Vitor Amadeu Souza

Fundamentos e Aplicações dos

Sistemas Elétricos de Potência

Parte XII

© 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

"O sábio nunca diz tudo o que pensa, mas pensa sempre tudo o que diz."

Aristóteles

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
Conhecimento para o Desenvolvimento

cerne-tec.com.br

Sumário

Introdução.....6

Capítulo I – Valores em pu.....7

1. Introdução.....7

Capítulo II – Estrutura de um SEP.....12

1. Introdução.....12

2. Regimes de operação.....14

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

Valores em pu

1. Introdução

Os valores em pu (per unit, ou por unidade) são uma forma normalizada de representar grandezas elétricas em sistemas de potência, como tensões, correntes, potências e impedâncias. Essa técnica é amplamente utilizada em análises de sistemas elétricos porque simplifica cálculos e permite comparar diferentes grandezas de forma direta, independentemente de suas unidades originais ou níveis nominais.

O sistema por unidade é baseado na escolha de valores base para determinadas grandezas, geralmente tensão, potência e, em alguns casos, corrente ou impedância. Uma vez definidos os valores base, as grandezas reais são expressas como frações (ou múltiplos) desses valores. Por exemplo, se o valor base de tensão em um sistema é 100 kV, uma tensão de 110 kV seria representada como 1,1 pu.

A principal vantagem do uso de pu é a uniformidade entre diferentes partes do sistema elétrico, especialmente quando transformadores estão presentes. Como os valores em pu são relativos, os efeitos de transformadores com diferentes relações de transformação são automaticamente normalizados, simplificando a análise em circuitos complexos. Além disso, os valores em pu permitem que os engenheiros identifiquem rapidamente desvios ou anomalias, já que valores próximos de 1 indicam condições nominais.

Outro benefício importante é a simplificação das equações utilizadas para modelar sistemas elétricos. Por exemplo, em muitos casos, as impedâncias de linhas de transmissão e equipamentos são mais facilmente representadas e comparadas em pu, evitando a necessidade de constantes de conversão.

O sistema por unidade também facilita análises em sistemas de potência que envolvem máquinas elétricas, como geradores e motores, pois elimina a necessidade de ajustar constantemente valores devido a mudanças nas condições de operação. Isso é particularmente útil em estudos de curto-circuito, estabilidade e fluxo de carga.

Ex 1) Um sistema elétrico opera com uma tensão base de 69 kV. Se a tensão real medida é de 75.9 kV, qual é o valor da tensão em pu?

$$V_{pu} = \frac{V}{V_{base}}$$

$$V_{pu} = \frac{75,9}{69} = 1,1\ pu$$

Ex 2) Em um circuito, a corrente base é de 50 A. Se a corrente real medida é de 30 A, qual é o valor da corrente em pu?

$$I_{pu} = \frac{I}{I_{base}}$$

$$I_{pu} = \frac{30}{50} = 0,6\ pu$$

Ex 3) Um transformador tem uma impedância real de 2,5 Ω e uma impedância base de 10 Ω. Determine o valor da impedância em pu.

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_{base}}$$

$$Z_{pu} = \frac{2,5}{10} = 0,25\ pu$$

Ex 4) Um gerador tem uma potência base de 100 MVA e está operando com uma potência real de 80 MVA. Qual é o valor da potência em pu?

$$S_{pu} = \frac{S}{S_{base}}$$

$$S_{pu} = \frac{80}{100} = 0,8\ pu$$

Ex 5) Um transformador possui uma tensão base no lado de alta tensão de 230 kV. Se a tensão real medida no transformador é de 242 kV, qual é a tensão em pu?

$$V_{pu} = \frac{V}{V_{base}}$$

$$V_{pu} = \frac{242}{230} = 1,05\, pu$$

Ex 6) Um gerador tem uma potência base de 150 MVA e está fornecendo uma corrente real de 400 A em uma rede trifásica de 13,8kV. Determine a corrente em pu.

$$I_{base} = \frac{S_{base}}{\sqrt{3}\, V_{base}}$$

$$I_{base} = \frac{150\, x\, 10^{6}}{\sqrt{3}.13,8\, x\, 10^{3}}$$

$$I_{base} = 6231\, A$$

$$I_{pu} = \frac{I}{I_{base}}$$

$$I_{pu} = \frac{400}{6231} = 0,0642\, pu$$

Ex 7) Uma linha elétrica apresenta uma impedância real de j0,15Ω e uma impedância base de 0,5Ω. Calcule a impedância em pu.

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_{base}}$$