

ESTUDO DE CASO: SINCRONISMO DE TURBO-GERADOR A VAPOR EM UMA TERMOELÉTRICA DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO

CASE STUDY: SYNCHRONISM OF A STEAM TURBO-GENERATOR IN AN OIL REFINERY THERMOELECTRIC

AFONSO, Jose Carlos¹
VIANELLO, Juliano Melquiades²

Resumo: Este trabalho é um estudo de caso sobre a implementação do sincronismo entre um turbo-gerador a vapor e uma rede de distribuição elétrica de uma refinaria. O estudo de caso tem como foco descrever um trabalho de engenharia feito durante dois anos para compatibilizar o sistema de controle de dois turbo-geradores a vapor com a termoeletrica de uma refinaria. Tal trabalho visa adequar a engenharia do fornecedor dos turbo-geradores a vapor ao restante dos sistemas que compõem o sistema elétrico de distribuição da refinaria, cujos componentes foram fornecidos por diferentes fabricantes. Dentre os inúmeros desafios encontrados neste trabalho, destaca-se o sistema de sincronismo.

Palavras-chave: Sincronismo. Termoeletrica. Sincronismo Barra Morta.

Abstract: This work is a case study on the implementation of synchronism between a steam turbo-generator and a refinery electrical distribution network. The case study focuses on describing an engineering work carried out over two years to make the control system of two steam turbo-generators compatible with a refinery's thermoelectric power plant. This work aims to adapt the engineering of the steam turbo-generator supplier to the rest of the systems that make up the refinery's electrical distribution system, whose components were supplied by different manufacturers. Among the numerous challenges found in this work, the synchronism system stands out.

Keywords: Synchronism. Thermoelectric. Dead Bar Sync.

¹ Curso de Engenharia Elétrica - Universidade Santa Úrsula (USU), Rio de Janeiro - josecarlosafonso@hotmail.com

² Curso de Engenharia Elétrica - Universidade Santa Úrsula (USU), Rio de Janeiro - juliano.vianello@usu.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O petróleo no estado bruto, como é extraído do solo, tem pouquíssimas aplicações. Neste estado não é uma substância pura, mas uma complexa mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, além de impurezas. Os hidrocarbonetos, substâncias orgânicas, são as aquelas que predominam no petróleo bruto, estes são moléculas compostas principalmente de átomos de carbono e hidrogênio. Assim, para que o petróleo tenha aplicações práticas, a partir do uso de seus diversos derivados, é necessário submetê-lo ao processo de craqueamento, ou seja, um processo de separação, conversão, além de diversos outros tratamentos que uma refinaria pode propiciar.

Para o refino do petróleo bruto uma refinaria necessita de grande quantidade de energia, portanto, é comum nas refinarias as Centrais de Utilidades, capazes de produzir energia a vapor e/ou energia elétrica. No geral, a energia a vapor produzida por essas Centrais de Utilidades são consumidas na totalidade na própria refinaria, enquanto a energia elétrica pode ou não ser consumida no processo na sua totalidade. Normalmente, as Centrais de Utilidades são ligadas a rede de distribuição de eletricidade pública (REDE) o que permite em primeiro lugar, uma maior confiabilidade e disponibilidade do sistema elétrico da refinaria e, em segundo lugar, a importação e/ou exportação de energia elétrica para a REDE. No Brasil as refinarias têm contratos com o Observador Nacional do Sistema – O.N.S. que gerencia o sistema elétrico brasileiro e, portanto, regula a importação/exportação de energia elétrica das termoeletricas para a REDE. A importação/exportação de energia elétrica pode ser realizada em um regime permanente ou sazonal.

No caso da distribuição de energia elétrica numa refinaria, existem inúmeros níveis de tensão dependendo da carga e do propósito de utilização. O mesmo ocorre com a energia térmica, pois o vapor produzido tem diferentes níveis de pressão e temperatura dependendo do tipo de carga e do propósito de utilização. Portanto, uma das finalidades da usina termoeletrica em uma refinaria é propiciar o melhor aproveitamento calórico dos produtos que são queimados, como gases e/ou óleos. Para isso, utiliza-se a tecnologia chamada de ciclo combinado.

