

ACOMPANHAMENTO ONLINE DO PROCESSO DEGRADATIVO DE CAPACITORES ELETROLÍTICOS EM RETIFICADORES PELO MÉTODO DA COMPARAÇÃO

RESUMO

Elves Sousa e Silva.
elvessilva@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1464-569X>
Instituto Federal de Educação Ciência e
Tecnologia da Paraíba – IFPB João
Pessoa – PB – Brasil

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação de um sistema de predição de falhas em capacitores eletrolíticos do barramento CC de conversores estáticos. O sistema funciona de forma online, utilizando um método de comparação com um capacitor de referência. Baseando-se nas séries de Fourier foi possível definir um parâmetro descritor de falhas do capacitor em teste. A proposta é válida para aplicações em manutenção preditiva, evitando paradas não programadas para troca do capacitor ou equipamento. O sistema pode ser embarcado, fazendo parte de um produto, ou de um dispositivo.

PALAVRAS-CHAVE: Predição de Falhas. Capacitores Eletrolíticos. Comparação Online. Séries de Fourier. Manutenção Preditiva vraschaves.

INTRODUÇÃO

As técnicas de predições de falha estão se tornando cada vez mais utilizadas tanto para minimizar o custo da manutenção quanto para aumentar a confiabilidade dos sistemas. A predição consiste, basicamente, em acompanhar certos parâmetros dos componentes que vão se modificando à medida que um componente ou sistemas de componentes se desgastam (LAFRAIA, 2001). Dessa forma, a análise preditiva visa prever somente as falhas do tipo desgaste. Tais falhas estão relacionadas ao estresse a que está submetido o componente e ao tempo de utilização.

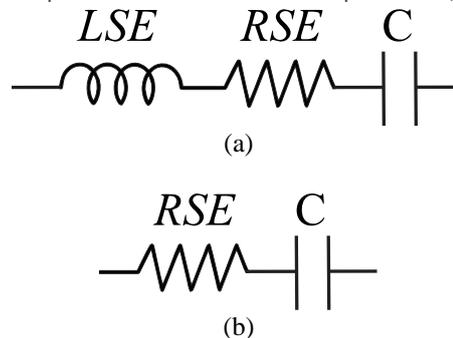
Os capacitores eletrolíticos de alumínio são elementos fundamentais em conversores estáticos. Tais capacitores possuem uma densidade de energia por volta de 2 J/cm^3 (AELOIZA, et al. 2005), sendo maior que em seus concorrentes, o capacitor de polipropileno e capacitor multicamada de cerâmica. Por isso, os capacitores eletrolíticos têm sido uma opção mais econômica que seus concorrentes, apresentando um menor custo por joule (WANG, et al. 2014). No entanto, os capacitores eletrolíticos possuem alta RSE (Resistencia Série Equivalente) em comparação com os outros (SAKARAN, et al. 1997). Isso reduz a confiabilidade, pois, devido a uma resistência maior, estes operam numa temperatura do núcleo mais elevada. Em relação aos outros componentes de um conversor estático, a taxa de falha dos capacitores eletrolíticos é maior que as dos outros componentes, chegando a 2 vezes a taxa de falha das chaves (IMAN, et al. 2005), (LEE, et al. 2005), (MAN, et al. 2010), (MILITARY HANDBOOK, 1995), (RISTOW, et al. 2008). Dessa forma, a predição de falha dos capacitores eletrolíticos de alumínio contribui muito para melhoria da confiabilidade do conversor.

O capacitor Eletrolítico possui o anodo feito de alumínio puro que em contato com o papel encharcado de eletrólito cria uma camada de óxido de alumínio (Al_2O_3) sobre sua superfície. Este óxido funciona como dielétrico do capacitor, sendo produzido por um processo eletrolítico com tensão CC. A solução eletrolítica é aquosa, íon-condutora, que por sua vez reage com o alumínio, quando este está submetido à tensão CC (+). A espessura da camada de óxido é projetada para a tensão nominal do capacitor. Praticamente toda tensão do capacitor eletrolítico está sobre a camada de Al_2O_3 .

