

Substituição do Sistema de Transferência Rápida de Alimentação de um Barramento de Motores¹

Grégori Darós²

Sérgio de Oliveira Júnior³

Resumo – Este artigo apresenta as etapas de estudo, testes e validação da substituição do sistema de transferência rápida de alimentação de um barramento de motores. Serão apresentadas as principais falhas, os testes realizados no antigo sistema e a abordagem técnica adotada para a substituição do sistema. Em relação ao novo sistema instalado, serão apresentados todos os modos de transferência configurados para operação, suas particularidades e seu detalhamento. Na etapa de comissionamento será demonstrado a operação de cada modo de transferência e análise sobre as variáveis digitais e analógicas do sistema. Este estudo contém informações importantes que se aplica para todos os tipos de unidades geradoras que necessitam instalar/modernizar sistemas de transferência automática, pois este é um sistema essencial para o correto e seguro funcionamento das instalações.

Palavras-chave – Barramento de Motores, Geração de Energia, Oscilografia, Relés de proteção, Transferência Automática.

Abstract - This article presents the stages of study, tests and validation of the replacement of the fast transfer system of a motor bus. The main failures, the tests performed on the old system and the technical approach adopted for the replacement of the system will be explained. In relation to the new installed system, all transfer modes configured for operation, their particularities and details will be presented. In the commissioning stage, the operation of each transfer and analysis mode on the digital and analog variables of the system will be demonstrated. This study contains important information that applies to all types of generating units that need to install / modernize automatic transfer systems, as this is an extremely important system for the correct and safe operation of the installations.

Keywords - Motor Bus, Power Generation, Oscillography, Protection Relays, Automatic Transfer.

I. INTRODUÇÃO

Com a grande expectativa de crescimento no consumo de energia elétrica no Brasil nas próximas décadas, as termelétricas terão um papel fundamental na matriz energética brasileira. Esta importante fonte de geração de energia oferece benefícios por estar próxima aos centros urbanos, com maior flexibilidade operacional e independência da influência hidráulica.

Como são de grande importância para o sistema elétrico brasileiro, tendo em vista que, formam a geração base porque independem do clima para funcionarem, os equipamentos

precisam ser confiáveis e possuem proteções em caso de uma falta de energia no sistema auxiliar da usina.

Termelétricas contam com uma grande quantidade de equipamentos auxiliares em seu processo, para que a queima do combustível possa resultar em vapor movendo a turbina, resultando assim, energia elétrica nos terminais de saída do gerador.

Os principais equipamentos das usinas termelétricas em sua grande maioria são acionados por motores de grande porte, alimentados em média tensão.

Para o caso apresentado neste artigo, os motores têm sua alimentação proveniente de um barramento de 6300V (6,3kV), denominado como barramento de unidade, o mesmo conta com duas possíveis alimentações, sendo uma via saída do gerador e outra via transformador de serviços gerais.

Este artigo tem como objetivo apresentar o estudo, projeto e resultados da substituição do sistema de transferência rápida dos disjuntores que alimentam o barramento de unidade citado acima, pois o sistema quando solicitado, não performava conforme esperado, diminuindo assim a confiabilidade e a segurança operacional da unidade geradora.

II. SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA

O equipamento de transferência automática é de suma importância para a segurança operacional da usina, pois garante a alimentação elétrica para os equipamentos auxiliares quando o gerador para de suprir a alimentação seja por um bloqueio da unidade ou por outro motivo qualquer.

O princípio de funcionamento do equipamento se baseia na ação de transferir a alimentação de uma fonte “A” para uma fonte “B” o mais rápido possível no momento do bloqueio da fonte que estiver alimentando o barramento [1]. Os equipamentos das usinas, sempre que possível, são alimentados pela retroalimentação fornecida pelo gerador, eliminando assim perturbações provenientes do sistema elétrico, bem como faltas externas e/ou condições climáticas adversas.

A Figura 1 apresenta basicamente o unifilar de alimentação do barramento 6,3kV de unidade, quando a unidade geradora está em operação o barramento é alimentado via gerador, com o disjuntor 152/6 fechado e o disjuntor 152-E6 aberto, sendo assim, quando o gerador não estiver em operação, o referido barramento é alimentado via subestação, com o disjuntor 152-E/6 fechado e o disjuntor 152/6 aberto.

