

VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 11 7750
Tópico: Modelagem e Simulações

AFUNDAMENTO MOMENTÂNEO DE TENSÃO: REQUISITOS ESTUDOS E SIMULAÇÕES DURANTE FASE DE PROJETO

DILERMANDO ALBERTO RAGONE LOPES
PETROBRAS S.A.

RODRIGO HERAS VINAS
PETROBRAS S.A.

RESUMO

Afundamentos momentâneos de tensão e interrupções foram levados em consideração durante o projeto da subestação de alimentação de uma nova Unidade de Coqueamento Retardado. Os requisitos exigidos nas especificações de projeto, estudos necessários e resultados das simulações que considerem a reaceleração e repartida dos motores serão apresentados.

PALAVRAS-CHAVE

Afundamento de tensão, transferência automática, qualidade da energia, reaceleração de motores.

1.0 INTRODUÇÃO

Afundamentos momentâneos de tensão e interrupções no fornecimento de energia elétrica podem ocasionar sérios riscos à integridade de pessoas e equipamentos em uma unidade de processamento de petróleo, além dos lucros cessantes devido à parada de produção. O projeto da subestação para suprimento de energia elétrica para uma nova unidade de Coqueamento Retardado na Refinaria Duque de Caxias levou em consideração estes riscos desde o início de seus projetos conceituais e básicos de forma que os impactos gerados por afundamentos de tensão ou interrupções fossem os menores possíveis.

A principal carga elétrica nas unidades de processamento de petróleo são motores elétricos de indução e seu comportamento durante os afundamentos de tensão e reaceleração foram estudados utilizando programas de estabilidade dinâmica bem como a repartida após uma transferência automática. Estes motores elétricos geralmente acionam bombas centrífugas e a priorização da importância destas cargas foi realizada pelo pessoal de operação utilizando os critérios de segurança pessoal, integridade dos equipamentos e criticidade para a continuidade operacional da unidade. Após a priorização os estudos foram desenvolvidos considerando as duas condições em que os distúrbios de tensão poderiam impactar o sistema elétrico da unidade.

1.1 Afundamento de tensão

Foram realizados estudos com a simulação de curtos-circuitos trifásicos em pontos do sistema elétrico da concessionária, sendo mantidas ligadas as cargas críticas (no projeto foi solicitada a instalação de dispositivos "ride through" nos comandos dos motores críticos). Na simulação foi realizada a abertura da proteção para isolamento do defeito, sendo considerado o tempo 160 ms. As demais cargas foram desligadas no tempo de início da falta e reaceleradas após o restabelecimento da tensão. Foi, então observado o efeito da reaceleração das cargas críticas no sistema. O objetivo desses estudos foi verificar se a tensão no sistema não ficava abaixo do limite inferior de 85% durante a reaceleração dos motores críticos e caso isso fosse identificado reduzir o número de motores críticos que eram

mantidos ligados durante o afundamento de tensão e a realização de nova simulação até o limite inferior de tensão não ser atingido.

1.2 Interrupção de tensão

As subestações das unidades de processamento de petróleo normalmente têm o suprimento de energia elétrica com a topologia em secundário seletivo, com três disjuntores no secundário dos transformadores abaixadores de 13,8kV para 2,4kV, na média tensão, ou 480V, na baixa tensão. O disjuntor de interligação opera normalmente aberto e o fechamento dos três disjuntores somente é permitido momentaneamente. No caso de interrupção de tensão em uma das barras suas cargas são transferidas para a barra com tensão através da abertura do disjuntor do lado com falta de tensão e fechamento do disjuntor de interligação. Os motores, então, são repartidos de forma programada para que seja evitada a ocorrência de subtensão prolongada nos terminais dos motores que podem reduzir o torque acelerante com o conseqüente travamento do eixo. A barra que permaneceu com tensão pode ser afetada sofrendo subtensão quando as cargas críticas estão sendo transferidas. Os estudos realizados na transferência automática envolveram a simulação em programa de estabilidade dinâmica da repartida dos motores elétricos de forma a ser encontrada a distribuição dos blocos de motores no tempo sem violar o critério de da tensão ficar abaixo de 85% da tensão nominal da barra.

