



VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005

Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 01 7794
Tópico: Análise, Diagnóstico e Soluções

INTERAÇÃO ENTRE FORNO DE INDUÇÃO E BANCO DE CAPACITORES - ESTUDO DE CASO

G. A. D. DIAS	F. V. SONALIO	M. TELLÓ	F. K. BEHLE	B. SANTANA	DARCY CASA
PUCRS	PUCRS	PUCRS	PUCRS	PUCRS	DICEL ENGENHARIA

RESUMO

O artigo se refere ao estudo de caso da interação entre forno de indução e banco de capacitores, em uma fábrica de capacitores, onde foram projetados filtros para distorção harmônica, tipo dessintonizado, passivo não amortecido com Correção Simultânea do Fator de Potência, a serem empregados na forma de um Banco Automático

PALAVRAS-CHAVE

Harmônicas, Banco de Capacitores, Estudo de Caso, Filtro Dessintonizado

1.0 INTRODUÇÃO

Como é sabido uma carga produtora pode afetar o correto funcionamento de outras cargas, quando uma distorção significativa é produzida, podendo produzir interferências em sistemas de controle, aquecimento de máquinas rotativas e sobre aquecimento em banco capacitores. Um dos dispositivos capazes de produzir harmônicas é o forno de indução.

Os fornos de indução provocam o aquecimento de materiais eletricamente condutivos em um campo magnético variável. O aquecimento por indução pode ser usado para derretimento, solda, endurecimento de superfície, secagem uniforme das pinturas, cola e aquecimento para encolhimento.

O aquecimento ocorre quando tem-se uma fonte aplicando corrente alternada a uma bobina de cobre, sendo o fluxo de corrente criador de um campo eletromagnético. Se um material condutivo é colocado no "núcleo" do indutor,

correntes são induzidas causando o aquecimento.

Mesmo materiais como cobre e alumínio possuem resistência elétrica e, portanto, serão também aquecidos. Com materiais magnéticos como o aço, o aquecimento é gerado por fluxo de corrente e por histerese magnética.

A corrente flui em uma densidade maior perto da superfície e decresce em direção ao centro. A frequência que a corrente oscila afeta a profundidade na qual a corrente flui. Quanto maior a frequência mais superficial é o efeito. Por isso são escolhidas frequências de 5 kHz para derretimento e forja e 400 a 500 kHz para endurecimento e solda.

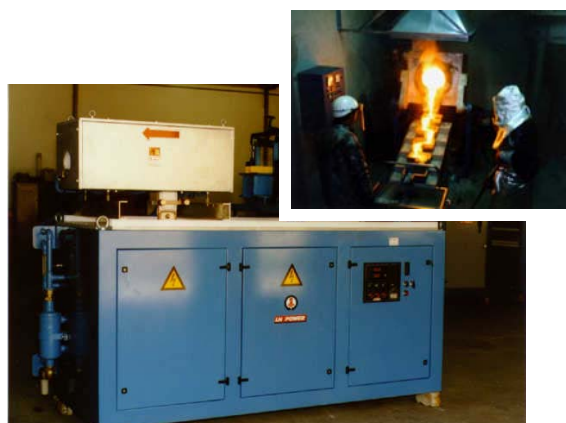


FIGURA 1
Exemplo de forno de indução

O presente artigo técnico visa mostrar o estudo realizado em uma fábrica produtora de capacitores, sendo que existe um forno de indução alimentado pela rede de 13,8 kV similar ao mostrado na Figura 1. A seguir são mostrados o sistema elétrico da fábrica e os locais onde

foram realizadas as medições de conteúdo harmônico, a mitigação utilizada para resolução do problema e os resultados obtidos após a instalação dos filtros adequados. Ao final é apresentada a referência bibliográfica utilizada para realização do estudo e deste artigo.

