

PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO E TESTES AUTOMATIZADOS PARA INVERSORES BASEADO EM HARDWARE-IN-THE-LOOP

Catherine Marquioro de Freitas¹, Luiz Fernando Rissotto Menegazzo², Leandro Michels², Lucas Vizzotto Bellinaso², Fernanda de Moraes Carnielutti², Ricardo Johann Franceschi Bortolini², Anderson Luis do Nascimento Severo², Lucas Bisêlo Piton²

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, catherine@inriufsm.com.br

²Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS

Resumo

Devido a crescente inserção de geração distribuída no sistema elétrico de distribuição, o INMETRO definiu através de portarias os requisitos mínimos dos inversores conectados à rede. Nesse sentido os inversores comercializados devem passar por uma série de testes que são realizados por laboratórios acreditados pela Coordenação Geral da Acreditação do INMETRO. As funcionalidades solicitadas pelo INMETRO só conseguem ser testadas pelos fabricantes de forma similar aos ensaios acreditados, depois do equipamento já estar no estágio final de montagem. Com o intuito de criar uma maneira com que os fabricantes consigam validar seus produtos em diferentes fases de desenvolvimento, esse artigo propõe um software que realiza os procedimentos de testes normatizados de forma automatizada de forma que possam ser realizados em diferentes níveis de simulação até a simulação com todo o protótipo real. Para avaliar o desempenho do software foi utilizado o teste de fator de potência constante para os diferentes ambientes de ensaio. Para os ensaios realizados em bancada real, foi realizada a comparação do método desenvolvido com a metodologia de certificação do laboratório creditado. Através da análise dos dados obtidos foi possível verificar a eficácia do método empregado, de forma que ele possa ser utilizado desde as etapas iniciais de projeto de um inversor, permitindo que os erros possam ser corrigidos de forma mais eficaz.

Palavras-chave. Certificação. Eletrônica de Potência. Energias Renováveis. Geração Distribuída. Simulação em Tempo Real.

Introdução

Em um cenário de crescente inserção da geração distribuída, devido principalmente às fontes de energia fotovoltaica, a qualidade e segurança dos dispositivos conectados à rede é de grande relevância. Uma vez que a conexão de um grande número de usinas fotovoltaicas à rede elétrica representa um grande desafio para a operação segura e estável do sistema de energia (YAAI et Al., 2013). É nesse sentido que em 2011 o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), através da portaria nº 004/2011 definiu os requisitos mínimos de desempenho e segurança dos sistemas e equipamentos para energia solar (INMETRO, 2011).

No ano de 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL estabeleceu condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Dessa forma, o INMETRO viu a necessidade de adequar os Requisitos de Avaliação de Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica através da portaria nº 357/2014 (INMETRO, 2014).

Em março de 2022 foi publicada a portaria nº 140 que revoga as portarias 004/2011 e 357/2014 e aprova o Regulamento Consolidado para Equipamentos para Geração, Condicionamento e Armazenamento de Energia Elétrica em Sistemas Fotovoltaicos que determina os novos requisitos de cumprimento obrigatório no que se refere a segurança e desempenho dos produtos (INMETRO, 2022). De forma que os fornecedores de equipamentos devem atender integralmente as disposições do regulamento.

Para avaliar se os equipamentos estão em conformidade com as diretrizes impostas pelo INMETRO, eles devem passar por testes feitos por laboratórios acreditados pela Coordenação Geral da Acreditação do INMETRO (CGCRE). Em decorrer disso, fabricantes de inversores precisam garantir que seus equipamentos vão estar de acordo com as normas exigidas e aprovar nos testes realizados nos laboratórios de acreditação. Entretanto essas funcionalidades só conseguem ser testadas pelos fabricantes de forma similar aos ensaios acreditados, depois do equipamento já estar no estágio final de montagem. Dessa forma os erros apresentados são corrigidos após a finalização do equipamento, aumentando o custo de produção e conseqüentemente o custo do equipamento.

