PROTÓTIPO DE PONTE CONVERSORA COM ACESSO REMOTO PARA ESTUDOS EXPERIMENTAIS EM HVDC

PROTOTYPE OF BRIDGE CONVERTER TO REMOTE ACCESS IN HVDC EXPERIMENTAL STUDIES

Rodrigo N. de Oliveira[1], Luís C. O. de Oliveira[2], Érica V. de Morais[3], Luiz F. Bovolato[4]

Abstract *— The internet constant evolution has made possible the creation of new tools directed to distance education in various areas of knowledge. Particularly in engineering, new features have been used for education and research experimental support through qualified laboratories with remote access capabilities. These resources have emerged, mainly, in order to solidify the theoretical concepts conveyed by distance education systems with a view to implementing a practical application of the studied topics. As an illustration of this tool, this paper presents the results obtained using learning objects related to the study of a controlled three-phase converter bridge behavior. The experimental platform can be remotely accessed and has great operational flexibility. The user has total control over the supply voltages and the thyristor firing angles, individually, in order to enable a comparative basis between the experimentally harvested results and the theoretical concepts.*

Index Terms — HVDC, Qualidade da energia, laboratórios remotos, ensino à distância

INTRODUÇÃO

Um dos grandes obstáculos enfrentados pelos estudantes e profissionais de engenharia elétrica é o elevado grau de abstração com o qual muitas vezes são solicitados a trabalhar. Neste contexto, são particularmente importantes as atividades experimentais no sentido de transpor a barreira que separa o conceito teórico e abstrato da sua aplicação prática, principalmente nos casos de Ensino a Distância (EaD).

A importância da prática experimental no processo de apropriação dos conceitos teóricos é inegável, pois a vivência com determinada experiência facilita a fixação do conteúdo a ela relacionado. O laboratório, mesmo que remoto, pode também funcionar como um poderoso meio catalisador no processo de aquisição de novos conhecimentos, a partir da avaliação experimental de hipóteses sobre fenômenos particulares, promovendo a mediação entre o conhecimento vulgar e o conhecimento científico [1]. Baseado nestas premissas, ao longo dos anos, várias ações tem sido conduzidas no sentido incorporar as atividades experimentais nos processos de EaD, pesquisa e atualização profissional no campo da engenharia elétrica. A concretização destas premissas normalmente é obtida em um laboratório real adequado e devidamente equipado, sendo que no caso do EaD, faz-se necessário que o laboratório seja levado até o aluno, visto que, o oposto, geralmente, torna-se inviável.

Neste cenário, os benefícios do uso de um laboratório experimental de forma remota no ensino de graduação e pós-graduação são evidentes, "*Conte-se e eu esqueço, mostre-me e eu apenas me lembro, envolva-me e eu compreendo*" [2]. Podem inclusive serem utilizados sob uma perspectiva construcionista onde se induz, naturalmente, o aluno a construir seu conhecimento de forma sistemática e definitiva.

A tecnologia de laboratórios remotos tem viabilizado para a EaD a possibilidade de realização de um experimento à distância, dentro de um panorama real e sem as limitações dos softwares de simulação. Utilizando-se dos recursos de comunicação via Web um ou mais estudantes em locais geograficamente distantes podem controlar dispositivos e equipamentos remotamente. Nestas aplicações, além do controle remoto de experiências, é comum dispor também de equipamentos auxiliares para visualização das experiências reais através de imagens ao vivo capturadas por WebCams.

Contando, pois, com a flexibilidade de horário, o aluno pode construir gradativamente seu conhecimento a partir de uma base experimental e, de acordo com seu perfil, administrar os conteúdos na busca de uma aprendizagem significativa e orgânica.

Neste cenário desenvolve-se neste trabalho uma plataforma experimental com acesso remoto, direcionada ao estudo do comportamento das pontes conversoras trifásicas utilizadas em sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC).