2.0 SISTEMA ELÉTRICO ANALISADO

O complexo industrial sob estudo tem seu diagrama unifilar apresentado na Figura 2. Sabe-se que o complexo industrial é composto por quatro Fábricas, sendo alimentado através uma rede de 134 kV a qual é rebaixada para uma rede 13,8 kV que, por sua vez, alimenta as Fábricas, sendo uma delas, a de Capacitores. A alimentação da Fábrica de Capacitores é feita por um transformador de 300 kVA 13,8/0,38 kV - impedância de 5 % e com correção do Fator de Potência realizada por um Banco de Capacitores Automático de 115 kVAr.

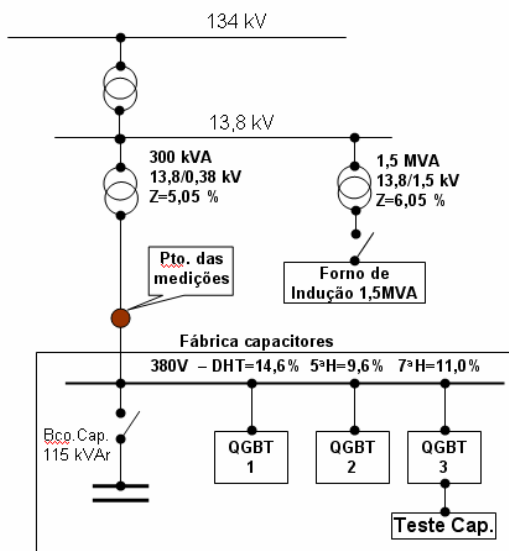


FIGURA 2

Diagrama Unifilar da Fábrica sob estudo.

3.0 PROGRAMA DE MEDIÇÕES

A detecção do problema deveu-se ao grande número de reclamações dos encarregados dos ensaios de rotina dos capacitores fabricados, que ficavam inviabilizados pela distorção da forma de onda da tensão que danificava os capacitores sob ensaio.

Informada do acontecido a Administração da Fábrica, consciente de que os distúrbios elétricos estavam sendo produzidos pelo Forno de Indução, decidiu contratar um estudo para efetuar um Diagnóstico Energético com avaliação dos

Fluxos de Potência, com estudos e análises das deformações das formas de onda, da tensão recebida da rede de 13,8 kV e das correntes das cargas da Fábrica.

Com uma distorção desse nível a fábrica seria multada, somente em violação do fator de potência em R\$ 15.000,00 aproximadamente. Além disso, a presença de harmônicas na rede causam a redução da expectativa de vida útil dos equipamentos sob a influência do fenômeno e o processo pode ser prejudicado causando desperdício de matéria-prima.

Durante o ciclo normal de operação da Fábrica de Capacitores, na inspeção do PAC-Ponto de Acoplamento Comum para definir o ponto das medições que dariam suporte ao Diagnóstico, constatou-se que o Banco de Capacitores permanecia sempre ligado. Uma medição da corrente total indicou um valor acima de 200 A, quando o normal seria de 175 A. Portanto, uma indicação clara de interação com uma harmônica produzida a montante do PAC.

Com esta análise inicial pode-se deduzir que haviam interações entre o Banco de Capacitores com as indutâncias do Sistema Elétrico.

Um cálculo rápido mostrou que a ressonância entre transformador e o Banco de Capacitores era na frequência de 431 Hz muito próximo da 7ª harmônica.

Durante as medições foram programadas e executadas manobras entre o Forno e o Banco de capacitores, conforme itens M1 a M4, apresentados a seguir.



Distorção Harmônica Total DHT								
Fases	Fase A		Fase B		Fase C		Neutro	
Formato	%		%		%		Amps/Volts	
Amps./Volts	A	V	A	V	A	V	A	V
Valores a 60 Hz	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	32,64	0,98
DHT	1,74	0,98	1,97	0,88	2,26	0,97	12,99	3,28

FIGURA 3

Medição M1 – Banco e forno desligados

- **M1** – Banco de capacitores desligado e forno de indução desligado: como esperado as formas de onda de tensão e corrente não apresentam muita distorção por nenhuma das cargas produtoras de harmônicas estarem ligadas, a medição e os valores obtidos são mostrados na Figura 3.

