

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

DANIEL KOSLOPP
TALITA TOBIAS CARNEIRO

BOOST MCC – EXPERIMENTAL

PONTA GROSSA
2014

DANIEL KOSLOPP
TALITA TOBIAS CARNEIRO

BOOST MCC – EXPERIMENTAL

Trabalho apresentado à disciplina de Eletrônica de Potência 2, do Curso Superior de Engenharia Eletrônica do Departamento de Eletrônica – DAELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – como requisito parcial de avaliação do 8º período.

Prof. Dr. Carlos Henrique Illa Font

PONTA GROSSA
2014

1. INTRODUÇÃO

O circuito de um conversor *Boost MCC* foi projetado, simulado e montado com as seguintes especificações do projeto:

Tensão de Entrada: $E = 24\text{ V}$

Tensão de Saída: $V_o = 48\text{ V}$

Potência de Saída: $P_o := 50\text{ W}$

Frequência de Comutação: $f_s := 40\text{ kHz}$

Ondulação de Corrente no Indutor: $\Delta I\% = 10\%$

Ondulação da Tensão no Capacitor: $\Delta V\% = 1\%$

Consequentemente a razão cíclica para este circuito *Boost MCC* é: $D = 0,5$.

A figura 1 mostra o circuito implementado no OrCad.

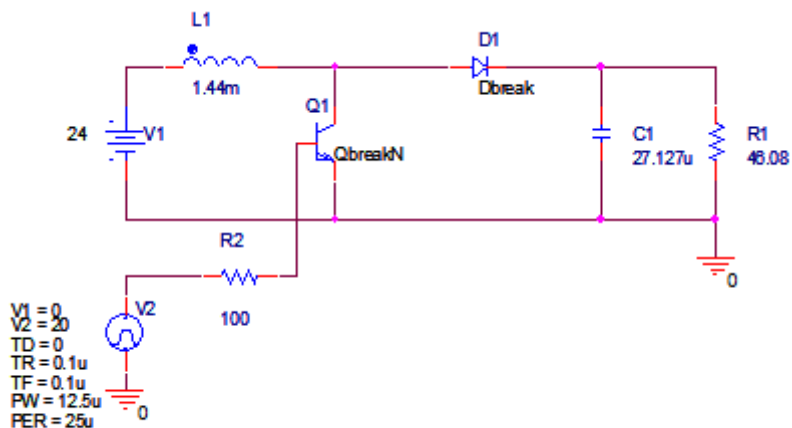


Figura 1. Circuito Boost MCC simulado.

2. ESPECIFICACOES DE PROJETO E COMPONENTES

A tabela 1 apresenta os valores de tensão e correntes calculados dos componentes a serem utilizados na construção do conversor. Estes valores foram também comprovados por simulação e utilizados como requisito mínimo na seleção dos componentes.

Tabela 1. Valores de tensão e correntes calculados e simulados do conversor *Boost* MCC.

Variáveis	Valores calculados	Valores simulados
V_o (V)	48	47,64
I_o (A)	1,042	1,034
V_{Cmax} (V)	48,24	47,95
I_{Emed}, I_{Lmed} (A)	2,083	2,12
I_{Eef}, I_{Lef} (A)	2,083	2,12
I_{Lmax} (A)	2,188	2,2
V_{Smax} (V)	48	49,6
I_{Smax} (A)	2,188	2,2
I_{Smed} (A)	1,042	1,074
V_{Dmax} (V)	48	49,6
I_{Dmax} (A)	2,188	2,2
I_{Dmed} (A)	1,042	1,045

1.1 Projeto Físico do Indutor:

Uma importante etapa do desenvolvimento de um conversor CC-CC é o projeto do indutor. O valor de projeto para condução contínua neste caso é um indutor de 1,44 mH que suporte os valores de corrente e tensão da tabela 1.

A seguir é apresentado os cálculos para o projeto físico do indutor.

Máxima Indução:

$$B_{max} := 0.3T$$

Máxima Densidade de Corrente:

$$J_{max} := 450 \frac{A}{cm^2}$$

Fator de Ocupação do Cobre:

$$k_w := 0.7$$

Permeabilidade do Ar:

$$\mu_o := 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$$

Produto de Áreas:

$$A_e A_w := \frac{L \cdot I_{Lmax} \cdot I_{Lef}}{B_{max} \cdot J_{max} \cdot k_w}$$

$$A_e A_w = 0.694 cm^4$$

Adotou-se o núcleo E-30/15/14, com as seguintes características:

$$A_e := 1.22 cm^2$$

$$A_w := 0.85 \text{ cm}^2$$

Número de Espiras:

$$N_e := \text{ceil} \left(\frac{L_i I_{L_{\max}}}{B_{\max} A_e} \right)$$

$$N_e = 87$$

Comprimento do Entreferro:

$$e := \frac{N_e^2 \cdot \mu_o \cdot A_e}{L_i}$$

$$e = 0.081 \text{ cm}$$

Profundidade de Penetração:

$$d_{\max} := \frac{15}{\sqrt{f_s}} \cdot \sqrt{\text{Hz}} \cdot \text{cm}$$

$$d_{\max} = 0.075 \text{ cm}$$

O condutor máximo a ser utilizado é 21 AWG, com a seguinte área:

$$S_{\max} := 0.004105 \text{ cm}^2$$

Área do Fio Condutor:

$$S_{\text{fio}} := \frac{I_{L_{\text{ef}}}}{J_{\max}}$$

$$S_{\text{fio}} = 4.63 \times 10^{-3} \cdot \text{cm}^2$$

Número de Fios em Paralelo:

$$n := \frac{S_{\text{fio}}}{S_{\max}}$$

$$n = 1.128$$

Como a diferença é muito pequena, o fio adotado é 21 AWG com a seguinte área:

$$S_{xx} := 0.004105 \text{ cm}^2$$

Possibilidade de Execução:

$$A_{w_min} := \frac{N_e \cdot S_{xx} \cdot n}{k_w}$$

$$A_{w_min} = 0.575 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{Exec} := \frac{A_{w_min}}{A_w}$$

$$\text{Exec} = 0.677$$

Desta forma, construiu-se a tabela x que apresenta os dados para construção do indutor.

Tabela 2. Características do indutor.

Núcleo	E-30/15/14
Número de Espiras	87 espiras
Entreferro	0.81 mm
Fio Condutor	21 AWG

1.2 SELEÇÃO DOS DEMAIS COMPONENTES

Com base nos valores obtidos na tabela 1 selecionou-se os componentes de potência a serem utilizados. A tabela 3 apresenta estes componentes e suas principais características segundo seus respectivos *datasheets*.

Tabela 3. Componentes selecionados.

Descrição	Componente	Tensão Máxima (V)	Corrente Máxima / Média (A)
Transistor (Q1)	IRF640	200	72 / 18
Diodo (D1)	MUR460	600 (Reversa)	110 / 4
Capacitor (C1)	47 μ F x 100 V	100	-

3. LAYOUT E MONTAGEM DA PLACA

O planejamento do layout da placa de circuito impresso (PCI) tem grande influência no desempenho final do conversor. Este fato se torna mais crítico com o aumento da frequência de chaveamento do circuito, devido a indutâncias parasitas proveniente das trilhas.

Desta maneira, é necessário um projeto que minimize as distâncias entre os componentes e consequentemente o comprimento das trilhas, especialmente a trilha de interface entre o circuito de comando e potência e todas as conexões entre os componentes de potência.

Com estas necessidades em mente, posicionou-se os componentes conforme a figura 2, onde verifica-se uma PCI relativamente compacta e com boa densidade, cuja dimensões são de 7,87 x 4,06 cm.

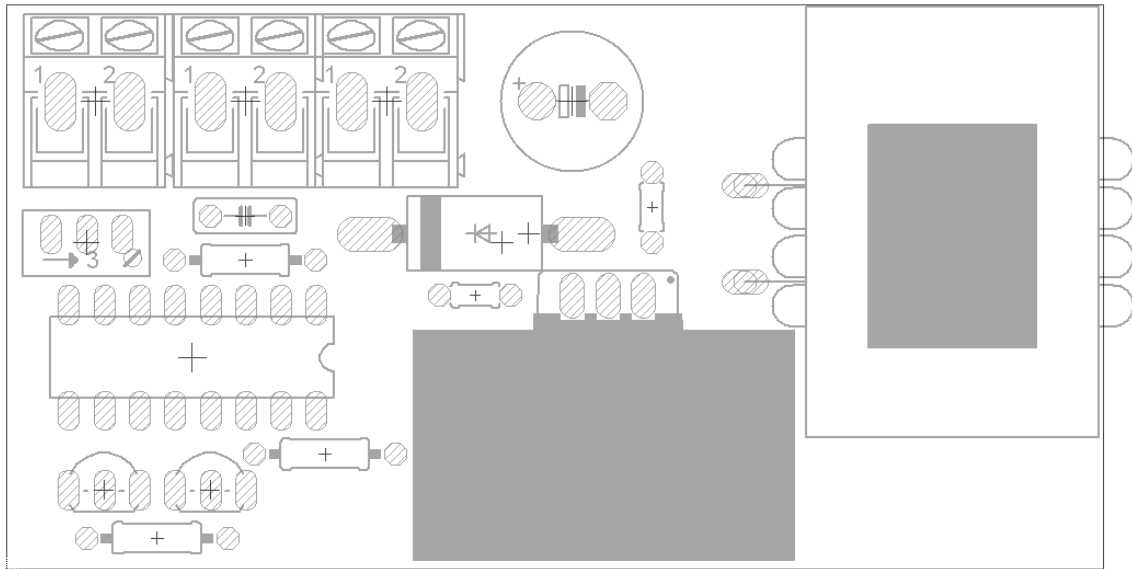


Figura 2. Posicionamento dos componentes na placa de circuito impresso.

