

Regulação da tensão

Aspectos gerais

António do Carmo P. Pinto *

RESUMO

A regulação da tensão é realizada por um conjunto de meios, tais como reguladores primários de tensão dos alternadores, reguladores em carga dos transformadores, condensadores, indutâncias e compensadores de potência reactiva. O desempenho em regime dinâmico dos reguladores de tensão tem uma influência considerável na manutenção da estabilidade das máquinas. As acções destes diversos meios devem ser coordenadas no tempo e no espaço (regulação primária e secundária). Em caso de incidente, devem ser tomadas disposições para evitar prejuízos nos materiais e a degradação das condições de exploração, com risco de um afundamento da rede.

Este artigo analisa as características principais da regulação de tensão.

ABSTRACT

The voltage regulation of electrical grids is made by means of several devices, such as primary voltage regulators of alternators, charge regulators of transformers, capacitors, inductors, and reactive compensators. Performances of voltage regulators at dynamic operation are very important to maintain machine stability. All actions of those devices must be coordinated in time and space (primary and secondary regulation). In case of fault, measures must be taken in order to prevent damages in materials or equipments and service degradation, being possible a network breakdown.

This paper deals with basic features of voltage regulation.

(*) António do Carmo P. Pinto, Eng. Elect. (I.S.T.),
EDP - Porto.

1. A dualidade regulação da tensão - compensação reactiva

As variações da tensão da rede estão estreitamente ligadas às flutuações da potência reactiva Q no sistema produção = transporte. Como a queda relativa da tensão é dada por

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{R \cdot P + X \cdot Q}{V^2}$$

vê-se que a potência reactiva intervém dum modo importante na queda de tensão.

2. A compensação da potência reactiva

Sem disposições particulares a potência reactiva consumida pelas cargas e pela rede provém essencialmente dos alternadores. O trânsito desta potência através dos elementos da rede produz não só quedas de tensão como também perdas reactivas e activas por efeito de Joule. Há interesse em evitar o transporte de energia reactiva da produção para o consumo e por isso é normal utilizar-se baterias de condensadores nos centros de consumo.

As baterias de condensadores são colocadas nos locais de consumo e nos postos de transformação e seccionamento, de alta e média tensão para compensar as linhas longas e suas variações de carga. As baterias de condensadores devem ser ligadas à rede por parcelas e automaticamente em função das necessidades.

A compensação da potência reactiva a partir das baterias de condensadores reduz o fornecimento desta energia por parte dos grupos de produção.

Poder-se-ia ser tentado a reduzir o $\cos \varphi$ dos grupos por razões económicas havendo baterias de condensadores. No entanto, os grupos devem conservar a capacidade de produção da energia reactiva, para assegurar os valores normais da tensão aos seus terminais em caso de incidente grave.

3. A cadeia de regulação da tensão

3.1 Os princípios

A cadeia de regulação é constituída por um conjunto de meios que permite controlar a tensão em todos os pontos da rede, desde os grupos de produção até aos aparelhos de utilização.

O controlo da tensão apresenta dois aspectos:

- **Fixar os valores médios da tensão**, o que determina nomeadamente a relação de transformação dos transformadores que separam os diversos níveis de tensão. Esta relação pode variar segundo as condições de exploração, o que obriga a munir os aparelhos de várias tomadas, de reguladores automáticos que fazem a mudança das tomadas e de outros meios complementares, condensadores e indutâncias.
- **Manter as variações da tensão nos limites admissíveis**, para os diversos níveis de tensão, que são os meios de regulação propriamente ditos: reguladores de tensão dos alternadores, reguladores em carga dos transformadores e os compensadores síncronos. Em Portugal a regulação em carga é feita geralmente nos transformadores de alta-média tensão.

3.2 Organização da cadeia de regulação

A figura 1 representa o conjunto dos meios de regulação da tensão e a compensação da energia reactiva.

As funções dos diferentes equipamentos são as seguintes:

- Os condensadores e compensadores síncronos compensam «grosseiramente» a energia reactiva solicitada pelas cargas. No plano dinâmico esta compensação é relativamente lenta, pois que é função da velocidade da variação das cargas.
- Os grupos de produção fazem a compensação rápida das necessidades de reactiva, que é completada pelos condensadores e pelos compensadores síncronos.
- A regulação da tensão ao nível de MT e AT é assegurada pelos reguladores em carga dos transformadores.

