



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE
COMPUTADORES

ELECTRÓNICA DE POTÊNCIA

Conversor CC/CC

Redutor, Ampliador & Redutor-Ampliador

João Bernardo Sequeira de Sá	n.º 68254
Maria Margarida Dias dos Reis	n.º 73099
Rafael Augusto Maleno Charrama Gonçalves	n.º 73786
Nuno Miguel Rodrigues Machado	n.º 74236

Turno de Segunda-feira das 17h00 - 20h00

Lisboa, de Novembro de 2015

Índice

1	Introdução	2
2	Condução do Trabalho	2
2.1	Conversor Redutor	2
2.1.1	Carga R	2
2.1.2	Carga RL	4
2.1.3	Carga RLC	5
2.2	Conversor Ampliador	10
2.3	Converor Redutor-Ampliador	10

1 Introdução

O objetivo deste trabalho é estudar o funcionamento das três principais topologias de conversores CC/CC, sendo estas o conversor redutor, conversor amplificador e redutor-amplificador.

Este tipo de conversores pode ser visto como o equivalente em corrente contínua de um transformador cuja relação de transformação é variável. Quer isto dizer que através de um conversor CC/CC é possível converter uma certa fonte de tensão contínua com valor fixo para uma fonte de tensão com valor variável, fazendo-se uma elevação ou redução do valor. [2]

Sendo assim pode considerar-se que este trabalho está dividido em três partes sendo que em cada uma destas se estuda o funcionamento de uma topologia diferente.

A primeira topologia a considerar é o conversor redutor. O objetivo neste caso é obter-se à saída uma tensão inferior à de entrada, sendo que se pode controlar esta diferença através do fator de ciclo.

De seguida estuda-se o conversor amplificador, onde o objetivo é o contrário da anterior topologia, querendo-se obter à saída uma tensão superior à de entrada. Novamente esta relação pode ser controlada através do fator de ciclo.

Por fim tem-se o conversor redutor-amplificador, onde é possível obter na saída um valor inferior ou superior da tensão de entrada. Novamente o parâmetro de controlo aqui é o fator de ciclo, onde abaixo de um certo valor se obtém uma redução da tensão e acima uma ampliação desta. Em condições de operação semelhantes este conversor não consegue obter uma redução de tensão tão grande quanto o conversor redutor e o mesmo pode ser dito entre a ampliação e o conversor amplificador.

2 Condução do Trabalho

2.1 Conversor Redutor

2.1.1 Carga R

No estudo do conversor redutor começa-se por considerar uma carga resistiva pura, sendo o circuito considerado apresentado na Figura 1

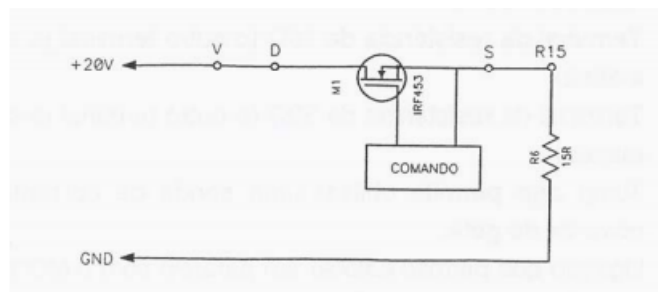


Figura 1: Esquema do Conversor Redutor com Carga Resistiva.

Após feitas as ligações necessárias, regula-se o Gerador de Funções para que se obtenha o sinal quadrado com as características desejadas e alimenta-se o circuito de *Drive* e potência tal

como indicado no guião.

2.1.1.1 Formas de onda da tensão V_{GA} e corrente de *Gate* para 50 kHz

As forma de onda para a tensão V_{GA} e corrente de *Gate* podem ser observadas na Figura 2.

