

Pesquisa e desenvolvimento de equipamento regulador de baixa tensão paralelo para atendimento temporário e imediato de unidades consumidoras

Resumo – O trabalho apresenta a pesquisa e os resultados para aplicação de reguladores de tensão para baixa tensão, com o intuito de regular a tensão para unidades consumidoras de forma individual. Este segmento necessita, de forma urgente, de soluções pois há demanda de um lado, devido a regulamentação e, de outro lado, poucas soluções de mercado que atendam às concessionárias. Este trabalho procurou apresentar uma solução possível que pudesse oferecer a regulação da tensão de fornecimento de forma automática, sendo uma solução baseada em chaveamento eletrônico por tiristores. Os resultados desta aplicação, bem como as análises pertinentes, são apresentados na forma de protótipo que atende às necessidades levantadas.

Palavras-chave – Aquisição de dados, chaveamento por tiristor, comunicação, controle automático, regulação de tensão.

I. INTRODUÇÃO

O interesse em informações e soluções para os problemas relativos às redes secundárias de distribuição de energia tem crescido ano a ano. Este fato é facilmente explicado, dado que é neste nível de fornecimento de energia que se encontra a grande maioria dos consumidores de energia elétrica, sejam residenciais, comerciais ou mesmo pequenas indústrias. Com o intuito de que estes consumidores não sejam prejudicados, a Resolução Normativa nº 664/2015 da ANEEL [1] – Módulo 8 (Qualidade de Energia Elétrica), do Procedimento de Distribuição (PRODIST), estabelece o direito de que seja solicitado à concessionária a medição do nível de tensão de atendimento quando se acreditar que os requisitos mínimos definidos na mesma resolução não estão sendo atendidos.

Dentre os diversos problemas enfrentados pelo setor de energia elétrica no Brasil, o desafio no atendimento dos níveis de tensão máximos e mínimos tem suscitado diversas discussões. De acordo com [2] o principal desafio para implementar uma estratégia reguladora sobre conformidade de tensão é o fato de que o prejuízo do afastamento recai no cliente e, por consequência, não há estímulo para que as concessionárias invistam na redução deste prejuízo. Mas, nos últimos anos o montante financeiro despendido com o pagamento de multas, devido ao não atendimento dos requisitos mínimos de tensão estabelecidos pelo módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), vem motivando as empresas do setor de energia elétrica, sobretudo as distribuidoras de energia, a buscar soluções para os problemas de compensação de tensão especialmente nos circuitos de distribuição secundária.

Neste contexto algumas soluções já propostas atendem parcialmente o problema de não conformidade de tensão. Com o intuito de atender provisoriamente reclamações com duração relativa de transgressão de tensão crítica (DRC), um autotransformador compacto e de fácil instalação foi desenvolvido em [3], porém sem unidade de medição interna e sem comunicação remota. Outra solução propôs um protótipo de 30 kVA que, apesar de atender mais de um cliente, em função do volume e peso, exigia grande mobilização para sua instalação, descaracterizando-a como solução provisória [4]. Há ainda o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para gerenciamento dos processos de medição e de regularização de níveis de tensão [2] e trabalhos relacionados a algoritmos de cálculos propostos para a regulação do nível de tensão através de modelagem computacional [5].

O projeto de P&D realizado para a COELBA visou particularmente o desenvolvimento de protótipos de regulador de tensão de baixa tensão, totalmente automático, com comutador de tapes tiristorizado, de baixo custo e dimensões reduzidas e de fácil instalação na rede de distribuição, para emprego em caráter temporário, próximo a unidades consumidoras que apresentem qualidade de fornecimento fora dos limites estipulados pela ANEEL, de modo a possibilitar o atendimento do nível mínimo da tensão de alimentação e evitar efeitos de subtensões ou sobretensões de caráter permanente ou temporário, causadas por cargas não comportadas de consumidores instalados no mesmo ramal.

Deste modo, reduz-se significativamente o tempo de atendimento de reclamações de consumidores por baixa qualidade no fornecimento de energia elétrica, o número de solicitações de indenização por danos elétricos em instalações de consumidores de baixa tensão, o montante despendido pela Concessionária para o pagamento de multas pelo não cumprimento dos Procedimentos de Distribuição (Módulo 8) e, não menos importante, a possibilidade de extensão dos prazos para a execução de obras para a melhoria da rede de distribuição.