[1] Rodrigo N. Oliveira, aluno do curso de doutorado em engenharia elétrica, UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, nunes.rodrigo@ymail.com
[2] Luís C. O. de Oliveira, professor titular, UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, lcorigaoliveira@gmail.com
[3] Érica V. de Morais, aluna do curso de doutorado em engenharia elétrica, UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, ericavm10@hotmail.com
[4] Luiz F. Bovolato, professor adjunto, UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, lfbovolato@gmail.com
DOI 10.14684/ICECE.9.2015.137-141
© 2015 COPEC

LABORATORIO REMOTO DE QUALIDADE DA ENERGIA

Com o objetivo de atender as demandas experimentais dos cursos de graduação, pós-graduação e atualização, o grupo de estudo da qualidade da energia, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS-UNESP), vem sistematicamente capacitando seu laboratório de qualidade de energia para acesso remoto [5], atualmente denominado LrQEE.

Entre os equipamentos disponíveis destaca-se, a fonte de alimentação programável de trifásica, 6 kVA, 0-400Vca, modelo 6000L da California Instruments. Nesta fonte é possível configurar um sistema trifásico composto de tensões com diferentes formas de onda, definindo-se, individualmente, as amplitudes e ângulos de fase de cada componente harmônica das tensões de saída

O LrQEE também dispõe de sistemas de aquisição de dados, dentre eles o Iotech Daqscan 2005. Os sinais de corrente e tensão são captados por nove transdutores tipo Hall (0-50A) e 8 transdutores de tensão (0-300V).

Como suporte computacional, o LrQEE utiliza o aplicativo DasyLab13 para o processamento dos sinais, controle da fonte de alimentação, controle do sistema de aquisição de dados, controle da ponte conversora e definição das interfaces interativas.

OBJETOS DE APRENDIZAGEM

A implementação de atividades experimentais no LrQEE é realizada por meio dos denominados Objetos de Aprendizagem (OA) [5],[1]. Os OA's são compostos de diversos módulos experimentais, direcionados para temas específicos e contém basicamente a configuração visual da plataforma experimental, os Setups de configuração física do experimento, a descrição dos procedimentos experimentais, sequenciamento de atividades programadas, bem como questionários de avaliação de aprendizagem e do ambiente instrucional [5].

Neste trabalho, os OA´s implantados no LrQEE foram direcionadas para o estudo do comportamento das pontes conversoras trifásicas utilizadas em sistemas de transmissão em corrente contínua (HVDC). Estas pontes conversoras, são consideradas os principais equipamentos em um interligação em HVDC pois desempenham um importante papel no controle do fluxo de potência.

São constituídas basicamente por chaves eletrônicas controladas (tiristores), que permitem o ajuste dos níveis médios da tensão retificada e consequentemente da corrente pela linha de corrente contínua. A topologia tradicionalmente adotada para a constituição física destes conversores é a da ponte de seis pulsos, também referenciada como ponte de Greatz.

Para investigar experimentalmente o comportamento operacional das pontes de Greatz foi criada uma plataforma experimental contendo, uma fonte de alimentação programável, um sistema de aquisição de dados, o circuito de potencia de uma ponte conversora, os circuitos de controle e disparo, bem como as respectivas interfaces para o acionamento remoto do sistema. O diagrama esquemático da plataforma experimental citada é ilustrado na Figura 2.

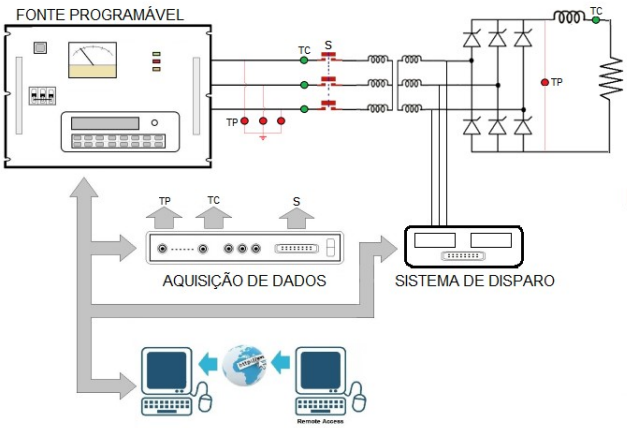

FIGURA. 2
Diagrama esquemático da plataforma experimental

Circuitos de Controle e Potência

Os circuitos utilizados no objeto de aprendizagem desenvolvido foram divididos, basicamente, em três setores, notadamente, o controle geral, disparo de tiristores e a ponte de tiristores. Tal topologia foi adotada a fim de modularizar a montagem, fazendo com que cada etapa fosse desenvolvida independentemente da posterior.