O modelo geralmente aceito do capacitor é o modelo RLC, visto na Figura 1(a) (AMARAL e CARDOSO, 2004), (GASPERI, 2005). Onde a RSE é responsável pelas perdas do capacitor, a LSE é a indutância série equivalente que pode ser desprezada em baixas frequências, neste caso da ordem de 120 Hz, dando origem ao modelo simplificado apresentado na Figura 2(b). A indutância série equivalente só tem efeitos significativos mediante o aumento da frequência, na ordem de MHz (HORSTMANN e OBERSCHMIDT. 1989), (MEADE, et al. 2008). A temperatura do núcleo do capacitor, originada pelas perdas quando o mesmo é submetido a uma ondulação de corrente, acelera a reação eletroquímica criando gás hidrogênio dentro do capacitor, ou seja, faz com que o eletrólito evapore ao longo do tempo. A diminuição do volume de eletrólito, por evaporação, provoca a redução da capacitância e o aumento da resistência série equivalente RSE, aumentando as perdas, dando origem a um ciclo degradativo das características do capacitor ao longo do tempo (AMARAL e CARDOSO, 2004), (GASPERI, 2005), (KUIKARNI, et al.

2012), (SAKARAN, et al. 1997). Este processo é a principal causa de falha por desgaste dos capacitores eletrolíticos.

Figura 1 – (a) Modelo do capacitor com a indutância equivalente, (b) modelo simplificado.



Fonte: Autoria própria (2019).

O monitoramento destes descritores de falhas é uma das abordagens importantes para aumentar a confiabilidade dos conversores (WANG, et al. 2014). Utilizar a RSE para prever o desgaste do capacitor eletrolítico é uma proposta muito atrativa à primeira vista. No entanto, não é um procedimento trivial. A RSE varia com a temperatura, frequência e tensão a que o capacitor é submetido (BHC COMPONENTS, 2009), (CHEN, et al. 2008). Dessa maneira, utilizar um valor de RSE para comparar duas leituras só tem sentido se as leituras forem na mesma base de temperatura, frequência e tensão. Muitos trabalhos têm sido realizados na tentativa de prever a idade efetiva de utilização do capacitor eletrolítico em conversores estáticos de potência. Em (GASPERI, 1996) e (GASPERI, 2005), o autor utilizou um procedimento que necessita da temperatura do núcleo do capacitor, ou seja, uma proposta do tipo invasiva. De posse dessa temperatura, estima-se o volume de eletrólito e por sua vez estima-se a RSE. Em SAKARAN, et al. (1997) os autores também utilizam o modelo de GASPERI (2005) para compensar o efeito da temperatura. Em IMAN, et al. (2005), os autores determinaram padrões de comportamento da ondulação de tensão no capacitor, utilizando para isso a transformada rápida de Fourier. Em LEE, et al. (2005), os autores estimam a capacitância online ao longo do tempo na tentativa de prever falhas, sem levar em consideração a temperatura, pois, o teste pode ser realizado sem carga. Em CHEN, et al. (2008) e em MAN, et al. (2010), os autores também implementam um preditor de falhas no capacitor online, sem sensores de corrente, utilizando somente a ondulação da tensão do capacitor sem considerar o efeito da temperatura para circuitos de potência que utilizam filtros LC. Em BRAHAM, et al. (2010), os autores utilizam também a ondulação da tensão para descrever o processo de desgaste do capacitor desconsiderando a temperatura ambiente. No entanto, a ondulação é sensível a temperatura ambiente, e esta pode variar muito dentro do ambiente industrial. Em GASPERI (1996), o autor utiliza um método interativo com várias expressões analíticas que relacionam RSE, temperatura do núcleo e volume do eletrólito, que se torna muito complexo sua aplicação prática. Em LEE, et al. (2005), os autores testam capacitores eletrolíticos para os fatores de estresse, tempo, temperatura e tensão, concluindo que em todos os casos há redução de capacitância e aumento de RSE. Essa é uma conclusão importante, pois, a capacitância, assim como a RSE, pode ser utilizada para prever falhas. Em YAO,

et al. (2014), os autores identificam a RSE e C em conversores buck operando em modo de condução contínua, encontrando resultados para diferença de temperatura de 50 °C e 85 °C com diferenças de RSE por volta de 25%. Isso mostra que as decisões baseadas em medidas realizadas em diferentes temperaturas são ineficientes.

Este trabalho propõe uma abordagem diferente para predição da falha em capacitores eletrolíticos. A abordagem por comparação com capacitores de mesmo valor sem estresse a mesma temperatura. Como a RSE, durante a operação, varia em função da temperatura no método apresentado é possível estimar a falha de modo online no início da operação, dando mais confiabilidade ao teste pois traz características reais do ambiente de operação. A hipótese inicial é que se os capacitores estão à mesma temperatura o sistema de acompanhamento é mais preciso, pois o capacitor sem estresse é a referência. Com o intuito de validar a metodologia proposta, são apresentados resultados experimentais.

