



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

P

ESTUDO DE TÉCNICAS DE MODELAGEM VIA CAIXA CINZA¹

Rômulo Antônio Trentin Kohler², Andre Luis Bedendo³, Manuel Martin Perez Reibold⁴, Airam Sausen⁵.

¹ Projeto de pesquisa realizado no curso de Engenharia Elétrica: Projeto: Desenvolvimento de um Sistema para Detecção de Falhas On-line em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica

² Estudante do Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de DCEEng., E-mail: romulo.kohler@unijui.edu.br

³ Estudante do Curso de Mestrado em Modelagem Matemática do DCEEng.... albedendo@yahoo.com.br

⁴ Professor do Departamento de DCEEng. do Grupo de Pesquisa.GAIC..E-mail: ; manolo@unijui.edu.br

⁵ Professor do Departamento de DCEEng. do Grupo de Pesquisa.GAIC..E-mail: airam@unijui.edu.br

Resumo

Qualidade de energia está atrelada ao desempenho correto dos sistemas elétricos. Desses, o monitoramento do comportamento dos parâmetros elétricos das subestações de distribuição de energia, é fundamental. O uso de modelos estimados permite verificar através da comparação do modelo estimado com o modelo real o correto funcionamento da subestação. O objetivo deste trabalho é estudar e aplicar técnicas de identificação, neste caso modelagem matemática Caixa Cinza, de forma a obter, no menor tempo e custo baixo, o modelo matemático do desempenho de uma subestação de distribuição de energia. O objeto de estudo escolhido para iniciar a investigação é um Transformador Monofásico, pela sua analogia com uma subestação. A metodologia da pesquisa deve seguir as cinco etapas do processo de identificação: coleta de dados, escolha da representação matemática, determinação da estrutura do modelo, estimação dos parâmetros e validação do modelo. Os dados de saída e entrada são obtidos através de testes laboratoriais. Utilizou-se o modelo de entradas exógenas autoregressivas (ARX) e o estimador dos mínimos quadrados (MQ).

Palavras-chave: Identificação de Sistemas; Transformador Monofásico, Subestações de Energia Elétrica.

Introdução

Desde a Revolução Industrial energia elétrica tem suma importância para o desenvolvimento da sociedade, presente em tudo que consumimos. Sendo assim, têm-se padrões de eficiência e qualidade expressa em normas. Tais padrões devem ser cumpridos pelas concessionárias para a entrega de energia

Nas várias formas de sistemas utilizados para distribuição há problemas, ou seja, falhas. A falta resulta em danos para a rede de transmissão de uma indústria, queimando e danificando máquinas. Os danos em residências são mais restritos, como a queima de equipamentos como TVs, rádios, microondas, geladeiras, entre outros de uso doméstico.

Para sanar os problemas de faltas se projeta um sistema de controle, detecção, e predição Estes processos visam um funcionamento adequado em diversos tipos de situações.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Havendo a falta ela tem de ser diagnosticado o mais rápido possível, impedindo que problemas aconteçam, evitando maiores problemas ao sistema.

O trabalho desenvolvido propõe a modelagem de um Transformador Monofásico. Visando criar um modelo que apresente as características principais desse sistema. Posteriormente gerar uma resposta tão próxima a real. É então necessário aprender técnicas para Modelar e Identificar os dados do Sistema. Identificando seus parâmetros e escolhendo um Método Matemático que permita um resultado mais próximo possível do funcionamento do Sistema.

Modelagem de uma Subestação de Energia Elétrica

Entre as topologias existentes de subestações, irá ser modelado uma Subestação Rural. Para esse tipo de Sistema pode ser feita uma analogia a um Transformador Monofásico ou Trifásico, dependendo dos níveis de tensão. No presente trabalho realizou-se a modelagem de um Transformador Monofásico. Dentro desta topologia há varias formas de representações matemáticas, entre elas em (KOSOV, 1982) é abordado à modelagem de um Transformador Monofásico Real, como expressa nas figuras 1 e 2.

