SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO
E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

SP/GSP/02

São Paulo, 10/15 de Abril de 1972

GRUPO DE ESTUDOS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

CONSIDERAÇÕES SÔBRE O CONTRÔLE DA TENSÃO NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Engº Eduardo Pereira Cartaxo

Companhia Paranaense de Energia Elétrica - COPEL

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONTROLE DA TENSÃO NA OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

1.0 - GENERALIDADES

1.1 - histórico

A partir de 1898 foram construídas as primeiras linhas trifásicas de transmissão de energia elétrica sob tensões de 30 e 40 kV.

Em 1907 apareceram os primeiros isoladores de suspensão, tornando possível a construção de linhas de transmissão sob tensões mais elevadas.

A elevação da tensão nas linhas de transmissão possibilitou conseqüentemente que maiores potências fossem levadas aos centros consumidores mais distantes.

Depois da segunda guerra mundial, o grande aumento da demanda de energia elétrica passou a exigir sistemas de transmissão mais complexos (1).

Com a necessidade de se transportar potências elevadas a grandes distâncias, o problema do controle da tensão passou a ser estudado com maior cuidado, porque o fluxo da potência reativa começou a causar dificuldades para a operação dos sistemas à medida que as tensões das LTs foram sendo elevadas.

Nos nossos dias, podemos dizer que o controle da tensão em sistemas de transmissão já não é problema difícil de ser resolvido, uma vez que podemos contar com uma série de equipamentos para esse fim.

Devemos considerar entretanto, que apesar das facilidades disponíveis atualmente para o controle da tensão nos sistemas de transmissão, o pessoal da operação ainda tem encontrado certas dificulda-

des para obter níveis de tensão adequados às condições de carga, principalmente quando duas ou mais Empresas operam seus sistemas interligados.

1.2 - fluxo de potência ativa

Basicamente o fluxo de potência ativa não traz maiores problemas à operação do sistema, no que se refere ao controle da tensão, uma vez que o seu transporte, a partir da fonte geradora até o ponto de consumo, é feito normalmente através de circuitos convenientemente dimensionados.

O problema mais sério que aparece no transporte da potência ativa, além das perdas, e, principalmente àquelas devidas ao efeito corona nas tensões mais elevadas, é sem dúvida, o da sobrecarga no sistema interligado. Se não houver na área, reserva suficiente para assumir o incremento de potência correspondente a uma redução involuntária das disponibilidades, é praticamente inevitável a saída parcial e até mesmo total de outras linhas ou unidades geradoras, se não forem desligadas cargas em tempo hábil, de valores compatíveis com a redução das disponibilidades.

Para reduzir as conseqüências de uma sobrecarga, foram desenvolvidos dispositivos que percebem essas anormalidades, retirando em função da variação da freqüência, cargas pré-selecionadas, evitando assim que o sistema todo entre em colapso.

1.3 - fluxo de potência reativa

É no controle do fluxo de potência reativa que o pessoal da operação encontra a maior dificuldade para obtenção de níveis de tensão satisfatórios nos diversos pontos do sistema.

- "Sendo entregue ao campo magnético e por ele devolvida no fim do ciclo, a energia reativa

por assim dizer é um 'viajante' de ida e volta, que não saiu do lugar mas utilizou espaço no veículo" (2)-

1.4 - potência reativa solicitada pela carga

Como não poderia deixar de ser, é a carga que determina o valor da potência reativa que o sistema deverá lhe fornecer, da mesma forma que ela determina o valor da potência ativa que lhe é necessária. Os consumidores de potência reativa são normalmente os seguintes:

- motores de indução, transformadores, fornos de indução, reatores para iluminação, reatores diversos, reatância indutiva das linhas de transmissão etc.

1.5 - controle da potência ativa e reativa no sistema

O controle do fornecimento de potência ativa de um gerador é feito através do regulador da turbina.

O controle do fornecimento de potência reativa de uma máquina síncrona é feito através da variação de sua corrente de excitação.

Para que possamos ter um sistema operando em condições satisfatórias, é necessário que o pessoal da operação conheça as reais necessidades e disponibilidades de potência ativa e reativa do sistema.

A coleta de valores horários bem como os registros gráficos dos valores de potência ativa e reativa solicitadas nas diversas subestações e usinas do sistema, é da maior importância para a sua operação.

Para o caso particular do controle da tensão, é fundamental que o pessoal da operação mantenha atualizado os dados de disponibilidade e consumo

de potência reativa.

