

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

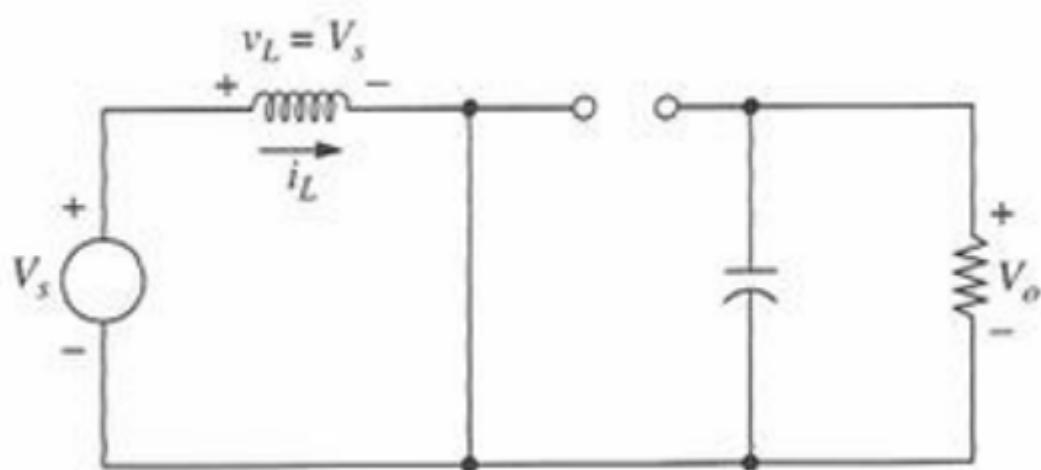
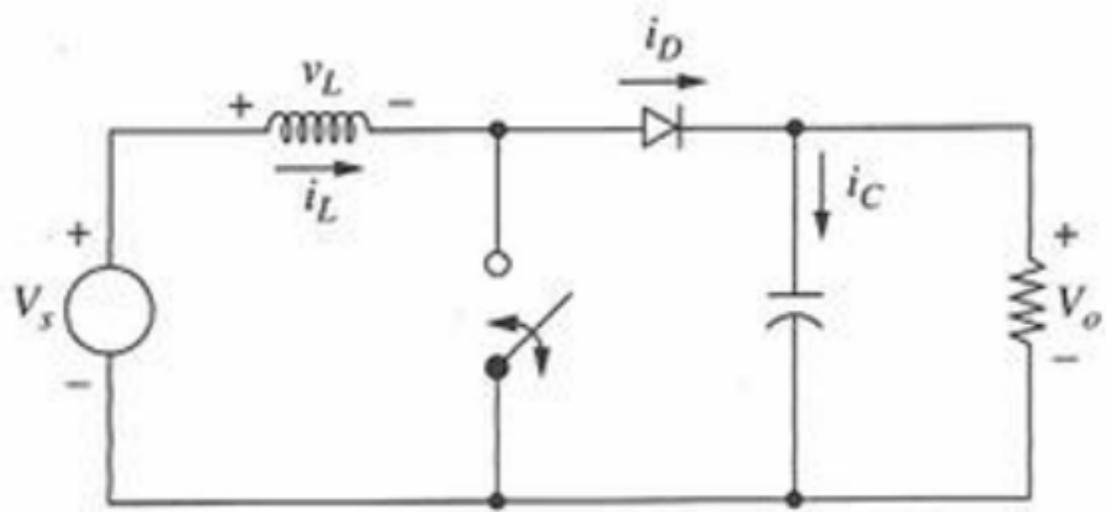
AMANDA JACOBS TAVARES

