

CIRCUITOS ELÉTRICOS II

Trabalho computacional:

Circuitos desequilibrados ligação estrela

Prof.: Wellington Maycon Santos Bernardes

Alunos: Vilson Camilo Borges de Moraes Neves - 12011EAU020
Leonardo Silva Vieira - 11821EEL008

Uberlândia
Outubro, 2021

Conteúdo

1	Objetivos	1
2	Introdução Teórica	2
2.1	Carga em estrela com neutro conectado	2
2.2	Carga em estrela com neutro isolado	3
2.3	Escolha dos parâmetros matemáticos para concepção dos gráficos	4
2.4	Programação em Python utilizando as bibliotecas Matplotlib e Numpy	4
3	Descrição do funcionamneto e exemplos	5
3.1	Carga em estrela com neutro conectado (circuito de 4 fios)	5
3.2	Carga em estrela sem neutro conectado (circuito de 3 fios)	10
4	Bibliografia	13

1 Objetivos

Aplicação de ferramentas computacionais (Python) adjunto a teoria de Circuitos desequilibrados aplicado a configuração estrela. Ideia do programa é retornar com valores de tensão, corrente e suas fases

2 Introdução Teórica

De modo geral um sistema trifásico desequilibrado consiste basicamente quando a fonte possui um desequilíbrio próprio ou das cargas as impedâncias(Z), sempre quando trabalhamos com circuitos trifásicos, o objetivo é manter esse circuito equilibrado o qmáximo possível, nesse documento mostraremos um programa que irá realizar cálculos e simulações desses circuitos.

2.1 Carga em estrela com neutro conectado

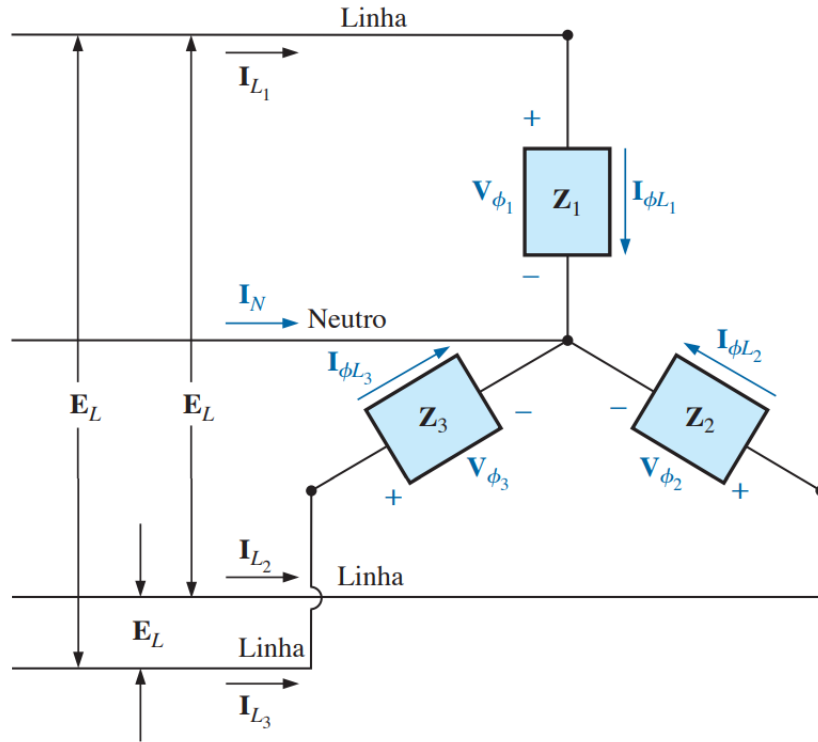


Figura 1: Sistema 4 fios em Y

Em sistemas em Y com 4 fios considera que a impedância do fio neutro igual a zero logo $Z_N = 0$ e $V_{N'N} = 0$, então teremos que as correntes:

$$I_{\Phi 1} = \frac{V_{\phi 1}}{Z_1}$$

$$I_{\Phi 2} = \frac{V_{\phi 2}}{Z_2}$$

$$I_{\Phi 3} = \frac{V_{\phi 3}}{Z_3}$$

o fio neutro sendo comum a todas cargas e a fonte poderemos afirma que:

$$I_N = -(I_A + I_B + I_C)$$

2.2 Carga em estrela com neutro isolado

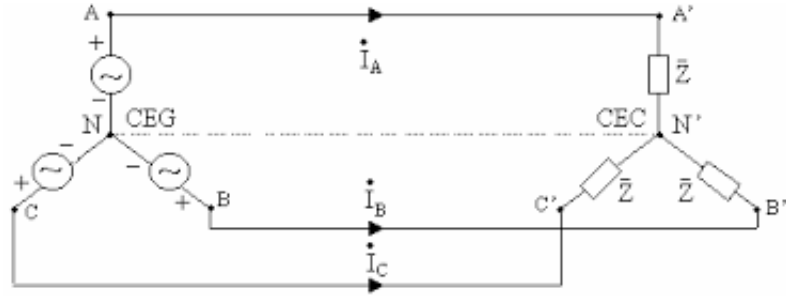


Figura 2: Sistema 3 fios em Y

Em sistemas desequilibrados a sequência das fases se faz muito importante uma vez que muda a sequência de fases, ocorrerá mudanças no valor do deslocamento do neutro, com isso mudará também as tensões, correntes e potências de cada fase.

Para encontrar as correntes nesse circuito, precisamos resolver as equações de malhas que geram nesse circuito e chegamos no seguinte sistema:

$$V_b - V_a + I_1(X_a) + (I_1 - I_2)X_b = 0$$

$$V_c - V_b - (I_1 - I_2)X_b + (I_2)X_c = 0$$

Resolvendo o sistema chegamos a I_1 e I_2 .

Podemos calcular as correntes de fase da seguinte forma:

$$I_a = I_1$$

$$I_b = I_2 - I_1$$

$$I_c = -I_2$$

Podemos ainda calcular as potências em cada carga da seguinte forma:

$$S = V * I^* = P + Qj$$

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$fp = \frac{P}{S}$$

2.3 Escolha dos parâmetros matemáticos para concepção dos gráficos

Para conseguir plotar os gráficos das tensões correntes e potencias, precisamos analisar como essas grandezas se comportam matematicamente para conseguir plotá-los ao longo do tempo. Para tanto, temos que a corrente e a tensão tem como funções horárias definidas abaixo:

$$V_{a,b,c} = V_p * \sin(\omega t + \theta)[v]$$

$$I_{a,b,c} = I_p * \sin(\omega t + \theta)[A]$$

Com essas equações podemos verificar a forma de onda da tensão e corrente variando ao longo do tempo. Podemos usá-las para também encontrar a forma de onda das potências uma vez que se calcula sendo V.I.

$$P_{a,b,c} = P * \sin(\omega t)[w]$$

O mesmo valerá para potência ativa, reativa e aparente.

2.4 Programação em Python utilizando as bibliotecas Matplotlib e Numpy

Usando a linguagem de programação Python, temos como resultado um programa que irá realizar operações matemáticas direcionadas a resolução de circuitos elétricos trifásicos, sendo assim, após fornecer ao software valores das cargas e de frequência da fonte, também se faz necessário fornecer a situação se é um caso de neutro isolado ou conectado, com essas informações todas passadas ao algoritmo, apresentará um gráfico com os valores de correntes e tensão em cada uma das cargas,

A realização dos cálculos matemáticos foi feita de maneira extremamente simples utilizando a biblioteca Numpy, e utilizamos a biblioteca Matplotlib para a plotagem dos resultados na forma de gráficos extremamente profissionais. Todas as ferramentas utilizadas aqui são open source.

3 Descrição do funcionamento e exemplos

Com o ambiente de desenvolvimento do Python criado e com as bibliotecas instaladas, podemos rodar o código e visualizar o seu funcionamento para a resolução de questões. A princípio, um menu é aberto solicitando ao usuário que escolha uma das alternativas podendo resolver circuitos de 3 ou 4 fios e podendo também abrir esse relatório para sua visualização.

Resolvemos um exemplo para cada tipo de circuito com os parâmetros da imagem abaixo que é um exercício do livro Circuitos elétricos do Sadiku. Sabemos que esse é um circuito com neutro isolado (3 fios), porém utilizaremos esse exemplo calculado para circuito de 3 e 4 fios para analisar os resultados. No livro pede apenas o cálculo das correntes de linha, porém vamos calcular também as potências complexas e o fator de potência, total e em cada fase do sistema.