Visando uma maneira de solucionar esse problema, esse artigo tem como foco o desenvolvimento de um software que realiza os procedimentos de testes normatizados de forma automatizada. Os testes podem ser executados utilizando exatamente a mesma forma de ensaio em quatro diferentes ambientes, que são: *Virtual-hardware-in-the-loop* (V-HIL), onde é executado no software *Typhoon HIL Control Center* (THCC), sendo que nesse ambiente o equipamento está sendo totalmente simulado, onde seria testado as funcionalidades na concepção do projeto; *Controller-hardware-in-the-loop* (C-HIL), onde o circuito de potência do equipamento e os equipamentos laboratoriais são simulados pelo THCC enquanto o controle do inversor é realizado pelo firmware real que vai ser utilizado no protótipo final; Teste em bancada real, onde é feito o teste final, utilizando os equipamentos

laboratoriais calibrados e testado o protótipo final do equipamento a ser fabricado, na bancada real do laboratório acreditado.

Materiais e Métodos

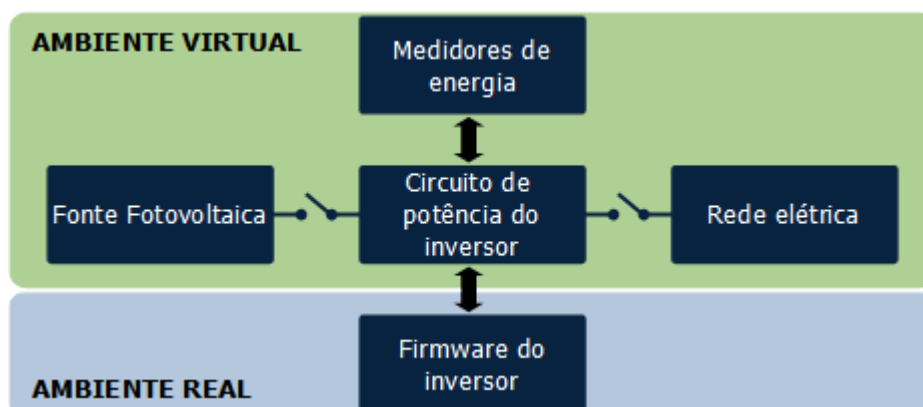
Virtual-Hardware-in-the-loop

O ambiente em V-HIL é totalmente virtual. O software Typhoon HIL Control Center simula tanto os equipamentos laboratoriais para teste, quanto o esquemático de potência do equipamento sob teste, além de simular o controle do equipamento a partir de um bloco C que é executado em um processador ARM separado dentro do equipamento Typhoon.

Controller-Hardware-in-the-loop

O ambiente em C-HIL é apresentado através de um diagrama de blocos na Figura 1. Os medidores de energia e o circuito de potência do inversor são executados em ambiente virtual de simulação. Enquanto o firmware real do inversor que faz o controle do equipamento. Isso se dá ao fato de que a partir de um equipamento HIL, utilizando uma placa de interface, as saídas dos medidores são conectadas em saídas analógicas, que são condicionadas para chegar nos pinos de entradas analógicas do firmware do equipamento onde serão lidas e interpretadas como sinais vindos de medidores reais. A partir desses sinais o controlador do equipamento vai ter sua lógica interna própria e irá comandar o circuito de potência do equipamento simulado a partir de sinais que irão ser condicionados e alimentados para o equipamento HIL a partir de entradas digitais.

Figura 1. Ambiente C-HIL



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Testes em bancada real

Os testes em bancada real utilizam a mesma metodologia de ensaios dos outros ambientes, onde se baseiam em scripts Python com o passo-a-passo de cada ensaio segundo a norma vigente. A diferença nesse caso é que os drivers por trás do teste, ao invés de controlar uma simulação em HIL, vão controlar os equipamentos reais da bancada de ensaio, e o inversor a ser testado também será totalmente real. Nesse ambiente nada é simulado, tudo está rodando em bancada real, como mostra a Figura 2.

Figura 2. Diagrama de blocos dos testes em bancada real.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Resultados e Discussão

Os procedimentos de ensaios foram validados segundo sua funcionalidade para as três etapas citadas anteriormente, no entanto não foi utilizado o mesmo equipamento em todas as etapas. No V-HIL foi utilizado um modelo genérico presente no software para a validação do procedimento de ensaio, no C-HIL foi utilizado um protótipo em desenvolvimento onde tínhamos acesso ao controle dele, podendo assim alterá-lo para passar/reprovar no teste, e por fim, para os ensaios em bancada foi testado um inversor comercial e teve seu resultado comparado com o procedimento utilizado atualmente no laboratório para certificação do equipamento.

