
ESTUDO DE CASO DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA CONDUZIDA EM EQUIPAMENTO ELETROMÉDICO COM PARTE APLICADA

Mário Leite Pereira Filho*

Caio Eduardo L. Neves**

Resumo

O comércio global exige a certificação dos produtos, e os padrões de dispositivos eletromédicos no Brasil são derivados de normas IEC. Em conformidade com a compatibilidade eletromagnética, exigem-se testes por uma garantia de padrão IEC 60601-1-2. Deve-se desligar a alimentação para gerar altos níveis de interferência eletromagnética e questões de segurança, e restringir a capacitância do filtro para atingir a conformidade. Para tanto, são necessários esforços adicionais. Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado para controlar a interferência eletromagnética dos equipamentos eletromédicos com o interruptor de alimentação modo, abordando questões do mundo real dos circuitos de filtro.

Palavras-chave: Interferência eletromagnética, equipamentos eletromédicos, circuitos de filtro.

* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e Laboratório de Avaliação Elétrica de São Paulo. *E-mail:* mleite@ipt.br

** Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e Laboratório de Avaliação Elétrica de São Paulo.

Abstract

Global commerce requires product certification. Electro-medical device standards in Brazil are derived from IEC standards. Compliance to electromagnetic compatibility requires testing by collateral standard IEC 60601-1-2. Switch mode power supply generates high levels of electromagnetic interference, and safety issues restrict filter capacitance, to achieve compliance it's necessary additional efforts. This paper presents a case study to control conducted electromagnetic interference from electro-medical equipment with switch mode power supply, addressing real world issues of filter circuits.

Keywords: Eletromagnetic interference, eletro-medical device, filter circuits.

1 INTRODUÇÃO

A normalização internacional na área de equipamentos eletromédicos (EEM) é baseada na série IEC 60601, constituída por uma norma geral, normas específicas para cada tipo de equipamento e normas colaterais que se aplicam a todas as famílias. A norma colateral para compatibilidade eletromagnética (CEM) é a IEC 60601-1-2. No Brasil, a normalização dos EEM é feita pela série de normas NBR IEC 60601-1 (1994), que espelha a série original da IEC. O Ministério da Saúde baixou portaria regulamentando a concessão de registro para EEM e para os equipamentos de alto e médio riscos, condicionando a concessão apenas aos equipamentos em conformidade com essas normas. Na Europa, todos os EEM devem atender à Diretriz nº 93/42/EEC e à de CEM nº 89/336/EEC, de forma que os fabricantes brasileiros interessados em exportar EEM para a Europa devem certificá-los segundo essas diretrizes (além de outras que possam ser aplicáveis).

É importante ressaltar o conceito central de CEM: o equipamento deve operar de forma segura em seu ambiente de instalação, emitindo ruído eletromagnético em níveis limitados e sendo imune às interferências existentes no local geradas por outros equipamentos no ambiente ou sistemas externos, como emissoras de radiodifusão.

Os EEM, por possuírem grande quantidade de dispositivos eletrônicos incorporados, utilizam geralmente fontes chaveadas para o fornecimento de energia a seus circuitos eletrônicos. As fontes de alimentação do tipo chaveadas são amplamente utilizadas em equipamentos eletrônicos ou aplicações de baixa potência, pois apresentam uma série de vantagens quando comparadas com fontes lineares de mesma potência, como grande eficiência, baixo custo e dimensões reduzidas, tornando-as ideais para equipamentos eletrônicos cada vez mais miniaturizados.

Em razão de sua elevada frequência de operação, esse tipo de fonte apresenta a desvantagem de gerar ruídos elétricos na forma conduzida e radiada, denominados interferência eletromagnética (IEM). Os níveis de emissão de IEM emitidos pelos equipamentos eletromédicos são regulamentados pela norma NBR IEC 60601-1-2 (1997).