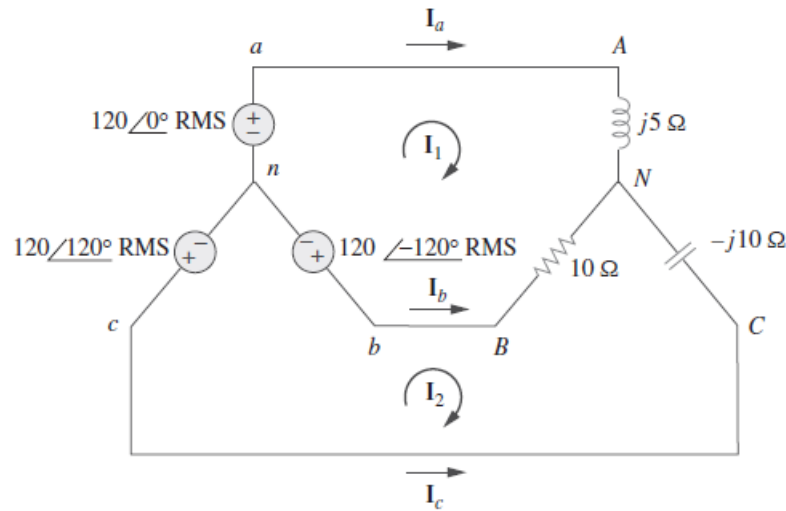


Figura 3: Circuito utilizado para os cálculos. Fonte: Circuitos elétricos Sadiku

3.1 Carga em estrela com neutro conectado (circuito de 4 fios)

Entramos com os valores das impedâncias e também as tensões digitando de acordo com a figura 4, definimos também a frequência da rede que é 60hz e também o número de ciclos que serão apresentados. Após colocar os valores via terminal, obtemos os seguintes resultados:

```

Digite a parte real de za ->>> 0
Digite a parte imaginária de za ->>> 5
Digite a parte real de zb ->>> 10
Digite a parte imaginária de zb ->>> 0
Digite a parte real de zc ->>> 0
Digite a parte imaginária de zc ->>> -10

Digite o modulo de Va ->>>120
Digite a fase de Va ->>>0
Digite o modulo de Vb ->>> 120
Digite a fase de Vb ->>>-120
Digite o modulo de Vc ->>> 120
Digite a fase de Vc ->>>120

Digite a frequencia da fonte ->>> 60

Digite o numero de ciclos dos graficos ->>> 3

```

Figura 4: Valores digitados

```

>>>>RESULTADOS<<<<
ou ia: -24jA,24.0 <-90.00A
ib: (-5.99999999999997-10.392304845413264j)A, ou 11.99999999999998 <-119.9999999999999A
ic: (-10.392304845413264-5.99999999999997j)A, ou 11.99999999999998 <-150.0000000000003A
in: (16.39230484541326+40.392304845413264j)A, ou 43.59181057113543 <67.91133691901308A

<Potências complexas/>
Sa: 2880jVA
Onde: Potência ativa = 0.0w
Potência reativa = 2880.0Va

E, fator de potencia= 0.0

Sb: (1439.999999999995+1.1368683772161603e-13j)VA
Onde: Potência ativa = 1439.999999999995w
Potência reativa = 1.1368683772161603e-13Va

E, fator de potencia= 1.0

Sc: (-1.1368683772161603e-13-1439.999999999995j)VA
Onde: Potência ativa = -1.1368683772161603e-13w
Potência reativa = -1439.999999999995Va

E, fator de potencia= -7.894919286223338e-17

ST: (1439.999999999995+1440.0000000000005j)VA
Onde: Potência ativa total = 1439.999999999995w
Potência reativa total = 1440.0000000000005VAq

E, fator de potencia= 0.7071067811865472

```

Figura 5: Resultados circuito 4 fios

Além dos valores calculados, o programa também faz a plotagem dos gráficos das tensões, correntes e potências do circuito.

