



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1106471-4 B1



(22) Data do Depósito: 17/10/2011

(45) Data de Concessão: 22/12/2020

(54) Título: MÉTODO DE REGULAÇÃO DE TENSÃO E PARALELISMO ENTRE DIFERENTES MODELOS DE FONTES DE TENSÃO E/OU VÃOS ENERGIZADOS DE ALTA TENSÃO

(51) Int.Cl.: H02J 3/38; G05F 1/14; H02J 3/12.

(73) Titular(es): COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO - CHESF.

(72) Inventor(es): LUCIANO ANTONIO CALMON LISBOA.

(57) Resumo: APLICAÇÃO PARA REGULAÇÃO E PARALELISMO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA A presente invenção proporciona sistemas e métodos para integração e para a regulação e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão. Em uma concretização preferencial, a presente invenção apresenta uma maneira eficiente e de baixo custo para integrar equipamentos como transformadores, em quaisquer quantidades, com diferentes tensões e de diferentes especificações em uma mesma lógica de paralelismo, atendendo a critérios e requisitos rigorosos.

Relatório Descritivo de Patente de Invenção**MÉTODO DE REGULAÇÃO DE TENSÃO E PARALELISMO ENTRE DIFERENTES
MODELOS DE FONTES DE TENSÃO E/OU VÃOS ENERGIZADOS DE ALTA
TENSÃO**

5

Campo da Invenção

A presente invenção se situa no campo da Engenharia Elétrica. Mais especificamente, a presente invenção proporciona sistemas e métodos para integração e para a regulação e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão. Em uma concretização preferencial, a presente invenção apresenta uma maneira eficiente e de baixo custo para integrar equipamentos como transformadores com diferentes tensões e de diferentes especificações em uma mesma lógica de paralelismo, atendendo a critérios e requisitos rigorosos.

15

Antecedentes da Invenção

Equipamentos de potência são amplamente utilizados para a transformação de tensões e correntes com altos valores de potência em subestações (SEs) como, por exemplo, transformadores. Uma dificuldade encontrada atualmente se refere à integração de sistemas digitais com tecnologias existentes para supervisão do sistema elétrico em uma base lógica que facilite a eficiência e agilidade da operação. Um exemplo disso são os transformadores com equivalências de *taps*, muitas vezes de diferentes modelos, fabricantes e potências, entre outras características em uma subestação. Além disso, muitas vezes são encontradas dificuldades em obter informações conclusivas sobre o sistema de regulação e paralelismo implantado em uma subestação já existente. Há também dificuldade em encontrar soluções economicamente viáveis que atendam a critérios rigorosos e sejam de alta confiabilidade e eficiência conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) estabelece.

30

Sistemas anteriores ao da presente invenção não tinham tecnologias de controles digitais satisfatórias, pois as soluções existentes não resolvem o problema das subestações com a integração entre fontes de tensão e/ou vãos energizados, usando equipamentos elétricos dedicados com fios para a
5 regulação de tensão e o paralelismo destes. Além disso, os sistemas anteriores: (a) não atendem a critérios rigorosos de confiabilidade, segurança e desempenho; (b) não atendem a todos os requisitos estabelecidos pelos procedimentos de rede do ONS; (c) não atendem às funcionalidades operacionais necessárias, incluindo alterações automáticas de valores de
10 referência de tensões; (d) não são aplicáveis para quaisquer quantidades e tipos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão, como transformadores, e para quaisquer quantidades de níveis de tensão; (e) não independem de equipamento e/ou fabricante; (f) não são de baixo custo.

A Treotech® disponibiliza produtos aplicados a linha de regulação de
15 tensão como dispositivos físicos dotados de leituras e comandos em função da curva de cargas. Esses dispositivos não interagem com outros dispositivos de fabricantes e modelos diferentes de forma satisfatória, em especial, em larga quantidade e também não integram de forma eficiente com alarmes e supervisões existentes.

A presente invenção, ao contrário, proporciona uma solução para projetos
20 de automatismos para a regulação e o paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão que: (a) atende a critérios rigorosos de confiabilidade, segurança e desempenho; (b) atende a todos os requisitos estabelecidos pelos procedimentos de rede do ONS; (c) atende às
25 funcionalidades operacionais necessárias, incluindo alterações automáticas de valores de referência de tensões; (d) é aplicável para quaisquer quantidades e tipos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão, como transformadores, e para quaisquer quantidades de níveis de tensão; (e) independe de equipamento e/ou fabricante; (f) é de baixo custo.