¹ Artigo apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Pós Graduação em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. Ano 2021. Orientador: Prof. Sérgio Martins Barcelos, Mestre.

² Pós graduando em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. E-mail: gregori_daros@hotmail.com

³ Pós graduando em Sistemas de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL. E-mail: sergioojr@bol.com.br

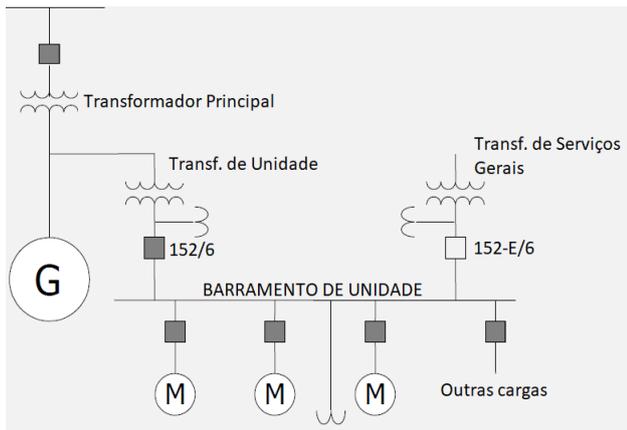


Figura 1 – Unifilar de alimentação barramento de unidade.
Fonte: [1].

Na sequência serão apresentados os modos de transferência possíveis e os parâmetros mínimos aceitos para que a transferência seja realizada de acordo com a ANSI/IEEE C50.41-2000, sem que apresente efeitos indesejáveis para os equipamentos envolvidos.

III. MODOS DE TRANSFERÊNCIA

Nesta seção serão apresentados os modos disponíveis para a execução da transferência entre as fontes de alimentação.

A. Transferência Rápida (*Fast Transfer*)

Este é o modo mais desejável para que se ocorra a transferência, pois é o mais rápido entre os três modos possíveis, resultando assim na reenergização do barramento o mais rápido possível.

Há dois modos de transferência rápida:

- **Transferência Simultânea:** Neste modo o relé de transferência dispara comando de abertura para o disjuntor que está fechado e comando de fechamento para o disjuntor que está aberto ao mesmo tempo, não garantindo assim que ambos possam ficar fechados juntos em um espaço de tempo;
- **Transferência Sequencial:** Neste modo o relé confirma que o disjuntor da alimentação principal está aberto para enviar comando de fechamento para o disjuntor da alimentação retaguarda, deste modo garante que ambos os disjuntores não fiquem fechados.

O modo de transferência rápida é apropriado quando as duas fontes disponíveis são provenientes do mesmo ponto de fase. O *check-sincronismo* do relé garante sempre que a alimentação retaguarda e a tensão do barramento a ser alimentado estarão em fase [2].

A Figura 2 exemplifica como proceder uma transferência rápida, onde após o bloqueio da unidade geradora, o disjuntor da fonte alternativa é fechado antes que a diferença angular entre a tensão do barramento de motores e a tensão da fonte alternativa passe de 20° .

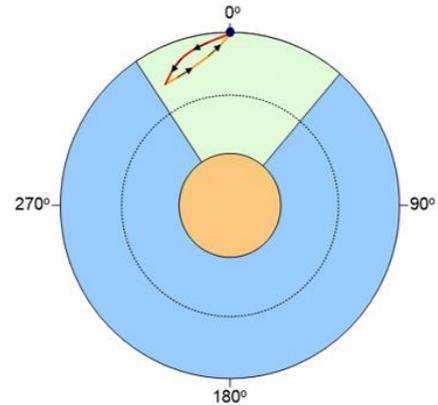


Figura 2 - Exemplificação de transferência rápida.
Fonte: [3]

B. Transferência em fase (*In Phase Transfer*)

Este modo é iniciado se as condições sistêmicas não forem aceitas para que a transferência seja executada de forma rápida. A transferência em fase parte sempre do estado que os dois disjuntores estejam abertos, sendo assim a magnitude de tensão e frequência do barramento de motores está decaindo com o tempo.

Devido a este decaimento, começa o efeito de *Slip*, que nada mais é que a diferença de frequência entre o barramento dos motores e a fonte retaguarda que será acionada através do disjuntor 152-E6 [2].

