

INSTALAÇÕES AT E MT

Sistemas de Proteção Comando e Controlo (SPCC)

Função de Automatismo: “regulação de tensão”

Especificação funcional

Elaboração: DGOS; DPD; DSAT e DIT

Homologação: conforme despacho do CA de 2020-07-31

Edição: 4ª. Anula e substitui a edição de FEV 2007.

Acesso: Livre

Restrito

Confidencial

ÍNDICE

0	INTRODUÇÃO	3
1	OBJETO E CAMPO DE APLICAÇÃO	3
2	NORMAS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	3
3	PRESCRIÇÕES GERAIS	4
3.1	FLUXOGRAMA	4
3.2	ÂMBITO DE ATUAÇÃO	4
3.3	SELEÇÃO E VALIDAÇÃO DOS TRANSFORMADORES A COMANDAR	5
3.4	REGIMES DE FUNCIONAMENTO	5
3.5	SINALIZAÇÕES.....	7
3.6	MEDIDAS	7
4	COORDENAÇÃO COM OUTRAS FUNÇÕES DE AUTOMATISMO	7
4.1	INTERAÇÃO COM A FUNÇÃO “COMANDO HORÁRIO DE BATERIAS DE CONDENSADORES” (CHBC)	7
4.2	INTERAÇÃO COM A FUNÇÃO “DESLASTRE/REPOSIÇÃO POR TENSÃO”	8
4.3	INTERAÇÃO COM A FUNÇÃO “DESLASTRE/REPOSIÇÃO POR FREQUÊNCIA”	8
5	CÁLCULO DO DESVIO	9
6	SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES	9
6.1	CONDIÇÕES INICIAIS	9
6.1.1	<i>Condições relativas a cada um dos barramentos MT</i>	9
6.2	ELABORAÇÃO DAS ORDENS	10
6.3	EMIÇÃO E CONTROLO DE EXECUÇÃO DAS ORDENS	10
7	PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS	11
8	ALGORITMO DE CÁLCULO	11
8.1	NOTAÇÕES UTILIZADAS	11
8.2	FÓRMULAS	12
ANEXO	16

0 INTRODUÇÃO

A função “regulação de tensão” destina-se a manter a tensão de um barramento MT num domínio de valores pré-fixados, compensando os efeitos das variações do valor da tensão primária e das quedas de tensão em carga no(s) transformador(es) de potência que alimenta(m) o barramento MT em questão.

A tensão do barramento é permanentemente comparada com um valor de referência; se o desvio admissível for excedido durante um tempo, pré-fixado será emitida uma ordem de “subir” ou de “descer” ao(s) dispositivo(s) de comando do(s) comutador(es) de tomadas em serviço do(s) transformador(es) do barramento em questão, daí resultando o aumento ou a diminuição do valor da tensão secundária MT, respetivamente.

O módulo funcional básico, acima sumariamente descrito, é complementado com outros módulos, dos quais os principais são:

- a compensação da queda de tensão na linha na qual se pretende manter constante a tensão no extremo de um circuito a jusante do ponto onde é efetuada a medida. As quedas de tensão nesse circuito (normalmente um painel de linha MT) serão simuladas para afetarem a comparação entre a tensão medida e o valor de referência;
- o controlo do funcionamento de transformadores em paralelo, mediante a minimização da circulação de potência reativa;
- a interação com as funções de automatismo “deslastre/reposição por tensão” e “deslastre/ reposição por frequência”, para prevenir a ultrapassagem do valor máximo admissível da tensão, devido à diminuição da carga provocada pela ação dos respetivos programas de “deslastre”;
- a interação com a função “comando de baterias de condensadores” (caso exista), para prevenir a ultrapassagem do valor máximo admissível da tensão devido à subida provocada pela ligação da bateria;
- o controlo da boa execução das ordens de “subir” e de “descer” emitidas pela própria função.

O presente documento anula e substitui a edição anterior, elaborada em fevereiro de 2007.

As principais alterações introduzidas na presente edição são:

- Atualização de ações a despoletar quando existe corrente de circulação;
- Procedimentos a seguir para registo e monitorização do valor de tensão;
- Procedimentos a seguir com Transformadores de Potência em paralelo;
- Atualização das condições iniciais;
- Introdução de fluxograma para descrever a função.

1 OBJETO E CAMPO DE APLICAÇÃO

O presente documento tem como objetivo a especificação da função de automatismo “regulação de tensão” para subestações AT/MT e MT/MT da EDP Distribuição.

2 NORMAS E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

O presente documento inclui disposições dos seguintes documentos:

- DEF-C13-570: Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Funções de proteção. Especificação funcional;
- DEF-C13-554: Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Função de automatismo: “Deslastre por mínimo de frequência/reposição por normalização de frequência”. Especificação funcional.
- DEF-C13-555: Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Função de automatismo: “Regulação de tensão”. Especificação funcional.

— DEF-C13-556: Sistemas de Proteção, Comando e Controlo Numérico (SPCC). Função de automatismo: “Comando horário de baterias de condensadores”. Especificação funcional;

3 PRESCRIÇÕES GERAIS

3.1 Fluxograma

O fluxograma que se segue descreve o funcionamento do automatismo de regulação de tensão. É possível consultar o fluxograma com mais detalhe no anexo ao presente documento.