A invenção resolve o problema de integração para obter informações
30 conclusivas sobre o sistema de regulação e paralelismo implantado em uma

subestação já existente entre os diferentes dispositivos e interfaces. Por exemplo, concretizações preferenciais da invenção são aplicáveis em subestações de energia de 230/69 kilovolts (kV) e 230/138 kV, para as quais já foram demonstrados resultados positivos, sendo também aplicáveis a outros
5 tipos de subestações/fontes de alta tensão.

No âmbito patentário, foram localizados alguns documentos parcialmente relevantes, que serão descritos a seguir.

O documento US 5,498,954 revela um método para controle de pelo menos dois reguladores de tensão, cada regulador possuindo um comutador de
10 *taps*, compreendendo operação em paralelo, determinar tensão de saída e potência reativa de cada regulador e determinar a posição do *tap* para cada regulador. A presente invenção difere do referido documento, dentre outras razões técnicas, por proporcionar um método implementável em computador e possuir arquitetura mestre-comandado. Além disso, o método do referido
15 documento tem requisitos funcionais não presentes na presente invenção: faz medição de fluxo de MVAR no lado de baixo de um transformador, requer a medição média de tensão do lado de baixo através de um controlador lógico programável (CLP); requer que o CLP calcule uma tensão em função da potência reativa para cada transformador com o objetivo de evitar certas
20 diferenças entre os transformadores.

O documento US 5,210,443 revela um processo para controle paralelo em combinações chaveadas selecionadas de comutadores de *tap* de uma pluralidade de transformadores em paralelo compreendendo a detecção das configurações dos *taps* dos transformadores, a medição e processamento da
25 tensão e corrente de saída, e a regulação de tais transformadores em função de tais variáveis. A presente invenção difere do referido documento, dentre outras razões técnicas, por proporcionar um método implementável em computador e possuir arquitetura mestre-comandado, dados não citados no referido documento. Além disso, o método do referido documento tem requisitos
30 funcionais não presentes na presente invenção: há necessidade de medição de valores de amplitudes de corrente e ângulos de fases de correntes; necessidade

de cálculo de corrente de carga parcial e de corrente reativa circulante para transmissão para os reguladores de tensão; necessidade de cálculo de variáveis nos reguladores de tensão individuais para determinar os novos *setpoints* dos reguladores de tensão individuais.

5 Do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta, aos olhos dos inventores, possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

10 **Sumário da Invenção**

A presente invenção proporciona sistemas e métodos para integração e para a regulação e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão.

15 É um dos objetos da presente invenção um sistema e método de integração para regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão que compreende as etapas de:

a) identificar as variáveis de controle de diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão para operação em regime de paralelismo;

20 b) compor um modelo complexo para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão (relações causais dos componentes do automatismo e paralelismo); e

25 c) converter os referidos modelos em uma aplicação para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão.

Em uma concretização preferencial, o sistema e método de integração para regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão usa como modelo complexo para a automação um
30 algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido em uma das fontes de alta tensão e um valor de referência; caso o valor de tensão

medido seja distinto do valor de referência em até um valor limite determinado pelo usuário e por um tempo determinado, é acionado um comando para restabelecer o valor de tensão ao valor de referência.

É outro dos objetos da invenção um sistema e método de regulação e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão que atende a critérios rigorosos de confiabilidade, segurança e desempenho. Em um aspecto, referidos sistema e método atendem a todos os requisitos estabelecidos pelos procedimentos de rede do ONS. Em outro aspecto, referidos sistema e método são aplicáveis a quaisquer quantidades e tipos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão e a quaisquer quantidades de níveis de tensão. Em um outro aspecto, referidos sistema e método atendem às funcionalidades operacionais necessárias de uma subestação de energia, incluindo alterações automáticas de valores de referência de tensões. Em um outro aspecto, referidos sistema e método independem do tipo de equipamento e/ou fabricante. Em um outro aspecto, referidos sistema e método são de baixo custo e fácil implementação.

