

Por Diogo de Souza Prado, Diogo Biasuz Dahlke, Luis A. Gamboa, Pedro Biasuz Block, Daniel dos Anjos Martins, Fernando Avelar Filho e Lucas Santos Borges*

Capítulo VIII

Compatibilidade eletromagnética no setor industrial

A expressão Compatibilidade Eletromagnética (EMC) pode ser definida como a capacidade de equipamentos ou dispositivos eletroeletrônicos funcionarem de maneira satisfatória em seus meios, sem ocasionar ou sofrer interferências eletromagnéticas. A ocorrência de interferências eletromagnéticas (EMI) está diretamente relacionada com a EMC. Problemas de EMI dependem de três situações conjuntas. Deve existir uma fonte responsável pela geração da perturbação eletromagnética, um trajeto por onde as perturbações são propagadas e um receptor. O receptor pode ser um dispositivo ou equipamento sensível à perturbação eletromagnética, que pode ocorrer por meio de condução, radiação, ou acoplamentos capacitivos e indutivos. Conforme suas características, o receptor será suscetível ou não aos efeitos ocasionados pelos sinais da fonte.

EMIÇÃO E IMUNIDADE

Os testes de EMC podem ser divididos em dois principais grupos: testes de emissão e testes de imunidade. Testes de emissão têm como objetivo principal verificar o quanto um determinado equipamento emite perturbações eletromagnéticas. As perturbações ocasionadas podem estar presentes na forma conduzida ou radiada.

A interferência conduzida ocorre através do meio que transporta o sinal (condutores), enquanto a interferência radiada se propaga pelo ar.

Testes de imunidade são realizados para verificar a susceptibilidade de um determinado produto quando exposto a perturbações eletromagnéticas. As perturbações ocasionadas estão diretamente ligadas ao tipo de acoplamento utilizado, como imunidade a campos eletromagnéticos radiados, imunidade a perturbações na entrada de alimentação, imunidade a perturbações conduzidas e imunidade a descargas eletrostáticas.

Ensaio de emissão e ensaio de imunidade possuem limites estabelecidos por normas a fim de preservar a integridade e segurança de equipamentos, sistemas e pessoas.

PRINCIPAIS NORMAS EMC

Entre as normas de compatibilidade eletromagnética destacam-se as da IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) e do CISPR (Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas). As normas publicadas pela CISPR são diretamente relacionadas a interferências conduzidas e radiadas. As principais normas pertencentes à série IEC 61000 apresentam as seguintes informações:

- (61000-1) – Generalidades, definições, terminologia e considerações gerais;
- (61000-2) – Ambiente onde os equipamentos deverão ser instalados;
- (61000-3) – Limites e níveis de perturbações eletromagnéticas;
- (61000-4) – Execução de ensaios e medidas;
- (61000-5) – Instalação e atenuação;
- (61000-6) – Normas gerais e produto.

Dentre as normas pertencentes ao subgrupo IEC 61000-4, vale a pena destacar as seguintes:

- 1. IEC 61000-4-2 – Teste de imunidade a descargas eletrostáticas;
- 2. IEC 61000-4-3 – Teste de Imunidade a perturbações radiadas, induzidas por campos de radiofrequência;
- 3. IEC 61000-4-4 – Teste de imunidade a transientes elétricos rápidos;
- 4. IEC 61000-4-5 – Teste de imunidade a impulso combinado;
- 5. IEC 61000-4-11 – Teste de Imunidade a quedas, variações e interrupções rápidas de tensão.

ENSAIOS EMC

Imunidade a descargas eletrostáticas

O ensaio de imunidade a descargas eletrostáticas (ESD), conforme a norma

IEC 61000-4-2, tem como objetivo avaliar o desempenho de equipamentos elétricos submetidos a descargas eletrostáticas (descarga inesperada de eletricidade estática), seja por aplicações diretas (por contato e pelo ar) ou por aplicações de descargas indiretas (via plano de acoplamento vertical e via plano de acoplamento horizontal).

A Figura 1 ao lado mostra o setup utilizado na realização dos ensaios.