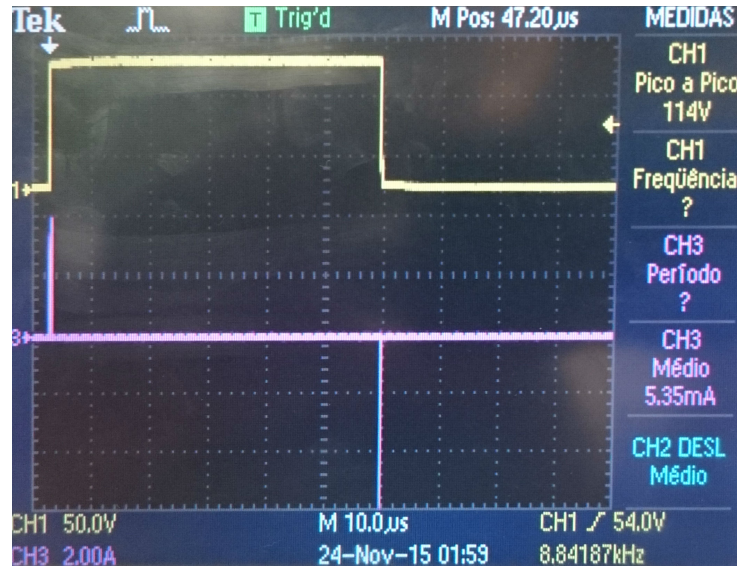


Figura 2: Formas de onda da tensão V_{GA} e corrente de *Gate* para Carga Resistiva do conversor Redutor.

Para observar melhor a passagem à condução do transistor MOSFET e o consequente pico de corrente, reduziu-se a escala de tempo sendo o obtido apresentado na Figura 3.

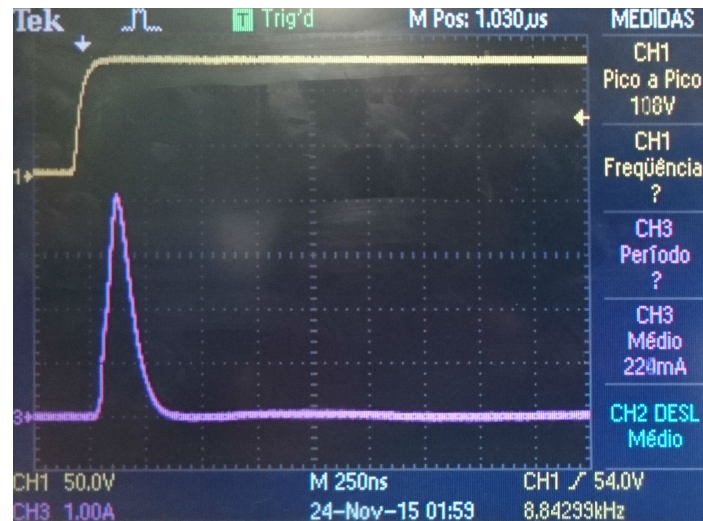


Figura 3: Formas de onda da tensão V_{GA} e corrente de *Gate* para Carga Resistiva do conversor Redutor.

Em ambas as imagens tem-se a amarelo a tensão V_{GA} e a rosa a corrente de *Gate*.

2.1.1.2 Formas de onda da tensão e corrente na carga

De seguida observaram-se as formas de tensão e corrente na carga, estando o obtido presente na Figura 4.

A tensão está apresentada a amarelo e a rosa tem-se a corrente.

A partir da Figura 4 e Figura 2 pode compreender-se bem o funcionamento deste conversor.