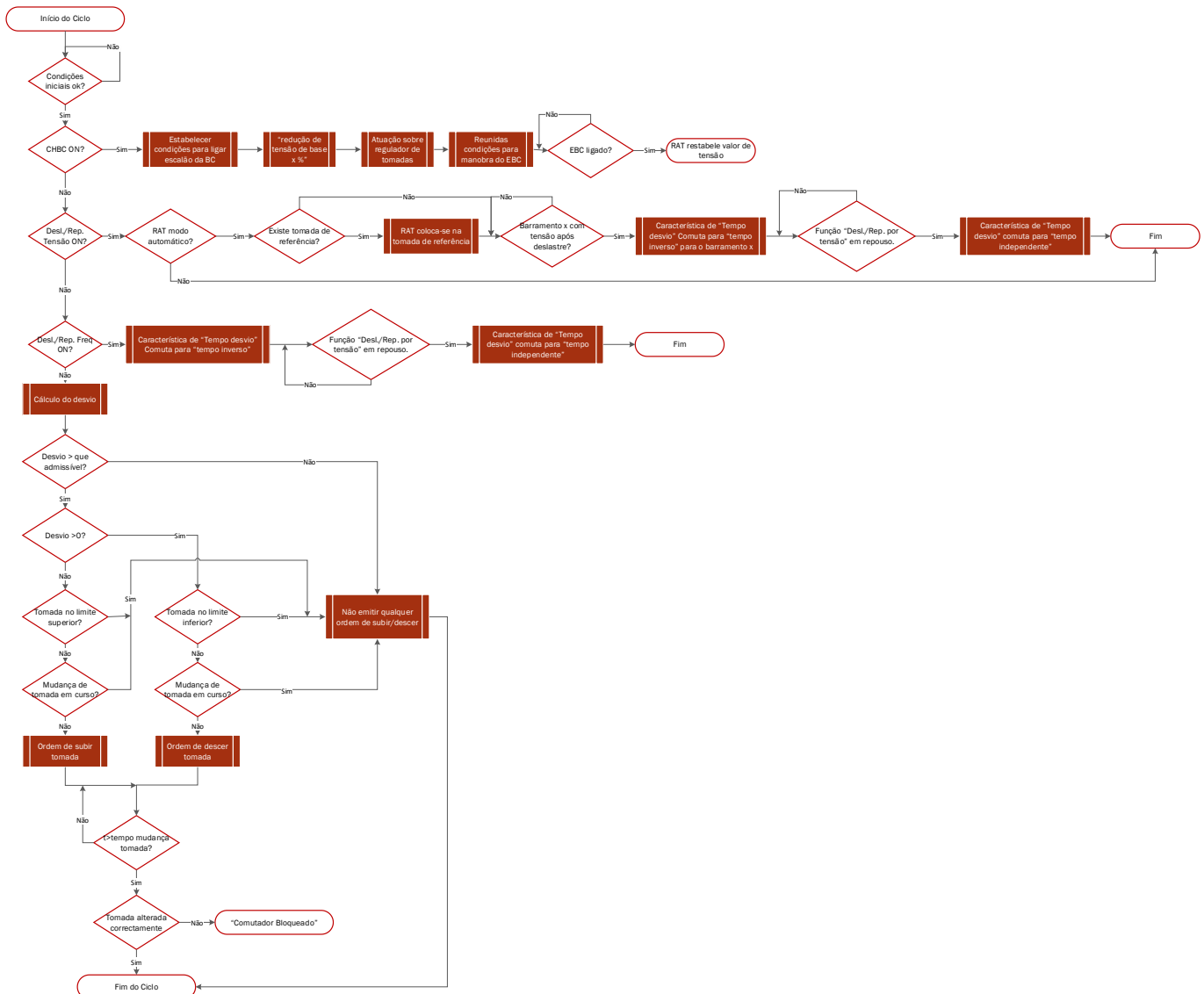


Figura 3.1 - Fluxograma de funcionamento do regulador de tensão. Ver anexo.

3.2 Âmbito de atuação

A função “regulação de tensão” atua ao nível de cada um dos barramentos MT da subestação.

O número máximo de transformadores a comandar em cada subestação é de 2 e o número máximo de barramentos MT cuja tensão deve ser regulada é de dois.

Consequentemente, numa subestação com a configuração máxima prevista - dois transformadores e dois barramentos MT - poderão apresentar-se os seguintes casos com todos os transformadores em serviço:

- comando de dois transformadores em paralelo, se os barramentos MT estiverem interligados;
- comando em individual de cada um dos transformadores, se os barramentos MT estiverem separados.

Requisito	Descrição
R 1	<p>Atuação simultânea entre TP</p> <p>A função deve poder atuar simultaneamente nos transformadores ligados a cada um dos barramentos MT.</p>
R 2	<p>Atuação independente entre TP</p> <p>A função deve poder atuar de forma independente nos transformadores ligados a cada um dos barramentos MT.</p>

3.3 Seleção e validação dos transformadores a comandar

Requisito	Descrição
R 3	<p>Local de atuação</p> <p>Para cada barramento MT, a função “regulação de tensão” comanda o comutador de tomadas em serviço do transformador ligado a esse barramento.</p>
R 4	<p>Análise da topologia da subestação</p> <p>A função deve analisar continuamente a topologia da subestação reconhecendo a situação de exploração da instalação (paralelo/individual e/ou ligado/desligado).</p> <p><i>Nota:</i> A topologia da instalação é determinada pelo estado dos diferentes órgãos.</p>

