



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



---

David Maykon Krepsky Silva  
Barbara Sfeir  
Caio Julio K. Campos

## Conversor Boost

Data de realização do experimento:

24 de agosto de 2015

Série/Turma:

1000/1011

Prof. Dr. Carlos Henrique Gonçalves Treviso

27 de agosto de 2015

---

## Resumo

Neste trabalho foi realizado o a análise da eficiência de um conversor do tipo Boost. O estudo realizado com o protótipo Boost disponível no laboratório consistiu em calcular o ganho do conversor, medindo-se a potência de entrada e de saída do circuito, de acordo com a carga atrelada a saída do mesmo, mantendo o ganho. Observou-se que a eficiência do conversor é relativamente alta se comparada com outras topologias não-chaveadas. Nota-se também que a eficiência do circuito começa subindo de acordo com a carga, até atingir um ponto máximo e depois começa a cair novamente e é dependente do ganho em tensão.

# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2 Revisão da Teoria</b>	<b>4</b>
2.1 Ganho estático . . . . .	4
<b>3 Metodologia Experimental</b>	<b>7</b>
3.1 Materiais . . . . .	7
<b>4 Resultados</b>	<b>9</b>
4.1 Caso 1 . . . . .	9
4.2 Caso 2 . . . . .	10
4.3 Perda . . . . .	11
4.4 Forma de onda da tensão de saída . . . . .	11
<b>5 Discussão e Conclusão</b>	<b>12</b>

# 1 Introdução

Um conversor do tipo Boost é um conversor DC/DC onde a principal característica é que a tensão de saída é maior que a tensão de entrada. Essa topologia é utilizada por uma grande classe de conversores chaveados e contém no mínimo dois semicondutores (um diodo e um transistor), um elemento de armazenamento de energia (neste caso um indutor) e um filtro (um capacitor para reduzir o ripple na tensão de saída).

A alimentação do conversor Boost poder ser feita através de qualquer fonte DC, tais como baterias, painéis solares, geradores DC ou através da própria rede, depois de retificada e filtrada. Esse conversor é muitas vezes chamado de *step-up converter*, pois ele eleva (*step-up*) a tensão de entrada. Nestes conversores, para que haja à conservação da energia, a corrente de saída é menor que a corrente de entrada, assim, um ganho em tensão representa uma redução da corrente disponível.

Como o objetivos dos conversores chaveados (*Switched Mode Power Supply*) é a alta eficiência, faz-se necessário o uso de semicondutores de potência de alta frequência. Por isso, tais conversores só se tornaram amplamente utilizados a partir dos anos 50, onde o avanço na indústria dos semicondutores tornou prático o emprego do conversor Boost em produtos comerciais, militares e aeroespaciais. Hoje em dia, os conversores do tipo Boost são amplamente utilizados nos mais diversos aparelhos como celulares, televisores, carros e etc.

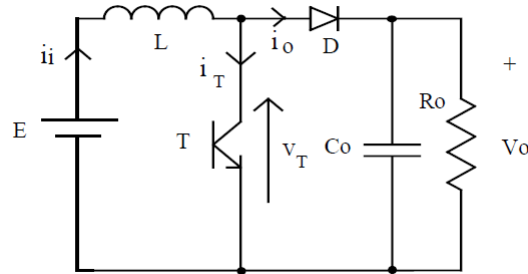
## 2 Revisão da Teoria

O princípio de funcionamento do conversor Boost é que um indutor cria e destrói um campo magnético para resistir a mudanças bruscas de corrente. Isso permite que a tensão de saída do circuito seja maior que a tensão de entrada. Neste trabalho será analisado somente o caso em que o indutor nunca é descarregado por completo (modo contínuo).

A figura 1 mostra um esquemático do conversor Boost. O circuito opera em dois estados, que dependem da chave T. Estes estados são descritos abaixo.

