XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

Proteção Elétrica de Sistemas de Telecomunicações Instalados em Subestações.

Célio F. Barbosa	Flávio E. Nallin	Iverton C. Lima
Fundação CPqD	Fundação CPqD	Cosern
grcelio@cpqd.com.br	nallin@cpqd.com.br	iverton.lima@cosern.com.br

Palavras-chave:

Proteção Elétrica
Telecomunicações
Subestações
Aterramento

Resumo

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de proteção elétrica para as situações específicas experimentadas pelos sistemas de telecomunicações instalados em uma subestação de potência. Este sistema de proteção foi baseado no conceito de "ilhas de potencial" desenvolvido pela União Internacional de Telecomunicações (UIT) e no modelamento do ambiente eletromagnético de uma subestação de potência. Este modelamento inclui as variações no potencial da malha de aterramento da subestação devidas à circulação de corrente de falta para a terra, as induções por acoplamentos indutivo e capacitivo, assim como as sobretensões de origem atmosférica. O artigo também apresenta a implementação das técnicas desenvolvidas em instalações piloto e a sua supervisão através de um sistema de registro de transientes desenvolvido para este fim, assim como o desenvolvimento de módulos protetores dedicados para esta aplicação. Finalmente, são apresentados os resultados obtidos a partir das instalações piloto, os quais mostram que o sistema de proteção desenvolvido foi eficaz na proteção dos sistemas de telecomunicações e pode ser facilmente expandido para outras subestações de potência.

1. INTRODUÇÃO

As concessionárias de energia elétrica utilizam sistemas de telecomunicações através de pares metálicos para a supervisão e o controle dos equipamentos das subestações. Estes sistemas estão sujeitos a interferências e queimas de modems e outros equipamentos, além de poder por em risco a segurança dos usuários. Estes problemas são causados pela ocorrência de perturbações de origem elétrica, como curto-circuitos, chaveamentos ou incidência de descargas atmosféricas nas linhas que atendem à subestação. Portanto, a proteção de sistemas de telecomunicações utilizados em subestações de energia elétrica requer o conhecimento tanto das características do sistema de energia elétrica quanto do sistema de telecomunicações. O sistema de energia elétrica é a fonte das perturbações que constituem o ambiente eletromagnético, no qual os sistemas de telecomunicações devem operar. No caso particular de uma subestação de energia elétrica, este ambiente eletromagnético é particularmente

agressivo, pois inclui tensões desenvolvidas pela circulação de correntes pelos eletrodos de aterramento, os acoplamentos capacitivo e indutivo dos barramentos com os condutores de telecomunicações, assim como a indução de surtos por descargas atmosféricas incidentes na subestação ou nas suas linhas. Este artigo descreve o desenvolvimento de metodologia de proteção elétrica aplicável aos sistemas de telecomunicações instalados em subestações, assim como os resultados obtidos pela sua implantação em instalações piloto. Informações mais detalhadas sobre este desenvolvimento podem ser obtidas a partir dos relatórios do projeto [1-10].

2. MODELAMENTO DO AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO

O termo "ambiente eletromagnético" foi inicialmente introduzido por Bodle [11] para designar o conjunto de fontes de perturbações que atuam sobre o sistema de telecomunicações. Em decorrência da revisão bibliográfica realizada [1] e das informações coletadas quando das visitas às instalações da Cosern [2], pode-se inferir que os sistemas de telecomunicações utilizados nas subestações estão sujeitos a diversas fontes de sobretensões e ruídos, cujas principais são:

- Curto-circuitos no sistema elétrico de potência.
- Chaveamentos no sistema elétrico de potência.
- Descargas atmosféricas.
- Indução causada pelo sistema elétrico na condição de falta.
- Indução causada pelo sistema elétrico na condição de regime permanente.
- Ruído devido ao efeito corona proveniente dos equipamentos e cabos do sistema elétrico.

Uma das fontes mais críticas identificadas no ambiente de uma subestação é a transferência de potencial aplicada entre a linha de telecomunicações e a terra, a qual é se dá nos seguintes modos:

- Transferência de potencial entre pontos dentro da malha de aterramento.
- Transferência de potencial entre a malha e um ponto remoto.