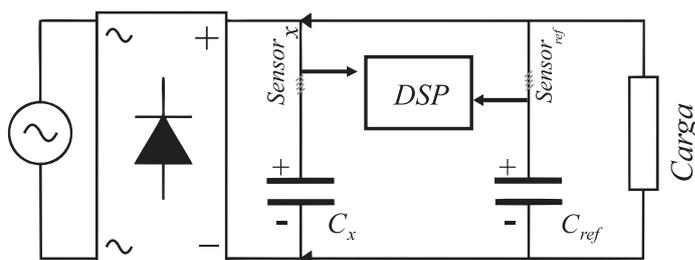
METODOLOGIA

Descritor do desgaste do capacitor eletrolítico

A RSE é um descritor eficiente para a confiabilidade instantânea do capacitor. No entanto, sua leitura para fins de comparação não é trivial, por causa da sua variação com os três fatores a que está submetido o capacitor: temperatura, frequência e tensão. O sistema proposto é destinado para acompanhar o processo de falha em capacitores eletrolíticos em barramentos CC alimentados por retificadores a 6 pulsos (retificadores trifásicos em ponte completa) ou a dois pulsos (retificadores monofásicos em ponte completa), os dois mais presentes em inversores comerciais.

Diferente dos métodos convencionais, em que os valores de RSE são determinados de forma absoluta, isto é, coletando o valor da RSE do capacitor em operação, o sistema proposto utiliza dois capacitores, sendo um deles de referência C_{ref} (utilizado somente no instante do teste) e outro de operação C_x (utilizado permanentemente), apresentados na Figura 2. O sistema acompanha a RSE de forma indireta, por um teste de comparação com o capacitor de referência. É proposto um descritor de desgaste do capacitor eletrolítico, que possui comportamento que reflete indiretamente o comportamento da RSE durante sua vida.

Figura 2 – Sistema Proposto



Fonte: Autoria própria (2019).

Com um teste de 0,5 ms no início da operação do inversor, o tempo não será suficiente para aumentar a temperatura dos capacitores. Após o teste o capacitor de referência é desconectado do barramento CC e permanece assim durante a operação do conversor. Dessa forma I_{ref} não é afetado pelos esforços de corrente a qual está submetido I_x , conseqüentemente sua temperatura no interior da carcaça não será a mesma que a do capacitor em teste durante toda a operação do conversor, mas será igual apenas início da operação quando é realizado o teste. Assim a quantidade de eletrólito no interior do capacitor de referência será desprezivelmente afetada no teste, preservando sua integridade. Todo o procedimento de comparação se dá a partir das leituras das duas correntes dos braços I_x e I_{ref} , que são lidas pelos sensores S_{enx} e S_{enref} , respectivamente. Baseando-se nas leituras e no descritor de desgaste é determinado o nível de desgaste do capacitor C_x . Como a alimentação dos capacitores é fornecida pela concessionária de energia elétrica, tornam-se possíveis pequenas variações na tensão sobre os capacitores, em regime permanente, nas horas com maior e menor solicitação de carga do sistema. Dois pressupostos devem ser levados em consideração para o sistema proposto:

Pressuposto 1 - Pequenas variações de tensão, cerca de 1% abaixo da tensão nominal do capacitor não alteram, de forma significativa, o valor da RSE lida (CHEN, et al. 2008).

Pressuposto 2 - Como os dois capacitores estão lado a lado, estão submetidos à mesma temperatura no início de operação, instante em que ocorre o teste, a série de leituras não é afetada pelas variações de temperatura. Sendo assim, o teste está imune a variações de temperatura, fato que alteraria muito o valor da RSE lida (CHEN, et al. 2008), (GASPERI, 2005).

Descritor do aumento da RSE baseado no ângulo de fase das correntes nos capacitores

As componentes de CA mais significativas da corrente dos capacitores são determinadas pela transformada de Fourier, gerando os valores dos módulos das correntes I_{ref} e I_x , e os valores das fases θ_{ref} e θ_x . No caso de retificação monofásica (dois pulsos), a frequência mais significativa é duas vezes a frequência da rede.

No caso de retificação trifásica (seis pulsos), a frequência mais significativa é seis vezes a frequência da rede. As expressões que relacionam tais valores são mostradas em (1) e (2), para o capacitor de referência e o capacitor em teste, respectivamente. E_{ac} é a componente alternada da tensão de barramento CC.

$$RSE_{ref} I_{ref} \cos(\theta_{ref}) = E_{ac} \quad (1)$$

$$RSE_x I_x \cos(\theta_x) = E_{ac} \quad (2)$$

A partir das equações (1) e (2) resulta a equação (3).

$$RSE_x = RSE_{ref} \left(\frac{I_{ref}}{I_x} \right) \left(\frac{\cos(\theta_{ref})}{\cos(\theta_x)} \right) \quad (3)$$

É conhecido que a evaporação do eletrólito aumenta a RSE e diminui a capacitância (SAKARAN, et al. 1997). O ângulo de fase da corrente em relação à tensão alternada numa frequência ω é expresso por (4), que mostra que o ângulo de fase é função da capacitância C e da resistência RSE.

$$\theta = \tan^{-1}(1/RSE \times C \times \omega) \quad (4)$$

O ângulo de fase das correntes, utilizando a capacitância de referência, pode ser utilizado como um descritor do nível de degradação do capacitor. A esse descritor chamaremos de k e sua expressão é mostrada em (5).

