

Consequências das variações de campos eletromagnéticos em equipamentos industriais rotativos

Consequences of variations in electromagnetic fields in rotating industrial equipment

Hercules de Souza⁽¹⁾

RESUMO

Os efeitos da indução eletromagnética em equipamentos industriais rotativos seja ela causada pelo campo geomagnético local ou por variações de campos magnéticos oriundas das instalações onde o equipamento industrial se encontra instalado podem causar sérias consequências para o desgaste desse equipamento. Sendo assim esse artigo tem por objetivo descrever inicialmente a fundamentação teórica sobre indução eletromagnética, em seguida descrever as técnicas e tratamentos magnéticos adequados para cada situação e enfatizar a importância de se estudar as causas dessa magnetização para que novas magnetizações não ocorram gerando trabalhos periódicos e repetitivos. Por fim enfatizar a importância das manutenções preventivas com ênfase nessa área do conhecimento ao invés da correção realizada depois que o problema já ocorreu.

Palavras Chaves: Campos magnéticos; Magnetização; Tratamentos magnéticos.

ABSTRACT

The effects of electromagnetic induction in rotating industrial equipment, whether caused by the local geomagnetic field or by variations in magnetic fields arising from the facilities where the industrial equipment is installed, can cause serious consequences for the wear of this equipment. Therefore, this article aims to initially describe the theoretical foundation on electromagnetic induction, then describe the techniques and magnetic treatments appropriate for each situation and emphasize the importance of studying the causes of this magnetization so that new magnetizations do not occur, generating periodic and repetitive work. Finally, emphasize the importance of preventive maintenance with an emphasis on this area of knowledge instead of the correction performed after the problem has already occurred.

Keywords: Magnetic fields; Magnetization; Magnetic treatments.

(1) Bacharel em Física, Universidade Estadual de Campinas, Doutor e Mestre em Geofísica, Universidade Federal da Bahia, hercules@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Na atividade industrial, os campos eletromagnéticos, sejam eles naturais ou produzidos artificialmente, podem trazer sérias complicações para vários equipamentos e dispositivos. Esses problemas podem interferir tanto nos próprios equipamentos geradores do campo eletromagnético como em equipamentos que estejam em suas proximidades.

Normalmente a percepção de que o problema apresentado pelo equipamento é eletromagnético é tardia, implicando em custos muito mais elevados para a sua correção.

O que se percebe também é que é dada muita importância no tratamento do efeito desprezando-se, muitas vezes, a fonte causadora do campo eletromagnético incidente, ou seja, deixa-se de se considerar a causa da existência das fontes eletromagnéticas na planta industrial onde está inserido o equipamento.

Esse trabalho pretende inicialmente expor alguns aspectos teóricos relacionados à teoria eletromagnética. Em seguida será feita uma análise das causas da magnetização e os efeitos eletromagnéticos em máquinas rotativas, quais são os possíveis tratamentos que podem ser aplicados e finalmente as conclusões do trabalho.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os efeitos dos campos eletromagnéticos são conhecidos desde épocas remotas, os gregos, por volta de 700 a.C., já observaram fenômenos elétricos ao friccionar um pedaço de âmbar o qual atraía pedaços de palha ou penas. O fenômeno do magnetismo também já era conhecido pelos gregos em aproximadamente 800 a.C., a partir de observações de que uma pedra natural denominada magnetita (Fe_3O_4) atraía pedaços de ferro.

Apesar desse conhecimento remoto, praticamente até o princípio do século dezanove esse conhecimento restringiu-se a ser utilizado para a navegação, até que em 1820 um professor de física dinamarquês chamado Hans Christian Oersted, observou a relação entre corrente elétrica e campo magnético. Essa descoberta e as experiências conduzidas por Michael Faraday na Inglaterra, no início do século XIX e por Henry, independentemente, nos Estados Unidos, mostraram que uma corrente elétrica pode ser induzida em um circuito por um campo magnético variável. Os resultados dessas experiências conduziram a uma lei básica muito importante do eletromagnetismo

conhecida como a lei da indução de Faraday. A lei de Faraday explica, por exemplo, como um gerador ou motor elétrico trabalham bem como outros aparelhos práticos, (HALLIDAY et al., 1993).

Todos esses fenômenos de indução magnética podem ser descritos por uma única equação, conhecida como lei de Faraday, que relaciona a tensão induzida em um circuito à variação do fluxo magnético que atravessa o circuito.