O protótipo do regulador de tensão de baixa tensão desenvolvido atende cargas monofásicas, com potência nominal de até 5 kVA, tensão secundária regulada de +10% e -5 %, com comando eletrônico e comutador de tapes tiristorizado, possibilitando o ajuste da derivação ótima para a alimentação do circuito secundário do consumidor reclamante, sem a necessidade de troca sequencial de derivações.

Uma vez que as redes inteligentes do tipo “*smart-grid*” estão em processo de desenvolvimento e implantação no país e equipamentos como reguladores de tensão podem resultar em impactos na operação destas [6], adicionalmente, incluiu-se no protótipo desenvolvido dispositivo de comuni-

cação de longa distância junto ao controlador eletrônico do regulador de tensão, visando o monitoramento da tensão na unidade consumidora, a partir de um centro de controle da Concessionária. Assim sendo, o regulador de baixa tensão pode ser facilmente adaptado à operação em redes “*smart-grid*”, possibilitando grande flexibilidade de uso, incluindo a programação remota de suas funções de monitoramento e a definição da faixa ótima de regulação da tensão.

II. TEORIA DA COMUTAÇÃO ELETRÔNICA TIRISTORIZADA

A operação do regulador de tensão para baixas tensões se baseia na comutação de tapes tiristorizados.

O controle dos tapes é feito pelo sistema de comando e controle eletrônico. Ele é responsável pelo monitoramento das variáveis de controle (tensões de entrada e saída, corrente, temperatura interna e estampa de tempo) e também pela comutação das chaves eletrônicas.

Esta comutação é o ponto mais crítico para o controle da tensão entregue ao consumidor, pois ela deve ser realizada de forma que se assegure que uma chave eletrônica em condução, esteja completamente aberta (desligada) antes de acionar outra chave eletrônica.

Como se optou por utilizar tiristores, este componente realiza o desligamento de forma não controlada, ou seja, uma vez retirado o sinal de disparo do mesmo, este desligará assim que a corrente através do elemento semiconductor, for menor que sua corrente de manutenção, ou simplesmente, quando passar pelo zero.

Por este motivo, o circuito eletrônico realiza a monitoração da corrente (além de medir este valor). Esta monitoração, com fins de comutação, faz com que se exija do circuito de controle do protótipo paralelo um temporizador que assegure um intervalo sem qualquer par de chaves eletrônicas acionado, apenas a chave auxiliar com a resistência (Figura 1). Após este intervalo, outro par de chaves eletrônicas é acionado, e a regulação tem sequência.

No entanto, deve-se lembrar de que o protótipo foi desenvolvido para potência de até 5 kVA, ou seja, com correntes que podem variar muito. Isto fez com que fosse necessário um sistema de controle na monitoração da corrente que pudesse alterar o ganho automaticamente, fazendo com que a corrente pelas chaves eletrônicas fossem divididas em faixas (Tabela I).

TABELA I – FAIXAS DE CORRENTES PARA MEDIÇÃO

GANHO	CONSTANTE DE AJUSTE	FAIXA DE CORRENTE
1000	19501	0,2 - 0,8 A
500	41000	0,6 - 1,7 A
200	107000	1,5 - 4 A
100	215000	3 - 8 A
50	450000	7 - 17 A
20	1128576	15 - 35 A
10	2262688	30 - 50 A

Desta forma, o controle pode manter a medição de corrente fora dos intervalos de comutação, ao mesmo tempo em que monitora corretamente os instantes de janela e zero de corrente. Assim mesmo, quando o circuito eletrônico decide pela comutação, o sistema de controle automático do ganho

de corrente eleva o ganho para o valor máximo, independente do valor da corrente que está sendo processada.

Neste intervalo de comutação, a unidade de controle eletrônico interrompe a monitoração de corrente.

Paralelo a este procedimento, existe também o fato de que o consumidor pode não apresentar consumo algum (situação de cargas completamente desligadas). Este cenário não representa problemas para o protótipo paralelo, a menos se os transformadores estiverem saturados.

Para realizar a comutação de tapes no caso do protótipo paralelo, é estabelecida uma janela de comutação: período de 50 ms onde a carga auxiliar resistiva é acionada através de uma chave eletrônica (para otimizar o tempo de resposta), em seguida o par de chaves eletrônicas que está em operação é desligado (após um período de 30 ms dentro do intervalo mencionado).

Na sequência, é contado outro intervalo de 20 ms, para se assegurar que houve passagem por zero da corrente, e então, o novo par de chaves eletrônicas é acionado.

