

Capítulo III

Avanços na especificação e aplicação dos resistores de aterramento do neutro dos sistemas elétricos industriais em baixa tensão

*Paulo Fernandes Costa**

Este é o terceiro artigo, de uma série de seis, sobre aterramento do neutro em sistemas elétricos industriais. O primeiro artigo tratou dos aspectos conceituais mais importantes que dizem respeito à escolha do tipo de resistor para a aplicação em questão. Foi mostrado que em sistemas elétricos industriais de baixa tensão aplica-se resistor de alto valor ôhmico, que não exige o desligamento imediato do sistema na ocorrência de uma falta à terra, enquanto, na maioria dos sistemas de média tensão, deve ser aplicado resistor de baixo valor ôhmico, que, ao contrário, exige o desligamento imediato do sistema na ocorrência da falta à terra. No segundo artigo foram discutidos os critérios de especificação dos resistores para sistemas elétricos industriais de média tensão, isto é, os resistores de baixo valor ôhmico. Neste artigo serão discutidos os critérios de especificação dos resistores de alto valor ôhmico, aplicados em sistemas elétricos de baixa tensão.

Principais vantagens da aplicação dos resistores de alto valor ôhmico

Na aplicação de resistores de alto valor ôhmico, a corrente fase terra é limitada em valores menores

que 10 A, e o sistema não é desligado imediatamente, permanecendo com o curto fase terra durante um período suficiente (recomendado máximo de 12 horas) para sua identificação e tomada de medidas auxiliares que reduzem o tempo de parada para substituição do equipamento defeituoso. A aplicação é recomendada para sistemas de baixa tensão, com aplicação bem restrita em média tensão.

As vantagens da aplicação deste sistema de aterramento do neutro podem se resumidas da seguinte forma.

- As correntes devidas aos curtos fase terra são baixas e não existem danos e estresses no sistema elétrico.
- As baixas correntes fase terra reduzem significativamente a possibilidade de choque elétrico, principalmente devido às tensões de passo e toque.
- Durante curtos fase terra, tanto o arco elétrico como a sua evolução são eliminados, evitando desta forma as consequências severas deste fenômeno, para pessoas e equipamentos.
- De forma semelhante, as sobretensões transitórias

causadas por faltas à terra são eliminadas, preservando a isolação dos equipamentos e, conseqüentemente, aumentando sua vida útil.

- A continuidade operacional do sistema durante faltas à terra é mantida, evitando-se paralisações onerosas.
- Como os afundamentos de tensão durante as faltas à terra são evitados, devido ao reduzido valor da corrente, limitada pelo resistor de alto valor ôhmico, existe uma significativa contribuição para a qualidade de energia do sistema elétrico.

Principais avanços na tecnologia e especificação dos resistores de alto valor ôhmico

Para executar as funções descritas anteriormente, a tecnologia dos resistores de alto valor ôhmico desenvolveu-se superando várias etapas importantes até atingir o nível atual, que a situa como uma das mais relevantes dentre todas aquelas aplicadas nos sistemas elétricos de baixa tensão. As principais etapas vencidas foram as seguintes:

- Dificuldades de identificar o local da falta à terra (ou equipamento no qual ocorreu a falta).

Esta dificuldade foi superada pela introdução do sistema de pulso que consiste em, após a ocorrência da falta fase terra e a constatação de sua existência pelo sistema de detecção, aumentar controladamente seu nível por curto espaço de tempo, emitindo pulsos que podem ser facilmente detectados por amperímetro portátil de pinça de grande diâmetro. A Figura 1 ilustra tal método.