O sentido correto do fluxo de potência reativa é da maior importância no controle da tensão do sistema.

2.0 - PRINCÍPIOS BÁSICOS DE OPERAÇÃO DE UM SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA (3)

O pessoal de operação terá melhores condições para operar o seu sistema se os princípios básicos de operação a seguir enumerados forem perfeitamente compreendidos e corretamente aplicados, de acordo com as necessidades da carga.

2.1 - Para redução das perdas no sistema, a potência ativa e a potência reativa deverão ser fornecidas o mais próximo possível dos centros de carga.

2.2 - Dentro dos limites operacionais, quanto maior for a tensão de operação do sistema, menores serão as perdas.

De uma maneira genérica pode-se considerar que a redução das perdas é proporcional ao quadrado do aumento da tensão.

2.3 - No sistema elétrico, a freqüência é um critério e as medidas de potência ativa são usadas como referência para se decidir sobre qual a providência que deve ser tomada para obtenção da freqüência nominal.

Como já foi dito, as cargas é que determinam por si mesmas qual a quantidade de potência ativa que deve ser entregue ao sistema para satisfazer as suas necessidades.

A esse valor de potência ativa deve ser acrescentado uma pequena parcela para compensar as perdas no sistema.

2.4 - A tensão também é um critério no sistema elétrico e as medidas de potência reativa são usadas como referência para se decidir sobre qual a providência que deve ser tomada para obtenção da tensão nominal.

Ainda como já foi dito, são as cargas que determinam por si mesmas qual a quantidade de potência reativa que deve ser entregue ao sistema para satisfazer as suas necessidades. A esse valor de potência reativa deve ser acrescentada uma pequena parcela para compensar as perdas no sistema.

2.5 - O melhoramento do nível de tensão de um sistema obtido pela adição de fontes de potência reativa,tais como condensadores estáticos, em locais mais próximos do ponto de consumo, tem como resultado a redução correspondente da transmissão dessa potência reativa através do sistema.

Este procedimento simplesmente transfere o suprimento da energia reativa de uma fonte para outra com a conseqüente redução da parcela de perdas no sistema, uma vez que ainda é a carga que determina a quantidade de potência reativa a ser fornecida.

2.6 - Um aumento de tensão num ponto gerador do sistema de corrente alternada não é o resultado do aumento do fornecimento de potência reativa, mas sim justamente o inverso, é o aumento da tensão em um ponto gerador do sistema que tem como resultado o aumento do fornecimento de potência reativa.

Da forma como foi enunciado esse princípio, podemos considerar eliminada toda e qualquer esperança de se obter um aumento no nível de tensão do sistema "bombeando" mais potência reativa para dentro do sistema tal como se bombeia ar para dentro de uma câmara de ar. Como a carga não absorverá mais potência reativa do que ela realmente necessita, se assim procedermos, estaremos aumentando o

fluxo de potência reativa no sistema e criando a necessidade de instalação de novos consumidores para a potência reativa excedente, além de comprometer a estabilidade do próprio sistema.

3.0 - TÉCNICA PARA ALTERAÇÃO DOS NÍVEIS DE TENSÃO DE UM SISTEMA DE ENERGIA ELÉTRICA EM CORRENTE ALTERNADA (3)

A alteração do nível de tensão de um sistema elétrico deve ser feita de maneira coordenada para que o resultado da alteração não venha comprometer a estabilidade do sistema. A técnica a ser adotada é a seguinte:

3.1 - Alterações do nível de tensão de um sistema elétrico devem ser feitas através de ajustes coordenados na excitação de máquinas síncronas ou através de mudanças coordenadas dos taps dos transformadores instalados ENTRE os geradores e o sistema.

A adoção dessa técnica nos conduzirá a uma alteração equalizada do nível de tensão do sistema, sem aumentar o fluxo de potência reativa das máquinas síncronas para o sistema.

4.0 - APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE OPERAÇÃO E TÉCNICA DE ALTERAÇÃO DO NÍVEL DE TENSÃO EM SISTEMAS ELÉTRICOS (3)

4.1 - Tomemos o exemplo simples de corrente contínua representado na figura 4.1 - 1, onde foram colocadas duas baterias A e B de quatro elementos de 2 volts cada uma. Os terminais negativos (-) foram conectados através da terra.

As baterias possuem dois taps cada uma nas tensões de 6 e 8 volts, respectivamente taps 1 e 2.