Uma segunda vantagem desse tipo de construção, é facilitar a compreensão do funcionamento do circuito para futuras aplicações didáticas, visto que a montagem final também foi dividida em partes. Na Figura 3 apresenta-se um diagrama de blocos ilustrando o diferentes setores citados.

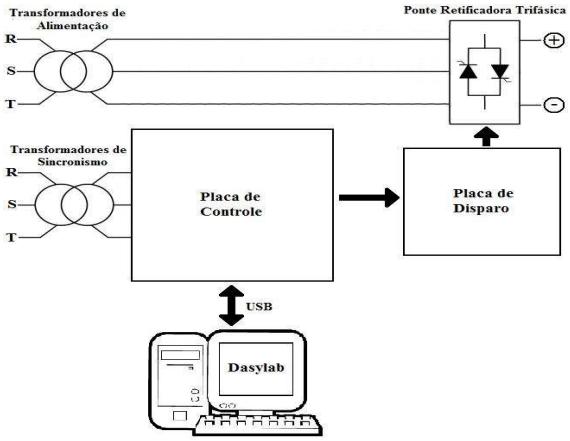

FIGURA. 3
Diagrama de blocos dos circuitos setoriais

A placa de controle tem como finalidade gerar os pulsos para o disparo dos tiristores da ponte retificadora trifásica a ela associada. Tais pulsos são sinais digitais, sendo que os mesmos são sincronizados com um sinal trifásico de referência, gerado pela fonte de alimentação controlada.

Para o controle dos ângulos de disparos dos tiristores é utilizado um microcomputador pessoal, sendo a comunicação entre o mesmo e a ponte retificadora é feita via interface USB, a qual é convertida para RS232 por meio de um conversor de protocolos.

A fim de gerar o pulso de sincronismo, uma amostra do sinal da rede elétrica, simulada pela fonte de alimentação trifásica, é comparada com uma referência interna, gerando um pulso digital com nível lógico "1" a cada ciclo, no caso, tal referência é o cruzamento por zero com derivada positiva. O diagrama de blocos da placa pode ser visualizado, simplificadamente na Figura 4.

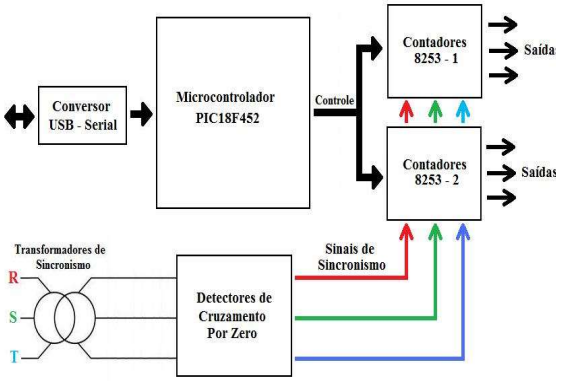

FIGURA. 4
Diagrama de blocos do sistema de controle

A montagem final foi dividida em dois módulos distintos, sendo que tal escolha foi feita com caráter didático, a fim de simplificar a compreensão do funcionamento da ponte retificadora como um todo.

O primeiro módulo é composto pelo microcontrolador, display e conversor USB/Serial. A visualização da montagem final deste módulo é apresentada na Figura 5.

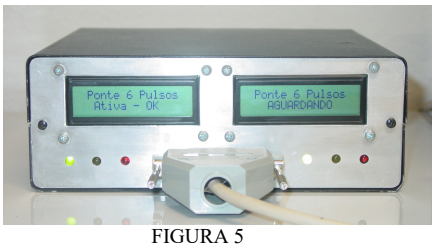

FIGURA 5
Aspecto final da montagem do modulo de controle.

O segundo módulo, denominado módulo de potência, contém os contadores digitais para geração de pulsos, circuitos de disparo e controle geral e proteção da ponte conversora, bem como os tiristores de potência que a compõe. A montagem final pode ser visualizada nas Figuras 6 e 7.