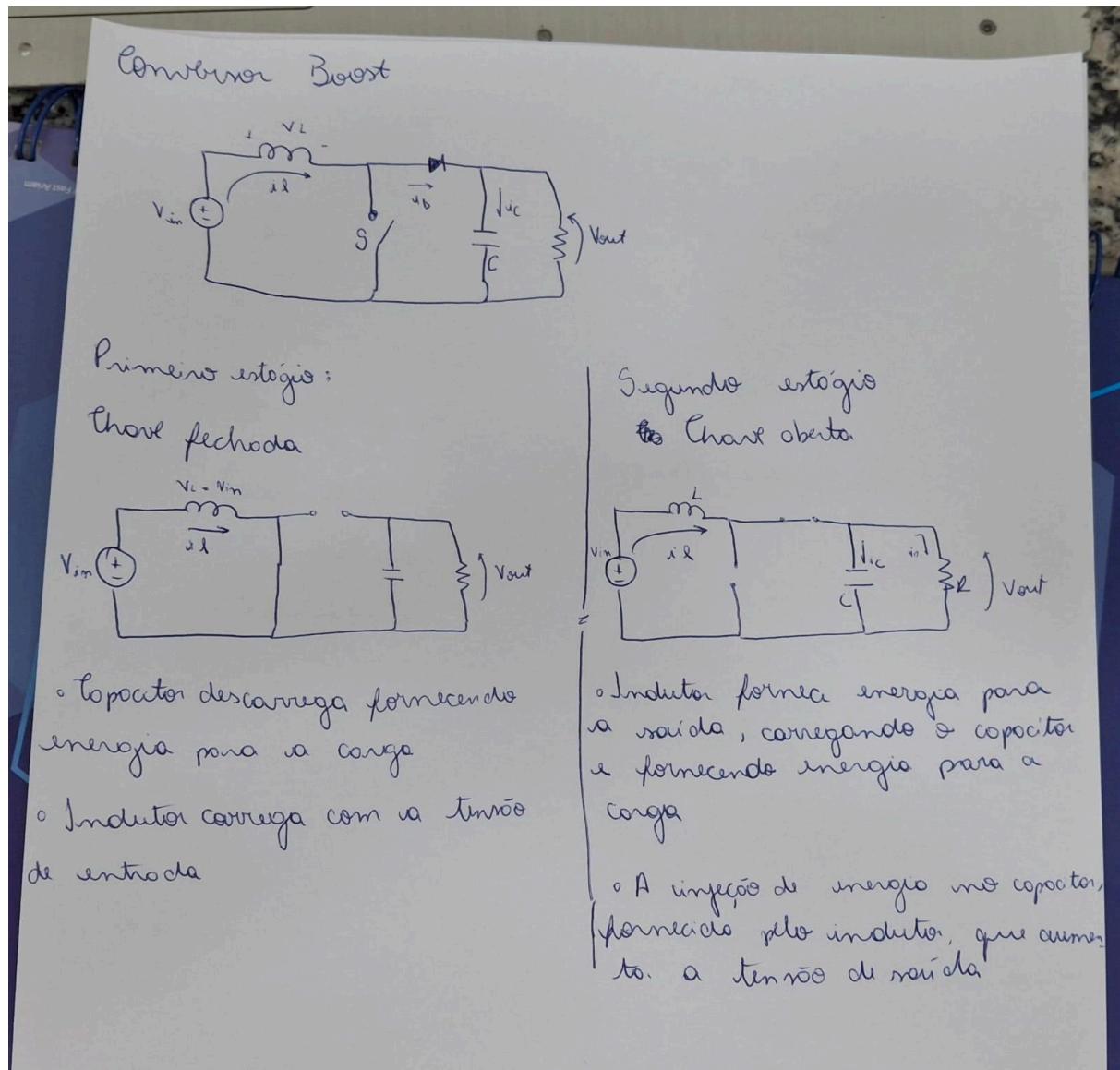
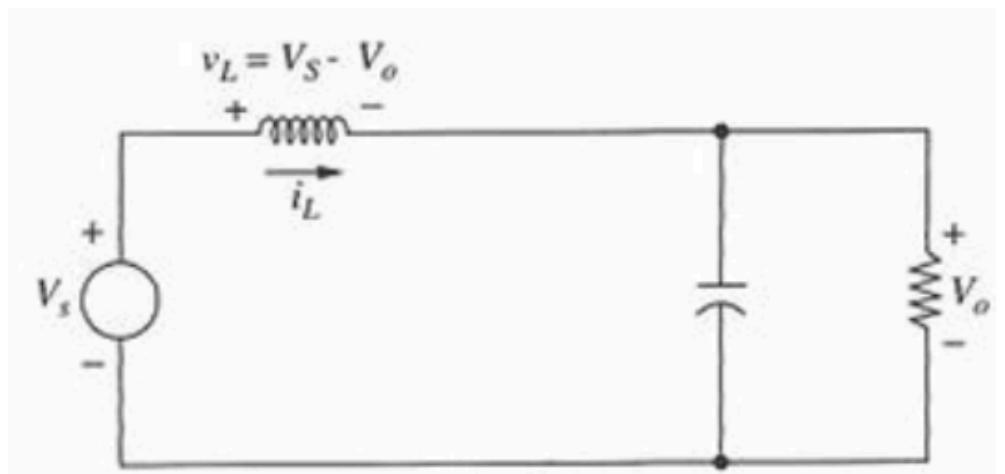
ELETRÔNICA DE POTÊNCIA - CONVERSOR BOOST