Para os ensaios de descarga direta por contato, as aplicações das descargas são realizadas nas superfícies condutoras do equipamento. Para as aplicações de descargas diretas pelo ar, as aplicações são realizadas aproximando o gerador de descarga eletrostática à superfície isolante. Para as aplicações indiretas via plano de acoplamento vertical, as aplicações são efetuadas paralelamente à chapa de alumínio que está na orientação vertical, presa por um material não condutor, por meio do eletrodo de descarga por contato.

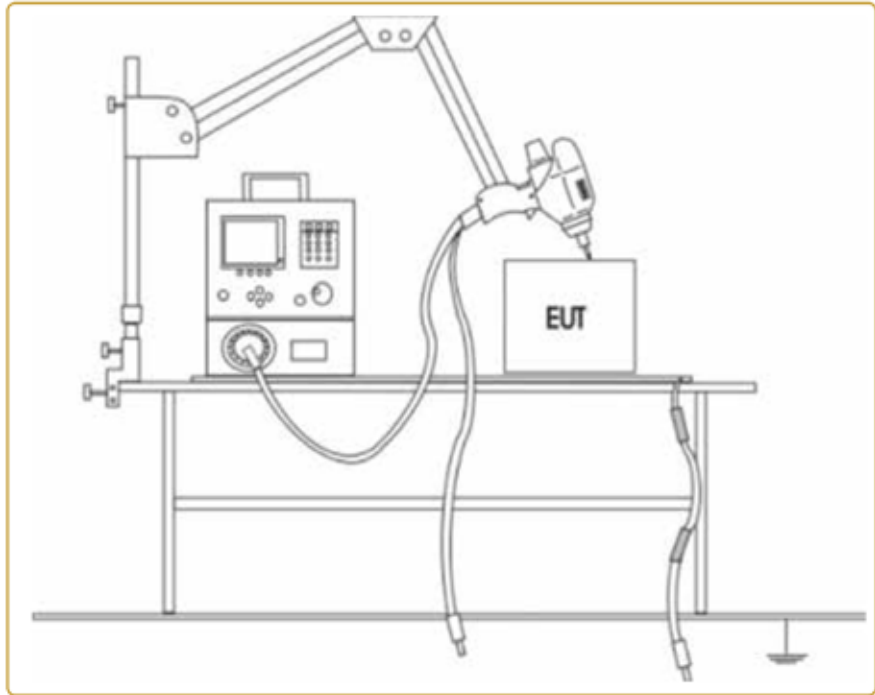


Figura 1 – Setup – Ensaio de descarga eletrostática.

Para as aplicações indiretas via plano de acoplamento horizontal, as aplicações são efetuadas paralelamente à chapa de alumínio que se encontra na orientação horizontal fixada na mesa, por meio do

eletrodo de descarga por contato. O ensaio é realizado aplicando-se polarizações positiva e negativa.

A execução do ensaio utiliza uma tabela de níveis de severidade, que define os níveis

de aplicação. Os níveis de severidade vão de 1 a 4, sendo o nível 1 realizado com 2 kV para aplicações por contato e pelo ar. O nível mais elevado (nível 4) define aplicações com 8 kV para aplicações por contato e 15 kV para aplicações pelo ar.

A Figura 2 apresenta a forma de onda para as descargas eletrostáticas.

Imunidade a quedas, variações e interrupções rápidas de tensão

O ensaio de imunidade a quedas, variações e interrupções rápidas de tensão atende à norma IEC 61000-4-11. Esta norma tem o objetivo de estabelecer uma referência comum para avaliar a imunidade de equipamentos eletroeletrônicos conectados a redes de alimentação de baixa tensão, quando estes são submetidos a quedas de tensão, interrupções curtas e variação de tensão. Este modelo é aplicado a equipamentos que apresentam corrente nominal inferior a 16 A por fase, para conexões de redes de 50 Hz ou 60 Hz.

Para a realização deste ensaio, o equipamento deve ser testado com uma sequência de três quedas/interrupções com um intervalo mínimo de 10 s entre elas. Para interrupções rápidas, a posição defasagem angular deve ser definida. Caso contrário, a recomendação é utilizar 0°.

