

## 0.1 Efeitos da Distorção Harmônica em Equipamentos

Equipamentos elétricos que constituem um sistema qualquer necessitam de alimentação elétrica para funcionar. Entretanto, para que o equipamento entregue as funções desejadas e tenha seu funcionamento adequado, as tensões no ponto de entrada de energia devem ser conforme as especificações requeridas do fabricante do equipamento. Deve ser lembrado que em geral os dispositivos elétricos são projetados e desenvolvidos admitindo-se operação sob condições de tensão e corrente sinusoidais puras [1]. Para o caso em estudo, onde a tensão é alternada com frequência constante, a alimentação deve entregar níveis de tensão e frequência bem estabelecidos para atender a certos critérios de qualidade, de modo a não danificar os sistemas conectados à rede.

Com a inserção de cargas não lineares na rede, surgem distorções na forma de onda da tensão que abate na qualidade de energia da aeronave. Para o caso de aeronaves, aplicando a série de Fourier na ondulação da tensão, idealmente espera-se que haja apenas uma componente senoidal em 400 Hz, porém, devido as cargas não lineares conectados à rede, há o aparecimento de componentes em frequências múltiplas de 400 Hz. A presença de harmônicas na rede do sistema elétrico acaba por distorcer a forma de onda senoidal tornando-a disforme e alterando seus níveis de tensão. Essa inserção de harmônicas em diferentes frequências e intensidades causam efeitos em equipamentos elétricos de modo que estes operam com mal funcionamento ou de maneira indesejada. De acordo com [1] e [2], os principais efeitos da distorção harmônica são elencados em diversos equipamentos constituintes da rede elétrica de uma aeronave.

- i) *Equipamentos Eletrônicos*: A evolução dos sistemas aeronáuticos trouxe a tendência do aumento do numero de equipamentos eletroeletrônicos em aeronaves com a consolidação do conceito de *more electric aircraft*. Sendo assim, o correto funcionamento destes equipamentos é de fundamental importância para a segurança operacional de uma aeronave. Nesse contexto, os efeitos da distorção harmônica em equipamentos podem ser de fator determinante devido às consequências negativas que estes possam apresentar.

Um dos efeitos da distorção harmônica em equipamentos eletrônicos são o mal funcionamento devido à operação baseada na detecção da passagem por zero da tensão de alimentação ou ainda baseado em outros aspectos da forma de onda da tensão de entrada. Muitos equipamentos eletrônicos possuem semicondutores que operam por comutação suave pela técnica de *zero voltage switching* (ZVS) [3], onde a comutação ocorre no cruzamento da tensão de entrada por zero. Isto deve-se basicamente para reduzir interferência eletromagnética e corrente de *inrush*. Com os múltiplos cruzamento da tensão em zero devido a distorção

da forma de onda, o período de comutação acaba sendo alterado, trazendo uma operação errônea do equipamento.

Equipamentos eletrônicos geralmente necessitam de fontes de energia DC como alimentação principal, exigindo assim conversores AC-DC na entrada do equipamento. A operação desses conversores utilizam o valor de pico da tensão senoidal da rede para manter os capacitores do conversor de entrada carregados e fornecendo os níveis de tensão estáveis. Dependendo do grau de distorção harmônica na rede, as tensões de pico podem ser maiores ou menores que o valor nominal, tornando esses conversores inefetivo quanto à manutenção de tensão DC específica. Muitos equipamentos eletrônicos, como computadores, necessitam de níveis estáveis e bem definido de tensão para operar de maneira apropriada, sendo que a presença de harmônicas na rede pode trazer problemas no funcionamento destes equipamentos. Para contornar esse tipo de problema poderia ser incluindo um sistema de realimentação com fontes chaveadas controladas, que acaba por aumentar a complexidade e o número de componentes que torna o equipamento mais caro.

A comutação de chaves semicondutoras de potência produzem distorções com rápida variação de tensão na rede a qual produz uma certa distorção cujo espectro apresenta componentes de alta frequência. Tais distorções são denominadas *notches* e são representadas na figura 1. Primeiramente, dependendo da intensidade de incidência dos *notches* podem ocorrer cruzamentos da tensão por zero que acarretariam em problemas já descritos anteriormente. Ainda, por apresentar componentes de alta frequência, a presença destes distúrbios emanam radiação eletromagnética pelos cabos que são captados pela cablagem de outros sistemas. Sua presença na rede elétrica pode causar interferência em equipamentos eletrônicos digitais que, por ventura, podem induzir bits errôneos nestes equipamentos.

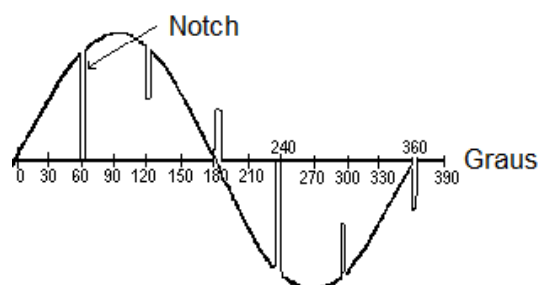


FIGURA 1 – Presença de *notches* na ondulação de tensão [4]

- ii) *Maquinas Rotativas*: As maquinas rotativas estão presente em diversos sistemas de uma aeronave e as criticalidades associadas ao seu funcionamento podem ser

baseadas desde funções sem efeito direto na segurança à funções cuja falha podem ser catastróficas. Para este ultimo caso, cita-se como exemplo os comandos de voo de aeronaves mais modernas, onde motores elétricos são utilizados. Deste modo, as maquinas rotativas necessitam operar satisfatoriamente para assegurar a segurança operacional da aeronave.

iii) *Transformadores:*

iv) *Relés:*

estudar  
me-  
lhor  
fusí-  
veis e  
con-  
duto-  
res

## Referências Bibliográficas

- [1] KASSICK, E. V. *Harmônicas em Sistemas Industriais de Baixa Tensão*. Florianópolis, Abril 2010. Instituto de Eletrônica de Potência. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [2] WAGNER, V. et al. Effects of harmonics on equipment. *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 8, n. 2, p. 672–680, 1993.
- [3] POMILIO, J. A. *Conversores com Outras Técnicas de Comutação Suave*. 2014. Acessado em 28/05/2015. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/antenor/pdffiles/CAP5.pdf>>.
- [4] AUTOMATION, R. *Eliminating Voltage Notching on the Distributions System*. Acessado em 29/05/2015. Disponível em: <<http://www.ab.com/support/abdrives/documentation/techpapers/notch.htm>>.