- **Chave T Fechada:** Quando a chave T está fechada (2), a corrente  $I_L$  flui através do indutor L, no sentido horário. Isso faz com que o indutor armazene energia na forma de campo magnético. Enquanto o interruptor carrega, uma tensão  $V_i$  aparece sobre o mesmo, tendo como lado positivo o lado esquerdo.
- **Chave T Aberta:** Ao abrir a chave, a corrente  $I_L$  que passava no indutor se manterá (não há variação de corrente instantânea no indutor), porém a tensão em cima do mesmo será diferente, dado que a impedância vista pelo indutor mudou. Para manter a corrente, o campo magnético que havia sido criado previamente, será agora destruído. Isso fará com que a polaridade da tensão em cima do indutor ( $V_L$ ) mude de sentido. Do ponto de vista da carga, agora são duas fontes de tensão em série, como indicado na figura 3.

Figura 1: Esquemático do conversor Boost.



Vale notar que, para que o conversor opere no modo contínuo, a frequência de chaveamento deve ser alta o suficiente para manter uma carga mínima no indutor.

Uma característica importante do conversor Boost é que a corrente de entrada é constante, ou seja, há pouco ruído indo para a fonte de alimentação.

### 2.1 Ganho estático

Para os cálculos do ganho de tensão no conversor Boost, vamos considerar os componentes ideais, o circuito no regime estático de operação e que a corrente no indutor nunca chega a zero (modo contínuo).

Quando a chave está fechada (figura 2), aparece uma tensão  $V_i$  em cima do indutor, a qual causa uma corrente  $I_L$  através do indutor durante um período de tempo  $\tau$ . A corrente e a tensão no indutor estão relacionadas pela equação geral do indutor (1).

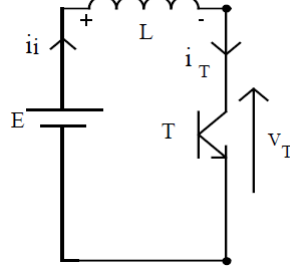
$$V_L = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \quad (1)$$

Ao final do período  $\tau$ , a corrente  $I_L$  é

$$\Delta I_{L_{On}} = \frac{1}{L} \int_0^{DT} V_i dt = \frac{DT}{L} V_i. \quad (2)$$

Onde D é a razão cíclica (fração do período T no qual a chave T fica fechada).

Figura 2: Conversor Boost com a chave T fechada.



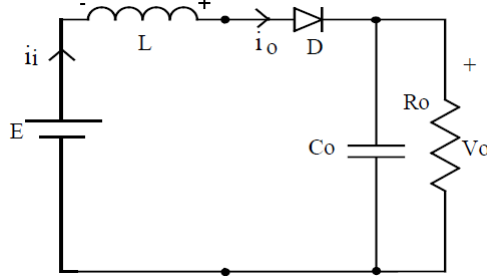
Ao abrir a chave (figura 3), a corrente que passa através do diodo fluirá através da carga. Porém, conforme a energia no indutor é transferida para a carga, a tensão no indutor diminui. Assim, a tensão  $V_L$  será

$$V_L = V_i - V_o = L \frac{dI_L}{dt}.$$

Então, a variação de  $I_L$  se dá por

$$\Delta I_{L_{Off}} = \int_{DT}^T \frac{(V_i - V_o) dt}{L} = \frac{(V_i - V_o)(1 - D)T}{L}. \quad (3)$$

Figura 3: Conversor Boost com a chave T aberta.



Para que o indutor não sature, é necessário que a energia armazenada durante o período de carregamento seja liberada durante o período de descarregamento do indutor. Ou seja

$$\Delta I_{L_{On}} + \Delta I_{L_{Off}} = 0. \quad (4)$$

Substituindo 2 e 3 em 4, temos que

$$\Delta I_{L_{On}} + \Delta I_{L_{Off}} = \frac{V_i DT}{L} + \frac{(V_i - V_o)(1 - D)T}{L} = 0.$$

A qual pode ser reescrita como

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 - D}. \quad (5)$$

Esta é a equação do ganho estático para o conversor Boost em modo contínuo. Observe que a tensão de saída será sempre maior ou igual a tensão de entrada e que, teoricamente, a tensão de saída sobe até o infinito conforme  $D$  se aproxima de 1.