A Figura 1 mostra o comportamento da tensão e da corrente no secundário do transformador de corrente utilizado no protótipo, bem como dos sinais de janela de comutação e disparo de uma chave eletrônica.

Observa-se que a metodologia de comutação adotada permite que se desligue um par de chaves eletrônicas independente da passagem por zero. O intervalo de 20 ms após este desligamento assegura que se tenha ao menos duas passagens por zero, e durante este intervalo, a carga auxiliar está impondo uma impedância no transformador de corrente do protótipo. Isto evita sobretensões nas chaves eletrônicas.

Assim, o sinal de disparo é imposto após o desligamento do par que estava acionado. E a carga auxiliar que permanece acionada durante o intervalo de 50 ms, impede que ocorra interrupção no fornecimento de energia para as cargas consumidoras.

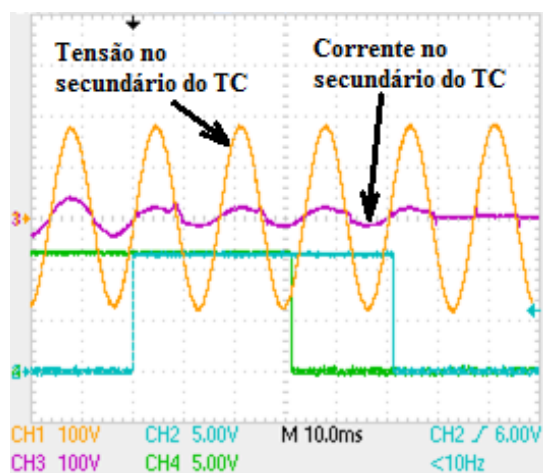


Figura 1 – Sinais de tensão (amarelo) e corrente (violeta) no secundário do TC, janela de comutação (azul) e desligamento do par de chaves eletrônicas (verde).

III. MODO DE OPERAÇÃO E FLUXOGRAMA DE CONTROLE

No projeto Regulador de BT, a aquisição de dados é feita por um microcontrolador de medição ligado diretamente aos sinais monitorados, com uma rede de comunicação digital, na qual é realizada a isolamento óptica para o processador principal. Este microcontrolador ligado diretamente aos sinais monitorados compõe a parte “quente” do sistema de aquisição, enquanto que o processador principal compõe a parte “fria”.

O microcontrolador de aquisição realiza as medidas de

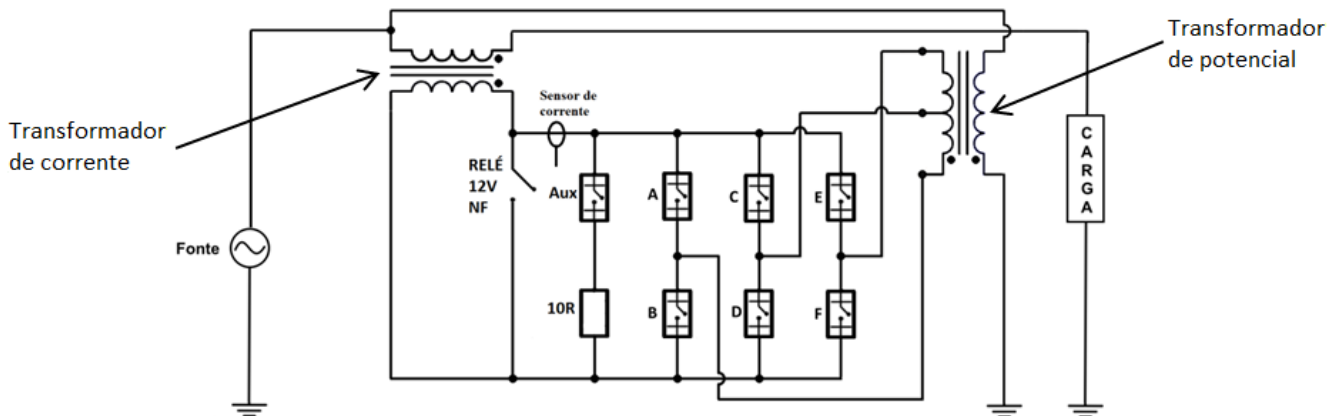


Figura 2 – Diagrama do Regulador BT configuração Paralelo

O regulador do tipo paralelo pode regular a tensão até 15 V superior e 15 V inferior. A faixa de tensão adotada é entre 125 V e 129 V. A tensão de saída é verificada e, caso esteja menor que 125 V o algoritmo vai somando a tensão necessária. Se for superior a 129 V será subtraída a tensão até 15 V.