Os parâmetros C e RSE possuem comportamento conflitante no cálculo de k, no entanto, a capacitância é muito menor que 1/RSE, sendo esta última mais expressiva no cálculo de k. Em outras palavras, k aumenta com o desgaste do capacitor.

$$k = \left(\frac{\cos(\theta_{ref})}{\cos(\theta_x)} \right) \quad (5)$$

RESULTADOS

Leitura dos valores da SER

Foram realizadas medições com o capacitor eletrolítico de referência, resultando um valor de RSE = 0,758 Ω e capacitância de 100,18 μ F. Estes capacitores são muito comuns em bancos CC em inversores para fonte fotovoltaica (RISTOW, et al. 2008).

Uma amostra de quatro capacitores de 250 V, 100 μ F, de um mesmo fabricante, foi utilizada para realizar um ensaio acelerado. O resultado para operação com tensão nominal e corrente eficaz nominal de 0,5 A, depois de trinta minutos de operação, a uma temperatura de carcaça de 45 °C, são os mostrados na Tabela I. Em cada capacitor, foram realizadas dez medições espaçadas de um minuto, no medidor de impedância 4263B da Agilent.

Tabela I - Resultado de RSE Estimado de Capacitores de 250 V 100 μ F sob Condições Nominais

Capacitor	RSE Médio (Ω)	Desvio Padrão
C1	0,4002	0,0160
C2	0,5654	0,0370
C3	0,5635	0,0842
C4	0,5027	0,0184
MÉDIA	0,5183	0,0225

Fonte: Autoria própria (2019).

Teste acelerado para determinação de capacitores com falhas

Ensaio térmico acelerado de capacitores são os métodos mais rápidos para se conseguir capacitores com características de desgaste semelhantes aos componentes em grande tempo de operação. O método utilizado por vários autores, visa aumentar a temperatura do eletrólito para forçar sua evaporação de forma rápida.

O ensaio acelerado foi realizado aumentando a corrente eficaz do capacitor, observando sua temperatura de carcaça. A temperatura de regime permanente da carcaça é função do quadrado da corrente eficaz como mostra a expressão (6). Tal expressão deriva da equação de regime permanente de transferência de calor. Isso é evidenciado na temperatura de convergência da caixa do capacitor em função sua da corrente eficaz até a 50ª harmônica, apresentada na Figura 3. Desta forma, ajusta-se a temperatura da caixa a partir da corrente eficaz do capacitor, para uma determinada temperatura ambiente controlada.

$$T_{can} = R_{th(can-ambiente)} RSE \times i_{rms}^2 \times T_{ambiente} \quad (6)$$

Onde:

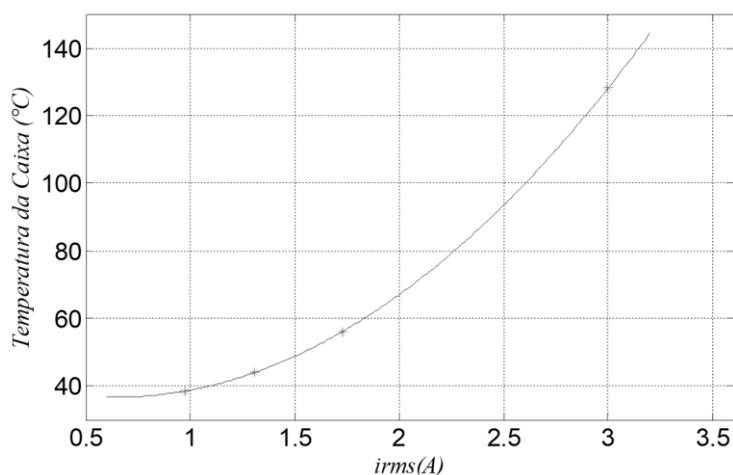
T_{can} – temperatura da carcaça;

$R_{th}(can-ambiente)$ – resistência térmica da carcaça para o ambiente;

i_{rms} – corrente eficaz;

$T_{ambiente}$ – temperatura ambiente.