Em uma concretização preferencial, o sistema e método de regulação e paralelismo entre fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão compreende as etapas de:

- a) verificar a tensão de ao menos uma fonte de tensão e/ou vão energizado, a partir da medição da tensão da mesma;
- b) comparar a tensão medida na etapa anterior com um valor de referência aceitável para a equivalência de regulação, e paralelismo; e
- c) emitir um comando automatizado para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo da tensão programada.

Em uma concretização preferencial, as referidas etapas de comparação e emissão de comando são feitas com o uso de um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido em uma das fontes de alta tensão e um valor de referência; caso o valor de tensão medido seja entre 0,5-5% distinto em relação ao valor de referência por um tempo determinado, é

acionado um comando para restabelecer a tensão ao valor de referência. Assim, é definido o acionamento da etapa de comando para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo entre as fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão.

- 5 Em concretizações mais preferenciais, o referido sistema e método: é controlado através do sistema de aquisição de dados e controle de supervisão (SCADA, *Supervisory Control and Data Acquisition*); monitora falhas e alerta o usuário sobre as mesmas; proporciona a escolha entre controle manual ou automático de cada fonte de tensão e/ou vão energizado de alta tensão; e
- 10 proporciona a inclusão e exclusão, pelo usuário, de qualquer fonte de tensão e/ou vão energizado de alta tensão da lógica de paralelismo.

Em uma concretização ainda mais preferencial, o referido sistema e método é aplicado à regulação e paralelismo entre diferentes modelos de transformadores de potência, e compreende as etapas de:

- 15 a) determinar uma equivalência entre os *taps* dos referidos transformadores, a partir da medição da alimentação da respectiva barra;
- b) selecionar transformador mestre e transformador(es) comandados dentre os transformadores a serem regulados;
- 20 c) comutar *tap* do transformador mestre a fim de manter a tensão da barra de alimentação dentro de uma faixa pré-determinada; e
- d) comutar *taps* dos transformadores comandados de acordo com a equivalência determinada em a) em relação ao *tap* do transformador mestre.

- 25 A etapa de medição da barra de alimentação de baixa (ou de alta) é feita na fase B. Alternativamente, pode também ser feita na fase A ou C.

- Em uma concretização ainda mais preferencial, a referida etapa de comutação é comandada por um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido na barra e um valor de referência; caso o valor
- 30 de tensão medido na barra seja distinto em até um valor limite determinado pelo usuário e por um tempo determinado, é acionado um comando para

ajustar o tap, aumentando-o ou diminuindo-o. Assim, é definido o acionamento da etapa de comando para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo de transformadores de potência. Em uma concretização mais preferencial, o valor limite determinado pelo usuário para a
 5 diferença de tensão entre o valor medido e o de referência é de 0,5-5%, e mais preferencialmente de 1-3%.

Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

10

Breve Descrição das Figuras

A Figura 1 revela um diagrama simplificado de funcionamento de uma concretização preferencial de sistema e método da presente invenção, onde: (Ap) Aplicação; (UA) unidade autônoma de vão, por exemplo um transformador
 15 de potência.

A Figura 2 revela um fluxograma do desenvolvimento de uma concretização preferencial do sistema e método da presente invenção, onde: (21) Identificar os elementos básicos para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta
 20 tensão; (22) Analisar o automatismo para regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão (relações causais dos componentes do automatismo e paralelismo); (23) Modelar os elementos básicos da regulação e paralelismo; (24) Compor modelos complexos a partir dos modelos básicos da regulação e paralelismo; (25)
 25 Integrar os modelos complexos no modelo global; (26) Analisar o modelo global; (27) Certo; (28) Converter o modelo global em uma aplicação para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão; e (29) Errado.

Descrição Detalhada da Invenção

30

A presente invenção proporciona sistemas e métodos para integração e para a regulação e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão. O conceito inventivo comum aos diversos objetos da invenção é uma lógica que proporciona o controle/ajuste automático da integração e/ou de regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão, atendendo a critérios rigorosos de confiabilidade, segurança e desempenho, além de todos os requisitos estabelecidos pelos procedimentos de rede do ONS. A invenção proporciona, dentre outras, as seguintes vantagens/efeitos técnicos: é aplicável a quaisquer quantidades e tipos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão e a quaisquer quantidades de níveis de tensão; atende às funcionalidades operacionais necessárias de uma subestação de energia, incluindo alterações automáticas de valores de referência de tensões; independe do tipo de equipamento e/ou fabricante; é de baixo custo e fácil implementação.

Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo, sem limitar o escopo da mesma.

Sistema e método de integração para regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão

O sistema e método de integração para regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão da invenção compreende as etapas de:

a) identificar as variáveis de controle de diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão para operação em regime de paralelismo;

b) compor um modelo complexo para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão (relações causais dos componentes do automatismo e paralelismo); e

c) converter os referidos modelos em uma aplicação para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão.

Em uma concretização preferencial, o sistema e método de integração
5 para regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão usa como modelo complexo para a automação um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido em uma das fontes de alta tensão e um valor de referência; caso o valor de tensão medido seja distinto em até um valor limite determinado pelo usuário e por um
10 tempo determinado, é acionado um comando para restabelecer o valor de tensão ao valor de referência.

Em uma outra concretização preferencial, ilustrada na figura 2, o sistema e método de integração para regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão compreende as etapas de:

15 a) identificar os elementos básicos para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão (21) figura 2;

b) analisar o automatismo para regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão (relações causais dos componentes do automatismo e paralelismo) (22)
20 figura 2;

c) modelar os elementos básicos da regulação e paralelismo (23) figura 2;

d) compor modelos complexos a partir dos modelos básicos da regulação e paralelismo (24, figura 2);
25

e) integrar os modelos complexos no modelo global (26) e analisar o modelo global (25, figura 2); e

f) converter o modelo global em uma aplicação para automatizar a regulação e o paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão (28) figura 2.
30

Sistema e método de regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão

O sistema e método de regulação e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão da invenção é aplicável a quaisquer quantidades e tipos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão e a quaisquer quantidades de níveis de tensão, como ilustrado na figura 1 e atende às funcionalidades operacionais necessárias de uma subestação de energia, incluindo alterações automáticas de valores de referência de tensões.

Em uma concretização preferencial, o sistema e método de regulação e paralelismo entre diferentes fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão compreende as etapas de:

a) verificar a tensão de ao menos uma fonte de tensão e/ou vão energizado, a partir da medição da tensão da mesma;

b) comparar a tensão medida na etapa anterior com um valor de referência aceitável para a equivalência de regulação e paralelismo; e

c) emitir um comando automatizado para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo da tensão programada.

Em uma concretização mais preferencial, a referida etapa de comparação é feita com o uso de um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido em uma das fontes de alta tensão e um valor de referência; caso o valor de tensão medido seja entre 0,5-5% ou mais preferencialmente entre 1-3% distinto em relação ao valor de referência por um tempo determinado, é acionado um comando para restabelecer a tensão ao valor de referência. Assim, é definido o acionamento da etapa de comando para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo das fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão.

Em concretizações mais preferenciais, o referido sistema e método: é controlado através do sistema SCADA; monitora falhas e alerta o usuário sobre as mesmas; proporciona a escolha entre controle manual ou automático de

cada fonte de tensão e/ou vão energizado de alta tensão; e proporciona a inclusão e exclusão, pelo usuário, de qualquer fonte de tensão e/ou vão energizado de alta tensão da lógica de paralelismo.

Sistemas SCADA

5 Sistemas SCADA são sistemas que supervisionam e acionam variáveis e dispositivos de subsistemas de medição, proteção, comando, controle, supervisão e regulação (MPCCSR), sendo implementados por *software*. Estes sistemas podem assumir topologias como mono-posto, cliente-servidor ou múltiplos servidores-clientes, não se limitando a estas. Geralmente, um sistema

10 SCADA compreende interface humano-máquina, um subsistema de computação, unidades terminais remotas e/ou unidades de controle digitais e/ou relés de proteção digitais e/ou unidades de oscilografias digitais e/ou controladores lógicos programáveis, e estrutura de comunicação entre os elementos.