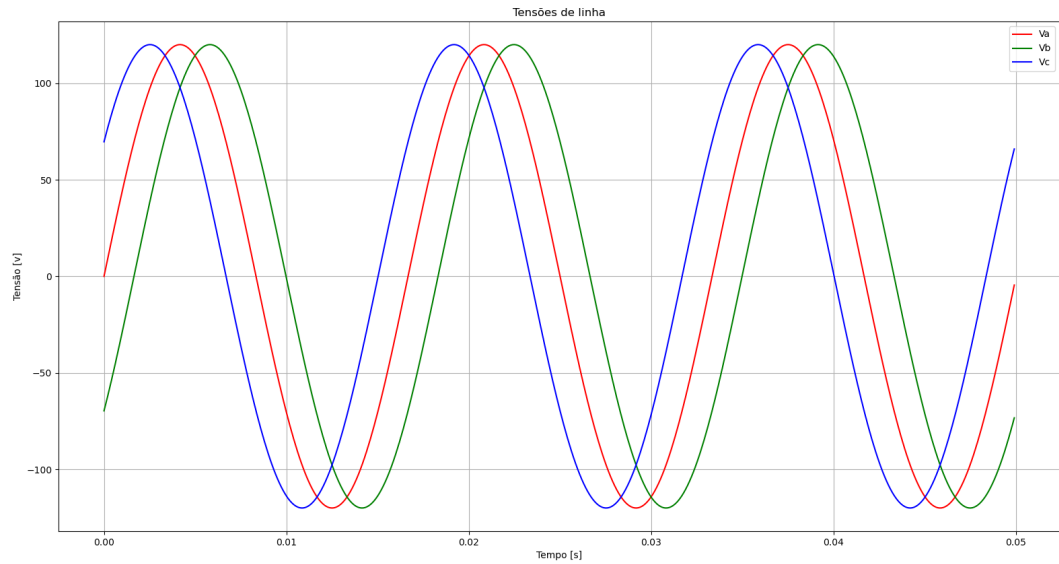


Figura 6: Tensões de linha

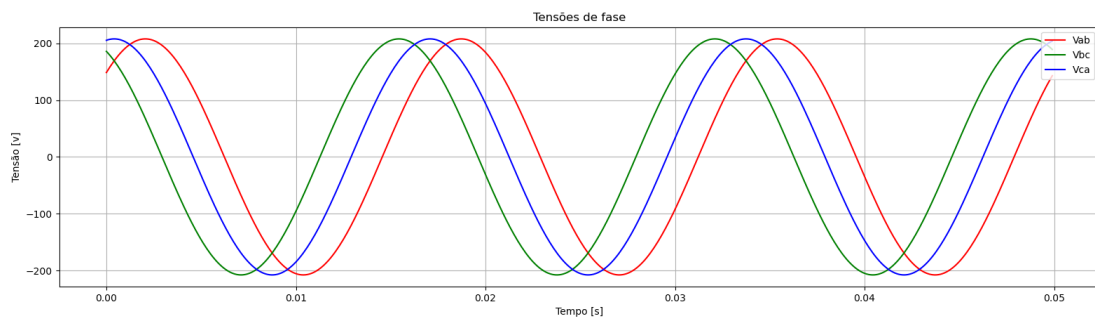


Figura 7: tensões de fase

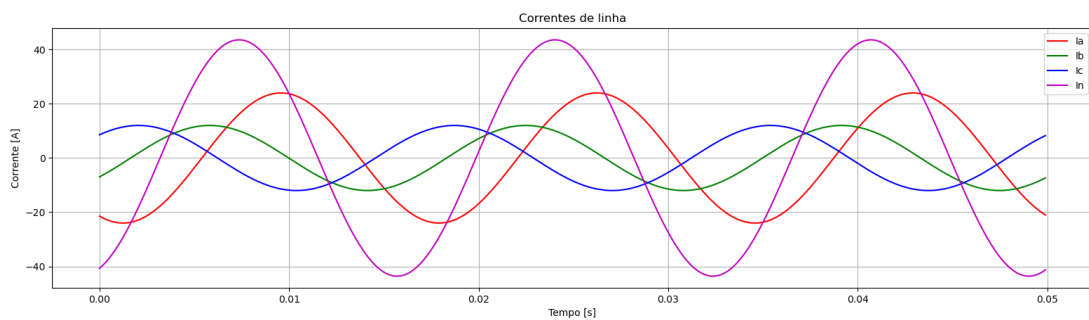


Figura 8: Correntes de linha

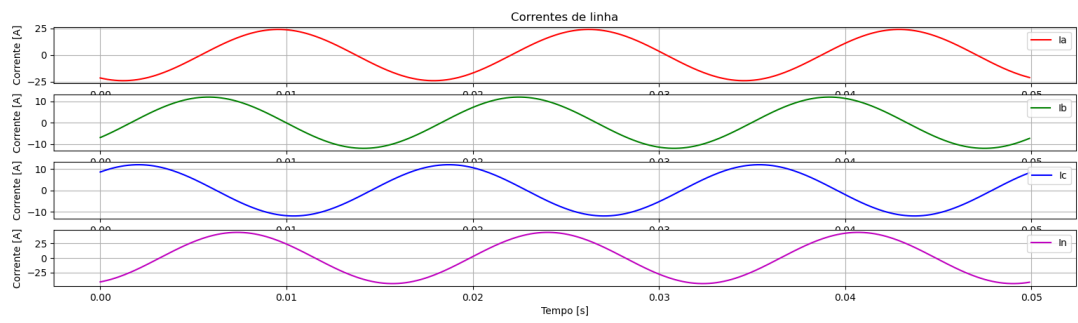


Figura 9: Correntes de linha

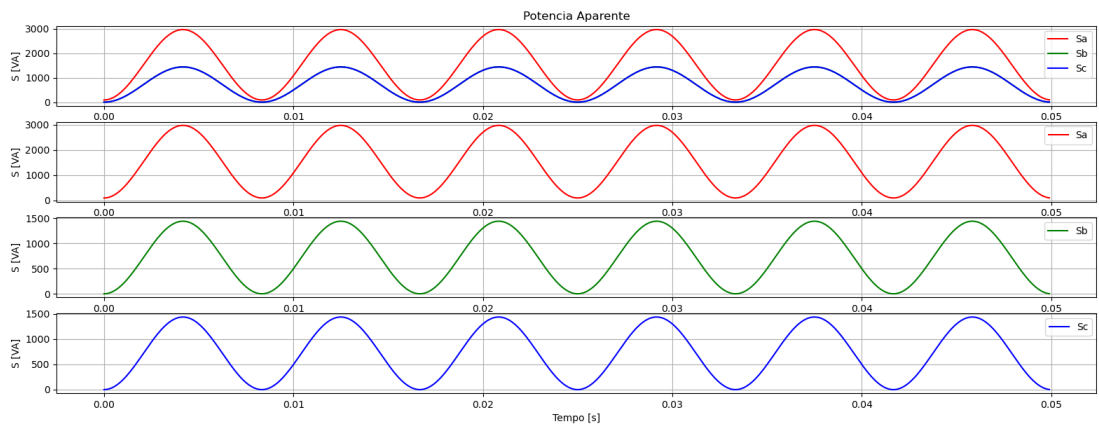


Figura 10: Potencia aparente

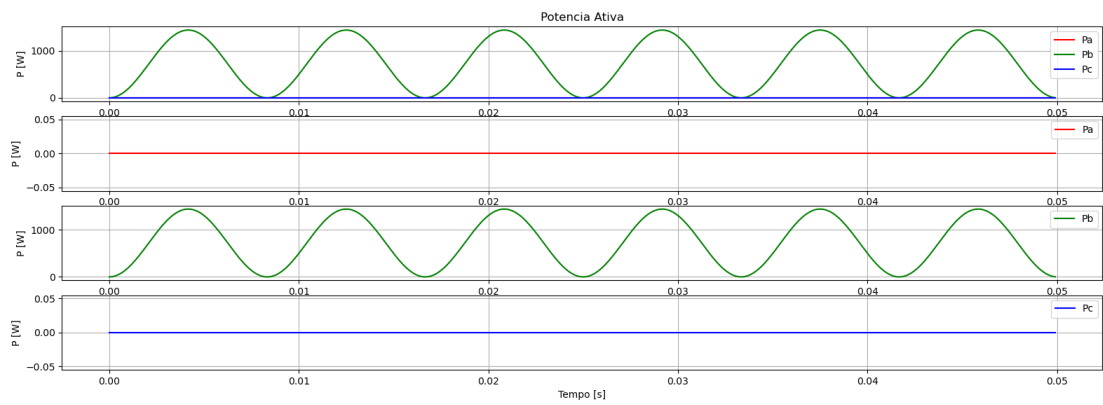


Figura 11: Potencia ativa

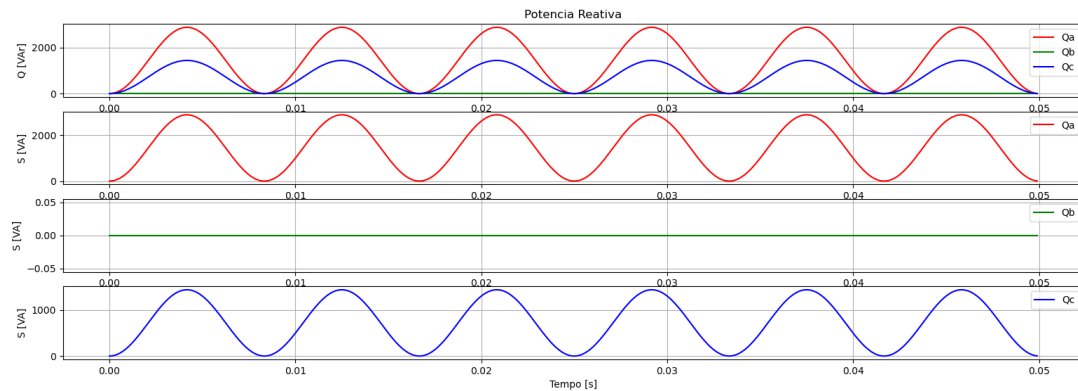


Figura 12: Potencia reativa

Podemos observar os gráficos e verificar o seu funcionamento, se olharmos as potências ativas, vamos perceber que só tem na fase b, o que faz sentido, pois é na fase b que temos uma carga resistiva. O mesmo ocorre com a potência reativa.

3.2 Carga em estrela sem neutro conectado (circuito de 3 fios)