Figura 3 – Temperatura de convergência da caixa do capacitor utilizado no experimento em função da corrente eficaz



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela II mostra a RSE obtida pelo ensaio acelerado, bem como a temperatura de caixa do capacitor. Já a Tabela III apresenta a corrente eficaz e o tempo aproximado em que o componente ficou submetido a corrente.

Os valores de RSE foram aferidos no medidor de impedância 4263B da Agilent, para frequência de 100Hz e temperatura de carcaça do capacitor de 25 °C. É comum na literatura técnica impor o limite de falha concreta dos capacitores eletrolíticos para aumento de RSE de 180%, o que equivale a uma redução em 40% do volume de eletrólito (BHC COMPONENTS, 2009), (MILITARY HANDBOOK, 1995). Dessa forma, considera-se aqui uma redução no volume de eletrólito abaixo de 40% como falha latente.

Tais condições também são apresentadas na Tabela III. Caso a capacitância diminua abaixo de 80% do valor inicial, isso caracteriza-se como falha (KUIKARNI, 2012). Em BHC COMPONENTS (2009), uma RSE de 200% e uma capacitância menor que 90% do valor inicial, definem o final da vida útil física do componente.

No entanto, o trabalho está interessado em conseguir um conjunto de capacitores com variado volume de eletrólito. Tais capacitores serão utilizados nos resultados experimentais para testar o método. Para estimação do volume de eletrólito foi utilizada a equação (7) apresentada em (GASPERI, 1996), que relaciona a RSE e o volume de eletrólito.

$$RSE / RSE_o = (V_o / V)^2 \quad (7)$$

Onde:

RSE – resistência após do ensaio acelerado;

RSE_o – resistência antes do ensaio acelerado;

V – volume de eletrólito estimado, após ensaio acelerado;

V_o – volume de eletrólito antes do ensaio acelerado.

Tabela II - Resultado do ensaio acelerado para 4 capacitores de 100 µF 250 V de mesma marca lidos a uma temperatura de carcaça de 25 °C

Capacitor	RSE Médio (Ω)	Capacitância (µF)	Temperatura da caixa do ensaio (°C)
C1	0,518	100	25
C2	1,8	88	130
C3	3,3	83	130
C4	16,4	55	130

Fonte: Autoria própria (2019).

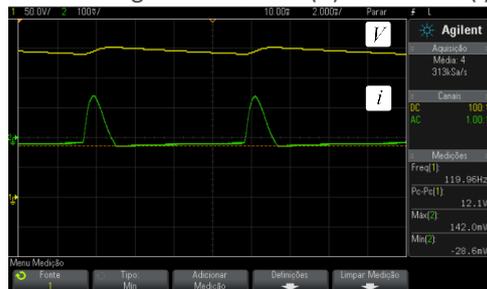
Tabela III - Resultado do ensaio acelerado para 4 capacitores de 100 µF 250 V de mesma marca lidos a uma temperatura de carcaça de 25 °C

Capacitor	Tempo Aproximado do Ensaio (horas)	Volume do Eletrólito estimado (%)	Condição
C1	1	100	Sem Falha
C2	10	53,6	Falha Latente
C3	30	36,9	Falha Latente
C4	90	17,8	Falha Concreta

Fonte: Autoria própria (2019).

Nas Figuras 4 (a) a 4 (d) são apresentadas as tensão e correntes, para corrente eficaz e tensão nominal, dos capacitores C1, C2, C3 e C4. Tais figuras comprovam de forma ilustrativa a falha provocada pelo ensaio acelerado. O capacitor C1 será utilizado como referência.

Figura 4 – Tensão (V) e Corrente (i) nos Capacitores.



a - Capacitor C1, RSE = 0,518 Ω



b - Capacitor C2, RSE = 1,8 Ω



c - Capacitor C3, RSE = 3,3 Ω



d - Capacitor C4, RSE = 16,4 Ω

Fonte: Autoria própria (2019).

Observando a Figura 4 (a) em comparação com as imagens das Figura 4 (b), 4 (c) e 4 (d) relacionadas aos outros capacitores, nota-se que para maiores valores de RSE a amplitude da corrente é menor e a ondulação da tensão é maior.

