

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

AMANDA JACOBS TAVARES

ELETRÔNICA DE POTÊNCIA - CIRCUITO 1

UNEMAT – Campus de Sinop

2025/2

1 INTRODUÇÃO

O circuito analisado neste trabalho apresenta um capacitor inicialmente carregado com 900 V e descarregado rapidamente através de uma bobina. Quando o interruptor S é fechado, a energia armazenada no capacitor é transferida para o indutor, gerando um pulso de corrente de alta intensidade. O diodo e o resistor em paralelo controlam a dissipação da energia remanescente e impedem a inversão de polaridade no capacitor. A compreensão desse comportamento transitório é fundamental para o dimensionamento do circuito e para a análise dos pulsos gerados. Para isso, foi realizada uma simulação numérica em Python, permitindo observar a evolução da corrente no indutor e da tensão no capacitor ao longo do tempo.

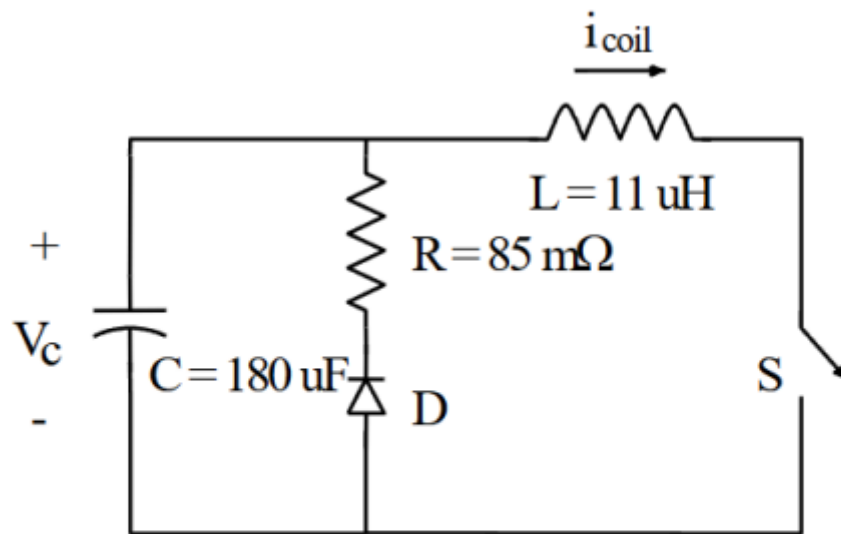
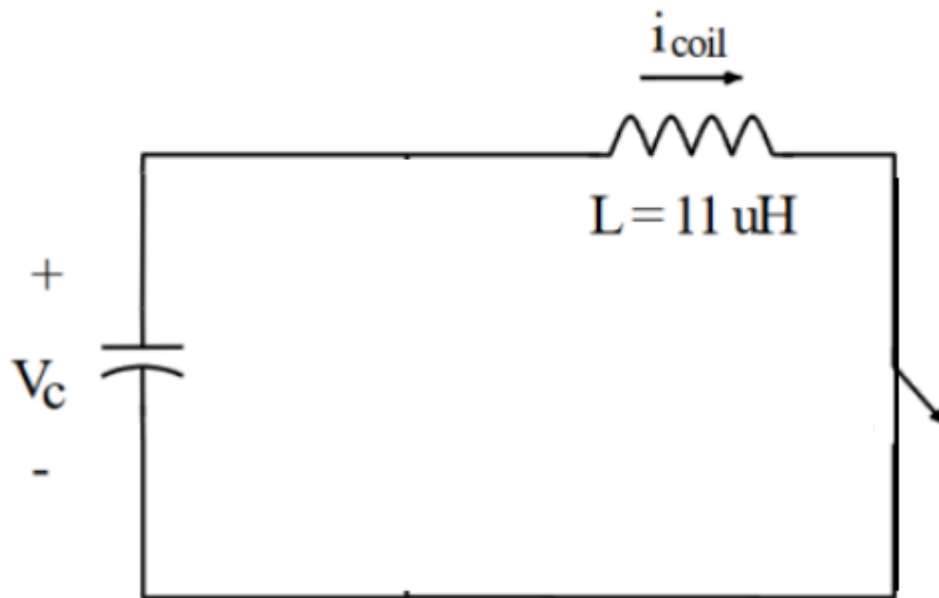


Figura 1 - Esquema do circuito do estimulador magnético. A tensão do capacitor V_c é pré-carregada para 900 V quando o interruptor S é fechado.