A figura 3 apresenta o projeto final da PCI com as conexões realizadas e trilhas devidamente dimensionadas.

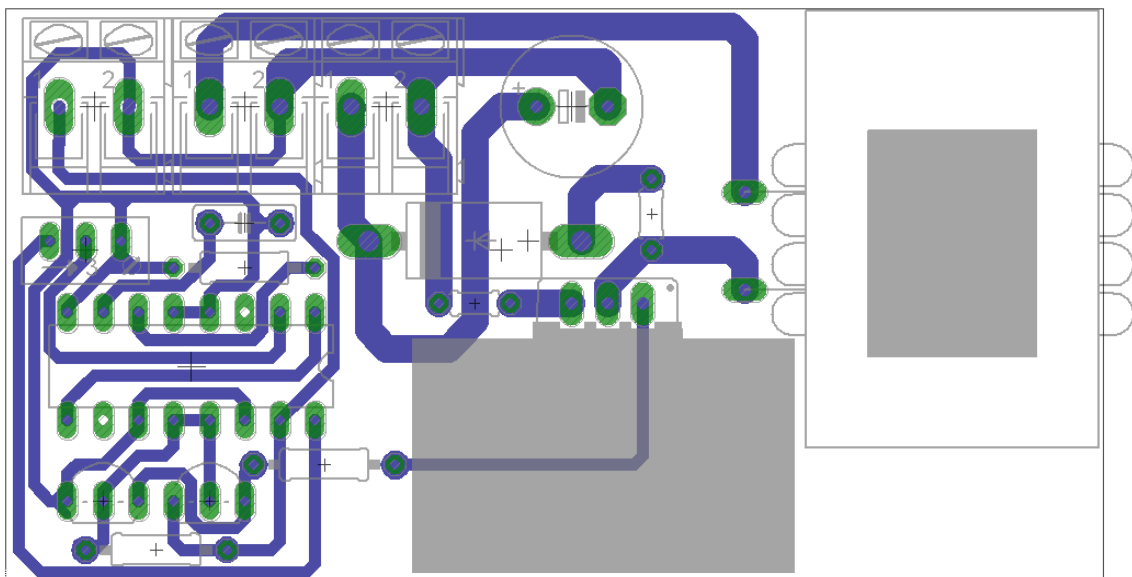


Figura 3. Projeto final da PCI.

Para confecção da PCI utilizou-se o processo térmico, onde primeiramente as trilhas são impressas em papel específico e posteriormente a tinta é transferida termicamente para a face de cobre da PCI. A tinta então protege a trilha durante o processo de corrosão. Depois deste processo fura-se a placa para posicionamento dos componentes e soldagem dos mesmos.

O protótipo pronto é mostrado na figura 4. Neste caso, os jumpers que seriam utilizados para aquisição de dados de corrente foram retirados e o protótipo encontra-se pronto para início da aquisição dos dados experimentais.

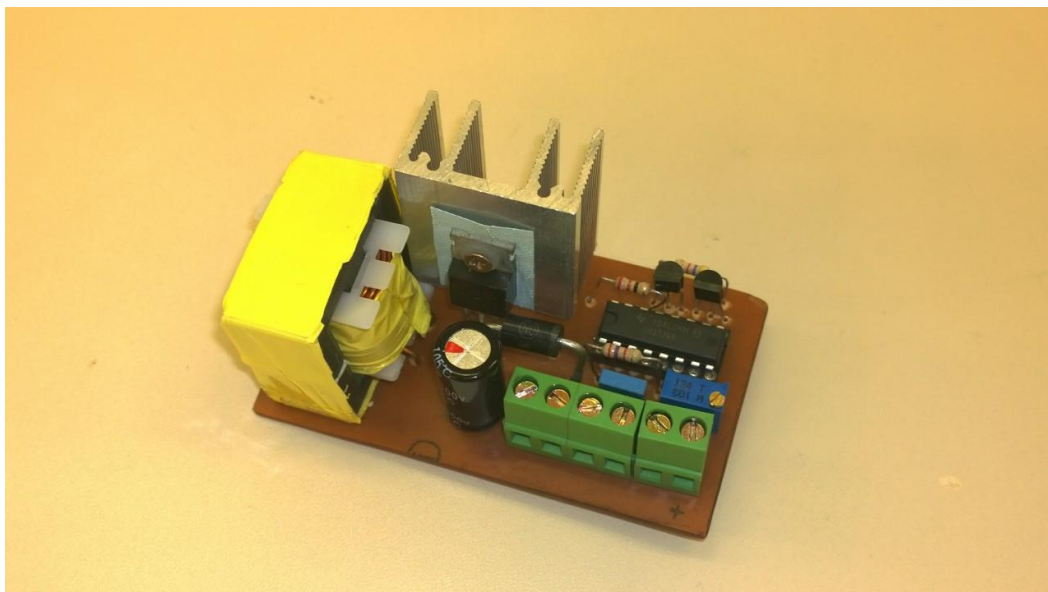


Figura 4. Protótipo utilizado para realização do estudo experimental.