3.4 Regimes de funcionamento

Requisito	Descrição
R 5	<p>Regimes de funcionamento</p> <p>Devem ser definidos 2 regimes de funcionamento: “manual” e “automático”.</p> <ol style="list-style-type: none"> Regime “manual” <ul style="list-style-type: none"> - ação da função “regulação de tensão” inibida; - comando voluntário (do comutador de tomadas em serviço) permitido. Regime “automático” <ul style="list-style-type: none"> - ação da função “regulação de tensão” permitida; - comando voluntário (do comutador de tomadas em serviço) inibido.
R 6	<p>Independência de regimes entre barramentos separados</p> <p>Estando a subestação a ser explorada com os barramentos MT separados, deve ser possível a escolha de regimes de funcionamento diferentes para cada um dos barramentos.</p>
R 7	<p>Independência de regimes entre barramentos ligados</p> <p>Estando a função num barramento em regime “manual” e, noutro barramento em regime “automático”, se vierem a ser interligados (mediante o fecho do disjuntor do painel de Interbarras MT (IBMT), ou fecho do disjuntor do painel de uma das chegadas MT, quando o IBMT já se encontra fechado), o regime “automático” prevalecerá sobre o regime “manual” e passará a abranger todos os transformadores ligados ao barramento único resultante da interligação.</p>

Requisito	Descrição																								
	<p>A tabela seguinte define o valor dos parâmetros da função na passagem do comando individual para o comando em paralelo.</p> <table border="1" data-bbox="400 405 1458 808"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="400 405 895 510">Condições iniciais (Comando individual)</th> <th colspan="2" data-bbox="895 405 1458 510">Condições finais (Comando paralelo)</th> </tr> <tr> <th data-bbox="400 510 647 568">RAT 1</th> <th data-bbox="647 510 895 568">RAT 2</th> <th data-bbox="895 510 1142 568">RAT 1</th> <th data-bbox="1142 510 1458 568">RAT 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="400 568 647 627">MANUAL</td> <td data-bbox="647 568 895 627">MANUAL</td> <td data-bbox="895 568 1142 627">MANUAL</td> <td data-bbox="1142 568 1458 627">MANUAL</td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 627 647 685">MANUAL</td> <td data-bbox="647 627 895 685">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="895 627 1142 685">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="1142 627 1458 685">AUTOMÁTICO</td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 685 647 743">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="647 685 895 743">MANUAL</td> <td data-bbox="895 685 1142 743">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="1142 685 1458 743">AUTOMÁTICO</td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 743 647 808">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="647 743 895 808">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="895 743 1142 808">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="1142 743 1458 808">AUTOMÁTICO</td> </tr> </tbody> </table>	Condições iniciais (Comando individual)		Condições finais (Comando paralelo)		RAT 1	RAT 2	RAT 1	RAT 2	MANUAL	MANUAL	MANUAL	MANUAL	MANUAL	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	MANUAL	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO
Condições iniciais (Comando individual)		Condições finais (Comando paralelo)																							
RAT 1	RAT 2	RAT 1	RAT 2																						
MANUAL	MANUAL	MANUAL	MANUAL																						
MANUAL	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO																						
AUTOMÁTICO	MANUAL	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO																						
AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO																						
R 8	<p>Alteração de regime com transformadores em paralelo</p> <p>Estando estabelecido o paralelo dos transformadores a mudança do regime de funcionamento num dos transformadores deverá ser simultaneamente repercutido no outro transformador.</p> <p>A tabela seguinte exemplifica o valor do parâmetro regime de funcionamento que deverá ser assumido pela regulação de tensão na sequência da alteração do regime de um dos transformadores.</p> <table border="1" data-bbox="400 1095 1458 1290"> <thead> <tr> <th data-bbox="400 1095 895 1200" rowspan="2">Ordem voluntária a um dos reguladores de tensão (Comando paralelo)</th> <th colspan="2" data-bbox="895 1095 1458 1167">Condições finais (Comando paralelo)</th> </tr> <tr> <th data-bbox="895 1167 1142 1200">RAT 1</th> <th data-bbox="1142 1167 1458 1200">RAT 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="400 1200 895 1247">MANUAL</td> <td data-bbox="895 1200 1142 1247">MANUAL</td> <td data-bbox="1142 1200 1458 1247">MANUAL</td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 1247 895 1290">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="895 1247 1142 1290">AUTOMÁTICO</td> <td data-bbox="1142 1247 1458 1290">AUTOMÁTICO</td> </tr> </tbody> </table>	Ordem voluntária a um dos reguladores de tensão (Comando paralelo)	Condições finais (Comando paralelo)		RAT 1	RAT 2	MANUAL	MANUAL	MANUAL	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO													
Ordem voluntária a um dos reguladores de tensão (Comando paralelo)	Condições finais (Comando paralelo)																								
	RAT 1	RAT 2																							
MANUAL	MANUAL	MANUAL																							
AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO	AUTOMÁTICO																							
R 9	<p>Regime manual com transformadores em paralelo</p> <p>Com os transformadores em paralelo e em regime “manual”, se for efetuado um comando voluntário local ou à distância, de subir ou descer tomadas num dos transformadores, essa ordem deve ser repercutida apenas no regulador de tensão desse transformador.</p>																								
R 10	<p>Regime automático com transformadores em paralelo</p> <p>Com os transformadores em paralelo e em regime “automático”, caso se verifique o bloqueio de um dos reguladores de tensão deve ser gerado o alarme “Regulador Bloqueado” e ambos os RAT devem passar para o regime “manual”.</p>																								
R 11	<p>Consideração da corrente de circulação</p> <p>Com os transformadores em paralelo e em regime “automático”, a função “regulação de tensão” deve ter em consideração a minimização do valor de corrente de circulação.</p>																								
R 12	<p>Alarme Corrente de Circulação</p> <p>Deve existir sinalização de alarme por excesso de corrente de circulação.</p> <p>Deve ser possível parametrizar o valor de corrente de circulação e temporização.</p>																								
R 13	<p>Desbloqueio de função</p>																								

Requisito	Descrição
	Estando a função “regulação de tensão” em regime “Automático” e bloqueada, a passagem para regime “Manual” deve resultar no desbloqueio da função.

