

AUTOMAÇÃO DO CIRCUITO DE CARGA CA PARA TESTE DE ANTI-ILHAMENTO EM POWER-HARDWARE-IN-THE-LOOP

Lucas Bisêlo Piton¹, Luiz Fernando Rissotto Menegazzo², Catherine Marquioro de Freitas², Leandro Michels², Lucas Vizzotto Bellinaso², Fernanda de Moraes Carnielutti², Anderson Luis do Nascimento Severo², Ricardo Johann Franceschi Bortolini²

¹Universidade Federal de Santa Maria, lucasbpiton@gmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria

Resumo

Cargas CA RLC de alta potência são componentes fundamentais para a realização de ensaios laboratoriais da função de anti-ilhamento de inversores fotovoltaicos. No entanto, a complexidade de configuração manual das mesmas impede a realização de ensaios de forma rápida. No contexto de um laboratório de testes de inversores fotovoltaicos, este artigo propõe um sistema de automação para a integração de cargas CA RLC de alta potência com procedimentos de teste automáticos desenvolvidos em Python. O artigo contextualiza a situação atual dos ensaios de anti-ilhamento e seus problemas mais recorrentes, explica o funcionamento da carga RLC e a estrutura empregada para a comunicação com o equipamento e sua automação.

Palavras-chave. Anti-ilhamento, Carga CA, Inversor Fotovoltaico, Comunicação MQTT, Automação de testes.

Introdução

Os sistemas de geração distribuída de energia elétrica têm apresentado uma crescente expansão em escala global nos últimos anos, este fato se deve principalmente aos diversos avanços tecnológicos na área. A expansão do setor, principalmente de sistemas de geração solar, contribuiu para uma demanda crescente por tecnologias com maior eficiência e menor custo. Esta modernização necessita, conseqüentemente, do desenvolvimento de novos inversores fotovoltaicos. De acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), para que os inversores possam ser comercializados, devem ser aprovados em uma série de testes afim de garantir o funcionamento, estabilidade e segurança do sistema. No ano de 2014, o Inmetro publicou a Portaria Nº 357 que define padrões mínimos de desempenho para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Por sua vez, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou as normas ABNT NBR 16149 (ABNT, 2013), ABNT NBR 16150 (ABNT, 2013) e ABNT NBR IEC 62116 (ABNT, 2012), estas descrevem os ensaios a

serem realizados e critérios para aprovação em cada um deles com o intuito de validar o software e o hardware do inversor. A realização desses testes requer laboratórios que sejam devidamente equipados com fontes emuladoras de arranjos fotovoltaicos, fontes emuladoras de rede CA, analisadores de energia e cargas CA. Cada equipamento tem seu protocolo próprio de comunicação e funcionamento. Para realização dos ensaios de forma automática, é necessário integrar esses protocolos em um único sistema supervisorio, para que todos funcionem em conjunto.

Esse artigo irá abordar especificamente o ensaio de anti-ilhamento, que será melhor explicado quanto sua complexidade no capítulo de Materiais e Métodos. Para a realização do ensaio, é necessário que o inversor seja conectado a uma carga CA RLC capaz de absorver 31 diferentes combinações diferentes de resistência, capacitância e indutância, assim necessitando que o metrologista calcule o valor de R, C e L e manualmente ligue os contadores que conectam os respectivos elementos. Uma solução para facilitar o teste de anti-ilhamento é automatizar os processos do teste que requerem tempo e precisão. Para isso, este artigo irá abordar um sistema de automação da carga CA, que será integrado a um sistema de automação dos testes em Hardware-in-the-Loop (Menegazzo, 2020). Além do controle da carga RLC, as fontes e elementos de medição também são automatizados para assim realizar o ensaio de forma automática, reduzindo tempo e ação constante do metrologista.

Uma extensão do sistema HIL é o Power-Hardware-In-the-Loop (P-HIL) no qual o ambiente de simulação em tempo real é capaz de trocar não apenas sinais de baixa tensão e baixa corrente, mas também a energia exigida pelos equipamentos. Utilizando a abordagem P-HIL, os testes de inversores fotovoltaicos podem ser realizados centenas de vezes de forma automatizada e rápida, com isso, possibilitando a análise em diversas condições de operação. Tais condições seriam possivelmente inviáveis de serem reproduzidas em laboratório sem a utilização destas ferramentas. Com objetivo de auxiliar nos ensaios em P-HIL, foram desenvolvidos drivers na linguagem de programação Python, que realizam o acionamento, comunicação e monitoramento de uma carga resistiva, indutiva e capacitiva. Os comandos desenvolvidos são responsáveis por controlar o acionamento e desligamento de cada um dos componentes da carga de forma individual, ligar e desligar o sistema de resfriamento ativo, receber informações da temperatura e acionar o contator que liga a carga ao equipamento ensaiado.