Para o ensaio referente à variação de tensão, o equipamento é testado para cada variação de tensão especificada, realizada três vezes dentro de um intervalo de 10 s.

Para a correta sequência do ensaio, a tabela com os níveis de severidade que deve ser utilizada como referência. Os níveis de severidade vão de 1 a 4, com afundamentos de 20% até 100% da amplitude, e interrupções de 0,5 até 300 ciclos, conforme condições descritas na norma.

Teste de imunidade a transientes elétricos rápidos

Transientes elétricos rápidos (burst) podem ser causados por acionamentos e chaveamentos de equipamentos, como: relés, disjuntores, motores, inversores de frequência, operação de manobra na rede

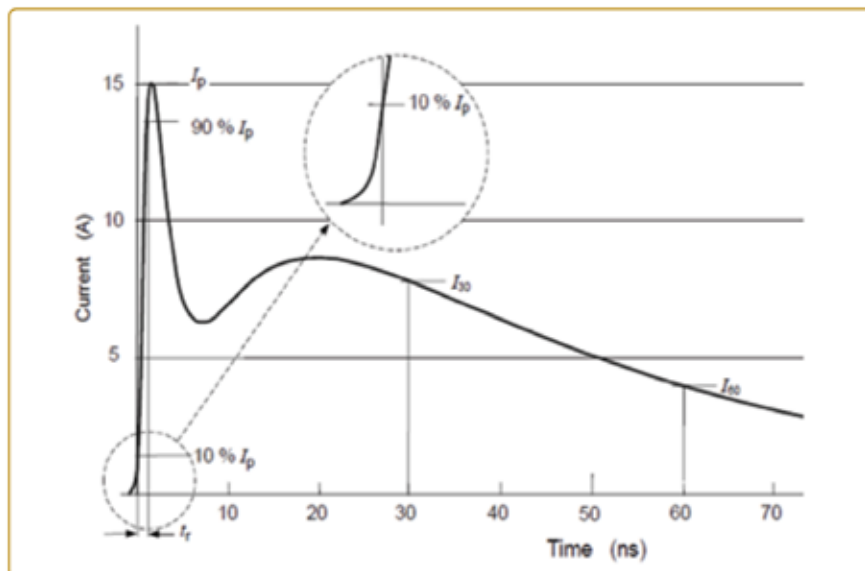


Figura 2 – Forma de onda – Ensaio de descargas eletrostáticas.

de transmissão, entre outras situações. Devido às consequências em equipamentos e demais produtos ligados à mesma rede, há necessidade de testar a suportabilidade do produto perante estas perturbações.

O ensaio de imunidade a transientes elétricos rápidos (sequência de um número limitado de pulsos distintos ou uma oscilação de duração limitada), realizado conforme a norma IEC 61000-4-4, consiste na aplicação repetitiva de transientes elétricos rápidos no objeto de teste. A aplicação é realizada durante o período de um minuto com polaridade positiva e negativa em cada combinação da entrada de alimentação do produto e, conforme suas

características, também pode ser realizada nas entradas de sinais.

Para a realização dos testes utiliza-se uma tabela com níveis de severidade, que vão de 1 a 4, sendo o nível 1 realizado com 0,5 kV para portas de alimentação e plano de terra, e 0,25 kV para entradas de sinal e controle, enquanto o nível mais elevado (nível 4), com aplicações de 4 kV para as portas de alimentação e plano de terra, e 2 kV para entradas de sinal. Para todos os níveis de aplicação, a frequência de repetição corresponde a 5 kHz ou 100 kHz. A Figura 3 demonstra as características de um pulso e do seu respectivo trem de pulsos.