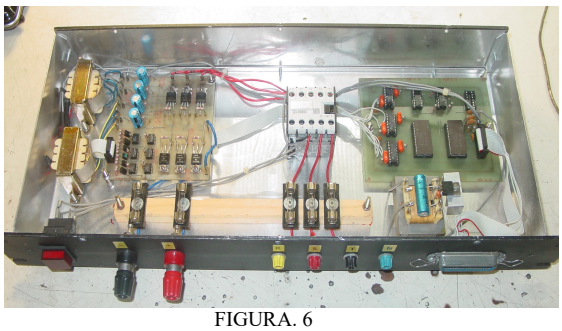

FIGURA. 6
Detalhes da motagem do Modulo de potência

FIGURA. 7
Aspecto final da montagem do modulo de potencia

Na Figura 8 pode ser visualizada a montagem do sistema completo para análise experimental, composto da ponte retificadora, sistema de aquisição de dados e uma carga resistiva/indutiva (RL).

FIGURA. 8
Visualização da plataforma experimental

Interface gráfica do objeto de aprendizagem

O software de controle e visualização de resultados desenvolvido com base no aplicativo DasyLab, o qual oferece grande flexibilidade no desenvolvimento, bem como uma excelente interface gráfica, o que permite a criação de um sistema de controle intuitivo e de fácil utilização, totalmente orientada a objetos.

A interface gráfica disponibilizada para acesso remoto pode ser visualizada na Figura 9.

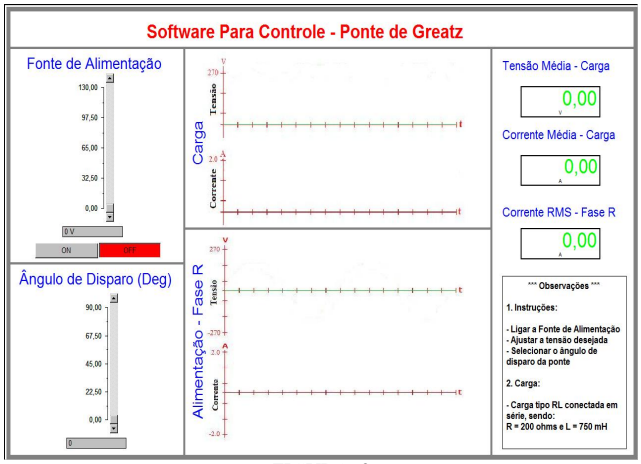

FIGURA. 9
Tela interativa da plataforma experimental

O usuário pode acessar a plataforma experimental e atuar sobre os principais controles da ponte, compreendendo, a energização da ponte, definição dos angulos de disparo dos tiristores, entre outros.

Como resultado, apresenta-se nesta interface gráfica, as formas de onda das tensões e correntes na fonte de alimentação e na carga, bem como os valores médios da tensão e corrente retificadas.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A partir do set experimental montado, foram levantados os resultados mostrados a seguir. As funcionalidades do objeto de aprendizagem desenvolvido forma testadas realizando-se um acesso remoto à plataforma experimental e impondo diferentes condições operacionais para a ponte conversora. Particularmente, a título de ilustração, apresenta-se nas figuras seguintes as telas interativas ativas para em três pontos distintos de funcionamento, com ângulos de disparo de 0, 30º e 55º graus respectivamente.

A Figura 10 , ilustra as condições operativas para ângulo de disparo nulo e tensão de alimentação em 127V. Entre os resultados disponíveis é possível visualizar as formas de onda da tensão e da corrente de alimentação, bem como da tensão e corrente retificadas. Os valores médios medidos são 295,67V para a tensão terminal e 1,46 A para a corrente CC, como previsto pela teoria clássica sobre ponte conversoras.