Materiais e Métodos

Procedimento de ensaio de anti-ilhamento

Dentre outros objetivos, o desenvolvimento do driver de controle para a carga RLC busca possibilitar a realização do ensaio de anti-ilhamento de inversores fotovoltaicos em P-HIL. O ensaio tem como objetivo verificar a eficácia da proteção contra ilhamento dos inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede quando estão funcionando em pontos críticos de operação. O ilhamento ocorre quando o sistema fotovoltaico permanece operando após uma interrupção no fornecimento de energia pela rede elétrica. Logo, a proteção de anti-ilhamento deve garantir que o sistema de geração seja desligado automaticamente quando detectar uma falha no fornecimento de energia da concessionária, dessa forma evitando riscos as pessoas e equipamentos. O sistema de testes para o ensaio de prevenção de ilhamento é descrito na norma ABNT NBR 62116.

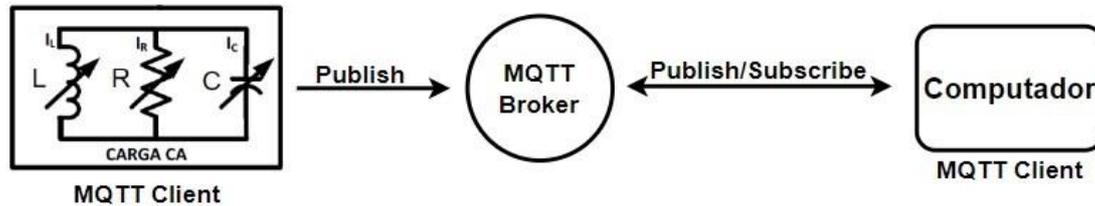
O ensaio de anti-ilhamento consiste em testar o inversor comercial, 33%, 66% e 100% da potência nominal do equipamento sob teste. O equipamento é ensaiado com 31 diferentes especificações de cargas, isso com intuito de encontrar pontos críticos de carga em que a proteção possa não funcionar. Em todos os pontos de teste, o equipamento é conectado à carga e após a estabilização do sistema, a rede é desconectada para caracterizar o ilhamento, e então é medido o tempo até o equipamento parar de fornecer energia nos terminais de saída. O critério de aceitação para esse ensaio é que o equipamento demore no máximo 2 segundos para cessar o fornecimento de energia em todos os pontos ensaiados.

Funcionamento da carga CA

A carga CA usada neste trabalho tem seu processo de desenvolvimento descrito em (Stenhorst, 2021). A carga RLC para a qual o driver foi desenvolvido supre potência máxima de 100 kW trifásica, composta por 20 resistores, 20 capacitores e 10 indutores, conectados em paralelo, por fase. Desta forma, os componentes podem ser associados para atingir um maior número de combinações. Para realizar a comutação dos níveis da carga são utilizados relés de estado sólido comandados por um controlador microprocessado que gera padrões de comutação para todos os níveis de forma independente. A carga CA utiliza um sistema de comunicação por meio de Message Queue Telemetry Transport (MQTT), este é um protocolo de transmissão e dado baseado em TCP/IP, muito utilizado em comunicação Máquina-Máquina. O MQTT permite bidirecionalidade na comunicação, permitindo o envio e

recebimento de informações entre dispositivos. Na Figura 1, pode ser observado o fluxo de dados entre os dispositivos.

Figura 1. Fluxo de dados da comunicação MQTT



Fonte: Autoria própria, 2022.

O padrão de comunicação por MQTT possui dois tipos de comandos, o publish e o subscribe. O primeiro é utilizado quando se deseja apenas publicar um comando no broker (servidor MQTT). Além do conteúdo da mensagem, cada comando deve conter um topic que o broker possa usar para encaminhar a mensagem para clients interessados. No caso da carga CA, foram utilizados comandos deste tipo para acionamento e desligamento individual dos componentes e controle dos sistemas de dissipação ativa de temperatura. Já os comandos do tipo subscribe são utilizados para realizar a inscrição em um topic específico. Quando um dispositivo se inscreve no topic, passa a receber publish de outros MQTT clients. No sistema desenvolvido comandos do tipo subscribe foram utilizados para receber dados dos sensores da carga RLC.

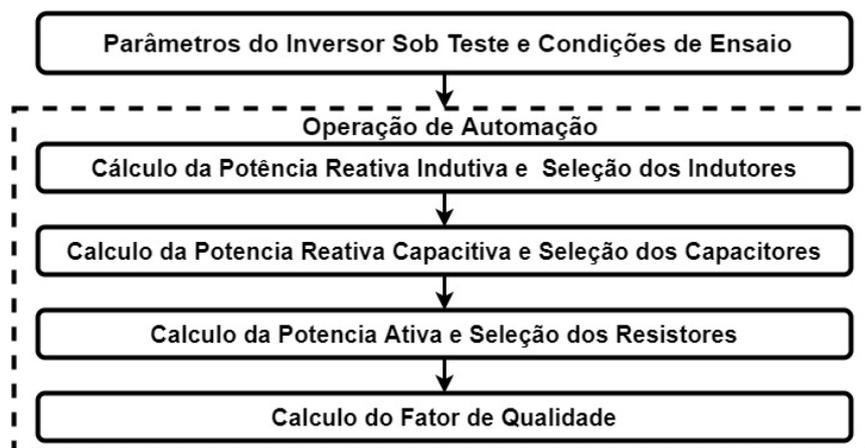
Resultados e discussão

O driver de comando pode ser dividido entre funções e operação de automação. As funções são responsáveis por realizar os procedimentos básicos da carga CA, já a operação de automação utiliza as funções básicas associadas a algoritmos de cálculo e de seleção para calcular e ativar os componentes corretos do circuito RLC de acordo com a especificação do inversor sob teste e do próprio ensaio.

