

Aterramento de cabos elétricos de média e alta tensão

1. Introdução

A tensão aplicada nos cabos de média e alta tensão induz em seus condutores cargas eletrostáticas, que por sua vez induzem campos elétricos que perturbam os objetos que se encontram ao redor do cabo, o que pode ser perigoso para as pessoas que trabalham na manutenção ou nos arredores da instalação. É no propósito de confinar esse campo elétrico dentro do cabo que estes contam com uma blindagem metálica, cuja função é a de acumular cargas elétricas de sinal oposto ao das cargas dos condutores, atuando de maneira análoga ao que ocorre numa gaiola de Faraday.

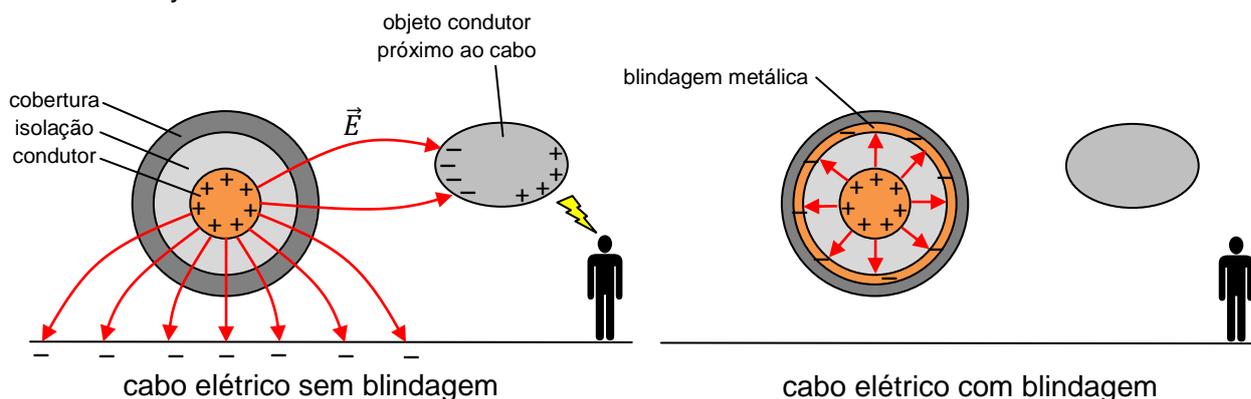


Figura 1 - a blindagem metálica acumula cargas elétricas opostas àsquelas induzidas no condutor, confinando o campo elétrico em seu interior.

É importante ressaltar que a blindagem metálica só é capaz de confinar o campo elétrico se essa for devidamente aterrada.

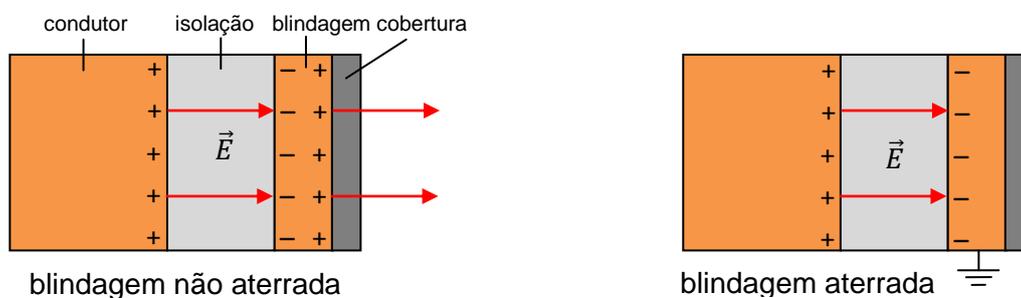


Figura 2 - as cargas que se acumulam na blindagem para compensar o campo criado pelo condutor devem vir de algum lugar. Se a blindagem for aterrada, essas cargas vem do terra, senão, elas vem da própria blindagem, induzindo outras cargas na superfície externa, que por sua vez induzirão outro campo elétrico em volta do cabo.

2. Tensões induzidas eletromagneticamente na blindagem

Como explicado na seção anterior, a função da blindagem metálica de um cabo de média ou alta tensão é confinar o campo elétrico no interior do cabo. Entretanto, ela estará sujeita também à ação do campo magnético criado pela corrente que circula nos condutores.