O objetivo deste trabalho é estudar um caso de EEM com fonte chaveada cujo projeto originalmente não levou em conta requisitos de CEM, e avaliar o efeito dos procedimentos usuais encontrados na literatura de referência, para a adequação dos níveis de IEM conduzida por equipamento eletromédico aos limites estabelecidos em norma, considerando-se as restrições impostas pelos níveis de corrente de fuga estabelecidos para equipamentos eletromédicos com partes aplicadas ao paciente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo dos níveis de IEM conduzida, avaliou-se uma fonte chaveada utilizada em equipamento médico com partes aplicadas ao paciente. A fonte tem arquitetura do tipo *flyback*, com frequência de operação de 100 kHz e potência de 30 W. O esquema elétrico dessa fonte é apresentado na Figura 1.

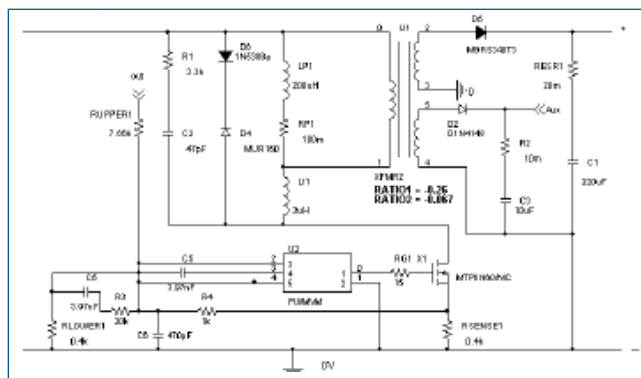


Figura 1 Esquema elétrico da fonte chaveada.

A fonte chaveada comporta-se basicamente como um conversor de tensão e transforma a tensão contínua (DC) procedente de um retificador em tensão pulsante alternada (CA) com frequência de dezenas de kHz.

O princípio de funcionamento consiste em retificar e filtrar inicialmente a tensão CA procedente da rede elétrica e depois, por meio de um comutador eletrônico (transistor de chaveamento), acumular energia no primário do transformador com núcleo de ferrite enquanto a chave está fechada. Quando a chave abre, a energia é transferida para o secundário. Esse ciclo é repetido com a frequência de chaveamento utilizada, no caso 100 kHz.

Para que a tensão de saída DC seja constante, existe um circuito de controle que detecta o nível de tensão e o corrige, caso necessário, aplicando uma tensão de erro no circuito do comutador. Esse circuito é chamado de modulador de largura de pulso (*pulse width modulation – PWM*).

Qualquer variação do valor de tensão de saída produz um reajuste na constante de tempo do oscilador que controla o comutador, compensando assim qualquer variação na saída decorrente das variações de carga ou de tensão de entrada.

Para as medições de IEM conduzida, a norma empregada em eletromédicos é a CISPR 11, em que é especificado um dispositivo chamado de *line impedance stabilization network* (Lisn). A Lisn tem a finalidade de suprimir o ruído proveniente da rede elétrica, extrair dos cabos de alimentação do equipamento sob ensaio (ESE) a IEM injetada na rede elétrica e estabilizar a impedância do sistema em 50Ω para os propósitos de medição (IEC CISPR 11, 1999-2008; WENSTON, 2001; PAUL, 1992). O esquema elétrico da Lisn, representado na Figura 2, indica um indutor LT de 1,6 mH em série com o terra da rede elétrica (IEC CISPR 11, 1999-2008).

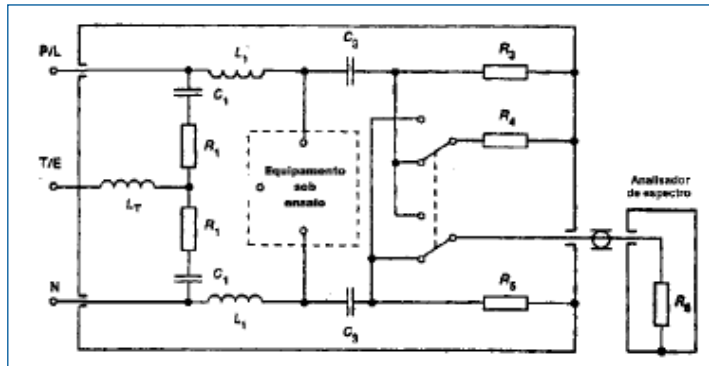


Figura 2 Lisn: esquema elétrico.

