

Buck Converter

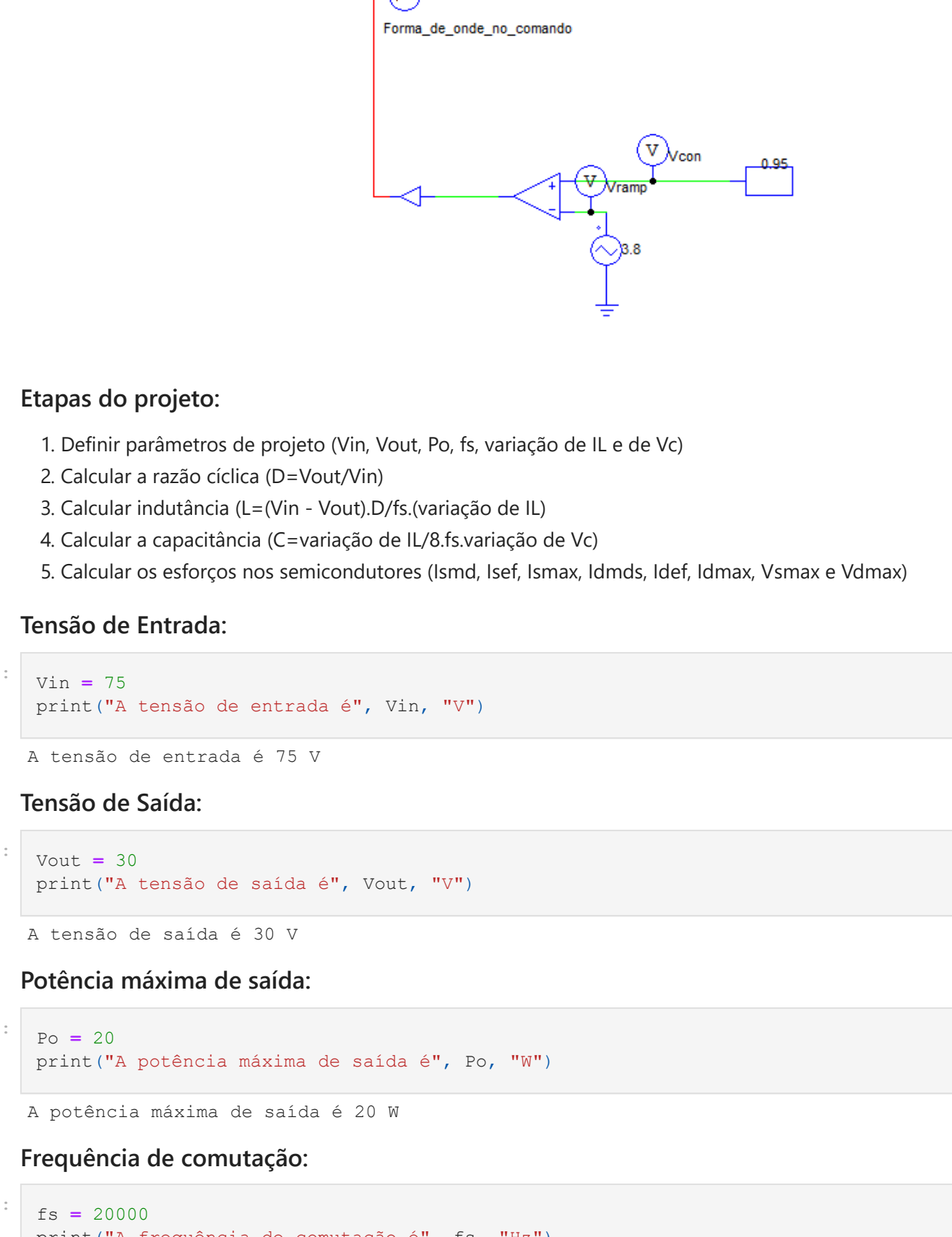
Conversor abaixador

O conversor de buck tem uma estrutura simples e de operação direta, uma ótima opção de conversor CC-CC PWM. A tensão de saída de um conversor buck é sempre menor que a tensão de entrada, por isso ele é conhecido também como conversor abaixador.