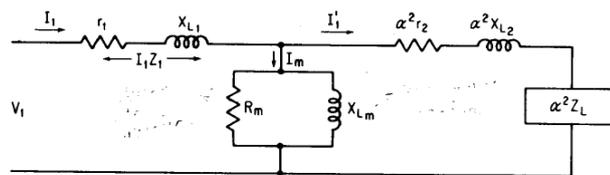


Figura 1. Circuito equivalente de um Transformador Monofásico. (KOSOV, 1982)

A figura 1 apresenta o modelo generalizado de um transformador monofásico, considerando as resistências e reatâncias no primário, secundário e magnetização. Visando a facilitação da modelagem do sistema, retira-se a corrente de magnetização e reflete-se as reatâncias e resistências do secundário para o primário, a corrente de magnetização é muito pequena comparado com a corrente nominal do transformado ela não afeta o funcionamento à curto prazo. A figura 2 apresenta o circuito proposto oferecendo as mudanças citadas. O funcionamento de um Transformador Monofásico é regulado por algumas variáveis como o coeficiente de transformação, tal coeficiente é expresso através da equação (1)

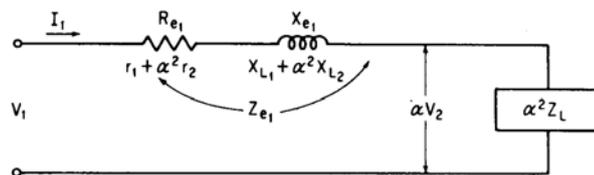


Figura 2. Circuito equivalente desconsiderando corrente de magnetização. (KOSOV,1982)

$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2} = \frac{E1}{E2} = \alpha \quad (1)$$

Sendo:

V1=tensão de entrada; V2=tensão de saída; N1=número de enrolamentos do primário;
 N2=número de enrolamentos do secundário; E1=potência de entrada; E2=potência de saída;
 alpha= coeficiente de transformação.

Materiais e Métodos.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

O processo de modelagem matemática e identificação são descritos por uma sequência de operações o qual é caracterizada por: coleta de dados, escolha da representação matemática, determinação da estrutura do modelo, estimação dos parâmetros e validação do modelo

A coleta de dados foi realizada laboratorialmente. Foram realizados testes com um Transformador Monofásico a fim de obter as formas de onda de entrada e saída. Com isso conseguimos ter os dados necessários para a modelagem do sinal requerido.

Um modelo matemático é a representação de um sistema real ou imaginário, e é obtido através da identificação desse sistema. Modelagem matemática é o processo que se faz para chegar a um modelo matemático. Predomina como a área do conhecimento que estuda maneiras de construir e programar modelos matemáticos de sistemas reais, em (AGUIRRE, 2004) e (GARCIA, 1997).

Estimação dos parâmetros necessários de um sistema é uma análise fundamental para a composição de um bom modelo matemático. Em (AGUIRRE, 2004) são descritas técnicas para seleção de variáveis a ser consideradas na modelagem de um sistema.

Pelas características do sistema conclui-se que a modelagem adotada será Modelagem Caixa Cinza, por termos alguns dados disponíveis, não todos como necessário para a Modelagem Caixa Branca nem tão poucos para a Caixa Preta. Deve-se então analisar o sistema em questão, observa-se que o parâmetro disponível atuante sobre o sistema é a tensão de entrada, há outros parâmetros, desconsiderados aqui, como número de espiras, temperatura e desgastes dos materiais envolvidos em função da sua vida útil. Caracteriza-se como um sistema com uma entrada e uma saída (SISO). Com isso defini-se a escolha do modelo de representação, entre esses pela característica SISO estudaremos as técnicas ARX.

Modelo ARX

É uma técnica de estimação de modelos mais difundidas na literatura. O modelo de estimação auto-regressivo com entradas exógenas (ARX). A representação via modelo ARX foi selecionada pela simplicidade apresentada via função de transferência, apresentada na figura 3, não adicionando novos parâmetros. Esse modelo é unicamente relacionado com os parâmetros da função de transferência do transformador. O algoritmo apresentado para esse modelo é interessante, oferecendo um tempo de resolução em milissegundos, adequando-se as necessidades do trabalho.

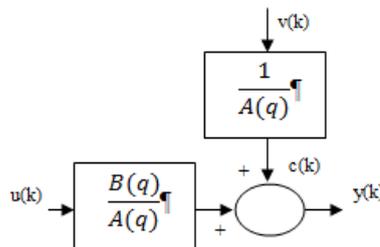


Figura 3. Modelo ARX.

