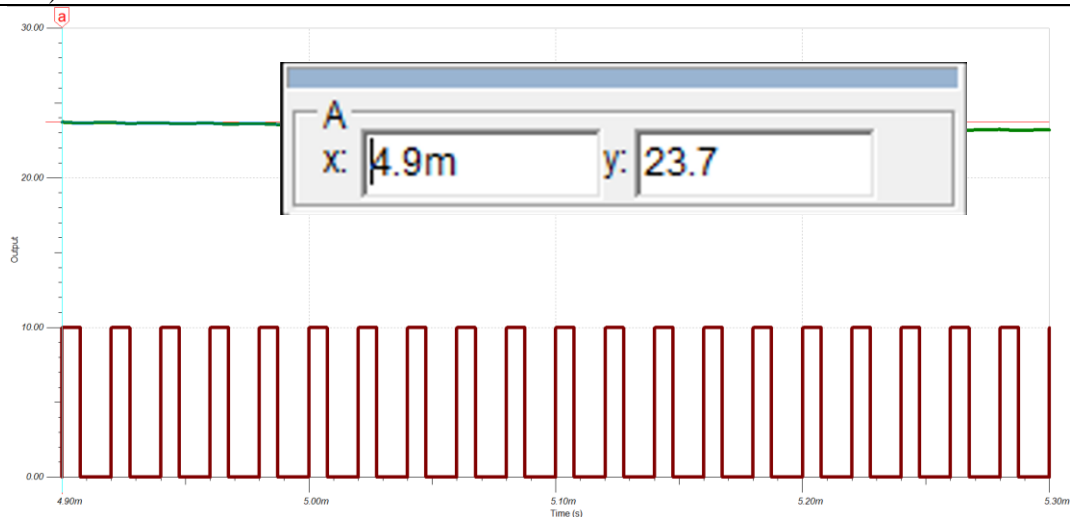


Figure 16

6.2.2 Mesure avec PWM corrigée

Paramètre PWM

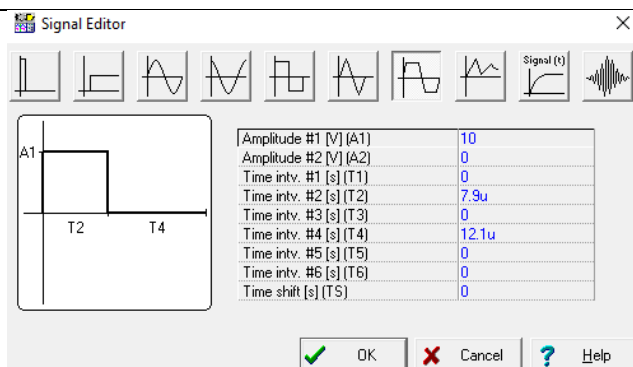


Figure 17

Période PWM

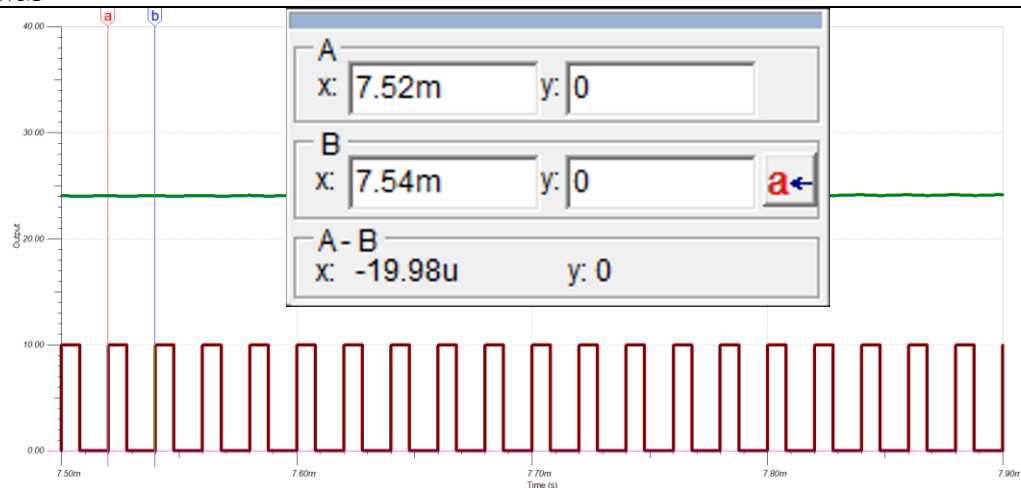


Figure 18

Temps ON

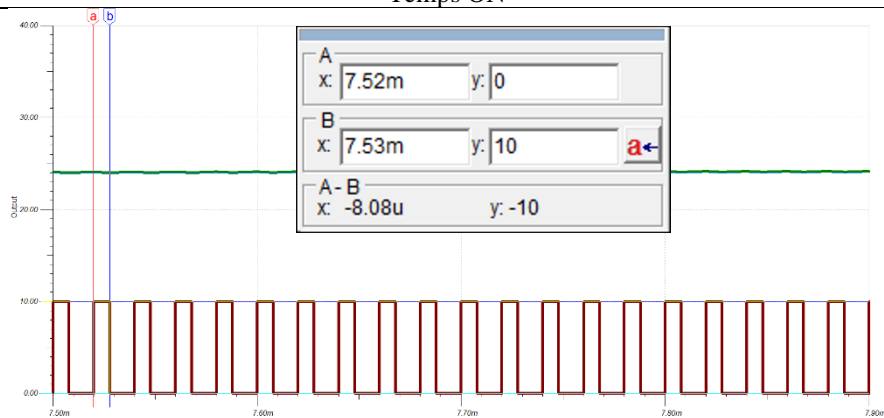


Figure 19

Uout (Stable)