Uma usina termoeletrica de ciclo combinado em refinaria é composta de alguns sistemas que são: Caldeira Convencional, Caldeira Recuperadora, Turbina a Gás e Turbina a Vapor. A Caldeira Convencional produz vapor através da queima de combustíveis. A Caldeira Recuperadora produz vapor através da utilização dos gases quentes na exaustão da Turbina a Gás. A Turbina a Gás produz movimento mecânico rotativo através da queima de combustíveis. A Turbina a Vapor produz movimento mecânico rotativo através da admissão

de vapor. Tanto as Turbinas a Gás como a Turbina a Vapor, através do movimento mecânico rotativo, são responsáveis por acionarem os geradores elétricos.

Com a produção de energia elétrica através dos geradores elétricos tem-se a necessidade de conectar os mesmos a REDE. Assim, torna-se imprescindível realizar uma atividade rotineira, feita desde os primórdios da eletricidade, que é sincronizar o gerador da Central de Utilidades com a rede de distribuição elétrica. Portanto, o objetivo deste trabalho é estudar este sistema de sincronização e apresentar, um estudo de caso sobre a sincronização de disjuntores de uma Central de Utilidades de uma refinaria de petróleo com a REDE, tanto no nível de tensão de geração (13,8 KV) como no nível de tensão de distribuição (138,0 KV).

O processo de sincronização visa permitir o fechamento de um disjuntor que estabelece a conexão elétrica entre o lado do Gerador e o lado da REDE. Este processo visa conferir características elétricas do sinal monitorado dos dois lados para permitir este fechamento. As características elétricas são tensão, frequência e fase.

Apesar do processo de sincronização ser um tema bastante conhecido, existe casos que demandam o estudo minucioso de particularidades que se tornam um grande desafio quando o fornecimento dos equipamentos envolvidos é feito por diversos fabricantes espalhados pelo mundo.

2. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso tem como foco descrever de forma minuciosa as particularidades do processo de sincronização da máquina a vapor em uma termoelétrica. Esta atividade foi realizada de forma prática em um projeto para sincronização de uma máquina a vapor em uma termoelétrica.

Com o objetivo de, descrever tecnicamente o controle e automação do processo de sincronismo, faz-se necessário uma descrição de conceitos básicos de um sistema de proteção elétrica. Intuitivamente, como a própria descrição do sistema se intitula, o mesmo serve para proteger o sistema elétrico contra falhas, que podem ocorrer no próprio sistema ou em sistemas correlacionados eletricamente.

O sistema de proteção elétrica se utiliza de uma variedade de dispositivos visando à extinção da falha no menor tempo possível. Como exemplo dos dispositivos utilizados, temos:

- Equipamentos de manobra – Disjuntores, Chaves seccionadoras, etc;
- Transformadores de instrumentos: Transformador de Potencial (TP) e Transformadores de Corrente (TC);
- Relés de proteção.

Dos itens acima nos focaremos apenas na análise do relé que é responsável pela implementação do funcionamento lógico do sistema de proteção. As funcionalidades implementadas na sua lógica visam evitar situações indesejáveis que comprometam a segurança e confiabilidade, além de manter a operabilidade do sistema elétrico, desligando partes do sistema elétrico. Esta ação objetiva mitigar impactos de falta de fornecimento de energia elétrica e manter a integridade dos equipamentos.

Anterior à era dos microprocessadores, os relés de proteção elétrica eram eletromecânicos e geralmente estava associada uma função de proteção para cada dispositivo (relé). Com o advento dos relés microprocessados houve uma mudança de paradigma, pois um único relé microprocessado pode acumular inúmeras funções em um único dispositivo.

