

2 Fundamento Teórico

Neste capítulo são apresentados os modelos de carga mais representativos e a descrição das perdas elétricas nos sistemas de distribuição.

2.1 Modelos de carga

Para apresentar os modelos de carga e melhor entendê-los, primeiro é definido o termo “carga”, que assume diferentes significados dependendo do contexto em que for usado, sendo as principais definições as seguintes [7]:

- Equipamento conectado ao sistema de potência que consome energia.
- Energia total consumida por todos os equipamentos conectados ao sistema de potência.
- Uma porção do sistema que não é representada detalhadamente, mas é tratada como se fosse um único elemento consumidor de potência, conectado a um barramento.

O modelo de carga consiste em uma expressão que relaciona a potência ativa e a potência reativa absorvida pela carga, dado valores de tensão e frequência, como é amostrada nas expressões (2.1) e (2.2) para as potências ativas e reativas respectivamente.

$$P = F(V, f) \quad (2.1)$$

$$Q = G(V, f) \quad (2.2)$$

Sendo:

P : Potência ativa demandada pela carga.

Q : Potência reativa demandada pela carga.

V : Magnitude da tensão no barramento da carga.

f : Frequência elétrica do sistema.

Muitos modelos de carga têm sido propostos na literatura, sendo eles classificados em duas categorias principais: modelos dinâmicos e modelos estáticos. Os modelos dinâmicos expressam a potência ativa e reativa em qualquer instante de tempo t e estão diretamente associados à tensão na barra da carga e a frequência elétrica (f) no intervalo de tempo considerado. Nos modelos dinâmicos, a representação das cargas é feita por equações diferenciais no domínio do tempo contínuo. Já os modelos estáticos expressam matematicamente a potência ativa e reativa consumida em determinado tempo t , e dependem da tensão na barra de carga e da frequência no sistema neste instante de tempo. É possível utilizar os modelos estáticos quando ocorrem variações pequenas ou lentas de tensão e/ou frequência, o que faz o sistema retornar rapidamente ao regime permanente [7].

Neste trabalho, o modelo de carga estático é utilizado para a representação da potência demandada nas cargas. A seguir, são apresentados os modelos estáticos mais representativos utilizados para análise estática.

2.1.1

Modelo Polinomial ZIP

O modelo polinomial ZIP é mais conhecido por caracterizar o comportamento estático das cargas e é largamente utilizado em estudos de fluxo de potência e estabilidade de tensão [7]. As expressões a seguir representam a potência ativa e reativa demandada pelas cargas em função da magnitude de tensão, estabelecendo uma relação não linear entre essas grandezas em qualquer tempo t .

$$P(t) = P^{ref} \left\{ \alpha_p \cdot \left(\frac{V(t)}{V^{ref}} \right)^2 + \beta_p \cdot \left(\frac{V(t)}{V^{ref}} \right) + \gamma_p \right\} \quad (2.3)$$

$$Q(t) = Q^{ref} \left\{ \alpha_q \cdot \left(\frac{V(t)}{V^{ref}} \right)^2 + \beta_q \cdot \left(\frac{V(t)}{V^{ref}} \right) + \gamma_q \right\} \quad (2.4)$$

Sendo:

α_p : Parcela da carga ativa modelada como impedância constante.

- β_P : Parcela da carga ativa modelada como corrente constante.
 γ_P : Parcela da carga ativa modelada como potência constante.
 α_Q : Parcela da carga reativa modelada como impedância constante.
 β_Q : Parcela da carga reativa modelada como corrente constante.
 γ_Q : Parcela da carga reativa modelada como potência constante.

O significado físico deste modelo associa o comportamento da potência que flui para a carga como uma composição de uma parcela da carga representada por um modelo de impedância constante, uma parcela do modelo corrente constante e uma parcela do modelo potência constante.