Assim como é descrito na norma ABNT NBR IEC 62116, os valores calculados para a carga CA não são valores de resistência, indutância e capacitância, mas sim potência ativa e reativa. Então, a primeira etapa do desenvolvimento do algoritmo foi realizar a medida da potência que cada componente apresenta de forma individual. Vale ressaltar que para capacitores e indutores foi considerada não só a potência reativa, mas também a potência ativa resultado de não idealidades dos componentes. Estas medidas foram realizadas com tensão de 220 V e frequência da rede de 60 Hz, no caso de o inversor sob teste possuir tensão

e frequência de operação diferentes destes é possível aplicar um fator de correção a estas medidas. O maior desafio na implementação da função é a seleção de quais níveis da carga devem ser acionados para alcançar o resultado mais próximo a potência desejada para o teste. Após o levantamento dos dados da medição, os valores foram analisando e, com base nos resultados, foi desenvolvido o algoritmo de seleção. Este algoritmo tem como parâmetros o valor de potência ativa ou reativa que a carga deve atingir, o componente (Resistor, Capacitor ou Indutor) e o vetor de potências medidas naquele componente. Outra etapa do projeto foi o desenvolvimento do algoritmo de automação, cuja entradas são as seguintes variáveis: potência nominal do inversor, potência reativa gerada pelo inversor, tensão de operação, seleção de sistema monofásico ou polifásico, condição do ensaio, variação da potência ativa e reativa da rede.

Figura 2. Fluxograma da operação de automação da carga CA



Fonte: Autoria própria, 2022.

Na Figura 2, pode ser observado o processo de uma operação de automação. Com base nos parâmetros do inversor sob teste e condições de ensaio de um ponto qualquer, o algoritmo realiza o cálculo das potências reativa indutiva, reativa capacitiva e ativa à qual a carga deve atender. Estes cálculos são realizados de acordo com equações definidas pela norma ABNT IEC 62116. Após realizar os cálculos, o algoritmo calcula o fator de qualidade, para garantir que está dentro do desejável da norma. Caso todos os resultados para o fator de qualidade sejam aceitáveis, o sistema realiza o acionamento dos níveis selecionados em cada fase utilizando as funções primárias escritas anteriormente. Caso algum dos resultados não alcance o nível de exatidão necessário, o procedimento de teste é interrompido.

Afim de validar esta metodologia foram realizados diversos testes no algoritmo de automação para isto foram aplicados com valores normalmente utilizados no ensaio de anti-

ilhamento e para cada um deles foram avaliados os 31 pontos do ensaio. Os valores de potência ativa e reativa drenados pela carga CA foram aferidos utilizando um analisador de potência e todos eles atenderam os requisitos da norma ABNT NBR 62116.

Conclusão

Utilizando a metodologia apresentada neste trabalho foi possível desenvolver drivers de acionamento, controle e monitoramento de uma carga CA. Incluído neste sistema, foi elaborada a automatização de alguns processos que tomavam muito tempo do metrologista durante o ensaio de anti-ilhamento, como o cálculo e acionamento dos componentes para cada uma das condições do teste. O algoritmo implementado utiliza algoritmos em Python para receber e transmitir informações utilizando o protocolo de comunicação MQTT. Após a realização de alguns testes, concluiu-se que a utilização destes drivers foi responsável por reduzir o tempo levado para ajustes da carga durante um ensaio de anti-ilhamento. Com a combinação deste sistema com a automação do ensaio em P-HIL foi possível diminuir consideravelmente o tempo utilizado para a realização do teste.

Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Nbr 16149: Sistemas fotovoltaicos (fv) - características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Nbr 16150: Sistemas fotovoltaicos (fv) – características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – procedimento de ensaio de conformidade**. 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Iec 62116: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2012.

MENEGAZZO, L. F. R.; BELLINASSO, L.V.; BAUMHARDT, V. S.; SEVERO, A. L. N.; MAGNAGO, H.; CARNIELUTTI, F. M., **PRÉ-CERTIFICAÇÃO DO FIRMWARE DE INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE ACORDO COM A NORMA BRASILEIRA NBR 16150 ATRAVÉS DE HARDWARE-IN-THE-LOOP**. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR - CBENS 2020, 2020, Fortaleza. ANAIS CBENS 2020, 2020.

Stenhorst, D. M., **CONTROLADOR EMBARCADO PARA CONFIGURAÇÃO REMOTA DE CARGA RLC PASSIVA COM INTERFACE MQT**, 2021