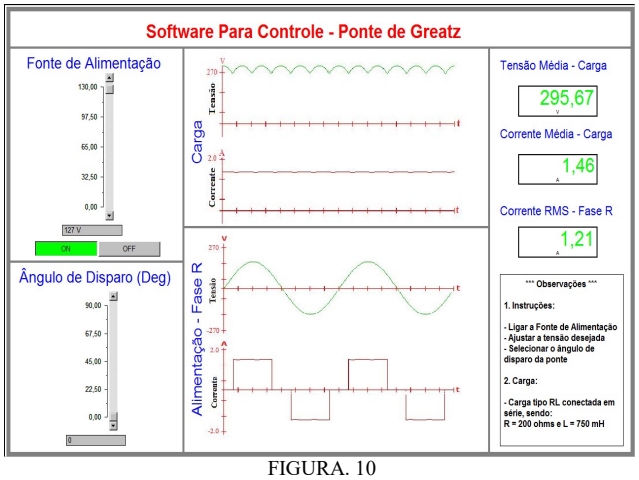

FIGURA. 10
Resultados para disparo com ângulo zero

Na sequencia, apresenta-se na Figura 11, os resultados para as condições operativas com ângulo de disparo de 30º e tensão de alimentação em 127V. Na visualização das formas de onda, constata-se mais uma vez a coerência dos resultados obtidos com as previsões teóricas. Neste caso, como esperado, os valores médios medidos são 256,7V para a tensão terminal e 1,27 A para a corrente CC, menores que do caso anterior.

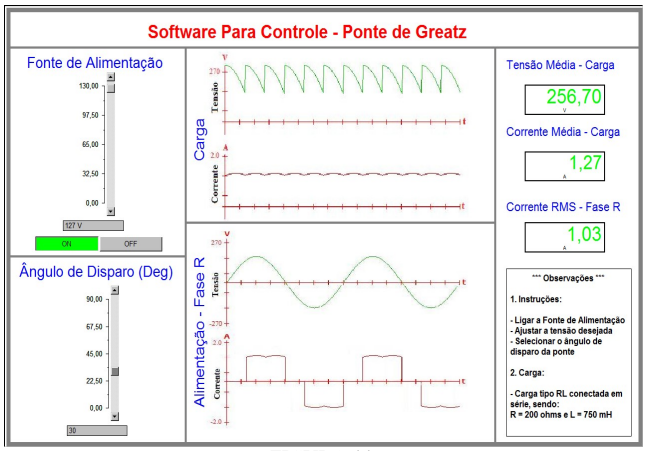

FIGURA 11
Resultados para disparo com ângulo de 30º

Os resultados para as condições operativas com ângulo de disparo de 55º e tensão de alimentação em 127V, são ilustrado n Figura 12. Observa-se uma substancial redução dos valores médios da tensão e correntes retificadas devido ao elevado valor do ângulo de disparo. Mais uma vez, os resultados mostraram-se coerentes com as expectativas teóricas e o bom desempenho do arranjo experimental montado.

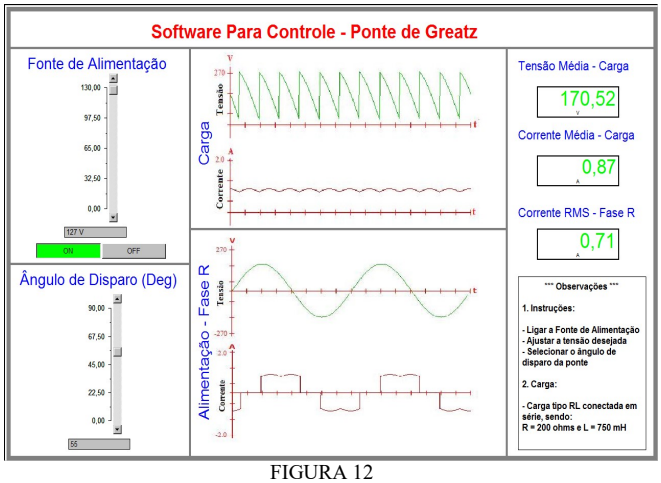

FIGURA 12
Resultados para disparo com ângulo de 55º

CONCLUSÕES

A evolução da informática e a utilização da Internet vem sistematicamente inovando o processo educativo de EaD, disponibilizando ambientes específicos para gerenciamento de conteúdos, ferramentas de simulação e visualização de imagens. As atividades de EaD destacam-se por exigir o desenvolvimento da autonomia do aluno e proporcionar flexibilidade no processo de ensino e aprendizagem.