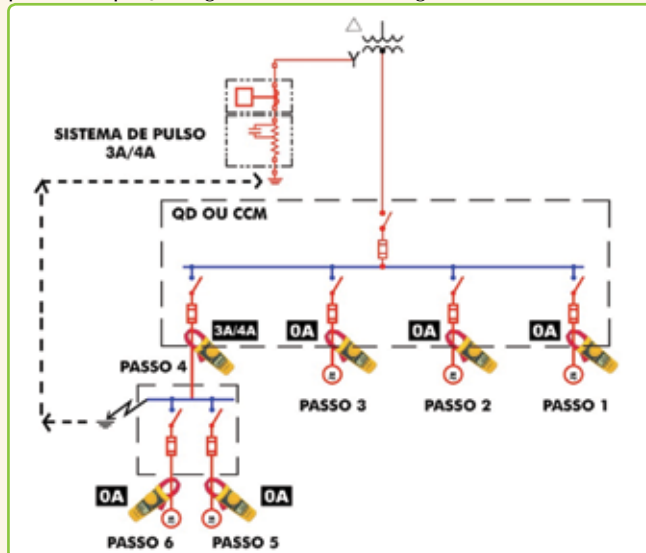


Figura 1 – Processo atual de identificação do curto fase-terra utilizando sistema de pulso e amperímetro alicate (questionado atualmente por questões de segurança NR 10).

• Atualmente são disponíveis sistemas de detecção fixos de baixo custo, instalados nos alimentadores, os quais evitam o risco do contato com os cabos isolados energizados, o que é necessário quando se utiliza o amperímetro de pinça. Evitar o risco está dentro do propósito da norma brasileira NR 10, que tem sido evocada na situação descrita, e, portanto, favorece a aplicação dos sistemas de detecção inteligentes, fixos. A Figura 2 ilustra tal sistema.

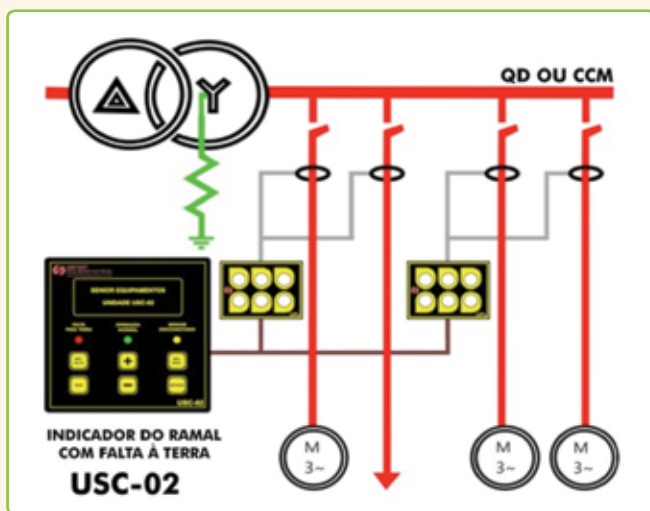


Figura 2 – Sistema inteligente de pesquisa on-line do local em que ocorre uma falta fase-terra limitada por meio de resistores de alto valor ôhmico (atende completamente a NR 10).

• Um aspecto importante, moderno, diz respeito à convivência entre os resistores de alto valor ôhmico e os acionamentos de velocidade variável (inversores) que atualmente possuem larga aplicação. Para esta situação, os resistores devem ser sobredimensionados tendo em vista a circulação de corrente permanente nos mesmos, originada pelo chaveamento dos dispositivos de controle dos inversores e deve-se efetuar a previsão de filtros com a finalidade de evitar alarmes falsos e impedir a necessidade de dessensibilizar o sistema de detecção com prejuízos para a operação do mesmo. A Figura 3 mostra a circulação destas correntes.

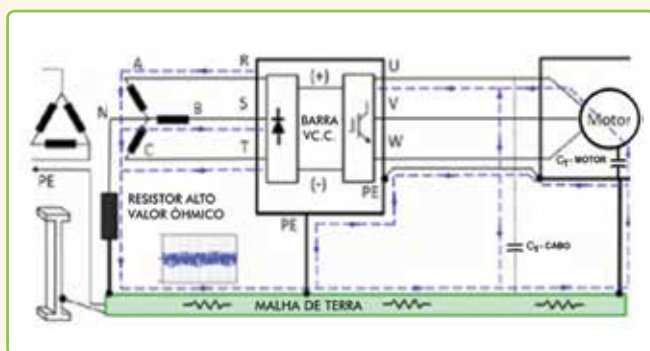


Figura 3 – Circulação de corrente permanente pelo resistor de alto valor ôhmico devido ao chaveamento dos dispositivos eletrônicos do inversor (a corrente passa pelas capacitâncias dos cabos do motor para a terra e capacitâncias do próprio motor para a terra).