O conversor buck é composto por uma fonte de tensão contínua, um transistor que funciona como uma chave, um diodo, um indutor, um capacitor e a carga. A chave irá controlar em qual estado estará o circuito, on-time ou off-time. Durante o período on-time, a chave é fechada e o diodo está no estado desligado. Neste intervalo a fonte de tensão transfere energia para o indutor e a corrente sobre ele aumenta. Já no período off-time, a chave estará aberta e o diodo ligado. Assim, a energia armazenada no indutor é liberada para a carga e a corrente no indutor diminui.

O estado estacionário no conversor é atingido quando a transferência de energia dentro do tempo torna-se a mesma que a liberação de energia fora do tempo. Nesse estado a corrente no indutor estabelece uma forma de onda triangular periódica e a tensão de saída torna-se quase constante com um pequeno componente de ondulação.

Esquemático de um conversor buck



Etapas do projeto:

1. Definir parâmetros de projeto (V_{in} , V_{out} , P_o , f_s , variação de I_L e de V_C)
2. Calcular a razão cíclica ($D = V_{out}/V_{in}$)
3. Calcular indutância ($L = (V_{in} - V_{out})D/f_s$ (variação de I_L)
4. Calcular a capacitância ($C = \text{variação de } I_L / f_s \text{ variação de } V_C$)
5. Calcular os esforços nos semicondutores (I_{smD} , I_{sf} , I_{smx} , I_{ldmD} , I_{ldf} , I_{ldmx} , V_{smx} e V_{dmx})

Tensão de Entrada:

```
Vin = 75
print("A tensão de entrada é", Vin, "V")
```

A tensão de entrada é 75 V

Tensão de Saída:

```
Vout = 30
print("A tensão de saída é", Vout, "V")
```

A tensão de saída é 30 V

Potência máxima de saída:

```
Po = 20
print("A potência máxima de saída é", Po, "W")
```

A potência máxima de saída é 20 W

Frequência de comutação:

```
fs = 20000
print("A frequência de comutação é", fs, "Hz")
```

A frequência de comutação é 20000 Hz

Razão cíclica:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

```
D = Vout/Vin
print("A razão cíclica é", D)
```

A razão cíclica é 0.4

Corrente de saída:

$$I_o = \frac{P_o}{V_{out}}$$

```
Io = Po/Vout
print("A corrente de saída é", Io, "A")
```

A corrente de saída é 0.6666666666666666 A

Ondulação de corrente no indutor:

Ondulação de 10%:

$$\Delta I_L = 0.1 I_o$$

```
delta_IL = 0.1*Io
print("A ondulação de corrente no indutor é", delta_IL, "A")
```

A ondulação de corrente no indutor é 0.06666666666666667 A

Ondulação de tensão no capacitor:

Ondulação de 1%:

$$\Delta V_C = 0.01 V_{out}$$

```
delta_Vc = 0.01*Vout
print("A ondulação de tensão no capacitor é", delta_Vc, "V")
```

A ondulação de tensão no capacitor é 0.3 V

Resistência de carga:

$$R_o = \frac{V_{out}^2}{P_o}$$

```
Ro = (Vout**2)/Po
print("A resistência de carga é", Ro, "ohms")
```

A resistência de carga é 45.0 ohms

Indutor de Saída:

$$L_o = \frac{(V_{in} - V_{out})D}{f_s \Delta I_L}$$

```
Lo = (Vin-Vout)*D/(fs*delta_IL)
print("O indutor de saída é", Lo, "H")
```

O indutor de saída é 0.013500000000000002 H

Capacitor de Saída:

$$C_o = \frac{\Delta I_L}{8 f_s \Delta V_C}$$

```
Co = delta_IL/(8*fs*delta_Vc)
print("O capacitor de saída é", Co, "F")
```

O capacitor de saída é 1.388888888888889e-06 F

Esforços na chave:

Valor médio da corrente na chave:

$$I_{smD} = D I_o$$

```
Is_md = D*Io
print("O valor médio da corrente na chave é", Is_md, "A")
```

O valor médio da corrente na chave é 0.26666666666666666 A

Valor eficaz da corrente na chave:

$$I_{sef} = \sqrt{D} I_o$$

```
Is_ef = (D**0.5)*Io
print("O valor eficaz da corrente na chave é", Is_ef, "A")
```

