

ESTUDO DE PERFIS DE CONSUMO NO AUXÍLIO À DETECÇÃO DE FRAUDES EM UNIDADES CONSUMIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA.

Renato de Oliveira, Pedro da Costa Jr., André Nunes de Souza. – Sub-Área - 3.04.04.02-9 Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica – Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia de Bauru – Campus de Bauru.

As perdas de energia em um sistema de distribuição consistem na diferença entre a energia que é gerada e a energia que é cobrada do consumidor, e constituem um grave problema que concessionárias de energia elétrica vêm enfrentando em vários países, como no Brasil (Gama, 2002; Bandim, 2002). Essas perdas podem ser classificadas como perdas técnicas ou perdas comerciais.

As perdas técnicas consistem nas perdas causadas durante a transmissão de energia e são relacionadas, principalmente, ao efeito Joule causado dentro de equipamentos, tais como transformadores e linhas de transmissão, além das perdas causadas por problemas em equipamentos. Uma alternativa para a redução das perdas técnicas seria a substituição de equipamentos antigos e a reestruturação das redes de distribuição.

As perdas comerciais são definidas como a diferença entre a energia que é fornecida a um consumidor e a energia que é efetivamente paga pelo mesmo. As principais causas deste tipo de perda são os roubos de energia, os problemas apresentados nos medidores e no sistema de cobrança.

A redução das perdas comerciais pode ser obtida através da implementação de procedimentos iniciais, como a utilização de equipamentos mais eficientes, tais como medidores eletrônicos com sistema antifurto, o que pode se tornar um procedimento custoso (Misra, 1999; Singhal, 1999). Uma outra abordagem consiste na manutenção de um banco de dados atualizado dos consumidores, que permite a detecção de eventuais alterações de comportamento de consumo. Tais bancos de dados contêm informações cruciais a respeito do consumidor, como os seus dados cadastrais e dados técnicos de sua instalação. Outra estratégia consiste na melhoria da observabilidade dos consumidores, a qual pode ser implementada através da realização de inspeções nas instalações do consumidor por equipes especializadas a fim de detectar eventuais problemas. Este último procedimento, se não submetido a uma prévia análise de quais estabelecimentos que possam apresentar irregularidades (Nilsson, 1999), pode se tornar uma ação cara, pois seria necessária a visita a todos os estabelecimentos atendidos por uma concessionária.

Uma possível alternativa para melhorar a observabilidade dos consumidores consiste na instalação de um medidor de energia central, instalado próximo do transformador de distribuição e que compreenderia certo número de consumidores (Bandim, 2003). Este medidor registraria a energia total que é consumida pelos medidores interligados a ele, facilitando a identificação de medidores com problemas.

Outra forma de se averiguar possíveis fraudes em unidades consumidoras de energia é através do estudo do comportamento da curva de carga de um consumidor em questão. Um levantamento de dados para a geração de perfis de consumo característicos foi realizado por (Jardini, 2000) na cidade de São Paulo, obtendo-se curvas de carga de diferentes tipos de consumidores, tais como residenciais, comerciais e industriais. Através da análise da curva de carga de um determinado consumidor e de comparações com curvas de consumidor com características de consumo semelhantes, é possível perceber qualquer alteração no comportamento de consumo, possivelmente causada por uma fraude ou defeito no equipamento de medição.

Baseado nestas idéias, foram implementados algoritmos para realizar a confecção de um banco de dados contendo dados de consumo gerados de forma aleatória, obedecendo os limites característicos de cada tipo de consumidor. Este banco de dados fornece as informações necessárias que permitem a avaliação da técnica de identificação de medidores irregulares proposta por Bandim (2003). A partir deste banco de dados, é possível a confecção de curvas de carga, a partir da especificação de perfis de consumo característicos, dependendo das características de cada unidade consumidora, como classe de consumo, época do ano, dia da semana, etc.

A metodologia utilizada na identificação de um medidor *m* que apresenta algum tipo de irregularidade consiste em se obter um sistema de equações, do qual a resolução permite identificar qual é o medidor adulterado em um grupo com *n* consumidores.

Consideremos que, entre n medidores de energia, o medidor m esteja adulterado. Cada medidor possui uma faixa de precisão p que representa o erro característico deste medidor.