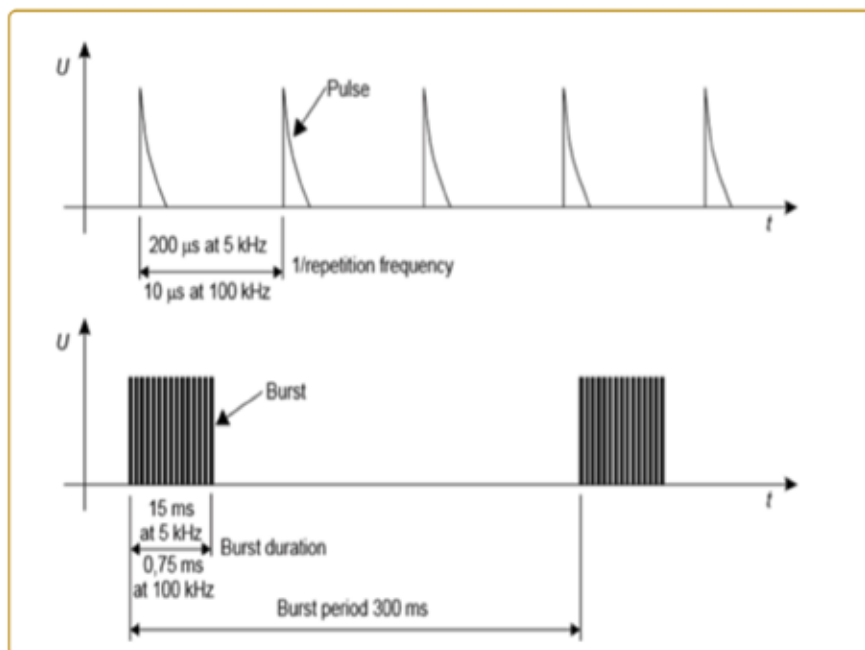


Figura 3 – Forma de onda. Ensaio de transientes elétricos rápidos.

Ensaio de imunidade ao impulso combinado

As descargas atmosféricas são descargas elétricas que ocorrem entre nuvens carregadas e o solo, possuem elevada energia e são responsáveis pela propagação de surtos de tensão e surtos de corrente na rede elétrica. Os surtos ocasionados são conduzidos pela rede elétrica, podendo chegar diretamente à entrada de alimentação de equipamentos eletroeletrônicos. O ensaio de imunidade ao impulso combinado, conforme a norma IEC 61000-4-5, é realizado para verificar a imunidade de equipamentos perante a ocorrência de descargas atmosféricas. O teste consiste na aplicação de impulso combinado de tensão e corrente. O ensaio é realizado aplicando 5 impulsos com polaridade positiva e 5 impulsos com polaridade negativa sincronizados com a rede de alimentação e intervalos pré-definidos de no mínimo 60 segundos.

Para o correto procedimento do ensaio, uma tabela com os níveis de severidade é utilizada como referência. Os níveis de severidade vão de 1 a 4. No nível 1 aplica-se 0,5 kV entre fase e terra. No nível mais elevado (nível 4), aplicam-se 4 kV entre fase e terra e 2 kV entre fases.

O formato de onda de tensão para as aplicações é de 1,2/50 μ s para circuitos abertos e 8/20 μ s para circuitos fechados. As Figuras 4 e 5 apresentam as formas de onda mencionadas.

CASOS ILUSTRATIVOS

Caso 1 – Problema típico de VTCD

No setor industrial existem tecnologias de equipamentos cujo funcionamento pode ser afetado por variações de tensão de curta duração – VTCDs. Este é um tema de grande relevância, pois, a simples parada de um equipamento pode acarretar em prejuízos de elevado valor financeiro, como perdas de produção e danos em equipamentos, entre outros.

