



XIV SNTPEE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

FL/GMA/20
BELÉM-PA/BRASIL/1997

GRUPO XV
ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DA MANUTENÇÃO (GMA)

ESCOLHA DE ESQUEMA DE MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA CHESF BASEADO EM TEORIA DA DECISÃO

Adiel Teixeira de Almeida
UFPE

Iony Patriota de Siqueira
CHESF

RESUMO

A manutenção de sistemas de proteção, no setor elétrico, sempre foi baseada em dados empíricos, experiências individuais, recomendações de fabricantes e intercâmbio técnico entre empresas. Este artigo propõe a utilização da Teoria da Decisão no planejamento das intervenções de caráter corretivo, quando da ocorrência de defeitos ou indícios de falha em sistemas de proteção. Em especial, investiga-se sua utilização quando da incerteza do decisor quanto ao estado da proteção e a necessidade de intervir, ou quanto ao tempo máximo de espera antes de uma intervenção, sujeita aos riscos de uma recusa de atuação na ocorrência de um defeito.

PALAVRAS-CHAVE

Modelos Probabilísticos, Sistemas de Proteção, Manutenção, Teoria da Decisão

1.0 INTRODUÇÃO

O artigo apresenta resultados de um estudo desenvolvido sobre o processo decisório na manutenção de cadeias de proteção de 500 KV da CHESF, baseado em Teoria da Decisão. A estrutura básica da metodologia é apresentada, assim como os resultados de um estudo de caso. Portanto, segue-se a uma visão conceitual de Teoria da Decisão, uma apresentação com resultados numéricos da análise desenvolvida na manutenção do sistema de proteção.

Desta forma, resultados de um estudo específico são apresentados, envolvendo a construção de um modelo decisório para esquemas de manutenção na proteção. A modelação de preferências dos agentes decisores e uso de conhecimento a priori de engenheiros especialistas

em proteção da CHESF permite parametrizar o modelo de decisão.

Observa-se que a área de manutenção tem passado por uma evolução grande em termos de métodos aplicáveis ao seu processo de gerenciamento e decisão. Neste processo de evolução, o ambiente constituído por organizações no Brasil começa a dar passos cada vez mais concretos. Dentre os motivos para estes passos destacam-se a escassez de recursos e a relativamente recente disseminação acelerada de técnicas e métodos de Gestão de Qualidade.

A aplicação foi desenvolvida sobre um problema de estabelecimento de esquema de manutenção, envolvendo infra-estrutura de suporte em dias úteis, fins de semana e feriados. O problema básico consiste em decidir pelo acionamento ou não de equipes fora do horário normal de trabalho, bem como na manutenção de equipes de sobreaviso. Na área de proteção de 500 KV este problema apresenta aspectos de riscos significativos, devido ao não suprimento de energia no caso de uma falha que indisponha o sistema como um todo.

Os atributos relacionados aos objetivos incluem: o custo adicional da manutenção quando atua em horário extra; cancelamento de outras programações para acionamento imediato; possibilidade de indisponibilidade por falha em equipamento redundante, no caso de esperar, para acionar a equipe depois.

Dentro de uma visão de manutenção centrada na confiabilidade, a confiabilidade dos equipamentos (1,2) é considerada, através dos valores de taxa de falhas do sistema, que é verificado ter um modelo de falhas exponencial. A mantabilidade (3) da estrutura de manutenção é também considerada na análise através do modelo probabilístico para os tempos para reparo.

Assim, o estado de Natureza, corresponde a condição em que o sistema se encontra com respeito a Confiabilidade e Manutenibilidade. O que “se sabe” sobre o estado da natureza, ou seja, o conhecimento que os engenheiros especialistas em proteção têm sobre o comportamento dos equipamentos e da manutenção pode ser expresso na forma de distribuição de probabilidade a priori. O conjunto dos possíveis estados da natureza deve levar em consideração a confiabilidade dos equipamento no período de tempo previsto para liberação da equipe, e, a manutenibilidade, ou seja, a probabilidade de que a equipe efetue o serviço num determinado período de tempo.