2.0 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico da nova Unidade de Coqueamento Retardado provém da concessionária local na tensão de 138kV e é abaixada para a tensão de distribuição de 13,8kV. As cargas da unidade são alimentadas nas tensões de 13,8kV, 2,4kV e 480V. Na figura 1 esta apresentado o diagrama unifilar das instalações:

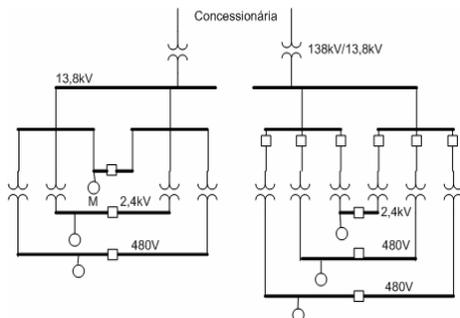


Figura 1 – Diagrama unifilar

3.0 REQUISITOS RIDE THROUGH PARA OS EQUIPAMENTOS

No projeto conceitual e básico foram introduzidos requisitos para que os equipamentos suportassem afundamentos de tensão. Os comandos dos equipamentos deveriam ser providos de dispositivos para a dessensibilização destes equipamentos. Abaixo estão descritos os requisitos para controle de motores e conversores de frequência:

3.1 Motores elétricos

Os motores e cargas indicadas como prioritárias pela unidade, devem possuir dispositivo que evite o desligamento dos motores nas ocorrências de afundamento de tensão de até 100% durante até dois segundos”.

3.2 Conversores de frequência

Os conversores de frequência devem ser capazes de suportar afundamentos de tensão por até dois segundos (capacidade “ride-through” de até 2 segundos).

A alimentação do controle do conversor deve provir do link DC. Não sendo isto possível, a alimentação CA para o controle deve provir de fonte confiável, não podendo ser a alimentação CA principal do conversor.

Deve ser analisado o aumento da capacitância do link DC de forma a aumentar o tempo de fornecimento de energia ao motor no caso de afundamento de tensão, e correspondente dimensionamento de limitador de corrente quando do carregamento desta maior capacitância.

4.0 REACELERAÇÃO DE MOTORES

Os afundamentos de tensão são influenciados quando há a presença de motores. Não considerando a carga, a tensão cai imediatamente para um valor devido ao curto-circuito. Quando a falta é isolada, a tensão restabelece imediatamente. Havendo motores, durante a falta, a tensão nos terminais do motor cai, o fluxo magnético no entreferro decai com uma constante de tempo de alguns ciclos, o motor contribui para a falta ajudando a manter a tensão no barramento. Por outro lado, o conjugado do motor cai com o quadrado da tensão, o motor desacelera solicitando uma corrente maior com conseqüente queda da tensão. Com a tensão restabelecida, há uma corrente maior para restabelecer o fluxo

magnético e reacelerar o motor. Há, então, uma extensão do afundamento pós-falta [1].

Uma característica importante dos motores de indução trifásicos é que eles continuarão a rodar e produzir conjugado quando houver falta de uma fase ou redução do módulo da tensão de uma ou mais fases. O motor rodará com velocidade e conjugado menores, porém, continuará a fornecer energia à carga. Por outro lado, quando o motor é desconectado da rede, o conjugado desenvolvido vai a zero e o motor desacelera rapidamente. Os motores reagem igualmente durante os afundamentos de curta duração como reduções de tensão em regime permanente ou falta de fase. A diferença é que os afundamentos duram poucos ciclos e quando a tensão retorna ao normal, os motores reaceleram normalmente [2].

No caso do comando de contadores em corrente alternada, alimentado pela rede sujeita aos afundamentos, a configuração freqüente é o contator caindo durante a perturbação, há o religamento após a volta da tensão e a repartida dos motores pode ser crítica. Vemos, então, que manter os motores conectados durante um afundamento pode minimizar o efeito da perturbação no sistema [3]. A tensão gerada pelos motores conectados à rede ajuda a manter a tensão no sistema. Exemplos mostram que manter todos os motores de média tensão conectados proporciona um significativo suporte de tensão. A literatura recomenda que a duração do afundamento deve ser limitada em 10 ciclos.

4.1 Características dos estudos de reaceleração

4.1.1 Classificação dos motores

Os motores elétricos de indução foram classificados conforme abaixo [4]:

- Motores que parados comprometem a segurança das unidades – prioridade 1
- Motores que parados impedem a operação da unidade – prioridade 2.
- Motores que parados desenquadraram os produtos da unidade - prioridade 3.
- Motores que parados baixam a carga da unidade – prioridade 4.
- Motores que parados impedem a circulação da unidade – prioridade 5.
- Equipamentos que não necessitam de reaceleração - prioridade 6.

A unidade possui 104 motores elétricos em operação normal e a classificação resultou em 8 motores que comprometem a segurança com potência total de 630kW, 39 motores que impedem a operação da unidade com potência

total de 3571kW, 19 motores que desenquadraram os produtos com potência total de 1297kW, 1 motor que baixa a carga da unidade com potência de 45kW e 37 motores que não necessitam ser reacelerados com potência total de 6154kW.