UNEMAT – Campus de Sinop

2025/2

1 INTRODUÇÃO





2 METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO

A simulação foi implementada em Python utilizando três módulos principais:

- **numpy** – para manipulação numérica e criação dos vetores de tempo,
- **matplotlib.pyplot** – para construção dos gráficos das grandezas,

```
#IMPORTANDO AS BIBLIOTECAS
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

PARÂMETROS UTILIZADOS

```
#Parâmetros

Vin = 180           #tensão de entrada (V)
Vout = 380          #tensão de saída (V)
Pout = 1300         #potência máxima na saída (W)
Fs = 40e3           #frequência de chaveamento (Hz)
Ts = 1 / Fs         #período de chaveamento (s)

VIL = 0.2           # Ondulação da corrente no indutor (% da corrente média)
VV1 = 0.01          # Ondulação da tensão no capacitor (% da tensão de saída)
```

Onde definimos os parâmetros iniciais.

$Fs = 40e3$ define a frequência de chaveamento em 40 kHz. Produz um período $Ts = 1 / Fs = 250$ us.

② Valores nominais:

$$\Delta = \frac{V_d - V_{in}}{V_d} = 0,5263$$

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = 3,42 A$$

$$I_{in} = \frac{P_{out}}{V_{in}} = 7,222 A$$

$$R_{out} = \frac{V_{out}^2}{P_{out}} = 111,08 \Omega$$

③ Projeto indutor

$$L = \frac{V_{in} \cdot \Delta}{f_s \cdot \Delta I_L \cdot I_n} = 1,6396 mH$$

④ Projeto capacitor

$$C = \frac{I_o \cdot \Delta}{f_s \cdot \Delta V_{cL} \cdot V_d} = 11,84 nF$$

Calculamos L e C

```
#Tempo de simulação
t_end = 20e-3
dt = Ts / 200
t = np.arange(0, t_end, dt)
```

t_end = 20e-3: tempo total da simulação: 0,02 s = 20 ms.

dt = Ts / 200: passo de tempo da simulação. Você subdivide cada período de chaveamento em 200 pontos → integração bem fina dentro de um ciclo.

t = np.arange(0, t_end, dt):

Cria um vetor de tempo que vai de 0 até (quase) t_end, com incrementos dt. Cada elemento de t é um instante em que o sistema será calculado.

```
# Vetores de estado
iL = np.zeros_like(t)    # Corrente no indutor
vO = np.zeros_like(t)    # Tensão de saída

# Condições iniciais
iL[0] = 0.0
vO[0] = 0.0
```

iL = np.zeros_like(t):

Cria um array de mesmo tamanho que t, inicializado com zeros.

Vai armazenar o valor da corrente no indutor em cada instante de tempo.

vO = np.zeros_like(t):

O mesmo para a tensão de saída (no capacitor/carga).

iL[0] = 0.0: corrente inicial no indutor é zero (conversor desligado no início).

vO[0] = 0.0: tensão inicial na saída também é zero (capacitor descarregado).
Esses são os estados iniciais que o método numérico vai usar.

Funcionamento do Loop Principal

```
#LOOP DE SIMULAÇÃO
for k in range(len(t) - 1):
    t_cycle = t[k] % Ts
```

for k in range(len(t) - 1):

Loop de k = 0 até k = len(t) - 2.

Em cada iteração, você calcula o estado no instante k+1 a partir do estado no instante k.

t_cycle = t[k] % Ts:

Calcula o tempo “dentro” do período de chaveamento.

O operador % (módulo) pega o resto da divisão de t[k] por Ts. Resultado: um valor entre 0 e Ts.

Isso diz em que ponto do PWM você está (em qual parte do ciclo ON/OFF).

```
# Chave ON ou OFF
if t_cycle < D * Ts:
    vL = Vin                      # ON
else:
    vL = Vin - vO[k]               # OFF
```

Chave ON ou OFF: indica o que será decidido abaixo.

if t_cycle < D * Ts::

Se o tempo dentro do ciclo é menor que D * Ts, significa que ainda estamos no intervalo ON do PWM (MOSFET conduzindo).

Dentro do if (ON):

vL = Vin: tensão no indutor é igual à tensão de entrada (condição ideal de boost em ON).

No else (OFF):

vL = Vin - vO[k]:

Quando a chave desliga, o indutor “se conecta” à saída via diodo, então a tensão sobre o indutor é $V_{in} - V_{out}$.

V_{out} é a tensão de saída no instante atual.

```

# Atualiza iL
iL[k+1] = iL[k] + (vL / L) * dt

# Atualiza v0
i_load = v0[k] / R
v0[k+1] = v0[k] + (iL[k] - i_load) / C * dt

```

windutor:
 $iL[k+1] = iL[k] + (vL/L) \cdot dt$
 $vL = L \cdot \frac{di}{dt}$
 $\frac{di}{dt} = \frac{vL}{L}$
 $iL(t+dt) = iL(t) + \frac{vL}{L} \cdot dt$
 $iL[k] = \text{valor atual}$
 $(vL/L) \cdot dt = \text{incremento}$
 $iL[k+1] = \text{próximo valor}$

capacitor:
 $i_{load} = v0[k] / R$
 $i_{cap} = iL - i_{load}$
 $i_{cap} = C \cdot \frac{dv0}{dt}$
 $\frac{dv0}{dt} = \frac{iL - i_{load}}{C}$
 $v0(t+dt) = v0(t) + \frac{iL - i_{load}}{C} \cdot dt$

3 RESULTADOS

```
#GRÁFICO
plt.figure(figsize=(9,4))
plt.plot(t * 1e3, v0, label='vO(t)')
plt.axhline(Vout_ref, linestyle='--', label=f'Referência = {Vout_ref:.1f} V')
plt.xlabel('Tempo (ms)')
plt.ylabel('Tensão (V)')
plt.title('Tensão de saída - Conversor Boost (180 V → 380 V)')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()
```

plt.figure(figsize=(9,4)):

Cria uma nova figura (janela de gráfico) de 9 por 4 polegadas.

plt.plot(t * 1e3, vO, label='vO(t)'):

Plota a tensão de saída v_O em função do tempo.

$t * 1e3$ converte o eixo x de segundos para milissegundos.

`label='vO(t)'` será usado na legenda.

plt.axhline(Vout_ref, linestyle='--', label=f'Referência = {Vout_ref:.1f} V'):

Desenha uma linha horizontal na altura da tensão de referência (380 V).

linestyle='--': linha tracejada.

O `f'...'` formata o texto com o valor numérico de `Vout_ref` com 1 casa decimal.

plt.xlabel('Tempo (ms)'): rótulo do eixo x.

plt.ylabel('Tensão (V)'): rótulo do eixo y.

plt.title('Tensão de saída - Conversor Boost (180 V → 380 V)'):

Define o título do gráfico (tensões de entrada e saída).

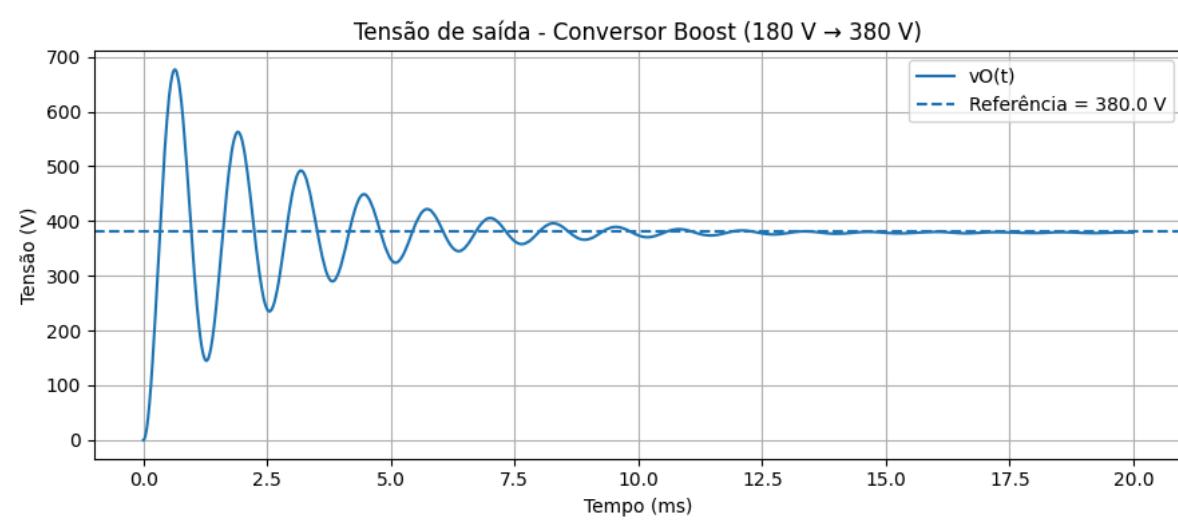
plt.grid(True): Ativa a grade auxiliar.

plt.legend(): Exibe a legenda com os labels definidos no plot e no axhline.

plt.tight_layout(): Ajusta margens automaticamente para nada ficar cortado.

plt.show(): Exibe o gráfico na tela.

4 ANÁLISE



O gráfico apresenta a evolução temporal da tensão de saída do conversor Boost após o acionamento. Observa-se que, no instante inicial, o capacitor encontra-se descarregado, fazendo com que a aplicação imediata do duty cycle nominal provoque uma elevação abrupta da tensão, resultando em um pico significativo de sobretensão. Em seguida, surgem oscilações amortecidas decorrentes da troca de energia entre o indutor e o capacitor, característica típica de um sistema de segunda ordem com baixo amortecimento. Com o passar do tempo, parte dessa energia é dissipada pela carga, reduzindo gradualmente a amplitude das oscilações até que o sistema converge para o regime permanente. Ao final do intervalo analisado, a tensão estabiliza-se próxima ao valor desejado (380 V), confirmando que o duty cycle escolhido é adequado para a operação nominal, embora o comportamento transitório evidencie a ausência de controle de partida suave ou realimentação regulatória.