A Figura 1 mostra o perfil de potencial da malha de aterramento de uma subestação, quando a mesma é percorrida por uma corrente devido, por exemplo, a um curto-circuito fase-terra em uma linha de distribuição. Nesta figura, os potenciais são normalizados em relação à elevação de potencial da malha em relação a um terra remoto, designada como GPR (do inglês "ground potential rise"). O cálculo de potenciais da Fig.1 foi realizado utilizando o programa computacional CDEGS™ [12]. A malha de aterramento considerada tem as seguintes características:

- Dimensões: 70 m x 70 m
- Quadrícula: 7 m x 7 m
- Diâmetro do condutor: 0,01 m
- Profundidade: 0,5 m

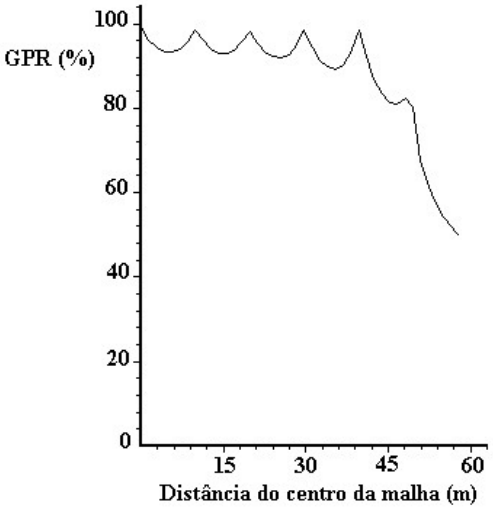

Fig. 1 - Perfil de potencial de uma malha de aterramento de subestação.

Pela Fig.1 pode-se observar que, sobre a malha, chega-se a ter tensões significativas entre um equipamento conectado à malha e a terra adjacente (potencial de transferência) ou mesmo entre dois pontos na superfície da terra relativamente próximos entre si (potencial de passo). No caso de linhas de telecomunicações que saem da subestação, a situação é ainda mais crítica, pois as mesmas chegam a experimentar a tensão plena corresponde ao GPR.

O perfil de potenciais da Fig.1 é válido, rigorosamente, para uma corrente de baixa freqüência fluindo pela malha de aterramento (por exemplo, freqüência industrial). No entanto, um fenômeno semelhante ocorre para fenômenos associados a freqüências elevadas, como as descargas atmosféricas. Neste caso, há que se considerar não apenas as dimensões da malha de aterramento, como também a indutância de seus eletrodos e o caminho percorrido pelos condutores das linhas de telecomunicações.

Uma análise detalhada das diversas fontes de sobretensões presentes em uma subestação pode ser encontrada nos relatórios elaborados ao longo do projeto de pesquisa [1, 2, 3]. Como resultado da análise dos tipos de circuitos de telecomunicações encontrados e das fontes de sobretensões a que eles estão expostos, pode-se identificar duas situações distintas, que demandam um tratamento específico:

- Circuitos que saem da subestação.
- Circuitos que ficam restritos à subestação.

3. DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS DE PROTEÇÃO

As técnicas de proteção foram desenvolvidas visando cobrir todas as possíveis fontes de sobretensões a que os circuitos de telecomunicações estão expostos. Estas técnicas foram desenvolvidas considerando duas condições de instalação dos circuitos, conforme descrito a seguir.

3.1. Circuitos que saem da subestação

Os circuitos de telecomunicações que saem da subestação constituem a situação mais crítica para a proteção elétrica, uma vez que eles são submetidos à elevação de potencial plena da malha de aterramento (GPR). Para se avaliar o tipo de módulo protetor necessário para uma situação específica, recorre-se à seguinte expressão [4]:

$$I_{MAX} = \frac{GPR}{R_{COND} + R_{ATER} \times N_{COND}} \tag{1}$$

Onde:

I_{MAX} = máxima corrente drenada pelo condutor de telecomunicações, em A.
GPR = elevação de potencial da malha da subestação, em V.
R_{COND} = resistência de um condutor do cabo de telecomunicações, em Ω.
N_{COND} = número de condutores de telecomunicações que saem da subestação.
R_{ATER} = resistência de aterramento da subestação.

Para conhecer as premissas utilizadas no desenvolvimento de (1) e exemplos de cálculo, consultar [4]. Caso a corrente nominal do módulo protetor seja maior ou igual ao valor calculado por (1), pode-se utilizar módulos protetores para distribuidores gerais. Caso contrário, é necessário utilizar um módulo protetor que promova o isolamento galvânico entre a rede interna e a rede externa. Para um cálculo rigoroso do GPR, consultar as referências [3, 13 ou 14]. Para uma estimativa conservativa, pode-se considerar que o GPR para uma subestação de distribuição típica da Cosern será próximo da tensão fase-terra da rede primária de distribuição, ou seja, cerca de 8 kV. Um cálculo rigoroso da resistência de aterramento da malha de aterramento pode ser realizada com a metodologia descrita na referência [15] ou este valor pode ser medido no local. Para uma primeira estimativa, considera-se que valores típicos para uma subestação de distribuição são da ordem de 1 a 5 Ω. Finalmente, cabe lembrar que os módulos protetores para distribuidores gerais certificados pela ANATEL segundo a SDT 235-430-708 [16] possuem corrente nominal de curta duração como segue:

- 1 A_{RMS} durante 1 segundo;
- 10 A_{RMS} durante 20 ciclos de 60 Hz.