Onde as variáveis apresentadas são: $u(k)$ é a entrada, $y(k)$ é a saída, $v(k)$ é o ruído branco. Este último é um problema de característica intrínseca do sistema.

Estimação de Parâmetros





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Visando o intuito de estimar os parâmetros necessários para modelar o sistema definimos a utilização da técnica de estimação por aproximação. Esta realiza uma aproximação pelos mínimos quadrados, sendo reconhecida pelos estudos astronômicos de GAUSS. A técnica dos mínimos quadrados minimiza o erro quadrático entre os dados resultantes do modelo criado e os dados de origem da função.

$$y_k = \varphi_k^T \cdot \theta + \epsilon_k \quad (2)$$

A equações 2 descreve o modo de representação geral para sistemas lineares de n amostras. Observa-se que a cada deslocamento de tempo haverá a multiplicação por um parâmetro do sistema, isso resulta em uma correlação entre a entrada e saída. O parâmetro φ é o vetor de regressores. É importante salientar que seus parâmetros não significam apenas dados da entrada do sistema, podem ser dados da saída. Já θ é o vetor que contém os dados a serem identificados, efetuado à partir de vários experimentos, ou seja, $k=1,2,4\dots n$

O método dos mínimos quadrados tem o objetivo específico de estimar o vetor θ à partir da equação (3). O resultado é apresentado na equação (4). É a forma geral para a estimação utilizando o método dos mínimos quadrados

$$S = \sum_{k=1}^n (y_k - \varphi_k^T \cdot \theta)^2 \quad (3)$$

$$\theta = [\varphi^T \cdot \varphi]^{-1} \cdot \varphi^T \cdot y \quad (4)$$

Identificação Caixa Cinza

Utilizando a técnica de Identificação Caixa Cinza, se analisa e modela a parte conhecida do sistema. O transformador estudado apresenta uma modelagem idealmente possível de representação por uma equação diferencial de primeira ordem. Isso torna o modelo mais simplificado. A equação(5) é a diferencial que descreve o modelo. Considerando que a tensão VL é igual Xe1.11, sendo que a reatância de um indutor é $X=2.\pi.f.L$, para simplificação teórica também consideramos que a carga ($\alpha^2.ZL$) é resistiva.

$$V1(s) - Re1.I1(s) - VL(s) - \alpha^2.ZL.I1(s) \quad (5)$$

É feito a conversão da equação (5) para tempo discreto, a partir do método ZOH, zero order hold, o qual existe um comando próprio do software MATLAB®. Os comandos *c2d()* e *d2c()* operam de modo a discretizar um modelo em função do tempo, ou efetuar o processo contrário. Aplicando a Transformada de Laplace a equação (5) e fazendo reorganizações matemáticas a fim de obter a Função de Transferência do sistema, estimando os regressores válidos para a identificação, que são apresentados na equação (6). Na equação (6) as variáveis Y e U representam respectivamente saída e entrada do sistema, que são valores conhecidos. Também fica estabelecido o número de parâmetros em 2, sendo 1 de entrada e 1 de saída.

$$\omega = [Y[n] - 1][U[n] - 1] \quad (6)$$

Resultados

Após as etapas de coleta de dados, escolha da representação matemática, determinação da estrutura do modelo e estimação dos parâmetros, fez-se a simulação, para comparação do resultado obtido entre os dados coletados dos testes laboratoriais e o modelo identificado. Nos testes realizados no laboratório o Transformador escolhido foi de 2 kVA, com frequência de



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

60 Hz, transformação de 220 V/115 V, como expressa na figura 6(a) e (b), tendo um coeficiente de transformação de 1.91.

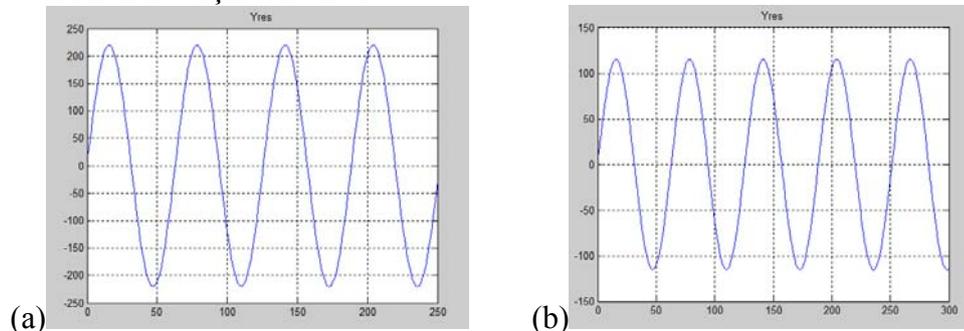


Figura 4. (a) Gráfico representando o nível de tensão de 220V.(b) Gráfico representando o nível de tensão de 115 V (gráfico gerado pelo MATLAB®).