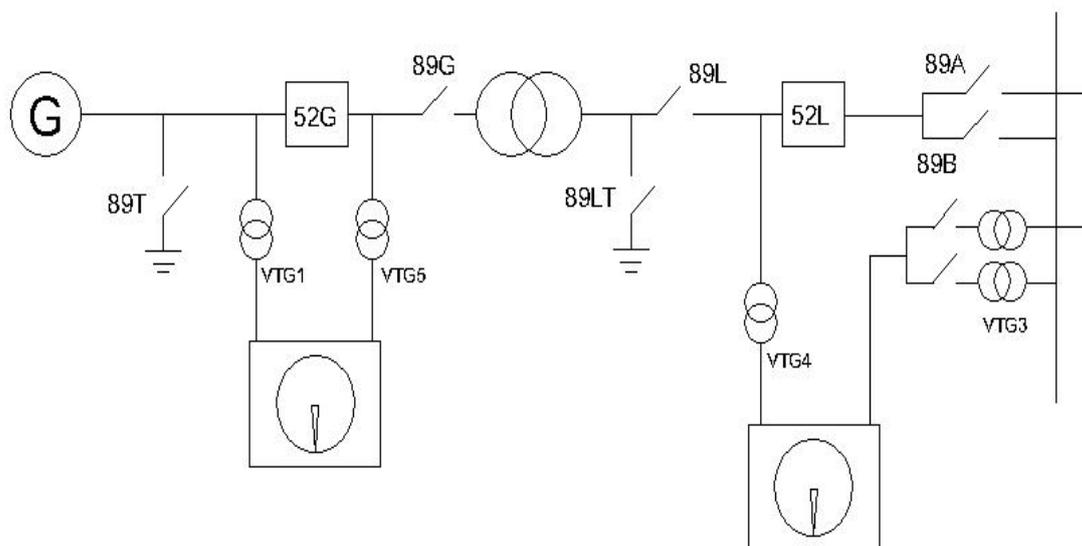
Estas proteções elétricas são conhecidas através de números que são padronizados na tabela *ANSI (American National Standards Institute)*.

Dentre todas as proteções e dispositivos que existem na tabela *ANSI* a função que nos interessa é a função 25 que é responsável pela sincronização.

O processo de sincronismo pode variar de acordo com a topologia do sistema elétrico e, dependendo da necessidade, existem diferentes equipamentos elétricos que podem ser usados. A forma mais simplificada de apresentar este arranjo é através de um diagrama elétrico chamado de diagrama unifilar.

O diagrama unifilar simplificado do ramo entre o gerador e o barramento de distribuição de alta tensão (será chamado de GRID) pode ser visto na figura 1.

Figura 1 – Diagrama unifilar



Visando auxiliar a análise do diagrama unifilar, será descrito alguns pontos importantes. Inicialmente temos um gerador elétrico que é atuado pela Turbina a Vapor que produz nos seus terminais a tensão de 13,8 KV. Este gerador é ligado a um transformador elevador através de um disjuntor. Este disjuntor do gerador será chamado de 52G. O transformador elevador tem a função de elevar a tensão de 13,8 kV para 138 kV e chamaremos o mesmo de GSU. Como trata-se de um transformador elevador, o enrolamento com nível de tensão de 13,8 kV será chamado de primário e o enrolamento com nível de tensão 138 kV de secundário. O enrolamento secundário do transformador conecta a tensão de 138 kV no GRID através do disjuntor de linha que será chamado a partir de agora de 52L.

Para que o gerador possa fornecer a energia produzida em seus terminais, necessitará ser conectado ao GRID que é no nível de tensão de 138 kV. Portanto, será necessário fechar os dois disjuntores (52G e o 52L) para que a tensão produzida pelo gerador possa ser fornecida para o GRID. É esta conexão que é feita com atuação do sistema de sincronismo.

Para fechar os disjuntores 52G e 52L teríamos duas sequências possíveis, que chamaremos de primeira e de segunda sequência, apenas com finalidade orientativa.

A primeira sequência seria fechar o 52L e realizar o sincronismo visando fechar o 52G. Este fechamento é obtido quando a tensão gerada pelo gerador e a tensão do GRID que foi rebaixada de 138 kV para 13,8 kV através do GSU entram em sincronismo, respeitando os procedimentos descritos no capítulo 4. Esta sequência será chamada de “SINCRONIZAR NA MÉDIA TENSÃO”.

A segunda sequência seria fechar o 52G e realizar o sincronismo, visando fechar o 52L. Este fechamento comumente é obtido quando é sincronizada a tensão elevada do gerador através do GSU com o GRID, respeitando os procedimentos da sincronização. Esta sequência será chamada de “SINCRONIZAR NA ALTA TENSÃO”. O passo a passo desta sequência referente à sincronização do 52L.

Porém, para a sincronização do 52L existe uma particularidade que torna esse sistema diferente do que geralmente é o padrão de fornecimento do fabricante do turbo-gerador a vapor. Para esclarecer esta particularidade será necessário descrever brevemente a engenharia de fornecimento do GSU.