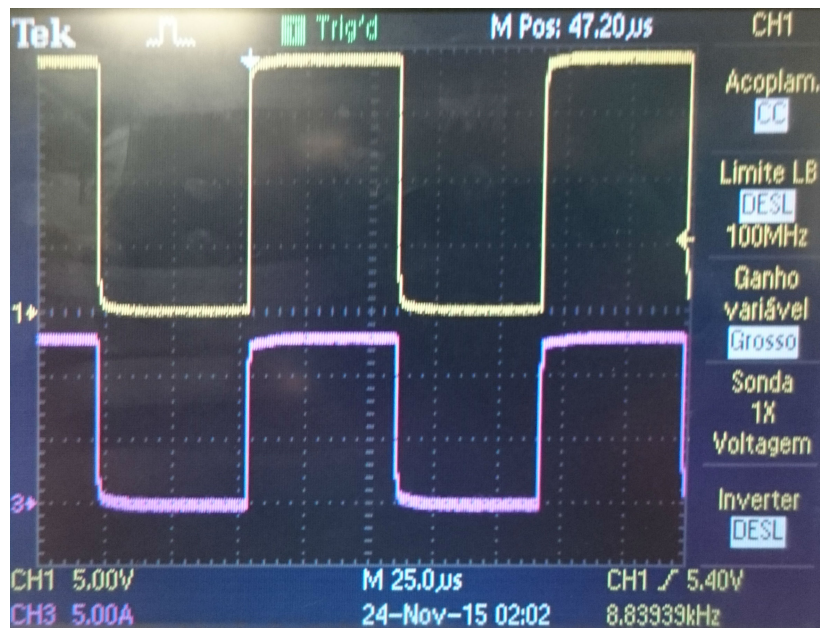


Figura 4: Formas de onda da tensão e corrente na saída para Carga Resistiva do conversor Redutor.

Nota-se que a tensão de saída tem um valor inferior ao de entrada, tendo sido lido 114 V para a entrada e aproximadamente 20 V na carga, estando o conversor a reduzir efetivamente a tensão, tal como desejado. Estando-se a trabalhar com uma carga puramente resistiva, não existe qualquer desfasagem entre tensão e corrente na carga, sendo que esta apenas existe quando o transistor MOSFET está à condução.

Observa-se que a tensão na carga não é, no entanto, uma forma quadrada perfeita tal como seria desejado. Isto é provocado por se estar a trabalhar a uma frequência de 50 kHz, demasiado elevada para que o MOSFET não apresente qualquer atraso.

As principais fontes para este erro são as componentes incrementais que representam a não idealidade deste componente, pelo que a frequência de operação será limitada.

2.1.2 Carga RL

De seguida coloca-se uma bobine em série com a resistência na saída para que se possa estudar o comportamento do circuito a uma carga RL.

O esquema equivalente para este funcionamento está na Figura 5

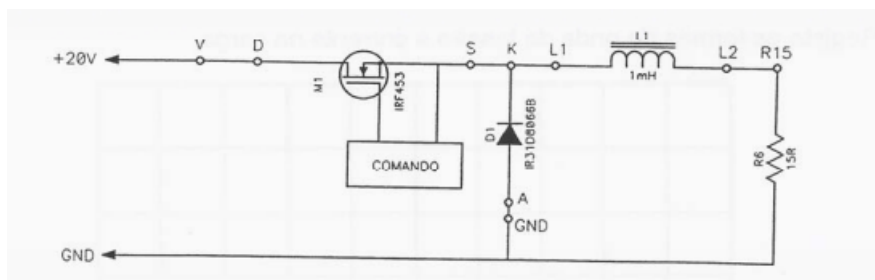


Figura 5: Esquema do Conversor Redutor com Carga RL.

2.1.2.1 Formas de onda da tensão no Díodo D_1 e corrente na carga para 10 kHz

Após feitas as alterações ao circuito e reduzida a frequência de trabalho para 10 kHz foram observadas as formas de onda da tensão no díodo D_1 e corrente na carga, sendo o obtido presente na Figura 6.