Os objetivos neste nível de avaliação são basicamente: um aumento do índice de disponibilidade do subsistema e uma redução nos custos operacionais envolvidos. Duas variáveis objetivo são consideradas: o tempo de interrupção no sistema e os custos associados ao esquema de manutenção a ser escolhido para o sistema de proteção.

Estes atributos são agregados e expressos na forma de uma função utilidade multiatributo, que é maximizada na escolha do curso de ação a ser adotada pela equipe de estudos no sistema. Assim, o trabalho desenvolvido inclui a modelação de preferências quanto às variáveis objetivo junto a decisores na CHESF. O problema é resolvido tomando por base a estrutura de preferências dos decisores.

2.0 TEORIA DA DECISÃO

Na ótica desta metodologia (4), (5), (6) um problema da decisão pode ser visto como um jogo (θ, a, u) , onde:

- A natureza escolhe um estado θ do conjunto de possíveis estado da natureza;
- O decisor tomando proveito do que sabe sobre θ , escolhe uma ação “a” dentro do conjunto de ações;
- Em função da escolha do decisor e da natureza tem-se valor de utilidade $u(\theta, a)$; esta utilidade é função das preferências que o decisor tem sobre um conjunto de possíveis consequências, que poderão advir da escolha (θ, a) .

A preocupação do decisor é escolher uma ação que maximize a utilidade $u(\theta, a)$. No caso, há uma incerteza

sobre o estado da natureza. Assim, a determinação do critério para escolha da ação será função do conhecimento que o decisor tem da incerteza. Havendo um conhecimento probabilístico da incerteza, ou seja, dispondo de uma distribuição de probabilidade a priori sobre o estado da natureza, denotada por $\pi(\theta)$, então pode-se aplicar o critério de BAYES, minimizando a perda esperada.

A informação a priori é obtida com base na experiência acumulada do decisor, ou informações adquiridas ao longo de anos de experiência por um especialista no assunto, e a qual pode ser tratada quantitativamente, quando expressa por meio de uma distribuição de probabilidade a priori $\pi(\theta)$.

A função utilidade mede numa escala cardinal as preferências que o decisor tem. O conceito de utilidade é derivado a partir de determinadas hipóteses do comportamento e aplicável ao caso de escolha diante do risco. Estas hipóteses são formuladas através de axiomas de preferências, os quais podem ser vistos nas referências (4) e (5). Estas apresentam os axiomas das preferências de von Neuman e Morgenstern.

3.0 - MODELO DE DECISÃO PARA MANUTENÇÃO

O desenvolvimento do modelo de decisão (7) consiste numa estruturação para tratamento de forma sistematizada de uma certa classe de problemas na área de Manutenção e Confiabilidade. Esta classe de problemas envolve sistemas complexos de um estado, conforme a classificação na abordagem matemática. Podem ser tratados problemas tais como: escolha de estratégias de manutenção, procedimentos de manutenção, estrutura ótima de manutenção, e contratos de manutenção. O modelo pode ser adaptado para outras classes de problemas.

A estruturação do modelo de decisão consiste na formulação prévia de aspectos básicos para a classe de problemas em questão. A implementação segue um procedimento estabelecido.

O critério de otimização é o Bayesiano com o uso do conhecimento a priori dos especialistas, onde procura maximizar a função utilidade estabelecida. Esta função é constituída com base nas preferências que o decisor tem sobre as possíveis conseqüências no sistema.

O modelo executa a otimização indicando a melhor ação após a etapa de entrada de dados e especificação de condições que caracterizam o problema. Inclui-se um estudo de análise de sensibilidade. Os dados de entrada são alterados em torno de mais ou menos 30% de modo a verificar o impacto nos resultados obtidos.