Fazendo um análogo do transformador, pela modelagem Caixa Cinza, temos as entradas e saídas. A técnica de identificação através do modelo ARX foi estruturada no MATLAB®, via algoritmo computacional, com aquisição de dados em batelada, ou seja, em lote, sendo executados de uma vez só. A figura 5 apresenta o resultado obtido com o modelo ARX. Os parâmetros obtidos do modelo foram -0.2057 e 0.4161, o tempo de simulação foi de 0.1083 s.

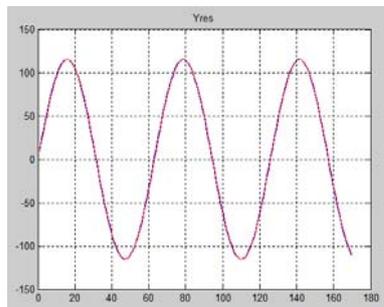
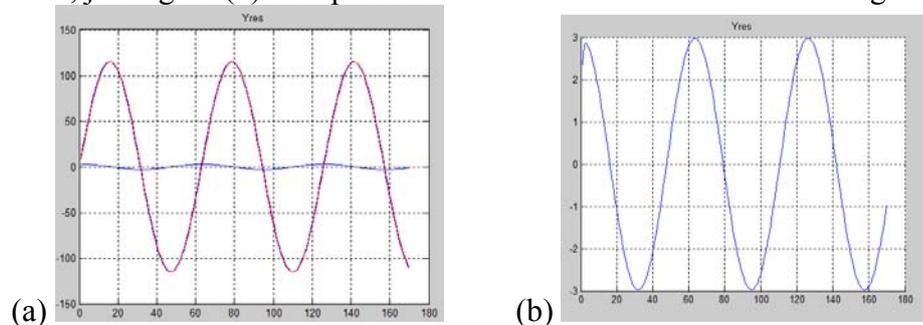


Figura 5. Resposta do modelo ARX.(gráfico gerado pelo MATLAB®).

Validação de modelos

Para validação dos modelos foi calculada a diferença entre o sinal original em relação ao sinal modelado. A figura 6 (a) mostra o gráfico informando o sinal real, o sinal modulado, e erro entre eles, já a figura (b) é ampliada o erro visando uma melhor análise gráfica.





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Figura 6.(a) Sinal real, modelado e o erro apresentado. (b) Erro ampliado entre o sinal real e o sinal do modelo ARX.(gáfico gerado pelo MATLAB®)

Conclusões

O presente trabalho expôs uma técnica de identificação e modelagem Caixa Cinza aplicados à identificação de um Transformador Monofásico, a partir de simulações realizadas em laboratório. Notou-se uma pequena diferença entre o modelo real e o modelo simulado.

Para trabalhos futuros é interessante estudar técnicas de Modelagem e Identificação de parâmetros para uma Subestação, por um Transformador Trifásico. Além de averiguar e comparar resultados à outras técnicas. Outra parte importante a ser implementada é a inclusão de índices de avaliação de modelos, como as técnicas MSE, AIC e BIC. Que analisam que quanto maior for o índice oferecido, melhor é o modelo em questão. Confrontando os modelos desenvolvidos com intuito de obter o de melhor representação.

Agradecimentos:

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa concedida.

Referências

AGUIRRE, L. A. Introdução a Identificação de Sistemas: técnicas lineares e não lineares aplicadas a sistemas reais; UFMG, 2004.

GARCIA, C. Modelagem e Simulação de Processos Industriais e de Sistemas Mecânicos. São Paulo : EDUSP - EDITORA DA USP, 1997.

KOSOV, Irving L., Máquinas Elétricas e Transformadores, Editora GLOBO® 1982.