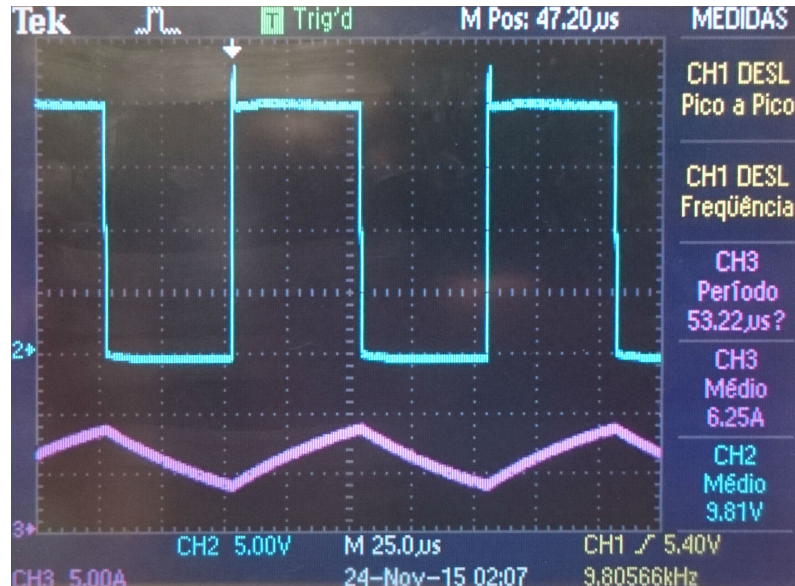


Figura 6: Formas de onda da tensão aos terminais de D_1 e corrente na saída para Carga RL do conversor redutor.

Pode ver-se a azul a tensão aos terminais do díodo e a rosa a corrente na carga.

Através da Figura 6 fica evidenciado o comportamento do circuito. Nota-se que quando o transistor MOSFET está ao corte, o díodo estará consequentemente à condução, pelo que a bobine irá carregar. No instante em que o MOSFET passa à condução, o díodo D_1 estará ao corte e a bobine irá descarregar.

Este processo de carga e descarga da bobine produz um *ripple* na corrente de saída que está diretamente ligado com a frequência de comutação e o tamanho da bobine; naturalmente é de interesse que este *ripple* seja tão reduzido quanto possível, o que implica jogar com as duas restrições já mencionadas.

2.1.2.2 Frequência limiar do regime lacunar

O regime lacunar observa-se quando se tem uma frequência de comutação tal, que a bobina descarrega até que a corrente caia até zero.

Embora não se tenha tirado este valor no laboratório e a figura correspondente, ao fazer a simulação do circuito em estudo observou-se que a frequência limite para o regime lacunar seria próxima de 4 kHz.

mencionar
qual a figura
da simulação

2.1.3 Carga RLC

Para finalizar o estudo do conversor redutor, estudou-se o seu comportamento para uma carga RLC, colocando-se em paralelo com a resistência e bobina o condensador C_6 .

2.1.3.1 Formas de onda da tensão V_{DS} e corrente I_D para 20 kHz

O pretendido era observar as formas de onda da tensão V_{DS} e corrente I_D . No entanto durante o laboratório o lido foi tal como se apresenta na Figura 7.