Neste modo de transferência o relé tende a disparar comando de fechamento para o disjuntor retaguarda quando ambas as tensões estiverem em fase.

A Figura 3 exemplifica a operação da transferência em fase, onde não houve a transferência dentro da primeira janela de transferência e o controle do relé aguarda ambas as fontes ficarem em fase novamente para disparar o comando de fechamento do disjuntor da alimentação alternativa.

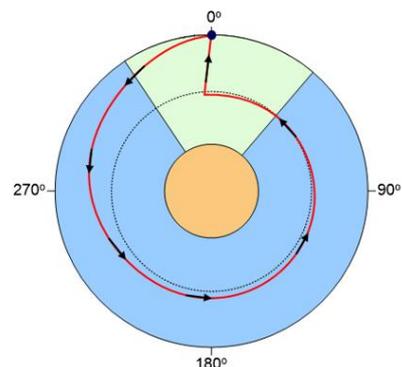


Figura 3 - Exemplificação de transferência em fase.
Fonte: [3]

C. Transferência por residual (*Residual Transfer*)

Este modo é ajustado para operar em situações em que os dois modos anteriores não foram satisfeitos pelas condições do sistema. Devido à baixa inércia conectada ao barramento pode ocorrer o fenômeno onde o decaimento de amplitude e frequência ocorra muito rápido, deixando assim o sistema ineficaz para a realização da transferência.

A transferência residual, consiste em alimentar o barramento através da fonte retaguarda quando os limites de tensão e frequência estão tão baixos que pode ser considerado uma

nova partida, não acarretando assim problemas para os equipamentos [4].

O Figura 4 demonstra os três modos de transferência possíveis.

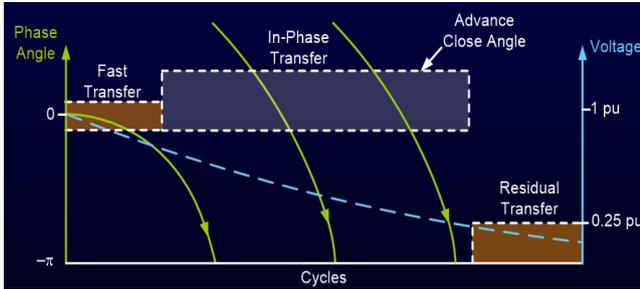


Figura 4 - Modos de transferências possíveis.
Fonte: [3]

IV. PARÂMETROS PARA FECHAMENTO

Nesta seção serão demonstradas as condições mínimas para que o disjuntor da fonte de alimentação retaguarda possa ser fechado sem que apresente danos aos equipamentos a jusante.

Os relés de transferência estão ajustados para operarem conforme o descrito na seção anterior, subseções A, B e C, sempre operando dentro da defasagem angular de 20° [4].

De acordo com a ANSI/IEEE C50.41-2000, a resultante V/Hz no momento da transferência deve ser menor que 1.33pu, esta resultante é calculada através da Equação 1, apresentada abaixo [5]. 1.33pu é a resultante V/Hz para a partida direta de um motor, com o rotor em 0 (zero) rotações por minuto (RPM).

$$E_r = \sqrt{(E_s^2 + E_m^2 - 2 * E_s * E_m * \cos\theta)} \quad (1)$$

Onde:

E_r : Resultante V/Hz

E_s : V/Hz Alimentador

E_m : V/Hz Barramento de motores

θ : Ângulo entre barramento de motores e alimentador

Todos os valores estão apresentados em “pu”, para o projeto apresentado neste artigo serão adotados os valores base de 115V para tensão e 60Hz para frequência.

V. COMPARAÇÃO ENTRE RELÉS ANTIGO / ATUAL

Os relés aplicados à área elétrica vêm sofrendo rápido desenvolvendo e novas atualizações de *softwares* e *hardwares* que possibilitam ao operador total controle sobre os sistemas, que em outrora não se tinham acesso.

A substituição do relé deste sistema de transferência foi solicitada devido à baixa confiabilidade apresentado pelo seu sistema eletrônico obsoleto, onde por várias vezes não performou conforme esperado e as ferramentas para estudo/análise eram limitadas.