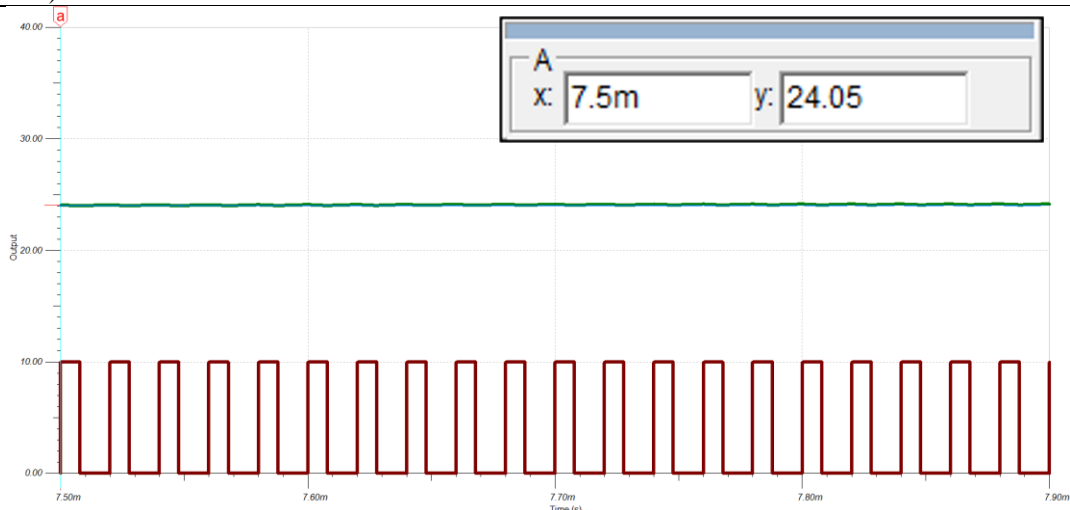


Figure 20

6.2.3 Mesure comparaison

Charge IQ – Mosfet ON

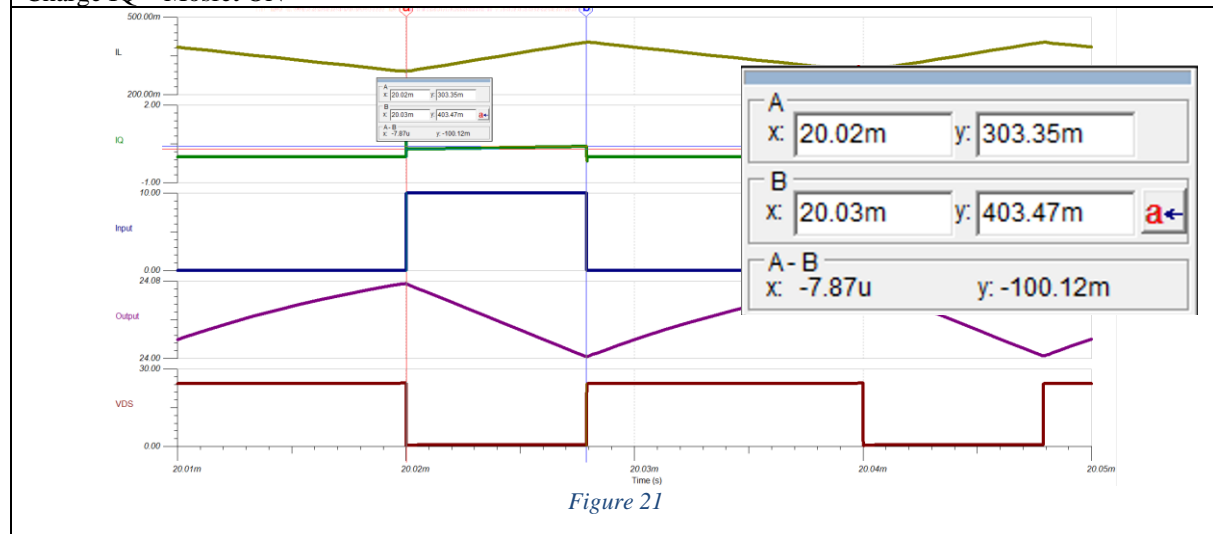


Figure 21

Iq Pic