Vários problemas ocorreram durante a etapa de confecção da PCI, primeiramente imprimiu-se o circuito espelhado, de forma que este erro foi notado somente após a conclusão da soldagem. Assim, necessitou-se a confecção de uma nova PCI.

Nesta segunda tentativa, devido a mudanças na impressora, o processo de transferência térmica da tinta para a PCI não ocorreu conforme esperado e a qualidade da placa foi comprometida em diversas tentativas. Para solução deste problema procurou-se uma empresa externa a universidade para impressão do *layout* em papel mais indicado ao processo.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com o protótipo finalizado iniciou-se os testes práticos. Em um primeiro momento alguns problemas foram identificados, como a inversão nos pinos do *package* dos transistores de gatilho utilizado e pequenos curto-circuitos que não foram identificados durante a inspeção visual.

Com todos os problemas corrigidos, ajustou-se o *duty cycle* para um valor um pouco acima de 0,5 de modo a compensar as perdas do conversor.

Dessa forma, obtiveram-se os resultados experimentais, observando-se que a resistência de carga utilizada foi de 50Ω ao invés da especificada no projeto de $46,08\Omega$.

A figura 5 mostra o pulso de comando com um *duty cycle* de 0,53 e com frequência de 42kHz.

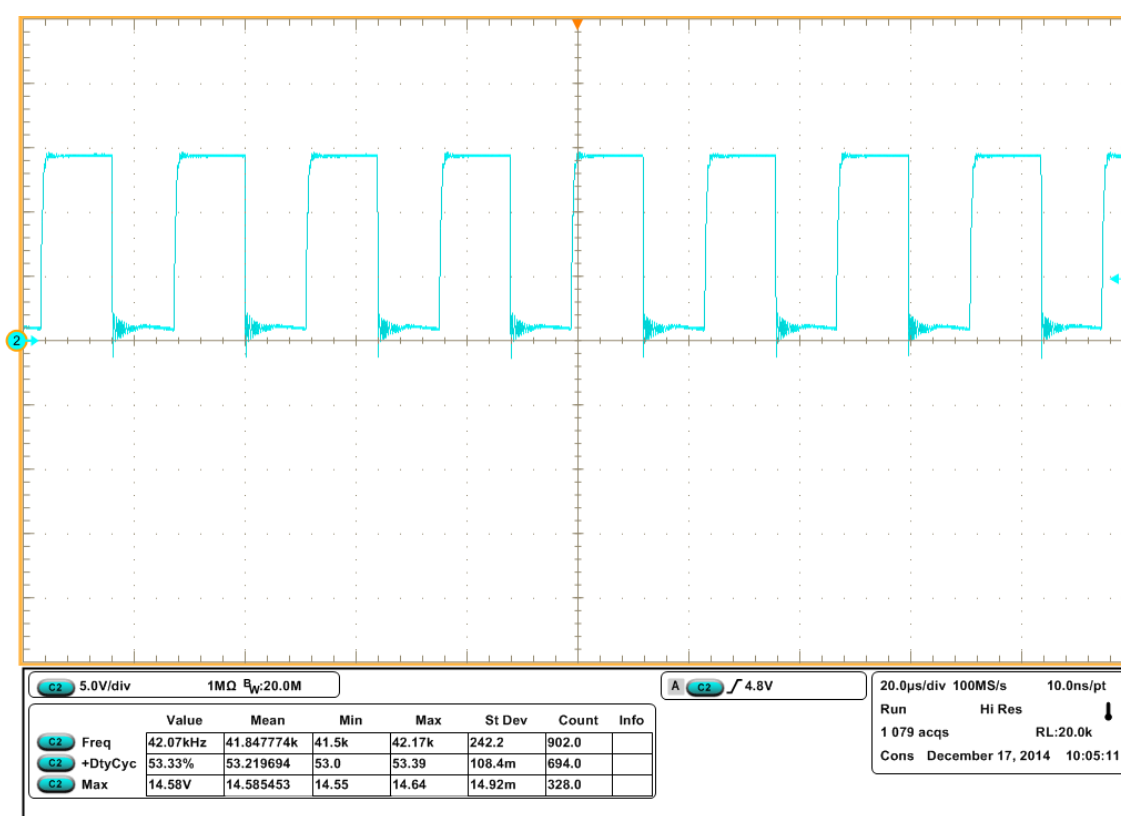


Figura 5. Pulso de comando.

A tensão e corrente da entrada podem ser visualizadas na figura 6, bem como seus valores médios com 24,09V e 2,234A.