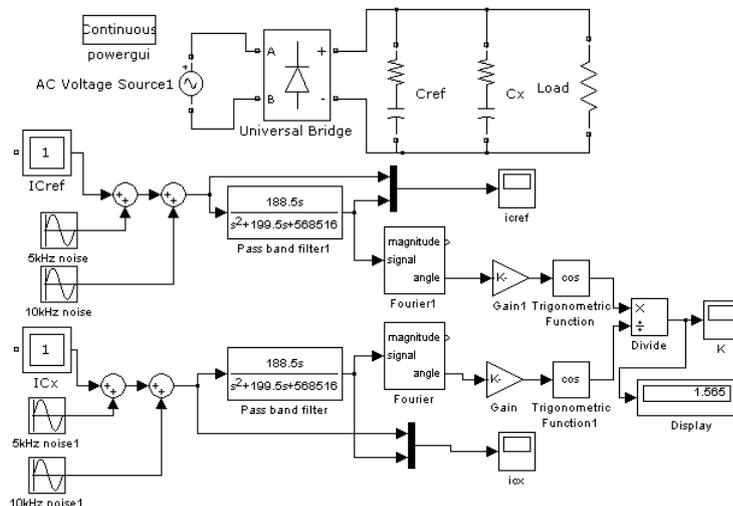
Isso demonstra real falha ocasionada pelo desgaste acelerado, com maior RSE, pela lei de Ohm a corrente será menor e com a redução do valor da capacitância o filtro formado pelo capacitor torna-se cada vez menos suficiente na atenuação do ripple.

Simulação

A simulação, apresentada na Figura 5 foi realizada no software MATLAB SIMULINK. O valor de RSE de referência é de 0,5 Ω. Os ângulos de fase são determinados para frequência de 120 Hz, como já foi mencionado, pois se trata de um retificador monofásico.

Como a tensão sobre o barramento CC é proveniente da rede, esta pode conter ruídos assim para a simulação foram emuladas duas fontes de ruídos na frequência de amostragem do DSP 5 kHz e 10 kHz. Para evitar erros de leitura dois filtros passa banda de 2ª ordem na frequência de corte de 120 Hz foram utilizados para filtrar os ruídos na leitura das correntes.

Figura 5 - Simulação do método de predição por comparação

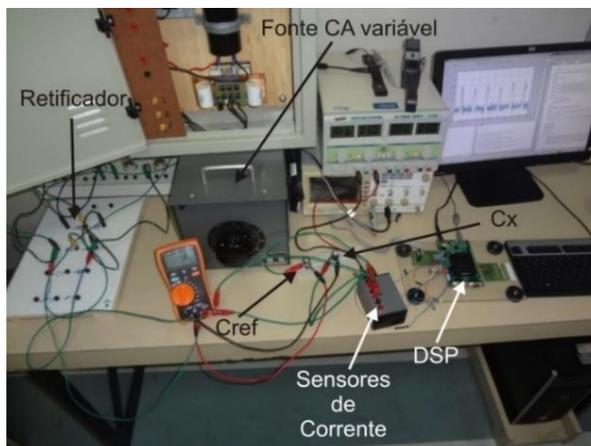


Fonte: Autoria própria (2019).

Resultados simulados e experimentais

O sistema, apresentado na Figura 6, foi implementado no DSP Texas TMS320F28335. Dois sensores de corrente de efeito hall, de baixo custo, foram utilizados para ler a corrente dos capacitores. Tanto na simulação quanto na implementação experimental foi utilizado um retificador monofásico em ponte completa, alimentado pela tensão da concessionária de energia elétrica, que possui tensão de 220 V. A utilização do retificador monofásico possui o mesmo princípio do retificador trifásico, o que difere é o harmônico significativo em que se faz as medições. No monofásico, em ponte completa o harmônico significativo é o de 120 Hz, já no trifásico é o 360 Hz, pois se trata de seis pulsos. Uma carga resistiva de 150 Ω, foi utilizada no barramento de corrente contínua.

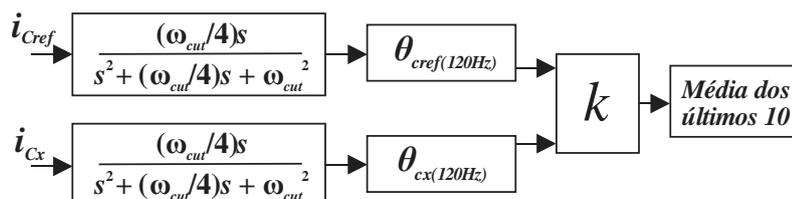
Figura 6 – Plataforma para determinação dos resultados experimentais.



Fonte: Autoria própria (2019).

Na implementação experimental foram utilizados os mesmos filtros passa banda de 2ª ordem da simulação para filtragem das correntes lidas, como pode ser visto na Figura 7. No entanto, a frequência de corte foi ajustada para 118,57 Hz por tentativas e erros. O filtro, apresentado em (8), foi discretizado para a frequência de amostragem do DSP de 10 kHz.