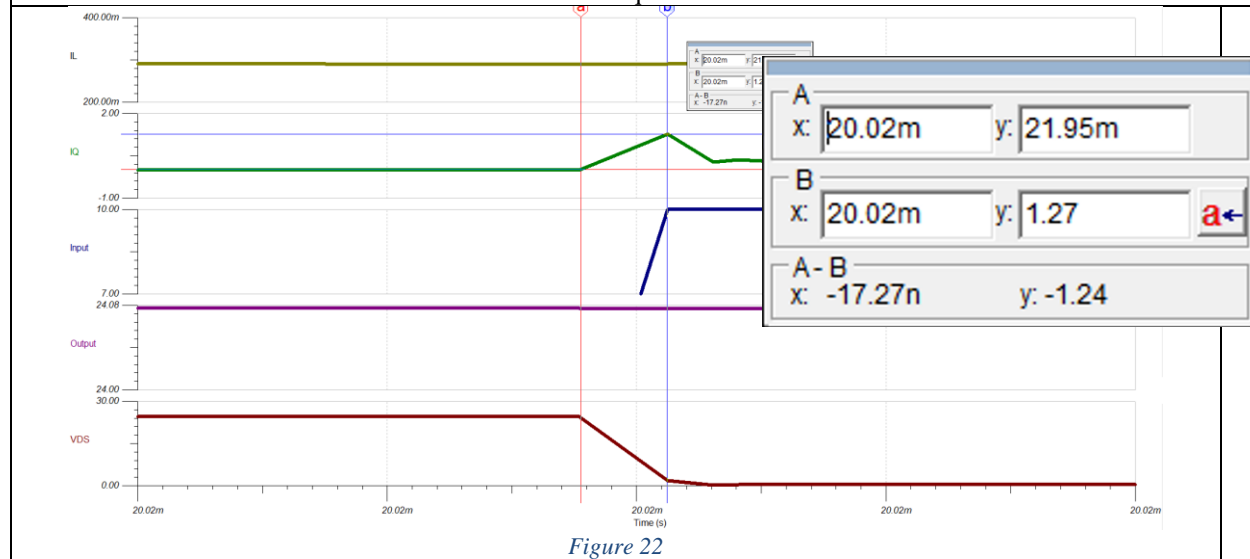


Figure 22

Iq Off

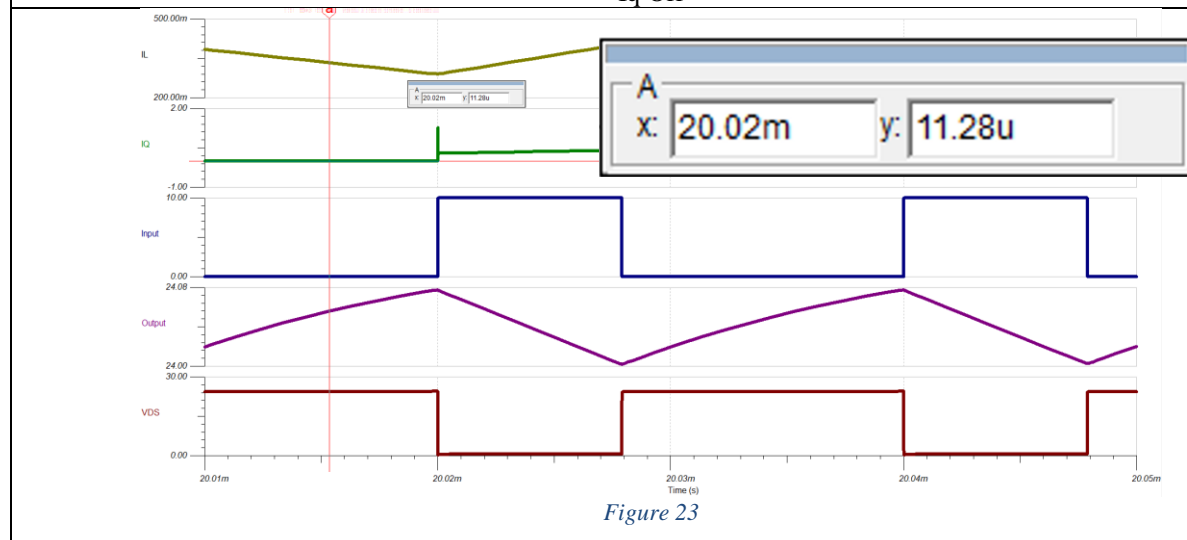


Figure 23

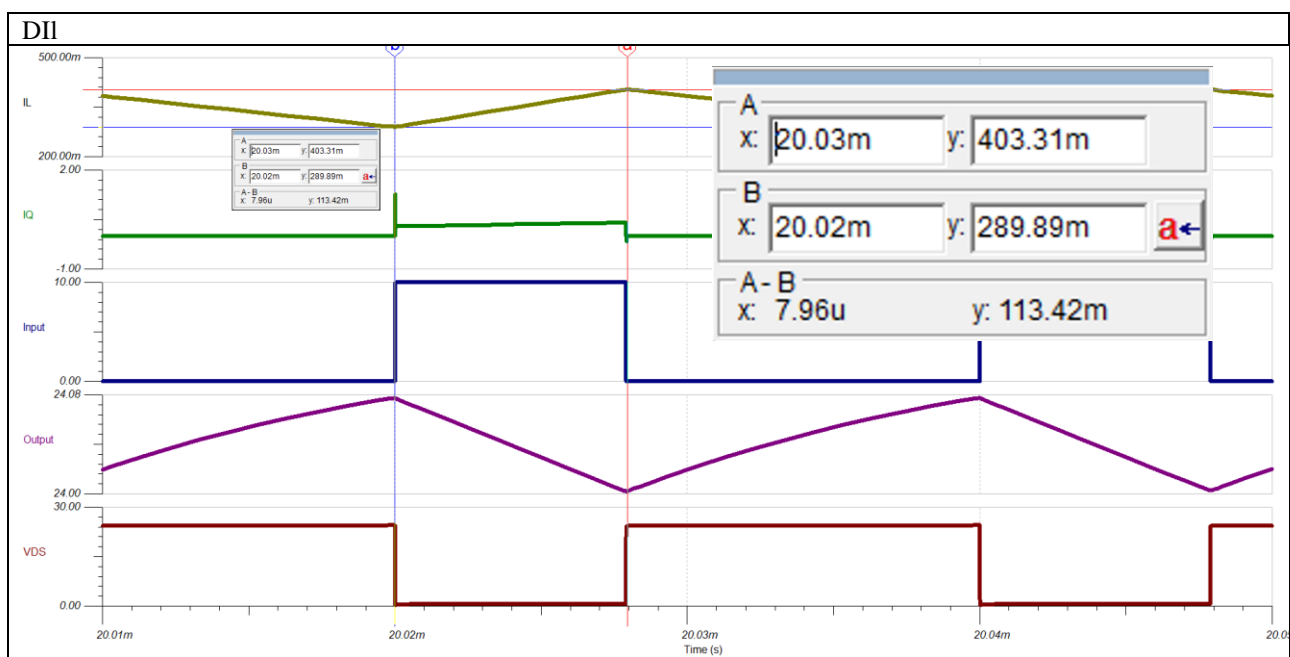


Figure 24