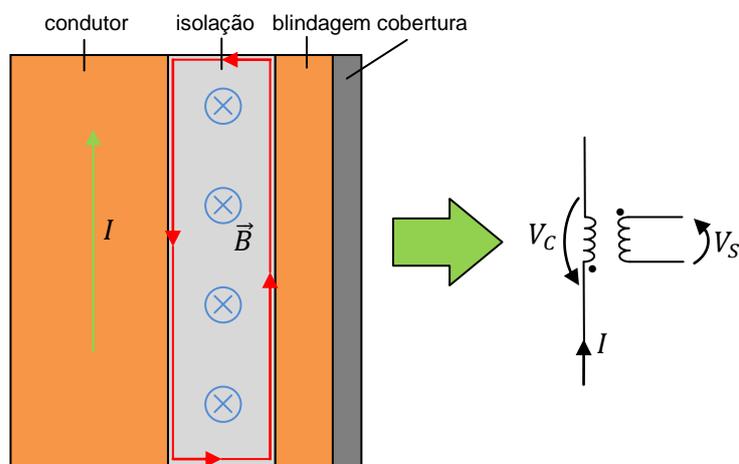


Figura 3 - A corrente variável no tempo I induz um campo magnético \vec{B} . A variação do fluxo magnético é proporcional à tensão induzida tanto nos condutores quanto na blindagem (circuito vermelho).

A figura 3 ilustra o fenômeno da indução de tensões na blindagem devido à circulação de corrente nos condutores. A corrente alternada I induz um fluxo magnético alternado na região em volta do cabo. Pela lei da indução de Faraday, um fluxo magnético variável no tempo induz uma tensão elétrica. O circuito elétrico equivalente é o de uma impedância mútua entre o circuito do condutor e o da blindagem.

3. Tipos de conexões entre a blindagem e o aterramento

Como nós vimos na introdução, a blindagem metálica do cabo deve ser aterrada em pelo menos um ponto de modo que o terra forneça as cargas necessárias à blindagem para confinar o campo elétrico.

O campo magnético gerado pelos condutores induz tensões na blindagem, da mesma maneira que o primário de um transformador induz tensões no secundário. Se uma das extremidades desse secundário é aterrada, nos resta decidir o que fazer com a outra extremidade.

Na prática, existem três técnicas de aterramento da blindagem de cabos de média e alta tensão, que são elas:

- Aterramento em um único ponto;

Essa técnica consiste em deixar em aberto o circuito da blindagem, aterrando-a somente em um ponto. Como consequência haverá uma corrente mínima circulando pela blindagem, o que reduz consideravelmente as perdas térmicas. Entretanto, a tensão induzida na extremidade em aberto pode ser, dependendo do comprimento do cabo, elevada o suficiente tanto para causar danos à isolação e cobertura quanto para por em risco a segurança daqueles que fazem a manutenção das instalações. Em condições de falta, essa tensão induzida pode atingir níveis extremamente elevados e causar danos consideráveis ao sistema. Uma solução para o problema é a instalação de limitadores de tensão de blindagem (SVL – *sheath voltage limiters*) na extremidade em aberto. Esses limitadores são resistências não-lineares que apresentam uma impedância elevada para baixas tensões e uma impedância reduzida para tensões elevadas.

Em instalações onde não é desejável uma corrente de retorno pelo terra em condições de falta (em minas de carvão, por exemplo), um condutor de continuidade do terra deve ser instalado entre o aterramento da blindagem e o aterramento dos SVL.

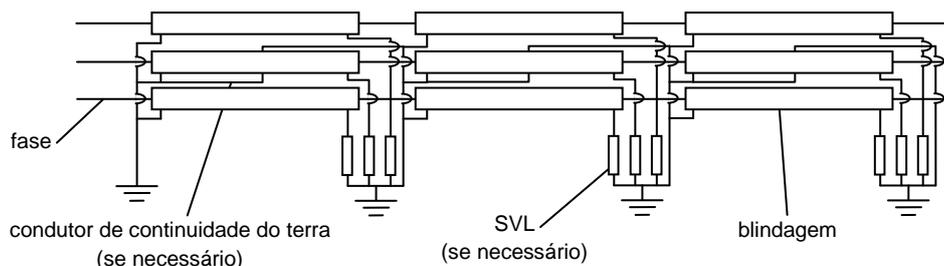


Figura 4 – Sistema trifásico com múltiplos aterramentos em um único ponto.

- Aterramento de ambas as extremidades

Outra possibilidade de conexão da blindagem consiste em aterrar suas duas extremidades. Como mencionada na seção precedente, o circuito da blindagem metálica é equivalente ao secundário de um transformador, logo aterrar as duas extremidades seria equivalente a curto-circuitar o enrolamento do secundário.

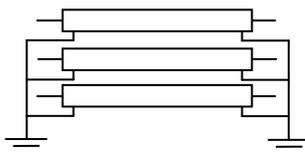


Figura 5 - Sistema trifásico aterrado em ambas as extremidades da blindagem

As correntes induzidas na blindagem nesse tipo de conexão são elevadas, que o gera perdas térmicas consideráveis e reduz a ampacidade do sistema. Entretanto nesse caso não há tensão induzidas nas extremidades, o que torna desnecessária a utilização de SVL. A blindagem também servirá de caminho para a corrente de retorno em condições de falta, não sendo mais necessária a instalação de um condutor de continuidade do terra. Vemos assim que essa conexão é a mais simples de ser implementada.