4. Regulação da tensão da rede de distribuição

4.1 A compensação da potência reactiva

A compensação reactiva é assegurada por condensadores instalados ao nível das barras de MT. Os condensadores compensam as cargas reactivas locais e

uma parte das perdas reactivas sobre a rede a montante. As baterias de condensadores de MT são comandadas manualmente ou automaticamente por meio de relés dotados de microprocessadores.

4.2 A regulação do plano de tensão

Os postes de MT, que são equipados por reguladores em carga, permitem uma banda de regulação de tensão de 12% distribuída por 17 tomadas de 1,5% e comandadas por um regulador de tensão.

Numa situação preocupante pode-se recorrer ao deslastre técnico.

Os reguladores de tensão referidos baseiam-se no princípio da balança voltimétrica e na compoundage.

5. A regulação da tensão de alta tensão A. T. (220, 150 e 60 kV)

5.1 A regulação do plano de tensão

A tensão das redes de AT é regulada por intermédio dos transformadores de M.A.T./A.T. dotados de reguladores em carga. Os condensadores completam apenas uma pequena quantidade marginal.

A banda de variação destes reguladores é de 15% repartida por 25 tomadas. São telecomandados ou accionados por reguladores de tensão baseados na balança voltimétrica e compoundage como para as redes de distribuição.

Os reguladores de tensão têm um funcionamento coordenado no tempo e no espaço para:

- Limitar os trânsitos de potência reactiva entre consumidores vizinhos;
- Evitar instabilidades com os equipamentos de regulação da tensão instalados em MT e MAT;
- Deixar tempo suficiente para actuação de certos autómatos (reengatadores).

5.2 A compensação de energia reactiva

As baterias devem ser ligadas às barras de AT dos postes de M.A.T./A.T. e a sua potência está compreendida entre 20 e 30 MVAR. O princípio de comando depende de preocupações locais (compensação de reactiva ou de manutenção da tensão), pelo que é normalmente o Despacho que as põe e tira de serviço, quer manualmente, quer por relógio.