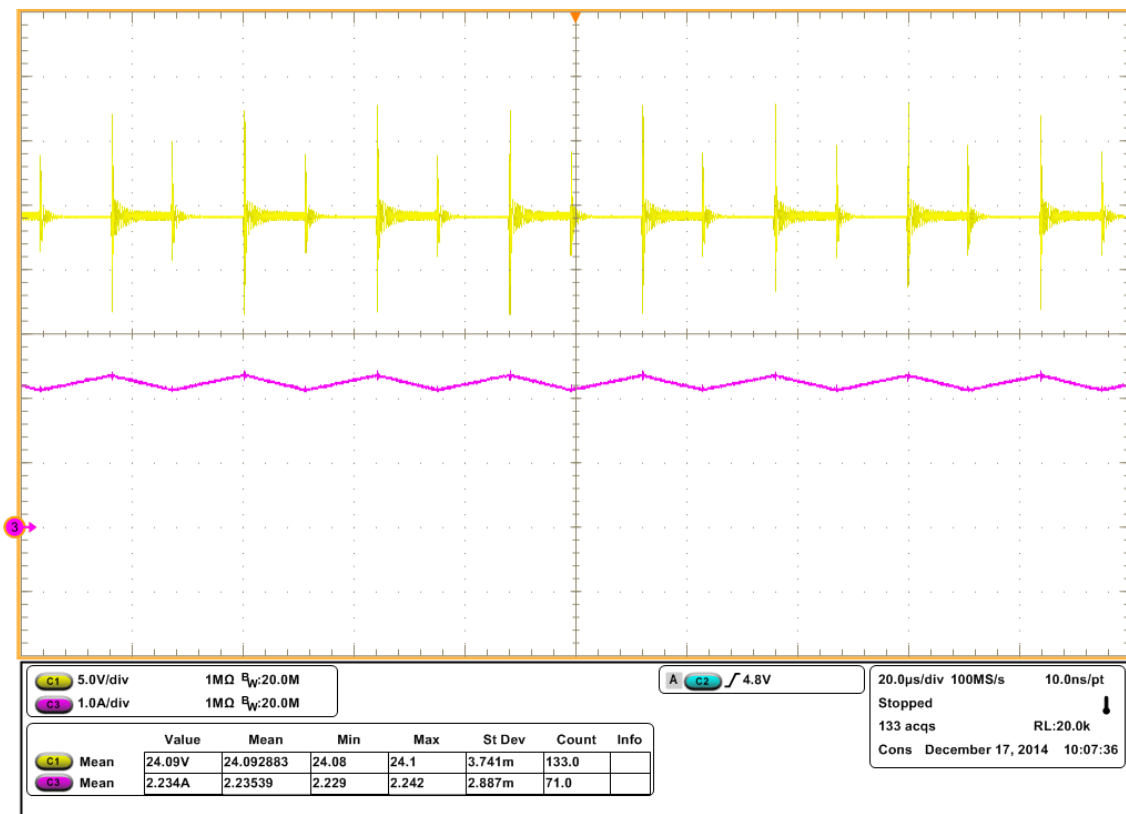


Figura 6. Tensão e corrente na entrada.

A tensão e corrente de saída são mostradas na figura 7. Observa-se que a forma de onda da tensão apresenta alguns problemas devido ao chaveamento com um valor médio de 48,46 V. O valor médio da corrente é de 993,2 mA e observa-se uma pequena ondulação dando uma característica praticamente contínua a mesma.