O valor eficaz da corrente na chave é 0.4216370213557839 A

Valor máximo da corrente na chave:

$$I_{smx} = I_o + \frac{\Delta I_L}{2}$$

```
Is_max = Io + delta_IL/2
print("O valor máximo da corrente na chave é", Is_max, "A")
```

O valor máximo da corrente na chave é 0.7 A

Valor máximo da tensão na chave:

$$V_{smx} = V_{in}$$

```
Vs_max = Vin
print("O valor máximo da tensão na chave é", Vs_max, "V")
```

O valor máximo da tensão na chave é 75 V

Esforços no diodo:

Valor médio da corrente no diodo:

$$I_{dmD} = (1 - D) I_o$$

```
Id_md = (1-D)*Io
print("O valor médio da corrente no diodo é", Id_md, "A")
```

O valor médio da corrente no diodo é 0.39999999999999997 A

Valor eficaz da corrente no diodo:

$$I_{def} = \sqrt{(1 - D)} I_o$$

```
Id_ef = ((1-D)**0.5)*Io
print("O valor eficaz da corrente no diodo é", Id_ef, "A")
```

O valor eficaz da corrente no diodo é 0.516397794943222 A

Valor máximo da corrente no diodo:

$$I_{dmx} = I_o + \frac{\Delta I_L}{2}$$

```
Id_max = Io + delta_IL/2
print("O valor máximo da corrente no diodo é", Id_max, "A")
```

O valor máximo da corrente no diodo é 0.7 A

Valor máximo da tensão no diodo:

$$V_{dmx} = V_{in}$$

```
Vd_max = Vin
print("O valor máximo da tensão no diodo é", Vd_max, "V")
```

O valor máximo da tensão no diodo é 75 V

Resistência crítica:

$$R_{crit} = \frac{2 L o f_s}{(1 - D)}$$

```
Rcrit = 2*Lo*fs/(1-D)
print("A resistência crítica é", Rcrit, "ohms")
```

A resistência crítica é 900.00000000000002 ohms

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/tensão_no_indutor.txt')

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
plt.figure(figsize=(12,4))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x, y, '-')

plt.title('Tensão no Indutor')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.show()
```



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/corrente_no_indutor.txt')

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
plt.figure(figsize=(12,6))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x, y, '-')

plt.title('Corrente no Indutor')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('corrente (A)')
plt.show()
```



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/vout.txt')

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
plt.figure(figsize=(12,4))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x, y, '-')

plt.title('Tensão de saída')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.show()
```

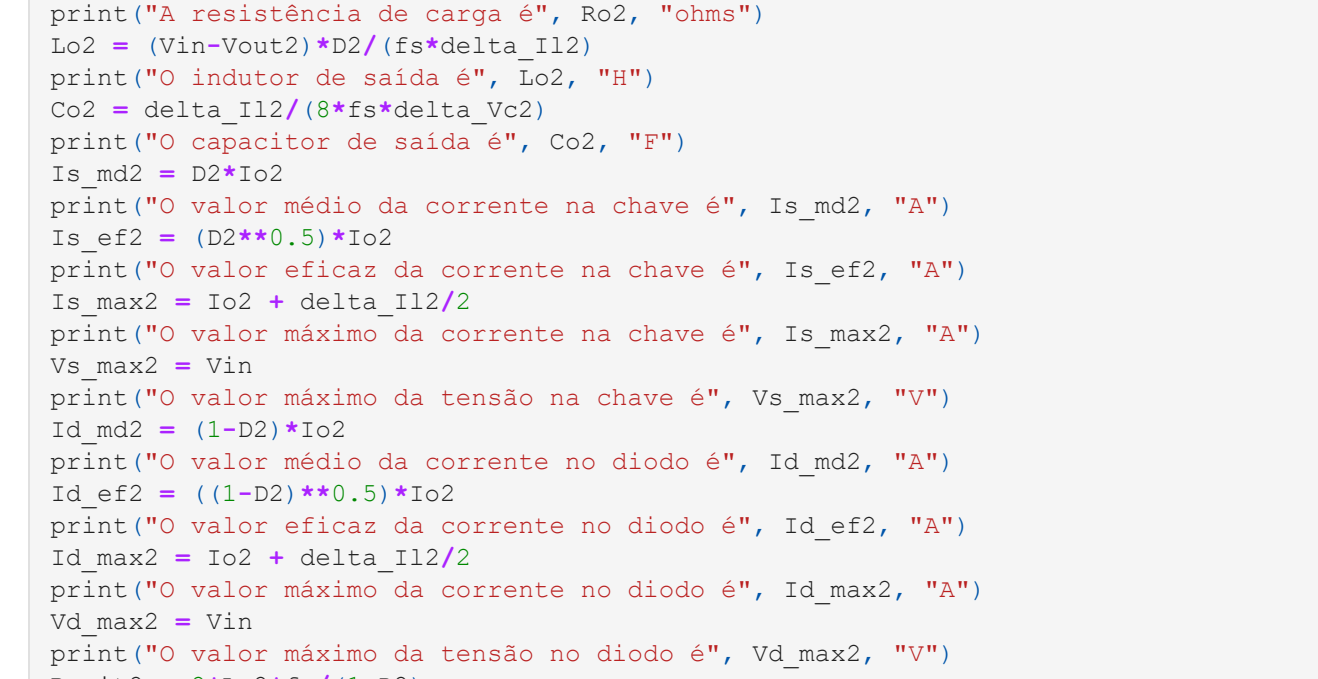