4.1.2 Metodologia de estudo

A reaceleração dos motores se dá após uma transferência automática por falta de tensão no secundário dos transformadores e centro de distribuição de carga de 13,8kV ou afundamento momentâneo de tensão.

Para transferência automática, com os motores agrupados conforme a classificação foi estudada a seqüência de partida dos motores após a transferência automática por falta de tensão. Foram consideradas as cargas ainda em operação nesta subestação, bem como as cargas dos outros alimentadores. Os motores que foram repartidos estavam parados antes do início da reaceleração.

Para afundamento de tensão foi estudado se os motores essenciais que continuariam em operação não causariam uma queda tensão acima dos limites durante sua reaceleração e se a repartida dos motores não essenciais também não causarão uma queda de tensão acima dos limites. No estudo deverá ser aplicado um curto circuito de 160 ms nos níveis de tensão de 138kV e 13,8kV e os motores essenciais deverão ser considerados em operação e os motores não essenciais irão parar e depois ser repartidos. O estudo deverá ter como produto o número máximo de motores essenciais que poderão continuar em operação e a seqüência de repartida dos motores que irão parar.

Foi utilizado um programa de estabilidade transitória para a realização dos estudos.

Os parâmetros elétricos foram estimados através do programa de estabilidade que automaticamente gerou as curvas de torque, corrente, fator de potência em função da rotação do motor.

A distribuição inicial de carga foi realizada de forma a equilibrar a potência em cada lado dos diversos painéis.

Durante a simulação foram monitoradas as tensões dos barramentos e a tensão nos terminais dos motores sendo reacelerados.

Os critérios de aceitação foi que a menor tensão do painel do motor a ser reacelerado deverá ser maior que 85% da tensão nominal.

5.0 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados das simulações indicaram que para a reaceleração após afundamento de tensão de 160ms os motores de prioridade 1, 2 e 3 poderiam ser reacelerados, pois a tensão não fica abaixo de 85% da tensão nominal nos painéis. Nas figuras 2 e 3 são apresentados os resultados das tensões em um painel de 13,8kV e de 480V.

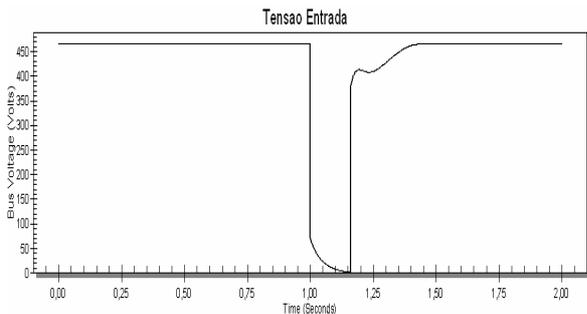


Figura 2 – Reaceleração painel 480V

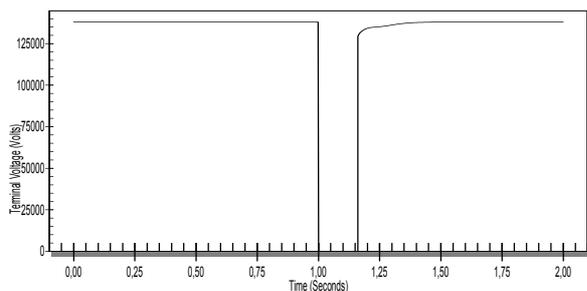


Figura 3 – Reaceleração painel 13,8KV

Para transferência automática a primeira tentativa foi a repartida dos motores de prioridade 1, 2 e 3 em um único bloco no tempo 1 segundo. As figuras 4, 5 e 6 apresentam os resultados desta primeira tentativa. As tensões atingiram valores inferiores aos mínimos especificados. Foi necessária, então, a temporização da partida dos blocos de motores. As figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados após a temporização. Por exemplo, no painel PN-41101B os blocos de motores de prioridades 1,2 e 3 foram repartidos no tempo 1s no tempo 10s será repartido uma parte do bloco de prioridade 6 e no tempo 12s o restante do bloco de prioridade 6.