O termo VTCD, tratado na IEC 61000-4-11, engloba distúrbios na rede de energia

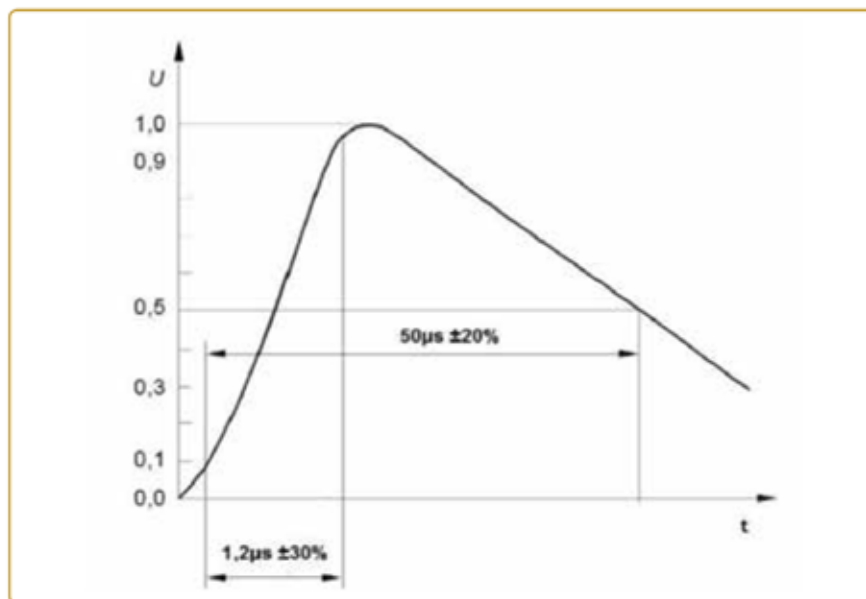


Figura 4 – Forma de onda. Circuito aberto.

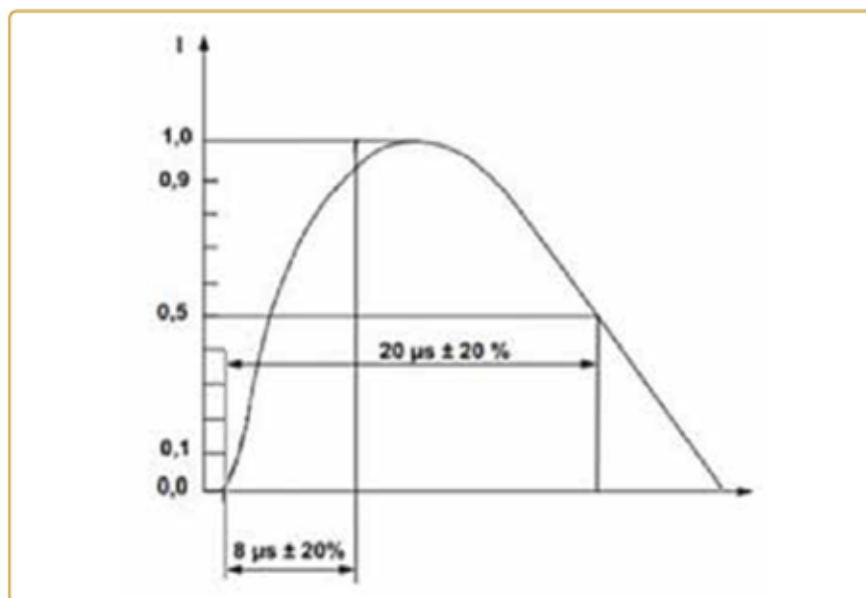


Figura 5 – Forma de onda. Circuito fechado.

elétrica, cuja duração esteja entre um ciclo de 60 Hz e um minuto. Porém, nem sempre os ensaios laboratoriais normatizados podem abranger as solicitações mais severas de um equipamento, especialmente em máquinas de grande porte e instalações mais complexas.

Os distúrbios podem ter origem diversificada e a real causa pode exigir uma investigação minuciosa, por meio de analisadores de energia com capacidade para registrar os eventos e o levantamento de características externas para estudar prováveis correlações. Em determinadas situações, as características de operação da indústria podem ser as responsáveis pelos distúrbios gerados. Em outras situações,

as características da operação do sistema elétrico, tais como manobras de rede ou energização de equipamentos, podem afetar a instalação. Falhas de equipamentos no sistema e influências ambientais, como curtos-circuitos devido à vegetação alta ou descargas atmosféricas, podem ter relação com determinados eventos.

Recentemente, em consultorias prestadas pelos Institutos Lactec para o setor industrial foi possível identificar o impacto causado principalmente devido à frequente ocorrência de afundamentos na tensão.