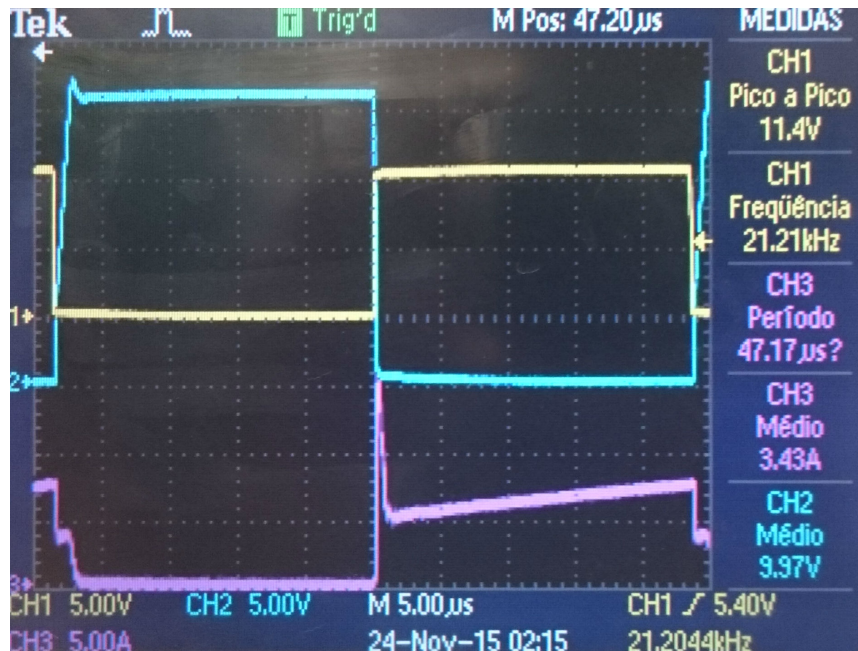


Figura 7: Formas de onda da tensão V_{DS} e corrente I_D .

Aqui observa-se a azul a tensão na carga, a amarelo a tensão V_{DS} e a rosa a corrente de dreno I_D .

Tendo em conta que o Díodo apenas está a conduzir quando o MOSFET está ao corte, nota-se que a tensão na saída é zero quando o transistor está ON e o contrário quando OFF; tal como se observa para os sinais a amarelo e azul na Figura 7.

A rosa tem-se, tal como já foi dito, a corrente I_D , sendo esta a mesma que irá carregar a bobine enquanto o MOSFET está a conduzir e o díodo ao corte.

2.1.3.2 Formas de onda da tensão e corrente no Díodo D_1

Infelizmente não se obteve as formas de onda pretendidas nesta secção no entanto conhecendo o comportamento do conversor elas são conhecidas.

A tensão aos terminais do díodo é tal como se observa a azul na Figura 7, fora alguma possível queda de tensão na bobine, e a corrente neste é a complementar do que se observa a rosa na mesma figura.

Esta corrente irá apresentar o mesmo valor médio que I_D , no entanto como apenas irá haver corrente a percorrer no díodo quando o transistor MOSFET está ao corte, os períodos em que esta será diferente de zero serão os mesmos em que a corrente de dreno é zero. Observa-se ainda que enquanto que I_D corresponde ao carregamento da bobine, a corrente que atravessa o díodo corresponde à descarga, pelo que o seu declive será negativo.

2.1.3.3 Formas de onda da tensão na carga e corrente na bobine

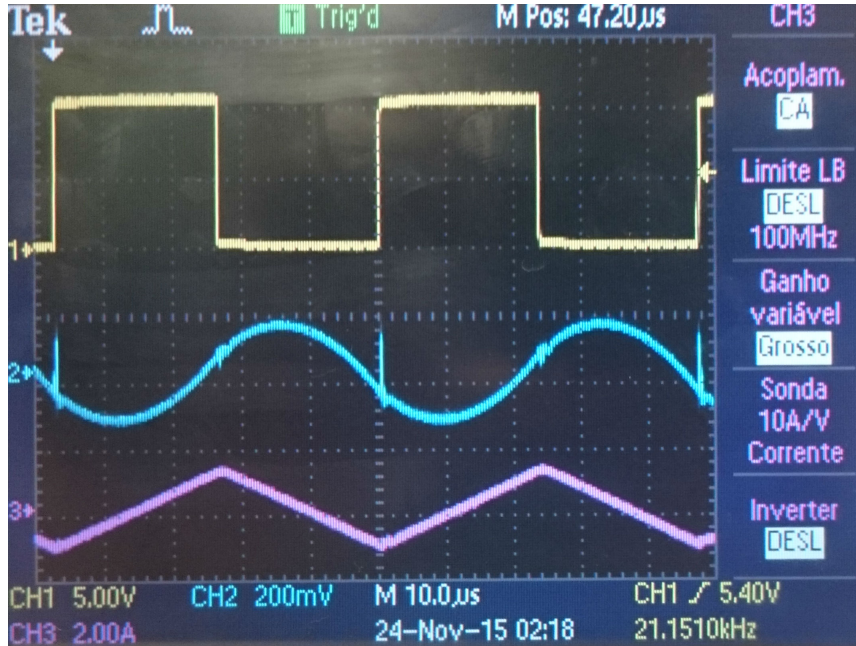


Figura 8: Formas de onda da tensão e corrente na bobine.

caption

Observa-se a amarelo a tensão V_{DS} e a tensão e corrente aos terminais da bobine a azul e rosa respetivamente.