A. Antigo Relé de Transferência

O antigo relé deste sistema era da década de 80 (comissionamento da usina), da fabricante BBC. Mostrou-se confiável e apresentou baixa taxa de manutenção até seus 25 anos de operação, onde começou a apresentar falhas em seu sistema [6].

As principais falhas apresentadas estão listadas a seguir:

- Devido a perda de ajustes de seus potenciômetros/componentes (capacitores, tiristores etc.) não executava a transferência;
- Apresentava falhas internas, bloqueando a lógica do sistema de transferência, e
- Seus componentes internos começaram a apresentar falhas devido ao final de sua vida útil.

A Figura 5 demonstra o relé de transferência da BBC quando ainda estava instalado no painel do sistema de transferência automática.



Figura 5 - Relé de transferência BBC.
Fonte: [6]

A Figura 6 apresenta uma foto dos cartões dos módulos de controle e a Figura 7 apresenta testes em bancada realizado com o referido relé de transferência em 2010 [6].



Figura 6 - Cartões dos módulos de controle - Relé BBC.
Fonte: [6]

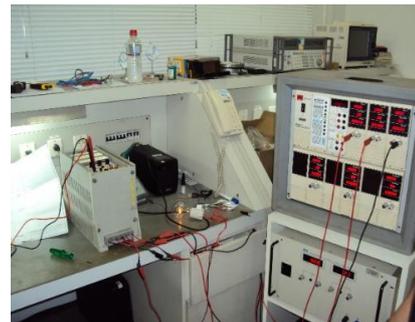


Figura 7 - Testes realizados, relé de transferência – BBC.
Fonte: [6]

B. Novo Relé de Transferência

Após estudos e pesquisa de mercado, foi optado pela instalação do Relé SEL-451. Dentre as várias funções disponíveis para uso do referido IED (*intelligent electronic device*), ele pode ser configurado para operar como relé de transferência.



Figura 8 - Relé SEL-451⁴.

Para a configuração de transferência, o Relé SEL-451 adota a filosofia apresentada pela Figura 9, onde a fonte 1 (SRC1) representa o gerador e a fonte 2 (SRC2) representa a fonte alternativa de alimentação.

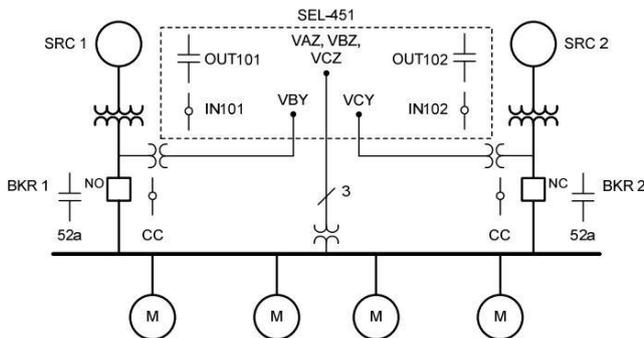


Figura 9 - Representação do sistema.
Fonte: [2]

Nota-se que são adotadas diferentes variáveis para cada informação de tensão. A tensão proveniente do gerador é denominada como “VBY”, a informação de tensão da fonte alternativa é representada como “VCY” e a leitura de tensão do barramento de motores é representada por “VAZ”.

C. Condições Operacionais

As condições que disparam a lógica de transferência via relé e as premissas básicas para a operação do sistema foram preservadas, porém, com muito mais acessibilidade e controle através do novo relé instalado.

VI. TESTES OPERACIONAIS DE VALIDAÇÃO

Para os estudos, foi tomado como base as curvas características cadastradas na documentação de comissionamento do antigo relé, conforme apresentado na Figura 10.

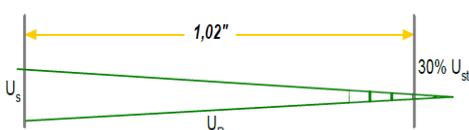


Figura 10 - “Spindown” da tensão do barramento dos motores.

Nota-se que pelos registros da época do comissionamento, a tensão do barramento dos motores caía a 30% da tensão nominal em 1,02 segundos. Esse efeito de decaimento da tensão remanente dos motores é conhecido como “Spindown”.