Considerando que o valor da resistência R conectada entre os taps de número 1 das duas baterias seja de 0,3 ohms, qual será a corrente que fluirá através da resistência?

Como as tensões da bateria (forças eletro-motrizes) são iguais e opostas, (+) ligado com (+), não poderá fluir nenhuma corrente através da resistência R e o nível de tensão do circuito será de 6 volts.

4.2 - Passando-se agora à ligação da resistência R para o tap 2 da bateria A (8 volts), permanecendo a outra ligação no tap 1 da bateria B (6 volts), vamos ter que as tensões (f.e.m) das baterias ainda são opostas porém, de valores diferentes. Essa tensão desequilibrada de 2 volts entre as duas baterias fará circular através da resistência R uma certa corrente. O valor da corrente será então limitado pela resistência R da interligação mais as resistências internas das baterias. Considerando-se que a resistência interna de cada elemento da bateria é de 0,1 ohms, teremos pela lei de Ohm:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{2}{0,3 + 0,1 \times 3 + 0,1 \times 4} = \frac{2}{1,0} = 2 \text{ amp.}$$

A tensão no terminal da bateria A será:

$$V_A = 8 - 2 \times 0,4 = 8 - 0,8 = 7,2 \text{ volts}$$

A tensão no terminal da bateria B será:

$$V_B = 8 - 2(0,4 + 0,3) = 8 - 1,4 = 6,6 \text{ volts}$$

Observa-se que o nível de tensão no circuito de interligação foi elevado mas não da quantidade total que foi feita na bateria A. Uma elevação de 2 volts foi feita na bateria A mas a tensão do circuito subiu apenas 1,2 volts numa extremidade e 0,6 volts na outra extremidade.

4.3 - Passando-se agora a ligação da resistência R para o tap 2 da bateria B, permanecendo a ligação no tap 2 da bateria A, vamos ter que as tensões das baterias (f.e.m) serão iguais e opostas novamente

como acontecia em 4.1.

Nestas condições não poderá fluir corrente de circulação através da resistência R uma vez que as tensões estão equilibradas. Como resultado vamos ter o nível de tensão elevado para 8 volts. Obtivemos assim o efeito total da elevação da tensão em cada ponto de alimentação.

4.4 - Resultados idênticos serão obtidos quando se provoca um aumento de tensão entre a máquina síncrona e o ponto em que ela se liga ao resto de um sistema de corrente alternada, ou mesmo a outra máquina síncrona (gerador, motor ou compensador síncrono).

O esquema apresentado na figura 4.4 - 1 é análogo ao representado na figura 4.1 - 1.

4.5 - Convém ressaltar mais uma vez que para efetuar um controle apropriado da tensão em sistemas elétricos, é necessário a perfeita compreensão dos princípios básicos de operação e da técnica para alteração dos níveis de tensão, tanto para elevar como para reduzir o nível de tensão do sistema.

4.6 - Apesar da simplicidade dos princípios básicos de operação e da técnica para alteração dos níveis de tensão, o controle da tensão pela variação equalizada dos níveis de tensão pode ser mais facilmente assimilado pelo pessoal da operação se a seqüência de operação lhes for dada da seguinte maneira:

Suponhamos que se deseja elevar em 5% o nível de tensão do sistema de 230 kV da figura 4.6 - 1.

- Trace uma linha interrompida demarcando a parte do diagrama que representa o sistema de 230 kV, como está representado na figura.
- Entre cada fonte alimentadora e o ponto em que a

linha interrompida corta o diagrama, introduza uma elevação de 5% na direção do sistema de 230 kV por mudanças de taps de transformadores, ou, por mudança da corrente de excitação dos geradores.

- Se a elevação for feita pela mudança da corrente de excitação dos geradores, a elevação apropriada é conseguida mantendo-se a mesma saída de potência reativa nos geradores, que existia antes de ter sido feita a elevação da tensão do sistema.
- Nos sistemas de 138 kV e 66 kV da figura 4.6 - 1 o procedimento será análogo tanto para elevação como para redução do nível de tensão.
- Adotando-se este procedimento, o controle da tensão se torna simples, conciso e geral.

5.0 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como principal objetivo, colocar à disposição do pessoal de operação de sistemas a experiência e os conhecimentos adquiridos pelas equipes técnicas de outras empresas sobre o mecanismo de controle da tensão.

Lembramos aqui mais uma vez que, para se obter o controle da tensão em um sistema interligado, teremos que considerá-lo como um todo. Alterações isoladas da tensão sem levar em consideração a interligação, trarão inevitavelmente, problemas operacionais com reflexos diretos na estabilidade do sistema.