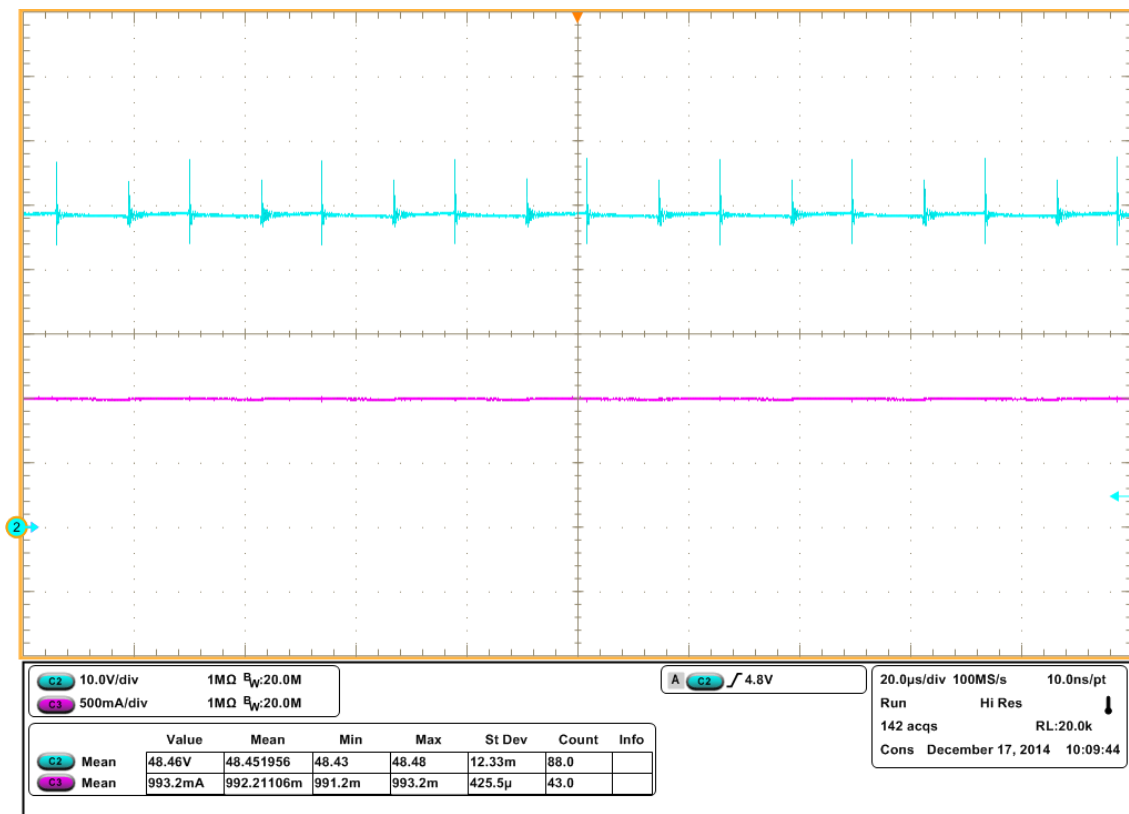


Figura 7. Tensão e corrente na saída.

A figura 8 apresenta a forma de onda da tensão sob o interruptor. Observe-se que o valor máximo na chave é de 62,55 V, o que pode ser explicado pela indutância de trilha da placa. Para um conversor *boost* o valor máximo de tensão no interruptor deveria ser a tensão de saída.

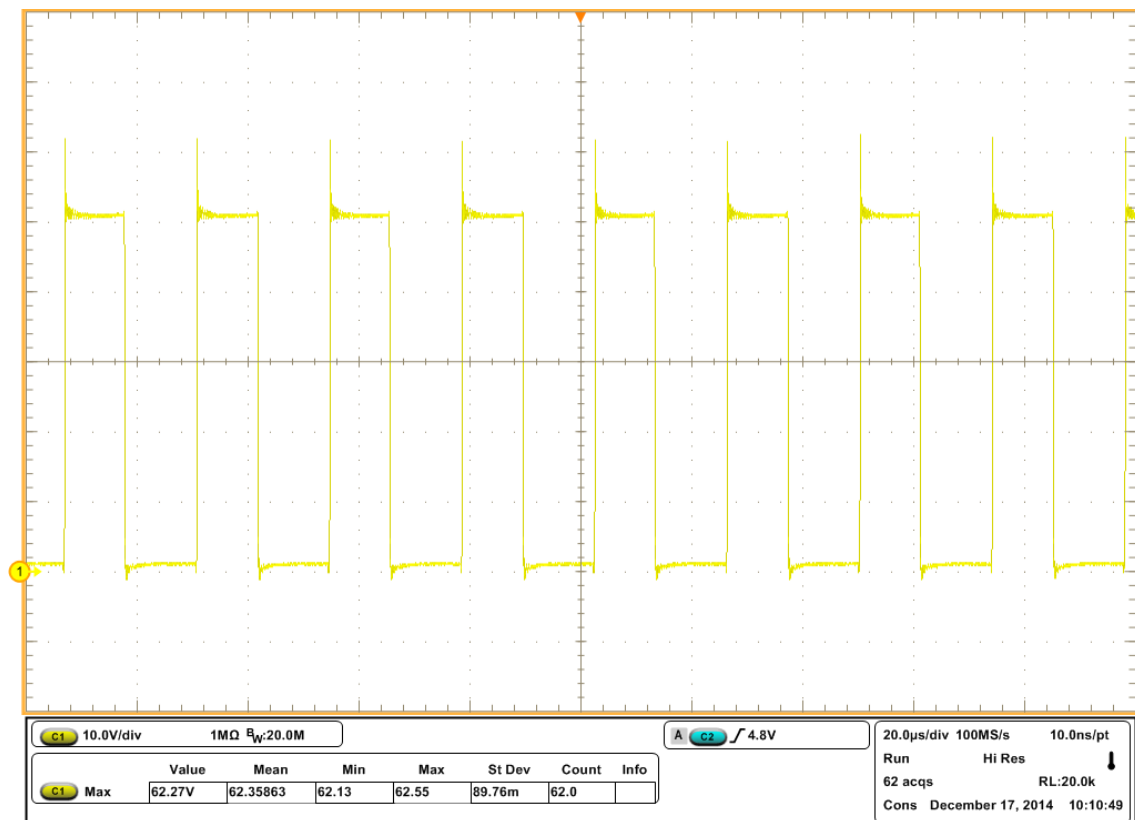


Figura 8. Tensão sob o interruptor.

A figura 9 apresenta a tensão reversa sob o diodo, com um valor reverso de 49,59 V.

