

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

CONSTRUÇÃO DE UMA PLATAFORMA EXPERIMENTAL PARA MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA CONSIDERANDO A APLICAÇÃO EM REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS).¹

Joelson Lopes Da Paixão², Airam Sausen³, Paulo Sausen⁴, Eduardo Toniazzi⁵, Alisson Beerbaum⁶, Andressa Diefenthaler⁷.

¹ Projeto de pesquisa realizado no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da Unijuí.

² Aluno do curso de Engenharia Elétrica, bolsista PIBIC/CNPq; E-mail: jlopesdapaixao@gmail.com

³ Professora Doutora do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí, orientadora; E-mail: airamsausen@gmail.com

⁴ Professor Doutor do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí, coordenador do projeto; E-mail: paulosausen@gmail.com

⁵ Aluno do curso de Engenharia Elétrica, bolsista PIBIC/CNPq; E-mail: eduardotoniazzi29@gmail.com

⁶ Aluno do curso de Matemática, bolsista PIBIC/Unijuí; E-mail: a.v.beerbaum@gmail.com

⁷ Aluna do curso de Matemática, bolsista PROBIC/Fapergs; E-mail: andressa_td@hotmail.com

Introdução

A utilização da energia elétrica representa um importante passo no progresso da humanidade. Esta forma de energia é fundamental e exerce uma importante função dentro da sociedade, visto que contribui para o desenvolvimento, crescimento e bem-estar de todos. Os sistemas elétricos de distribuição utilizados atualmente foram desenvolvidos na década de 40 do século XX, e vêm passando por aperfeiçoamentos para comportar as demandas atuais e garantir um bom desempenho do sistema. Deste modo, com o avanço tecnológico e em função das novas demandas surgidas, surgiu o conceito de Redes Inteligentes (Smart Grids). [4]

As Redes Inteligentes se caracterizam por possuírem mais funcionalidades que as redes tradicionais. Ou, em outras palavras, pode-se dizer que as Redes Inteligentes agregam ao sistema novas tecnologias, tais como: telemetria para gerenciamento de recursos, automação remota, integração de diferentes fontes de energia, etc. Um destes novos recursos que vêm com as Redes Inteligentes é a transmissão Power Line Communication (PLC), a qual consiste em um sistema que permite a transmissão de sinais de internet, voz, vídeo e comunicação digital através da rede elétrica como meio físico. [1]

Nos sistemas elétricos tradicionais, a energia é transmitida por sinais nas frequências de 50/60 Hz. E, para representação destes sistemas, existem modelos matemáticos, como o modelo PI. Quanto aos sinais PLC, estes são transmitidos em frequências elevadas, na faixa de kHz e/ou MHz. Assim, neste trabalho é verificada a validade do modelo PI para transmissões em frequências elevadas, além de ser averiguada qual é a atenuação que os sinais sofrem. Estes parâmetros são analisados levando-se em consideração a modelagem matemática existente sobre redes e as medições e testes práticos realizados em laboratório.

Metodologia

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

É interessante, antes de explicar a metodologia utilizada, apresentar alguns conceitos sobre as redes elétricas para dar um embasamento teórico ao trabalho. As redes de transmissão de energia elétrica são classificadas como curtas (até 80 km), médias (de 80 km a 240 km) e longas (maiores que 240 km) [2]. Para análise do comportamento dos sinais de tensão e corrente transmitidos, da fonte até a carga, são utilizados modelos matemáticos, como o modelo PI. Este modelo sofre variações, conforme o comprimento da rede, a fim de compreender todas as características importantes do sistema. Para linhas curtas, que é o foco deste trabalho, no modelo, a rede é representada por uma resistência e uma indutância em série, conforme é mostrado na Figura 1.

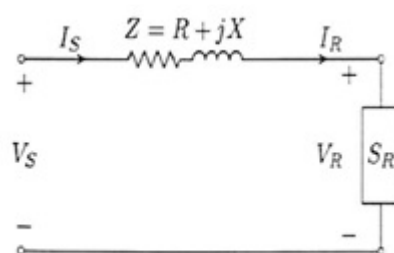


Figura 1: Modelo PI para linhas curtas. [4]

Para o modelo PI, os cabos utilizados nas linhas, conforme seu tipo, têm valores tabelados de resistência dados em Ω/km . Já a indutância é calculada levando em consideração as dimensões do cabo e sua topologia de instalação [3]. A expressão para o seu cálculo é a seguinte:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_1 * e^{-1/4}} \text{ H/m}$$

onde: D é a distância entre os cabos e r_1 é o raio do cabo.

Com o objetivo de analisar a validade do modelo PI, na modelagem matemática de redes, com transmissões PLC, construiu-se uma plataforma experimental (rede) no interior do Gaic. A rede possui 15 m de comprimento, está a 2,5 m de altura do chão e é composta por: cabos de alumínio, isoladores e tem espaçamento de 20 cm entre os cabos; de modo a emular uma rede de distribuição de baixa tensão.