Em uma indústria de grande porte com uma grande quantidade de processos automatizados foram verificados dois pontos

principais de grande fragilidade, que eram diretamente afetados por afundamentos de tensão. O primeiro deles referia-se à sensibilidade da alimentação do sistema de CLPs. Conforme a amplitude e a duração dos eventos, ocorria o reinício ou o desligamento do software de controle, que, dependendo do instante do processo produtivo, chegava a demandar períodos superiores a uma hora para a reinicialização do sistema, causando prejuízos significativos.

Já no sistema matriz desta indústria eram registrados desligamentos e avarias diversas como a quebra de rolamentos de equipamentos.

Em sistemas matrizes, os afundamentos podem gerar perda da magnetização do motor e conseqüentemente redução da velocidade e torque. No reestabelecimento da tensão, os impactos podem ter severidade variada dependendo da duração, das características do motor, de sua condição de carregamento, entre outros fatores.

Nos sistemas acionados por meio

de inversores de frequência, os diodos retificadores poderão não conduzir se o pico da tensão cair abaixo da tensão do barramento. Se o inversor estiver controlando uma carga, a energia será drenada pelos capacitores, o que reduzirá a tensão do barramento. Se a tensão CC

do barramento cair até o ponto de trip antes da tensão retornar, então, o circuito de controle irá responder tipicamente com o desligamento do inversor. A Figura 6 apresenta alguns afundamentos típicos registrados durante a campanha de medição realizada.

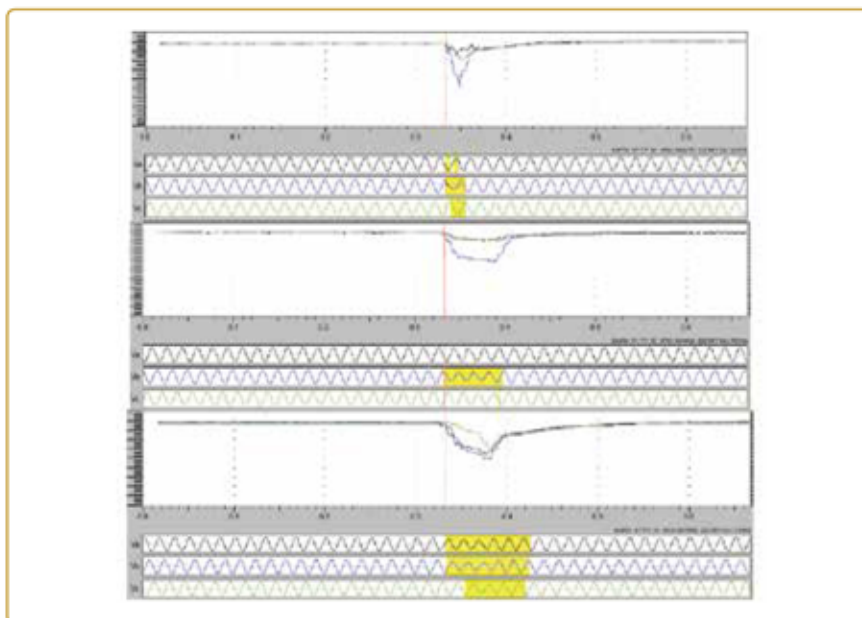


Figura 6 – Exemplos de registro de VTCDs.

No estudo em questão, para mitigação dos danos observados foi recomendada a possibilidade de investimento em sistemas UPS para alimentação ininterrupta dos sistemas de controle.

Em relação aos sistemas motrizes, pode surgir a necessidade de uma análise minuciosa. Para tanto é necessário o levantamento de informações, conhecimento sobre o processo, assim como acompanhamento do fabricante, que poderá oferecer soluções específicas para mitigação do problema, como filtros ou ajustes em parâmetros do inversor.

Caso 2

Num estudo recente realizado pelos Institutos Lactec foi investigado o funcionamento anormal de equipamentos laboratoriais de uma indústria que são responsáveis por aferir a qualidade dos produtos produzidos. Durante a investigação realizada foram detectados diversos fatores que contribuíam com a instabilidade das leituras durante os ensaios. Em alguns casos esta situação provocava paradas

repentinas no processo de medição e consequentemente perda da amostra e dados dos ensaios.

