

Relatório Técnico: A Importância do Aterramento da Blindagem de Cabos de Controle em Subestações de Alta Tensão

1. Introdução

Este relatório tem como objetivo discutir a importância do aterramento da blindagem de cabos de controle em subestações de alta tensão, com base nos estudos e dados extraídos dos documentos “Compartilhamento de Subestações e Problemas de Compatibilidade Eletromagnética” e “Estudo do Ambiente Eletromagnético em Subestação de Alta Tensão e a Importância do Aterramento da Blindagem dos Cabos de Controle”. A análise se foca nas técnicas de mitigação de interferências eletromagnéticas e no papel do aterramento como mecanismo essencial de proteção.

2. Ambiente Eletromagnético em Subestações

Subestações de alta tensão são ambientes complexos e hostis do ponto de vista eletromagnético. As interferências podem ocorrer devido a descargas atmosféricas, transitórios de chaveamento e outros eventos que geram campos elétricos e magnéticos. Esses fenômenos impactam diretamente o funcionamento de dispositivos de controle e proteção. Equipamentos eletrônicos sensíveis podem falhar se não forem devidamente protegidos, sendo o aterramento da blindagem dos cabos de controle uma medida crítica para minimizar tais problemas.

3. Aterramento da Blindagem de Cabos de Controle

Os cabos de controle blindados têm a função principal de proteger sinais de controle, supervisão, comunicação e proteção em subestações de alta tensão contra interferências eletromagnéticas (EMI). Essas interferências podem ser causadas por descargas atmosféricas, manobras de chaveamento e campos eletromagnéticos gerados por grandes correntes de falta. Para mitigar os efeitos dessas interferências, os cabos são revestidos com uma blindagem metálica que impede que os campos externos acoplem nas linhas de sinal. No entanto, para que essa blindagem funcione adequadamente, ela precisa ser corretamente aterrada.

A **blindagem** dos cabos atua como uma gaiola de Faraday, bloqueando a penetração de campos eletromagnéticos, especialmente aqueles em alta frequência. A eficácia dessa gaiola depende de um aterramento apropriado, que deve garantir que as correntes de interferência sejam descarregadas para o solo, impedindo que fluam para os sistemas de controle. Sem o aterramento correto, a blindagem pode, paradoxalmente, amplificar os problemas, funcionando como uma antena que coleta interferências em vez de bloqueá-las.

Tipos de Aterramento

O aterramento da blindagem dos cabos de controle pode ser realizado de duas formas principais:

- **Aterramento em um único ponto:** Nesse método, a blindagem é conectada ao solo em um único ponto, geralmente próximo à extremidade do cabo que se conecta ao painel de controle. Este método é eficiente em ambientes onde as diferenças de potencial ao longo do cabo são pequenas, reduzindo a chance de criação de **loops de terra** (circulação de correntes não desejadas pela blindagem).
- **Aterramento em múltiplos pontos:** Utilizado quando os cabos são extensos e submetidos a ambientes com altos níveis de interferência eletromagnética, como subestações de alta tensão. Aqui, a blindagem é aterrada em diferentes pontos ao longo do cabo. Isso aumenta a eficácia da blindagem em ambientes com fortes campos eletromagnéticos, porém pode induzir correntes de circulação na blindagem, o que pode causar elevação de temperatura e interferência nos sinais de controle. Para mitigar esse problema, a instalação de **condutores de equipotencialização** é recomendada.

Aterramento Ineficiente e seus Efeitos

Em um cenário de aterramento ineficaz ou inexistente, há riscos significativos para a integridade dos sistemas. A interferência eletromagnética gerada por eventos como descargas atmosféricas e manobras de chaveamento pode acoplar-se diretamente aos cabos de controle e causar problemas graves, como:

- **Surtos de tensão:** O excesso de energia pode ser induzido nos cabos, gerando sobretensões que podem danificar equipamentos eletrônicos sensíveis.
- **Falhas de comunicação e controle:** A interferência pode comprometer os sinais de controle, levando a erros na operação de dispositivos, como relés de proteção, disjuntores e equipamentos de supervisão.
- **Queima de equipamentos eletrônicos:** Equipamentos que não são projetados para suportar essas sobretensões, como controladores e medidores, podem ser permanentemente danificados.
- **Interrupções no fornecimento de energia:** Em casos extremos, essas falhas podem levar à abertura não intencional de disjuntores, causando interrupções no fornecimento de energia e prejuízos operacionais.