O fluxo magnético pode ser definido de forma análoga ao fluxo elétrico. É uma medida do campo magnético total que atravessa uma área específica. Matematicamente pode ser calculado de acordo com a equação (1), para o caso mais geral, como sendo a integral do vetor B vezes um elemento de área ao longo superfície.

$$\theta_m = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

No sistema SI a unidade de fluxo magnético é o weber (Wb), onde $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$, (HALLIDAY et al., 1993).

A lei de indução de Faraday é a quarta das equações de Maxwell que descreve as características do campo elétrico originando um fluxo magnético variável. Os campos magnéticos originados são variáveis no tempo, gerando assim campos elétricos. Em outras palavras esta lei estabelece que a integral de linha do campo elétrico em torno de qualquer trajetória fechada é igual à taxa de variação do fluxo magnético através de qualquer superfície limitada por essa trajetória.

Campos elétricos produzidos por cargas estáticas são campos conservativos, o que significa que o trabalho realizado pelo campo ao longo de uma curva fechada é nulo. O campo elétrico produzido por um fluxo magnético variável não é conservativo, sua integral de linha ao longo de uma curva fechada é igual a tensão induzida que por sua vez é igual à taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo. O sentido da corrente induzida é tal que o seu campo magnético se oponha à variação do fluxo que a produziu. A lei de Faraday está apresentada na equação (2), (REITZ; MILFORD., 1991).

$$\varepsilon = \oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (2)$$

Basicamente é essa tensão induzida, que pode ser medida em equipamentos onde haja uma variação de fluxo magnético, que gerará a corrente elétrica induzida que tanto descarregará através de pontos de maior condutividade elétrica do equipamento como também servirá para auto excitar o sistema, ou seja, fazer com que a magnetização do equipamento aumente cada vez mais.

ANÁLISE DAS CAUSAS DA MAGNETIZAÇÃO

Um grande problema em trabalhos com magnetismo aplicado, é que muitas vezes os efeitos observados em peças e equipamentos não são imediatamente associados a causas magnéticas. Logo esses efeitos tendem a se agravar com o tempo, ocasionando em alguns casos grandes danos físicos ao equipamento, (SOHRE; NIPPES., 1978).

As causas das magnetizações em peças e equipamentos podem estar relacionadas à utilização indevida de equipamentos de medição e controle, ao magnetismo permanente das peças ou do próprio equipamento, a aterramentos inadequados, a processos de soldagens, a equipamentos próximos geradores de altos campos magnéticos e até mesmo a permanência do equipamento ou de seus sobressalentes por um longo período orientado com relação ao campo norte-sul geomagnético.

O campo magnético total de um equipamento pode ser separado de acordo com sua origem, um deles é denominado campo magnético induzido, que depende da orientação do equipamento em relação ao campo geomagnético local ou até mesmo induzido pelos campos magnéticos existentes na planta industrial, o outro é denominado campo magnético permanente, que depende do tipo de material ferromagnético utilizado e das orientações dos domínios magnéticos nesse material, ou seja, se deve à magnetização intrínseca da peça. Esses dois campos magnéticos, por sua vez, são divididos em três componentes vetoriais, chamadas de componentes longitudinais, transversais e verticais. Assim em qualquer equipamento o campo magnético deve ser analisado a partir dessas componentes distintas.

Os cuidados com as possíveis causas do magnetismo em peças e equipamentos devem ser levados em conta desde a fase de projeto da instalação da planta, em se tratando de uma instalação de uma planta industrial, se preocupando inicialmente para que o eixo longitudinal do equipamento rotativo, os quais normalmente são linhas bem longas, esteja orientado perpendicularmente em relação ao campo norte-sul geomagnético, pois se isso

não for levado em conta o campo geomagnético induzirá uma magnetização longitudinal no equipamento que ao longo do tempo tem um tendência de auto excitação.