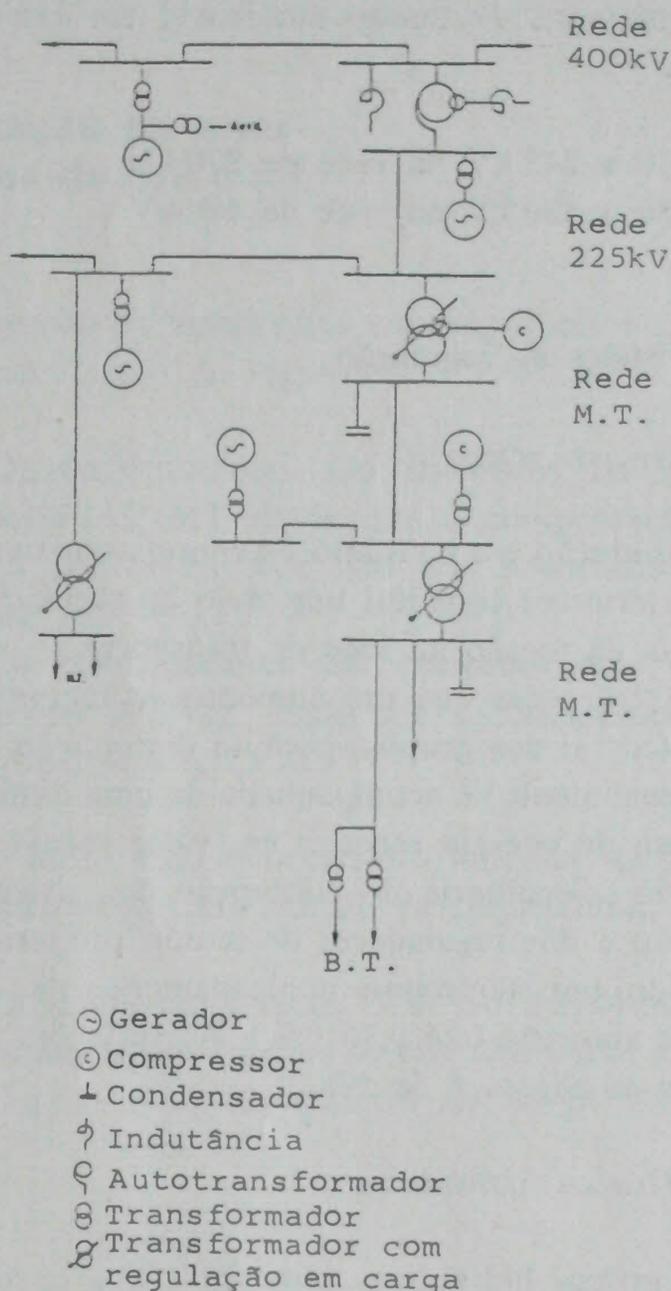


Fig. 1 — Meios de regulação de tensão e compensação de energia reactiva

Em França alguns grupos de potência superior a 20 MW são dotados de um programador horário de potência reactiva associado à regulação de potência.

6. A regulação de tensão em M. A. T. (400 kV e 220 kV)

A rede M.A.T., que é uma rede de transporte e interligação, pode flutuar muito rapidamente e nas margens de tensão, surgem flutuações que na ausência de regulações eficazes poderiam ser muito importantes.

As principais razões de flutuações são:

- característica aleatória do consumo
- localização variável dos meios de produção (critérios económicos, hidraulicidade, consumo)
- incidentes de exploração
- modificações com o estrangeiro
- variação da produção do consumo das linhas em função dos trânsitos.

As margens de tensão admissível em exploração normal.

- 210 a 245 kV na rede de 220 kV
- 380 a 420 kV na rede de 400 kV

6.1 Meios de regulação

a) Grupos térmicos

A produção e o consumo de energia reactiva pelos grupos térmicos constitui um meio de regulação privilegiada da tensão na rede de transporte.

Convém notar que um aumento do factor de potência ($\cos \varphi$) dos grupos (permite diminuição do seu dimensionamento) é acompanhada de uma diminuição de oferta de energia reactiva em valor relativo. Pelo contrário, a melhoria de concepção dos sistemas de excitação e dos reguladores de tensão primários tem permitido um acréscimo nomeadamente na capacidade de absorção (até $0,35 \cdot S_n$). As variações de tensão dos auxiliares é de 5%.

b) Grupos hidráulicos

Os grupos hidráulicos têm um $\cos \varphi \simeq 0,9$. As turbinas Pelton e Francis podem funcionar como compensador síncrono. Os auxiliares de grupo suportam variações de tensão de 10%.

c) Meios de compensação estática

Para absorver a energia reactiva fornecida pela rede de 400 kV são ligados aos ternários dos autotransformadores reactâncias de ($Q = 48$ ou 64 MVAR) ou directamente ao barramento (100 MVAR) de comando manual.

Nota-se que salvo casos particulares não é necessário instalar condensadores em MAT se a compensação for suficiente a jusante.

d) A rede

Características da rede de transporte em termos de regulação mais conhecidos:

- A potência reactiva circula mal; os problemas devem ser resolvidos localmente equilibrando os consumos e a produção de potência reactiva.
- Nos períodos de fraca carga é necessário abrir linhas, para baixar a tensão, o que no plano de estabilidade pode tornar frágil a rede.

A interligação dos 400 kV com os 220 kV é feita por autotransformadores, dispondo de 2 ou 3 relações de transformação:

- 1,78 — 1,69 — 1,62 para os antigos AT de 300 MVA
- 1,69 — 1,62 para os novos AT de 300 MVA
- 1,69 — 1,62 — 1,55 para os AT de 600 MVA

Motorização de comutadores de tomadas em vazio.

6.2 Coordenação dos meios de regulação

Os meios disponíveis em MT e AT não permitem uma regulação rápida e afinada para se ajustar às flutuações. É a MAT que dispõe de meios potentes e rápidos (os grupos) para suprir os meios insuficientes da AT e MT e fornecer a «tensão de referência» em que se apoia o sistema de produção e transporte. As flutuações rápidas de tensões nos terminais dos grupos, consecutivas e de fracas variações de potências reactivas (Q), provocadas por defeitos afastados ou por manobras sobre a rede, são da área de actuação da regulação primária dos alternadores. Todos os meios referidos contribuem para uma regulação automática da rede que não é suficiente para fazer face à grande amplitude de variações da carga diária. É necessário então tomar medidas correctivas baseadas no diagrama de carga previsível, quer a nível regional, quer a nível nacional, através do Despacho.