Assim, o aterramento eficiente da blindagem dos cabos de controle em subestações de alta tensão é essencial para a segurança e confiabilidade de todo o sistema elétrico.

4. Impactos da Falta de Aterramento Adequado

A ausência de um aterramento eficiente pode criar uma série de problemas que impactam negativamente a operação de uma subestação. Abaixo estão descritos os principais efeitos e as técnicas de mitigação que devem ser implementadas para garantir um funcionamento seguro e eficiente.

4.1 Efeitos da Falta de Aterramento

- **Acoplamento de Interferências Eletromagnéticas:** A blindagem dos cabos de controle tem como função bloquear a penetração de campos eletromagnéticos gerados por fontes externas, como o chaveamento de grandes cargas ou a ocorrência de descargas atmosféricas. Contudo, se essa blindagem não estiver aterrada, o acoplamento desses campos pode ocorrer de forma não controlada, permitindo que as interferências eletromagnéticas sejam transmitidas aos cabos de controle, comprometendo o funcionamento de sistemas sensíveis.
- **Formação de Loops de Terra:** Quando a blindagem é aterrada de maneira inadequada, como em múltiplos pontos sem a devida consideração de correntes de equipotencialização, podem surgir loops de terra. Esses loops geram correntes parasitas na blindagem, que afetam o sinal transmitido pelo cabo de controle. Tais correntes podem induzir ruídos que resultam em falhas operacionais nos dispositivos conectados ao sistema de controle.
- **Elevação da Temperatura:** Correntes indesejadas que circulam na blindagem também podem levar à elevação da temperatura dos cabos, aumentando o risco de degradação do isolamento, o que reduz a vida útil dos cabos e aumenta o risco de falhas.
- **Ruídos e Sobretensões em Equipamentos Sensíveis:** Equipamentos de proteção e controle, como relés e dispositivos de supervisão, são extremamente sensíveis a interferências eletromagnéticas e surtos de tensão. O aterramento inadequado da blindagem dos cabos pode permitir que essas interferências atinjam os circuitos internos desses equipamentos, resultando em ruídos no sistema, falhas intermitentes e, em casos extremos, danos permanentes aos componentes eletrônicos.

4.2 Técnicas de Mitigação

Existem diversas técnicas de mitigação para evitar os problemas mencionados anteriormente. Abaixo estão algumas das práticas mais recomendadas para garantir o aterramento eficiente da blindagem dos cabos de controle:

- **Aterramento em Pontos Críticos:** Para cabos de controle longos, especialmente em subestações de alta tensão, recomenda-se o aterramento em múltiplos pontos estratégicos, de modo a minimizar as diferenças de potencial ao longo do cabo. Contudo, para evitar loops de terra, esses pontos de aterramento devem ser cuidadosamente analisados para garantir que as correntes de circulação não interfiram nos sinais de controle.
- **Supressores de Surtos:** A instalação de supressores de surtos nos cabos de controle ajuda a proteger os equipamentos de sobretensões geradas por descargas atmosféricas ou manobras de chaveamento. Esses dispositivos limitam a tensão que pode ser transmitida pelos cabos de controle, desviando a energia excedente para o solo.
- **Segregação de Cabos de Potência e Cabos de Controle:** Uma medida preventiva importante é a segregação física dos cabos de potência e dos cabos de controle. Isso minimiza o acoplamento de campos eletromagnéticos de alta intensidade (gerados pelos

cabos de potência) nos cabos de controle, garantindo que os sinais de controle permaneçam livres de interferências.