• Deve-se informar também aos fornecedores dos inversores quanto à aplicação dos resistores de alto valor ôhmico para que adaptem os seus filtros de ruído com conexão à terra para sistemas com neutro isolado.

• Ainda com relação à aplicação dos resistores de alto valor ôhmico em sistemas com inversores de frequência, existe a necessidade de identificar se a falta à terra ocorre antes do inversor (sistema de 60 Hz), na barra Vc.c. do mesmo ou no lado da carga alimentada por ele (lado de tensão/frequência variável). Este recurso é altamente significativo para as equipes de manutenção e deve estar presente nos modernos equipamentos que abrigam os resistores de alto valor ôhmico. A Figura 4 ilustra os pontos anteriormente descritos.

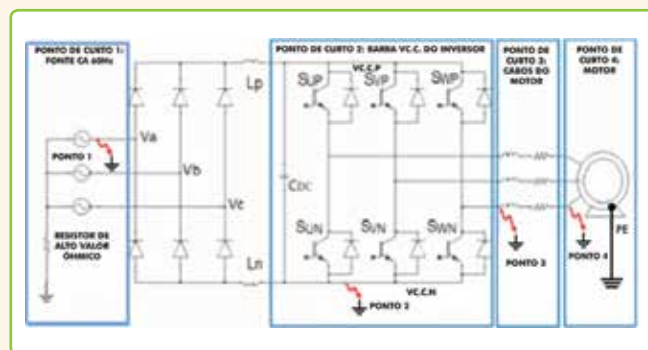


Figura 4 – Sistema elétrico com inversores – Pontos com probabilidade de ocorrer curto fase-terra.

• A verificação da continuidade do circuito neutro – resistor – terra, e não somente do resistor, recomendada para os resistores de baixo valor ôhmico aplicáveis aos sistemas de média tensão, possui a mesma importância para os resistores de alto valor ôhmico, e deve ser incorporada igualmente nestes últimos, como mostrado na Figura 5.

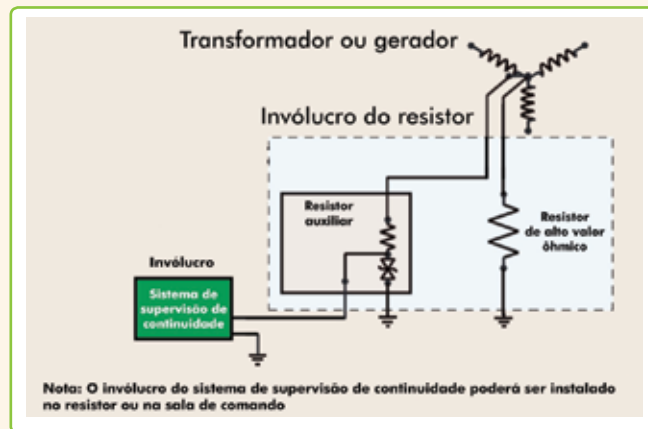


Figura 5 – Supervisão do circuito neutro-resistor-terra e não somente do resistor.

• É necessário que os resistores de alto valor ôhmico incorporem o recurso de medição da corrente capacitiva do sistema elétrico, a qualquer momento que se queira, sem que seja necessário desligá-lo. O recurso é desejável tanto para

aferir se o resistor está bem dimensionado após sua instalação, bem como para verificar se continua adequado no caso de se realizar expansões no sistema elétrico.

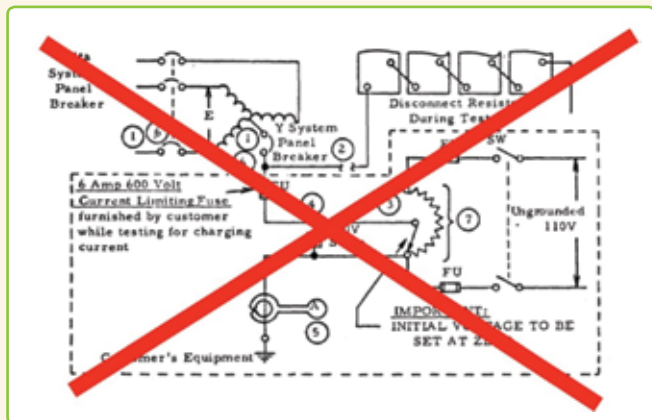


Figura 6 – Forma de medição em campo da corrente capacitiva não mais aplicável a sistemas que empregam resistor de alto valor ôhmico, pois exige desligamento do sistema. Nos novos equipamentos, a medição está incorporada no próprio resistor, com medição on-line.