A Figura 2 mostra o esquema de uma instalação típica, sendo que o módulo protetor do Tipo 1 promove o isolamento entre o circuito da rede interna e o circuito da rede externa.

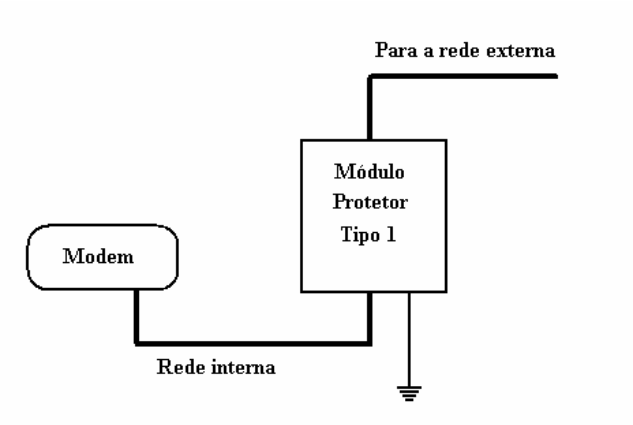

Fig. 2 - Proteção de uma linha que sai da subestação.

A utilização de módulos protetores para distribuidores gerais em situações que requerem um módulo protetor especial resulta em uma proteção ineficaz, com risco de danos aos equipamentos de telecomunicações e aos seus usuários. A Figura 3 mostra um quadro de telecomunicações equipado com módulos protetores para distribuidores gerais, após ser submetido a uma elevação do potencial de terra da subestação.

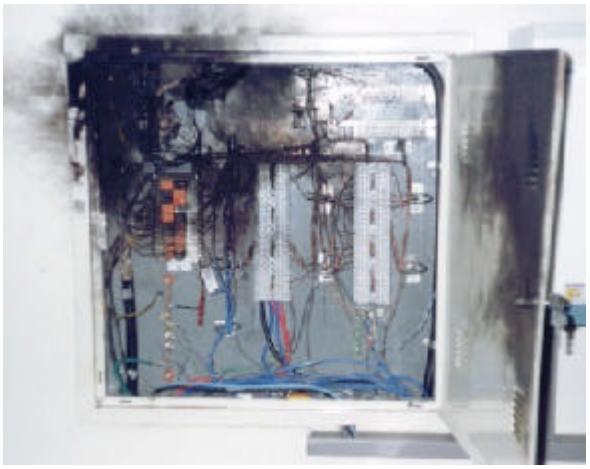

Fig. 3 - Quadro de telecomunicações danificado por GPR.

3.2. Circuitos que ficam restritos à subestação

No caso de circuitos que ficam restritos à subestação, as sobretensões podem ser controladas através da vinculação entre aterramentos e da instalação de protetores adequadamente dimensionados na fronteira entre os diferentes ambientes. Esta técnica baseia-se na aplicação do conceito de "ilhas de potencial", e é preconizada pela União Internacional de Telecomunicações [17]. A Figura 4 exemplifica a utilização desta técnica na proteção de dois ambientes de uma subestação que são conectados por um cabo de sinal. O Sistema 1 pode ser, por exemplo, uma unidade remota de supervisão e o Sistema 2 um bastidor contendo um rádio. Estes sistemas são interconectados através de uma cabo metálico que faz a comunicação entre os dois modems mostrados na figura. A vinculação entre aterramentos reduz significativamente a tensão em freqüência industrial que pode ser aplicada entre seus pontos de aterramento devido ao fluxo de corrente pela terra (ver Fig.1). No entanto, em condições transitórias, a indutância do cabo de interligação impede que a sobretensão seja eliminada. Este é o caso, por exemplo, de sobretensões de origem atmosférica.

Neste caso, a instalação dos protetores é fundamental, pois limita, em níveis seguros, as sobretensões aplicadas nas portas de sinal e de alimentação elétrica dos modems. O protetor deve atuar de forma integrada na proteção tanto da linha de sinal quanto da linha de alimentação elétrica, para o que foram desenvolvidos protótipos específicos, conjugando centelhadores a gás, varistores, termistores e dispositivos semi-condutores [4].