A energia total (E_t) consumida por este grupo de consumidores em uma determinada medição será a soma das medições ($E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n$) multiplicadas pelas respectivas constantes k_i , que representam o erro da medição devido à precisão do medidor ou a uma eventual fraude, ou seja:

$$E_t = \sum_{i=1}^n k_i E_i \quad (1)$$

Para a determinação das constantes k_i , é necessária a obtenção de n medições, chegando-se ao seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} E_{t1} = k_1 E_{11} + k_2 E_{21} + \dots + k_i E_{i1} + \dots + k_n E_{n1} \\ E_{t2} = k_1 E_{12} + k_2 E_{22} + \dots + k_i E_{i2} + \dots + k_n E_{n2} \\ \vdots \\ E_{tj} = k_1 E_{1j} + k_2 E_{2j} + \dots + k_i E_{ij} + \dots + k_n E_{nj} \\ \vdots \\ E_{tn} = k_1 E_{1n} + k_2 E_{2n} + \dots + k_i E_{in} + \dots + k_n E_{nn} \end{cases}$$

onde i caracteriza o medidor e j caracteriza a medição.

Matricialmente:

$$[E] * [k] = [E_T] \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} E_{11} & E_{21} & \dots & E_{i1} & \dots & E_{n1} \\ E_{12} & E_{22} & \dots & E_{i2} & \dots & E_{n2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ E_{1j} & E_{2j} & \dots & E_{ij} & \dots & E_{nj} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ E_{1n} & E_{2n} & \dots & E_{in} & \dots & E_{nn} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_j \\ \vdots \\ k_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_{t1} \\ E_{t2} \\ \vdots \\ E_{tj} \\ \vdots \\ E_{tn} \end{pmatrix}$$

A constante k_i obtida através da resolução do sistema linear acima é utilizada para se determinar se o i -ésimo medidor apresenta irregularidade, ou seja, se k_i não está no intervalo $(1-p) \leq k_i \leq (1+p)$.

A geração dos dados utilizados para a simulação do programa criado em MATLAB® (Matsomoto, 2002; Hanselman, 2003) obedeceu a critérios de comportamento de cada classe de consumidor.

Inicialmente, é criado um vetor k de números aleatórios contendo os valores das constantes de cada medidor, compreendidos entre k_{\min} e k_{\max} pré-estipulados representando o limite inferior e o limite superior de k , respectivamente. Por exemplo, um medidor com precisão $p = 2\%$, $k_{\min} = 1 - 0,02 = 0,98$ e $k_{\max} = 1 + 0,02 = 1,02$.

A simulação da presença de um medidor adulterado se faz alterando o valor da constante k_m para um valor fora do intervalo. O índice m é uma variável que gera um número inteiro aleatório

dentro do intervalo $(1 \leq m \leq n)$, garantindo que, a cada execução do programa, seja simulada a adulteração de um medidor diferente.

As medições $E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n$ são geradas com base em um valor de consumo aleatório de cada medidor e são condicionadas em uma matriz $[E]$. Os valores aleatórios de consumo estão compreendidos em um intervalo de consumo pré-estipulado, garantindo que seja obedecido um determinado padrão de consumo em cada medidor.

A matriz $[C]$, que representa o consumo real do medidor, é obtida através da multiplicação dos elementos da matriz $[E]$ pelas constantes k correspondentes, fornecendo, então, um valor C_{ij} ajustado ao erro representado por k de cada medidor.

$$C = \begin{pmatrix} E_{11} \cdot k_1 & E_{21} \cdot k_2 & \dots & E_{i1} \cdot k_i & \dots & E_{n1} \cdot k_n \\ E_{12} \cdot k_1 & E_{22} \cdot k_2 & \dots & E_{i2} \cdot k_i & \dots & E_{n2} \cdot k_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ E_{1j} \cdot k_1 & E_{2j} \cdot k_2 & \dots & E_{ij} \cdot k_i & \dots & E_{nj} \cdot k_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ E_{1n} \cdot k_1 & E_{2n} \cdot k_2 & \dots & E_{in} \cdot k_i & \dots & E_{nn} \cdot k_n \end{pmatrix}$$

onde i representa o medidor e j representa a medição.

O vetor $[E_t]$, que contém o consumo total de cada medição, é formado pelos somatórios de cada linha de $[C]$.

Com a matriz $[E]$ e o vetor $[E_t]$, utilizamos a equação (2) para o cálculo do vetor k_{calc} .

$$[E] * [k_{calc}] = [E_t] \quad \Rightarrow \quad [k_{calc}] = [E]^{-1} * [E_t]$$

Pela comparação dos vetores k_{calc} e k , pode se observar que seus elementos são iguais, atestando a funcionalidade do programa.