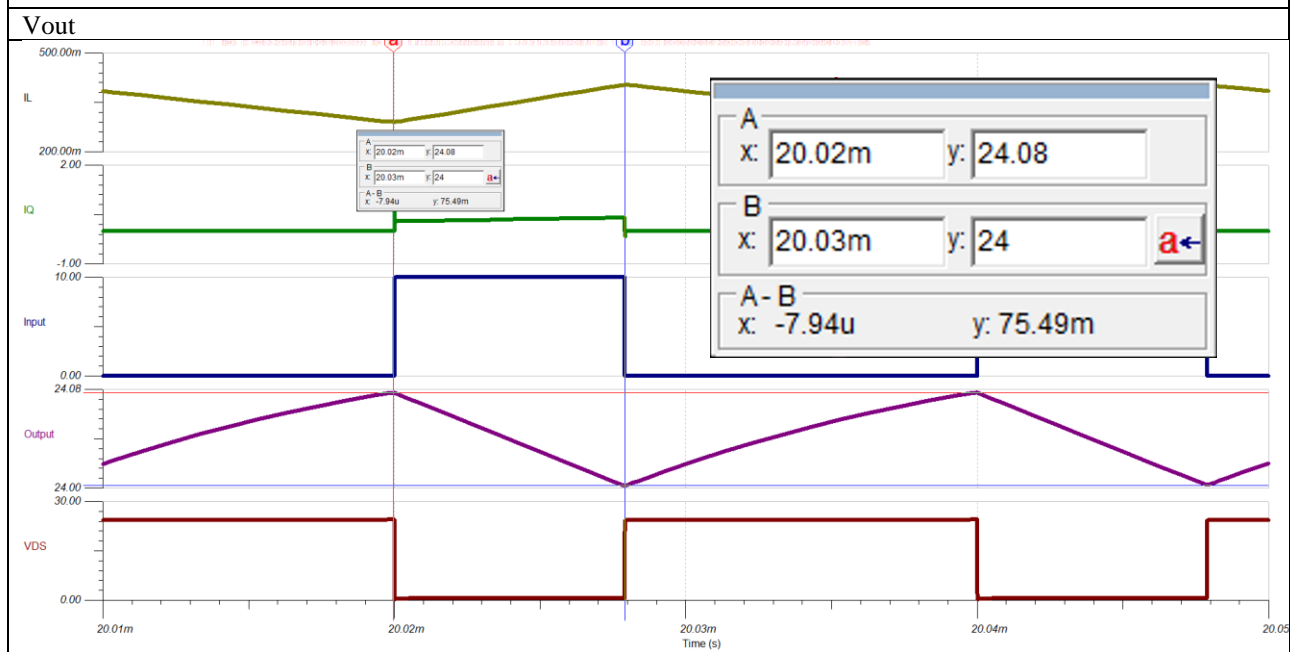
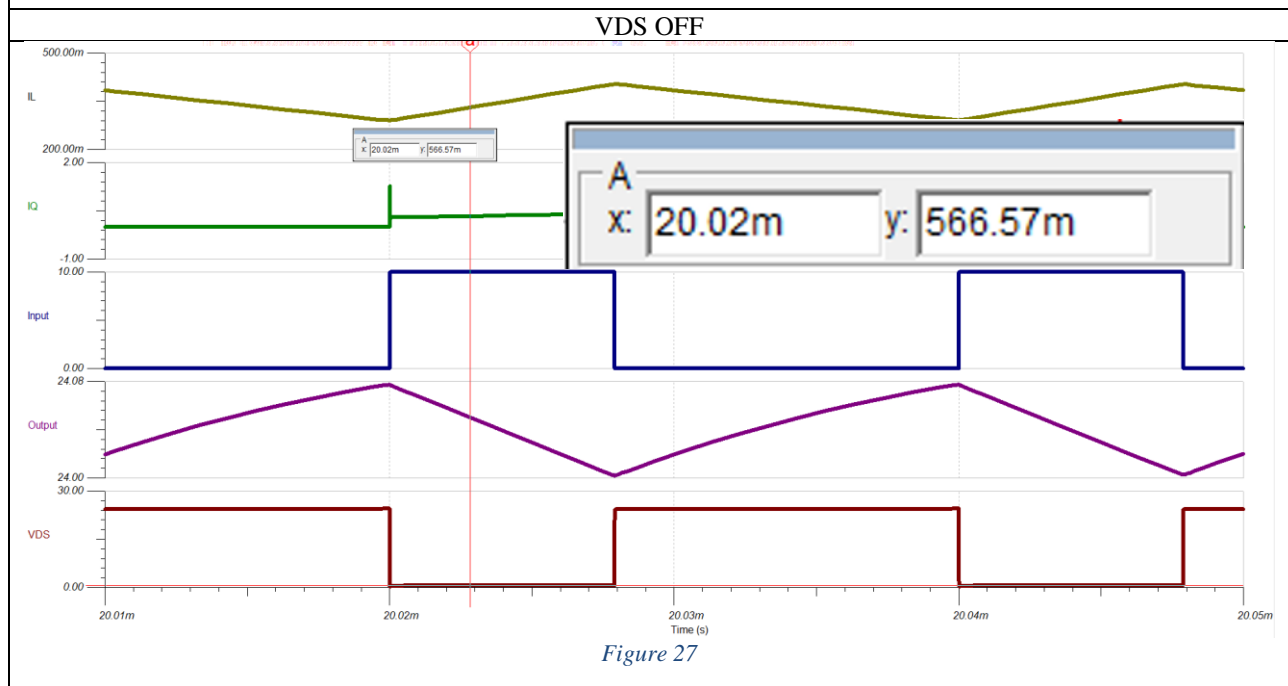
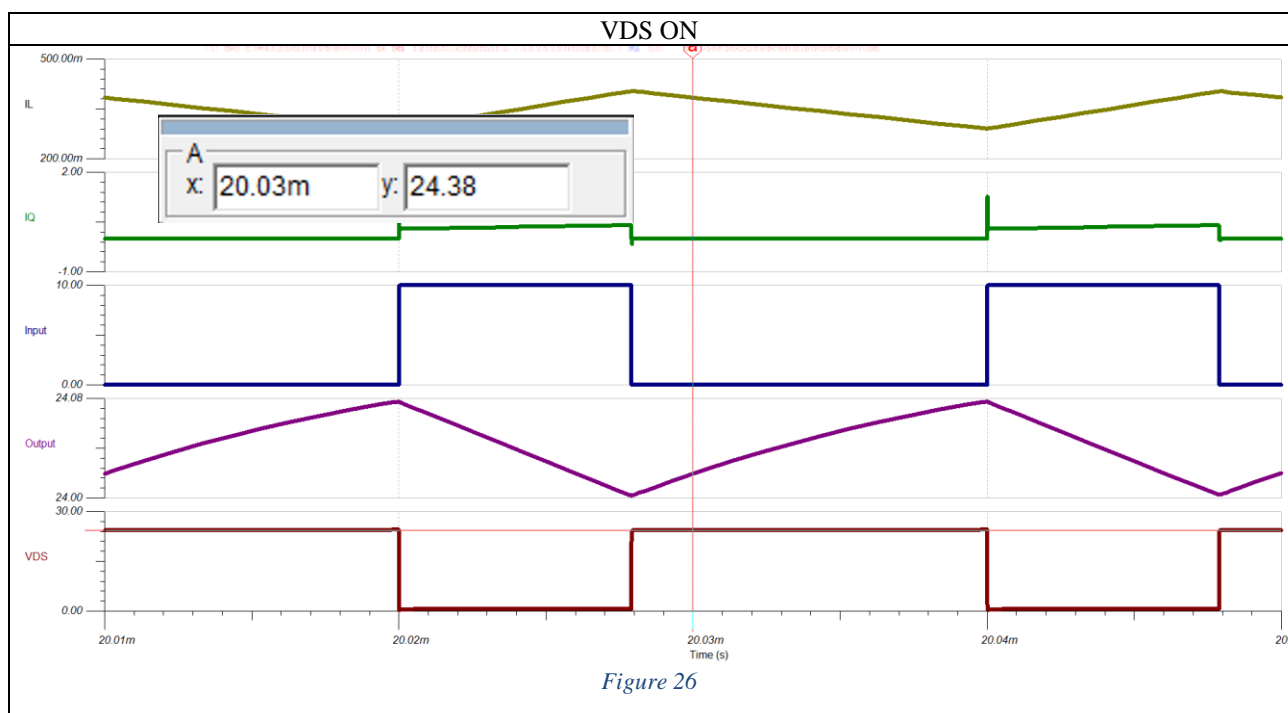
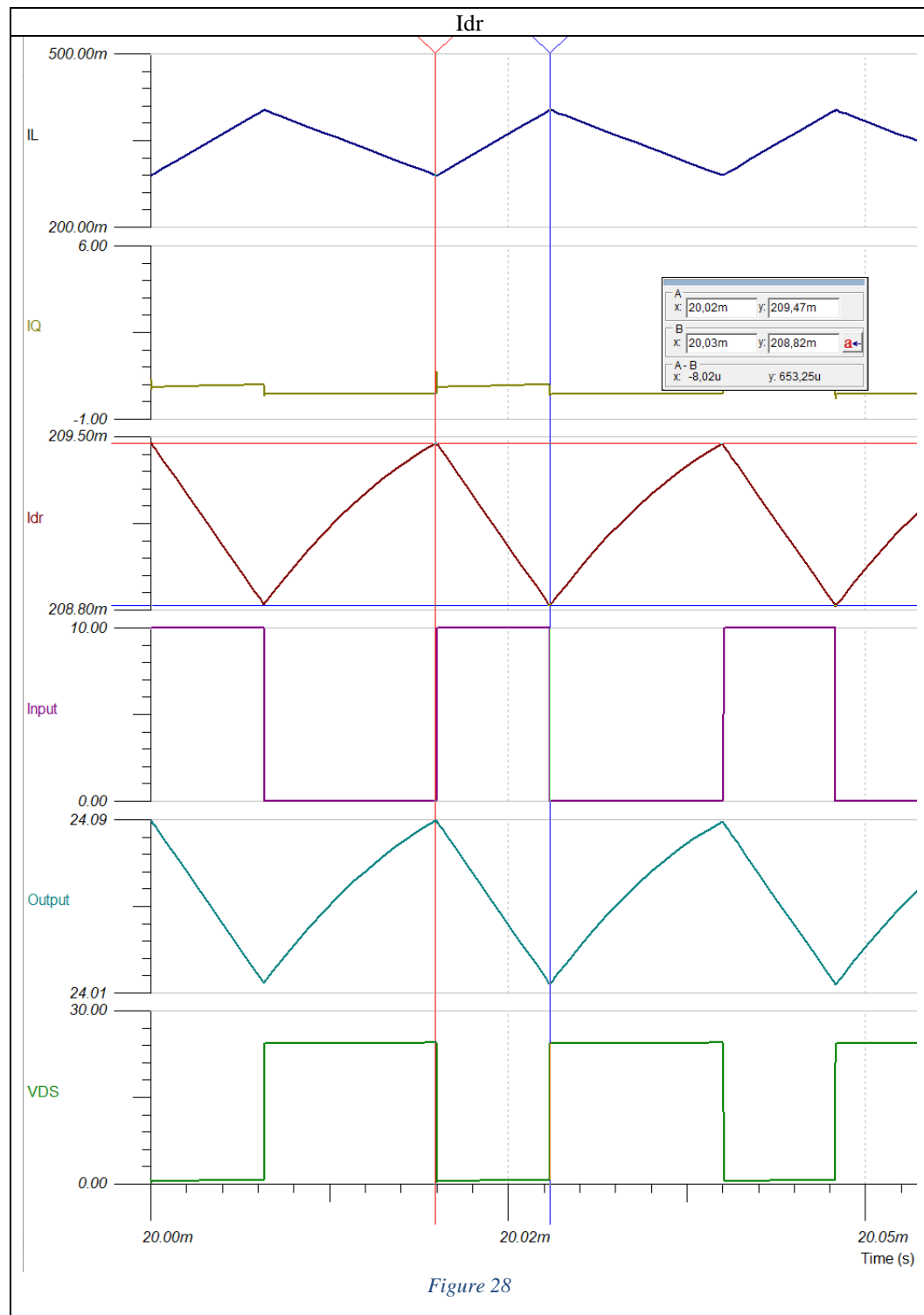