Foi feito um estudo elétrico para analisar o comportamento do GSU durante a energização. Neste estudo, ficou assegurado que o mesmo poderia ser energizado pelo enrolamento secundário (138 kV). Com isto, pode-se dizer que este enrolamento suporta a corrente provocada pelo crescimento da tensão do valor zero volts para o valor da tensão nominal 138 kV. Na linguagem técnica, diz-se que o enrolamento secundário suportava o

Inrush de corrente. O mesmo estudo não foi feito para o enrolamento primário (13,8 kV). Com isto, para evitar a variação abrupta de corrente, a tensão no enrolamento primário deve-se elevar de 0 a 100 % de forma lenta (*Soft start*).

Portanto, na maioria dos sistemas de excitação, a sequência de funcionamento é:

Primeiro o gerador tem que atingir a velocidade de 95% da velocidade nominal para ser iniciado o processo de excitação do gerador. Neste caso específico o processo de excitação apenas será iniciado após o fechamento do 52G. Porém o 52G somente poderá ser fechado quando não existir tensão, nem a montante nem a jusante do mesmo. Tecnicamente chama-se esse processo de “barra morta dos dois lados do disjuntor” (*Dead Dead Bus*).

Com o fechamento do 52G e posterior início da excitação do gerador, a tensão nos terminais do gerador irá crescer de 0V até 13,8 kV de forma suave, evitando qualquer *stress* elétrico ou mecânico no GSU.

O processo de sincronismo pode ser usado um modo automático ou um modo manual (com intervenção do operador no que tange o ajuste de velocidade \ frequência e tensão), conforme descrito no capítulo 4. Sendo que independente do modo que é utilizado na sincronização, a função 25C (*Synchronism Check*) faz parte do último estágio de verificação do sincronismo. Esta função garante não haver nenhum problema de discrepância nas características elétricas dos dois sistemas.

No caso do sincronismo automático sem a intervenção do operador, realiza-se este automatismo no relé 25A. Este automatismo tem quatro saídas elétricas que variam a frequência e tensão objetivando sincronizar o gerador com o GRID. As respectivas saídas elétricas atuam da seguinte forma: duas saídas elétricas (contato seco) realizam o aumento ou diminuição da frequência (velocidade) atuando através do governador da turbina, e duas saídas elétricas (contato seco) que realizam o aumento ou diminuição da tensão, atuando através do AVR. Ao obter as condições necessárias para a sincronização, é enviado um sinal para a função 25C que fará a checagem final, sendo este último responsável pelo envio do sinal para o fechamento do disjuntor. Após o fechamento do disjuntor, as funções 25A e 25C não terão mais nenhuma atuação, até a nova necessidade do processo de sincronismo.

O fornecimento do turbo-gerador contempla um painel de controle (UCP) que, por sua vez, contempla um sistema de controle. Do ponto de vista da avaliação da documentação de engenharia do fornecedor da turbo-máquina pela engenharia de integração, é solicitado um fluxograma (*flow chart*) do sequenciamento do sistema e posteriormente um diagrama da lógica implementada no controle. Devido a inúmeras dificuldades impostas pelo fornecedor

do equipamento para fornecer um documento oficial, apenas nos foi entregue um rascunho para que a Engenharia de Integração confeccionasse o mesmo.

O entendimento é de que este fluxograma poderia ser arranjado de forma diferente, mas em virtude da intransigência do fabricante do turbo-gerador, foi feito o fluxograma de acordo com a lógica fornecida.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interligação de geradores síncronos de grande porte com o GRID é um processo dinâmico, que necessita de um rígido procedimento com a coordenação de vários componentes e sistemas. Estes sistemas envolvem inúmeros segmentos como:

- Elétrica - no que se refere ao sistema de proteção elétrico;
- Mecânica - no que se refere ao mecanismo de fechamento dos disjuntores;
- Humano - envolve a interação do operador com o sistema.

O objetivo da sincronização é realizar a conexão de forma suave. Assim, integrando o sistema de geração ao GRID com o mínimo de problemas e impactos possíveis. Assim, tornar esta interligação menos impactante de forma a evitar que a ação entre em desacordo com os requerimentos estabelecidos no processo de sincronização.