15 Sistema e método de regulação e paralelismo aplicado a transformadores

Em uma concretização ainda mais preferencial, o referido sistema e método é aplicado à regulação e paralelismo entre diferentes modelos de transformadores de potência, e compreende as etapas de:

- a) determinar uma equivalência entre os *taps* dos referidos transformadores, a partir da medição da alimentação da respectiva barra;
- 20 b) selecionar transformador mestre e transformador(es) comandados dentre os transformadores a serem regulados;
- c) comutar *tap* do transformador mestre a fim de manter a tensão da barra de alimentação dentro de uma faixa pré-determinada; e
- 25 d) comutar *taps* dos transformadores comandados de acordo com a equivalência determinada em a) em relação ao *tap* do transformador mestre.

A etapa de medição da barra de alimentação de baixa (ou de alta) é feita

30 na Fase B. Alternativamente, pode também ser feita na fase A ou C.

As etapas de medir e comutar são computadas por um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido na barra e um valor de referência; caso o valor de tensão medido na barra seja superior ao valor de referência até um limite determinado por um tempo determinado, é acionado
 5 um comando para aumentar o tap; caso o valor de tensão medido na barra seja inferior ao valor de referência até um limite determinado por um tempo determinado, é acionado um comando para abaixar o tap. Valores de referência preferenciais são de 0,5-5% e mais preferencialmente de 1-3%. Assim, é definido o acionamento da etapa de comando para
 10 proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo de transformadores de potência.

Referido sistema e método proporciona a integração de diferentes modelos de transformadores onde antes se tinha dificuldades em obter informações conclusivas sobre o sistema de regulação e paralelismo
 15 implantado em subestação. A consideração dessas informações, além de ser útil para a prevenção de problemas, é imprescindível para o controle eficiente do sistema elétrico de potência, evitando desta forma a perda de cargas para algumas condições deste sistema. Além disso, por ser automatizado, diminui falhas humanas que possam ocorrer durante a operação. Outras
 20 características/vantagens: monitora falhas e alerta o usuário sobre as mesmas; proporciona a escolha entre controle manual ou automático de cada transformador; proporciona a inclusão e exclusão, pelo usuário, de qualquer transformador da lógica de paralelismo.

Exemplo 1. Realização Preferencial

25 Em uma concretização preferencial, a invenção soluciona uma situação problemática em transformadores com as seguintes características:

- i) integração de um transformador de potência 230/69 kV 04T3 de uma subestação;
- ii) transformador de potência 04T3 tem equivalências de *taps* diferentes
 30 com os transformadores de potência 04T1 e 04T2 da referida subestação;

iii) dificuldades em obter informações conclusivas sobre o sistema de regulação e paralelismo implantado na referida subestação; e

iv) inexistência de solução de engenharia para realizar a regulação e o paralelismo dos transformadores de potência 04T1, 04T2 e 04T3 desta subestação.

Solução empregada

A formulação para resolver o problema foi realizada através de estudos da:

i) tabela de equivalência de *taps* dos transformadores de potência de 230/69 kV 04T1, 04T2 e 04T3 da referida subestação;

ii) instrução de patamares de carga da subestação;

iii) filosofia de regulação e paralelismo de transformadores de potência de uma central elétrica.

Nesta concretização preferencial da invenção, foi elaborada uma especificação técnica (ET) funcional, utilizando técnicas de sistemas especialistas, para uma aplicação que realiza a regulação e o paralelismo de transformadores de potência. Na Figura 2, um diagrama de fluxo da metodologia utilizada para desenvolvimento da aplicação pode ser observado. Esta ET tornou possível a codificação em um aplicativo conforme a presente invenção, para regulação e paralelismo de transformadores de potência no sistema SCADA. Este aplicativo é genérico, ou seja, em casos reais, pode ser usado para quaisquer quantidades e tipos de transformadores de potência e para quaisquer quantidades de níveis de tensão. A única necessidade para a aplicação funcionar corretamente é que os pontos necessários, através das Unidades Autônomas (UAs) dos subsistemas digitais de MPCCSR, associadas a cada transformador de potência, têm de ser supervisionados.

Especificação técnica da lógica da aplicação de regulação e do paralelismo dos transformadores de potência

Tabela 1 – Equivalência de *taps* no paralelismo dos transformadores de potência de 230/69 kV:

04T1	04T2	04T3
------	------	------

5, 6	5, 6	1
7, 8	7, 8	2
9, 10	9, 10	3
...	...	...
29, 30	29, 30	13
31, 32 e 33	31, 32 e 33	14

OBS1: Desconsiderar os *taps* do 04T3 ≥ 15 , pois não há equivalência deste *tap* nos *taps* do 04T1 e 04T2.