```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/forma_de_onda_no_comando.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
plt.figure(figsize=(12,2))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x, y, '-')

plt.title('Forma de onda no comando')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.show()
```

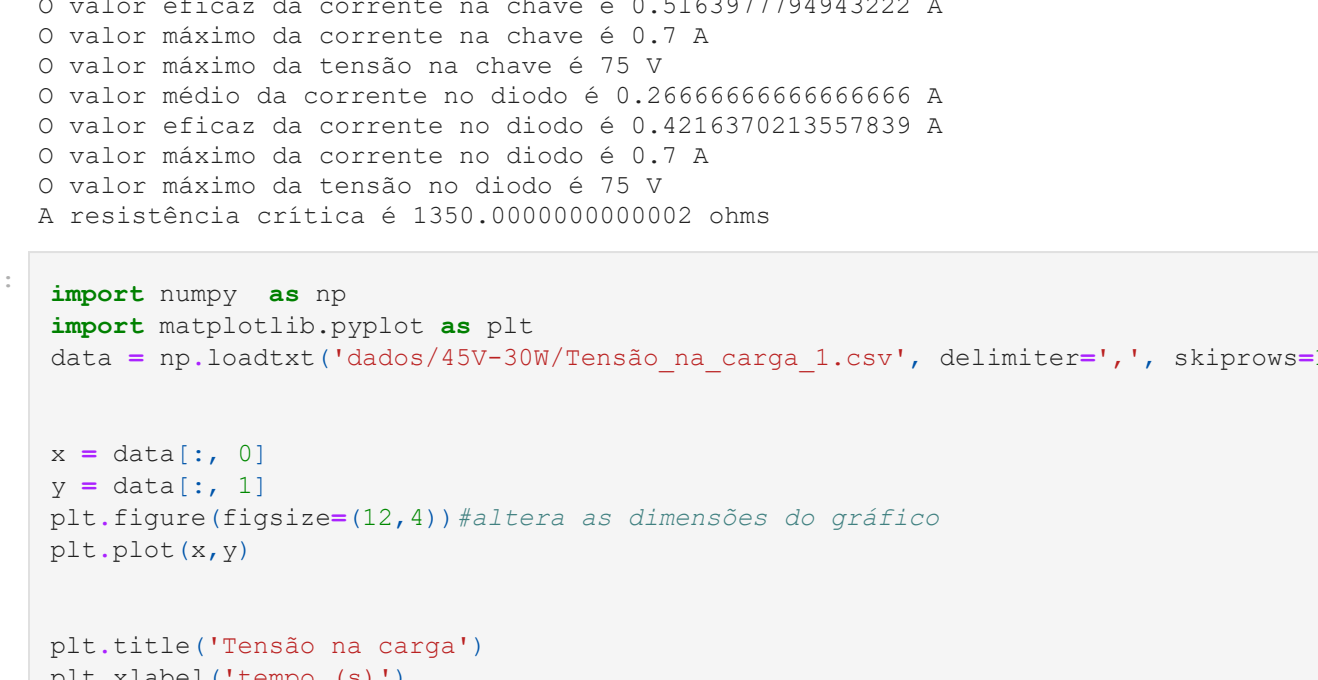


