

**Vitor Amadeu Souza**

**Fundamentos e Aplicações dos**

# **Sistemas Elétricos de Potência**

**Parte XXI**

© 2024 by Cerne Tecnologia e Treinamento Ltda.

© 2024 by Vitor Amadeu Souza

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem autorização prévia e escrita de **Cerne Tecnologia e Treinamento Ltda.** Este livro publica nomes comerciais e marcas registradas de produtos pertencentes a diversas companhias. O editor utiliza as marcas somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários das marcas, sem nenhuma intenção de atingir seus direitos.

**Dezembro de 2024**

Direitos reservados por:

Cerne Tecnologia e Treinamento Ltda

*Produção: Cerne Tecnologia e Treinamento*

*E-mail da Empresa: cerne@cerne-tec.com.br*

*Home Page: www.cerne-tec.com.br.com.br*

*Atendimento ao Consumidor: sac@cerne-tec.com.br*

*Contato com o Autor: vitor@cerne-tec.com.br*



**FEITO NO BRASIL**

*“A vantagem de ter péssima memória é divertir-se muitas vezes com as mesmas coisas boas como se fosse a primeira vez.”*

**Friedrich Nietzsche**

## **Cerne Tecnologia**

A Cerne Tecnologia tem uma equipe preparada para desenvolvimento de projetos elétricos, eletrônicos, automação em diversas áreas: Médica, Entretenimento, Industrial, Robótica, Científica, Automobilística, Aeronáutica, etc. Trabalhamos com tecnologia microcontrolada usando o PIC, ARM, AVR, 8051, dsPIC, PIC24, PIC32 além do Arduino, Raspberry, Beaglebone etc. Desenvolvemos o projeto desde sua concepção até a entrega do produto final, passando pelas etapas de esquema elétrico, protótipo e desenvolvimento de circuito impresso.

Desenvolvemos aplicativos para smartphones/tablets Android e iOS e no desenvolvimento de softwares a nível PC para plataforma Windows, usando ferramentas como o Visual Basic, C# e C++.

Atuamos na parte de montagem de placas, onde podemos fornecer ambos os serviços de desenvolvimento de projetos e produção ou apenas um destes.

Desenvolvemos esquemas elétricos e layout de PCI, tanto em tecnologia convencional como SMD.

Temos a flexibilidade de customizar um de nossos produtos, de modo a atender a uma necessidade específica do cliente, tornando o custo de desenvolvimento menor se comparado a construção de um projeto desde a sua fase inicial.

Desenvolvemos e fornecemos kits didáticos para diversos microcontroladores além de apostilas, livros e e-books.

Na hora de desenvolver um projeto ou equipar seu laboratório não hesite em nos contatar. Entre em contato conosco através do endereço [cerne-tec.com.br](http://cerne-tec.com.br) para obter mais informações.



**[cerne-tec.com.br](http://cerne-tec.com.br)**

# Sumário

<b>Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo I – Componentes Simétricos.....</b>	<b>7</b>
1. Introdução.....	7

# Introdução

O estudo dos Sistemas Elétricos de Potência é fundamental para a compreensão, operação e desenvolvimento das redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, que são essenciais para a infraestrutura moderna. Este livro tem como objetivo fornecer uma base sólida sobre os principais conceitos, métodos e aplicações envolvidas no planejamento, análise e operação de sistemas de potência. A abordagem busca integrar teoria e prática, com foco nos conceitos fundamentais e nas técnicas amplamente utilizadas na engenharia elétrica.

Este livro é estruturado para atender tanto os estudantes que estão começando a sua jornada na engenharia elétrica quanto os profissionais que buscam aprimorar seus conhecimentos e aplicar os métodos discutidos em cenários práticos. Ao longo do conteúdo, procuramos combinar uma abordagem técnica aprofundada com exemplos, exercícios práticos e ferramentas computacionais, possibilitando uma compreensão completa e aplicável dos sistemas elétricos de potência.

Observe o sumário para verificar os temas abordados em cada parte da série.

# Capítulo I

## Componentes Simétricos

### 1. Introdução

Os Componentes Simétricos são uma técnica amplamente utilizada em sistemas de potência para analisar e diagnosticar situações de assimetria, como falhas em linhas de transmissão, redes de distribuição e equipamentos elétricos. Foi desenvolvida por Charles L. Fortescue em 1918.