- **Monitoramento Contínuo:** Um sistema de monitoramento contínuo do aterramento deve ser implementado para garantir que a blindagem dos cabos esteja sempre devidamente aterrada e não haja formação de correntes de circulação que possam comprometer a integridade do sistema. O monitoramento também deve incluir a verificação da integridade dos cabos e supressores de surto.
- **Normas de Compatibilidade Eletromagnética (CEM):** O cumprimento das normas internacionais de compatibilidade eletromagnética, como a IEC 61000, é essencial para garantir que os sistemas estejam preparados para resistir aos níveis de interferência que podem surgir em subestações. Essas normas estabelecem os limites de imunidade e os procedimentos de teste para equipamentos instalados em ambientes sujeitos a altos níveis de interferência eletromagnética.

4.3 Benefícios do Aterramento Adequado

Quando implementado corretamente, o aterramento da blindagem dos cabos de controle oferece vários benefícios, incluindo:

- **Melhoria na Confiabilidade Operacional:** A blindagem aterrada corretamente impede que interferências externas afetem os sinais de controle, aumentando a confiabilidade do sistema de proteção e supervisão da subestação.
- **Proteção de Equipamentos Sensíveis:** Equipamentos eletrônicos de controle, medição e proteção são protegidos contra sobretensões e ruídos, evitando danos e prolongando sua vida útil.
- **Redução de Interrupções:** Com a mitigação de interferências eletromagnéticas e a redução de surtos de tensão, o sistema opera de forma mais estável, minimizando falhas que poderiam resultar em interrupções no fornecimento de energia elétrica.

5. Técnicas de Mitigação

As técnicas de mitigação visam garantir que os cabos de controle em subestações estejam adequadamente protegidos contra as interferências eletromagnéticas, que são um desafio constante em ambientes de alta tensão. A seguir, são descritas as principais abordagens utilizadas para assegurar que a blindagem dos cabos funcione de forma eficaz e que o sistema de aterramento esteja adequadamente configurado.

5.1 Aterramento Adequado da Blindagem

O aterramento eficiente da blindagem dos cabos de controle é uma das principais técnicas de mitigação das interferências eletromagnéticas. Isso inclui a escolha criteriosa entre os dois métodos de aterramento mais comuns – em ponto único e em múltiplos pontos – conforme discutido no item 3. Esses métodos devem ser selecionados com base na configuração da subestação e nos tipos de interferências eletromagnéticas esperadas.

- **Aterramento em Ponto Único:** Este método é recomendado quando as distâncias percorridas pelos cabos são curtas e a diferença de potencial ao longo da extensão do cabo é pequena. A blindagem dos cabos é aterrada em um único ponto, eliminando a possibilidade de formação de loops de terra, que podem induzir correntes parasitas. No entanto, esse método pode ser insuficiente para ambientes com altos níveis de interferência ou em cabos longos.
- **Aterramento em Múltiplos Pontos:** Usado principalmente em subestações com grandes extensões de cabos e em ambientes de alta interferência, esse método envolve o aterramento da blindagem em vários pontos ao longo do cabo. A vantagem é a maior proteção contra campos eletromagnéticos de alta intensidade, porém há o risco de correntes de circulação indesejadas. Para evitar esse problema, recomenda-se a instalação de condutores de equipotencialização para manter o potencial uniforme ao longo de todo o sistema de aterramento.

5.2 Instalação de Supressores de Surto

A instalação de **supressores de surto** nos pontos críticos dos cabos de controle é outra técnica essencial para proteger os sistemas de controle e supervisão contra sobretensões, que podem ser causadas por descargas atmosféricas ou manobras de chaveamento. Esses dispositivos têm a função de desviar correntes excessivas para o solo, impedindo que a sobretensão chegue aos equipamentos sensíveis, como relés de proteção e medidores. A escolha do supressor adequado deve levar em consideração a tensão máxima que pode ocorrer na instalação e a frequência dos surtos esperados.

5.3 Segregação Física de Cabos

Uma das técnicas mais simples e eficazes de mitigação de interferências eletromagnéticas é a **segregação física** entre cabos de potência e cabos de controle. Em subestações, onde as linhas de alta tensão coexistem com os circuitos de baixa tensão, como os cabos de controle, é crucial que esses cabos sejam instalados em trajetórias separadas e, preferencialmente, em canaletas diferentes. Isso reduz significativamente o acoplamento eletromagnético entre os cabos de alta e baixa tensão.