4.0 DESCRIÇÃO DO ESQUEMA DE PROTEÇÃO

Os sistemas objeto deste estudo são utilizados na proteção das linhas de transmissão em 500kV que escoam a maior parte da energia gerada nos complexos de Paulo Afonso, Xingó e Sobradinho, no Rio São Francisco. Em função dos elevados níveis de curto-circuito, e interrupção da grandes blocos de energia, a especificação exigiu tempos extremamente reduzidos de interrupção, inferiores a 20ms, aliados a uma alta confiabilidade, durante a ocorrência de defeitos, visando garantir a coordenação com proteções adjacentes.

A nível de projeto, a adoção de um sistema estático, baseado no princípio de comparação direcional, com unidades de distância trifásicas e sobrecorrente monopolares, garantiu o atendimento do requisito de tempo, com tempos de atuação da ordem de um ciclo na frequência de 60Hz. A figura 1 ilustra a configuração típica deste sistema.

O segundo requisito seria atendido tanto por decisões de projeto quanto de manutenção. No projeto, optou-se por sistemas duplex, com a duplicação de todos os sistemas vitais, desde os sistemas auxiliares, baterias, circuitos de força e proteção até os circuitos de disparo dos disjuntores e equipamentos de teleproteção. O sistema inclui também esquemas de proteção de retaguarda e contra falha de disjuntores, conforme ilustrado na figura 1.

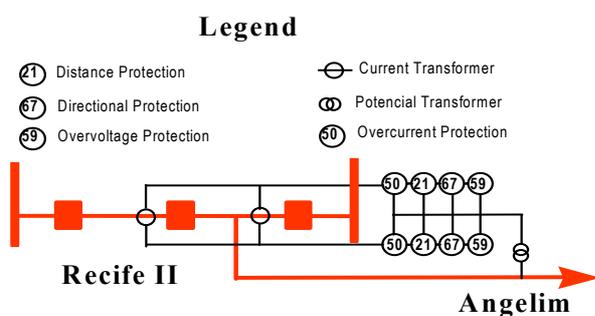


Figura 1

A nível de manutenção, restariam as decisões quanto à política e esquemas de atendimento quando da ocorrência de defeitos nos próprios sistemas de proteção.

Para efeito deste estudo de caso será considerado o problema no esquema duplex, quando ocorre uma falha em um dos sistemas não afetando diretamente o atendimento do usuário, apenas reduzindo a confiabilidade deste serviço.

A questão está relacionada ao tempo de atendimento neste caso específico. Deve-se atuar de imediato a qualquer custo? Pode-se esperar algum tempo visando uma ocasião com custo reduzido? Esta espera pode ser interessante nas seguintes situações: feriados, finais de semana, compartilhar com outras ações, tais como preventiva ou outra corretiva, etc.

5.0 APLICAÇÃO DO MODELO DE DECISÃO NA ESCOLHA DE ESQUEMA DE MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE PROTEÇÃO

A aplicação foi desenvolvida sobre um problema de estabelecimento de esquema de manutenção, envolvendo infraestrutura de suporte em dias úteis, fins de semana e feriados. O problema básico consiste em decidir pelo acionamento ou não de equipes fora do horário normal de trabalho. Do conjunto de consequências, considera-se: o custo adicional da manutenção quando atua em horário extra; cancelamento de outras programações para acionamento imediato; possibilidade de indisponibilidade por falha em equipamento redundante, no caso de esperar, para acionar a equipe depois.

Neste quadro são consideradas cinco ações básicas:

- a1 - corresponde a atuar de imediato; o custo é o mais elevado; o tempo de atraso após a ocorrência de um problema é $T_a = 0$.
- a2 - corresponde a atuar com um atraso médio de 9 horas; seria o caso de aguardar para agir no horário comercial, diante de uma ocorrência a noite; tem o segundo maior custo; $T_a = 9$ h.

