

Vitor Amadeu Souza

Fundamentos e Aplicações dos

Sistemas Elétricos de Potência

Parte XIII

© 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

*“Exige muito de ti e espera pouco dos outros. Assim, evitarás
muitos aborrecimentos.”*

Confúcio

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 para obter mais informações.



cerne-tec.com.br

Sumário

Introdução.....	6
Capítulo I – Matriz de Impedância e Admitância.....	7
1. Matriz Impedância.....	7
2. Matriz Admitância.....	9
Capítulo II – Fluxo de Potência.....	19
1. Introdução.....	19

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

Matriz de Impedância e Admitância

1. Matriz Impedância

A Matriz de Impedância em sistemas elétricos de potência é uma ferramenta fundamental utilizada para representar as relações entre tensões e correntes em uma rede elétrica. Essa matriz é especialmente útil na análise de circuitos, permitindo a modelagem de sistemas complexos, como redes de transmissão e distribuição de energia elétrica.

A matriz é composta por elementos que representam as impedâncias entre diferentes barras (ou nós) do sistema. Cada elemento da matriz pode ser interpretado como a relação entre a tensão em um nó e a corrente que flui para outro nó. Em termos matemáticos, se considerarmos um sistema com n barras, a matriz de impedância Z será uma matriz $n \times n$, onde os elementos na diagonal representam as impedâncias próprias de cada barra, enquanto os elementos fora da diagonal representam as impedâncias mútuas entre as barras.

A construção da matriz de impedância envolve a consideração de diversos parâmetros elétricos, como resistência e reatância dos componentes do sistema. A análise frequentemente utiliza modelos simplificados, onde se assume que as linhas de transmissão têm características puramente indutivas ou capacitivas, facilitando o cálculo das impedâncias. A matriz é então utilizada em métodos de análise como o fluxo de potência, onde se busca determinar as tensões e correntes em cada barra do sistema sob diferentes condições de operação.

Além disso, a matriz de impedância é essencial para a realização de simulações computacionais que ajudam na identificação de problemas como sobrecargas e quedas de tensão, permitindo que engenheiros eletricitistas otimizem o desempenho e a confiabilidade das redes elétricas. Portanto, a Matriz de Impedância não apenas fornece uma representação matemática do sistema, mas também serve como uma ferramenta prática para o gerenciamento e a operação eficiente das infraestruturas elétricas.

Ex1) Como montar a matriz de impedância para um sistema com três barras, onde as impedâncias entre elas são $Z_{12}=5+j2$ pu e $Z_{13}=3+j1$ pu e não há ligação entre Z_{23} ?

$$\begin{pmatrix} Z_{11} & 5+j2 & 3+j1 \\ 5+j2 & Z_{22} & \infty \\ 3+j1 & \infty & Z_{33} \end{pmatrix}$$

Como $Z_{12} = Z_{21}$ e $Z_{13} = Z_{31}$ e não há ligação entre as linhas 2 e 3, a impedância neste caso é infinita. Como a impedância das linhas não foi fornecido, as mesmas ficam representadas de forma genérica Z_{11} , Z_{22} e Z_{33} .

2. Matriz Admitância

A matriz de admitância ou matriz Y é uma ferramenta fundamental na análise de sistemas elétricos de potência, representando a relação entre as tensões nodais e as correntes injetadas em um sistema. Em termos matemáticos, a matriz de admitância, frequentemente denotada como Y , é uma matriz quadrada que relaciona as correntes em cada nó (ou barra) do sistema com as tensões nodais correspondentes. Cada elemento Y_{ij} da matriz representa a admitância entre os nós i e j , que é a inversa da impedância.

A matriz de admitância é especialmente útil em estudos de fluxo de potência, pois permite calcular as correntes que fluem

entre diferentes partes do sistema elétrico. Ela é construída com base nas admitâncias próprias dos componentes da rede, como linhas de transmissão e transformadores, e pode ser obtida a partir da inversão da matriz de impedância primitiva. Os elementos da diagonal principal da matriz representam as admitâncias próprias dos nós, enquanto os elementos fora da diagonal representam as interações entre diferentes nós.

Além disso, a matriz de admitância é utilizada para simplificar a análise de circuitos elétricos complexos, pois transforma um sistema de equações diferenciais em um formato matricial que pode ser facilmente manipulado computacionalmente. Isso facilita a solução das equações que descrevem o comportamento do sistema sob diferentes condições operacionais, como variações na carga ou na geração de energia.

Considere um sistema elétrico com três nós interligados por linhas de transmissão. A Matriz de Admitância Nodais (Y_{bus}) é uma representação matemática que descreve as relações entre as correntes injetadas nos nós e as tensões nesses mesmos nós. Essa matriz é composta por admitâncias Y , que são o inverso das impedâncias Z , e reflete as interconexões elétricas do sistema. Por