Logo após a leitura da corrente e da temperatura o programa verifica se esses valores estão dentro da faixa esperada em caso negativo a função de troca de tape será bloqueada, e uma mensagem será enviada para o sistema de coleta. A temperatura deve ser inferior a 60° e a corrente abaixo de 45 A.

Caso o sistema verifique uma queda de energia, aciona a função *power good*, e todas as chaves serão abertas e uma mensagem enviada. Esse também é o procedimento no caso de um curto-circuito.

Após verificar qual tape deve ser acionado, serão bloqueadas todas as funções e o processo de comutação será iniciado.

Com o tape determinado, deve ser acionada a chave eletrônica da carga auxiliar.

Depois o programa aguarda 30 ms e abre o tape atual (par de chaves eletrônicas). Aguarda mais 20 ms e fecha o novo tape (par de chaves eletrônicas). Assim que esse novo tape é fechado, a chave auxiliar é desligada. A chave auxiliar é utilizada para não provocar sobretensões nas chaves eletrônicas, e esses tempos são necessários para garantir que dois tapes não estejam fechados ao mesmo tempo (Figura 3), além de permitir que as chaves eletrônicas tenham ao menos duas passagens por zero para efetivamente se bloquearem.

tensão, corrente e temperatura em cada ciclo e transmite esses valores para o microcontrolador principal.

Na Figura 2 pode-se verificar a parte do diagrama do Regulador de BT da configuração paralela. As chaves de acionamento estão representadas e também a chave auxiliar da comutação. O relé NF (normalmente fechado) serve para evitar sobretensões que danificariam as chaves tiristorizadas.

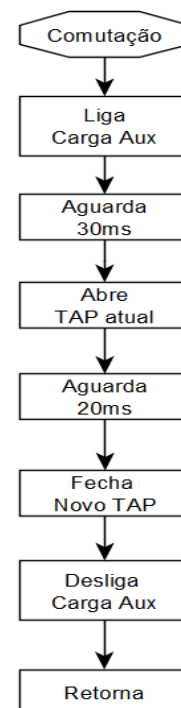


Figura 3 – Sequência para comutação do regulador tipo paralelo

IV. MODELO DO REGULADOR DE TENSÃO E SIMULAÇÕES

No projeto do regulador de baixa tensão série/paralelo previu-se a utilização de chaves tiristorizadas para a comutação de derivações, sempre que identificada uma condição de não conformidade na tensão da unidade consumidora.

Nesta configuração (paralelo), o regulador de baixa tensão possui dois transformadores auxiliares, um deles com

um enrolamento ligado em série com a carga (72-15 V) e o outro com um enrolamento ligado em paralelo à carga (127-48/24 V).

As chaves tiristorizadas escolhidas foram especificadas para a tensão reversa de 280 V e corrente nominal máxima de 65 A, marca Crydom, modelo CMR24. Estas chaves apresentam máxima sobretensão admissível entre os contatos de 600 V, corrente de fuga para a condição aberta de 10 mA, em 280 V, queda de tensão na chave em condição fechada de 1,1 V, corrente mínima para a interrupção da carga de 250 mA, comandada pelo sinal de *gate*, e corrente máxima de curto-circuito para $\frac{1}{2}$ ciclo de 60 Hz de quase 6 kA.

Para a simulação da operação das chaves tiristorizadas, optou-se por representá-las por duas chaves convencionais, ligadas em paralelo, uma delas para representar a condição em aberto e a outra para a condição fechada. Na condição em aberto, para levar em conta a corrente de fuga através do tiristor, acrescentou-se em série com a chave convencional um resistor de valor $280 \text{ V} / 10 \text{ mA}$, ou seja, $R_{\text{OPEN}} = 28 \text{ k}\Omega$. Para a condição fechada, utilizou-se $R_{\text{CLOSE}} = 10 \text{ }\mu\Omega$.

Para proteger as chaves eletrônicas de sobretensões transitórias foi utilizado um circuito supressor (*snubber*), instalado em paralelo com cada tiristor, composto de um resistor de $10 \text{ }\Omega$ em série com um capacitor de 220 nF .