- a3 - corresponde a uma espera média de 24 horas; tem um custo menor; $T_a = 24$ h.
- a4 - corresponde a atuar apenas no horário comercial, ou seja não se atua a noite nem em final de semana; o custo fixo adicional é aproximadamente nulo; $T_a = 48$ h.
- a5 - corresponde a esperar e compartilhar a ação de manutenção corretiva com alguma outra atividade, tendo o menor custo; $T_a = 360$ h.

Dentro de uma visão de manutenção centrada na confiabilidade, a confiabilidade dos equipamentos é considerada juntamente com a manutenibilidade da estrutura de manutenção.

Assim, o estado de Natureza baseado no conhecimento que os especialistas têm sobre o comportamento dos equipamentos e da manutenção é expresso na forma de distribuição de probabilidade a priori. Neste caso, a função confiabilidade e a manutenibilidade foram consideradas como distribuição exponencial.

Um procedimento de elicitación de probabilidade a priori é aplicado visando obter uma distribuição de probabilidade a priori para θ .

Assim tem-se uma distribuição a priori para a taxa de falhas dos equipamentos, conforme segue:

$$\pi(\lambda) = \frac{1,68}{10^{-5}} \left[\frac{\lambda}{10^{-5}} \right]^{0,68} e^{-\left(\frac{\lambda}{10^{-5}}\right) 1,68}$$

A distribuição de probabilidade a priori para o MTTR é dada a seguir, considerando $u = 1/\text{MTTR}$:

$$\pi(u) = \frac{2,57}{0,167} \left[\frac{u}{0,167} \right]^{1,57} e^{-\left(\frac{u}{0,167}\right) 2,57}$$

As variáveis objetivo consideradas são: o tempo de interrupção no sistema (TI) e os custos (C) associados ao esquema de manutenção a ser escolhido. O trabalho desenvolvido inclui a modelação de preferências

quanto às variáveis objetivo (TI e C) junto a decisores na CHESF. Assim, no contexto analisado foi considerada a função utilidade exponencial para TI e para C, conforme segue:

$$U(\text{TI}) = e^{-0,8\text{TI}}$$

$$U(\text{C}) = e^{-0,1\text{C}}$$

A título de ilustração do efeito da função utilidade sobre os valores de TI, a figura 2 apresenta a curva com os valores de utilidade para TI em função do valor de TI.

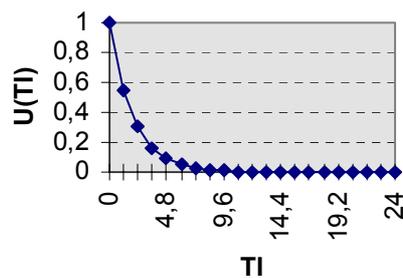


FIGURA 2 - FUNÇÃO U(TI)

Na agregação dos dois atributos foi considerada a função utilidade aditiva:

$$U(\text{TI}, \text{C}) = 0,7U(\text{TI}) + 0,3U(\text{C})$$

Para encontrar a solução a função utilidade apresentada é maximizada na escolha do curso de ação a ser adotada pela equipe de estudos no sistema.

Buscando a maximização da função utilidade esperada para cada uma das 4 ações analisadas, encontra-se a ação a4 com máxima utilidade, conforme síntese a seguir:

- utilidade esperada para a1 = 0,668
- utilidade esperada para a2 = 0,672
- utilidade esperada para a3 = 0,72

- utilidade esperada para $a_4 = 0,939$
- utilidade esperada para $a_5 = 0,929$

Estes resultados são analisados e comprovados através de análise de sensibilidade. Isto é, os cálculos mostram que o resultado indicando a_4 permanece o mesmo para algumas variações na entrada, confirmando a robustez do procedimento.

A Figura 2 apresenta a função distribuição acumulada a priori para u , dado tres valores de parâmetro de escala (no caso acima corresponde a 0,167). A primeira curva é para o valor nominal menos 30%; a segunda é para o valor nominal; a terceira é o valor nominal mais 30%.