Entre as críticas sobre o uso intensivo de EaD nas áreas tecnológicas, notadamente de engenharia elétrica, reside no fato que normalmente as atividades de natureza prática experimental ficam prejudicadas. Um recurso frequentemente utilizado é a utilização de um sistema de Ead semipresencial, onde as atividades experimentais são realizadas no local onde o laboratório encontra-se fisicamente instalado, exigindo portanto o deslocamento dos estudantes.

Este procedimento, embora viável em muito casos, praticamente restringe a abrangência de um curso de Ead, sendo esta limitada pela localização geográfica do laboratório experimental. Uma solução alternativa seria a replicação dos laboratórios capacitados no sentido de viabilizar a adesão grupos de estudantes. Entretanto, este procedimento implica muita vezes em substancial aumento dos custos operacionais, o que se contrapõe às premissas de utilização do EaD.

A tecnologia de laboratórios remotos tem viabilizado para o EaD a possibilidade de realização de um experimento à distância, dentro de um cenário mais realista e sem as limitações dos softwares de simulação.

Este trabalho apresentou as diretrizes básicas para criação de um laboratório remoto direcionado para a análise experimental das pontes conversoras trifásicas utilizadas em sistemas HVDC.

A plataforma experimental desenvolvida garante uma grande flexibilidade para alteração de parâmetros operacionais da ponte conversora, permitindo ao estudante investigar diferentes situações operativas. Neste cenário, o estudante é estimulado a assumir um postura construcionista, articulando os conteúdos teóricos e experimentais de forma autônoma na busca de um aprendizado significativo, orgânico e sistêmico.

REFERÊNCIAS

[1] Domijan, A.; Embriz-Santander, E. A novel electric power laboratory for power quality and energy studies: training aspects.IEEE Transactions on Power Systems. v. 7, n. 4, p. 1571-1578, novembro, 1992.

[2] Confucio. http://pensador.uol.com.br/autor/confucio/biografia. Acesso em: 15 Dez. 2014.

[3] Marchezan, A.R.; Chella, M.T.; Ferreira, E.C. Laboratório Remoto aplicado ao Ensino de Engenharia Eletrônica.Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) - Departamento de Eletrônica e Microeletrônica (DEMIC) - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

[4] Röring, C.; Jochheim, A.The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. Kohala Coast-Island of Hawai, USA, 1999.

[5] Domijan, A.; Shoults, R.R. Electric Power Engineering Laboratory Resources of the United States of America and Canada, IEEE Transactions on Power Systems, v. 3. n. 3, p. 1354-1360, August 1988.

[6] Domijan, A.; Heydt, G.T.; Meliopoulos, A.P.S.; Venkata, S.S.; West, S.Directions of Research on Electric Power Quality. IEEE Transactions on Power Delivery, v. 8, n.1, n. 429-436, janeiro, 1993.

[7] NEDIC, Z.; MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A. Remote laboratories versus virtual and real laboratories. Frontiers in Education. FIE 2003. 33rd Annual, v 1, p. 3-2.

[8] Powel, P.; Weenk, W. Project-Led Engineering Education.Lemma Publishers, Utrecht, 2003.

[9] Röring, C.; Jochheim, A. The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. Kohala Coast-Island of Hawaii, USA, 1999.

[10] Sumper, A.; Villafafila-Robles, R.; Gomis-Bellmunt, O.; Ramirez-Pisco, R.; Perez-Jimenez, R. Remote laboratory monitoring of rectifiers and harmonic current generation. 13th European Conference on Power Electronics and Applications, 2009. EPE '09. Barcelona, Espanha,Sept. 2009.

[11] WILEY, D. Learning Object Design and Sequenceing Theory. 2000. 35 f. Tese (Doutorado em Filosofia). Brigham Young University, Provo, 2000.

[12] Amchin, H. Increased Industry/University Interactions - A Solution for Today's Power Engineering Education Problem.IEEE Trans. on Power Systems, v. PWRS-2, n. 4, p. 1117-1124, November 1987.