- Um aspecto muito importante, e algumas vezes esquecido na aplicação de resistores de alto valor ôhmico é relativo à operação dos relés térmicos de pequenos motores trifásicos durante curtos fase terra. Esta operação ocorre devido ao acréscimo da corrente criada pelo resistor, corrente esta que se superpõe à corrente de carga do motor, e que passa pelo relé térmico da fase sob falta. De fato, na tensão de 460 V se a corrente é limitada em 3 A motores até 10 HP são desligados, e se a corrente é limitada em 5 A motores até 15 HP são desligados.
- Dessa forma, para estes motores, não é possível manter a continuidade operacional com o emprego da tecnologia em questão. Se estes motores, geralmente motores auxiliares de equipamentos importantes (ventiladores de transformadores e inversores, por exemplo) são desligados, todo o processo pode ser comprometido. Esta discussão mostra o quão importante é limitar a corrente em valores mais baixos possíveis. No entanto, esta situação pode ser contornada por uma técnica denominada “confinamento do curto fase terra”, desenvolvida pelo autor, técnica esta que desvia a corrente de falta à terra para dentro do painel do resistor, na ocorrência do curto fase terra. A técnica é mostrada na Figura 8.

A Figura 7 mostra como, se não for utilizada a técnica descrita, o relé térmico de um motor trifásico de 1 hp, 460 V, opera para um curto fase terra em uma das fases, quando o curto se localiza após o relé térmico. As correntes do motor e do curto fase terra foram adicionadas algebricamente, sem se levar em conta o ângulo de defasagem.

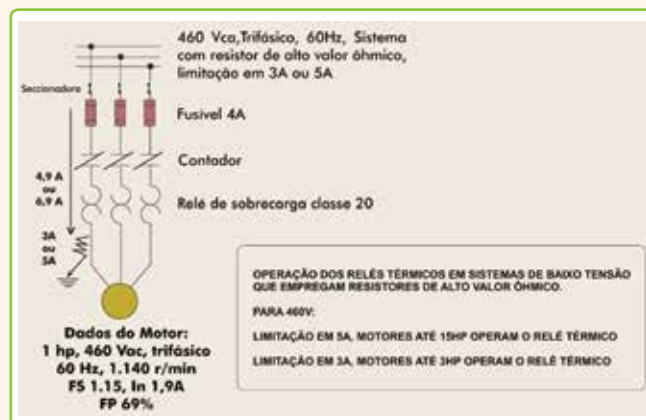


Figura 7 – Operação dos relés térmicos em sistemas de baixa tensão que empregam resistores de alto valor ôhmico.

A Figura 8 mostra o “sistema de confinamento do curto fase terra” idealizado pelo autor, em que pode ser notado que, ao ocorrer um curto de uma fase terra em um equipamento no campo, por exemplo, em um motor, é provocado instantaneamente um novo curto fase terra, na mesma fase, dentro do sistema de limitação. Como este circuito apresenta, por construção, impedância bem menor que o circuito de fase terra do curto externo, a corrente fase terra circula prioritariamente por ele.

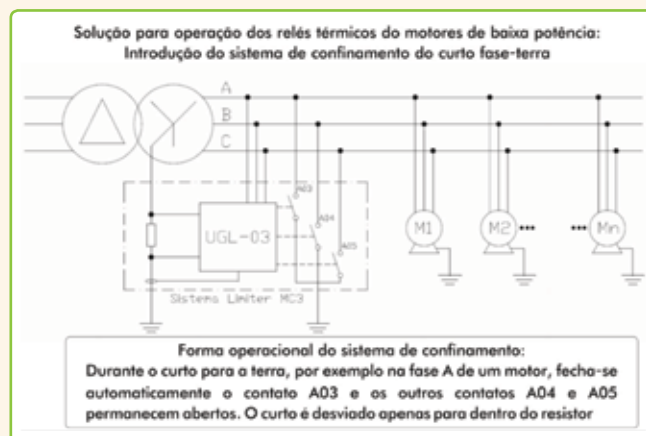


Figura 8 – Forma operacional do sistema de confinamento.