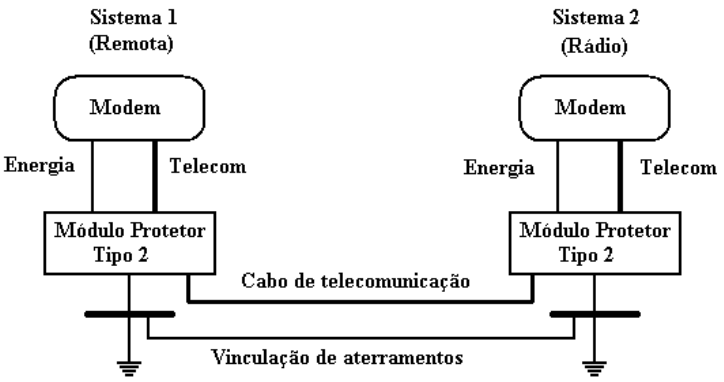

Figura 4 - Proteção de dois sistemas da subestação.

4. INSTALAÇÕES PILOTO

Foram implantadas instalações piloto, utilizando a metodologia e os protetores desenvolvidos, nas seguintes subestações da Cosern: SE Neópolis, SE Apodi e SE Natal II. Estas subestações foram escolhidas porque cada uma delas apresentava uma situação específica em termos de proteção elétrica.

A SE Neópolis apresenta linhas de telecomunicações que saem da subestação e se conectam à rede externa de operadoras de telecomunicações, caracterizando circuitos que saem da subestação. Após o projeto e a implantação das técnicas de proteção [5, 6], foi feita um supervisão do desempenho do sistema. Para supervisionar a atuação do sistema de proteção, foi desenvolvido um sistema automático de registro de transientes, o qual é mostrado na Figura 5.

Este sistema é constituído por um gabinete metálico que contém um osciloscópio, uma ponta de prova de alta tensão e uma interface de controle via rádio. O osciloscópio registra as sobretensões que são aplicadas entre as duas interfaces do módulo protetor, isto é, entre o cabo que vem da rede externa e a malha de aterramento da subestação. De fato, este sistema é capaz de registrar a elevação de potencial de terra da subestação até o limite da ponta de prova (40 kV de pico). O registro do osciloscópio é automaticamente transferido para um computador (via rádio) localizado em uma sala das proximidades. Esta transferência é comandada por um software desenvolvido para este fim, o qual re-arma o osciloscópio ao final da transferência de dados, habilitando-o a registrar uma nova sobretensão. Os resultados obtidos com o sistema de supervisão, assim como os registros operacionais da Cosern, mostraram que o desempenho desta instalação piloto foi plenamente satisfatório.

Figura 5 - Sistema automático de registro de transientes.

A SE Apodi apresenta linhas de sinal que interligam dois sistemas distintos: unidade de supervisão remota e sistema rádio. A instalação da SE Apodi pode ser representada pelo diagrama da Figura 4. Nesta SE foram instalados dois protetores especiais (junto aos modems) e um cabo de interligação de aterramentos. Cabe observar que a rota deste cabo de interligação foi definida de forma a acompanhar o cabo de sinal, visando minimizar a indutância de transferência entre estes dois cabos. A Figura 6 mostra, em primeiro plano, o sistema rádio da SE Apodi e, ao fundo, a unidade remota. Embora instaladas em salas da mesma edificação, estas unidades tinham aterramentos independentes, levando a uma elevada taxa de danos de origem elétrica nos modems que faziam a conexão entre os sistemas. Após a implantação das medidas de proteção, não houve mais registro de danos no sistema.

Figura 6 - Sistema rádio (primeiro plano) e unidade remota (ao fundo) da SE Apodi.

A SE Natal II apresenta uma situação peculiar, pois o sistema de telecomunicações faz a leitura da medição de fronteira entre a rede da Chesf e a rede da Cosern. Embora não tenha histórico de danos de origem elétrica, esta subestação foi também incluída no conjunto das instalações piloto, como forma de preservar o funcionamento de um sistema que requer alta confiabilidade operacional. O desempenho desta instalação piloto também foi plenamente satisfatório.

5. DISCUSSÃO

A experiência da implantação das instalações piloto foi importante não apenas para validar o desempenho da metodologia desenvolvida, como também para identificar vários aspectos práticos que devem ser considerados no projeto do sistema de proteção. Por exemplo, as dimensões do dispositivo de proteção para a instalação piloto da SE Neópolis não foram consideradas como um aspecto crítico no projeto original. No entanto, durante a sua instalação em campo foram identificadas diversas dificuldades operacionais, evidenciando que teria sido muito mais fácil instalar o protetor se as suas dimensões fossem menores. De fato, esta experiência pôde ser utilizada na instalação de Natal II, onde o protetor foi projetado para ter dimensões reduzidas, de forma a poder ser instalado dentro das estruturas existentes na SE.