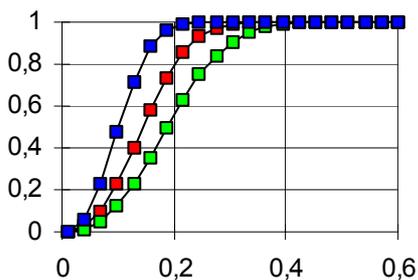


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO $\pi(u)$

6.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O modelo de decisão permite abordar diretamente um problema, incorporando um tratamento quantitativo para os objetivos na forma de função utilidade. O decisor pode interagir e fazer um estudo de sensibilidade além de simular cenários diferentes. Isto permite um maior grau de segurança na tomada de decisões.

O modelo de decisão pode ser ampliado para tratar outras classes de problemas com ajustes específicos dentro do quadro geral já adotado.

Estes estudos são decorrência de interações entre a CHESF e a UFPE, numa linha de pesquisa que vem sendo desenvolvida conjuntamente. Pretende-se, na

continuidade destes estudos, investigar também o planejamento da manutenção preventiva, nas quais o decisor não conhece com certeza a condição do sistema de proteção. Defeitos ocultos e não anunciados, típicos de sistemas que operam em stand-by, podem ocorrer em equipamentos de proteção, sem conhecimento do operador da instalação. Isto pode indisponibilizar uma proteção, por longos períodos de tempo, pondo em risco a segurança e confiabilidade de toda uma instalação. O decisor, responsável pelo planejamento da manutenção, deverá decidir quando executar a manutenção, diante da incerteza sobre seu estado real. Este tópico será o foco da próxima etapa desta pesquisa.

7.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) BARLOW, R. E.; PROSCHAN, F.; (1967) Mathematical Theory of Reliability. John Willey & Sons, Inc.
- (2) O'CONNOR, P. D. T.; (1985) Practical Reliability Engineering. John Wiley & Sons, pp.398p. ISBN: 0-471-90551-8.
- (3) GOLDMAN, A. S.; SLATTERY, T. B.; (1977) Maintainability: A Major Element of System Effectiveness. Robert E. Krieger Publishing Company, ISBN: 0-88275-292-8.
- (4) KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.; (1976) Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs. John Wiley & Sons
- (5) RAIFFA, H.; (1970) Decision Analysis. Addison-Wesley.
- (6) SMITH, J. Q.; (1988) Decision Analysis - A Bayesian Approach. Chapman and Hall.
- (7) ALMEIDA, A. T de, (1995), Modelos de Decisão em Problemas de Manutenção - Aplicação de Teoria da Decisão. XIV SNPTEE (1995), Camboriú, SC
- (8) ALMEIDA, A. T. de; BOHORIS, G. A.; Decision Models in Maintenance Management. In: Martin, H.; "New Developments in Maintenance", Moret Ernst & Young Management, 1995 pp.215-225.

10 - DADOS BIOGRÁFICOS

Adiel Teixeira de Almeida;

Nasceu em Garanhuns - PE, em 1956; Graduiu-se em engenharia elétrica, Universidade de Pernambuco, 1980; Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), 1985; Doutorado, Universidade de Birmingham, 1995; Engenheiro da CHESF de 1981 até junho de 1996, Desde julho/1996 professor da UFPE na área de Engenharia de Produção; Atua na área de Sistemas de Informação e Decisão, tendo vários artigos publicados no Brasil e no exterior.

Iony Patriota de Siqueira

Nasceu em São José do Egito - PE, em 1951. Graduiu-se em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco, em 1975, com pós-graduação em Informática, Universidade Católica de Pernambuco, em 1981. Atualmente no mestrado na área de Engenharia de produção na UFPE. Engenheiro da CHESF desde 1973, tem atuado nas áreas de execução e planejamento de manutenção de sistemas elétricos, com vários trabalhos publicados nesta área.