2 ETAPAS

ETAPA 1 (CAPACITOR E INDUTOR EM SÉRIE):



Etapa 1: L e C em série

$$i_C = C \frac{dV_C}{dt}$$

$$i_C = I_L$$

$$C \frac{dV_C}{dt} = I_L$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{I_L}{C}$$

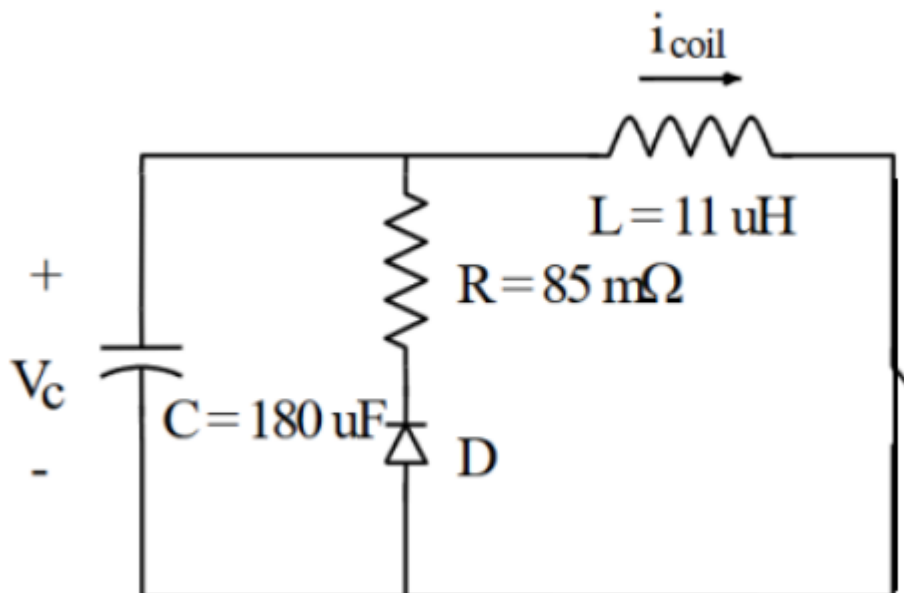
* Como a corrente I_L está desconhecida o capacitor adotamos o sentido oposto ao positivo da tensão *

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{-I_L}{C}$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt}$$
$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_C}{L}$$

```
# Diodo desligado (C e L em série)
def serie(t, y):
    Vc, Il = y # oq quero descobrir
    dVc_dt = -Il / C # da formula da corrente do capacitor
    dIl_dt = Vc / L # da formula da tensão do indutor
    return [dVc_dt, dIl_dt]
```

ETAPA 2 (RESISTOR, CAPACITOR E INDUTOR EM PARALELO):



Etapa 2: R, L e C em paralelo

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_L}{L}$$

$$V_L = V_C - V_R$$

$$V_R = R \cdot I_L$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_C - R I_L}{L}$$

$$i_C + i_L + i_R = 0$$

$$i_C = -(i_L + i_R)$$

$$i_C = -(I_L + V_C/R)$$

$$i_C = C \frac{dV_C}{dt}$$

$$\frac{dV_C}{dt} = \frac{-(I_L + V_C/R)}{C}$$

```
# Diodo ligado (C, L e R em paralelo)
```

```
def paralelo(t, y):
```

```
    Vc, Il = y # oq quero descobrir
```

```
    dIl_dt = (Vc - R * Il) / L # corrente na bobina com resistor
```

```
    dVc_dt = -(Il + Vc / R) / C # corrente do capacitor se divide em Il e Vc/R
```

```
    return [dVc_dt, dIl_dt]
```

3 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,
- **solve_ivp (SciPy)** – responsável pela integração numérica das equações diferenciais.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import solve_ivp
```

PARÂMETROS UTILIZADOS

```
# Parâmetros do circuito
C = 180e-6 # Capacitor (180 uF)
L = 11e-6 # Indutor (11 uH)
R = 85e-3 # Resistor (85 mΩ)
Vc0 = 900 # Tensão inicial do capacitor (900 V)
Il0 = 0 # Corrente inicial no indutor (0 A)
```

MODELAGEM MATEMÁTICA PARA VERIFICAÇÃO

```
# Verifica a tensão para definir se o diodo liga ou não
def circuito(t, y):
    Vc, Il = y

    if Vc > 0: # enquanto Vc > 0 - diodo desligado
        return serie(t, y)
    else: # quando Vc <= 0 - diodo liga
        return paralelo(t, y)
```

Onde:

- **serie(t, y)** aplica as equações da fase LC,
- **paralelo(t, y)** aplica as equações da fase com diodo conduzindo.

A mudança entre as fases ocorre automaticamente conforme a tensão no capacitor cruza zero.

CONDIÇÕES INICIAIS E VETOR TEMPO

```
# Condições iniciais
y0 = [Vc0, I10]

# Tempo de simulação
tinicial = 0.0
tfinal = 400e-6
t_intervalo = np.linspace(tinicial, tfinal, 4000)
```

O capacitor é inicialmente carregado com 900 V.

A simulação cobre um intervalo de 0 a 400 μ s.

O vetor **t_intervalo** contém 4.000 amostras igualmente espaçadas, garantindo boa resolução nos gráficos.

SOLUÇÃO

A função **solve_ivp** foi utilizada da seguinte forma:

```
# Resolver o sistema
sol = solve_ivp(circuito, [tinicial, tfinal], y0, t_eval=t_intervalo)
t = sol.t
Vc = sol.y[0]
I1 = sol.y[1]
```

O solver retorna:

- **sol.y[0]** – vetor contendo a evolução da tensão do capacitor
- **sol.y[1]** – vetor com a corrente no indutor

Esses valores foram então convertidos e plotados.

4 RESULTADOS

Dois gráficos foram gerados:

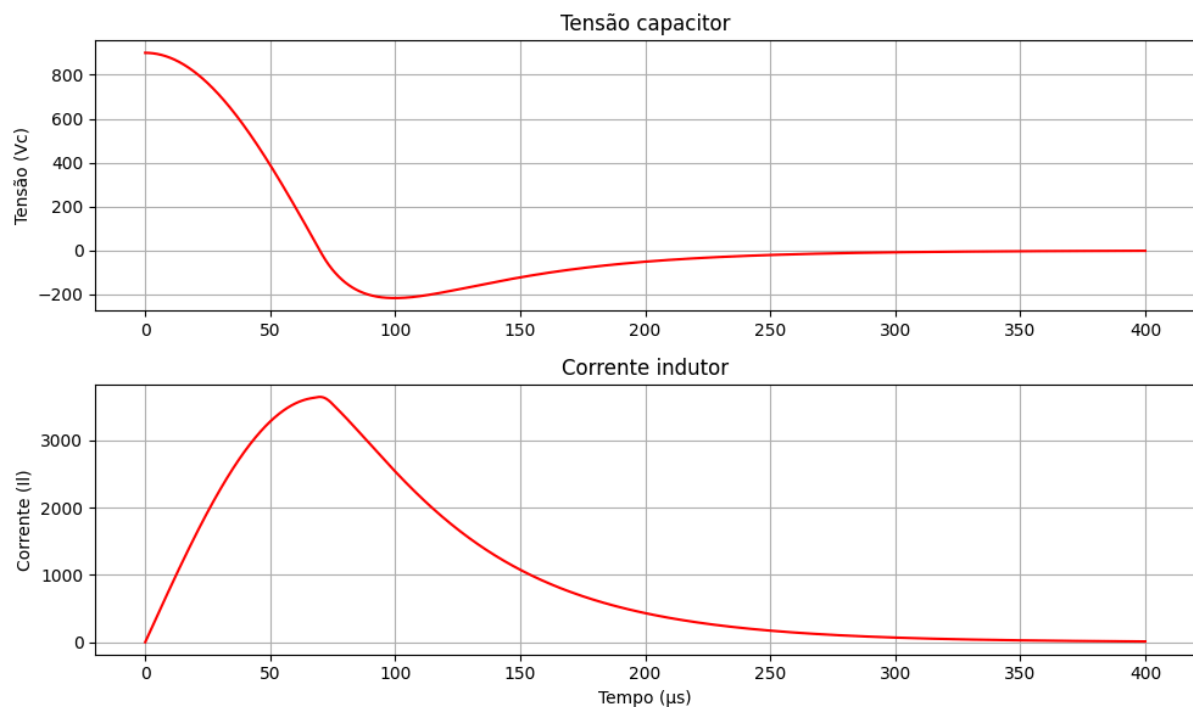
1. **Tensão no capacitor em função do tempo,**
2. **Corrente no indutor ao longo do mesmo intervalo.**

O tempo foi convertido para microssegundos multiplicando-se o vetor por 10^6 , facilitando a interpretação.

Os principais resultados observados foram:

CORRENTE MÁXIMA NO INDUTOR = 3,5KA

TENSÃO MÍNIMA NO CAPACITOR = -200V



5 ANÁLISE

A tensão do capacitor começa em 900V e vai descarregando. A corrente no indutor começa no zero e vai crescendo à medida que o capacitor descarrega. Após atingir o pico, a corrente começa a diminuir à medida que o indutor devolve energia ao circuito. Esse pico de corrente acontece exatamente no instante em que a tensão do capacitor chega a zero, pois, nesse momento, toda a energia que estava armazenada no capacitor já foi transferida para o indutor. Logo após esse ponto, o indutor começa a devolver energia ao circuito, o que faz a tensão do capacitor ficar ligeiramente negativa, atingindo aproximadamente -200 V . Esse comportamento ocorre porque, dentro do modelo matemático utilizado, o diodo não limita completamente a tensão, permitindo essa pequena inversão de polaridade. Em seguida, com o diodo conduzindo, o resistor passa a dissipar a energia remanescente e a tensão negativa vai diminuindo até se estabilizar novamente em zero, indicando que o sistema perdeu toda a energia armazenada e alcançou o estado final.