Figure 25





6.3 Mesure

6.3.1 Méthode de mesures du rapport cyclique

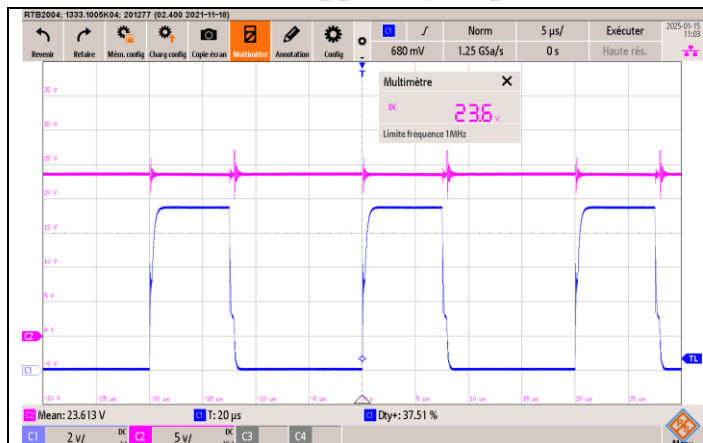
6.3.1.1 Matériaux nécessaires

1. Générateur de signal (G2)
 - Fréquence : 50 kHz
 - Amplitude : 10 Vpp
 - Offset : 5 V
 - Duty Cycle variable : 37.5% et 38.6%.
 - Signal : Carré
2. Oscilloscope (G1)
 - Canal 1 (CH1) : Sur la sortie du générateur (Ts)
 - Canal 2 (CH2) : Sur la sortie du montage (Vout)
 - Sonde : x10
 - Couplage : DC
 - Base de temps et échelle verticale ajustées pour une bonne visibilité du signal

6.3.1.2 Mesure

1. Période du signal de commande (Ts) [μ s]
 - Définition : Temps total d'un cycle du signal de commande appliqué à la grille du MOSFET, avec une fois le Duty Cycle théorique et une fois avec le Duty Cycle avec tâtonnement logique.
 - Mesure :
 - Placer la sonde du canal 1 (CH1) sur la grille du MOSFET.
 - Régler l'oscilloscope pour afficher plusieurs cycles du signal.
 - Utiliser la fonction de mesure automatique de l'oscilloscope pour afficher la période, une autre mesure automatique pour le Duty Cycle (ou la mesurer manuellement avec les curseurs).
2. Tension de sortie (Vout)
 - Définition : Mesure de la tension avec une valeur de Duty cycle théorique et une avec tâtonnement, pour arriver à une tension de +24 V.
 - Mesure :
 - Placer la sonde du canal 2 (CH2) sur la sortie du montage (Vout).
 - Vérifier la valeur de la tension avec le multimètre intègre l'oscilloscope (ou avec un multimètre classique, le résultat est le même).