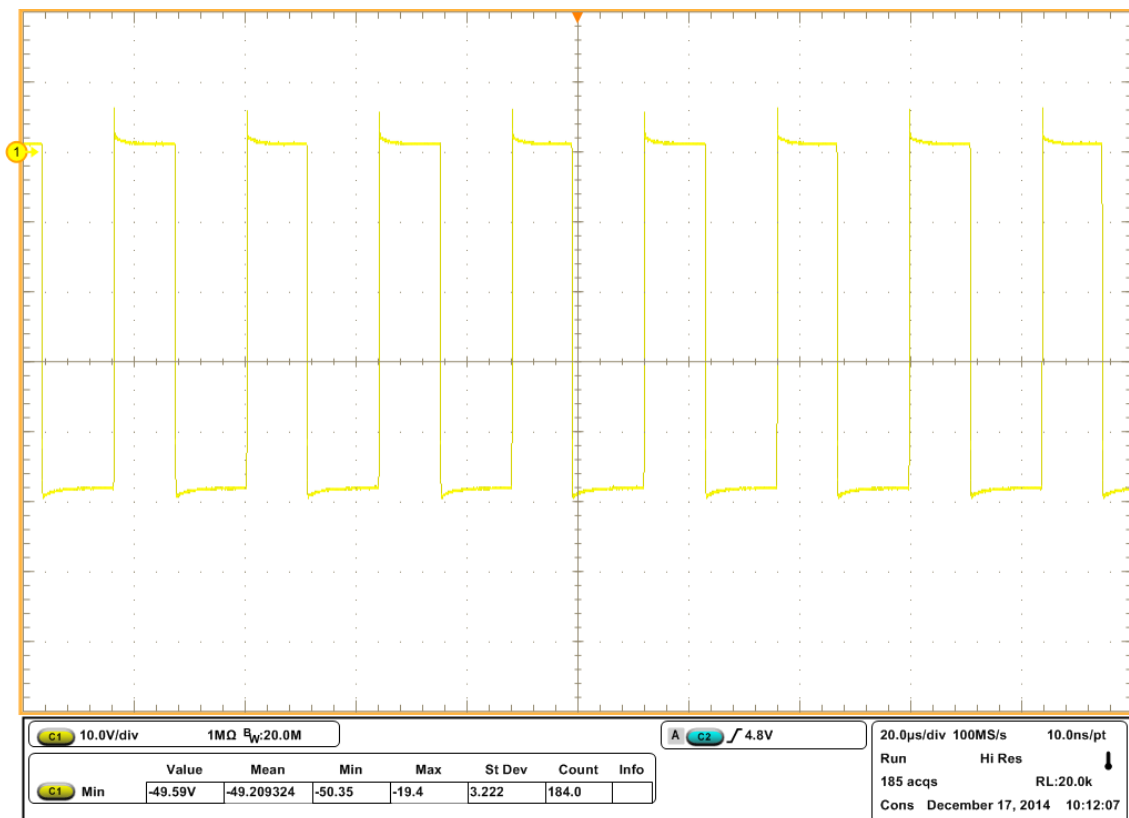


Figura 9. Tensão reversa no diodo.

A figura 10 mostra a corrente e a tensão no indutor. A tensão máxima é de 26,78 V e mínima de -44,47 V. O valor médio da corrente do indutor é de 2,198 A, e com os valores mínimos e máximos (2,359 A e 2,075 A, respectivamente) é possível obter o valor de ondulação experimental, que neste caso é de 0,284 A, representando um ΔI de aproximadamente 12%.

Ainda observando-se a figura 10, pode-se perceber a característica de modo de condução contínua deste conversor em suas duas etapas: a primeira consistindo num valor de tensão positiva e assim a etapa onde o indutor é carregado, observado pela forma de onda crescendo em rampa. A segunda etapa é contrária a primeira e apresenta uma tensão negativa e uma forma de onda da corrente decrescendo em rampa, sendo assim a etapa onde o indutor é descarregado. É importante notar que a natureza contínua dá-se pelo crescimento em rampa da corrente a partir de um valor não nulo, e o mesmo para a etapa de decrescimento da corrente em rampa até um valor não nulo.