A partir desta figura pode compreender-se bem o comportamento do conversor redutor sujeito a uma carga RLC. Tem-se que durante o período em que o MOSFET está em condução, o díodo estará ao corte e a bobine carrega; observável pelo declive crescente da corrente na saída.

Quando o MOSFET passa ao corte, o díodo passa à condução pelo que a bobine começa a descarregar; sendo que se tem corrente com declive negativo. Como o observado a rosa é a corrente na bobina, tem-se um valor médio desta igual a zero, tal como esperado quando se está a lidar com este componente, e nota-se também que o valor médio da tensão aos seus terminais é igualmente zero.

2.1.3.4 Tensão na carga em função do fator de ciclo

O fator de ciclo relaciona a tensão de entrada com a de saída e a sua expressão para o conversor redutor é conhecida e tal como se apresenta na Equação 2.1.

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (2.1)$$

Sendo assim, fazendo variar o fator de ciclo, e conhecendo o valor da tensão de entrada, que é imposto como igual a 20 V, pode então obter-se o valor teórico para a tensão de saída através da Equação 2.2.

$$V_o = \frac{D}{V_i} \quad (2.2)$$

Sendo assim pode fazer-se uma comparação entre os valores esperados teoricamente e os lidos no laboratório, estando esta comparação presente na Tabela 1

Tabela 1: Comparação entre valores teóricos e experimentais da tensão de saída em função do fator de ciclo.

Fator de ciclo, D	Vo teórico [V]	Vo experimental [V]
0,150	3,000	2,580
0,300	6,000	5,250
0,500	10,000	9,350
0,700	14,000	13,200
0,850	17,000	16,200

Para que seja possível observar esta relação de forma mais expedita, apresenta-se também um gráfico para a mesma, visível na Figura 9

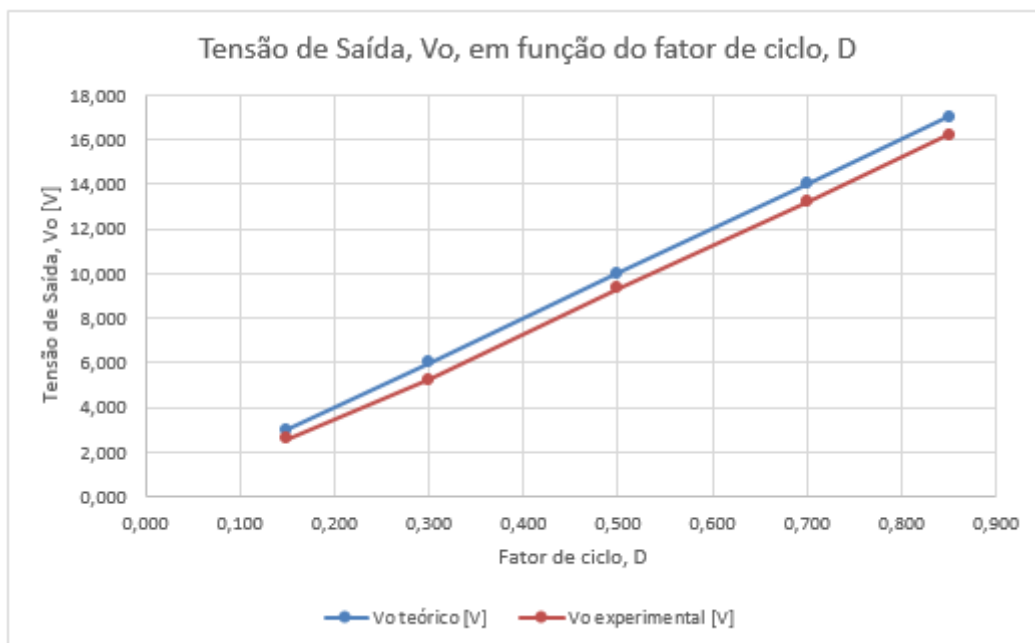


Figura 9: Gráfico de comparação entre valores teóricos e experimentais da tensão de saída em função do fator de ciclo.