```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/PWM.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]#tempo
y = data[:, 1]#tensão sobre a chave
z = data[:, 2]#Vcon
g = data[:, 3]#Vramp
plt.figure(figsize=(16,8))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)
plt.plot(x,z)
plt.plot(x,g)

plt.title('PWM e a chave')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.legend(['tensão na chave', 'Vcon', 'Vramp'], loc = 'best', fontsize=10)
plt.show()
```



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/Tensoes_chave_diodo_indutor.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]#tempo
z = data[:, 2]#tensão no indutor
g = data[:, 3]#tensão sobre a chave
plt.figure(figsize=(12,8))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)
plt.plot(x,z)
plt.plot(x,g)

plt.title('Tensões na chave, diodo, indutor')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.legend(['diodo', 'indutor', 'chave'], loc = 'best')
plt.show()
```

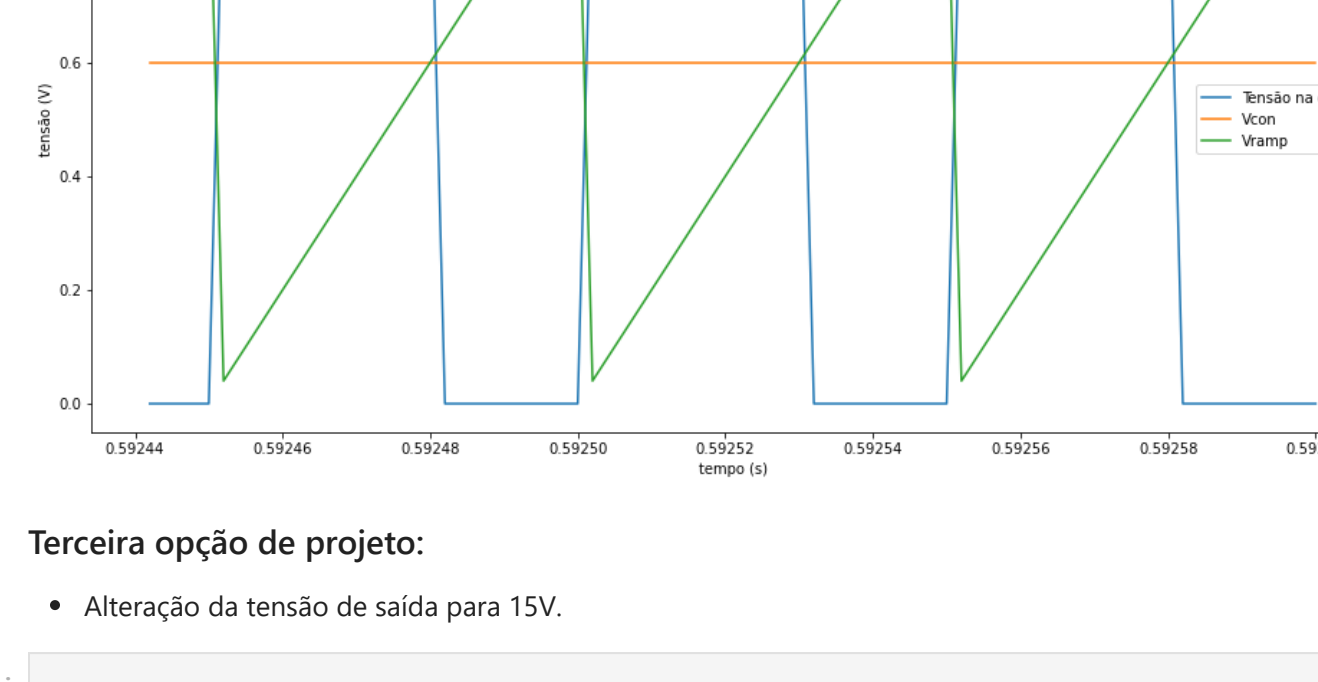


```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/30V-20W/corrente_entrada_e_na_carga.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
z = data[:, 2]
plt.figure(figsize=(12,4))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)
plt.plot(x,z)

plt.title('Corrente na entrada e na carga')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('Corrente (A)')
plt.legend(['Entrada', 'Carga'], loc = 'best')
plt.show()
```