As medidas de IEM conduzida foram realizadas com o ESE ligado à rede através da Lisn, com um analisador de espectro como indicado na Figura 3.

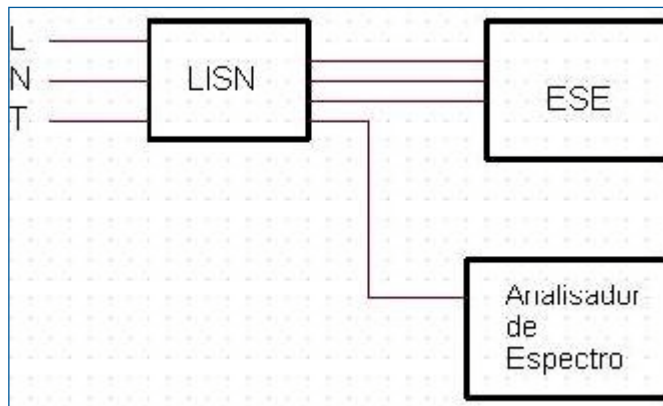


Figura 3 Arranjo dos equipamentos.

Inicialmente, foi levantada a curva de amplitude da IEM conduzida na faixa de 150 kHz até 30 MHz (IEC CISPR 11, 1999-2008) com o ESE na configuração original de projeto, operando com máxima potência nominal e tensão de alimentação de 220 V/60 Hz. A Figura 4 apresenta a curva obtida.

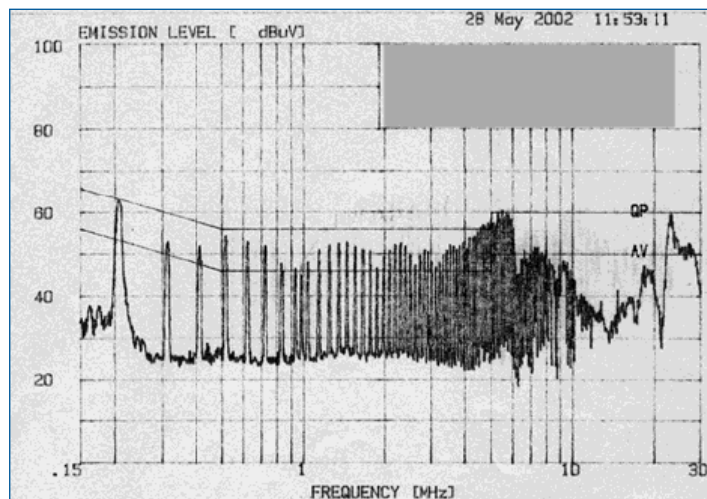


Figura 4 Curva de IEM conduzida.

No traço da curva na faixa até 2 MHz, nota-se a presença dos harmônicos da frequência fundamental da fonte (100 kHz), e a amplitude destes excede o nível médio máximo (*average*) estipulado em IEC CISPR 11 (1999-2008) para IEM conduzida nessa faixa de frequência. A curva também excedeu os níveis médios máximos em diversas outras frequências da faixa varrida.

Dessa forma, optou-se por redimensionar os valores dos capacitores CY da fonte para o valor máximo de 1,1 nF por causa do critério de corrente de fuga estipulado em NBR IEC 60601-1 (1994). Os indutores de choque do filtro de entrada tiveram seus valores aumentados, e acrescentou-se mais um indutor de choque ao filtro de entrada da fonte.

Com o ESE nas mesmas condições da medida inicial, foi traçada uma nova curva de IEM conduzida para avaliação do impacto das modificações implementadas na fonte do equipamento. A curva apresentou melhoria nas frequências mais altas da faixa, porém continuou a exceder o nível médio máximo na faixa de frequência até 2 MHz.