6.3.2 Mesure avec rapport cyclique calculé

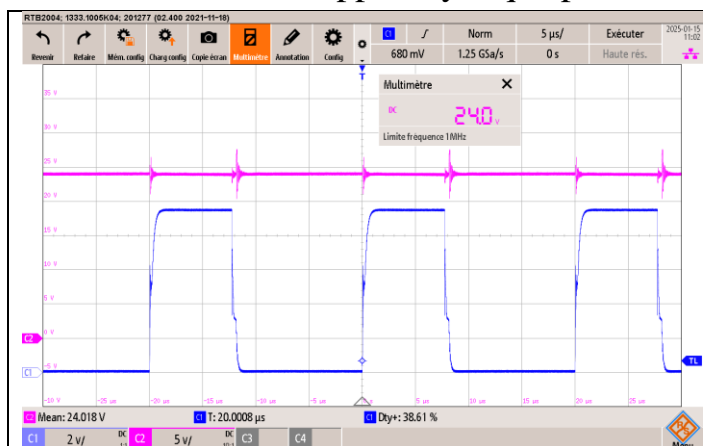


$$U_{\text{out}} = 23.6\text{V}$$

Fréquence = 50kHz

Duty cycle = 37.51%

6.3.3 Correction du rapport cyclique pour être à +24V



$$U_{\text{out}} = 24\text{V}$$

Fréquence = 50kHz

Duty cycle = 38.61%

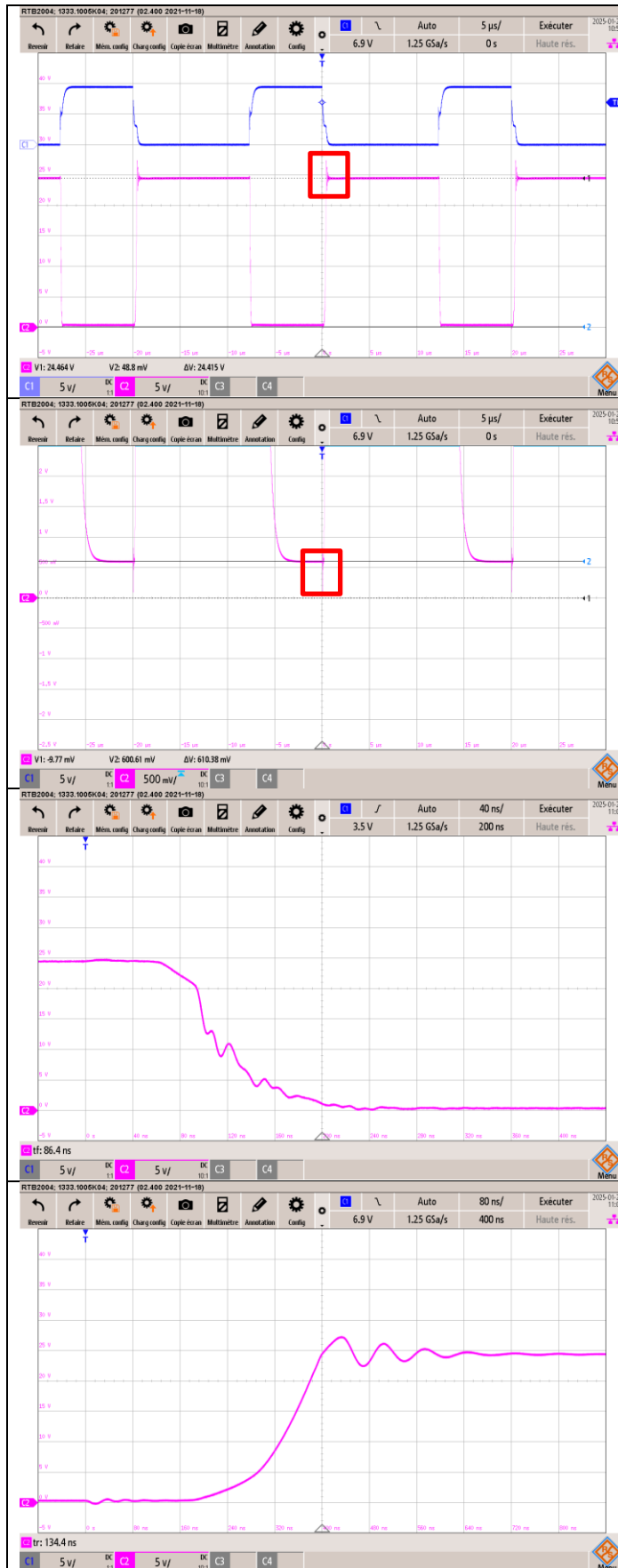
6.3.4 Méthode de mesures de la Tension V_{ds} durant la période T_s

6.3.4.1 Matériaux nécessaires

1. Générateur de signal (G2)
 - Fréquence : 50 kHz
 - Amplitude : 10 Vpp
 - Offset : 5 V
 - Duty Cycle : 38.61%
 - Signal : Carré
2. Oscilloscope (G1)
 - Canal 1 (CH1) : Sur la sortie du générateur (T_s)
 - Canal 2 (CH2) : Sur le drain du MOSFET (V_{ds})
 - Sonde : x10
 - Couplage : DC
 - Base de temps et échelle verticale ajustées pour une bonne visibilité du signal

6.3.4.2 Mesure

1. Période du signal de commande (T_s) [μs]
 - Définition : Temps total d'un cycle du signal de commande appliqué à la grille du MOSFET, il a bien été mesuré dans la partie 0, mais il a été rajouté pour une meilleure visualisation.
 - Mesure :
 - Placer la sonde du canal 1 (CH1) sur la grille du MOSFET.
 - Régler l'oscilloscope pour afficher plusieurs cycles du signal.
 - Utiliser la fonction de mesure automatique de l'oscilloscope pour afficher la période (ou la mesurer manuellement avec les curseurs).
2. Tension de drain V_{ds} en conduction ($V_{ds}[V]$ (T_{on}))
 - Définition : Tension entre le drain et la source lorsque le MOSFET est en conduction (T_{on}), c'est-à-dire lorsqu'il est activé et que le courant passe.
 - Mesure :
 - Placer la sonde du canal 2 (CH2) sur le drain du MOSFET.
 - Vérifier la valeur de V_{ds} lorsque le MOSFET est ON (durant la phase où la grille est excitée par un niveau haut).
3. Tension de drain V_{ds} en coupure ($V_{ds}[V]$ (T_{off}))
 - Définition : Tension entre le drain et la source lorsque le MOSFET est en coupure (T_{off}), c'est-à-dire lorsqu'il est bloqué et que le courant ne passe plus.
 - Mesure :
 - Observer la tension de drain lorsque la grille est à un niveau bas (MOSFET OFF).
4. Temps de montée (T_r) [ns]
 - Définition : Temps nécessaire pour que la tension de drain passe de 10 % à 90 % de sa valeur maximale lors de la transition OFF \rightarrow ON.
 - Mesure :
 - Activer la fonction de mesure de temps de montée sur l'oscilloscope.
 - Vérifier la transition de la tension V_{ds} lorsque le MOSFET passe de l'état bloqué à l'état conducteur.
5. Temps de descente (T_F) [ns]
 - Définition : Temps nécessaire pour que la tension de drain passe de 90 % à 10 % de sa valeur maximale lors de la transition ON \rightarrow OFF.
 - Mesure :
 - Activer la fonction de mesure du temps de descente sur l'oscilloscope.
 - Observer la transition de la tension V_{ds} lorsque le MOSFET passe de l'état conducteur à l'état bloqué.

6.3.5 Tension V_{ds} durant la période T_s Tension V_{ds} pendant T_s OFF

$$V_{ds} = 24.42V$$

Comme on peut voir en rouge, il y a une surtension qui est due à l'inductance parasite dans le circuit, combinée à la commutation rapide du MOSFET.

Tension V_{ds} pendant T_s ON

$$V_{ds} = 610.38mV$$

Comme on peut voir en rouge, il y a une surtension qui est due à l'inductance parasite dans le circuit, combinée à la commutation rapide du MOSFET.

Temps de descente

Transition haut à bas : Sur l'oscillogramme, on peut voir que le temps de descente dépasse la valeur spécifiée dans la datasheet ($t_f = 19ns$), ce qui peut indiquer une limitation dans le circuit externe, comme une résistance de grille élevée ou des inductances parasites ralentissant la commutation.

Temps de montée

Transition bas à haut : De même, le temps de montée est plus long que les 35 ns spécifiés. Cela peut être causé par des conditions de charge non idéales, une capacité C_{oss} élevée ou un courant insuffisant pour charger rapidement la grille.