Observa-se assim que através do fator de ciclo é possível controlar o grau de atenuação da tensão de saída face à de entrada, estando o conversor a funcionar tal como desejado, ou seja, um "transformador" redutor de tensão DC.

Nota-se no entanto uma ligeira diferença entre o valor teórico e o experimental, que se deve essencialmente a possíveis perdas e não idealidades dos componentes semicondutores, que não estão consideradas na aplicação da Equação 2.1.

2.1.3.5 Efeito de um *Snubber* entre o Dreno e *Source* do MOSFET para 50 kHz

De seguida aumentou-se a frequência para que fosse possível evidenciar o efeito do *Snubber* entre o dreno e *Source* do MOSFET. As formas de onda obtidas podem ser vistas na Figura 10.

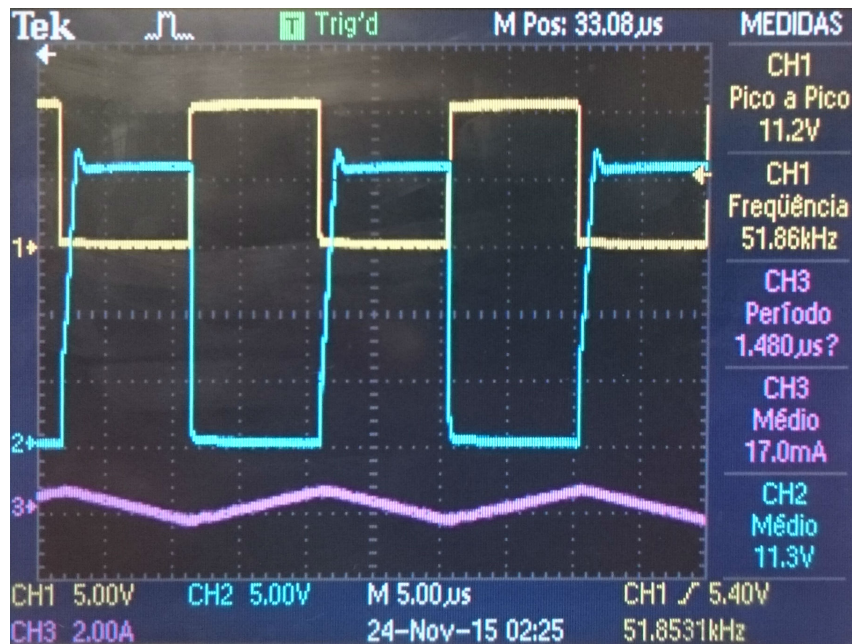


Figura 10: Efeito de um *snubber* nas formas de onda tensão de saída e corrente na bobine.

Nesta pode ver-se a amarelo a tensão aos terminais do MOSFET, a azul a tensão na carga e a rosa a corrente na bobine.

Com a presença do *snubber* pretende-se um efeito idêntico ao de um filtro passa baixo, para que seja possível eliminar os picos de alta frequência na tensão. Nota-se no entanto por observação da figura que o efeito é marginal, pelo que a frequência de corte do *snubber* deverá ser superior à de operação considerada.

2.1.3.6 Forma de onda da tensão V_{AK} do Díodo D_1 para 200 kHz

Na sequência da subsecção anterior aumentou-se a frequência de operação para 200 kHz sendo as formas de onda obtidas apresentadas na Figura 11.