Após a instalação do novo relé, foi provocada a desenergização proposital do barramento de motores sem a ocorrência de transferência para que o “Spindown” do barramento fosse registrado pela oscilografia do novo relé e atualizado o registro de decaimento da tensão para ajustes de comissionamento.

Este teste também teve como objetivo a verificação de quantas janelas possíveis de transferência pelos modos “In-phase” e “Fast” seriam possíveis, respeitando o ER máximo de 1,33pu apresentado na seção IV, pela Equação 1.

Analisando a Figura 11, nota-se que o tempo de decaimento da tensão residual do barramento (VAZM) registrado pelo relé, foi de aproximadamente 820ms para que a amplitude de tensão fosse reduzida de 1pu até 0,3pu (aprox. 35V). Este primeiro teste serviu de parâmetro para parametrização e ajustes dos modos de transferência.

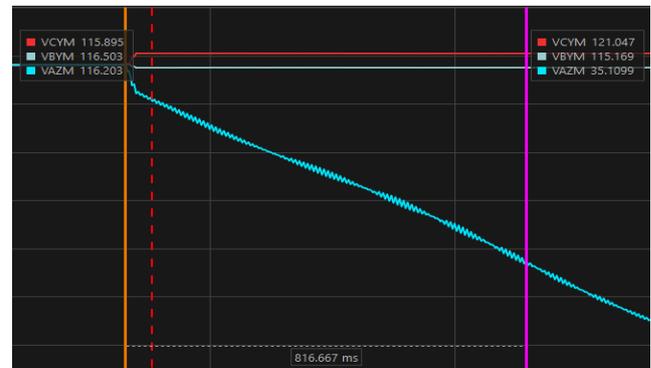


Figura 11 - Spindown barramento de motores - SEL-451.

A Figura 12 apresenta a análise sobre a defasagem angular (SM_ANG) entre as fontes no momento da desenergização do barramento e o cálculo da equação “ER” (ER1).

Para conhecimento, “EM” representa a amplitude da tensão do barramento dos motores e “ES” representa a tensão da fonte alternativa.

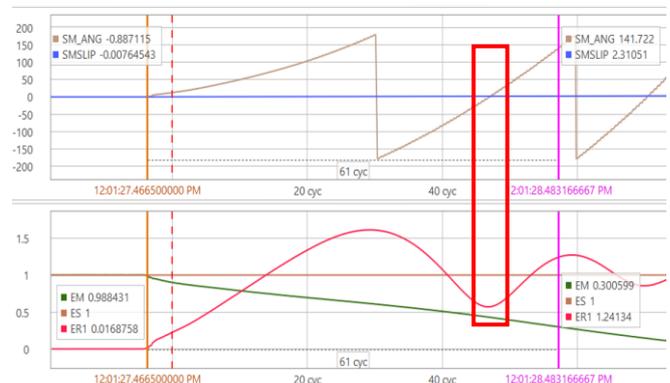


Figura 12 - Análise Spindown.

Analisando a figura acima, constata-se que em comportamento típico em uma desenergização de barramento, se a transferência não for executada pelo modo “fast”, terá apenas

⁴ Disponível em <https://selinc.com/pt/products/451/>.

uma janela onde a defasagem ficará dentro da janela ajustada de aproximadamente $\pm 20^\circ$ para que seja executada no modo “*in phase*”, conforme destacado na respectiva figura, após isso a transferência só poderá ser executada por residual.

VII. COMISSONAMENTO DO NOVO SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA

Esta seção apresenta os principais testes executados no período de comissionamento do novo sistema instalado e a validação dos modos de transferência configurados no relé.

A. Comissionamento Transferência Rápida

A Figura 13 demonstra uma transferência rápida realizada pelo novo sistema instalado. Nota-se que a tensão da fonte alternativa (VCYM) apresentava amplitude de tensão maior em comparação à tensão do gerador (VBYM) e a tensão do barramento (VAZM).

No momento em que ocorre o bloqueio do gerador (indicado pela linha vertical de cor laranja) as informações de tensão do gerador e do barramento estão com mesma amplitude, com a abertura do disjuntor que alimenta o barramento, a tensão “VBYM” eleva a amplitude e “VAZM” começa a decair gradativamente devido ao residual assegurado pelos motores.