EFEITOS ELETROMAGNÉTICOS EM MÁQUINAS ROTATIVAS

Os estudos dos fenômenos relacionados aos danos elétricos em componentes de máquinas rotativas não são recentes e tem sido abordado em diversos artigos e publicações técnicas, (VANCE et al., 1987). Ainda segundo (VANCE et al., 1987), a pesquisa até o momento sugeriu a classificação das fontes de tensões/correntes de eixo como sendo de origem eletrostática, eletromagnética, devido à corrente alternada induzida por magnetismo residual rotativo e ainda, devido à corrente induzida por campos magnéticos fixados no estator interagindo com correntes parasitas no rotor,

Em máquinas rotativas com componentes magnetizados variações de fluxo magnético, ocorrerão tanto nas partes rotativas como nas estacionárias das mesmas, como consequência correntes elétricas serão induzidas, circulando por toda a máquina, (SOUZA, 2015). Essas correntes passarão do rotor para a carcaça através de locais com maior condutividade elétrica ocasionando o aparecimento de furos, os chamados *pits*, a esse fenômeno dá-se o nome de *pitting elétrico*, em casos mais avançados, esse fenômeno é conhecido como *frosting*. O *pitting elétrico* possui um aspecto bem característico, e caso seja observado com uma lente de aumento da ordem de 60 vezes apresentará uma forma arredondada, aparência lustrosa, já o *frosting*, sendo observado a olho nu, tem a aparência de uma superfície que sofreu um jateamento de areia, apresentando um aspecto esbranquiçado, (SOHRE, 1981).

Segundo (HANEKOM, 2018), outros problemas que podem aparecer devido às correntes de fuga são as chamadas *Spark tracks*, as *Electro-discharge-machining (EDM)* e as *Burned spots*. As *Spark tracks* se parecem como riscos no rotor podendo ter de 50 a 125 μm de profundidade, com uma aparência como se tivesse sido desenhado com uma agulha afiada, podendo ter até 3 mm de largura, os comprimentos desses *Spark tracks* podem ter de 3 mm a vários centímetros de comprimento. As *Electro-discharge-machining (EDM)* estão relacionadas à remoção do metal devido às correntes de fuga ocasionando uma erosão no componente. Finalmente as *Burned spots* se referem à pontos queimados que surgem no equipamento devido às descargas elétricas.

Equipamentos e peças, quando medidos com um sensor magnetométrico em sua superfície, podem apresentar altos níveis de magnetização da ordem de 30 Gauss (G), (SOHRE; NIPPES., 1978). Como esse é um sistema que se auto-excita pode-se ter com o passar do tempo cada vez mais elevados níveis magnetização e conseqüentemente de tensões induzidas, implicando inclusive em aumento na vibração da máquina e em casos mais extremos podem causar uma rápida deterioração de componentes da mesma, (SANDNER, 1981).

TRATAMENTOS MAGNÉTICOS APLICADOS SUAS CONSEQUÊNCIAS

Os tratamentos magnéticos a que são submetidos equipamentos rotativos já são bastante conhecidos, consistindo basicamente na aplicação de picos de corrente AC ou DC, descrevendo a curva de histerese do material ferromagnético a ser desmagnetizado. A opção por esse ou aquele método dependerá do nível de magnetização do material ou equipamento, da sua massa e da disponibilidade de tempo para a realização do tratamento magnético, (SOUZA, 2015).

Caso os equipamentos magnetizados possuam uma grande massa de materiais ferromagnéticos, da ordem de centenas de quilos, a melhor opção de tratamento magnético é o de corrente contínua, DC, devido à não possibilidade do aparecimento das chamadas corrente parasitas, também conhecidas como correntes de Eddy ou correntes de Foucault. Se o material não tiver um nível de magnetização alto e se tratar de uma peça de algumas dezenas de quilos, pode-se optar pelo tratamento com corrente alternada AC, que é um método bastante rápido, sendo muito utilizado industrialmente.

Tanto no método de corrente contínua quanto no de corrente alternada, o ampère-espira a ser utilizado para a geração do campo magnético desmagnetizador, dependerá no nível da magnetização do material, pois é importante que o campo magnético desmagnetizador seja suficientemente alto para que se atinja a saturação magnética do material magnetizado, se isso não ocorrer tem-se um caso de uma desmagnetização superficial.

Uma outra opção de tratamento magnético é a utilização de ímãs ou bobinas em posições bem definidas com o objetivo de anular o efeito do campo magnético sobre aquele equipamento. Um sistema de aterramento adequado também deve ser utilizado após um tratamento magnético bem feito para evitar que o equipamento se auto-excite. A

simples utilização de escovas de aterramento em um sistema magnetizado, fará com que o desgaste dessas escovas seja excessivo, bem como a simples colocação de escovas sem um projeto bem definido, não trará os benefícios desejados.