- **Canalização Isolada:** Os cabos de controle devem ser instalados em canaletas separadas dos cabos de potência. Além disso, essas canaletas devem ser feitas de materiais que ofereçam proteção adicional contra interferências externas, como aço galvanizado ou materiais não condutores que isolam as influências dos campos eletromagnéticos.
- **Distância Mínima Segura:** O projeto da instalação deve garantir que haja uma distância mínima entre os cabos de potência e os cabos de controle, de acordo com normas técnicas. Quanto maior a distância, menor será o acoplamento eletromagnético, reduzindo a chance de interferência nos sinais de controle.

5.4 Monitoramento Contínuo do Aterramento

O **monitoramento contínuo do aterramento** é uma técnica essencial para garantir que o sistema de blindagem e aterramento esteja funcionando de maneira eficiente ao longo do tempo. Isso inclui a verificação periódica dos pontos de aterramento e das conexões de blindagem, para evitar que falhas ou corrosão causem a interrupção do caminho de fuga para o solo. O monitoramento também deve incluir testes de continuidade elétrica e inspeções visuais regulares para identificar possíveis deteriorações nos cabos ou em componentes do sistema de aterramento.

5.5 Conformidade com Normas de Compatibilidade Eletromagnética (CEM)

As **normas de compatibilidade eletromagnética (CEM)**, como a IEC 61000, fornecem diretrizes essenciais para o projeto e a operação de subestações de alta tensão. Essas normas estabelecem os requisitos mínimos de imunidade e suportabilidade para os equipamentos que operam em ambientes de subestações. Ao seguir essas normas, as empresas garantem que seus sistemas de proteção e controle estão preparados para enfrentar os desafios impostos por interferências eletromagnéticas, surtos e transitórios.

- **Ensaios de Conformidade:** Todos os equipamentos instalados nas subestações devem passar por ensaios rigorosos de conformidade com as normas de CEM, que garantem que eles operem de forma segura e confiável nas condições de interferência esperadas.

6. Conclusão

O aterramento correto da blindagem dos cabos de controle em subestações de alta tensão desempenha um papel crítico na proteção contra interferências eletromagnéticas e outros fenômenos que podem comprometer a operação de sistemas de controle e supervisão. A ausência ou inadequação do aterramento pode resultar em falhas de comunicação, danos aos equipamentos e interrupções no fornecimento de energia elétrica, causando prejuízos financeiros e operacionais significativos.

Este relatório destacou a importância do aterramento e as diversas técnicas de mitigação disponíveis para enfrentar os desafios das interferências eletromagnéticas em subestações. A utilização de métodos de aterramento adequados, combinados com técnicas como a instalação de supressores de surto, segregação física de cabos e monitoramento contínuo do sistema, garante uma operação segura e confiável.

Além disso, a conformidade com as normas de compatibilidade eletromagnética é um aspecto crucial para garantir que os equipamentos sejam devidamente protegidos e capazes de operar em ambientes eletromagneticamente hostis, como subestações de alta tensão.

Portanto, a implementação de um sistema de aterramento eficiente é fundamental para assegurar a proteção de equipamentos sensíveis e a continuidade da operação de sistemas

elétricos de alta tensão, contribuindo para uma maior confiabilidade e segurança nas operações do setor de energia.

Com esses aprimoramentos, o relatório traz uma visão mais técnica e detalhada, enfatizando a importância do aterramento e das técnicas de mitigação em subestações de alta tensão, além de destacar como essas práticas são essenciais para a proteção dos sistemas e a operação segura das subestações.

7. Referências

- Araújo, Ricardo Luiz; Ardjomand, Leonardo Morozowski; Araújo, Artur Renato. *Compatibilidade Eletromagnética em Subestações*.
- Evangelista, Ricardo Leite. *Estudo do Ambiente Eletromagnético em Subestação de Alta Tensão*.