A linha vertical roxa indica o momento do fechamento do disjuntor para alimentar o barramento de motores via alimentação alternativa, neste momento pode-se notar que a tensão “VCYM” afunda consideravelmente devido a reenergização de todas as cargas que ainda estavam em inércia e a tensão “VAZM” eleva ao mesmo nível de “VCYM” e a partir disso inicia uma rampa até o valor de amplitude nominal de aproximadamente 115V.



Figura 13 - Transferência Rápida.

A Figura 14 demonstra os sinais digitais da transferência rápida apresentada na Figura 13, as linhas de cor laranja e roxa de ambas as figuras estão posicionadas nos mesmos pontos. Para melhor entendimento, segue tópicos de explicação:

- “**IN101**”: Entrada digital programada para iniciar o processo de transferência automática através de atuação de proteções da usina;
- “**FASTX_M**”: Indica que a lógica de transferência rápida está sendo processada;
- “**FASTX**”: Comando para fechamento do disjuntor da alimentação retaguarda via modo de transferência rápida;
- “**FASTOP**”: Indica que a transferência foi realizada no modo rápido.

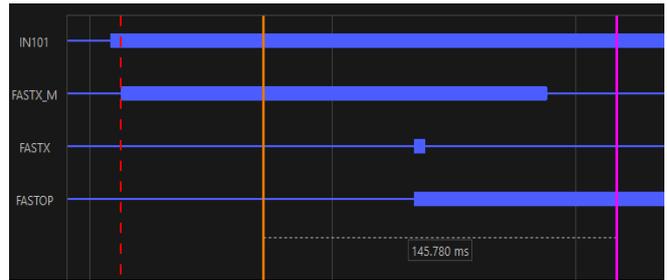


Figura 14 - Entradas digitais - Transferência rápida.

B. Comissionamento Transferência em Fase (In Phase)

Para o comissionamento deste modo, a transferência rápida foi desabilitada, sendo assim, “*In Phase*” se tornou o primeiro modo a ser habilitado pelo relé. Para este teste foi acionada a comutação manual, assim, não depende da entrada “IN101” para iniciar a transferência, mas sim, da entrada digital “IN105”.

A Figura 15 demonstra uma transferência realizada pelo modo “*In Phase*”, note que o fechamento ocorre quando a diferença angular entre as fontes está num ponto muito próximo a zero ($3,08^\circ$). Como foi visto na Figura 12, a transferência em fase ocorreu na primeira e única janela possível após não ter sido transferido pelo modo rápido.

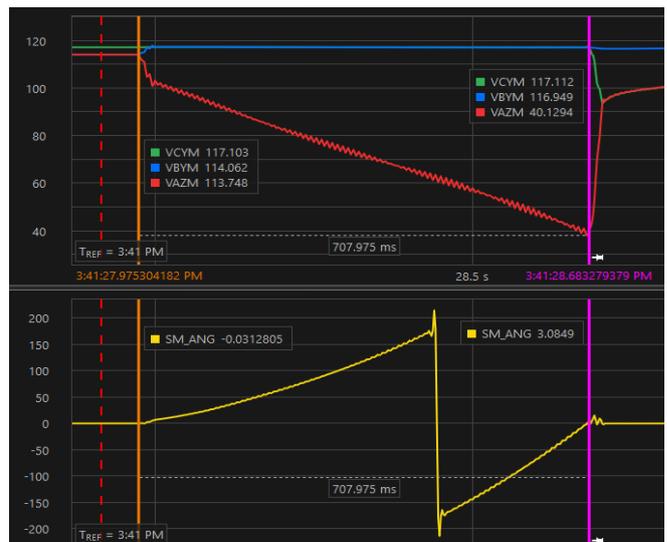


Figura 15 - Transferência In Phase.

A Figura 16 apresenta as entradas digitais no momento da transferência “*In Phase*” apresentada na Figura 15. Para melhor entendimento, segue tópicos de explicação:

- “**IN105**”: Acionamento da entrada digital que inicia a comutação manual entre as fontes de alimentação;
- “**INPHX_M**”: Indica que a lógica de transferência “*In Phase*” está sendo processada;
- “**INPHOP**”: Indica que a transferência foi realizada pelo modo “*In Phase*”;
- “**IPHXFER**”: Comando para fechamento do disjuntor de alimentação retaguarda via modo de transferência “*In Phase*”.