OBS2: Quando os transformadores (trafos) 04T1 ou 04T2 estiverem no *tap* 33 e o 04T3 estiver no *tap* 14, deverá sinalizar “Limite Superior Atuado” e bloqueia a comutação para aumentar *taps*.

OBS3: Quando os trafos 04T1 ou 04T2 estiverem no *tap* 5 e o 04T3 estiver no *tap* 1, deverá sinalizar “Limite Inferior Atuado” e bloqueia a comutação para baixar *taps*.

10 Seleção Mestre/Comandado/Individual:

OBS5: Variáveis para os transformadores 04T1, 04T2 e 04T3 são criadas para selecionar estes transformadores para Mestre ou Comandado ou Individual.

OBS5A: Quando um transformador (04T1 ou 04T2 ou 04T3) estiver como Individual, o comando é preferencialmente efetuado pelo modo manual.

OBS6: Nesta concretização, apenas um transformador (04T1 ou 04T2 ou 04T3) pode ser selecionado como Mestre.

OBS7: Quando qualquer transformador estiver na posição Individual, este deve ser retirado da lógica de paralelismo.

OBS8: Quando um transformador estiver como Mestre, os transformadores que estão como Comandados devem seguir o comportamento de aumentar ou baixar *tap* do Mestre, respeitando a equivalência de *taps*.

OBS9: Quando o transformador (04T1 ou 04T2 ou 04T3) estiver como Mestre e for desenergizado (por exemplo, em manutenção), deve-se passar

este para Individual automaticamente e um alarme “Inconsistência de Mestre” deve ser gerado.

OBS10: Quando o transformador (04T1 ou 04T2 ou 04T3) estiver como Comandado e for desenergizado (por exemplo, em manutenção), deve-se
5 passar este para Individual automaticamente.

Seleção Automático/Manual:

OBS10A: A seleção de Automático/Manual se dá por transformador.

OBS10B: A seleção de Automático/Manual se dá apenas, quando o transformador está como Mestre e Comandado.

10 OBS10C: Seleção Manual – desativa a regulação (Relé 90) Automática.

OBS10C: Seleção Automática – ativa a regulação (Relé 90) Automática.

Regulação (Relé 90):

OBS11: Lê-se a tensão da barra de 69 kV (02BP) e compara com o nível de referência ($69,8 \text{ kV} < \text{Tensão Lida da Barra} < 71,2 \text{ kV}$). Se a tensão lida >
15 71,2 kV por um tempo definido (por exemplo, 5s), envia ordem para aumentar tap.

OBS12: Lê-se a tensão da barra de 69 kV (02BP) e compara com o nível de referência ($69,8 \text{ kV} < \text{Tensão Lida da Barra} < 71,2 \text{ kV}$). Se a tensão lida <
69,8 kV por um tempo definido (por exemplo, 5s), envia ordem para baixar tap.

20 OBS12A: A tensão recomendada na SE é de 71 kV durante todo o período de carga com variação de tensão de até 1,2 kV para mais ou para menos.

OBS12B: A tensão de barramento deve ser mantida dentro dos limites inferior e superior e não constantemente na tensão recomendada.

25 OBS12C: Quando a tensão ultrapassar o limite de 72,5 kV (barramento de 69 kV), a operação da instalação deve realizar a referida regulação de tensão de modo manual.

OBS13: Após cada comando para aumentar ou baixar tap, deve-se confirmar se a operação de comutação foi concluída com sucesso, ou seja,
30 após a ordem do comando para aumentar ou baixar tap, se após um tempo a ser definido (por exemplo, 30s), a operação de comutação não for concluída

com sucesso (por exemplo, a informação do trafo Mestre do seu comutador em andamento, após 30s, permanecer atuada), bloqueia a comutação para aumentar ou baixar tap.

5 OBS14: Se a informação do comutador aumentando ou diminuindo do trafo 04T1 e/ou 04T2 e/ou 04T3 ficar atuada por um tempo definido (por exemplo, 15s), deve-se comandar a parada de emergência.

OBS14A: A regulação (Relé 90) só poderá ser ativada, quando o transformador estiver como Mestre.