Figura 7 – Filtro Passa Banda



$$H(z) = \frac{0,009214z^2 - 0,009214}{z^2 - 1,976z + 0,9816} \quad (8)$$

Fonte: Autoria própria (2019).

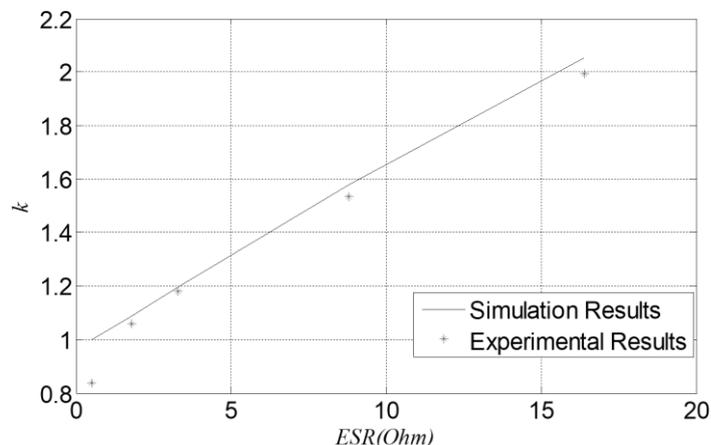
Os resultados experimentais com os capacitores envelhecidos de forma acelerada C2, C3, C4, estão dispostos na Tabela IV, para uma carga no barramento de 150 Ω. Em ambos os casos, o descritor aumentou com o envelhecimento do capacitor. Os resultados de simulação e experimental além de possuírem uma correlação muito alta, de 0,99179, são similares, como apresentado na terceira e a quarta coluna da Tabela IV, bem como o gráfico mostrado na Figura 8. Erros entre os resultados experimentais e de simulação são devido a uma série de fatores, como variação da temperatura da resistência do barramento, pequenos erros no procedimento numérico no cálculo do DSP e, principalmente, ruídos na leitura das correntes que foram minimizados pelo filtro.

Tabela IV - Valor de k experimental e simulado para os valores dos capacitores envelhecidos de forma acelerada, com uma carga no barramento CC de 150 Ω

Capacitor	RSE Médio (Ω)	Descritor k (Simulado)	Descritor k (Experimento)
C1	0,518	1,000	0,838
C2	1,8	1,086	1,060
C3	3,3	1,195	1,180
C4	16,4	2,055	1,991
		Correlação = 0,99179	

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 8 – Gráfico dos resultados de simulação e experimental.



Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÕES

O método de acompanhamento do desgaste do capacitor foi testado tanto por simulação quanto experimental. Os resultados de simulação e experimental concordaram, mostrando uma correlação extremamente alta. O método apontou para uma escala de valores unívoca com o valor de RSE e, conseqüentemente, com o volume de eletrólito. O sistema possui quatro vantagens em relação aos sistemas tradicionais de acompanhamento de desgaste de capacitores eletrolíticos. É imune a temperatura ambiente. Seja qual for a temperatura ambiente os dois capacitores no início da operação estão submetidos à mesma temperatura; Pode ser embarcado em um inversor ou pode fazer parte de um medidor discreto para determinado inversor. O DSP do controle do inversor pode ser utilizado para realizar os testes no começo de operação, decidindo se os capacitores estão em condições de utilização ou não. Evitando assim, paradas não programadas; Não é invasivo. Não são necessárias informações sobre a temperatura do núcleo do capacitor.

Como trabalhos futuros deseja-se realizar testes mais apurados com a implementação de técnicas de processamento de sinal para atenuação de ruídos e obter uma boa acurácia, além da implementação em conversores para validação a longo prazo.

ON-LINE MONITORING OF THE DEGRADATIVE PROCESS OF ELECTROLYTIC CAPACITORS IN RECTIFIERS BY COMPARISON METHOD

ABSTRACT

This work presents the development and application a system prediction failures electrolytic capacitors in the DC bus of static converters. The system works online using a comparison method with a reference capacitor. Based on the Fourier series it was possible to define a parameter descriptor of capacitor failure in test. The proposal is quite valid for applications in predictive maintenance, avoiding unscheduled stops to change the capacitor or equipment. The system can be embedded, being part of a product, or a device...

KEYWORDS: Prediction of Failures. Electrolytic Capacitors. Online Comparison. Fourier Series. Predictive Maintenance.

REFERÊNCIAS

AELOIZA, Eddy C., Jang-Hwan Kim, P. Enjeti, P. Ruminot. "A Real Time Method to Estimate Electrolytic Capacitor Condition in PWM Adjustable Seed Drivers and Uninterruptible Power Supplies". Power Electronics Conference, p. 1, Recife, Brasil, 2005.