Figura 4 – Repartida após transferência automática painel A - 2,4kV com partida simultânea prioridades 1,2 e 3

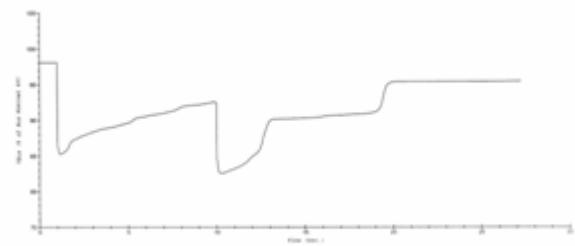


Figura 5 - Repartida após transferência automática painel B- 2,4kV com partida simultânea prioridades 1,2 e 3

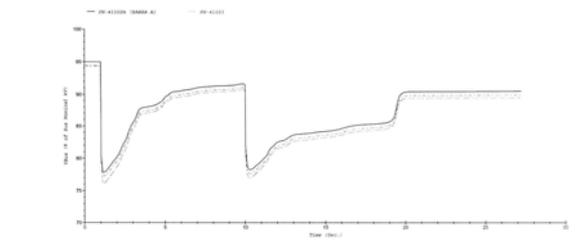


Figura 6 - Repartida após transferência automática painel 480V com partida simultânea prioridades 1,2 e 3

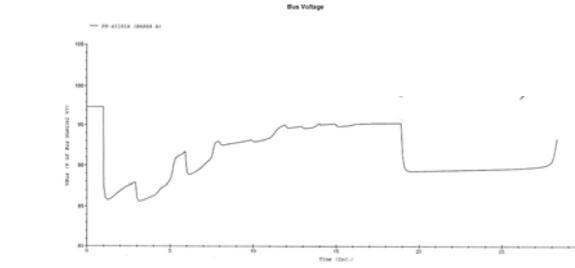


Figura 7 – Repartida após transferência automática painel A-2,4kV com partida temporizada

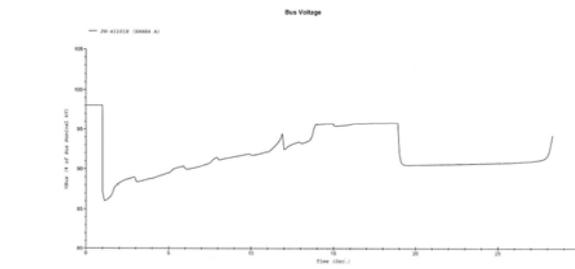


Figura 8 – Repartida após transferência automática painel B-2,4kV com partida temporizada

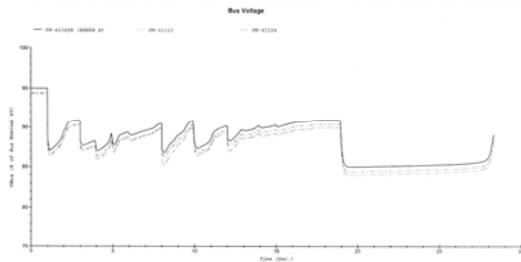


Figura 9 – Reatância após transferência automática painel 480V com partida temporizada

6.0 CONCLUSÕES

A utilização de programas de estabilidade transitória foi importante para a verificação da reaceleração e reatância dos motores, pois indicaram as providências que deveriam ser realizadas para evitar que o afundamento de tensão na reatância levasse a um colapso de tensão nas unidades.

A inclusão dos dispositivos ride-through não acarretou afundamentos de tensão pós reaceleração dos motores e serão implementados em todos os motores de prioridades 1, 2 e 3.

Na transferência automática foi necessário uma temporização na reatância dos motores e em alguns casos a divisão dos blocos de motores de uma mesma prioridade foi necessária.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] M.H.J. Bollen, "The Influence of Motor Reacceleration on Voltage Sags", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 31, No. 4, pp. 667-674, July/August 1995.

[2] K.W. Carrick, "Minimizing the Effects of Voltage Disturbances on Continuous Industrial Processes", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No.6, pp. 1424-1430, November/December 1996.

[3] S.S. Mulukutla, E.M. Gulachenski, "A Critical Survey of Considerations in Maintaining Process Continuity During Voltage Dips while Protecting Motors with Reclosing and Bus-Transfer Practices", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 7, No. 3, pp. 1299-1305, August 1992.

[4] L.A.F. Valle, D.A.R. Lopes, E.G. de Jesus, "Afundamento Momentâneo de Tensão: Minimização das Paradas das Unidades de Refino de Petróleo", V SBQEE, Aracaju, 2003.

[5] G.S. Grewal, S. Pocsai, M.M. Hakim, "Transient Motor Reacceleration Study in an Integrated Petrochemical Facility", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 35, No. 4, pp. 968-977, July-August 1999.

[6] Bollen, M.H.J.; Yalcinkaya, G.; Pellis, J.; Qader, M.R, "A voltage sag study in a large industrial distribution system."; Industry Applications Conference, 1996. Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS '96., Conference Record of the 1996 IEEE Volume 4, 6-10 Oct. 1996 Page(s):2372 - 2377 vol.4

Summary: The method of fault positions has been used to study the post-fault voltage sags in the supply to a large chemical industry plant. The main concern is faults in the on-site distribution systems. The during-fault and post-fault voltages have been simu.....