Durante o reconhecimento do local foi verificada a tentativa de mitigação do problema por parte da empresa, sem sucesso até então. Dentre as tentativas adotadas pela empresa, uma foi através de uma UPS para alimentação do equipamento sensível. O equipamento de ensaio era sensível e demandava uma grande corrente, que, por sua vez, era aplicada à amostra sob ensaio para desencadear a reação química necessária e analisar os componentes gasosos gerados. Ocorria que em um primeiro momento, pela falta de espaço no laboratório, a UPS foi instalada muito afastada do equipamento, o que prejudicava o fornecimento do nível correto de tensão nominal de entrada do equipamento devido à queda de tensão no circuito. Os manuais do equipamento mostraram sua alta vulnerabilidade à tensão de entrada devido à precisão exigida no controle da corrente injetada no ensaio. Devido a esta sensibilidade, o ajuste fino é conseguido através do tap

do transformador de entrada a cada 5 V. Porém, mesmo com o posicionamento da UPS, não foi verificada a extinção de todas as anormalidades.

O monitoramento do fornecimento de energia através de analisadores e osciloscópios também revelou uma série de eventos, dentre eles, muitas perturbações em relação ao neutro devido à característica não linear da carga do setor produtivo da indústria, que afetava o fornecimento da energia do laboratório.

A inclusão de um transformador isolador na alimentação do circuito da carga sensível, assim como as correções de problemas identificados na filosofia de aterramento, tais como loops de aterramento, permitiram sanar as anormalidades detectadas.

Caso 3

Existem diversas técnicas de atenuação de campos magnéticos para mitigar efeitos danosos em instrumentos sensíveis. Quando a fonte é de frequência industrial, as técnicas de blindagem podem ser onerosas e de difícil execução,