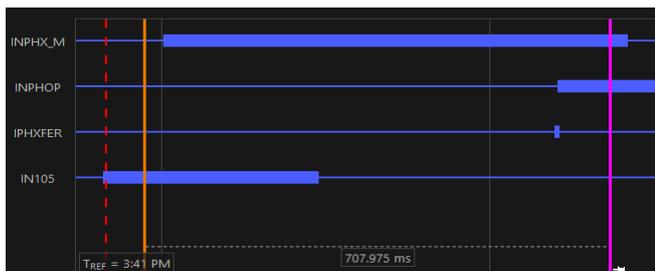


Figura 16 - Entradas digitais - Transferência In Phase.

C. Comissionamento Transferência Residual

Este modo de transferência foi ajustado para “reenergizar” o sistema em uma possível falha dos dois modos anteriores. O ajuste da proteção de subtensão do barramento de motores está ajustado para comandar a abertura dos disjuntores de alimentação de todos os motores com 0,25pu de tensão, com isso, o relé de transferência dispara comando de fechamento do disjuntor da fonte alternativa com 0,23pu de tensão, alimentando o barramento a vazio, sem a necessidade de sincronismo entre fontes.

Este modo de operação, apesar de ser o menos vantajoso para o setor de operação, é importante, pois com o barramento energizado após um bloqueio de unidade, os operadores já podem iniciar o processo de recomposição das principais cargas da usina.

VIII. CONCLUSÃO

O principal objetivo abordado por este artigo foi atendido, o sistema de transferência automática que antes apresentava baixa confiabilidade e baixa segurança operacional, agora se mostra confiável para a continuidade da operação da usina.

A etapa de projeto e estudos sobre o antigo sistema de transferência se mostrou muito importante, pois foi neste período em que os principais desafios foram levantados para debate e possíveis contratempos foram mapeados.

A instalação e o comissionamento do novo relé seguiram conforme o programado, foi executado em uma parada programada da unidade geradora, onde teve-se tempo hábil para a execução de todos os testes e consecutivamente sua validação necessária.

Todos os modos de transferência citados performaram conforme o esperado, neste artigo foi apresentado apenas uma oscilografia de cada modo, porém, ao decorrer dos testes, na maioria das vezes o relé executou a transferência de modo rápido, que é o mais adequado.

Por fim, é importante destacar a importância da pesquisa e de estudos com o intuito de manter os equipamentos das usinas sempre operando em alta performance, para que não se gere custos com manutenção corretiva e possíveis sinistros.

IX. AGRADECIMENTOS

Agradecer todo o apoio prestado pelo suporte técnico da empresa *Schweitzer Engineering Laboratories* (SEL) nos Testes de Aceitação em Fábrica (TAF) e comissionamento.

Ao Eng° André Martins, pelos testes realizados no antigo relé que estava em operação e ao Eng° Bruno Goudinho, que trabalhou junto no período de estudos e implantação.

X. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. V. Girish e E. R. Ltd., “Considerations and Methods for an Effective Fast Bus Transfer System,” em *Power System Protection and Automation*, Nova Delhi, 2010.
- [2] F. Calero e D. Haas, “Motor Bus Transfer Scheme for a Two-Source,” 2012. [Online]. Available: <https://selinc.com/pt/products/451/>.
- [3] R. A. Suzuki, *Nivelamento técnico - Fast Motor Bus Transfer*, Curitiba: SEL, 2019.
- [4] M. Kganyago, B. Aderemi e S. C. GS Donev, “DESIGN AND TESTING OF FAST TRANSFER SCHEME FOR SASOL SECUNDA,” em *IEEE PES- IAS PowerAfrica*, Accra, 2017.
- [5] G. T. Orr, S. Cooper e C. J. Mozina, “HIGH-SPEED TRANSFER OF TWO 4 KV MOTOR BUS SOURCES USING A DIGITAL MOTOR BUS TRANSFER SYSTEM,” em *IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference*, Cincinnati, 2008.
- [6] A. Martins, “Relatório de Serviços Realizados na UTLB Painel de Transferência Automática 6MH37,” Capivari de Baixo, 2010.