A Figura 4 mostra esquematicamente o circuito utilizado para as simulações digitais na plataforma ATP, para a alimentação de uma carga monofásica de até 5 kVA, através do regulador de baixa tensão. A alteração das derivações se dá pelo fechamento simultâneo de um dos tiristores A, C ou E, com um dos tiristores B, D ou F. A

TABELA mostra as combinações possíveis de chaveamento e a derivação utilizada para controle da tensão na carga.

A fonte alimenta a carga, com tensão regulada através do transformador série do regulador de tensão. Para limitação da corrente de curto-circuito da fonte de alimentação, empregou-se um reator com impedância equivalente a do enrolamento secundário de um transformador de distribuição de 75 kVA, com impedância de 4%, considerado típico, ou seja, $R_{75}=1\text{m}\Omega$ e $L_{75} = 67,3\text{ }\mu\text{H}$. A carga foi calculada para fator de potência $\cos \phi = 0,7$ e corrente de 40 A (127 V) no regulador de baixa tensão.

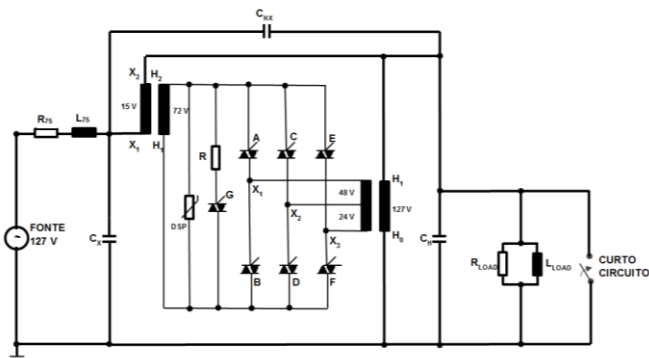


Figura 4 – Modelo do regulador de baixa tensão.

TABELA II – COMBINAÇÃO DE CHAVES E DERIVAÇÕES PARA CONTROLE DA TENSÃO DA CARGA

CHAVES	TENSÕES TRANSFORMADOR SÉRIE	
	H1 – H2	X1 – X2
A+B (C+D ou E+F)	$72 \text{ V} - 72 \text{ V} = 0$	0
A+D	$72 \text{ V} - 24 \text{ V} = 48 \text{ V}$	+10 V
A+F	$72 \text{ V} - 0 = 72 \text{ V}$	+15 V
C+F	$24 \text{ V} - 0 = 24 \text{ V}$	+5 V
B+C	$-72 \text{ V} + 24 \text{ V} = -48 \text{ V}$	-10 V
B+E	$-72 \text{ V} + 0 = -72 \text{ V}$	-15 V
D+E	$-24 \text{ V} + 0 = -24 \text{ V}$	-5 V

Os dois transformadores (série e paralelo) foram modelados para levar em consideração sua característica de excitação e saturação do núcleo magnético. As capacitâncias entre os terminais do regulador de baixa tensão em relação à terra (C_H e C_X) e a capacitância entre enrolamentos (C_{HX}) foram estimadas em 5 pF.

Os tempos de abertura e de fechamento das chaves, para simular a condição de troca das derivações no regulador de baixa tensão, foram variados em relação ao ponto de passagem da corrente na carga pelo zero, para identificar as condições mais críticas de operação. Este circuito foi simulado no ATP de acordo com os parâmetros apresentados.

Foram realizadas diversas simulações digitais, comparando-se os resultados obtidos com aqueles verificados em ensaios de avaliação do protótipo em laboratório, tendo sido uma ferramenta bastante útil para definir as características necessárias para a operação confiável do protótipo desenvolvido.

Durante o processo de abertura de uma dupla de chaves e o fechamento de uma nova dupla, visando a regulação da tensão na carga, o transformador série comporta-se como um transformador de corrente e, quando seu secundário fica em aberto ocorre sobretensão nos seus terminais secundários, suficiente para provocar danos nos tiristores ou, no mínimo, a saturação do transformador série. Para a avaliação destes efeitos e alternativas para sua minimização, foi definida uma sequência para validar o comportamento do conjunto e também das soluções pretendidas.

O retardo de um ciclo entre a abertura de um par de chaves e o fechamento de um novo par (16,6 ms), durante a comutação de derivações, visou garantir a passagem da corrente da carga por zero pelo menos uma vez.