As correntes induzidas na blindagem também induzem um campo magnético, contrário ao campo que as induziu. Temos assim uma compensação entre o campo indutor e o induzido, o que reduz a interferência magnética causa pelo cabo nos circuitos em sua volta.

- Cross-bonding

A técnica mais eficaz de se aterrar a blindagem de um cabo elétrico para se limitar os valores da tensão e corrente induzidas é o cross-bonding. Esse tipo de conexão consiste na permutação regular da blindagem entre as fases do circuito. Num sistema trifásico, as tensões das três fases se anulam se somadas. Logo, se a blindagem do cabo de uma fase é conectada às blindagens dos cabos das outras duas fases, a soma das tensões induzidas será nula.

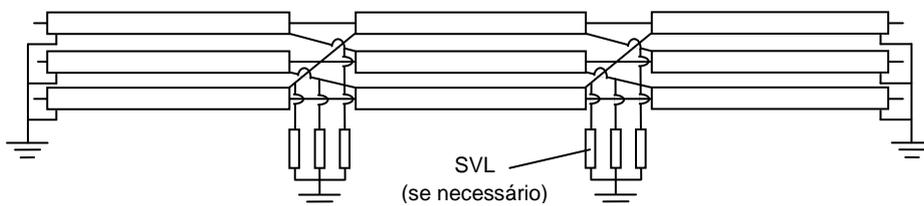


Figura 6 - Sistema trifásico com aterramento em cross-bonding

Se as blindagens dos cabos de um sistema trifásico são equivalentes aos enrolamentos do secundário de um transformador trifásico, o cross-bonding seria equivalente a uma ligação em delta dos enrolamentos, de modo que a soma das tensões seja nula.

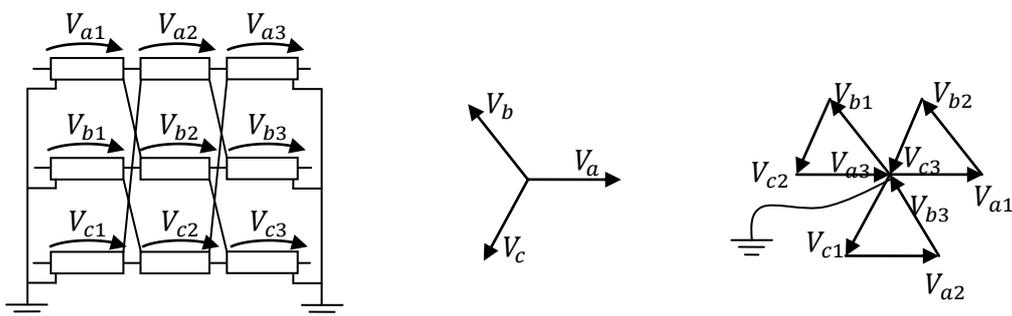


Figura 7 - As tensões induzidas na blindagem somadas se anulam numa conexão cross-bonding.

4. Acessórios

- Emenda: Acessório para efetuar a emenda dos cabos de média e alta tensão, permitindo a instalação de grandes comprimentos de linha de transmissão através da emenda de lances de cabos que possam ser transportados comercialmente.
 - Emenda reta: as blindagens dos cabos são religadas.



Figura 8 - emendas retas

- Emenda seccionada: as blindagens dos cabos são mantidas isoladas uma da outra, viabilizando a aplicação de conexões como o cross-bonding.



Figura 9 - emendas seccionadas num sistema cross-bonding. Os cabos que saem da emenda em direção ao lado direito da foto estão conectados as blindagens e são conduzidos a uma link-box.

- Link-box cross-bonding: acessório utilizado para efetuar a conexão das blindagens dos cabos de forma transposta, permitindo a instalação do sistema cross-bonding.