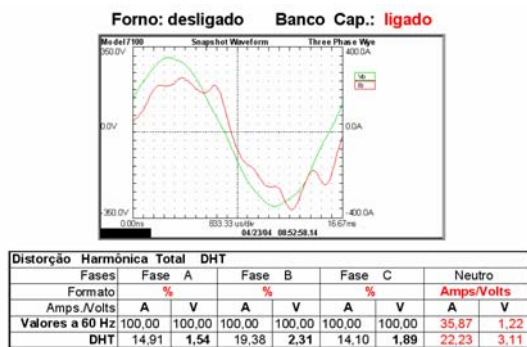


FIGURA 4

Medição M2 – Banco ligado e forno desligado

- M2** – Banco de capacitores ligado e forno de indução desligado: a Figura 4 mostra os resultados obtidos na medição. Percebe-se a distorção da forma de onda da corrente causada pela presença do banco de capacitores na rede em questão, provocou uma DHT de corrente de 14% na fase em que foi mais branda. Percebe-se, também, que a distorção ocorreu apenas na forma de onda de corrente.



FIGURA 5

Medição M3 – Banco desligado e forno ligado

- M3** – Banco de capacitores desligado e forno de indução ligado: Figura 5, a distorção nesse caso, ao contrário da anterior, ocorre nas duas formas de onda provocando grandes valores de DHT. Mais uma vez, um resultado esperado que demonstra a necessidade do sistema utilizar bancos de capacitores para compensação harmônica.

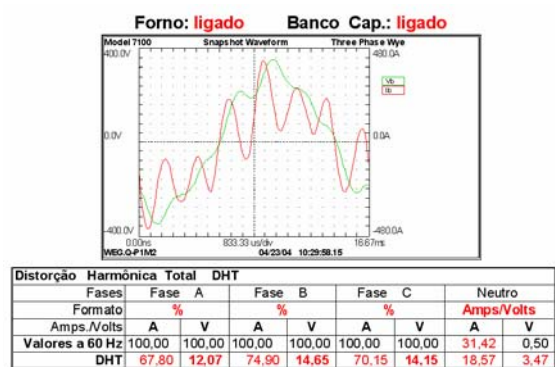


FIGURA 6

Medição M4 – Banco e forno ligados.

- M4** – Banco de capacitores ligado e forno de indução ligado: pela Figura 6 percebe-se que a DHT, tanto de corrente quanto de tensão, aumenta muito com a presença do banco de capacitores, indicando interação entre o banco e o forno de indução.

4.0 MITIGAÇÃO

Para resolver o problema da perturbação dos ensaios de rotina dos capacitores, foi proposta e implementada a instalação de bancos de Filtros mistos para distorção harmônica. Tais bancos são compostos por filtros fixos (ligados permanentemente) sintonizados na 3^a, 5^a e 7^a harmônica (F1; F2 e F3) e por filtros dessintonizados (F4; F5; F6 e F7) automáticos, com correção simultânea do fator de potência, que são ligados ou desligados conforme a necessidade de energia reativa do sistema. Uma visão de tais filtros passivos não amortecidos está apresentada na Figura 7, aplicados para Correção Simultânea do Fator de Potência e a serem empregados na Fábrica de Capacitores, apresentam tensão nominal de 380 V, potência reativa total de 109 kVar, ligação em delta, usando sistemas de proteção e chaveamento incorporados, sendo tais filtros dessintonizados acionados pelo controlador automático do Fator de Potência.