## 3 Metodologia Experimental

### 3.1 Materiais

O material utilizado foi:

- Protótipo do conversor Boost disponível no laboratório.
- CI 4050.
- Resistor de 10K  $\Omega$ .
- Fonte de alimentação.
- Osciloscópio.
- Multímetro.
- Resistor variável de potência (50  $\Omega$ ).

Para execução do experimento, faz-se necessário executar os seguintes passos:

1. montar o circuito gerador de onda quadrada conforme a figura 4, alimentando o CI com 12V;
2. ajustar o gerador de funções para 100KHz, com razão cíclica abaixo de 50 %;
3. conectar os multímetros à placa do conversor boost como mostrado na figura 5;
4. ajustar a tensão de entrada para 20V;
5. variar a carga de modo a incrementar a corrente de saída em 500mA, mantendo a tensão de saída fixa em 30V;
6. anotar o valor da tensão de entrada e saída e da corrente de entrada e saída;
7. repetir os passos 5 e 6 até que a corrente de saída seja 3A ;
8. ajustar a tensão de saída para 40V e repetir os passos 5,6 e 7;
9. calcular o rendimento e o ganho estático;
10. responder as perguntas:
  - O ganho estático verificado na prática está de acordo com a teoria?
  - Por que houve pequenas variações na razão cíclica para variações de carga?
  - Traçar as curvas de rendimentos dos dois casos.



Figura 4: Gerador de onda quadrada.

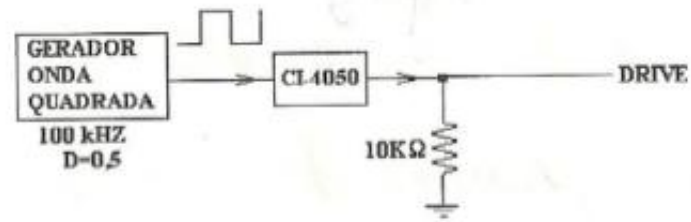
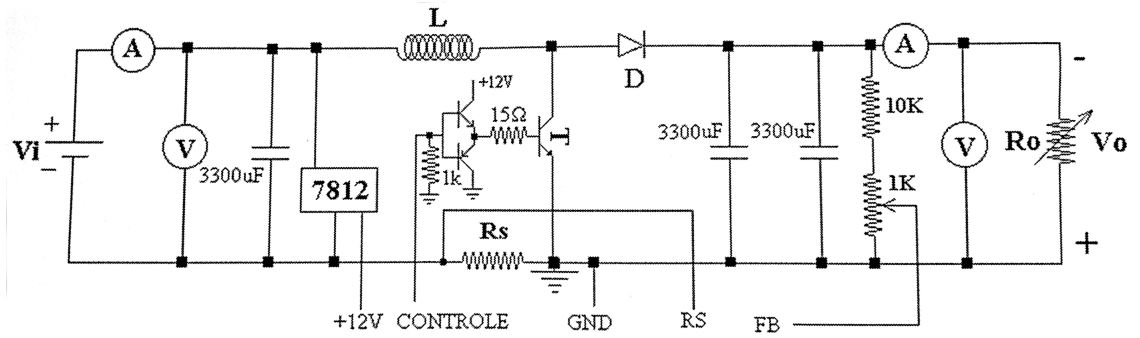


Figura 5: Montagem do conversor Boost.



## 4 Resultados

### 4.1 Caso 1

Para o experimento 1,  $V_i$  foi mantida em 20V e  $V_o$  em 30V e a tabela 1 sumariza os resultados obtidos.

A razão cíclica utilizada foi de  $D_1 = 37\%$ . Sendo assim, o ganho teórico é de

