



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



O USO DO VDCOL COMO ESTRATÉGIA DE CONTROLE EM SISTEMAS HVDC

Charles Schardong

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na URI São Luiz Gonzaga.
scharschardong@hotmail.com

Diego Dos Santos Amaral

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na URI São Luiz Gonzaga.
ds.amaral@outlook.com

Rodrigo Diogo Dahmer

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na URI São Luiz Gonzaga.
pfdahmer@gmail.com

Rosiel Camargo Souza

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na URI São Luiz Gonzaga.
rosiel.camargo@bol.com.br

Willian Cantini Scheeren

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na URI São Luiz Gonzaga.
willianheeren@hotmail.com

Ruben Eduardo Panta Romero

Professor do curso de Engenharia Elétrica na URI São Luiz Gonzaga e URI Santo Ângelo.
rubenprom@yahoo.com.br

Resumo. De forma geral, um sistema de transmissão de Corrente Contínua em Alta Tensão (HVDC) apresenta um modo de operação em que o controle de potência é feito de forma constante. Dessa maneira, existem diversos métodos de controle para esses sistemas, sendo que todos apresentam como objetivo final manter a estabilidade durante a operação, assim como oferecer um nível aceitável de confiabilidade, garantindo segurança ao sistema ao qual está conectado. O presente artigo aborda as principais características relacionadas ao controle para sistemas de transmissão em HVDC, dando ênfase ao uso do Limitador da Corrente de Ordem Dependente da Tensão (VDCOL), destacando as suas principais características de operação e seu comportamento em regime transitório e permanente.

Palavras-chave: Estabilidade. HVDC. VDCOL. Sistemas de Controle.

1. INTRODUÇÃO

Buscar alternativas que garantam estabilidade a um Sistema Elétrico de Potência (SEP), no sentido de manter seus ativos operando com sincronia em condições adversas, como na ocorrência de distúrbios, tem sido um desafio constante no mundo da engenharia de controle, mobilizando pesquisadores e especialistas ao redor do mundo. Pode-se dividir o problema de estabilidade de um sistema elétrico em três problemas distintos, conforme é proposto por Vinocur *et al.*, (1979) [1]. Na estabilidade transitória, podemos estudar o comportamento dinâmico do sistema frente a perturbações significativas, como no caso de curto-circuito, perdas de geração e rejeições de cargas. Na estabilidade de estado permanente, também chamada de estática ou condicional, é analisado o comportamento dinâmico do sistema quando este é exposto às pequenas perturbações, como pequenas variações de carga ou geração, sem que haja

a atuação de reguladores de tensão. Por fim, temos a estabilidade dinâmica, onde são estudadas as pequenas perturbações com a atuação instantânea de reguladores de tensão e demais controladores.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Sistemas HVDC

Os sistemas de transmissão em HVDC estão em uso há bastante tempo, sendo que a sua utilização oferece alternativas para elevar a estabilidade do sistema elétrico de potência, bem como flexibilizar a operação deste.

A transmissão de energia elétrica em corrente alternada (AC) é a principal forma de transmissão em nosso meio, gerando menos perdas na rede quando as cargas se encontram próximas da geração. Porém quando a transmissão tem que atender longas distâncias, como parques eólicos *offshore*, o sistema de corrente contínua (DC) é considerado um tipo de transmissão mais viável, pelo motivo de acarretar menos custos. Em sistemas *onshore*, considera-se uma solução se tratando de problemas relacionados ao meio ambiente ou mesmo a capacidade elevada de controle, esses que se tornam o ponto principal na escolha de um sistema de transmissão.

De acordo com Kim *et al.* (2009) [2], é desejável que um sistema de controle HVDC apresente os seguintes requisitos:

- Capacidade para determinar o ângulo de disparo usando a tensão de comutação com o mínimo consumo de potência reativa pelo conversor, sem incorrer em falhas de comutação;
- Capacidade de prever o tempo ótimo de disparo com base na tensão real do sistema e na corrente CC sem provocar falhas de comutação;
- Esquema de controle de corrente com uma margem suficiente de velocidade e estabilidade para lidar com mudanças no valor de referência ou perturbações no sistema.

Nesse sentido, o Limitador da Corrente de Ordem Dependente da Tensão

(VDCOL) pode ser definido como um tipo de controle onde se busca, através da alteração da corrente de ordem (*Iordem*) no momento em que ocorre uma redução da tensão DC, evitar que ocorram colapsos em tensão alternada, durante o processo de recomposição do sistema após sofrer uma falta.