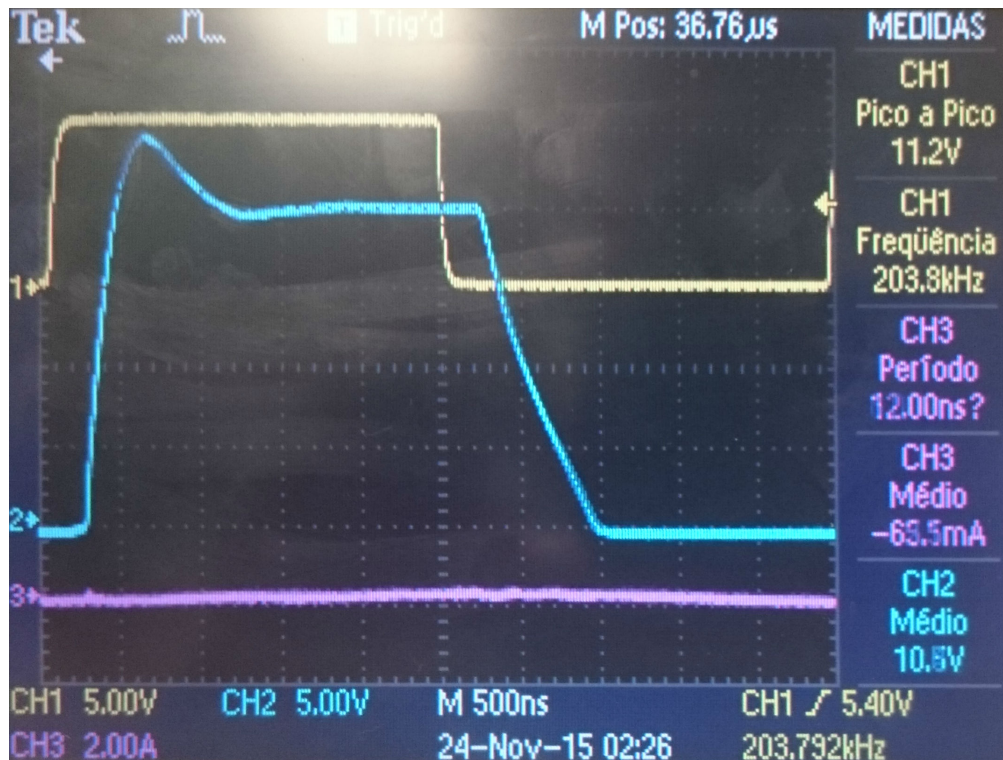


Figura 11: Formas de onda da tensão V_{AK} do Díodo D_1 para 200 kHz.

Novamente a amarelo tem-se a tensão aos terminais do MOSFET, a azul a tensão aos terminais do diodo e a rosa a corrente na bobine.

Pode ver-se agora que a frequência do pico da tensão no diodo será bastante inferior pelo que esta frequência de operação estará próxima da de corte do *snubber*, pelo que o seu efeito já é apreciável nesta situação.

2.2 Conversor Ampliador

2.2.0.7 Formas de onda da tensão V_{DS} e da corrente I_D para 40 kHz

2.2.0.8 Formas de onda na Resistência e corrente em D_1

2.2.0.9 Tensão na carga em função do fator de ciclo

2.3 Converter Redutor-Amplificador

2.3.0.10 Formas de onda da tensão e corrente aos terminais da bobina para 40 kHz

2.3.0.11 Formas de onda da tensão na Resistência e corrente D_1

2.3.0.12 Tensão na carga em função do fator de ciclo

2.3.0.13 Rendimento do conversor para um fator de ciclo de 60 %

Referências

- [1] Kassakian, John G. et al (1992, June), Principles of Power Electronics, *Addison-Wesley Publishing Company*
- [2] Rashid, Muahammad H. (2004), Power Electronics - Circuits, Devices and Applications, *Prentice Hall*
- [3] Silva, Fernando (1998), Eletrônica Industrial, Fundação Calouste Gulbenkian