Para se obter alterações equalizadas dos níveis de tensão em sistemas elétricos mais complexos, o uso de analisadores de circuitos ou de computadores é recomendado. A localização dos pontos em que estas alterações devem ser introduzidas, bem como os seus respectivos valores, torna-se bastante rápida e precisa.

Curitiba, 25 de fevereiro de 1972

B i b l i o g r a f i a

1) Encyclopaedia Britanica - Edição 1964.

2) Engº João Camilo Penna: Geração de energia reativa em redes de Distribuição

Estudo apresentado no II Seminário de Distribuição de Energia Elétrica em Recife - Julho de 1964.

3) H.B.Smith: Princípios de controle de tensão para pessoal de operação em Sistema de corrente alternada.

Tese nº 56-64 apresentada na Reunião Geral de Inverno do AIEE em New York realizada de 18 a 22 de janeiro de 1954.

4) Chester L. Dawes: Curso de Eletrotécnica - 2º vol. 1952.

5) Westinghouse Electric Corporation: Distribution Systems 1965.

6) William D. Stevenson Jr.: Elements of Power System Analyses.

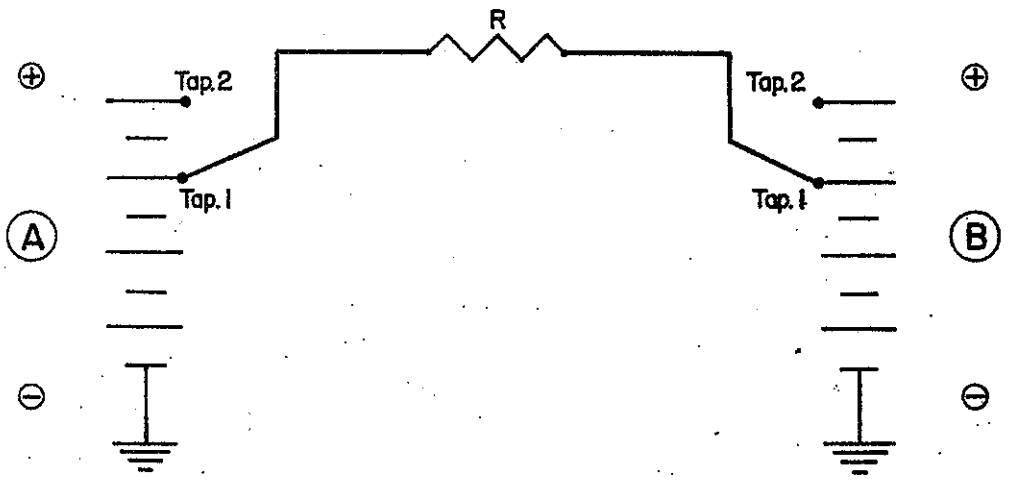

FIGURA 4.1-1

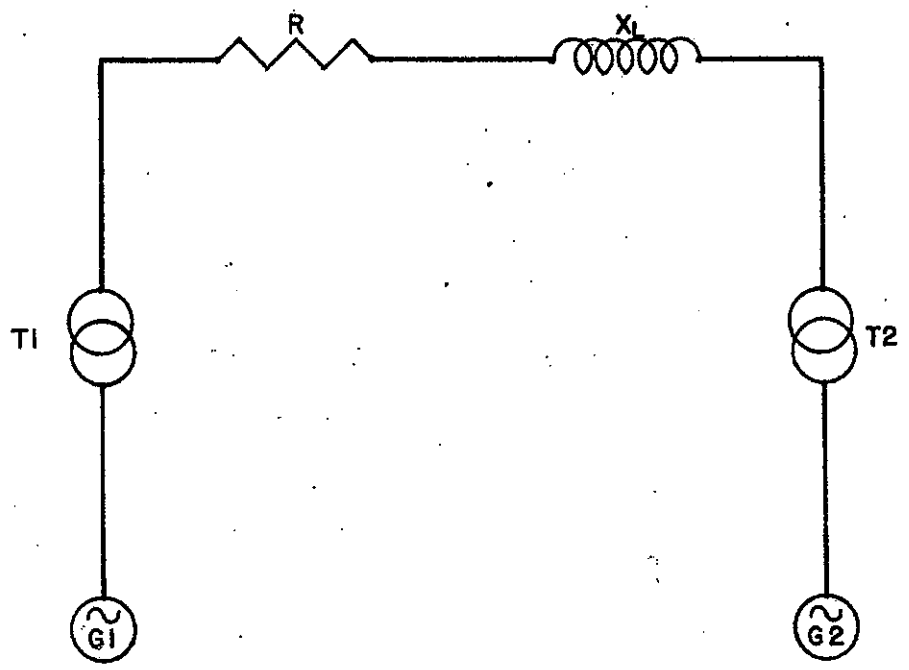

FIGURA 4.4-1

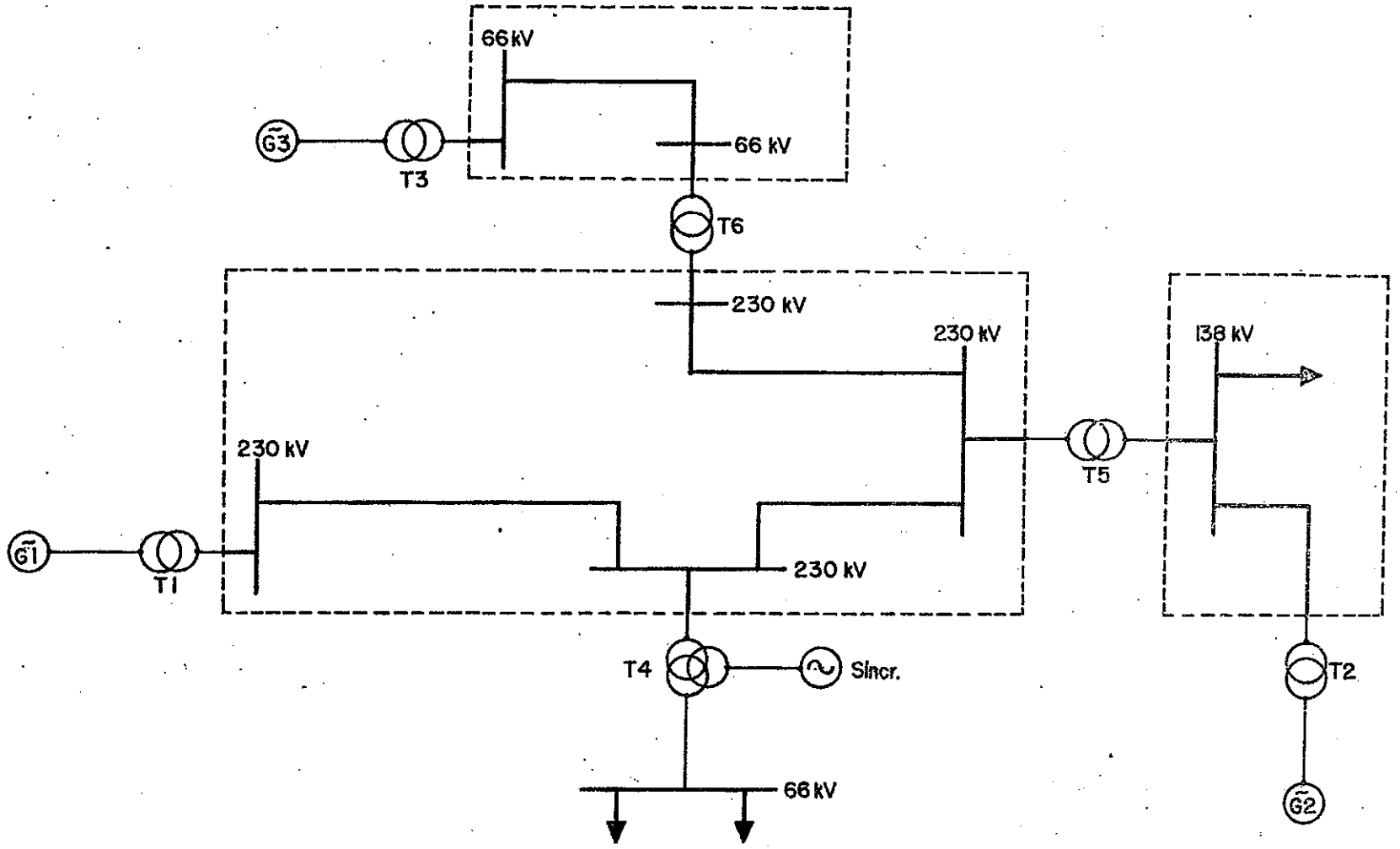

FIGURA 4.6-1

SP/GSP/02