2.2 O problema da instabilidade no SEP

Durante a década de 90, teve início o desmembramento das concessionárias em companhias de geração, transmissão e distribuição. Sendo assim, a energia percorria rotas que não tinham sido consideradas na época do planejamento da rede, ocasionando um congestionamento do fluxo de energia ao longo das linhas de distribuição. Dessa forma, o mercado de energia elétrica começou a se expandir de modo que a propagação de perturbações locais na rede o acompanhava. As perturbações foram surgindo devido à interconexão entre grandes sistemas, o problema de estabilidade passou a exibir características oscilatórias que vieram a ser um dos principais obstáculos à operação estável de sistemas interconectados, conforme evidenciam Schleif & White, [3]; Ellis *et. al.*, [4]; Hanson *et. al.* [5]; Schleif, *et. al.* [6].

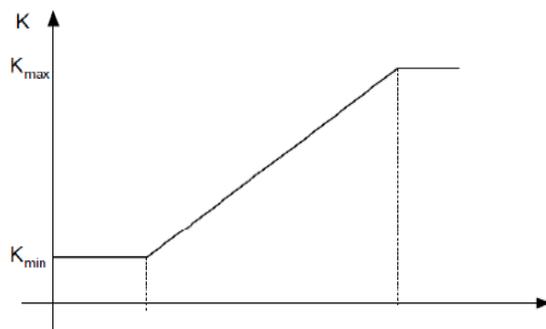
De tal forma Custódio (2009) [7], afirma que os problemas graves para os sistemas interligados podem ocorrer se as oscilações não forem devidamente amortecidas, tais como desligamentos parciais ou mesmo totais, visto que um processo de desligamento em cascata pode ocorrer. Sob o ponto de vista destes impactos negativos, os dispositivos FACTS e o elo HVDC podem ser capazes de contornar e solucionar alguns destes problemas nos sistemas elétricos de potência.

2.3 O uso do VDCOL

De acordo com Fernandes (2005) [8], o VDCOL é uma tabela ajustada para uma região de operação considerada anormal, em

que, a entrada da tabela é o valor de tensão V_{dor} e/ou V_{doi} dos conversores. Dessa forma, é atribuído um fator multiplicador K_r ou K_i para o retificador e o inversor, de forma que este fator seja aplicado à corrente de ordem advinda do controle dos conversores, obtendo como resultado uma nova ordem de corrente, que virá a ser controlada pelo sistema de Controle de Corrente Constante (CCC). Podemos observar na Figura 1 como se dá o funcionamento do VDCOL.

Figura 1 - Funcionamento do VDCOL



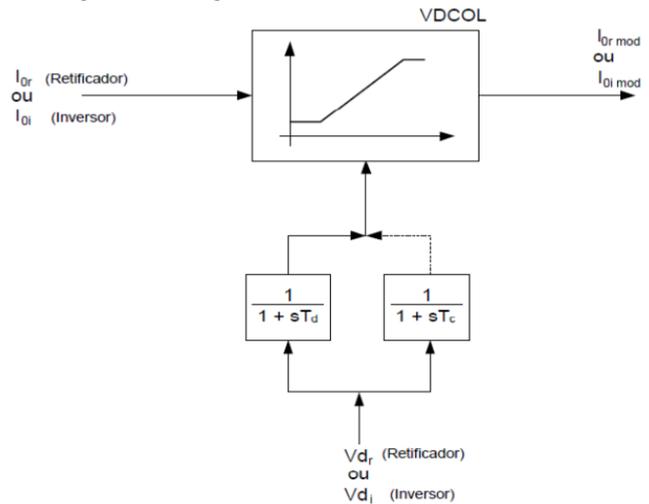
Fonte: Fernandes, (2005).

Existem casos em que se é necessário um maior controle no sentido de limitar a atuação do VDCOL, como no caso de decréscimo ou elevação gradual na tensão média. Conforme a Ref. [8], podem ocasionar duas situações, em que a primeira consiste na ocorrência de alguma condição anormal do sistema, fazendo com que a tensão decresça. Sendo assim, é necessária uma atuação rápida do limitador a fim de evitar maiores problemas para o sistema HVDC. Esta resposta pode ser obtida considerando-se uma constante de tempo T_d pequena.