Além destes aspectos operacionais, a experiência das instalações piloto foi fundamental para otimizar a metodologia de proteção, pois a mesma teve de ser formatada para trabalhar com os dados disponíveis. Por exemplo, torna-se mais efetivo estimar a elevação do potencial da malha de aterramento a partir de premissas conservativas do que proceder a um cálculo detalhado que depende de dados difíceis de se obter na prática. Como resultado da experiência proporcionada pelas instalações piloto, a metodologia desenvolvida pôde ser revisada e aprimorada, resultando em um conjunto de regras que podem ser facilmente aplicadas a qualquer subestação de potência.

Em complemento ao desenvolvimento da metodologia, foram também desenvolvidos protótipos de módulos protetores para as aplicações específicas encontradas na subestações. Estes módulos foram utilizados em sistemas de telecomunicações que vão desde sinais de baixa freqüência (por exemplo, modems V32) até sinais de alta freqüência (por exemplo, modems SHDSL), de forma totalmente transparente ao sinal de comunicação. Dessa forma, estes módulos protetores constituem um importante "sub-produto" deste projeto, podendo ter sua aplicação expandida para outras subestações. Outro sub-produto relevante deste projeto é o sistema de supervisão de sobretensões, o qual pode ter uma infinidade de aplicações, dada a sua autonomia e à flexibilidade do software de controle.

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de uma metodologia para a proteção elétrica de sistemas de telecomunicações instalados em subestações de potência foi baseado na adaptação de conceitos utilizados em instalações de telecomunicações para o ambiente de subestações. A aplicação desta metodologia em instalações piloto requereu o desenvolvimento de módulos protetores específicos. Da mesma forma, a necessidade de supervisionar o desempenho dos sistemas de proteção demandou o desenvolvimento de um sistema automático de registro de transientes. Estes desenvolvimentos, embora não estivessem originalmente previstos, também constituem resultados relevantes do projeto.

A aplicação da metodologia em três subestações da Cosern, na forma de instalações piloto, possibilitou validar a metodologia desenvolvida. Além disso, a experiência adquirida através do processo de implantação das instalações piloto propiciou a otimização da metodologia e dos protetores utilizados. Como resultado, obteve-se uma metodologia que pode ser expandida para outras subestações, de forma a prover uma proteção efetiva aos sistemas de telecomunicações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-01-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Resumo da revisão bibliográfica", Fundação CPqD - 2005.

[2] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-02-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Conhecimento das instalações da Cosern", Fundação CPqD - 2005.

[3] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-03-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Modelamento do ambiente da subestação", Fundação CPqD - 2005.

[4] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-04-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Desenvolvimento de critérios de projeto de proteção", Fundação CPqD - 2006.

[5] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-05-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Projeto da instalação piloto", Fundação CPqD - 2006.

[6] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-06-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Implantação da instalação piloto", Fundação CPqD - 2006.

[7] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-07-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Acompanhamento da Instalação Piloto ", Fundação CPqD - 2007.

[8] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-08-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Desempenho dos protetores frente a descargas atmosféricas", Fundação CPqD - 2007.

[9] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-09-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Revisão dos critérios de projeto de proteção", Fundação CPqD - 2007.

[10] Relatório Técnico PD.33.GS.E1A.0948A/RT-10-AA - "Sistema de proteção elétrica para atendimento de serviços de telecomunicações por pares metálicos em subestações de energia elétrica - Avaliação de custo/benefício", Fundação CPqD - 2007.

[11] D. Bodle, "Characterization of the electrical environment" - University of Toronto Press, 1976

[12] CDGES, "Current Distribution, Electromagnetic fields, Grounding and Soil structure analysis", Safe Engineering Services & technology ltd. (www.sestech.com).

[13] IEEE Std.367-1996 - "IEEE Recommended practice for determining the electric power station ground potential rise and induced voltage from a power fault".
[14] IEEE Std.487-2000 - "IEEE Recommended practice for the protection of wire-line communication facilities serving electric supply locations".
[15] IEEE Std.81.2-1991 - "IEEE Guide to the measurement of impedance and safety characteristics of large, extended or interconnected grounding systems".
[16] TELEBRÁS - SDT 235-430-708 - "Requisitos de módulos para distribuidores gerais", Agosto 1995.
[17] International Telecommunication Union (ITU) - "Directives Concerning the Protection of Telecommunication Lines Against Harmful Effects from Electric Power and Electrified Railway Lines", Geneva, 1990.