A confecção de curvas de carga de um consumidor é feita a partir da especificação de perfis de consumo característicos, dependendo das propriedades da unidade consumidora, tais como: classe de consumo (residencial, comercial ou industrial), dia da semana (dia útil, sábado ou domingo), estação do ano (primavera, verão, outono ou inverno), região ou bairro, etc. Cada uma destas características influencia de modo diferente no comportamento da curva característica final, que é a composição dos perfis gerados com base nas propriedades que caracterizam um determinado consumidor. A partir destas características, é possível incluir, nos padrões de consumo estabelecidos, as variações aleatórias de consumo que ocorrem de um dia para o outro.

A confecção dos perfis de consumo de um determinado consumidor é feita através da obtenção de dados de consumo. A princípio, sem estes dados disponíveis, os perfis de consumo podem ser criados com base na literatura existente. Os valores de consumo normalizados são gerados entre 0 e 1 p.u, com a finalidade de se obter uma generalização do processo. As curvas de carga são construídas para um período de 24 horas, em intervalos de tempo fixos de 15 minutos.

Após a confecção das curvas de carga, será possível escolher em manter as curvas inalteradas ou inserir distorções no comportamento de uma determinada unidade consumidora com o intuito de simular uma possível fonte de perdas comerciais, seja por fraude ou por defeito de medição.

No processo de identificação de um medidor adulterado em um grupo de medidores através da resolução de um sistema linear, é possível verificar a funcionalidade do algoritmo na determinação de qual medidor apresenta irregularidade.

Sobre este método, é conveniente citar que, supondo que existam consumidores com hábitos de consumo muito semelhantes, é possível que o sistema de equações obtido seja linearmente dependente, tornando impossível a obtenção de uma solução.

Analisando-se as curvas de carga construídas para um consumidor, os dados obtidos servem para se confirmar se é possível a identificação de fraudes pela comparação entre as curvas de carga deste consumidor com as curvas de um outro consumidor com características similares. Qualquer tipo de alteração brusca de comportamento de consumo individual pode significar a ocorrência de adulteração ou defeito no medidor.

Para superar a dificuldade de acesso a dados reais, obtidos em campo, se torna necessária a geração de dados fictícios que representem as características de cada classe de consumidor de acordo com literatura específica. A elaboração de um banco de dados deste tipo possibilita testar metodologias de tratamento estatístico particularmente concebidas para localizar pontos candidatos à fraude ou defeito de medição.

A metodologia proposta neste trabalho consiste em uma primeira etapa na elaboração de algoritmos especialistas na identificação de fraudes em medidores de energia elétrica.

Referências Bibliográficas

- BANDIM, C. J., ALVES JR., J.E.R., PINTO JR., A.V., SOUZA, F.C., LOUREIRO, M.R.B., MAGALHÃES, C.A., GALVEZ-DURAND, F.. Identification of energy theft and tampered meters using a central observer meter: a mathematical approach. TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE AND EXPOSITION, 2003 IEEE PES, Vol. 1, pág. 163-168, Set 2003.
- BANDIM, C.J., PINTO JUNIOR, A.V., ALVARENGA, L.M., LOUREIRO, M.R.B., SANTOS, J.C.R., GALVEZ-DURAND, F., - Loss Evaluation in Distribution Systems. CONGRESSO INTERNACIONAL DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA – CIDEL, 2002, Argentina.
- GAMA, S.Z., et alli - Uma Nova Abordagem Tecnológica de Combate às Perdas Comerciais. - XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2002, 2002, Brazil.
- HANSELMAN, D., LITTEFIELD, B., MATLAB 6: Curso Completo. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2003. 676 p.
- JARDINI, J. A., Daily Load Profiles for Residential, Commercial and Industrial Low Voltage Consumers. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, nº 1, Vol. 15, Jan 2000.
- MATSOMOTO, E. Y., MATLAB 6.5: Fundamentos de Programação. São Paulo: Editora Erica, 2002. 342 p.
- MISRA, R.B. PATRA, S, Tamper detection using neuro-fuzzy logic [static energy meters]. METERING AND TARIFFS FOR ENERGY SUPPLY, 1999. NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON (Conf. Publ. No. 462), Ago 1999 , Birmingham , UK.
- NILSSON, H., Random sampling of and a scheme for reporting of malfunctions in electricity meters in Sweden. METERING AND TARIFFS FOR ENERGY SUPPLY, 1999. NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON (Conf. Publ. No. 462), Ago 1999, Birmingham, UK.
- SINGHAL, S., The role of metering in revenue protection. METERING AND TARIFFS FOR ENERGY SUPPLY, 1999. NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, (Conf. Publ. No. 462), Ago 1999 ,Birmingham , UK.