3.5 Sinalizações

A função “regulação de tensão” deve emitir as sinalizações a seguir discriminadas.

Requisito	Descrição
R 14	<p>Sinalizações para cada painel de transformador</p> <p>A função “regulação de tensão” deve emitir as sinalizações a seguir discriminadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Regime de funcionamento: “automático” / “manual”; 2. “tensão de base reduzida x %”; 3. Tempo-desvio: “tempo independente” ou “tempo inverso”; 4. Ação sobre regulador: “subir” / “descer”; 5. “bloqueio por mínimo de tensão”; 6. “máximo de tensão”; 7. “topo inferior”; 8. “topo superior”; 9. “comutador bloqueado”; 10. “alarme de corrente de circulação”; 11. “tomada de referência em serviço/fora de serviço”.

3.6 Medidas

Requisito	Descrição
R 15	<p>Medidas</p> <p>A função “regulação de tensão” deve disponibilizar as seguintes medidas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. “tensão antes da manobra” 2. “tensão depois da manobra” 3. “tomada”

4 COORDENAÇÃO COM OUTRAS FUNÇÕES DE AUTOMATISMO

4.1 Interação com a função “comando horário de baterias de condensadores” (CHBC)

Requisito	Descrição
R 16	<p>Redução de tensão base</p> <p>Para interação com a função CHBC deve existir o parâmetro “redução de tensão de base x %”. Este deve ser configurável através do interface homem-máquina (IHM).</p>
R 17	<p>Sequência de ações da função RAT:</p>

Requisito	Descrição
	<ol style="list-style-type: none"> 1. A função de “regulação de tensão” deve receber uma ordem por parte da função CHBC para estabelecer condições para ligar o escalão de baterias de condensadores (EBC); 2. Após recebido o comando a função regulação de tensão deverá modificar temporariamente o seu valor de tensão de referência para o estabelecido no parâmetro “redução de tensão de base x %”; 3. Após o valor de tensão base ter sido reduzido deverão ser emitidos os comandos necessários (atuação sobre o regulador de tomadas) para estabelecer o equilíbrio entre a tensão medida e a nova tensão de referência; 4. Ao ser atingida a situação de equilíbrio entre a tensão real e a nova tensão de referência, a função de “regulação de tensão” deverá informar o CHBC que estão reunidas as condições para a manobra do EBC; 5. Quando a função de “regulação de tensão” receber a informação de EBC ligado deverá normalizar o valor de referência; 6. Caso não seja recebida a indicação de EBC ligado, a função RAT deve restabelecer o valor da tensão de referência inicial após o tempo de confirmação de manobra da função CHBC.

4.2 Interação com a função “deslastre/reposição por tensão”

Requisito	Descrição
R 18	<p>Ocorrência de deslastre</p> <p>Ao ocorrer o deslastre, o comutador deverá colocar-se na tomada de referência, caso esta se encontre definida e o regulador esteja em regime “automático”.</p>
R 19	<p>Comutação para “tempo inverso”</p> <p>Ao regressar a tensão a um barramento MT, após a execução do programa de “deslastre por falta de tensão MT”¹⁾, a característica de “tempo-desvio” deve ser comutada para “tempo inverso” em relação ao barramento MT em questão.</p>
R 20	<p>Tempo independente</p> <p>O retorno à característica “tempo independente” verificar-se-á no fim do programa de “reposição por regresso da tensão MT”, ou seja, quando a função “deslastre/reposição por tensão” voltar ao repouso em relação ao barramento MT em questão.</p>

4.3 Interação com a função “deslastre/reposição por frequência”

Requisito	Descrição
R 21	<p>Comutação para “tempo inverso”</p> <p>No instante de desencadeamento do programa de “deslastre por mínimo de frequência”²⁾ a característica de “tempo-desvio” deve ser comutada para “tempo inverso” em relação a todos os barramentos MT da subestação.</p>

1) Descrito no documento DEF-C13-553, relativo à função “deslastre/reposição por tensão”.

2) Descrito no documento DEF-C13-554, relativo à função “deslastre/reposição por frequência”.