As Figuras 5 e 6 mostram a variação da tensão e da corrente na carga, com acréscimo de aproximadamente 15 V em torno do instante 131 ms, e redução de 15 V no instante 290 ms.

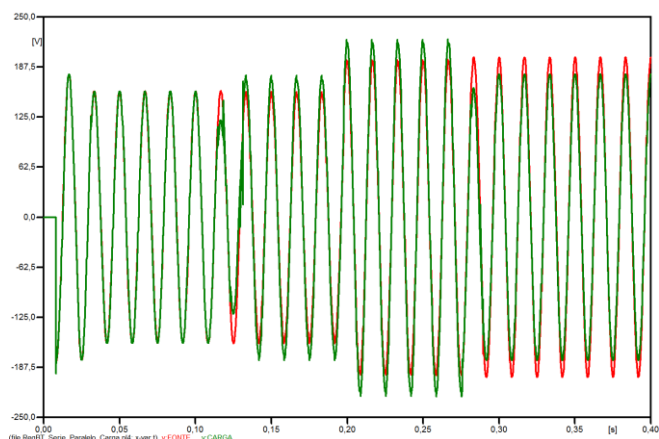


Figura 5 – Tensões na fonte e na carga.

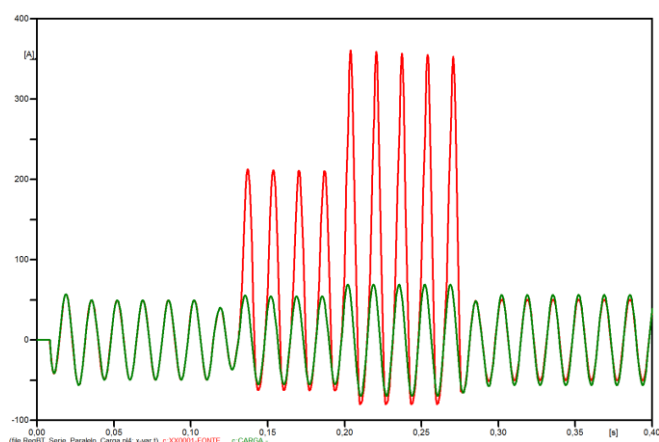


Figura 6 – Correntes na fonte e na carga.

A abertura das chaves tiristorizadas de uma derivação ativa, no instante em que a corrente no secundário do transformador série passa por um zero, dependendo das condições de saturação impostas a este transformador, pode não ter resposta efetiva imediata, requerendo período adicional de pelo menos meio ciclo (8,3 ms), até uma nova passagem da corrente que circula pelas chaves por um zero.

A Figura 7 mostra a tensão e a corrente nos terminais secundários do transformador série (transformador de corrente) do regulador de baixa tensão (terminais H_1 - H_2). Pode-se observar o aparecimento de sobretensões com valor máximo superior a 100 V, com amplitudes críticas para provocar danos nos tiristores do conjunto e bem notório o comportamento de saturação do núcleo do transformador série, durante a abertura de um par de chaves, e do fenômeno de *inrush*, durante o fechamento de um novo par, particularmente observado na mudança de derivações simuladas no instante 131 ms.

Para as condições avaliadas, a instalação de um varistor (DPS), de tensão nominal 125 V, limita o nível máximo de sobretensão nos terminais H_1 - H_2 do transformador série, mas não evita a saturação do núcleo, nem a distorção significativa da corrente que circula na malha interna do circuito de comutação. O emprego do tiristor G para curto-circuitar os terminais H_1 - H_2 do transformador série, durante a comutação de derivações, reduz significativamente os níveis de sobretensão na malha interna do circuito, minimizando o risco de danos nos componentes eletrônicos.

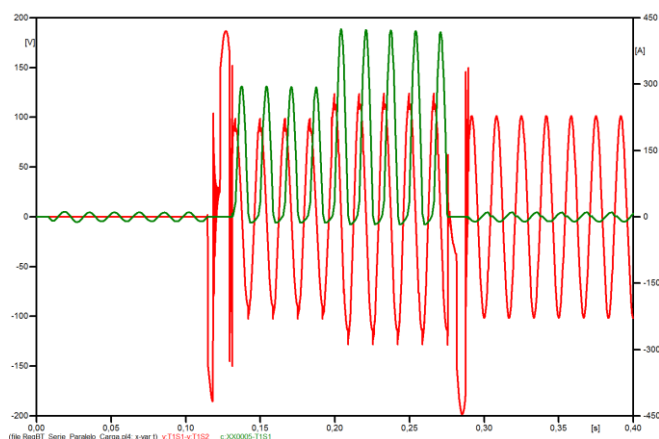


Figura 7 – Tensão e corrente nos terminais H1-H2 do transformador série (sem chave auxiliar G e DPS – dispositivo de proteção contra surto).