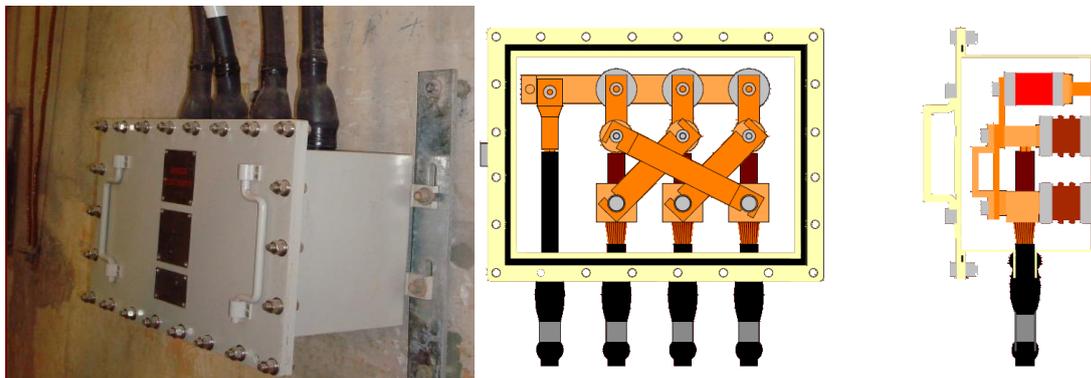


Figura 10 - link-box cross-bonding

- Link-box de aterramento: acessório utilizado para efetuar a conexão das blindagens dos cabos diretamente à malha de terra.

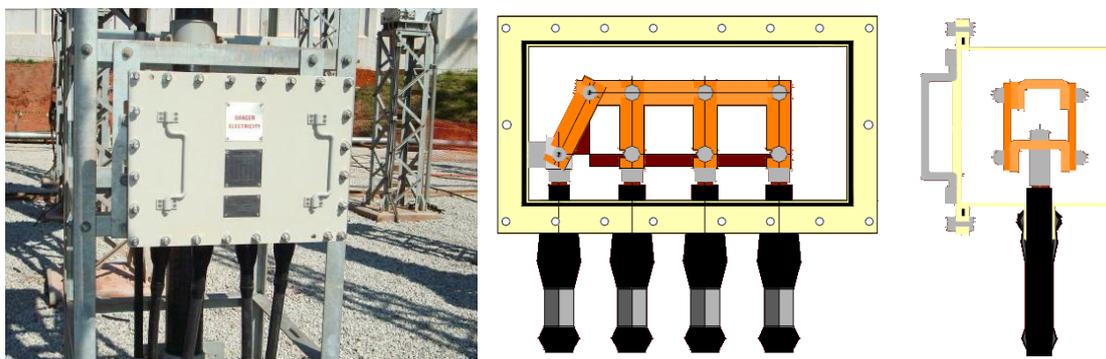
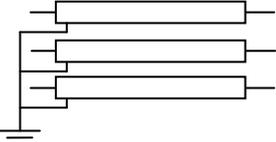
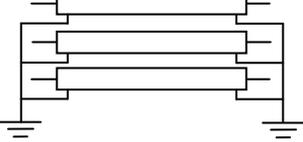
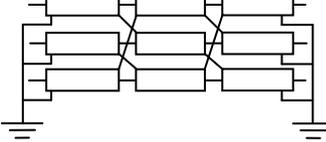
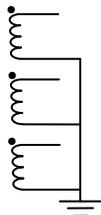
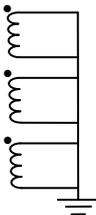
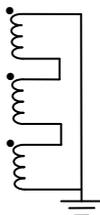


Figura 11 - link-box de aterramento

A tabela a seguir é um resumo dos principais tipos de conexões utilizados:

	Aterramento em um único ponto	Aterramento de ambas as extremidades	Cross-bonding
Configuração			
Circuito elétrico equivalente			
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Não há circulação de corrente na blindagem; • Custo reduzido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não há tensão induzida nas extremidades da blindagem, dispensando a utilização de SVL; • Interferência magnética reduzida; • Não exige condutor de continuidade do terra; • Custo mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não há circulação de corrente na blindagem; • Não há tensão induzida nas extremidades da blindagem; • Interferência magnética reduzida; • Não exige condutor de continuidade do terra.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão induzida na extremidade não aterrada da blindagem; • Exige a instalação de SVL caso a corrente de falta seja excessiva; • Exige um condutor de continuidade do terra caso a corrente de retorno pelo terra seja indesejada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circulação de uma quantidade significativa de corrente pela blindagem proporcional a carga alimentada, o que gera perdas térmicas e reduz a ampacidade do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige a instalação de SVL caso a corrente de falta seja excessiva; • Custo mais elevado e tecnicamente mais complexo de ser instalado.
Casos onde é utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • Cabos de comprimento inferior a 500 m ou lance único. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cabos de comprimento da ordem de dezenas de metros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grandes comprimentos, onde a instalação de emendas se faz necessário.

5. Referências

- [1] IEEE 575 – Guide for Application of Sheath-Bonding Methods for Single-Conductor Cables and the Calculation of Induced Voltages and Currents in Cable Sheaths. 1988.
- [2] K. HARKER – Power System Commissioning and Maintenance Practice. Institution of Engineering and Technology, 1998.