Requisito	Descrição
R 22	<p>Retorno a “tempo independente”</p> <p>O retorno à característica “tempo independente” verificar-se-á quando a função “deslastre/reposição por frequência” voltar ao repouso.</p>

5 CÁLCULO DO DESVIO

Requisito	Descrição
R 23	<p>Cálculo do desvio</p> <p>A Função RAT deve calcular ciclicamente o valor do desvio entre a tensão medida e tensão de referência.</p>
R 24	<p>Valor a comparar</p> <p>O valor do desvio a comparar com o desvio admissível nominal deve ser a média dos valores calculados a partir das leituras efetuadas durante cada ciclo.</p>
R 25	<p>Intervalo do ciclo</p> <p>Deve ser possível definir a o intervalo para cada ciclo de amostragem (parametrizável entre 1s e 180s)</p>
R 26	<p>Número de leituras e cálculos</p> <p>O número de leituras a efetuar e de valores do desvio a calcular em cada ciclo deve ser, no mínimo, igual a 10.</p>
R 27	<p>Duração dos ciclos em “tempo independente”</p> <p>Se a característica de “tempo-desvio” for “tempo independente”, a duração dos ciclos deve ser igual ao tempo parametrizado.</p>
R 28	<p>Duração dos ciclos em “tempo inverso”</p> <p>Se a característica de “tempo-desvio” for “tempo inverso”, a duração do ciclo deve ser reduzida na razão entre o primeiro desvio calculado e o desvio admissível nominal.</p>

6 SEQUÊNCIA DE OPERAÇÕES

6.1 Condições iniciais

6.1.1 Condições relativas a cada um dos barramentos MT

Para que a função “regulação de tensão” possa operar em relação a cada um dos barramentos MT (transformador AT/MT), devem verificar-se, cumulativamente, as condições iniciais adiante referidas:

Requisito	Descrição
R 29	<ol style="list-style-type: none"> O regime de funcionamento escolhido para o barramento MT em questão é o regime “automático” (ver, neste documento, a secção 3.3); O encravamento por “mínimo de tensão” não está ativado; <p><i>Nota: esta condição previne também ordens intempestivas em caso de disparo do disjuntor de proteção do circuito secundário dos transformadores de tensão (TT) de MT, e de extração dos TT extraíveis.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> A medida da tensão do barramento MT em questão é válida.

Requisito	Descrição
	4. O transformador em questão está “em serviço” (ligado aos barramentos AT e MT); 5. As tensões auxiliares alternada e contínua dos circuitos de comutação de tomadas em serviço estão presentes; 6. A tensão auxiliar do dispositivo de comando do comutador de tomadas em serviço está presente; 7. As medidas de corrente e tensão são válidas; 8. Não deve estar a decorrer manobra de regulação; 9. A indicação de posição do comutador de tomadas em serviço é válida.

6.2 Elaboração das ordens

Com a verificação das condições iniciais referidas na secção 6.1 é calculado o desvio de acordo com a secção 5.

Requisito	Descrição
R 30	Desvio admissível não é excedido Se o valor do desvio calculado num determinado ciclo não exceder o desvio admissível nominal, não será elaborada qualquer ordem.
R 31	Desvio admissível é excedido Se o valor do desvio calculado num determinado ciclo exceder o desvio admissível nominal, será elaborada uma ordem que dependerá do sinal do desvio calculado.
R 32	Desvio admissível é excedido e positivo Se o desvio calculado for positivo e exceder o desvio admissível, deve ser executada uma ordem de “descer” ao comutador de tomadas do respetivo transformador.
R 33	Desvio admissível é excedido e negativo Se o desvio calculado for negativo e exceder o desvio admissível, deve ser executada uma ordem de “subir” ao comutador de tomadas do respetivo transformador.

6.3 Emissão e controlo de execução das ordens

Requisito	Descrição
R 34	Manobra de mudança em curso Não devem ser emitidas ordens de “descer” ou “subir” ao comutador de tomadas se estiver em curso uma manobra de mudança de tomadas.
R 35	Comutador na tomada limite inferior/superior Apenas devem ser emitidas ordens de “descer/subir” ao comutador de tomadas se o comutador não estiver na tomada limite inferior/superior, respetivamente.
R 36	Sinalizações e medidas À emissão de ordens corresponderá a emissão das correspondentes sinalizações e medidas (referidas, no presente documento, na secção 3.5 e 3.6).
R 37	Verificação da comutação

Requisito	Descrição
	Após a emissão de uma ordem de “subir” ou de “descer” ao comutador de tomadas em serviço de um transformador, a função aguardará um período de tempo pré-fixado e ajustável entre 1 s e 50 s (correspondente à duração da mudança de tomada), findo o qual averiguará se o comutador efetivamente mudou de tomada no sentido correto.
R 38	Comutação não efetuada Se a mudança de tomada não tiver sido corretamente efetuada, a função “regulação de tensão” ficará bloqueada em relação ao transformador em questão, e será emitida a sinalização “comutador bloqueado” referida na secção 3.5 deste documento.
R 39	Atuação da função máximo de tensão Caso ocorra a atuação da função de proteção “Máximo de Tensão”, não devem ser enviadas ordens de “subir” ao c até que a função de proteção volte ao repouso.
R 40	Temporização de Segurança Deverá ser considerada a possibilidade de ser parametrizada uma temporização de segurança que após o repouso do movimento regulador e em função das características do comutador de tomadas, permita evitar o bloqueio da função na passagem pelas tomadas intermédias.

7 PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS

Requisito	Descrição									
R 41	<p>Parâmetros</p> <p>Os parâmetros característicos da função “deslastre/reposição por frequência” são os indicados, abaixo, no quadro 2.</p> <p style="text-align: center;">Quadro 2 Parâmetros característicos</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Designação</th> <th>Gama de regulação</th> <th>Precisão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Intervalo de Ciclo de Amostragem</td> <td>1 – 180 s</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Nº de leituras por ciclo</td> <td>≤ 10</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Designação	Gama de regulação	Precisão	Intervalo de Ciclo de Amostragem	1 – 180 s	-	Nº de leituras por ciclo	≤ 10	
Designação	Gama de regulação	Precisão								
Intervalo de Ciclo de Amostragem	1 – 180 s	-								
Nº de leituras por ciclo	≤ 10									

8 ALGORITMO DE CÁLCULO

A expressão matemática do desvio inclui três parcelas correspondentes, respetivamente:

- à diferença entre a tensão medida e a tensão de base;
- à compensação das quedas de tensão;
- à circulação de potência reativa entre transformadores em paralelo, motivada pela diferença entre as relações de transformação resultante da diferença entre as posições dos comutadores de tomadas.