Se, adicionalmente, a curva de saturação do transformador série for elevada para 100% de sua tensão nominal (72 V), de modo que o ponto de operação do transformador fique bem abaixo do joelho da curva de saturação, o comportamento do circuito interno de comutação do regulador de baixa tensão praticamente deixa de ser influenciado pelas sobretensões mantidas pela fonte de alimentação e pela abertura e fechamento das chaves tiristorizadas. Isto reduz os efeitos da saturação do transformador, reduzindo também as correntes circulantes internamente.

De modo geral, pode-se afirmar que a abertura de um par de chaves tiristorizadas, durante a comutação de derivações do regulador de baixa tensão, deve ocorrer no instante mais próximo possível da passagem efetiva da corrente por um zero, a fim de reduzir os efeitos de saturação do núcleo do transformador série e posterior corrente de *inrush*. Para garantir a abertura efetiva das chaves que determinavam a derivação anterior, entretanto, convém realizar o fechamento da novo par de chaves apenas após um intervalo de um ciclo de 60 Hz. Como não há interrupção da alimentação da carga durante a comutação de derivações no regulador de baixa tensão paralelo, a tensão regulada na carga poderá ficar incorreta por apenas um ciclo, enquanto a chave tiristorizada G permanecer fechada, o que pouco compromete a alimentação da unidade consumidora.

Para curtos-circuitos na carga, verificou-se correntes com valor eficaz máximo de 4,7 kA no circuito primário do transformador série, refletindo para o secundário correntes de até 988 A.

Tais correntes de curto-circuito podem danificar tanto o transformador série, quanto os tiristores ligados ao seu secundário. Admitindo-se que os tiristores estão limitados em 60 Hz à característica $I^2t = 5976 \text{ A}^2\text{s}$ e que a corrente nas chaves tiristorizadas é 4,8 vezes menor que a corrente na carga; um fusível Sitor, ultra-rápido, com corrente nominal inferior a $40 \times 4,8 = 192 \text{ A}$, deve ser ligado em série aos terminais de entrada do regulador de baixa tensão, para proteger os dispositivos eletrônicos mais sensíveis contra efeitos de curto-circuitos nas instalações do consumidor atendido. Entretanto, para proteger simultaneamente o transformador série contra sobrecargas sustentadas, a corrente nominal do fusível deve ser limitada em torno de 100 A.

V. ENSAIOS DE LABORATÓRIO NO PROTÓTIPO

Os ensaios realizados em laboratório para validar o desempenho do regulador de tensão paralelo consideraram uma configuração de equipamentos contendo uma fonte controlada manualmente, o equipamento sob análise e um conjunto de carga resistiva + indutiva que permitiu avaliar os resultados em situação de deslocamento entre tensão e corrente.

Os ajustes realizados na fonte alternada permitiram que se configurassem as tensões e também os intervalos de operação em determinadas condições, como mostra a Figura 8.

O equipamento foi submetido às variações apresentadas acima na tensão de entrada, e a Figura 10 mostra o comportamento da tensão de entrada (sinal amarelo), da tensão controlada para a carga (sinal violeta) e da corrente de carga (sinal vermelho).

Após a redução da tensão para 112 V, o equipamento iniciou a regulação que se deu em dois passos devido a integralização da tensão de entrada não ter ocorrido de forma síncrona com a variação manual promovida na fonte de tensão alternada utilizada nos testes. No entanto, a tensão de saída atingiu o valor correto próximo de 127 V.