Para análise com circuito de 3 fios, utilizamos os mesmos parâmetros do exercício indicado na figura 3, abaixo segue os resultados e os gráficos plotados para esse exemplo:

```
Digite a parte real de za ->>> 0
Digite a parte imaginária de za ->>> 5
Digite a parte real de zb ->>> 10
Digite a parte imaginária de zb ->>> 0
Digite a parte real de zc ->>> 0
Digite a parte imaginária de zc ->>> -10

Digite o modulo de Va ->>>120
Digite a fase de Va ->>>0
Digite o modulo de Vb ->>> 120
Digite a fase de Vb ->>>-120
Digite o modulo de Vc ->>> 120
Digite a fase de Vc ->>>120

Digite a frecuencia da fonte ->>> 60

Digite o numero de ciclos dos graficos ->>> 3
```

Figura 13: Valores digitados

```
>>>RESULTADOS<<<<
ia: [56.78460969+0.j]A, ou [56.78460969] <[0.]A
ib: [-10.+10.j]A, ou [25.45584412] <[135.]A
ic: [-38.78460969-18.j]A, ou [42.75799281] <[-155.10390936]A
in: [-0.-0.j]A, ou [0.] <[-180.]A

<Potências complexas/>
Sa: [0.+16122.4594887j]VA
Onde: Potência ativa = [0.]W
E, Potência reativa = [16122.4594887]Var

E, fator de potencia= [0.]

Sb: [6480.+0.j]VA
Onde: Potência ativa = [6480.]W
E, Potência reativa = [0.]Var

E, fator de potencia= [1.]

Sc: [0.-18282.4594887j]VA
Onde: Potência ativa = [0.]W
E, Potência reativa = [-18282.4594887]Var

E, fator de potencia= [0.]

ST: [6480.-2160.j]VA
Onde: Potência ativa total = [6480.]W
Potência reativa total = [-2160.]Varq

E, fator de potencia= [0.9486833]
```

Figura 14: Resultados circuito 4 fios

Nas figuras 17 e 18 podemos perceber que ao tentar calcular a corrente no neutro para o circuito com 3 fios, o resultado é zero.