$$G_{teorico} = \frac{1}{1-D} = \frac{1}{1-0.37} = 1.5873 \cong 159\%.$$

O ganho médio, obtido a partir da tabela 1, é de

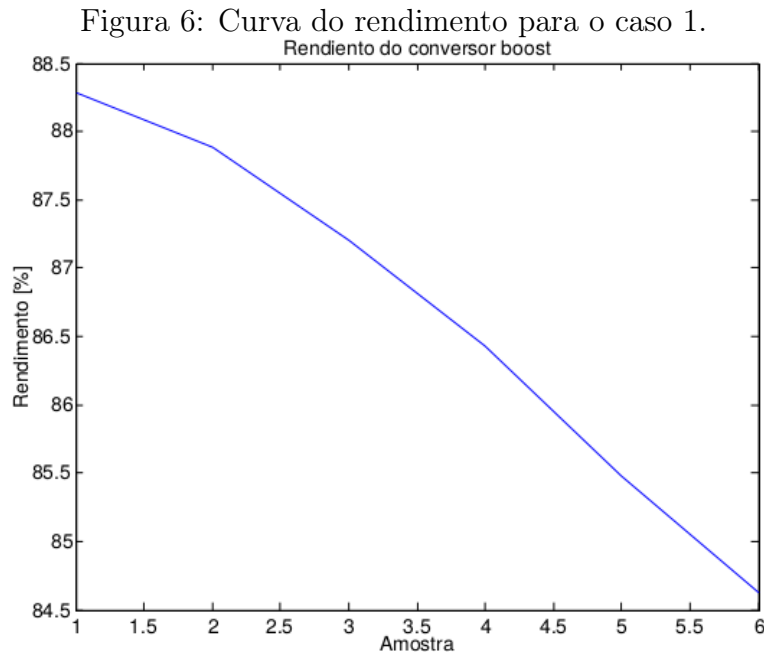
$$G_{medio} = 153.29\%.$$

A diferença entre o ganho teórico ideal e o ganho médio medido se deve as perdas nos componentes e cabos do sistema. Como não houve compensação da razão cíclica durante o experimento, essas perdas refletiram em quedas de tensão na entrada e saída do sistema.

Tabela 1: Rendimento caso 1.

Tensão de entrada [V]	Corrente de entrada [A]	Tensão de saída [V]	Corrente de saída [A]	Rendimento [%]	Ganho Estático
19.80	1.04	30.3	0.60	88.2867	1.5303
19.7	1.75	30.0	1.01	87.8898	1.5228
19.6	2.65	29.8	1.52	87.2083	1.5204
19.5	3.69	29.9	2.08	86.4318	1.5333
19.4	4.58	29.9	2.54	85.4747	1.5412
19.3	5.62	29.9	3.07	84.6284	1.5492

A figura 6 mostra o gráfico do rendimento para o caso 1, onde é possível observar que o rendimento diminui com o aumento da potência de saída.



## 4.2 Caso 2

Para o experimento 2,  $V_i$  foi mantida em 20V e  $V_o$  em 40V e a tabela 2 sumariza os resultados obtidos.

A razão cíclica utilizada foi de  $D_1 = 55\%$ . Sendo assim, o ganho teórico é de

$$G_{teorico} = \frac{1}{1-D} = \frac{1}{1-0.55} = 2.2222 \cong 222\%.$$

O ganho médio, obtido a partir da tabela 2, é de

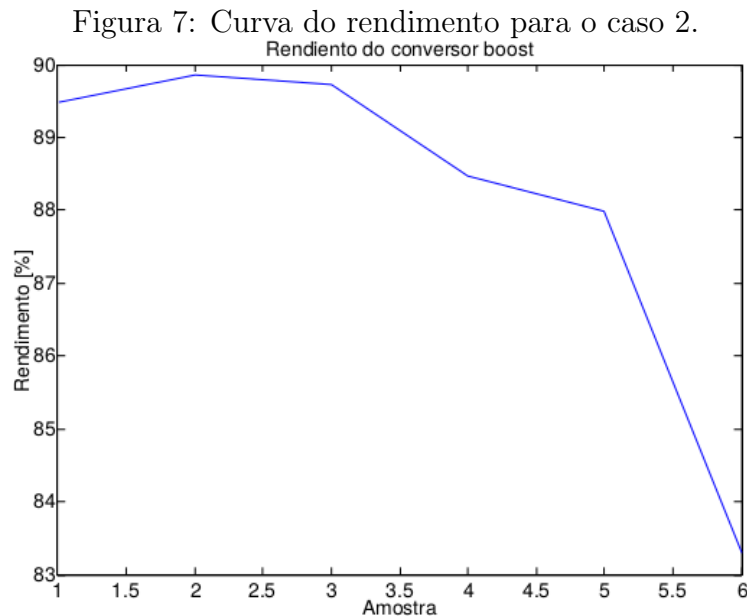
$$G_{medio} = 205.86\%.$$

A diferença entre o ganho teórico ideal e o ganho médio medido se deve as perdas nos componentes e cabos do sistema. Como não houve compensação da razão cíclica durante o experimento, essas perdas refletiram em quedas de tensão na entrada e saída do sistema. Note que, como a potência de saída é maior que a do caso 1, as perdas no circuito também são maiores.