- Outra questão que deve ser levada em conta no planejamento de sistemas que empregam resistor de alto valor ôhmico é a definição das proteções de falta à terra no caso de, existindo uma primeira falta à terra limitada convenientemente, ocorrer uma segunda falta à terra em fase diferente daquela em que ocorreu a primeira, em outro alimentador. Embora esta situação seja rara de ocorrer ela deve ser considerada, uma vez que a existência de duplo curto à terra em fases e pontos diferentes do sistema caracteriza falta fase-fase pelo sistema de aterramento. Esta situação é mostrada na Figura 9, onde pode ser verificado que, na ocorrência de curtos fase terra simultâneos, em fases diferentes, a corrente não é limitada pelo resistor.

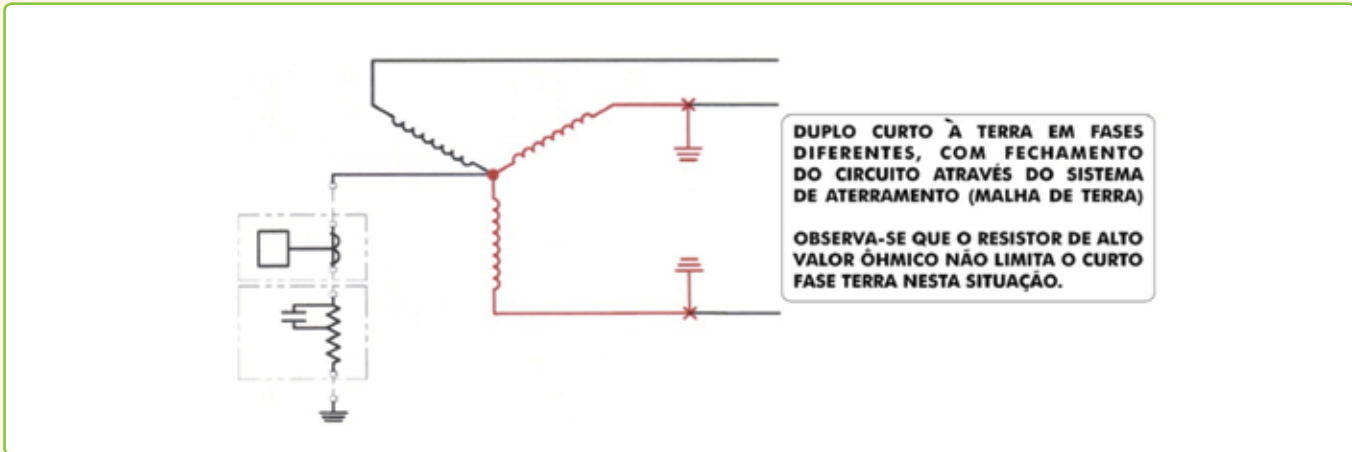


Figura 9 – Duplo curto à terra em fases diferentes.

- A solução para o inconveniente do duplo curto à terra simultâneo, em fases diferentes, consiste na instalação de conjuntos de proteção de falta à terra do tipo “ground-sensor”, formados por transformadores de corrente toroidais associados a relés de terra instantâneos, conjuntos estes que devem ser posicionados nos diversos alimentadores do sistema elétrico onde se aplica o Resistor de Alto Valor Ôhmico.
- As proteções referidas podem também ser incorporadas

nos disjuntores de baixa tensão dos ramais ou nos “disjuntores motores” empregados atualmente em larga escala nos ramais de alimentação dos motores de baixa tensão dos sistemas elétricos industriais.

- Deve ser notado que não existe necessidade de prover seletividade neste tipo de proteção, pois o duplo curto à terra sempre envolverá dois circuitos que devem ser desligados instantaneamente.