7. O futuro da regulação de tensão

É importante a montagem generalizada de relés varimétricos em MT e:

- Precisar margens de construção toleráveis para os materiais
- Tirar a experiência dos condensadores em AT
- Novos meios de regulação (compensadores estáticos)
- Melhoria do conhecimento das cargas
- Evolução da regulação secundária
- Conhecimento, em tempo real, das possibilidades de regulação dos grupos.

ANEXO

Regras gerais de compensação da energia reactiva a nível das redes de MT e AT

Uma compensação insuficiente da energia reactiva absorvida por uma carga corre o risco, nas horas de forte carga, de colocar problemas de nível de tensão nas redes de MAT (instabilidade dinâmica).

Uma quantidade mínima de meios de compensação entre vários, como, por exemplo, os condensadores, não necessários no plano técnico.

A quantidade de condensadores correspondentes ao nível técnico deverá ser aumentado até ao nível dito «óptimo económico» tal que à taxa de rentabilidade do último condensador instalado corresponde à taxa de utilização retida para o reforço das linhas.

O cálculo das quantidades de condensadores depende das necessidades numa primeira etapa a nível dos nós principais de rede MAT em função de diversos parâmetros, cargas, $\text{tg}\varphi$ e meios de produção, etc.).

A tensão de ligação dos condensadores é determinada em função do seguinte:

- Os condensadores são colocados na MT na parte AT/MT desde que a compensação nestes pontos da rede não seja necessário que a tag $\varphi > -0,1$;
- Os condensadores são colocados em AT nas partes AT/MT desde que a compensação solicitada seja $\text{tg} > 0$.

Por outro lado é necessário modular as baterias de condensadores em função da carga diária:

- Os condensadores de MT são manobrados localmente em função de critérios locais em função da potência reactiva da carga solicitada.

CALENDÁRIO ■ CALENDÁRIO ■ CALENDÁRIO ■ CALENDÁRIO

FRANCOCLIM 89, Congresso Francófono de Engenharia Climática, de 2 a 3 de Novembro de 1989, em Paris, organizado pela AICVF (Associação dos Engenheiros de Aquecimento, Ar Condicionado e Ventilação de França). Informação: BEGO, 7 rue Royale, 75008, Paris, France.

European Electricity: Meeting the Challenges of the 1990's, a 7 e 8 de Fevereiro de 1990, em Londres. Informação European Study Conferences Ltd, Douglas House, Queen's Square, Corby, Northants NN17 1PL, United Kingdom.

Elmia Energy & Environment 90, de 23 a 27 de Abril, em Elmia, na Suécia. Informação: Elmia AB, Box 6066, S-55006 Jonkoping, Sweden.

ASTSWMO 1989, forum sobre resíduos sólidos na gestão integrada de lixos municipais, de 17 a 19 de Julho de 1989, na Florida, USA. Informação: Kerry Callahan, ASTSWMO, 444 North Capitol Street NW, Suite 388, Washington DC 20001, USA.

New Developments in Power System Engineering, de 5 a 18 de Novembro de 1989, em Glasgow/Newcastle/Stafford e London, curso destinado a demonstrar os últimos avanços na engenharia de sistemas eléctricos. Informação: Carla Beltrão, The British Council, Rua de São Marçal, 1294 Lisboa Codex.

Uprating and Refurbishing Hydro Powerplants - II, conferência e exposição de 16 a 18 de Outubro de 1989 em Zurique, na Suíça, organização da revista International Water Power & Dam Construction. Informação: Conference Assistant, Water Power & Dam Construction, Quadrant House, The Quadrant, Sutton, Surrey SM2 5AS, United Kingdom.

Power Plant'89, seminário e exposição de 20 a 23 de Junho de 1989, em Birmingham. Informação: Exhibition Organiser, Power Plant'89, Holly Road, Hampton Hill, Middlesex TW12 1PZ, United Kingdom.