

3 Potência Reativa

A previsão de potência reativa tem significância técnica e econômica, pois o balanço de reativos em um Sistema de Energia Elétrica muitas vezes exige a instalação de equipamento adicional exclusivamente para mantê-lo.

A manutenção do perfil de tensão de um sistema de energia elétrica é uma tarefa complexa e ao mesmo tempo dispendiosa. Adicionalmente, o uso mais intenso dos atuais sistemas de transmissão juntamente com os baixos níveis de compensação reativa dos sistemas de distribuição tem trazido sérios problemas à operação do sistema.

Não obstante, o atual processo de reestruturação do setor elétrico aponta na direção de uma indústria onde as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização são separadas umas das outras, o que implica em estabelecer arranjos operativos e comerciais que estimulem a cooperação entre os diversos agentes da indústria, objetivando uma operação confiável e com custos aceitáveis para a sociedade.

O preço da potência reativa tem ganhado grande importância no novo setor elétrico. Para estipular metodologias próprias para o cálculo do custo da potência reativa, baseado na correção do fator de potência e no custo dos equipamentos compensadores de tensão é necessário o conhecimento a priori das potências ativa e reativa do sistema.

3.1. Definição

As potências ativas e reativas possuem uma relação natural entre elas. Na verdade, a potência reativa depende linearmente da potência ativa através do fator de potência (cosseno do ângulo entre elas). A potência aparente é representada pela soma fatorial dessas. O conjunto forma o que se denomina de Triângulo de Potência.

Os aparelhos elétricos indutivos, tais como motores e transformadores, desenvolvem um campo magnético interno necessário para o seu funcionamento. Este campo é formado pela passagem da corrente nos enrolamentos. Quando os equipamentos são alimentados em corrente alternada, a energia armazenada em forma de campo magnético tende a se opor à variação da intensidade da corrente, causando um atraso da corrente em relação à tensão. Como consequência uma parcela da corrente não realiza trabalho útil, produzindo o que se chama de energia reativa.

Para melhor compreender a ocorrência de energia reativa em um sistema, visualize a figura 1, onde um vagão é tracionado para se deslocar sobre os trilhos por ação de uma força não paralela à direção do deslocamento.

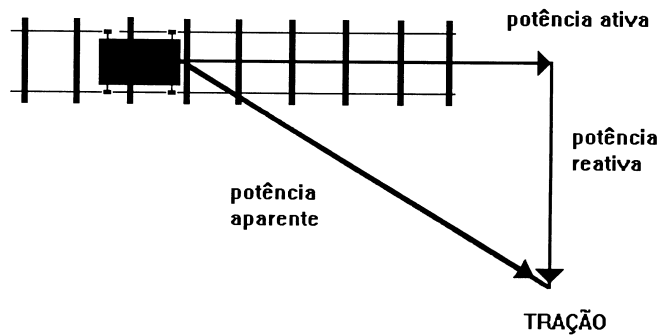


Figura 1- Triângulo de Potência

O esforço de tração representa a potência aparente, simbolizada por S , do sistema (kVA). A componente de força paralela aos trilhos é a que realiza trabalho útil, representando a potência ativa (P) do sistema em kW. A componente ortogonal a esta última não realiza trabalho, causando um aumento da potência aparente para se obter a mesma potência ativa que seria necessária à locomoção do vagão caso a força de tração fosse aplicada em direção paralela aos trilhos. Esta representa a potência reativa (Q) em kVAr.

A relação entre a potência ativa e a potência aparente é denominada fator de potência. Note, na analogia acima, que o fator de potência é na realidade a tangente do ângulo formado entre a força de tração e os trilhos. Quanto menor for este ângulo, menor será a componente reativa do sistema, e tanto mais o fator de potência irá se aproximar do valor unitário.

A ocorrência de energia reativa em circuitos elétricos sobrecarrega as instalações, ocupando uma capacidade de condução de corrente que poderia ser mais bem aproveitada para realizar trabalho útil. Isto é válido tanto para a concessionária que entrega energia elétrica ao consumidor como também para o próprio consumidor em seus circuitos de distribuição.

A concessionária protege-se contra a ocorrência de reativos elevados em suas linhas impondo ao consumidor um fator de potência mínimo (na legislação brasileira, à época da elaboração do presente trabalho, o fator de potência mínimo é de 0,92). Quando o consumidor apresenta um fator de potência abaixo do mínimo é cobrado o excedente de energia reativa, a título de ajuste. Assim sendo, a melhoria do fator de potência de uma instalação representa não apenas uma melhor utilização dos circuitos de distribuição de uma empresa, como também uma forma de reduzir as despesas com o fornecimento de energia caso ele esteja abaixo do mínimo regulamentado.

Naturalmente, o circuito possui um triângulo de potência do tipo mostrado na figura 2, a qual mostra que, quando uma carga é ligada a uma fonte de tensão qualquer, a carga absorve uma potência complexa S .

Sabe-se que a potência ativa dissipada pela carga instalada no circuito é dada por,

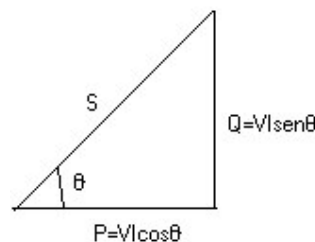


Figura 2– Triângulo de Potência

de acordo com o triângulo da figura 2:

$$P=VI\cos\theta \quad (3.1)$$

Onde:

V = tensão (Volt);

I = corrente (Ampére)

P= potência ativa (Watt)

Q= potência reativa (Volt Ampére reativo)

S=potência aparente ou complexa (Volt Ampére)

Explicitando o fator $\cos\theta$ na equação (3.1), obtém-se:

$$\cos\theta = \frac{P}{VI} \quad (3.2)$$

O valor $\cos\theta$ na equação acima é definido como fator de potência da carga, e é um fator muito importante nas cargas elétricas, bem como para os circuitos elétricos.