Resumo dos principais aspectos para especificação dos resistores de alto valor ôhmico

Tendo em vista o item anterior podemos resumir da seguinte forma os principais aspectos de especificação dos resistores de alto valor ôhmico avançados:

- O valor do resistor deve ser padronizado no menor valor que atende aos critérios de dimensionamento estabelecidos para eliminar as sobretensões transitórias e garanta expansão do sistema elétrico. Em geral, o valor de 3 A é suficiente para a maioria dos sistemas de baixa tensão (ver capítulo 1 deste fascículo).
- Devem-se evitar tapes (derivações) nos resistores, a fim de torná-los mais simples e baratos.
- Deve-se efetuar a pesquisa do local da falta fase terra através de sistema de pesquisa inteligente “on-line”, em atendimento à NR 10. O sistema de pesquisa por meio de pulsos e amperímetro alicate pode ficar como reserva eventual.
- Os filtros de ruído dos inversores de frequência da planta devem ser próprios para aplicação em sistemas com neutro isolado.
- O sistema de monitoramento do Resistor de Alto Valor Ôhmico deve apresentar meios de identificação do local da falta fase terra nos inversores de frequência (antes do inversor, barra V.c.c. ou no lado de carga).
- O sistema de monitoramento do Resistor de Alto Valor Ôhmico deve apresentar meios para supervisionar a continuidade do circuito neutro – resistor – terra, e não somente do resistor.
- O sistema de monitoramento do Resistor de Alto Valor Ôhmico deve apresentar meios para medição da corrente capacitiva a qualquer momento que seja desejado sem necessidade de desligar o sistema elétrico.
- O sistema de monitoramento do Resistor de Alto Valor Ôhmico deve apresentar meios para evitar o desligamento dos motores de pequena potência pela corrente do resistor.
- O resistor de alto valor ôhmico deve ser sobredimensionado quando existem inversores de frequência nos sistemas de baixa tensão.
- O sistema elétrico de baixa tensão deve ser planejado de tal forma que, se durante a permanência de uma primeira

falta fase terra convenientemente limitada, ocorrer uma eventual segunda falta à terra, em fase e alimentador diferentes do primeiro curto, os dois alimentadores sejam desligados instantaneamente pelo sistema de proteção fase terra especialmente projetado para esta situação.

Conclusão

Neste artigo, que é o terceiro de uma série de seis, foram apresentadas as mais recentes inovações introduzidas na tecnologia dos resistores de alto valor ôhmico, tecnologia esta empregada largamente nos sistemas de baixa tensão. Observa-se que as inovações apresentadas já estão ou deverão estar presentes nos melhores fornecedores do mercado. O autor se sente feliz por divulgar e contribuir para o desenvolvimento desta importante tecnologia de aterramento do neutro aqui discutida.

Referências

- [1] COSTA, P. F. “Capítulo I – Aspectos importantes da escolha do tipo de resistor de aterramento do neutro nos sistemas elétricos industriais” Revista O Setor Elétrico, jul. 2014.
- [2] Catálogos Técnicos Limitador de Corrente de Falta à Terra com Alta Tecnologia via Resistores de Alto Valor Ôhmico em BT – Sistema Limiter Geração MC3 e Limitador de Corrente de Falta à Terra Tradicional via Resistores de Alto Valor Ôhmico em BT Sistema Limiter Geração MC4. Disponível em: <<http://www.seniorequipamentos.com.br>>.
- [3] COSTA, P. F.; BOREL, J. E. V.; NASCIMENTO, M. T. A. “Inovações tecnológicas no aterramento do neutro através de resistores em sistemas elétricos industriais BT e MT”, V IEEE PCIC BR-2014 (26/27-08-2014, RJ).

*PAULO FERNANDES COSTA é Engenheiro Eletricista e Msc pela Universidade Federal de Minas Gerais, professor aposentado dos cursos de engenharia elétrica da UFMG e CEFET-MG e diretor da Senior Engenharia e Serviços LTDA, Belo Horizonte-MG. É palestrante e autor de vários artigos na área de aterramento, proteção, segurança, qualidade de energia e sistemas elétricos industriais em geral. Atua como consultor, bem como na área de desenvolvimento tecnológico, com experiência de mais de 40 anos. E-mail: pcosta@seniorenharia.com.br.

Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail redacao@atitudeeditorial.com.br