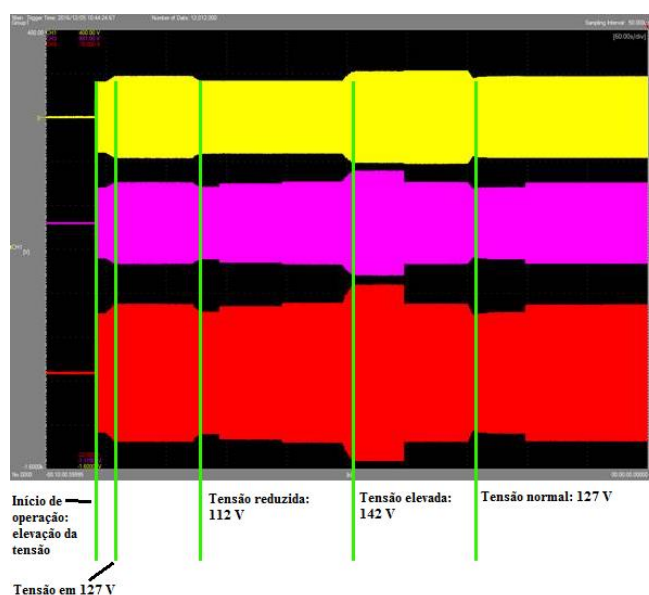


Figura 8 – Comportamento das variáveis: tensão de entrada (amarelo), tensão controlada na carga (violeta) e corrente de carga (vermelho).

Na sequência a tensão de entrada sofreu elevação até o valor de 142 V, representando situação crítica para os transformadores do equipamento, pois poderia representar problemas de saturação. O equipamento novamente aguardou o intervalo de 1 minuto e executou a comutação para regular a tensão de saída para o valor próximo de 127 V, sem apresentar corrente de *inrush* que se traduziria em valores elevados internamente ao conjunto de chaves eletrônicas e transformadores série/paralelo.

Com outra alteração na tensão de entrada, trazendo para o valor nominal de 127 V, o equipamento novamente aguardou 1 minuto e executou a comutação dos tapes para controlar a tensão na carga através do tape zero (chaves eletrônicas AB acionadas).

VI. CONCLUSÕES

Foi apresentado um novo equipamento portátil que serve para atendimento de reclamações por nível de fornecimento de tensão em baixa tensão.

Este equipamento é compacto, de fácil instalação e opera de forma automática. Isto faz com que a concessionária atenda aos consumidores de baixa tensão reclamantes em tempo muito curto, provendo correto fornecimento e evitando danos às cargas dos consumidores.

Os testes de laboratório realizados até o momento mostraram que a solução pode ter um futuro promissor no sentido de se transformar em um protótipo industrial e atender de forma efetiva a demanda da concessionária, que atualmente não consegue responder de forma rápida a uma solicitação desta natureza, recebendo muitas por falta de correção no nível de fornecimento de energia elétrica. Isto ocorre, pois a velocidade de realização de obras, que atenderia a questão técnica, é muito menor que a necessidade de resposta imposta pelas solicitações de consumidores da empresa.

O equipamento na configuração paralela foi enviado para testes de campo e, assim que for conectado terá as informações capturadas automaticamente pelo sistema computacional. Isto permitirá apresenta, em eventos futuros, os resultados desta aplicação. Ainda neste tocante, espera-se que sejam muito positivos, pois não há dependência com monitoramento de corrente de carga, tornando o processo de comutação mais seguro e confiável em termos de evitar danos ao próprio equipamento.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANEEL *Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica*, ANEEL Resolução Normativa nº 664/2015, 2015.
- [2] M. Pelegrini, C. C. B. Oliveira, L. N. Silva, e H. R. P. Oliveira, "Sistema para gerenciamento de medições de tensão", in *Proc. VI Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica*, 2005, Belém - PA, Brasil.
- [3] J. C. Cebrian, S. P. Fei, e M. Pelegrini, "Ferramenta Computacional Aplicado à Regulação de Tensão frente às Reclamações dos Consumidores de Baixa Tensão", in *Proc. XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*, 2010, São Paulo - SP, Brasil.
- [4] G. B. Marque, "Uso de autotransformador no atendimento provisório de reclamações com duração relativa de transgressão de tensão crítica – DRC", in *Proc. XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica*, 2012, Rio de Janeiro - RJ, Brasil.
- [5] R. Herman, and J. S. Maritz, "Voltage regulation algorithm for a bi-phase distribution system feeding residential customers using a Beta p.d.f load model," *Electric Power Systems Research*, vol. 43, pp. 77-80, Nov. 1997.
- [6] A. G. Fonseca, A. R. Aoki, A. L. Langner, L. R. Ferreira, L. C. Siebert, S. L. F. Santos, R. J. Riella, F. M. Engelkes, Z. F. DA Silva, and L. H. C. Oliveira, "Impact analysis of voltage regulators and distributed generation on self-healing," *IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition Latin America (PES T&DLA)*, Medellín, 2014. p. 1.