O conjunto de parâmetros da potência ativa e reativa representam percentuais na composição da carga e estão sujeitos às seguintes restrições:

$$\alpha_P + \beta_P + \gamma_P = 1 \quad (2.5)$$

$$\alpha_Q + \beta_Q + \gamma_Q = 1 \quad (2.6)$$

2.1.2 Modelo Exponencial

Este é um modelo que não tem significado físico, diferentemente do modelo polinomial. As expressões a seguir amostram a relação não linear da potência ativa e reativa demandada pela carga com a variação da magnitude da tensão que ocorre no barramento [7].

$$P = P^{ref} \left(\frac{V}{V^{ref}} \right)^{n_P} \quad (2.7)$$

$$Q = Q^{ref} \left(\frac{V}{V^{ref}} \right)^{n_Q} \quad (2.8)$$

Sendo:

- P^{ref} : Potência ativa demandada pela carga na tensão de referência.
 V^{ref} : Magnitude da tensão de referência da carga.
 Q^{ref} : Potência reativa demandada pela carga na tensão de referência.
 n_P : Fator de sensibilidade da potência ativa da carga.

n_Q : Fator de sensibilidade da potência reativa da carga.

Podem-se observar três casos particulares neste modelo:

- 1) Quando $n_P = n_Q = 0$, a carga é de tipo potência constante.
- 2) Quando $n_P = n_Q = 1$, a carga é de tipo corrente constante.
- 3) Quando $n_P = n_Q = 2$, a carga é de tipo impedância constante.

2.2

Perdas elétricas

A potência elétrica gerada nas usinas passa por redes elétricas compostas por transformadores, linhas de transmissão e distribuição, além de outros equipamentos até chegar aos consumidores finais. A diferença entre a energia gerada e a energia consumida são as perdas elétricas.

As perdas totais no sistema elétrico podem ser separadas por perdas técnicas e perdas não técnicas. As perdas técnicas são inerentes ao próprio sistema de transmissão e distribuição, ocorrendo por dissipação de potência nos componentes do sistema elétrico tais como as linhas de transmissão, linhas de distribuição, transformadores e sistemas de medição. As perdas não técnicas englobam as perdas comerciais, como furto de energia, perdas por erros administrativos, como erros no cadastro e erros de medição.

Os consumidores conectados diretamente ao sistema de transmissão ou de subtransmissão, em sua grande parte, possuem medições horárias (ou intervalos menores, de 10 ou 15 minutos) individuais. Com essas medições, é possível estimar as perdas elétricas nos diferentes segmentos, pela diferença entre a energia de entrada e de saída. Isto não inibe as fraudes por parte dos consumidores, mas facilita a identificação dos locais onde as perdas não-técnicas estão ocorrendo.

Na distribuição de energia, tanto nos alimentadores de média tensão quanto nos circuitos de baixa tensão, as medições de energia elétrica são feitas em intervalos maiores, normalmente por um período de um mês. Há também consumidores de grande porte, que possuem medições eletrônicas. Esses clientes são normalmente conectados à rede de média tensão através de transformadores particulares.

Essas diferentes formas de medições dificultam a estimação das perdas técnicas e, principalmente, das perdas não-técnicas. O elevado número de pontos de consumo, os erros de medição e de cadastro são também outros fatores que dificultam a estimação dessas perdas elétricas.

As perdas elétricas devem ser repassadas às tarifas de energia elétrica e, por isto, sua correta estimação é tão importante para distribuidoras e consumidores.

Para uma adequada estimação das perdas elétricas nos sistemas de distribuição, as empresas vêm buscando métodos eficientes para o cálculo das perdas técnicas e também a regularização de ligações clandestinas, bem como o correto cadastro dos clientes para reduzir os índices de perdas não técnicas. A grande dificuldade encontrada pelas empresas distribuidoras na obtenção das perdas elétricas é a quantidade de dados exigida por grande parte dos métodos encontrados na literatura. A dinâmica das cargas nos sistemas de distribuição dificulta ainda mais a atualização desses dados. Assim, a caracterização das cargas é um importante fator para o cálculo das perdas elétricas. Nesta dissertação, optou-se por uma alocação de carga que além de melhorar a caracterização das cargas, reduza a quantidade de dados necessários para obter as perdas técnicas nos sistemas de distribuição [8].