8.1 Notações utilizadas

- I - número do transformador;
- Z_i - impedância do transformador “ i ” vista do secundário (valor absoluto);

- P_i - potência ativa fornecida pelo transformador “i” medida no secundário;
 Q_i - potência reativa fornecida pelo transformador “i” medida no secundário;
 $P = \sum P_i$ - potência ativa total fornecida por um grupo de transformadores em paralelo;
 $Q = \sum Q_i$ - potência reativa total fornecida por um grupo de transformadores em paralelo;
 V - valor medido da tensão secundária a regular (no barramento MT);
 V_0 - valor de base da tensão secundária a regular;
 ΔV_0 - diminuição da tensão de base;
 ΔV_i - desvio relativo ao transformador “i”;
 R - resistência da rede cujas quedas de tensão devem ser compensadas;
 X - reactância da rede cujas quedas de tensão devem ser compensadas.

8.2 Fórmulas

À diferença entre a tensão medida e a tensão de base corresponde o desvio parcelar calculado pela fórmula:

$$\Delta V' = V - V_0 \quad [1]$$

Notas:

- 1: o desvio ΔV resume-se à parcela $\Delta V'$, no caso em que as quedas de tensão na rede não são compensadas e em que os transformadores não funcionam em paralelo. Neste caso a tensão de referência é igual à tensão de base.
- 2: resumindo-se o desvio à parcela $\Delta V'$, se esta for positiva a tensão medida é superior à tensão de base, donde a necessidade de uma ordem de descer se o desvio admissível nominal for ultrapassado; inversamente, se $\Delta V'$ for negativo, haverá necessidade de uma ordem de subir se o desvio admissível nominal for ultrapassado.

À queda de tensão a compensar corresponde o desvio parcelar calculado mediante a fórmula:

$$\Delta V'' = \frac{RP \pm XQ}{V} \quad [2]$$

A escolha do sinal a considerar no numerador da fórmula [2] depende da natureza indutiva ou capacitiva da carga:

- se a carga for indutiva, a parcela XQ é somada à parcela RP ;
- se a carga for capacitiva, a parcela XQ é subtraída à parcela RP .

Combinando os desvios parcelares calculados mediante as fórmulas [1] e [2] anteriores, resulta para o desvio a fórmula seguinte:

$$\begin{aligned} \Delta V''' &= \Delta V' - \Delta V'' \\ \Delta V''' &= V - V_0 - \frac{RP \pm XQ}{V} \end{aligned} \quad [3]$$

O desvio calculado mediante a fórmula [3] é característico de cada barramento MT.

Notas:

- 1: o desvio ΔV é igual à expressão $\Delta V'''$, no caso em que as quedas de tensão na rede são compensadas e em que os transformadores não funcionam em paralelo.
- 2: a fórmula [3] traduz um aumento da tensão de base com vista a compensação da queda de tensão:

$$\Delta V''' = V - V_0 - \frac{RP \pm XQ}{V} = V - \left(V_0 + \frac{RP \pm XQ}{V} \right)$$

$$\Delta V''' = V - (V_0 + \Delta V'')$$

ou seja, a tensão de referência obtém-se da tensão de base, adicionando-lhe a queda de tensão.

3: a tensão a regular é transferida para o extremo do circuito onde se verificam as quedas de tensão:

$$\Delta V''' = V - V_0 - \frac{RP \pm XQ}{V} = V - \frac{RP \pm XQ}{V} - V_0$$

$$\Delta V''' = (V - \Delta V'') - V_0$$

4: resumindo-se o desvio à expressão $\Delta V'''$, se esta for positiva, a tensão medida é superior à tensão de referência, donde a necessidade de uma ordem de descer se o desvio admissível nominal for ultrapassado; inversamente, se $\Delta V'''$ for negativo haver necessidade de uma ordem de subir se o desvio admissível nominal for ultrapassado.

O desvio parcelar correspondente à circulação de potência reativa entre transformadores em paralelo, motivada pela diferença entre as relações de transformação, a qual é, por sua vez, resultante da diferença entre as posições dos comutadores de tomadas, calcula-se, para cada transformador, mediante a fórmula:

$$\Delta V_i'''' = \frac{Z_i}{V} \left(Q_i - \frac{Q}{P} P_i \right) \quad [4]$$

O desvio parcelar $\Delta V_i''''$ é característico de cada um dos transformadores funcionando em paralelo.

Notas:

1: se os comutadores de tomadas de todos os transformadores em paralelo estiverem em posições a que corresponda a mesma relação de transformação, e se as tensões de curto-circuito dos transformadores forem iguais, os desfasamentos entre a corrente e a tensão secundárias são iguais em todos os transformadores e iguais ao desfasamento entre a corrente total e a tensão secundária.