6.3.6 Méthode de mesures du courant I_q

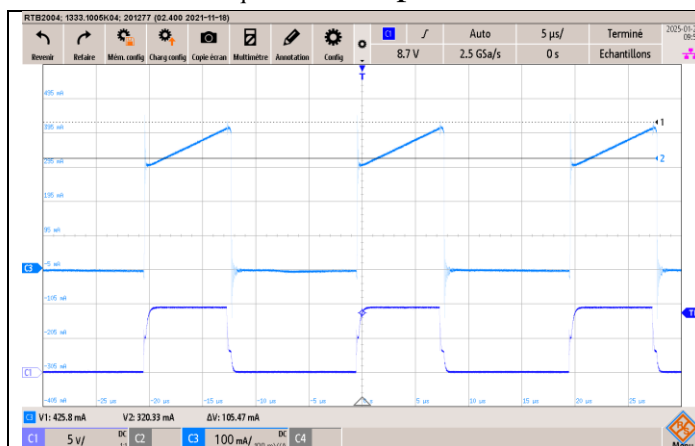
6.3.6.1 Matériaux nécessaires

1. Générateur de signal (G2)
 - Fréquence : 50 kHz
 - Amplitude : 10 Vpp
 - Offset : 5 V
 - Duty Cycle variable : 38.6%.
 - Signal : Carré
2. Oscilloscope (G1)
 - Canal 1 (CH1) : Sur la sortie du générateur (T_s)
 - Canal 2 (CH2) : Courant sur le MOSFET, depuis la pâte drain (I_q)
 - Sonde de courant Tektronix : 100mA donne 10mV sur l'oscilloscope
 - Couplage : DC
 - Base de temps et échelle verticale ajustées pour une bonne visibilité du signal

6.3.6.2 Mesure

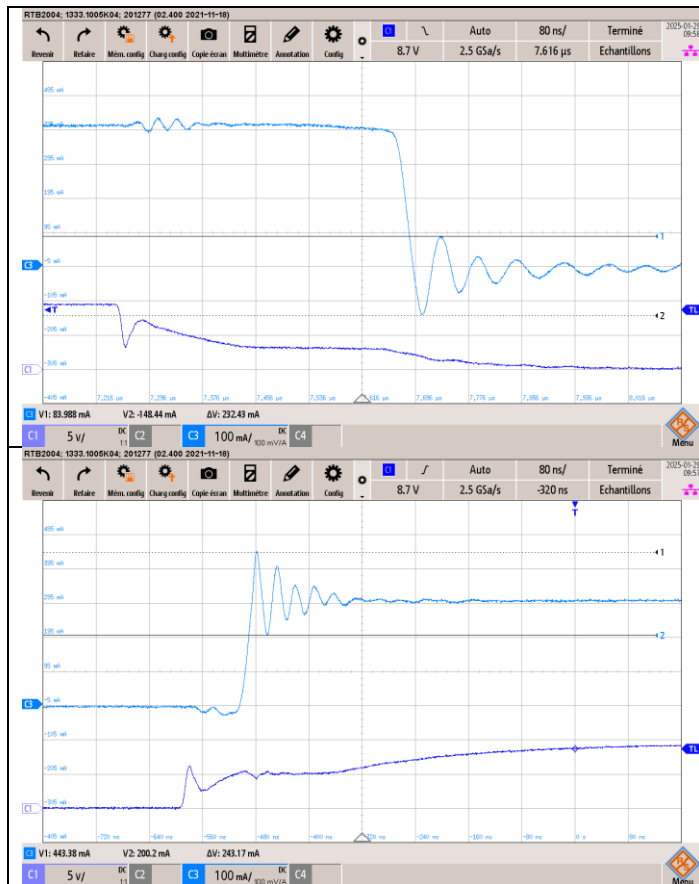
1. Période du signal de commande (T_s) [μ s]
 - Définition : Temps total d'un cycle du signal de commande appliqué à la grille du MOSFET, il a bien été mesuré dans la partie 0, mais il a été rajouté pour une meilleure visualisation.
 - Mesure :
 - Placer la sonde du canal 1 (CH1) sur la grille du MOSFET.
 - Régler l'oscilloscope pour afficher plusieurs cycles du signal.
 - Utiliser la fonction de mesure automatique de l'oscilloscope pour afficher la période, une autre mesure automatique pour le Duty Cycle (ou la mesurer manuellement avec les curseurs).
2. Courant sur le MOSFET, depuis la pâte drain (I_q)
 - Définition : Mesure du courant sur le MOSFET (I_q), depuis la pâte drain.
 - Mesure :
 - Placer la sonde de courant du canal 2 (CH2) sur la pâte drain (I_q).
 - Vérifier la valeur du courant pic et du courant delta (I_q)

6.3.7 Courant I_q durant la période T_s



Courant I_q pendant T_s

Remarque : il y a eu un offset pendant le Screenshot, qui a décalé les curseurs d'un cran vers le haut.



Oscillation

Oscillation

Remarque : Il y a des oscillations sur le courant I_q qui peuvent être causées par une conception mauvaise de la boucle de rétroaction, une capacité d'entrée insuffisante qui ne filtre pas correctement les variations de courant, une interaction avec l'impédance de la source d'alimentation, la saturation de l'inductance, ou encore une réponse transitoire aux variations de charge, ce qui peut perturber la stabilité du convertisseur DC-DC et affecter son rendement.

6.3.8 Méthode de mesures du courant I_L

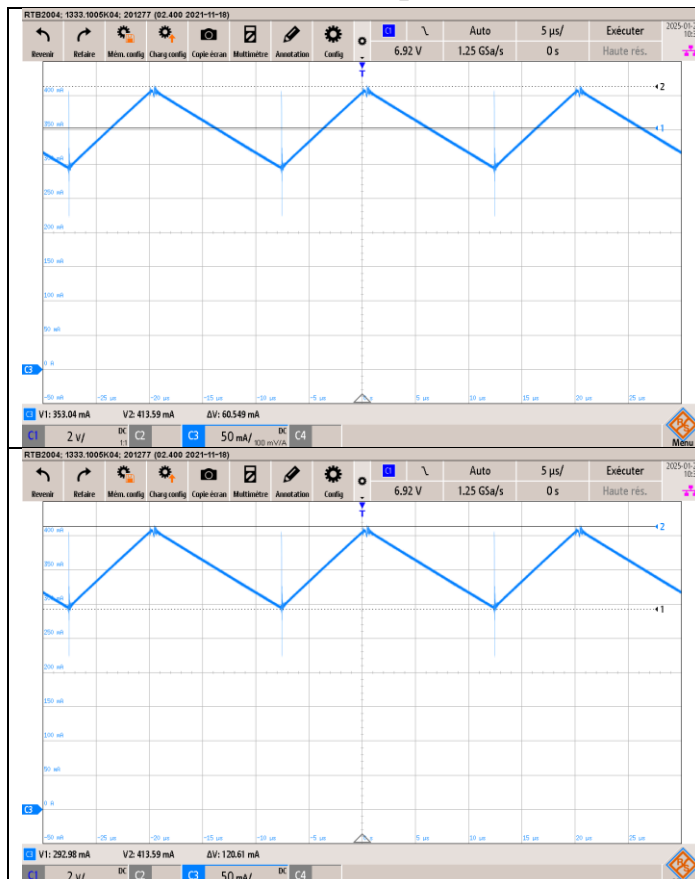
6.3.8.1 Matériaux nécessaires

1. Générateur de signal (G2)
 - Fréquence : 50 kHz
 - Amplitude : 10 Vpp
 - Offset : 5 V
 - Duty Cycle variable : 38.6%.
 - Signal : Carré
2. Oscilloscope (G1)
 - Canal 3 (CH3) : Courant sur la bobine
 - Sonde de courant Tektronix : 100mA donne 10mV sur l'oscilloscope
 - Couplage : DC
 - Base de temps et échelle verticale ajustées pour une bonne visibilité du signal

6.3.8.2 Mesure

1. Courant sur la bobine, sur la sortie de U_{in} (I_L)
 - Définition : Mesure du courant sur la bobine (L1).
 - Mesure :
 - Placer la sonde de courant du canal 3 (CH3) sur la sortie de U_{in} (I_L).
 - Vérifier la valeur du courant moyen en faisant delta $I_L / 2$.