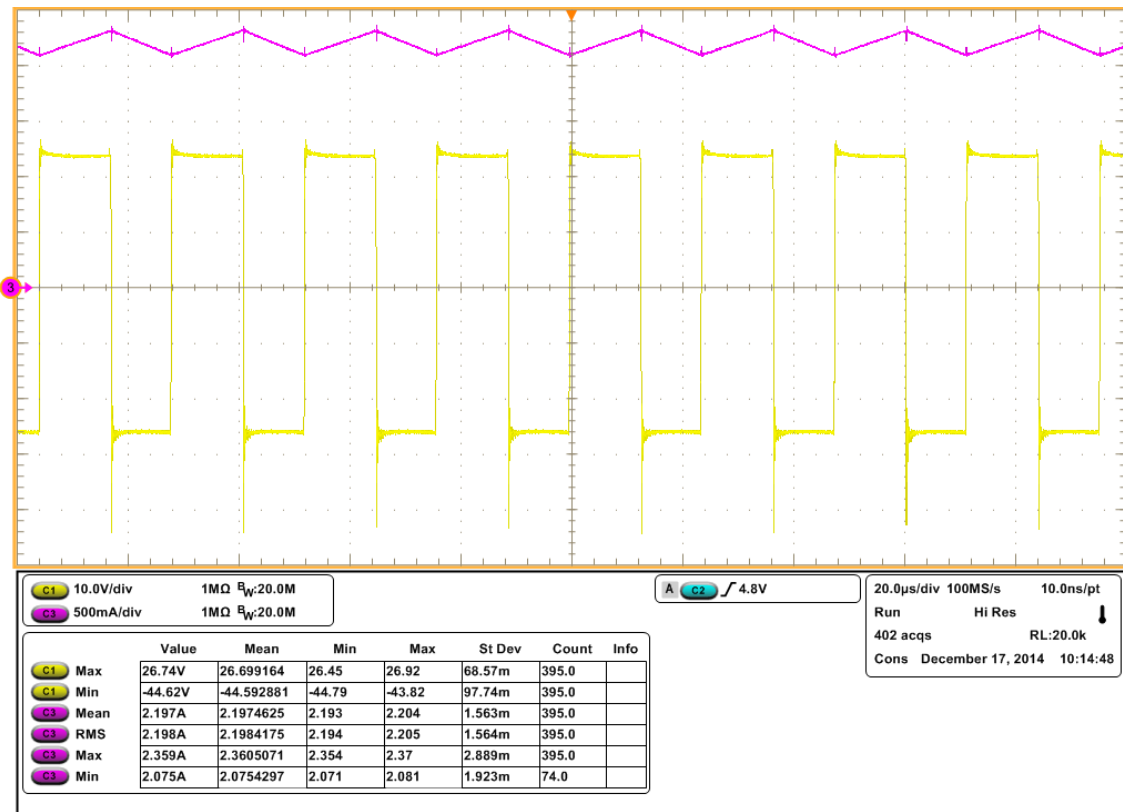


Figura 1. Tensão e corrente no indutor.

Os valores de corrente no transistor e no diodo não foram obtidos pois os *jumpers* inseridos na placa estavam causando uma grande interferência no funcionamento.

5. ESTUDO COMPARATIVO

A tabela 4 compara os valores calculados com os obtidos por simulação e por fim com os resultados experimentais, observando-se as pequenas mudanças nesses últimos, devido a diferença do valor da resistência de carga e o *duty cycle*.

Tabela 4. Valores calculados, simulados e experimentais das variáveis do circuito *Boost*.

Variáveis	Valores calculados	Valores simulados	Valores experimentais
V_o (V)	48	47,64	48,46
I_o (A)	1,042	1,034	0,9932
V_{Cmax} (V)	48,24	47,95	48,48
I_{Emed} , I_{Lmed} (A)	2,083	2,12	2,197

I_{Eef}, I_{Lef} (A)	2,083	2,12	2,198
I_{Lmax} (A)	2,188	2,2	2,359
V_{Smax} (V)	48	49,6	62,55
I_{Smax} (A)	2,188	2,2	*
I_{Smed} (A)	1,042	1,074	*
V_{Dmax} (V)	48	49,6	49,59
I_{Dmax} (A)	2,188	2,2	*
I_{Dmed} (A)	1,042	1,045	*

* Como explicados anteriormente os valores de corrente não puderam ser obtidos para o transistor e diodo.

CONCLUSÃO

Os resultados experimentais demonstram que os cálculos, aproximações e as simulações em ambiente computacional correspondem com o esperado, como mostra também a tabela 1. O único valor com uma diferença gritante foi a máxima tensão na chave, que apresentou um valor de aproximadamente 20% a mais dos valores calculados e simulados.

Assim, compreende-se que o layout deste conversor corresponde em grande parte com o desempenho do mesmo, pois assim, se o transistor fosse dimensionado para o valor exato calculado e simulado, na prática teríamos um componente queimado, o que ocasionaria o não funcionamento do conversor.

Além disso, o aprendizado prático adquirido com este projeto tem ganho imensurável, visto que muitos problemas ocorreram. Problemas de espelhamento na impressão do *layout* do *software* Eagle ocasionaram no retrabalho de uma segunda placa. Problemas com a confecção da placa, relacionados à prensagem térmica do *layout* no cobre foram recorrentes. Por fim, problemas de inversão dos pinos dos transistores do circuito *drive* ocasionaram no retrabalho para inverter os dois transistores.

Finalmente, é possível admitir que um projeto completo como este, que conta com todas as fases, desde o planejamento via cálculos, a simulação comprobatória e a experimentação prática consistem num projeto de engenharia.