Com uma presilha de corrente (*current clamp*) conectada ao analisador de espectro, foram realizadas medidas dos níveis de corrente nas fases do cabo de alimentação do ESE.

As medidas não indicaram a presença de corrente de modo comum (circulação de corrente das fases para o terra), entretanto constatou-se circulação de corrente no fio terra com harmônicos de mesma frequência daqueles encontrados na curva de IEM conduzida, isto é, harmônicos da frequência fundamental da fonte. Os modelos encontrados nos livros de referência da área não explicam e nem citam essa hipótese (WENSTON, 2001; PAUL, 1992).

Entretanto, após análise do circuito elétrico da Lisn proposto em IEC CISPR 11 (1999-2008), Wenston (2001) e Paul (1992), e do esquema elétrico fornecido pelo fabricante, constatou-se que existe um indutor L_T de 1,6 mH em série com o fio terra da rede elétrica e o condutor de terra da saída para o ESE. Assim, em vez dos sinais de IEM desviados das fases do equipamento pelos capacitores C_y localizados na fonte e a corrente de fuga da parte aplicada seguem pela Lisn até o fio terra da rede, estes retornavam pelas fases da própria Lisn para o primário do transformador da fonte, por causa do valor da impedância de L_T , gerando, assim, o sinal medido pelo analisador de espectro mostrado na Figura 5.

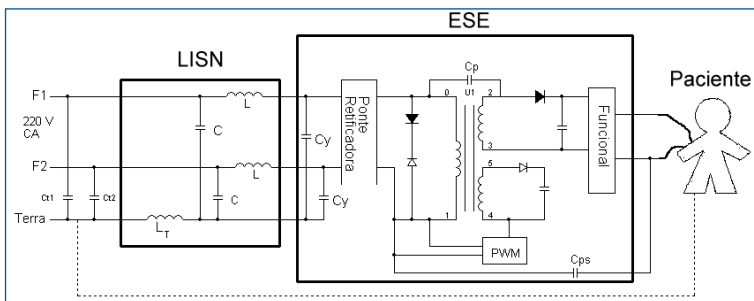


Figura 5 Lisn/ESE/parte aplicada/retorno.

A solução encontrada para o problema foi diminuir a capacitância existente entre o enrolamento primário e o secundário do transformador da fonte, de forma a minimizar a corrente infiltrada entre os enrolamentos do transformador. Optou-se por modificar a posição dos enrolamentos no transformador, alterando-se a sequência de enrolamento das bobinas. Também foi acrescentada uma lâmina de cobre para atuar como blindagem eletrostática externa no transformador.

Com o ESE nas mesmas condições das medidas anteriores, traçou-se uma nova curva de IEM conduzida. Com as modificações implementadas no transformador, a curva apresentou melhorias significativas nas faixas com valores problemáticos. As figuras 6 e 7 apresentam a curva de IEM traçada descrita anteriormente nas faixas de frequência de 150 kHz a 2 MHz e de 10 a 20 MHz, obtidas no laboratório de pré-certificação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

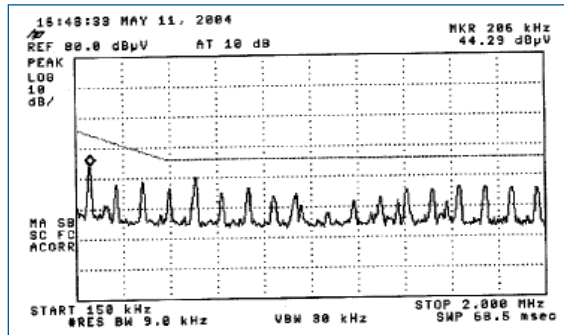


Figura 6 Curva IEM conduzida de 150 kHz a 2 MHz.