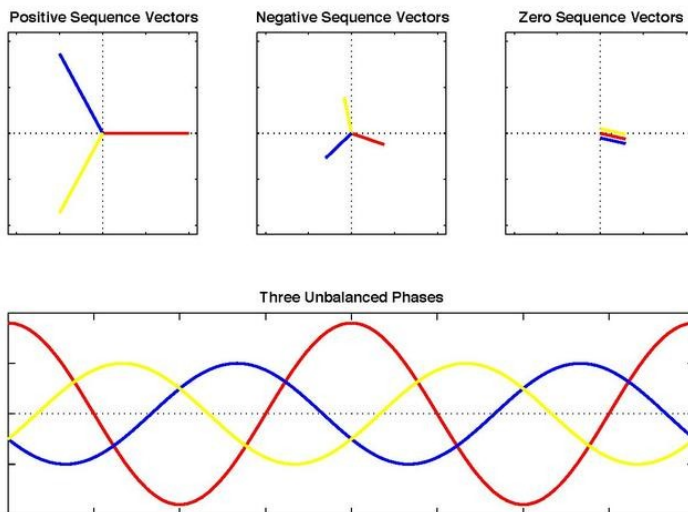


**Charles LeGeyt Fortescue**

[https://en-m-wikipedia-org.translate.google.com/wiki/Charles\\_LeGeyt\\_Fortescue?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://en-m-wikipedia-org.translate.google.com/wiki/Charles_LeGeyt_Fortescue?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc)

Essa abordagem se baseia na decomposição de sistemas trifásicos assimétricos em três conjuntos de componentes

simétricos: sequência positiva, sequência negativa e sequência zero.

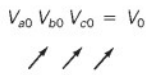


### **Decomposição de um sistema desequilibrado**

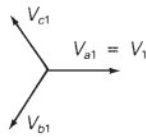
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Componentes\\_sim%C3%A9tricas](https://pt.wikipedia.org/wiki/Componentes_sim%C3%A9tricas)

A imagem apresenta o conceito de decomposição em componentes simétricas para sistemas elétricos trifásicos, sendo dividida em duas partes principais. Na parte superior, são exibidos três quadros distintos mostrando os vetores de sequência: o primeiro quadro mostra os vetores de sequência positiva, com três

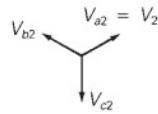
vetores defasados de  $120^\circ$  entre si na sequência ABC; o segundo apresenta os vetores de sequência negativa, também defasados de  $120^\circ$  mas na sequência inversa ACB; e o terceiro mostra os vetores de sequência zero, onde os três vetores estão alinhados sem defasagem angular. Na parte inferior, há um gráfico temporal mostrando três formas de onda senoidais em cores diferentes (vermelho, amarelo e azul) que representam um sistema trifásico desequilibrado, o qual pode ser matematicamente decomposto na soma das três componentes simétricas mostradas nos quadros superiores. Esta decomposição é uma ferramenta matemática essencial para análise de sistemas elétricos desequilibrados, sendo particularmente útil no estudo de faltas e na implementação de sistemas de proteção, pois permite transformar um sistema trifásico desequilibrado em três sistemas equilibrados independentes, facilitando assim a análise e os cálculos de condições anormais no sistema elétrico.



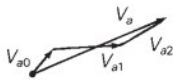
(a) Zero-sequence components



(b) Positive-sequence components



(c) Negative-sequence components



Phase a



Phase b



Phase c

### Representação das sequências 0, + e -

[http://web.ecs.baylor.edu/faculty/lee/ELC4340/Lecture%20note/Chapter8\\_GSO5.pdf](http://web.ecs.baylor.edu/faculty/lee/ELC4340/Lecture%20note/Chapter8_GSO5.pdf)

Em um sistema trifásico equilibrado, as tensões e correntes possuem magnitudes iguais e defasagens de  $120^\circ$  entre si. No entanto, em condições de falha, como curto-circuitos, desequilíbrios de cargas ou interrupções em linhas, essas características podem ser perdidas. Essa metodologia simplifica o estudo de sistemas elétricos ao permitir a análise de fenômenos desequilibrados utilizando conceitos de simetria e modelos matemáticos lineares.