De $\varphi_i \cong \varphi$
 resulta $\tan \varphi_i \cong \tan \varphi$
 e portanto $\frac{Q_i}{P_i} \cong \frac{Q}{P}$
 donde $Q_i \cong \frac{Q}{P} P_i$
 e finalmente $\Delta V_i'''' \cong 0$

2: se o transformador "i" estiver "avançado" em relação aos restantes, circulará uma corrente predominantemente reativa na malha formada pelos transformadores em paralelo.

Essa corrente de circulação, ou corrente igualizadora, é indutiva vista do transformador avançado e compõe-se com a corrente de carga.

De $\varphi_i > \varphi$
 resulta $\tan \varphi_i > \tan \varphi$
 e portanto $\frac{Q_i}{P_i} > \frac{Q}{P}$
 donde $Q_i > \frac{Q}{P} P_i$
 e finalmente $\Delta V_i'''' > 0$

O transformador avançado deve receber uma ordem de descer, ou seja, o seu desvio parcelar $\Delta V_i''''$ deve ser tido em consideração, no sentido de aumentar o valor medido da tensão.

- 3: inversamente, a corrente de circulação é capacitiva vista do transformador atrasado em relação aos restantes, compondo-se com a corrente de carga.

$$\begin{aligned} \text{De} & \quad \varphi_i < \varphi \\ \text{resulta} & \quad \tan \varphi_i < \tan \varphi \\ \text{e portanto} & \quad \frac{Q_i}{P_i} < \frac{Q}{P} \\ \text{donde} & \quad Q_i < \frac{Q}{P} P_i \\ \text{e finalmente} & \quad \Delta V_i'''' < 0 \end{aligned}$$

O transformador atrasado deve receber uma ordem de subir, ou seja, o seu desvio parcelar $\Delta V_i''''$ deve ser tido em consideração, no sentido de reduzir o valor medido da tensão.

- 4: como a corrente de circulação passa apenas na malha formada pelos transformadores em paralelo,

$$\sum \left(Q_i - \frac{Q}{P} P_i \right) \cong 0$$

- 5: o desvio parcelar $\Delta V_i''''$, calculado mediante a fórmula:

$$\Delta V_i'''' = \frac{Z_i}{V} \left(Q_i - \frac{Q}{P} P_i \right) \quad [4]$$

traduz para cada transformador, a diferença entre a sua tensão secundária e a tensão do barramento, ou seja, o efeito igualizador da corrente de circulação, que provoca a descida da tensão do transformador “avançado” e a subida da tensão do transformador atrasado por forma a serem ambos iguais à tensão do barramento.

Combinando as fórmulas [3] e [4] anteriores obtém-se para cada transformador a expressão geral do desvio:

$$\begin{aligned} \Delta V_i &= \Delta V'''' + \Delta V_i'''' \\ \Delta V_i &= V - V_0 \frac{RP \pm XQ}{V} + \frac{Z_i}{V} \left(Q_i - \frac{Q}{P} P_i \right) \quad [5] \end{aligned}$$

Notas:

- 1: se o desvio ΔV_i for positivo e o desvio admissível nominal for ultrapassado, o transformador correspondente deve receber ordem de “descer”.
- 2: inversamente, se o desvio ΔV_i for negativo e o desvio admissível nominal for excedido, o transformador correspondente deve receber ordem de “subir”.

Se a tensão de base for reduzida de 5% mediante uma ordem exterior, a expressão do desvio para cada transformador passa a ser a seguinte:

$$\Delta V_i = V - (V_0 - 0,05V_0) - \frac{RP \pm XQ}{V} + \frac{Z_i}{V} \left(Q_i - \frac{Q}{P} P_i \right) \quad [6]$$

Se a tensão de base for reduzida por efeito de interação com a função “comando de baterias de condensadores” (ver, acima, secção 4.1), a expressão do desvio para cada transformador passa a ser a seguinte:

$$\Delta V_i = V - (V_0 - \Delta V_0) - \frac{RP \pm XQ}{V} + \frac{Z_i}{V} \left(Q_i - \frac{Q}{P} P_i \right) \quad [7]$$

ANEXO

As figuras seguintes mostram o fluxograma do funcionamento do regulador de tensão em mais detalhe:

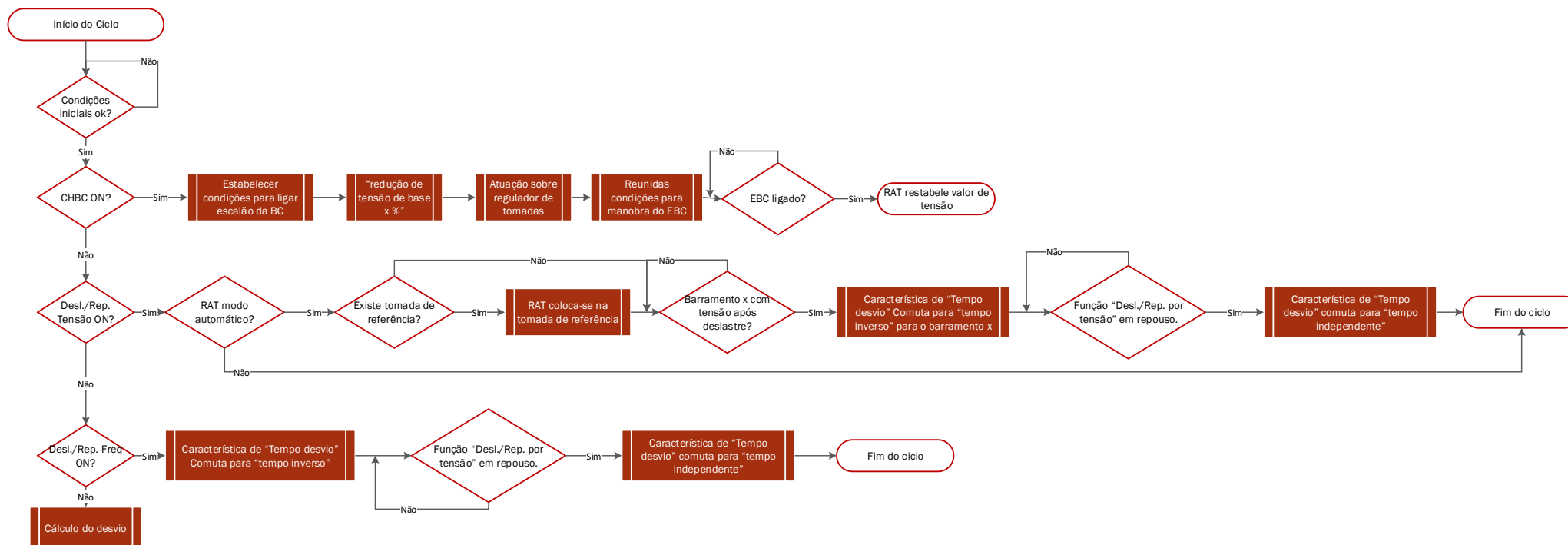


Figura.2 - Fluxograma detalhado - parte 2.

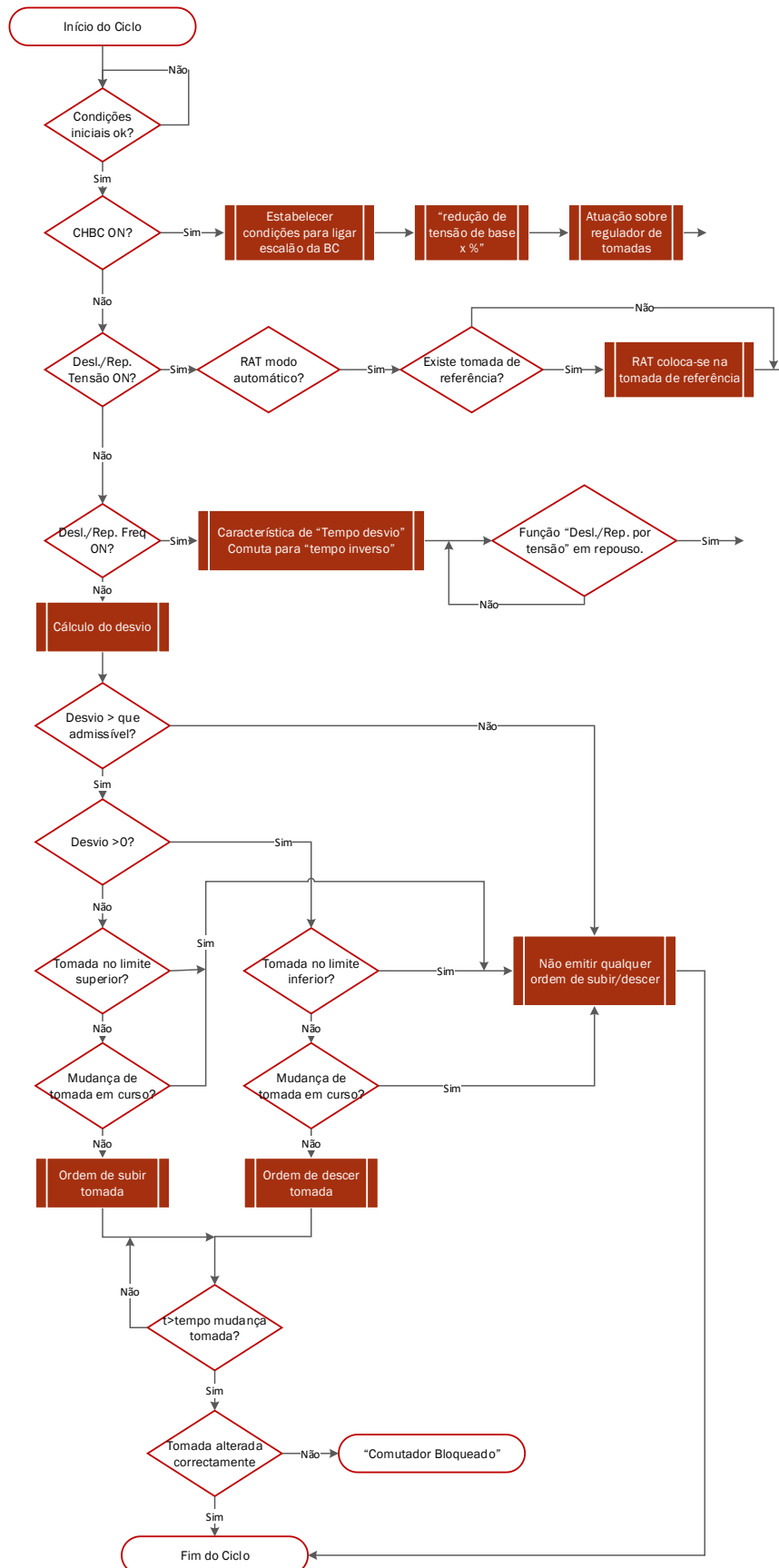


Figura.3 - Fluxograma detalhado - parte 1.