Existem vários exemplos na indústria onde uma simples troca de um sobressalente sem a devida preocupação com relação a sua magnetização permanente pode elevar a magnetização do equipamento como um todo em um curto período de tempo, sendo necessária novas substituições dos componentes desgastados. Inicialmente a magnetização de cada sobressalente de um equipamento precisa ser medida com um sensor magnetométrico apropriado e caso o mesmo esteja com um nível de magnetização elevado ele precisará ser desmagnetizado antes da sua instalação no equipamento. Caso o procedimento de desmagnetização não seja realizado com sucesso, o custo para a substituição da peça magnetizada e posterior desmontagem poderá ser bastante elevado, pois poderá comprometer ou até mesmo magnetizar outros componentes do equipamento.

O que se observa na indústria é que geralmente há um desconhecimento por parte da equipe técnica das várias causas da magnetização de equipamentos e máquinas industriais, isso implica que um determinado desgaste observado seja atribuído a uma causa mecânica fazendo-se simplesmente a troca desse componente, porém como a causa pode ser magnética, essa peça ou componente trocado, em um curto período começará a apresentar um novo desgaste pois a causa do problema não foi solucionada. Uma desmagnetização parcial também não é a solução para o problema pois outros componentes magnetizados induzirão novas magnetizações. Pode ocorrer também que o fato de não ser considerada a influência do campo geomagnético local durante a implantação da fábrica implicará em remagnetizações periódicas. Para esse caso, além das precauções com relação às causas já citadas anteriormente, a solução será o desenvolvimento de um projeto com bobinas externas à máquina para a compensação desse campo no local do equipamento.

Observa-se também que o uso indiscriminado na indústria de bases magnéticas para a verificação de vibrações no equipamento e eletroímãs para o transporte de peças e sobressalentes também são causas de remagnetizações. Tendo sido inclusive constatada a utilização de ferramentas altamente magnetizadas e de bases magnéticas para a remontagem de equipamentos logo após a sua desmagnetização. Isso implicará em uma magnetização localizada no equipamento, podendo evoluir para uma magnetização no equipamento como um todo.

Como o processo de manutenção de um equipamento industrial exige o trabalho conjunto de vários profissionais de várias áreas, algumas áreas desconhecendo as causas da magnetização de um equipamento, antes que se dê o processo de desmontagem e montagem do equipamento é importante a conscientização de toda a equipe sobre os cuidados e precauções que devem ser tomados para que o trabalho de desmagnetização não seja em vão.

CONCLUSÃO

Precauções com relação a campos eletromagnéticos devem surgir desde a fase de projeto quando da instalação de uma planta industrial ou da construção de equipamentos.

Constatado que a máquina possui algum efeito devido a eletromagnetismo, não apenas o efeito deve ser tratado, mas principalmente a causa deve ser estudada.

As manutenções realizadas em qualquer equipamento susceptível a campos eletromagnéticos devem ser feitas com verificações prévias do magnetismo do mesmo, sob risco de implicar em altos custos, com uma nova montagem e tratamento magnético.

Para a monitoração de vibrações em equipamentos e a sua respectiva montagem devem ser tomados cuidados com as ferramentas e os equipamentos de controle e medição para que os próprios não induzam magnetizações no equipamento como um todo.

Finalmente, como as manutenções preditivas e corretivas em uma planta industrial exigem equipes multidisciplinares de manutenção é importante a conscientização de todos para que os problemas relatados nesse artigo sejam minimizados ou até mesmo extintos.

REFERÊNCIAS

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentals of Physics. Fourth Edition, 1993.

HANEKOM, D. Stray Currents and their Damaging Effects on Rotating Machinery, 47th Turbomachinery Symposium, Houston, Texas, 2018.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. Fundamentos da teoria eletromagnética. Editora Campus, 1991.

SANDNER, B. W. Electromagnetic Shaft Current Problems a user's Viewpoint, 10th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, 1981.

SOHRE J. S; NIPPES, P. I. Electromagnetic Shaft currents and demagnetization on rotors of turbines and compressors. 7th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, 1978.

SOHRE, J. S. Electromagnetic Shaft currents control. 10th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, 1981.

SOUZA, H. Análise do magnetismo em uma planta industrial. 30º Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos. Campinas, São Paulo, 2015.

VANCE, J. M.; PALAZZOLO, A. B.; ZEIDAN, F. Y. Electric Shaft Currents In Turbomachinery, 16th Turbomachinery Symposium, Texas A&M University, 1987.

Recebido em: 18/11/2022

Aprovado em: 21/12/2022

Publicado em: 28/12/2022