Como a bateria de ensaios tem mais de vinte testes diferentes, definimos apresentar somente um deles nos resultados, sendo executado em todas as etapas, o teste a ser apresentado é o teste de fator de potência fixo. O procedimento se baseia em ajustar o fator de potência do inversor para 1,00, 0,90 indutivo e 0,90 capacitivo. Para cada um desses

ajustes o inversor é colocado em potência referente a 10%, 20%, 30%, 50%, 75% e 100% a nominal do equipamento, e medido o fator de potência para cada uma dessas etapas. O critério de aceitação é que o inversor acima de 20% da potência deve ter seu equipamento ao valor ajustado no início do teste, com tolerância de 0,02 no fator de potência.

Os resultados obtidos utilizando essas metodologias podem ser vistos nas Tabelas 1, 2 e 3. A Tabela 3 mostra uma comparação do teste realizado na metodologia de certificação do laboratório creditado e a metodologia desenvolvida nesse projeto.

Tabela 1. Teste de Fator de Potência Constante em V-HIL.

| Potência ativa (% nominal) | FP = 1,00 | FP = 0,90 Indutivo | FP = 0,90 Capacitivo |
|----------------------------|-----------|--------------------|----------------------|
| 10 | 0,99 | 0,93i | 0,90c |
| 20 | 1,00 | 0,92i | 0,90c |
| 30 | 1,00 | 0,91i | 0,94c |
| 50 | 1,00 | 0,91i | 0,93c |
| 75 | 1,00 | 0,91i | 0,92c |
| 100 | 1,00 | 0,91i | 0,91c |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Tabela 2. Teste de Fator de Potência Constante em C-HIL.

| Potência ativa (% nominal) | FP = 1,00 | FP = 0,90 Indutivo | FP = 0,90 Capacitivo |
|----------------------------|-----------|--------------------|----------------------|
| 10 | 1,00 | 0,90i | 0,90c |
| 20 | 1,00 | 0,90i | 0,90c |
| 30 | 1,00 | 0,90i | 0,90c |
| 50 | 1,00 | 0,90i | 0,90c |
| 75 | 1,00 | 0,90i | 0,90c |
| 100 | 1,00 | 0,90i | 0,90c |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Tabela 3. Teste de Fator de Potência Constante em Bancada Real.

| Potência ativa (% nominal) | FP = 1,000 (metodologia desenvolvida) | FP = 1,000 (metodologia existente) |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 10 | 0,499 | 0,496 |
| 20 | 0,767 | 0,754 |
| 30 | 0,879 | 0,877 |
| 50 | 0,939 | 0,943 |
| 75 | 0,964 | 0,963 |
| 100 | 0,980 | 0,980 |

Fonte: Autoria Própria, 2022.

Na Tabela 3 o ensaio não foi realizado para fator de potência 0,9 pelo fato do inversor que estava sob ensaio ter potência nominal menor que 6 kW. Segundo a norma, inversores como esse não precisam apresentar a funcionalidade de fator de potência ajustável.

Conclusão

Em março de 2022 foi publicada a portaria nº 140 do INMETRO que determina requisitos de cumprimento obrigatório de equipamentos em sistemas fotovoltaicos. Diante disso, fornecedores de equipamentos devem atender integralmente as disposições do regulamento que são avaliados através de ensaios em laboratórios acreditados. Para que os fabricantes possam testar os produtos em diferentes etapas de desenvolvimento, o trabalho propôs uma metodologia de testes automatizados que podem ser executados em V-HIL, C-HIL, P-HIL e até mesmo em uma bancada real.

Através da avaliação do teste de fator de potência constante foi possível validar a metodologia desenvolvida. Nesse sentido, garante-se que é possível utilizar as rotinas desenvolvidas tanto na certificação dos produtos, como também no processo de desenvolvimento dos equipamentos, reduzindo tempo e custo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Redes Inteligentes (INRI) e ao Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC) pelo apoio e disponibilidade da infraestrutura e equipamentos necessários para a realização do trabalho. Agradecemos também a Typhoon pelo financiamento do projeto.

Referências Bibliográficas

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**. (2012). Brasília, DF, Brasil: ANEEL, 2012.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 004, de 04 de janeiro de 2011**. Brasília, Brasil: INMETRO, 2011.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 357, de 01 de agosto de 2014**. Brasília, Brasil: INMETRO, 2014.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 140, de 21 de março de 2022**. Brasília, Brasil: INMETRO, 2022.

YAAI, Chen et al. **Research on the control strategy of PV grid-connected inverter upon grid fault**. In: 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). IEEE, 2013. p. 2163-2167.