Tabela 2: Rendimento caso 2.

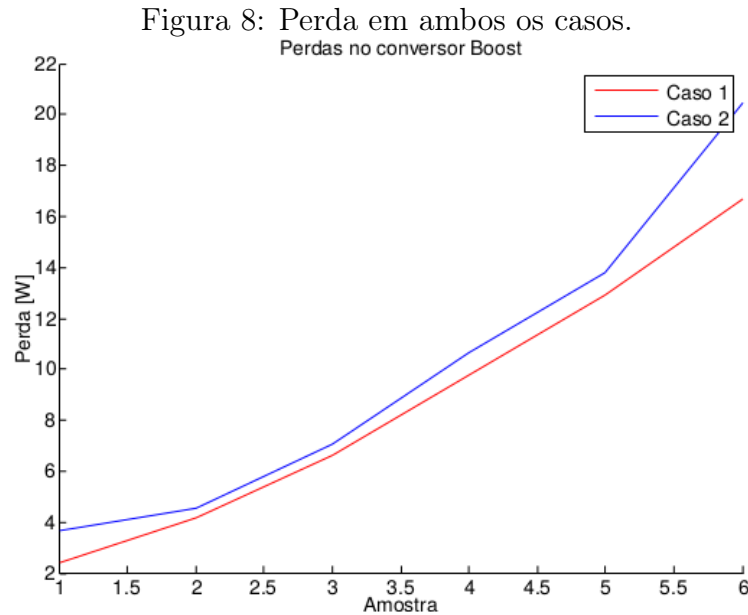
Tensão de entrada [V]	Corrente de entrada [A]	Tensão de saída [V]	Corrente de saída [A]	Rendimento [%]	Ganho Estático
19.6	1.77	39.8	0.78	89.4846	2.0306
19.5	2.30	39.9	1.01	89.8528	2.0462
19.4	3.53	39.9	1.54	89.7258	2.0567
19.3	4.79	39.9	2.05	88.4777	2.0674
19.2	5.99	40.0	2.53	87.9939	2.0833
19.2	6.38	39.7	2.57	83.2917	2.0677

A figura 7 mostra o gráfico do rendimento para o caso 2, onde é possível observar que, diferente do caso 1, o rendimento atinge um ponto máximo para corrente de saída de 1.01 A e, a partir daí, começa a diminuir.



### 4.3 Perda

A figura 8 mostra a perda (em *Watts*) em ambos os casos.



É notório que o conversor possui uma região de conversão onde a perda é minimizada.

### 4.4 Forma de onda da tensão de saída

Figura 9: Forma de onda na saída do caso 2.



Como pode ser observado na figura 9, a tensão de saída possui oscilações de alta frequência devido as componentes parasitas dos componentes. Estas oscilações aparecem amplificadas devido as características da ponteira do osciloscópio utilizado, sendo bem menores na carga.

## 5 Discussão e Conclusão

Com base nos resultados obtidos nas tabelas 1 e 2, podemos concluir que a eficiência com que o circuito converte uma tensão de entrada  $V_i$ , para uma tensão de saída  $V_o$ , depende da potência sendo transferida, onde a maior eficiência encontra-se quando a razão cíclica está próxima de 50 %. É notório também que, os conversores Boost possuem uma perda, diferente do resultado da equação (5), onde foi calculado o ganho para um circuito ideal. Este fato se deve a perda inerente dos componentes do sistema. Já na figura 9, notamos que há um pequeno transiente na forma de onda de saída e na chave. Isso se deve ao fato de que os componentes e cabos utilizados possuem características parasitas (como a  $esr$  e  $lsr$  do capacitor de filtro), que provocam oscilações em alta frequência.