Lembre-se que quando a carga for indutiva, o θ e o Q serão positivos e quando a carga for capacitiva implica que o θ e o Q serão negativos. Pelo exposto, verifica-se que não é possível especificar o fator de potência unicamente pelo coseno do ângulo, isto porque, da trigonometria tem-se: $\cos(\theta) = \cos(-\theta)$

Para contornar esta ambigüidade, adota-se dizer:

- ✓ quando θ é positivo : fator de potência atrasado, *lagging* ou indutivo
- ✓ quando θ é negativo; fator de potência adiantado, *leading* ou capacitivo

Em outras palavras, fator de potência atrasado significa que a corrente está atrasada em relação à tensão, são, portanto, os circuitos indutivos, e, fator de potência adiantado significa que a corrente está adiantada em relação à tensão, são, portanto, os circuitos capacitivos.

Quando θ é grande aumenta a corrente, havendo, portanto, maior perda na linha de transmissão o que, obriga a concessionária a instalar e manter capacitores na geração e nas subestações das linhas de transmissão objetivando diminuir estas perdas.

Para obrigar o usuário a pagar menos, a concessionária estipula o fator de potência maior possível para incentivar a correção, adotando a seguinte fórmula para cobrança:

$$x = \frac{0,92 * Pr e\grave{c}o(kWh)}{\cos\theta} \quad (3.3)$$

Fazendo uma inspeção na expressão (3.3) comprova-se que, quando o usuário consegue corrigir o fator de potência para um valor maior do que 0,92 ele pagará menos, enquanto que se o fator de potência desse consumidor permanece menor do que 0,92 ele pagará mais.

Esta regra faz com que o conhecimento das cargas ativas e reativas futuras seja necessário para controlar e equilibrar o fornecimento e a demanda das mesmas, ou seja, gerar uma harmonia entre cliente e concessionária. A concessionária em questão é a Elektro, cujas subestações foram utilizadas como exemplo de estudo.

3.2. Modelo Linear entre Potência Ativa e Reativa

Quando se deseja estudar a relação entre variáveis dependentes (variáveis respostas) e variáveis independentes (variáveis explicativas) para se testar causalidades e/ou fazer previsão da(s) variável(is) dependente(s), e, se a função envolvida for linear nos parâmetros (não necessariamente na variáveis independentes), um modelo adequado e direto é a Regressão Linear Simples (Souza & Vasconcellos, 1995; Johnson & Wichern, 1998).

No contexto em estudo, a variável dependente é a carga reativa horária e a única variável independente, a princípio, é a carga ativa horária do mesmo instante. O ideal seria que se acrescentassem mais variáveis independentes como as variáveis climáticas, por exemplo, porém estes dados não foram disponibilizados para o estudo.

Seguindo as características próprias das cargas reativa e ativa, os coeficientes do modelo Regressão Linear Simples têm significados físicos, ou seja, o coeficiente angular representa a tangente do ângulo entre as cargas ativa e reativa, que, através de uma geometria simples, calcula-se o fator de potência (cosseno do ângulo entre elas) da carga, e o coeficiente linear representa a carga reativa devido aos compensadores (fixos e/ou síncronos) instalados no sistema. Este modelo é escrito da seguinte forma (Civanlar, 1988):

$$Y_t' = \tan(\theta)X_t + u_t \quad (3.4)$$

$$Y_t = Y_t' - (c_0 + c_t) \quad (3.5)$$

substituindo (3.4) em (3.5), tem-se:

$$Y_t = \tan(\theta)X_t - (c_0 + c_t) + u_t \quad (3.6)$$

onde

Y_t : carga reativa no instante t

X_t : carga ativa no instante t

c_0 : carga reativa devido aos capacitores fixos (shunt)

c_t : carga reativa devido aos capacitores síncronos (switched)

$\tan(\theta)$: tangente do ângulo entre as cargas ativa e reativa

u_t : erro aleatório no instante t

O termo c_t pode ser expresso em termos de cada capacitor individualmente da seguinte forma:

$$c_t = \sum_{i=1}^{n_s} I_{ci} B_{t,i} \quad B_{t,i} = \{0 \text{ ou } 1\}$$

onde

I_{ci} : o índice KVAR do i -ésimo capacitor do alimentador

$B_{t,i}$: indica as posições *ON/OFF* do i -ésimo capacitor síncrono no tempo t

n_s : o número de capacitores síncronos.

Para este estudo, não se dispõem dos dados de carga reativa devido aos compensadores instalados no sistema, o que se tem são os valores médios anuais. Deste modo, não foi possível uma comparação precisa dos coeficientes estimados com os dados reais de carga.

Este modelo de regressão linear simples que segue as próprias características das cargas ativa e reativa não se mostra eficiente no que tange à previsão de carga reativa (Souza et al, 2003). O que leva a crer que a carga reativa não pode ser explicada somente através da carga ativa no mesmo instante, outras variáveis explicativas devem ser incluídas no modelo. Ou seja, como a carga reativa se trata de uma série temporal, a previsão se torna mais precisa na presença

de um modelo autorregressivo. Então, torna-se necessário uma descrição deste tipo de modelo, o qual será abordado no capítulo 4.