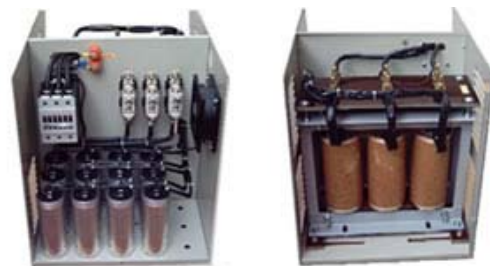


FIGURA 7

Exemplo de filtro de harmônicas dessintonizado.

Sabe-se que quando existem Harmônicas na Planta Elétrica, os Filtros dessintonizados com Compensação Reativa (Detuned Systems) tem como finalidade principal corrigir o fator de potência e evitar a ressonância dos capacitores com as indutâncias do sistema elétrico. Dependendo da frequência de dessintonia, mais ou menos Harmônicas serão absorvidas pelos Filtros, é muito comum com uma dessintonia de 5.67% obter-se uma redução de 30 a 50% na DHT, evitando amplificação das harmônicas presentes na rede elétrica.

5.0 RESULTADOS APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DOS FILTROS

Para avaliar o grau de correção alcançado e verificar se o problema da perturbação dos ensaios de rotina dos capacitores havia sido suficientemente mitigado, foram realizados novos conjuntos de medições após a instalação de Filtros para distorção harmônica, com correção simultânea do fator de potência, sendo o resultado de tais medições apresentados na Figura 8, abaixo.

Fator de Potência	0,9586		0,9845		0,9661			
Distorção formato	%		%		%		Amps/Volts	
Amps./Volts	A	V	A	V	A	V	A	V
Valores em 60 Hz	100	100	100	100	100	100		
DHT %	17,00	4,50	18,34	6,07	14,79	5,25		
Distorção Harmônica Individual	DHI		DHI		DHI			
H3-180 Hz	0,97	0,55	1,67	0,40	3,07	0,59		
H5-300 Hz	15,30	3,85	15,91	5,64	13,66	4,82		
H7-420 Hz	6,92	1,75	8,76	1,83	4,54	1,60		

GURA 8
Resultados da Medição.

Os resultados mostrados na Figura 8 referem-se a uma medição realizada após a instalação dos filtros com Banco de Capacitores e Forno de Indução ligados, medição M4. Comparando-se as duas medições M4, antes e depois, vê-se que, pela aplicação do filtro, obteve-se uma redução na DHT de tensão de quase três vezes. A redução da DHT de corrente atingiu marca maior de redução, como pode ser observado reduziu-se a DHT de 74,9% para 18,34% na fase que apresentava maior distorção.

6.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste artigo procurou-se mostrar a eficácia da aplicação de filtros passivos dessintonizados para correção de conteúdo de harmônicas em excesso. Foi apresentado um estudo de Harmônicas, baseado em medições, em todos os seus passos, da obtenção de dados do sistema – diagramas unifilares, valores nominais dos equipamentos, funcionamento do processo de fabricação de capacitores..., as medições realizadas – incluindo os locais onde as mesmas foram feitas, a escolha de mitigação a ser utilizada – no caso a aplicação de filtros dessintonizados – e os resultados obtidos ao final do estudo. Os custos dos filtros implementados foram da ordem de R\$ 25000,00 (Vinte e cinco mil Reais), obtendo-se ótimos resultados e retorno de investimento muito rápido, de apenas seis meses considerando-se apenas as multas mensais evitadas.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. C. Dugan, et al, Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill Professional; October, 1995.
- [2] C. Sankaran, Power Quality, CRC Press; December, 2001.
- [3] G. A. D. Dias, Harmônicas em sistemas industriais, EDIPUCRS, 2ª Edição, 2002.
- [4] Arrilaga, Jos, Power quality. The electrical engineering handbook, [s.l.] : [s.n.], 1997. p. 1397
- [5] IEEE Std. 519-1992 IEEE Standard 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.
- [6] IEEE 1531-2003, IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters.