

# Universidade Federal de Pelotas

## Curso de Engenharia Eletrônica

### Tarefa 2 de laboratório de eletrônica IV

### Protótipo um circuito eletrônico de conversor CC-CC Boost

Felipe de Leon  
e-mail: felipe.deleon@yahoo.com.br

**Resumo—Tarefa 2:** (Individual) Prototipar um circuito eletrônico de conversor CC-CC, escolhido com prévia aprovação do professor, em placa de circuito impresso. Realizando cálculos, leiaute, corrosão, brasagem e teste. Apresentar o funcionamento e entregar um relatório sucinto contendo diagrama esquemático e princípio de funcionamento. Circuito escolhido conversor CC-CC Boost 24V para 311V 100W.

#### I. FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO

Na Fig. 1 diagrama do PWM 555 que esta configurado como gerador de onda dente de serra sua saída neste modo é o pino 2 temos uma onda dente de serra com uma frequência ajustável, o transistor Q1 é usado para controlar de forma linear a carga do capacitor C5 assim o sinal sobre o capacitor é uma rampa, os resistores R15 e R16 são de polarização do transistor e o resistor R8 determina o quanto rápido o capacitor vai descarregar quanto menor a resistência mais rápido ele descarregue esta descarga tem de ser o mais rápido possível para gerar a rampa perfeita ou seja quanto menor esta resistência melhor porem temos de limitar a corrente pra não danificar o 555, o resistor R14 e TRIM\_POT1 determina o quanto rápido o capacitor vai carregar, ou seja ajustando o trimpot ajustamos a frequência de operação, quando a tensão da rampa atinge o valor de entorno 80% da alimentação do 555 ocorre a descarga. A seguinte formula permite calcular a frequência de operação.

$$f = (V_{cc} - 2,7V) / (R \times C_5 \times V_{Pico\ Onda\ dente\ de\ serra}) \quad (1)$$

Sendo “R” a soma da resistência do resistor R14 e do TRIM\_POT1;

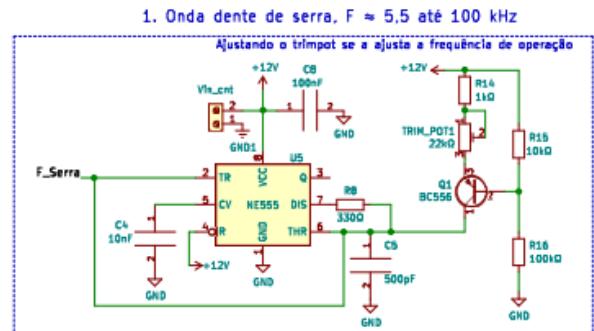


Figura 1: Diagrama circuito gerador onda dente de serra

Na Fig. 2 temos o comparador usando um OP-AMP LF357 que recebe o sinal do bloco 1 a onda dente de serra e uma tensão de controle da saída do potenciômetro o resistor em serie com o potenciômetro esta ali para limitar a tensão máxima e mínima da saída do potenciômetro assim possibilitando a utilização máxima do ajuste do potenciômetro em relação a tensão de pico da onda dente de serra, na saída deste bloco temos o sinal PWM com Duty mínimo de 10% e máximo de aproximadamente 75%.

## 2. Comparador – Amplificação – PWM – duty 0 até $\approx$ 75%

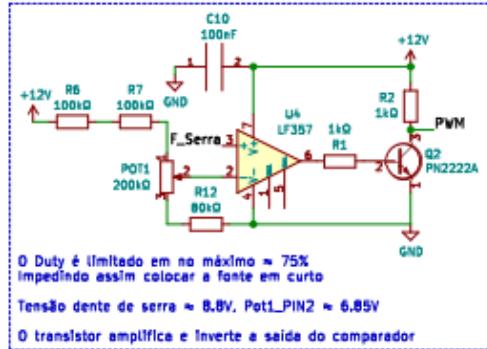


Figura 2: Diagrama Comparador gerador sinal PWM

Na Fig. 3 diagrama da isolação, proteção e acionamento MOSFET, a isolação foi utilizado um opto-acoplador, como o sinal da saída do opto-acoplador é baixo é necessário amplificar o sinal, os dois transistores PN222A formão um circuito amplificador não inversor, e o par de transistores PNP e NPM formão o circuito de acionamento do MOSFET um circuito totem-pole Driver não inversor, durante o ciclo positivo do PWM o transistor NPM Q1 é acionado permitindo um caminho da tensão de alimentação ao gate do MOSFET fazendo o seu acionamento, durante o ciclo negativo do PWM o transistor PNP Q2 é acionado permite um caminho de descarga do gate.

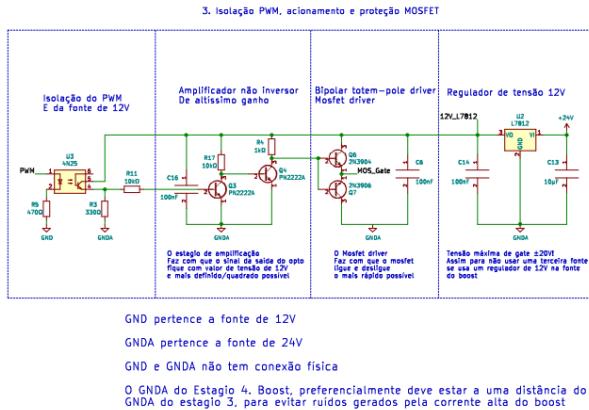


Figura 3: Diagrama Isolação, proteção e acionamento MOS-FET

**Obs\_1:** Neste circuito foi necessário utilizar dois transistores PN222A para obter um amplificador não inversor, pode-se questionar aqui porque dois e não inverter o sinal de saída do opto-acoplador, ou seja, por exemplo ao invés de dois transistores no estágio de amplificação quiséssemos usar somente um e inverter a posição do resistor R3 que esta no GND para o +12V, e assim pegar a saída do opto-acoplador sobre o coletor, encontrariamos um problema prático, pois devido a queda de tensão do diodo do opto-acoplador ser muito grande o sinal de saída fica com um valor mínimo muito

alto o que poderia afetar o funcionamento ao tentar desligar o MOSFET.

**Obs\_2.:** Como o gate do transistor suporta no máximo 18V, foi utilizado aqui o regulador de tensão L7812 para limitar a tensão do bloco 3 em 12V, poderia aqui ter se utilizado um outro circuito para limitar, como um diodo Zener ou um divisor de tensão usando capacitores, porem eu não tinha diodos zener disponível e como o circuito de um divisor de tensão com capacitor para ficar perfeito teria de ter um OP-Amp preferi usar o L7812 que eu tinha disponível, porem se tivesse de comprar componentes o custo do diodo zener seria o menor em relação ao que foi utilizado.

Na Fig. 4 diagrama do Boost, o circuito do Boost é um circuito de Boost clássico, sobre o capacitor C2 e o transistor foi colocado uma cascata de diodos e capacitores, esta cascata funciona como um multiplicador de tensão cada nível da cascata multiplica a tensão por aproximadamente  $\sqrt{2}$ , como temos dois níveis a tensão máxima sobre o capacitor C2 e transistor Q5 para que tenhamos 311V na saída é aproximadamente 155V. Isto permite usar no circuito capacitores, transistor e diodos que suporte no máximo 200V.

O indutor foi calculado para operar sempre em DCM a formula abaixo permite calcular o valor da indutância critica.

$$L_c = (((1 - D)^2) \times D \times R) / (2 \times f) \quad (2)$$

Sendo “R” a resistência da carga, e o Duty  $D_{CCM} = 1 - \frac{E}{V_O}$  ou  $D_{DCM} = \frac{V_O}{E} \sqrt{\frac{2L}{TR}}$ , “E” tensão de entrada e “ $V_O$ ” a tensão sobre o capacitor C2.

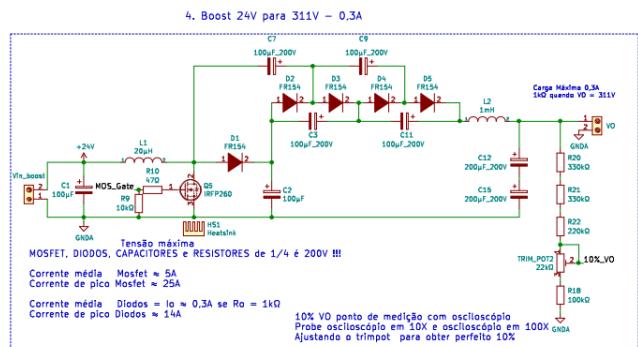


Figura 4: Diagrama Boost

O valor critico de indutância é de aproximadamente  $101\mu H$ , utilizando um indutor de  $20\mu H$  operamos em DCM e com uma carga de  $1k\Omega$  precisamos de um duty de 41% para que na saída tenhamos uma tensão de 311V.

Na saída do Bost foi adicionado um filtro LC passa baixa, para filtrar o ripple da tensão de saída, a frequência de corte do filtro ficou com valor aproximado de 500Hz (10% do menor valor de frequência de operação do Boost) e pode ser calculado usando a seguinte formula.

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

## II. FORMAS DE ONDA OBTIDAS

Na Fig. 5 temos os sinais PWM gerados, em amarelo o sinal do PWM gerado na saída do comparador, em vermelho o sinal visto pelo gate do MOSFET, como podemos ver os sinais são ondas quadradas a frequência é de 46,37kHz, o ajuste do Duty temos um valor mínimo de 18,8% e máximo de 75%, temos uma pequena diferença no Duty antes e depois do opto-acoplador, no lado do gate é um pouco maior isto se da devido amplificação do sinal que introduz um atraso e aumenta um pouco a duração do ciclo alto da onda.



Figura 5: Duty, sinal amarelo PWM, vermelho entrada do Gate

Na Fig. 6, temos a saída do Boost quando ajustado pra um valor médio de tensão de 311V, a tensão de pico a pico de 3,94V registrada pelo osciloscópio, ou seja a tensão de saída tem um ripple de aproximadamente 1,26%, observação parte da tensão de ripple medida pelo osciloscópio é ruído assim o valor de ripple na saída ficou um pouco melhor que isso.



Figura 6: Tensão de saída do Boost

Nas Fig. 7 e 8 temos respectivamente a frequência mínima e máxima possíveis de gerar pelo circuito PWM, ate 50kHz as ondas geradas são bem próximas da possível forma de onda ideal, em 120kHz o caso mais extremo vemos que a onda triangular tem uma leve inclinação apos o pico quando tende a zero, e a onda quadrada demostra um leve arredondamento nos cantos.

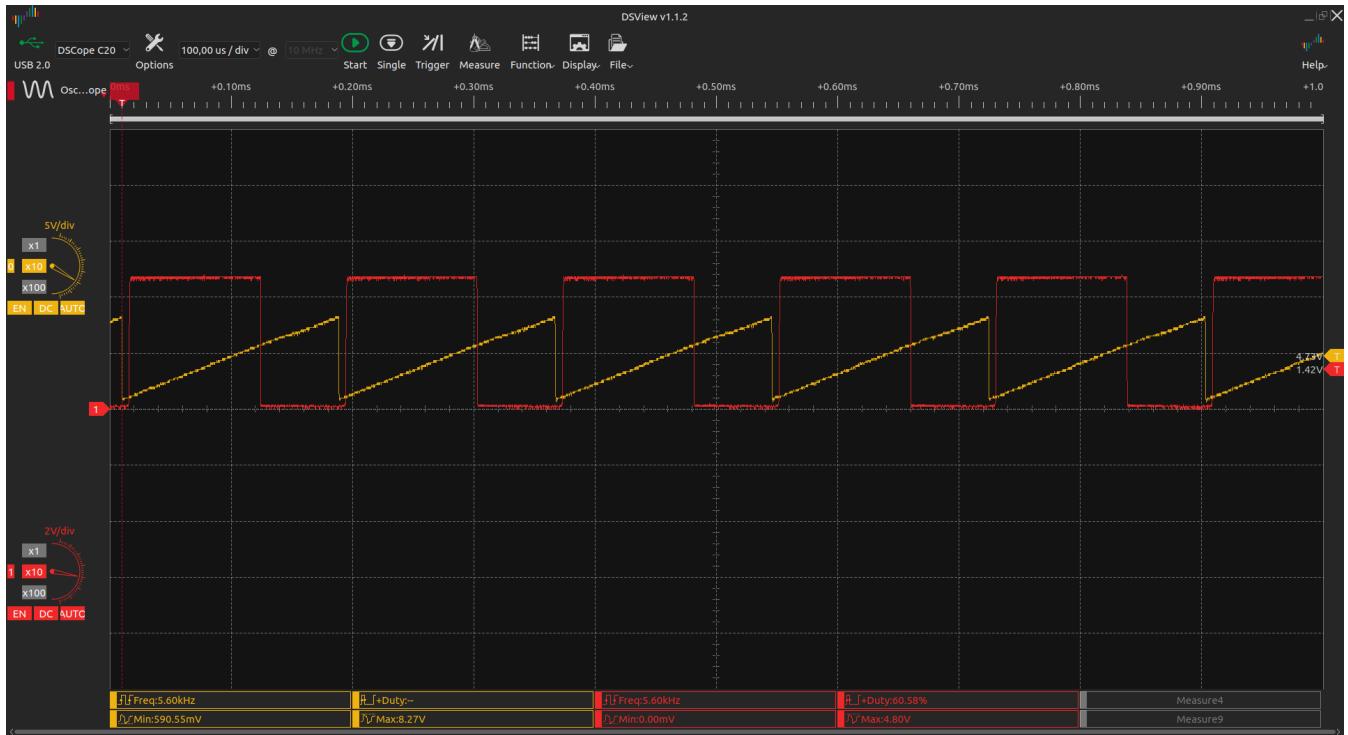


Figura 7: Frequência mínima possível 5,6kHz



Figura 8: Frequência máxima possível 120,17kHz

### III. IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA

Fig. 9 mostra o layout do PCB usado e a Fig. 10 o protótipo desenvolvido.

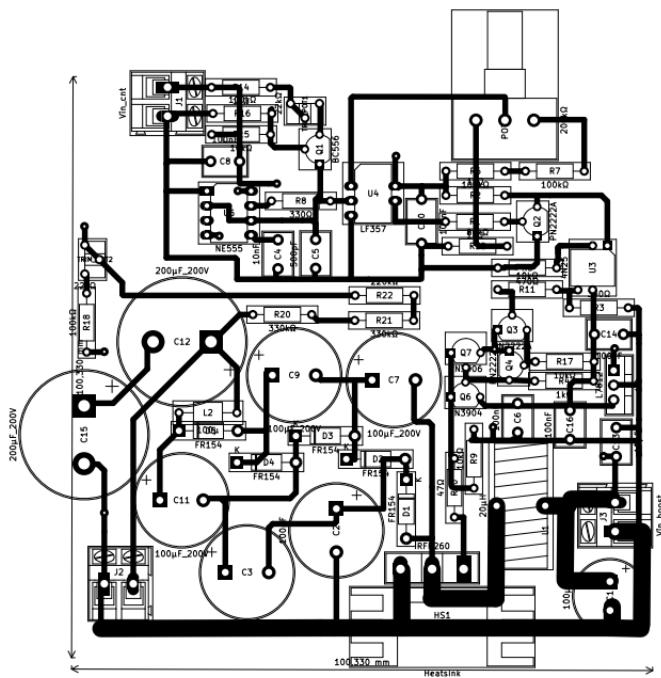


Figura 9: PCB lado cobre, tamanho 10 X 10 cm



Figura 10: Imagem final do protótipo

### IV. CONSIDERAÇÕES

O circuito apresentou funcionamento esperado, devido a um valor de ripple baixo quando demonstrado em laboratório tivemos dificuldade para acreditar que o funcionamento esta ocorrendo como esperado, mas estava, devido a característica de circuitos Boost terem um ripple notável em conjunto da cascata de multiplicação de tensão deveríamos ter um ripple ainda mais notável pois a cascata também eleva o ripple, porem o filtro colocado na saída demonstrou o seu propósito filtrando grande parte deste ripple, deixando o sinal de saída quase perfeitamente constante, o valor do ripple é aproximadamente menor que 1% ficou bem abaixo do 5% propostos, demonstrando que com simples componentes podemos fazer ajustes e obter o resultado esperado.

Na Fig. 11 (Próxima pagina) a apresentação no laboratório, foi utilizada uma carga de  $300\Omega$  assim a tensão de entrada do Boost foi ajustada para 11,1V e o duty para termos na saída uma tensão de 90V simulando assim a uma carga de 300mA (valor de carga proposto para este Boost), Na Fig. 12 (Próxima pagina) no osciloscópio em azul o duty na entrada do gate, em amarelo a tensão sobre o dreno do transistor Q5 (transistor Boost), logo apesar do sinal do duty tender a zero a tensão no indutor é máxima e descarrega levemente, ao mesmo tempo a tensão no capacitor C2 é menor que no indutor, assim o indutor esta descarregando nos capacitores, quando a diferença de tensão entre o capacitor C2 e o indutor é maior que a queda do diodo D1 este para de conduzir e temos a queda brusca de tensão sobre o indutor pois este agora apresenta somente a tensão da fonte, para entender melhor este processo foi utilizado simulação.

Concluo assim tendo demonstrado o que foi requisitado na nota ao projeto, não foi encontrada dificuldades neste, foi apenas aplicação do conhecimento adquirido nas cadeiras de Laboratório de eletrônica e Eletrônica de potencia em conjunto do auxilio do professor nas dúvidas do projeto.

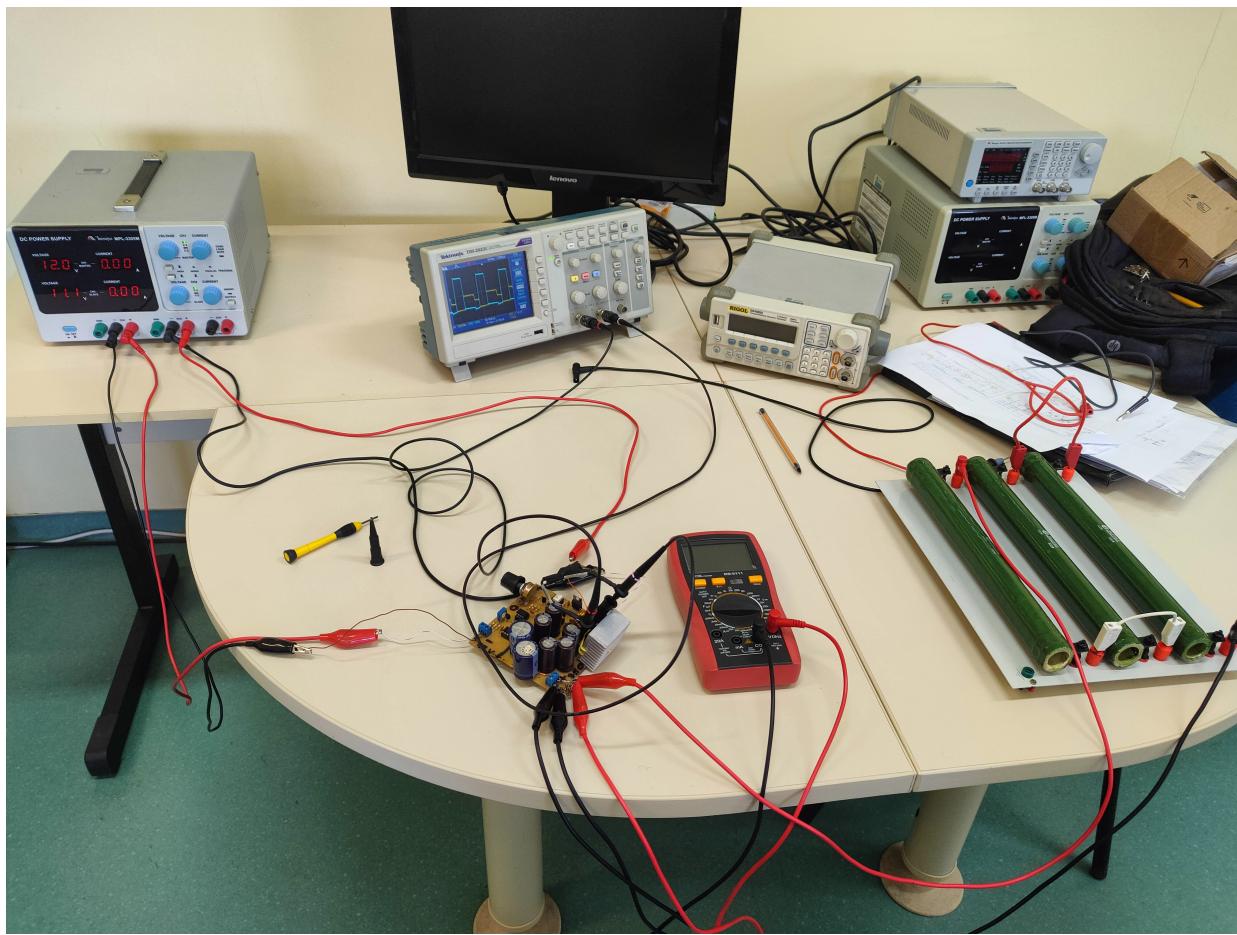


Figura 11: Imagem aprestação do protótipo em laboratório

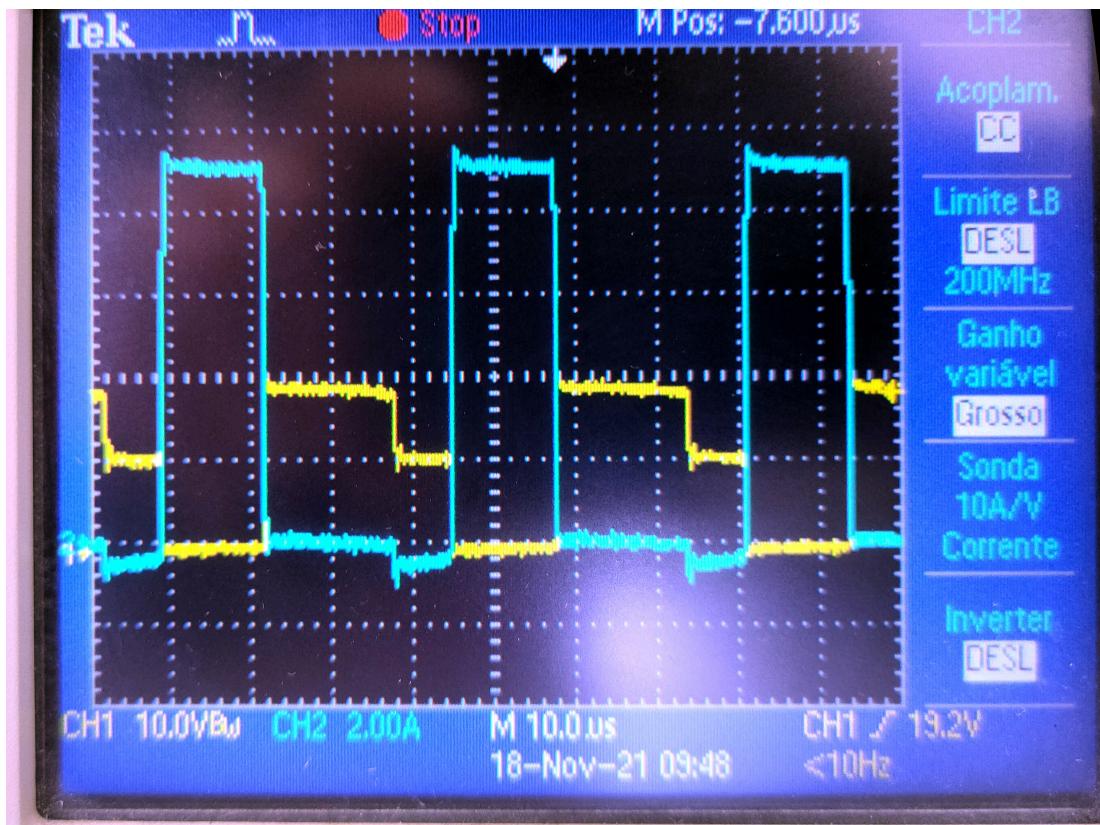


Figura 12: Osciloscópio imagem anterior