No caso em que a tensão DC se apresenta crescente, teremos uma indicação de que o sistema está em processo de recuperação de uma falta. Portanto, será necessário limitar a taxa de crescimento da corrente, objetivando evitar possíveis falhas de comutação no inversor. Para que esta aplicação se faça viável, um atraso adicional no circuito de medição da tensão deve ser

introduzido, cuja constante de tempo T_c é ajustada para um valor maior que a constante de tempo T_d . A entrada para o bloco de controle do VDCOL é dada por $G(s)(1+sTVDCOL)$. Em que $TVDCOL$ pode assumir valores diferentes quando a corrente de ordem estiver aumentando (T_c) ou diminuindo (T_d).

Figura 2 – Diagrama de blocos do VDCOL



Fonte: Fernandes, (2005).

O avanço na área de eletrônica de alta potência, os FACTS e os elos HVDC podem proporcionar um rápido controle nos fluxos de potência na rede de transmissão, mantendo-os em rotas estabelecidas, aumentando a capacidade de transmissão e melhorar a estabilidade, conforme Hingorani & Gyugyi [9] e Song & Johns [10].

O problema de estabilidade sempre foi fortemente influenciado pelo comprimento dos sistemas de transmissão, cujo crescimento levou a problemas de instabilidade, como resultado da baixa rigidez elétrica entre geradores e a rede e traduzidas por um crescimento contínuo dos ângulos de carga dos geradores, consoante com Ref. [7]. Paralelo a isso, os sistemas elétricos de potência ao utilizar as tecnologias de HVDC oferecem uma poderosa alternativa não somente para aumentar a estabilidade do sistema de potência, redução das perturbações como também melhorar a flexibilidade de operação do sistema de transmissão.

Com o desenvolvimento econômico acelerado, o início da década de 50 foi marcado pela interconexão dos sistemas independentes. Essa medida tornou-se atrativa financeiramente, visto que tornava a geração e a transmissão de energia elétrica mais confiável e com menos perdas. Contudo, devido à alta complexidade estavam sendo surgidos novos problemas de estabilidade.

3. REFERÊNCIAS

[1] VINOCUR, B. E; QUEIRÓZ, J. F. **Estabilidade Paramétrica por Análise da Sensibilidade de Autovalores. V Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica.** Recife, 1979, p12.

[2] KIM, C.-K. et al. **HVDC transmission: power conversion applications in power systems.** [S.l.]. John Wiley & Sons, 2009.

[3] F. R. Schleif and J. H. White, “**Damping for northwest-southwest tieline oscillations an analogic study**”, *IEEE Trans.*, vol. PAS 85, n.12, pp. 1239-1247, 1966.

[4] H. M. Ellis, J. E. Hardy, A. L. Blythe and J. W. Skooglund, “**Dynamic stability of the peace river transmission system**”, *IEEE Trans*; v.PAS-85, pp.586-600, 1966.

[5] O. W. Hanson, C. J. Goodwing and P. L. Dandeno; “**Influence of excitation and speed control parameters in Stabilizing intersystem oscillations**”, *IEEE Trans.*, vol. PAS-87, pp. 1306-1313, 1968.

[6] F. R. Schleif, H. D. Hunkins, G. E. Martin and E. E. Hattan; “**Excitation control to improve powerline stability**”, *IEEE Trans.*, vol. PAS-87, no. 6, pp. 1426-1434, 1968.

[7] CUSTÓDIO, Diogo Totti. **Utilização do Elo de Corrente Contínua para o Amortecimento de Oscilações Eletromecânicas em Sistemas Elétricos de Potência.** Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, 2009, p.5-7.

[8] FERNANDES, B. **Elos de Transmissão em Corrente Contínua em Programas de Estabilidade Transitória.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005, p. 45-46.

[9] N. G. Hingorani and L.Gyugyi, “**Concepts and Technology of Flexible AC Transmission System**”. IEEE Press - Jon Wiley and Sons, 2000.

[10] Y. H. Song and A. T. Johns, **Flexible AC Transmission System (FACTS).** The Institute of Electrical Engineering, 1999.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A confiabilidade dos sistemas de transmissão de energia elétrica está estritamente ligada ao amplo desenvolvimento da eletrônica, especialmente as lógicas de controle dos conversores de potência.

Os sistemas de controle com VDCOL realiza um controle mais preciso dos elos CC, com respostas mais rápidas quando da ocorrência de distúrbios ou faltas na rede, mesmo que transitórias.

Assim sendo, justifica-se o seu uso no caso da interligação de sistemas assíncronos, com o objetivo de impossibilitar os fluxos indesejáveis nas linhas de transmissão CA paralelas, garantindo que os limites de estabilidade do sistema sejam mantidos, além de realizar o controle do fluxo de energia, interrompendo a sobrecarga.