Segunda opção de projeto:

- Alteração da tensão de saída para 45V.
- Alteração da potência para 30W.

```
Vin = 75
print("A tensão de entrada é", Vin, "V")
Vout2 = 45
print("A tensão de saída é", Vout2, "V")
Po2 = 30
print("A potência máxima de saída é", Po2, "W")
fs = 20000
print("A frequência de comutação é", fs, "Hz")
D2 = Vout2/Vin
print("A razão cíclica é", D2)
Io2 = Po2/Vout2
print("A corrente de saída é", Io2, "A")
delta_IL2 = 0.1*Io2
print("A ondulação de corrente no indutor é", delta_IL2, "A")
delta_Vc2 = 0.01*Vout2
print("A ondulação de tensão no capacitor é", delta_Vc2, "V")
Ro2 = (Vout2**2)/Po2
print("A resistência de carga é", Ro2, "ohms")
Co2 = delta_IL2/(8*fs*delta_Vc2)
print("O capacitor de saída é", Co2, "F")
Is_md2 = D2*Io2
print("O valor médio da corrente na chave é", Is_md2, "A")
Is_ef2 = (D2**0.5)*Io2
print("O valor eficaz da corrente na chave é", Is_ef2, "A")
Is_max2 = Io2 + delta_IL2/2
print("O valor máximo da corrente na chave é", Is_max2, "A")
Vs_max2 = Vin
print("O valor máximo da tensão na chave é", Vs_max2, "V")
Id_md2 = (1-D2)*Io2
print("O valor médio da corrente no diodo é", Id_md2, "A")
Id_ef2 = ((1-D2)**0.5)*Io2
print("O valor eficaz da corrente no diodo é", Id_ef2, "A")
Id_max2 = Io2 + delta_IL2/2
print("O valor máximo da corrente no diodo é", Id_max2, "A")
Vd_max2 = Vin
print("O valor máximo da tensão no diodo é", Vd_max2, "V")
Rcrit2 = 2*Io2*fs/(1-D2)
print("A resistência crítica é", Rcrit2, "ohms")
```

A tensão de entrada é 75 V
A tensão de saída é 45 V
A potência máxima de saída é 30 W
A frequência de comutação é 20000 Hz
A razão cíclica é 0.6
A corrente de saída é 0.6666666666666666 A
A ondulação de corrente no indutor é 0.06666666666666667 A
A ondulação de tensão no capacitor é 0.45 V
A resistência de carga é 67.5 ohms
O indutor de saída é 0.013500000000000002 H
O capacitor de saída é 9.259259259259259e-07 F
O valor médio da corrente na chave é 0.39999999999999997 A
O valor eficaz da corrente na chave é 0.59628479399999458 A
O valor máximo da corrente na chave é 0.7 A
O valor máximo da tensão na chave é 75 V
O valor médio da corrente no diodo é 0.26666666666666666 A
O valor eficaz da corrente no diodo é 0.4216370213557839 A
O valor máximo da corrente no diodo é 0.7 A
O valor máximo da tensão no diodo é 75 V
A resistência crítica é 1350.00000000000002 ohms

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/45V-30W/Tensão_na_carga_1.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
plt.figure(figsize=(12,4))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)

plt.title('Tensão na carga')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('Tensão (V)')
plt.legend(['Entrada'], loc = 'best')
plt.show()
```



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/45V-30W/Vcon_forma_de_onda_Vramp.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]#tempo
y = data[:, 1]#tensão sobre a chave
z = data[:, 2]#Vcon
g = data[:, 3]#Vramp
plt.figure(figsize=(16,8))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)
plt.plot(x,z)
plt.plot(x,g)

plt.title('PWM e forma de onda', fontsize=18)
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.legend(['Tensão na chave', 'Vcon', 'Vramp'], loc = 'best', fontsize=10)
plt.show()
```