Os cabos de alumínio utilizados são do tipo Aster, bitola 2/0 de 7 fios trançados. Os sinais de alta frequência foram gerados e inseridos na rede através de um gerador de funções da Amrel. Enquanto a verificação deste sinal foi realizada por um osciloscópio da Agilent. Os sinais inseridos na rede foram medidos na entrada da mesma e em um resistor de $6,6\Omega/10\text{W}$ colocado como carga em sua extremidade. Na Figura 2 é mostrado um esboço desta rede construída para os ensaios.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

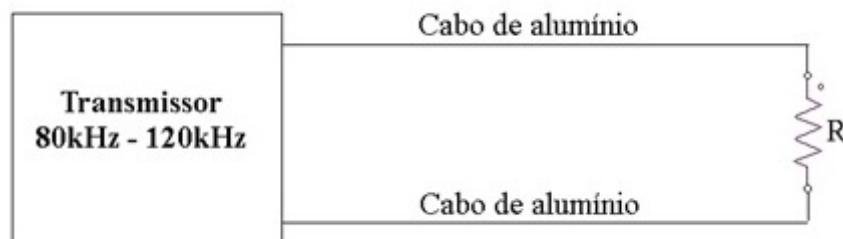


Figura 2: Esquema do circuito montado em laboratório.

Devido às características da rede construída para testes, por ser muito curta, os elementos do modelo PI que a representa se resumem apenas a uma indutância. A resistência em série é infinitesimalmente pequena, de modo que pode ser desconsiderada do modelo.

Na confecção da plataforma de testes, que representa uma linha de distribuição de baixa tensão, não foram inseridos transformadores. Isto por que, conforme comprovado em [4], os transformadores não influenciam na propagação de um sinal PLC. Ou então, diz-se que o transformador não atua como agente modificador das medições e cálculos nas transmissões PLC em cabos de transmissão de energia elétrica. Os sinais não sofrem significativas alterações com o acoplamento ou não de transformadores. [4]

Resultados e discussões

Tendo-se o circuito montado em laboratório, fez-se uma série de medições dos sinais de corrente e tensão na fonte e na carga. Com a frequência de 100 kHz, foram feitas mais de 20 medições, em diferentes dias. Nestas medições tomou-se a média das grandezas medidas, para o cálculo indutância da rede. Sendo que os valores médios encontrados foram: tensão na fonte ($V_i=2,8118$ V), tensão na carga ($V_o=1,10534$), corrente ($I=0,12463$ A). A partir dos dados encontrados, obteve-se uma indutância média da linha de 22,58 μH . No total, contando fase e neutro, a linha possui 30 m, assim a indutância média da rede por metro é de 0,75266 $\mu\text{H}/\text{m}$.

Pela topologia de instalação e características do cabo tomado, sua indutância com base no modelo PI é dada por:

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{0,2\text{m}}{0,00525\text{m} * e^{-1/4}} = 0,778 \mu\text{H}/\text{m}$$

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

Analisando a indutância do cabo, encontrada através das medições experimentais e calculada, observa-se que os seus valores são muito semelhantes. De maneira que se pode afirmar que o modelo PI é eficiente também na modelagem de redes de distribuição com aplicação de sinais PLC. Nos testes realizados, foi focado também o estudo da atenuação dos sinais em alta frequência transmitidos. Neste caso, realizaram-se medições dos sinais de tensão na entrada e na extremidade da rede. Os sinais injetados tiveram frequências que variaram de 80 kHz até 120 kHz. Na Tabela 1 é mostrado o resultado dos valores médios de atenuação obtidos para cada frequência trabalhada.

Frequência do sinal (kHz)	Tensão na fonte (V)	Tensão na carga (V)	Taxa de atenuação (%)
80	4,98	2,246	54,900
90	5,35	2,266	57,645
100	5,41	2,131	60,610
110	6,11	2,251	63,159
120	6,55	2,206	66,321

Tabela1: Taxas de atenuação por frequência.

Os resultados encontrados mostram que a atenuação do sinal aumenta com o aumento da frequência. Portanto, para aplicações PLC deve-se atentar-se qual é a taxa de atenuação aceitável, a fim de definir onde serão instalados pontos repetidores e qual é a frequência mais indicada para ser utilizada.

Conclusões

Os avanços tecnológicos vêm possibilitando um crescimento no surgimento de novos recursos e na inserção de aplicações que utilizam a rede elétrica como meio. Uma dessas novidades é a transmissão de dados via PLC. Deste modo, neste trabalho realizaram-se testes a fim de verificar se o modelo PI era eficiente na modelagem de redes, considerando a aplicação de sinais PLC em alta frequência. Os testes realizados comprovaram que o modelo PI é eficiente e pode ser utilizado na modelagem da rede para sinais PLC. Nos testes também se buscou analisar qual é atenuação que os sinais de alta frequência sofrem. Como as medições foram realizadas com frequências de 80 kHz a 120 kHz, verificou-se que a atenuação do sinal aumenta com o aumento da frequência. De modo que, para 80 kHz, obteve-se uma atenuação de 54,90% e, para 120 kHz, obteve-se uma atenuação de 66,32%. Destaca-se ainda que, a maioria dos modems PLC existentes consegue receber sinais com taxas de atenuação maiores que 90%.

Palavras-Chave: Modelo PI; Modelos Matemáticos; Smart Grids; Power Line Communication; Atenuação do sinal.

Agradecimentos

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXIV Seminário de Iniciação Científica

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa, e à Unijuí e ao Gaic pela assistência laboratorial concedida no desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] L. H. A. Monteiro, Sistemas Dinâmicos, 2nd ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- [2] C. C. B. Oliveira, E. Robba, and N. Kagan, Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- [3] W. D. Stevenson, Elementos de análise de sistemas de potência, 2nd ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- [4] J. F. Schreiber, "Modelagem de um sistema de distribuição de energia considerando a aplicação em redes inteligentes (Smart Grids)", Dissertação de mestrado, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS, Setembro 2013.