10 OBS14B: Caso um dos trafos esteja no automatismo e não esteja impedido, caso não haja equivalência de taps ≤ 2 entre trafos, este trafo deve ser retirado do paralelismo (Desabilitação do Relé 90).

Lógica do Paralelismo:

15 OBS15: Quando há um transformador selecionado como Mestre, os Comandados devem seguir o comportamento (aumentar ou baixar tap) do Mestre, respeitando a equivalência de taps.

OBS15A: Quando os transformadores estiverem operando em paralelo, só o Mestre comanda.

20 OBS16: Quando estiver havendo uma operação conjunta de transformadores (1 Mestre + 1 Comandado ou 1 Mestre + 2 Comandados), deve haver uma supervisão das equivalências de taps, ou seja, se todos envolvidos na operação conjunta, após um tempo a ser definido (por exemplo, 20s), executaram a operação de mudança de tap com sucesso, ou seja, estão respeitando a tabela de equivalência. Após este tempo, caso haja discordância de taps, deve ser bloqueada a operação conjunta e gerado um alarme
25 “Discordância de Taps”.

OBS17: Devido à diferença entre as equivalências (Tap 14 do 04T3 = Tap 31 do 04T2 ou Tap 32 do 04T2 ou Tap 33 do 04T2 = Tap 31 do 04T1 ou Tap 32 do 04T1 ou Tap 33 do 04T1) de taps, quando 1 comando de aumentar ou baixar tap do 04T3 for efetuado, 2 ordens sucessivas de comando,
30 respeitando a física do processo (espera-se a conclusão do 1º comando, para

só então dar-se o 2º comando), devem ser dadas para os transformadores 04T1 e/ou 04T2.

Condições de Segurança da Aplicação:

5 OBS18: Deve ser considerada robustez a condições sistêmicas (por exemplo, falha de comunicação). Nesta condição, deve-se observar que o automatismo da regulação e paralelismo dos trafos 04T1, 04T2 e 04T3 deve ser bloqueado, visando à segurança do sistema de potência e à confiabilidade da aplicação.

10 OBS19: Deve ser considerada robustez a condições operacionais (por exemplo, manobras indevidas). Nesta condição, deve-se observar que a aplicação não deve permitir a realização de tais manobras, visando à segurança do sistema de potência e à confiabilidade da aplicação.

15 Conforme relatada no presente Exemplo, a solução da presente invenção se mostrou uma eficiente alternativa para o controle da regulação e paralelismo na integração de transformadores de diferentes especificações a subestações.

Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outros variantes, abrangidos no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Método de regulação de tensão e paralelismo entre diferentes modelos de fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão, em que as referidas fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão compreendem transformadores (UA) providos de *taps*, em que é realizada etapa de seleção de transformador mestre e transformador(es) comandados dentre os transformadores a serem regulados, sendo o método **caracterizado** por compreender as etapas de:

- a) determinar uma equivalência entre os *taps* dos referidos transformadores (UA), a partir da medição da alimentação de uma barra de alimentação;
- b) verificar a tensão de ao menos um dos transformadores (UA), a partir da medição da tensão do mesmo;
- c) comparar a tensão medida na etapa anterior com um valor de referência para a equivalência de regulação e paralelismo; e
- d) emitir um comando automatizado para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo de uma tensão programada, em que:
 - quando os transformadores (UA) estiverem no tap máximo, é bloqueada a comutação para aumentar *taps* e, opcionalmente, emitido um sinal correspondente; e
 - quando os transformadores (UA) estiverem no tap mínimo, é bloqueada a comutação para baixar *taps* e, opcionalmente, emitido um sinal correspondente;

em que, as referidas etapas de comparação c) e emissão de comando d) são feitas com o uso de um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido em um dos transformadores (UA) e o valor de referência; caso o valor de tensão medido seja distinto em relação ao valor de referência, por um tempo determinado e até um limite determinado, é acionado um comando para restabelecer a tensão

ao valor de referência.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o valor limite determinado pelo usuário para a diferença de tensão entre o valor medido e o de referência é de 0,5 a 5%.

3. Método de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato de que o valor limite determinado pelo usuário para a diferença de tensão entre o valor medido e o de referência é de 1 a 3%.

4. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de ser controlado através do sistema SCADA e compreender ao menos uma das seguintes funcionalidades: monitoramento de falhas e/ou alerta sobre as mesmas; escolha entre controle manual ou automático de cada fonte de tensão e/ou vão energizado de alta tensão; inclusão e exclusão da lógica de paralelismo, pelo usuário, de qualquer fonte de tensão e/ou vão energizado de alta tensão.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, **caracterizado** pelo fato de que as referidas fontes de tensão e/ou vãos energizados de alta tensão compreendem transformadores (UA) de potência, e por compreender adicionalmente as etapas de:

a) comutar *tap* do transformador mestre a fim de manter a tensão da barra de alimentação dentro de uma faixa pré-determinada; e

b) comutar *taps* dos transformadores comandados de acordo com a equivalência determinada em relação ao *tap* do transformador mestre.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, **caracterizado** pelo fato de que a referida etapa de comutação é comandada por um algoritmo que compreende a comparação entre o valor de tensão medido na barra e um valor de referência; caso o valor de tensão medido na barra seja distinto em até um valor limite determinado pelo usuário e por um tempo determinado, é acionado um comando para ajustar o tap, aumentando-o ou diminuindo-o, definindo assim o acionamento da etapa de comando para proporcionar/restabelecer a equivalência da regulação e paralelismo de transformadores de potência.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato de que o referido valor limite determinado pelo usuário para a diferença de tensão entre o valor medido e o de referência é de 0,5 a 5%.

8. Método de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** pelo fato de que o valor limite determinado pelo usuário para a diferença de tensão entre o valor medido e o de referência é de 1 a 3%.

9. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, **caracterizado** pelo fato de que:

- variáveis para os transformadores (UA) 04T1, 04T2 e 04T3 são criadas para selecionar estes transformadores para Mestre ou Comandado ou Individual; e

- quando um transformador (UA) (04T1 ou 04T2 ou 04T3) estiver como Individual, o comando é preferencialmente efetuado pelo modo manual.

10. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de que:

- apenas um transformador (UA) (04T1 ou 04T2 ou 04T3) pode ser selecionado como Mestre;

- quando qualquer transformador (UA) estiver na posição Individual, este deve ser retirado da lógica de paralelismo;

- quando um transformador (UA) estiver como Mestre, os transformadores que estão como Comandados devem seguir o comportamento de aumentar ou baixar *tap* do Mestre, respeitando a equivalência de *taps*;

- quando o transformador (UA) (04T1 ou 04T2 ou 04T3) estiver como Mestre e for desenergizado, este passa para Individual automaticamente;

- quando o transformador (UA) (04T1 ou 04T2 ou 04T3) estiver como Comandado e for desenergizado, este passa para Individual automaticamente.

11. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que a seleção de Automático/Manual se dá por transformador (UA) e se dá apenas quando o transformador (UA) está como Mestre e Comandado.

12. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11,

caracterizado pelo fato de que:

- a tensão da barra de 69 kV (02BP) é medida e comparada com o nível de referência de tensão lida da barra entre 69,8 kV e 71,2 kV; se a tensão lida for maior do que 71,2 kV por um tempo definido, aumenta tap; e

- a tensão da barra de 69 kV (02BP) é medida e comparada com o nível de referência de tensão lida da barra entre 69,8 kV e 71,2 kV; se a tensão lida for menor do que 69,8 kV por um tempo definido, baixa tap.

13. Método de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que a variação de tensão é de 0,5 a 5% para mais ou para menos, e o referido tempo definido é de até 5 segundos.

Figuras

Figura 1

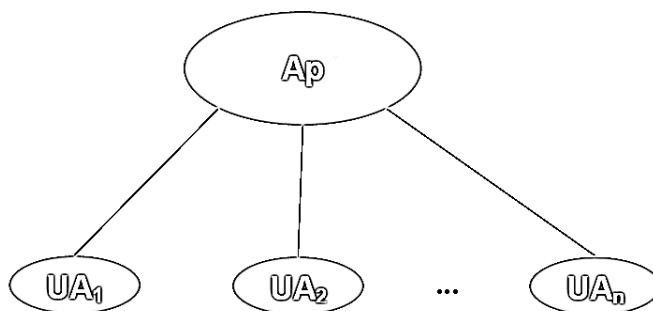


Figura 2