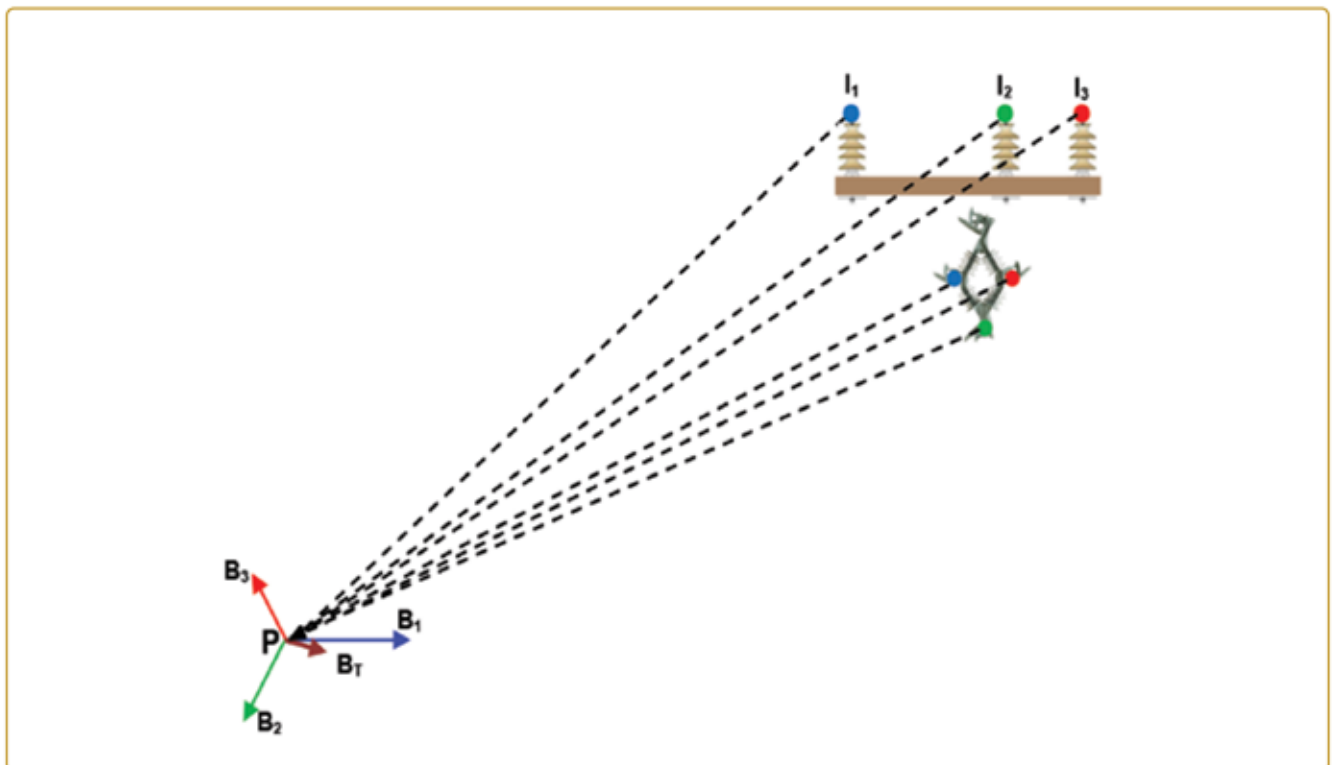


Figura 7 – Distâncias entre as fases e o ponto P (alvo) de LD convencional vs LD compacta de 13,8 kV (linha tracejada).

especialmente se o instrumento sensível é de grande porte. Além disso, a escolha dos materiais de alta permeabilidade para o projeto de uma blindagem eficiente pode precisar de uma permeabilidade inicial (para campos de baixa intensidade) também elevada. Isto é particularmente importante quando o campo que afeta o instrumento sensível é moderado ou baixo, como o gerado por LDs a distâncias de dezenas de metros, que estão na faixa de dezenas de nT até algumas dezenas de μT .

Em certos casos, como o de uma sala do Lactec, em que foi instalado um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), com capacidade de ampliação de 500.000 vezes, o campo magnético de fundo limitaria sua operação correta, segundo o fabricante, a, no máximo, 200.000 vezes.

Medições de campos de 60 Hz indicaram que a principal fonte geradora era um alimentador aéreo de 13,8 kV, rede

convencional, próximo. Ver Figura 7.

O campo magnético total distante, BT, resultante de uma LD convencional (com fases afastadas entre si de 0,6, 1,2 e 1,8 m) é maior que o gerado com as fases próximas de uma LD compacta (com fases afastadas entre si por $\sim 0,2$ m). Os cálculos mostraram que ao se mudar a rede convencional para compacta, o campo gerado por uma corrente típica de 200 A, até a posição do MEV, seria atenuado várias vezes: de 0,23 uT para 0,025 uT, ou seja, em torno de 95%.

Esta mudança foi efetuada pela concessionária e os resultados foram satisfatórios, permitindo usar a capacidade plena do MEV.

"DANIEL DOS ANJOS MARTINS é engenheiro mecânico, coordenador do laboratório de compatibilidade eletromagnética nos Institutos Lactec, em Curitiba, PR.

DIOGO DE SOUZA PRADO atua como técnico electricista nos Institutos Lactec

no laboratório de compatibilidade eletromagnética, em Curitiba, PR.

FERNANDO AVELAR FILHO atua como estagiário nos Institutos Lactec no laboratório de compatibilidade eletromagnética, em Curitiba, PR.

LUCAS ALBERTO SANTOS BORGES atua como estagiário nos Institutos Lactec no laboratório de compatibilidade eletromagnética, em Curitiba, PR.

DIOGO BIASUZ DAHLKE é pesquisador do Institutos Lactec na área de sistemas de aterramentos, em Curitiba, PR.

LUIS A. GAMBOA é pesquisador da R. Aguiar Treinamentos e Energia Ltda e realiza pesquisas e treinamentos na área de sistemas de aterramento, em parceria com o Institutos Lactec, em Curitiba, PR.

PEDRO BLOCK é pesquisador do Institutos Lactec na área de qualidade de energia, em Curitiba, PR.

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osetoreletrico.com.br

Dúvidas, sugestões e outros comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br