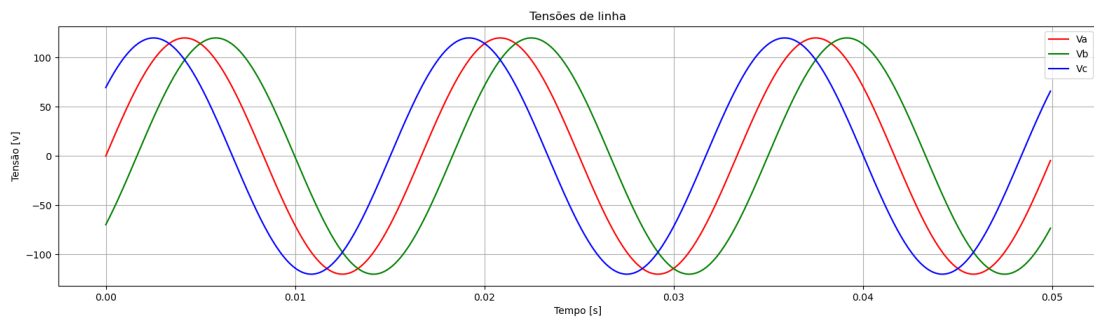


Figura 15: Tensões de linha

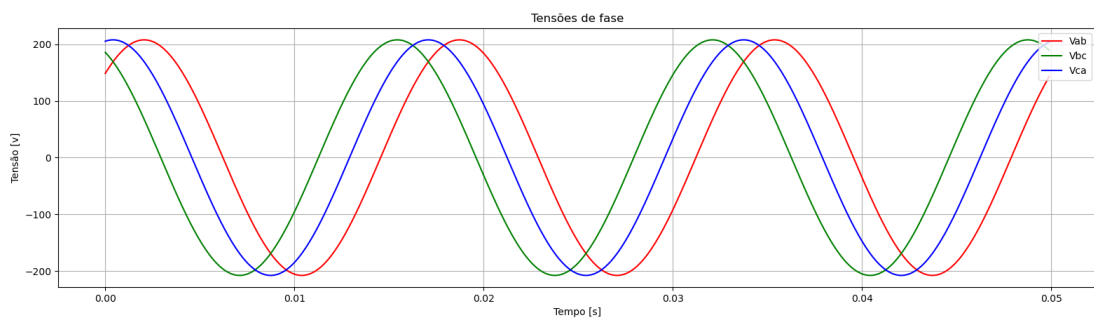


Figura 16: Tensões de fase

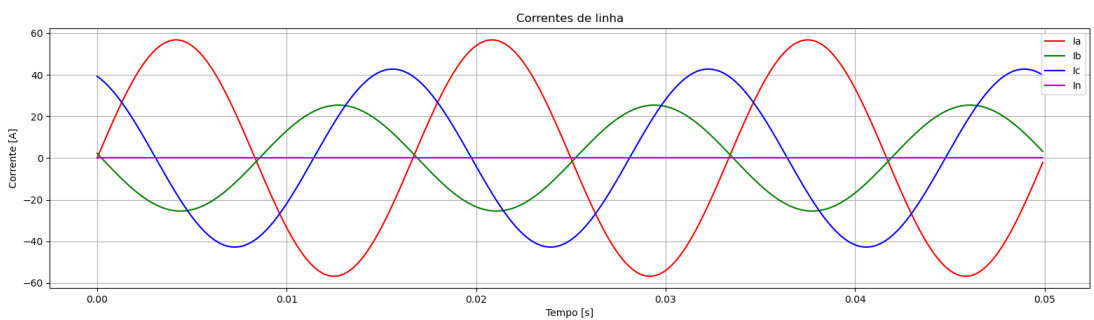


Figura 17: Correntes de linha

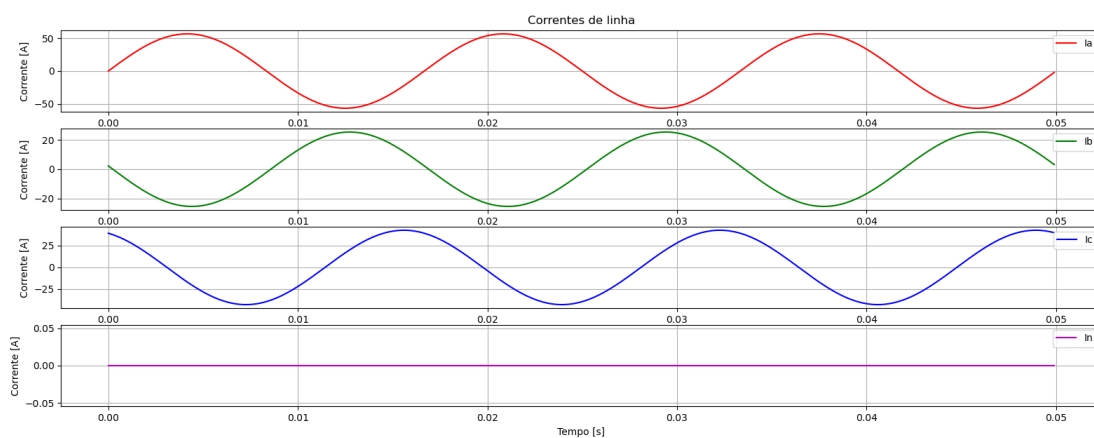


Figura 18: Correntes de linha

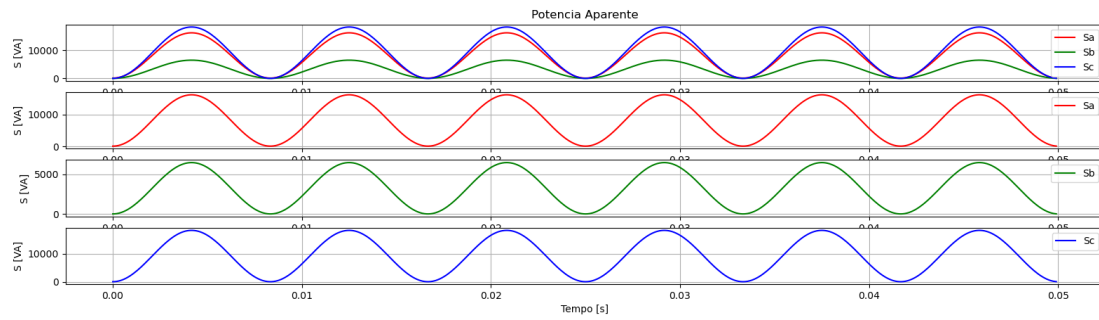


Figura 19: Potencia aparente

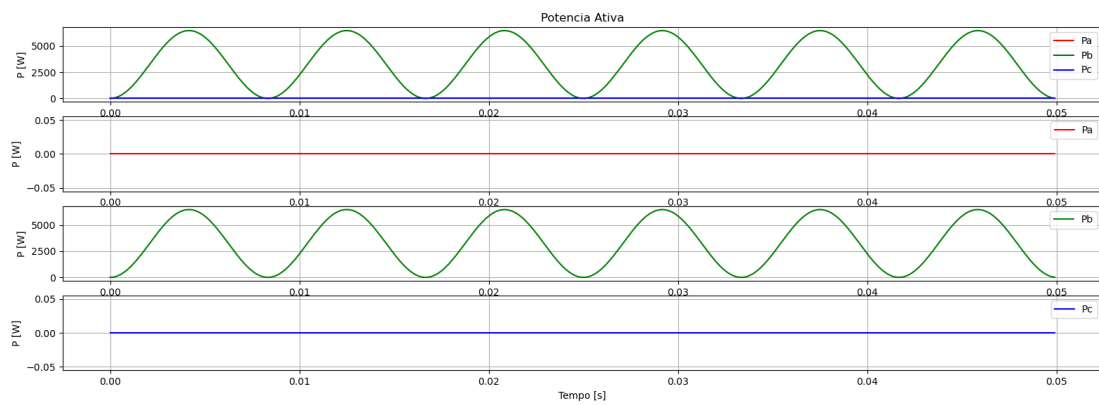


Figura 20: Potencia ativa

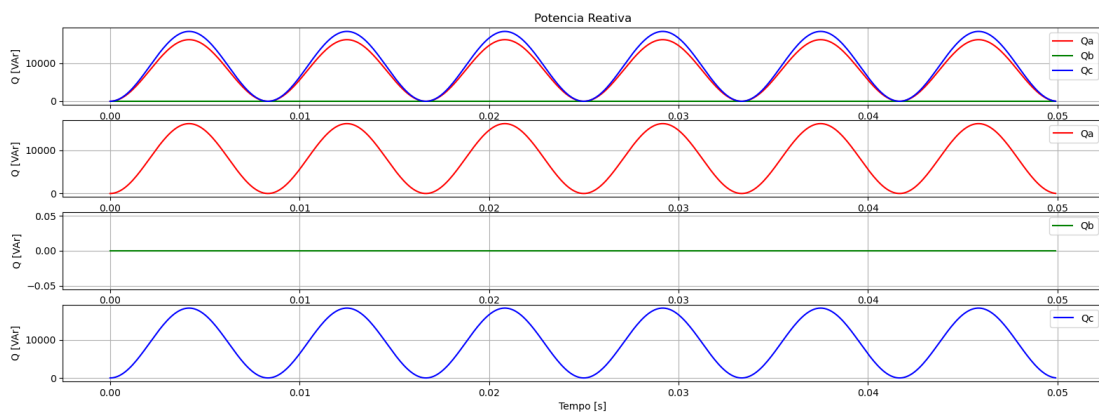


Figura 21: Potencia reativa

Por fim, temos os resultados calculados pelo código criado e também temos as formas de onda, tornando o trabalho de realizar os cálculos um pouco mais simples utilizando uma linguagem de programação.

4 Bibliografia

1. Matplotlib - Biblioteca para criação de gráficos em Python Online: matplotlib.org
2. Numpy - Biblioteca para cálculos matemáticos em Python Online: numpy.org
3. ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew NO. Fundamentos de circuitos elétricos (3.ed, São Paulo, 2008).
4. BOYLESTAD, R.L. Introdução à Análise de Circuitos (12.ed, São Paulo, 2012).