Um dos resultados mais importantes deste trabalho foi à criação dos três fluxogramas gerados pela engenharia de integração. Estes, por sua vez, definem na íntegra todo o passo a passo dos dois processos de sincronização. As centenas de horas gastas neste projeto com a engenharia de integração para a avaliação da documentação de fornecimento e da lógica implementada no sistema de controle do Turbo-Gerador a Vapor têm um custo imperceptível, em comparação com as consequências de um possível problema com o processo de sincronismo.

O ato de fechar o disjuntor 52G no SINCRONISMO NA BAIXA TENSÃO ou o disjuntor 52L no SINCRONISMO NA ALTA TENSÃO num cenário em que o gerador está fora de sincronismo com o GRID provoca o que em inglês é chamado de *Out-of-step*. Com esta falha poderá ocorrer danos em um ou mais equipamentos. Nestes casos, o reparo poderá vir a ser uma manutenção corretiva ou a substituição do equipamento. Estes equipamentos podem ser o gerador, GSU, disjuntores, etc.

Na esmagadora maioria dos casos quando ocorrem problemas nestes equipamentos de grande porte, o pessoal interno de manutenção da planta não tem a qualificação e nem os

recursos técnicos para resolver o problema. Outro ponto que agrava a situação é o fato de que os equipamentos de grande porte geralmente são fornecidos por fabricantes que estão localizados fora do país. Com isso, há uma grande possibilidade de ocorrer problemas que afetem a logística. Nos dias atuais, os grandes fabricantes de equipamentos já tem o primeiro suporte de mão de obra lotada no Brasil. Portanto, esta filial poderá dar um primeiro diagnóstico do problema. Em linhas gerais, a experiência mostra que o tempo de manutenção ou substituição de equipamentos pode demorar, de 9 meses até 24 meses, podendo até ultrapassar este prazo. As grandes máquinas são equipamentos feitos de forma customizada e sob encomenda prévia. Devido ao custo de investimento e preservação, a possibilidade de existir equipamentos reservas é zero, na prática impossível devido ao custo de investimento e preservação.

Portanto, nos casos de grandes reparos ou substituição haverá a necessidade de reparar a parte comprometida ou construir um novo equipamento que terá que entrar no final da fila de produção do fabricante, pois logicamente existem projetos de outros clientes. A priorização nas linhas de produção do fabricante pode acontecer em alguns casos, implicando no incremento dos custos do equipamento, quando comparado com um equipamento sendo produzido num processo de entrega previamente programada.

Apesar dos custos com o equipamento serem muito altos, eles podem se tornar insignificantes, diante dos impactos nos custos operacionais que são chamados lucros cessantes. Estimar de forma genérica este custo é uma tarefa impossível, devido à complexidade de fatores e particularidades de cenários de cada planta. Além de muitas contratuais pesadas pelo descumprimento de cláusulas que preveem o fornecimento do montante de energia que pode estar pactuado com companhias e governos. O impacto na imagem da corporação é outro dado que tornar-se difícil mensurar.

Para trabalhos futuros, o retardo do fechamento dos disjuntores no processo de sincronização é um tema muito importante. Estes atrasos de fechamento de disjuntores podem invalidar todo o sistema de sincronização descritos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

BORBELY, Anne-Marie; KREIDER, Jan F. **Distributed generation: The power paradigm for the new millennium**. Florida: CRC Press LLC, 2001.

CE-38 Análise e Técnica de Sistemas de Potência: Guia para Especificação de Sistemas de Excitação. Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Cigré Brasil

CHAMPMAN, Atephen J. **Electric Machinery Fundamentals**. 4 ed, Australia: McGraw-Hill, 2005

DT-5 Características e Especificações de Geradores – WEG Equipamentos – Geradores. Disponível em <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/geradores.html>>. Acesso em 13 jan. 2015.

Gerador elétrico. Curitiba: Copel, 2014. Disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F40A0E2ABD99123CF0325740C00496689>>. Acesso em 12 jan. 2015.

LEITE, Nilson Ribeiro; MILITÃO, Renato de Abreu. **Caldeiras**. São Paulo: Escola Politécnica – Depto. Enga. Mecânica da Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABu-UAJ/caldeiras>>. Acesso em 20 fev. 2015.

LIMA, José Moura. **Usinas hidrelétricas – diretrizes básicas para proteção e controle**. 1 ed, Rio de Janeiro: Synergia.

MEIER, Alexandra von. **Electric Power Systems - A Conceptual Introduction** - (IEEE)