

INTRODUÇÃO DO CRITÉRIO DE SEGURANÇA N-K NO PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

Aluno: Alexandre Moreira da Silva
Orientador: Alexandre Street de Aguiar

Introdução

No intuito de se obter um planejamento da operação de sistemas elétricos robusto à possibilidade de falhas (contingências), diferentes abordagens e modelos foram propostos de maneira a determinar um despacho das usinas, flexível o suficiente, capaz de garantir que o sistema "sobreviva" (a demanda seja atendida) mesmo que um ou dois componentes falhem. Tais critérios são conhecidos como critérios de segurança n-1 e n-2 e são adotados em diversos sistemas elétricos do mundo como uma maneira eficiente e prática de mitigar o corte de carga na ocorrência de contingências. Todavia, esses critérios passaram a ser questionados devido a recentes apagões (cortes de carga) acarretados por falhas simultâneas de diferentes componentes do sistema. Tais acontecimentos impulsionam a pesquisa de critérios de segurança mais rigorosos como, por exemplo, o n-K, onde K pode ser superior a dois.

A complexidade computacional e o tamanho (número de restrições e variáveis) dos modelos de otimização utilizados para considerar o critério n-K em problemas de planejamento da operação é bastante elevada e extremamente dependente do parâmetro K. Para $K = 2$, tais modelos ainda são factíveis de serem resolvidos ao considerarmos sistemas realistas, com poucas centenas de centrais geradoras. Contudo, para $K > 2$, esses modelos tornam-se computacionalmente intratáveis devido a um crescimento exponencial do número de restrições e variáveis do modelo de otimização.

Em [1] a técnica de otimização robusta (ver [2]) foi utilizada para reformular o problema em questão de forma a proporcionar um modelo de programação matemática capaz de ser resolvido por *solvers* disponíveis no mercado. Entretanto, nesses trabalhos, somente foram contempladas falhas de geradores, desconsiderando a presença da rede de transmissão. A consideração da rede de transmissão no problema de planejamento da operação com segurança, bem como a possibilidade de contingência em suas linhas de transmissão, inviabiliza a abordagem empregada nesses trabalhos e, portanto, esse se trata de um problema ainda em aberto.

Objetivos

O objetivo deste trabalho é apresentar uma abordagem inovadora e computacionalmente eficiente capaz de considerar o critério de segurança n-K, para qualquer K, no problema de planejamento da operação de curto prazo considerando a rede de transmissão.

Metodologia

No problema de planejamento de despacho de curto prazo, a segurança foi incorporada através da definição de diferentes tipos de reservas, com as quais podemos implementar ações corretivas para contornar até duas contingências simultaneamente (critério n-2). A consideração desses critérios introduz uma grande complexidade computacional nos modelos

de despacho devido à necessidade de se incorporar todas as contingências contempladas (todas as combinações de falhas de dois elementos que podem ocorrer em um conjunto de n componentes) como restrições. Esse fato torna inviável, computacionalmente, considerar critérios mais rígidos de segurança, como por exemplo, um critério $n-3$ ou $n-4$ em sistemas de médio e grande porte.

Utilizando uma generalização da técnica de Otimização Robusta, podemos evitar a necessidade de considerar todas as contingências e considerar apenas a pior delas. Assim sendo, podemos pensar em um modelo tri-nível de otimização [3]. Nesta formulação, modelamos o processo de ação e reação em que se define a programação da potência e reserva das usinas, a escolha da pior contingência e a subsequente reação do operador para contorná-la com as reservas programadas. Assim, cada nível é caracterizado da seguinte maneira:

1. no primeiro nível, o operador do sistema planeja o *scheduling* das usinas, suas respectivas produções em estado normal e reservas para possíveis contingências de maneira a minimizar o custo desse planejamento;
2. no segundo, o modelo encontra a contingência mais severa, com até K elementos (linhas e geradores) fora de serviço. Essa busca é feita de maneira a maximizar o corte de carga da melhor reação que o operador pode exercer frente a essa contingência;
3. por fim, no terceiro nível, o operador busca minimizar o corte de carga, através de um redespacho das usinas dentro dos limites de potência e reserva programados no primeiro nível, para a contingência mais severa proposta pelo segundo nível.

O modelo tri-nível de otimização é resolvido por uma técnica de Decomposição de Benders [3], que permite resolver iterativamente o primeiro e o segundo nível de maneira separada. Já o terceiro nível é diretamente acoplado no segundo através de suas condições de otimalidade. Essa abordagem permitiu resolver o problema de três níveis de maneira eficiente e prática.

Conclusões

Os resultados computacionais oriundos desse estudo corroboram a superioridade de formulações multi-níveis frente à formulação convencional, em que as contingências são enumeradas de maneira explícita. Para um sistema de teste classificado pelo IEEE (RTS-24 bus) com $K > 2$, o modelo convencional não foi capaz de ser resolvido. Já o modelo proposto resolveu o problema em tempo computacional satisfatório (inferior a 2 horas) em um computador Pentium Intel i7, processador de 3.2Ghz e 16 GB RAM. Esses resultados serão submetidos para a revista IEEE Transactions on Power Systems e foram realizados em uma cooperação acadêmica entre a PUC-Rio e a Universidad Castilla-La Mancha (UCLM), coordenada pelos professores Alexandre Street (DEE / PUC-Rio) e José Manuel Arroyo (UCLM).

Referências

- 1 – STREET, A.; OLIVEIRA, F.; ARROYO, J. M.; , Contingency-Constrained Unit Commitment With $n-K$ Security Criterion: A Robust Optimization Approach, *Power Systems, IEEE Transactions on* , vol.PP, no.99, pp.1-10, doi:10.1109/TPWRS.2010.2087367.
- 2 – BERTSIMAS, D. e SIM, M. The price of robustness. *Operations Research*, vol. 52, no. 1, pp. 35-53, jan/fev 2004.
- 3 – CONEJO, A. J.; CASTILLO, E.; MÍNGUEZ, R.; e BERTRAND, R.G. **Decomposition Techniques in Mathematical Programming**. New York, Ed. Springer, 2006. ISBN 3-540-27685-8.