AMARAL, Acácio M. R. e CARDOSO A. J. Marques. "Use of ESR to prediction failure of output filtering capacitors in boost converters". IEEE-International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2004, Ajaccio, França, Maio, 2004. pp i309-i314, 2004.

BHC COMPONENTS. "Aluminium Electrolytic Capacitors", BHC Applications notes. 2009.

BRAHAM, Ahmed, Amine Lahyani, Pascal Venet, Nejla Rejeb. "Recent development in fault detection and power estimation of electrolytic capacitors". IEEE- Transaction on power electronics, vol. 22, n.1, p. 33-43, 2010.

CHEN, Yaow-Ming, Hsu-Chin Wu, Ming-Wei Chou, Kung-Yen Lee. "Online Failure prediction of the electrolytic capacitor for LC filter of switching-mode power converter". IEEE- Transaction on industrial electronics, vol. 55. n. 1, pp. 400-406, January, 2008.

GASPERI, L. Michael. "Life prediction model for aluminium electrolytic capacitors". IEEE- Industry Applications conference, 6-10 oct, San Diego – CA, Vol. 3, pp. 1347-1351, 1996.

GASPERI, Michel L. "Life Prediction modeling of bus capacitors in AC Variable frequency drives". IEEE- Transaction on Industry Applications. V. 41, N. 06. pp. 1430-1435, 2005.

HORSTMANN, Richard E., OBERSCHMIDT James M. "Low inductance capacitor". United States Patent. Number 4,814,940. International Business Machines Corporation, Armonk, N.Y., 1989.

IMAN, Afroz M., Thomas G. Habetler, Ronald G. Harley, Deepak Divan. "Failure Prediction of Electrolytic Capacitor using DSP methods". IEEE- Power Electronics Conference 2005, mar.6-10, Austin, 2005.

KUIKARNI, Chetan S., José R. Celaya, Gautam Biswas, Kai Goebel. "Accelerated aging experiment for capacitor health monitoring and prognostics". IEEE-Autotestcom – 2012, p. 356-361, Anaheim – CA, 2012.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Qualitymark: Petrobrás, 5ª Edição. Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

LEE, D.C., K. J. Lee, J. K. Seok, J. W. Choi. "Online capacitance estimation of DC-link electrolytic capacitors for three-phase AC/DC/AC PWM converters using recursive least squares method". IEEE- Proceeding Electronics power application, V. 152, n.6, November, 2005, pp 1503-1508, 2005.

MAN, Pang Hon and Pong M. H. Bryan. "A life prediction scheme for electrolytic capacitors in power converters without current sensor". APEC – Applied power electronics conference and exposition, 2010, Palm Spring-CA, pp 973-979, Feb 21-25 2010.

MEADE, Thomas. O'Sullivan, Dara. Foley, Raymond. Achimescu, Cristian. Egan, Michel. McCloskey Paul. "Parasitic inductance effect on switching losses for a high frequency Dc-Dc converter". IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC 3-9, (2008).

MILITARY HANDBOOK. Reliability prediction of Electronic Equipment, 217.F. 1995.

RISTOW, Alan, Miroslav Begovic, Aleksandar Pregelj, Ajeet Rohatgi. "Development of a methodology for improving photovoltaic inverter reliability". IEEE- Transaction on industrial electronics, vol. 55. n. 7, pp. 2581-2592, July, 2008.

SAKARAN, V. A., F. L. Rees, C. S. Avant. Electrolytic Capacitor life testing and prediction. IEEE- Industry Application Society Annual Meeting – IAS 1997, Luisiana, 1997.

WANG, Huai, Frede Blaabjerg. "Reliability of capacitors for DC-Link Applications" - An Overview. IEEE- Transaction on Industry Applications, Vol. pp. Issue 99, p. 1, 2014.

YAO, Kai, Weijie Tang, Wenbin Hu, Jianguo Lyu. "A current-sensor-less online ESR and C identification method for output capacitor of buck converter". IEEE- transaction on power electronics, vol. pp, issue 99, p. 1-12, 2014.

Recebido: 05 set 2018.

Aprovado: 05 set 2019.

DOI: 103895/recit.v10n25.8638

Como citar SILVA, E S., Acompanhamento online do processo degradativo de capacitores eletrolíticos em retificadores pelo método da comparação r. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 10, n. 25, p. 33-45, jul/set, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Elves Sousa e Silva

R. Manoel Guimarães Morais, 195 - José Pinheiro, Campina Grande - PB, 58430-410

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0 Internacional.