Terceira opção de projeto:

- Alteração da tensão de saída para 15V.

```
Vin = 75
print("A tensão de entrada é", Vin, "V")
Vout3 = 15
print("A tensão de saída é", Vout3, "V")
Po = 20
print("A potência máxima de saída é", Po, "W")
fs = 20000
print("A frequência de comutação é", fs, "Hz")
D3 = Vout3/Vin
print("A razão cíclica é", D3)
Io3 = Po/Vout3
print("A corrente de saída é", Io3, "A")
delta_IL3 = 0.1*Io3
print("A ondulação de corrente no indutor é", delta_IL3, "A")
delta_Vc3 = 0.01*Vout3
print("A ondulação de tensão no capacitor é", delta_Vc3, "V")
Ro3 = (Vout3**2)/Po
print("A resistência de carga é", Ro3, "ohms")
Co3 = delta_IL3/(8*fs*delta_Vc3)
print("O capacitor de saída é", Co3, "F")
Is_md3 = D3*Io3
print("O valor médio da corrente na chave é", Is_md3, "A")
Is_ef3 = (D3**0.5)*Io3
print("O valor eficaz da corrente na chave é", Is_ef3, "A")
Is_max3 = Io3 + delta_IL3/2
print("O valor máximo da corrente na chave é", Is_max3, "A")
Vs_max3 = Vin
print("O valor máximo da tensão na chave é", Vs_max3, "V")
Id_md3 = (1-D3)*Io3
print("O valor médio da corrente no diodo é", Id_md3, "A")
Id_ef3 = ((1-D3)**0.5)*Io3
print("O valor eficaz da corrente no diodo é", Id_ef3, "A")
Id_max3 = Io3 + delta_IL3/2
print("O valor máximo da corrente no diodo é", Id_max3, "A")
Vd_max3 = Vin
print("O valor máximo da tensão no diodo é", Vd_max3, "V")
Rcrit3 = 2*Io3*fs/(1-D3)
print("A resistência crítica é", Rcrit3, "ohms")
```

A tensão de entrada é 75 V
A tensão de saída é 15 V
A potência máxima de saída é 20 W
A frequência de comutação é 20000 Hz
A razão cíclica é 0.2
A corrente de saída é 1.3333333333333333 A
A ondulação de corrente no indutor é 0.13333333333333333 A
A ondulação de tensão no capacitor é 0.15 V
O indutor de saída é 5.555555555555555e-06 F
O capacitor de saída é 5.555555555555555e-06 F
O valor médio da corrente na chave é 0.26666666666666666 A
O valor eficaz da corrente na chave é 0.59628479399999458 A
O valor máximo da corrente na chave é 0.4 A
O valor máximo da tensão na chave é 75 V
O valor médio da corrente no diodo é 0.06666666666666667 A
O valor eficaz da corrente no diodo é 0.10666666666666667 A
O valor máximo da corrente no diodo é 0.7 A
O valor máximo da tensão no diodo é 75 V
A resistência crítica é 225.00000000000003 ohms

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/15V-20W/Tensão_na_carga_1.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]
y = data[:, 1]
plt.figure(figsize=(12,4))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)

plt.title('Tensão na carga')
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('Tensão (V)')
plt.legend(['Entrada'], loc = 'best')
plt.show()
```



```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.pyplot as plt

data = np.loadtxt('dados/15V-20W/Vcon_forma_de_onda_Vramp.csv', delimiter=',', skiprows=1)

x = data[:, 0]#tempo
y = data[:, 1]#tensão sobre a chave
z = data[:, 2]#Vcon
g = data[:, 3]#Vramp
plt.figure(figsize=(16,8))#altera as dimensões do gráfico
plt.plot(x,y)
plt.plot(x,z)
plt.plot(x,g)

plt.title('PWM e forma de onda', fontsize=18)
plt.xlabel('tempo (s)')
plt.ylabel('tensão (V)')
plt.legend(['Tensão na chave', 'Vcon', 'Vramp'], loc = 'best', fontsize=10)
plt.show()
```