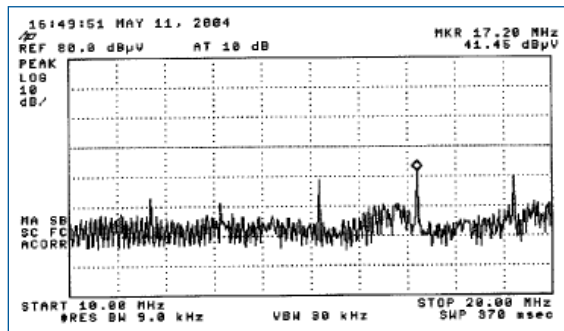


Figura 7 Curva IEM conduzida de 10 MHz a 20 MHz.

Após a conclusão dos trabalhos de adequação, o equipamento foi encaminhado para nova medição em laboratório certificado, obtendo-se a curva mostrada na Figura 8, onde todos os valores de IEM estão abaixo dos limites de quase pico e de média.

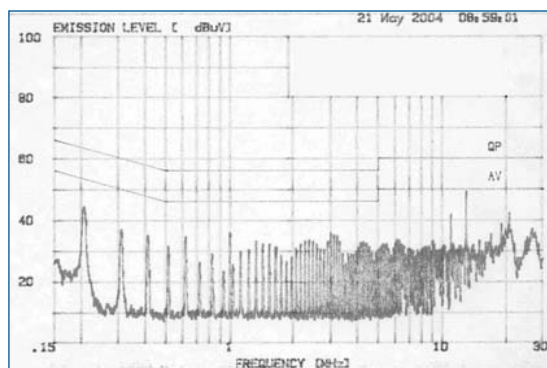


Figura 8 Curva de IEM conduzida após adequação.

3 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O procedimento usual para a redução de IEM conduzida em circuitos de fontes descrito nos livros de referência da área (WENSTON, 2001; PAUL, 1992) consiste em minimizar a saída de corrente de modo comum (corrente circulante entre as fases e o terra) utilizando filtros e/ou modificações no projeto do equipamento, não considerando os valores de corrente de retorno da parte aplicada como problema, pois não considera a existência do indutor L_t . Essa abordagem confunde o diagnóstico, tornando as medidas corretivas habituais pouco eficazes.

Equipamentos com parte aplicada estão sujeitos a restrições de corrente de fuga com valor máximo permitido de $100 \mu\text{A}$. Isso implica limitar o valor de Cps, diminuindo sua eficácia em controlar o retorno pelo terra da rede elétrica da corrente de fuga que sai pela parte aplicada. Essa limitação implica otimizar o projeto para reduzir as emissões geradas pela fonte, e não apenas tentar bloqueá-la com filtros. Ressalta-se que, por razões de segurança em condição de falha única, o capacitor Cps deve ser dividido em dois capacitores em série, assegurando que, em caso de falha de um deles, ainda haja isolamento adequado da parte aplicada.

Embora pareça óbvio, deve-se ressaltar a importância de o projeto da fonte considerar, desde o estágio inicial, os aspectos de IEM em confronto com os aspectos de segurança elétrica para a conformidade do equipamento com as normas vigentes. Durante a etapa de certificação, o tempo envolvido é curto e os custos de adequação são elevados por causa da locação de laboratórios com alto custo de infraestrutura, comprometendo o orçamento e cronograma de comercialização do produto.

REFERÊNCIAS

- IEC CISPR 11. Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment – electromagnetic disturbance characteristics – limits and methods of measurement. Ed. 3.1. 1999-2008.
- NBR IEC 60601-1. Equipamento eletromédico. Parte 1: Prescrições gerais para segurança. 1994.
- NBR IEC 60601-1-2. Equipamento eletromédico. Parte 1: Prescrições gerais para Segurança. 2. Norma colateral: compatibilidade eletromagnética – prescrições e ensaios. 1997.
- PAUL, C. R. *Introduction to electromagnetic compatibility*. New York: John Wiley and Sons, 1992.
- WENSTON, D. A. *Electromagnetic compatibility: principles and applications*. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2001.