6.3.9 Courant I_L durant la période T_s



Courant I_L moyen pendant T_s

I_L moyen = 353.04 mA

ΔI_L pendant T_s

$\Delta I_L = 120.61$ mA

I_L moyen = $413.59\text{m} - 120.61\text{m} / 2 = 353.29\text{mA}$

6.3.10 Méthode de mesures de la Tension V_{ds} durant la période T_s avec un driver

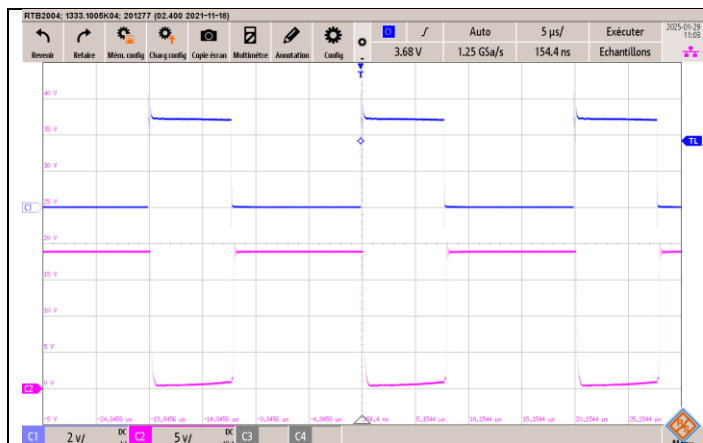
6.3.10.1 Matériaux nécessaires

1. Générateur de signal (G2)
 - Fréquence : 50 kHz
 - Amplitude : 10 Vpp
 - Offset : 5 V
 - Duty Cycle : 38.61%
 - Signal : Carré
2. Oscilloscope (G1)
 - Canal 1 (CH1) : Sur la sortie du générateur (T_s)
 - Canal 2 (CH2) : Sur le drain du MOSFET (V_{ds})
 - Sonde : x10
 - Couplage : DC
 - Base de temps et échelle verticale ajustées pour une bonne visibilité du signal

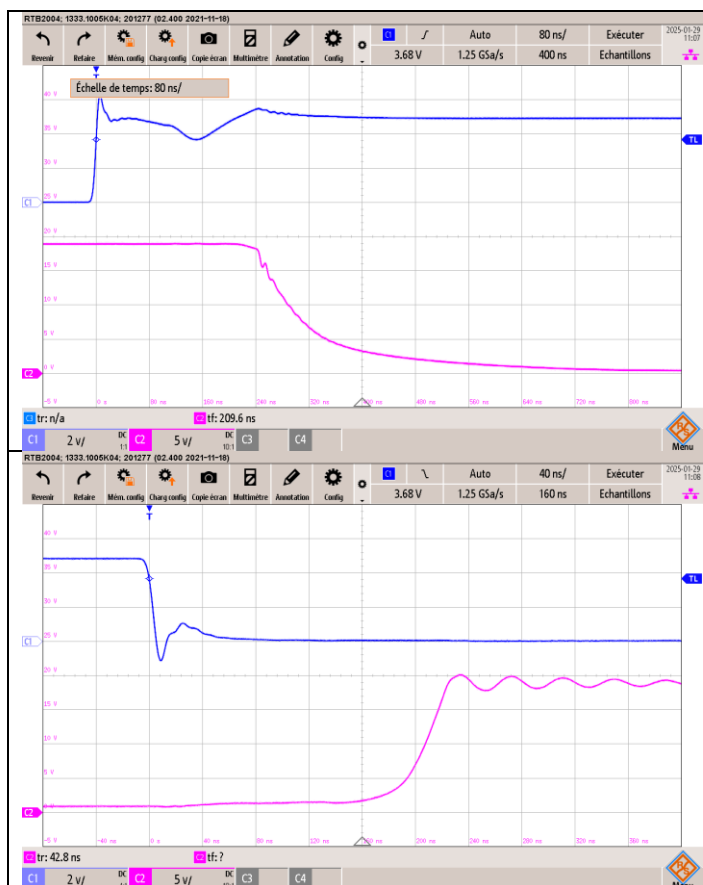
6.3.10.2 Mesure

1. Période du signal de commande (T_s) [μs]
 - Définition : Temps total d'un cycle du signal de commande appliqué à la grille du MOSFET, il a bien été mesuré dans la partie 0 ,mais il a été rajouté pour une meilleure visualisation.
 - Mesure :
 - Placer la sonde du canal 1 (CH1) sur la grille du MOSFET.
 - Régler l'oscilloscope pour afficher plusieurs cycles du signal.
 - Utiliser la fonction de mesure automatique de l'oscilloscope pour afficher la période (ou la mesurer manuellement avec les curseurs).
2. Temps de montée (T_r) [ns]
 - Définition : Temps nécessaire pour que la tension de drain passe de 10 % à 90 % de sa valeur maximale lors de la transition OFF \rightarrow ON.
 - Mesure :
 - Activer la fonction de mesure de temps de montée sur l'oscilloscope.
 - Vérifier la transition de la tension V_{ds} lorsque le MOSFET passe de l'état bloqué à l'état conducteur.
3. Temps de descente (T_f) [ns]
 - Définition : Temps nécessaire pour que la tension de drain passe de 90 % à 10 % de sa valeur maximale lors de la transition ON \rightarrow OFF.
 - Mesure :
 - Activer la fonction de mesure du temps de descente sur l'oscilloscope.
 - Observer la transition de la tension V_{ds} lorsque le MOSFET passe de l'état conducteur à l'état bloqué.

6.4 Mesure partie B avec driveur



Vue générale



Temps de descente

 $t_f = 209.6 \text{ ns}$

Temps de montée

 $t_r = 42.8 \text{ ns}$

6.5 Consigne datasheet



TP Convertiseur
DC-DC élévateurV0_

\\Éducation Vaud\ETML_SLO - Supports de cours\SL229_EIND\Labos\TP2 - Alimentation step-up\TP Convertiseur
DC-DC élévateurV0_2.pdf



TP2 Convertiseur
DC-DC élévateur_Dri

\\Éducation Vaud\ETML_SLO - Supports de cours\SL229_EIND\Labos\TP2 - Alimentation step-up\TP2 Convertiseur
DC-DC élévateur_Driver_Snubber_V0_2.pdf