



ELVES SOUSA E SILVA
JOÃO ANTONIO DA SILVA NETO
JOSÉ ARTUR ALVES DIAS

SISTEMA PARA PREDIÇÃO DE
FALHAS EM CAPACITORES
ELETROLÍTICOS
DE CONVERSORES VSI

Kattleya
EDITORA

**SISTEMA PARA PREDIÇÃO DE
FALHAS EM CAPACITORES
ELETROLÍTICOS DE CONVERSORES
VSI**

DIREÇÃO EDITORIAL: Luciele Vieira da Silva

DIAGRAMAÇÃO: Bruna Natalia de Freitas

REVISÃO ORTOGRÁFICA: Autores

IMAGEM DE CAPA: freepik.com

DESIGNER DE CAPA: Editora Kattleya

O conteúdo da obra é de inteira e exclusiva responsabilidade dos autores, incluindo o padrão textual, o sistema de citação e referências bibliográficas.



Todos os livros publicados pela Editora Kattleya estão sob os direitos da Creative Commons 4.0
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pt_BR

2026 Editora Kattleya

Aldebaran | Tv. José Alfredo Marques, Loja 05

Antares, Maceió - AL, 57048-230

www.editorakattleya.com

editorakattleya@gmail.com

Catálogo na publicação

Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

S586s

Silva, Elves Sousa e

Sistema para predição de falhas em capacitores eletrolíticos de conversores VSI / Elves Sousa e Silva, João Antonio da Silva Neto, José Artur Alves Dias. – Maceió-AL: Kattleya, 2026.

Livro em PDF

ISBN 978-65-83366-26-9

1. Engenharia elétrica. 2. Capacitores eletrolíticos. 3. Conversores eletrônicos. I. Silva, Elves Sousa e. II. Neto, João Antonio da Silva. III. Dias, José Artur Alves. IV. Título.

CDD 621.3

Índice para catálogo sistemático

I. Engenharia elétrica

Elves Sousa e Silva
João Antonio da Silva Neto
José Artur Alves Dias

**SISTEMA PARA PREDIÇÃO DE
FALHAS EM CAPACITORES
ELETROLÍTICOS DE CONVERSORES
VSI**

Maceió-AL | **Kattleya**
2026 EDITORA

Direção Editorial

Luciele Vieira da Silva

Comitê Científico Editorial

Dr. Edson Hely Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Brasil)

Dr. Adlene Silva Arantes

Universidade de Pernambuco - UPE (Brasil)

Dr. Augusto César Acioly Paz Silva

Universidade Federal de Pernambuco | UFPE (Brasil)

Dr. João Paulino da Silva Neto

Universidade Federal de Roraima | UFRR (Brasil)

Dra. Ana Maria de Barros

Universidade Federal de Pernambuco, Campus do Agreste da UFPE | (Brasil)

Dra. Ana Maria Tavares Duarte

Universidade Federal de Pernambuco, Campus do Agreste da UFPE | (Brasil)

Me. Elizabete Cristina Rabelo de Araújo

Universidade Federal de Pernambuco | UFPE (Brasil)

Me. Laudemiro Ramos Torres Neto

Universidade Católica de Pernambuco | UNICAP (Brasil)

Prof. Denivan Costa de Lima

Universidade Federal de Alagoas | UFAL (Brasil)

Dr. José Luís Romero Hernández

Universidade Nacional Autónoma do México | UNAM (México)

Me. Ruth Nitzia Botello Ortiz

Instituto Politécnico Nacional | IPN (México)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	
Estrutura do capacitor eletrolítico.....	14
Figura 2	
Modelo do capacitor.....	15
Figura 3	
Conversor VSI.....	16
Figura 4	
Distribuição de falhas nos componentes de um conversor VSI.....	18
Figura 5	
Medidor LCR METER 4263B AGILENT.....	25
Figura 6	
Sensor de corrente ACS 712.....	27
Figura 7	
Pinagem do DSCTMS320F28335.....	30
Figura 8	
Plataforma eZdsp™ F28335.....	31
Figura 9	
Temperatura de convergência da carcaça do capacitor utilizado no experimento em função da corrente efetiva do mesmo.....	36
Figura 10	
Medição de um capacitor eletrolítico com LCR METER 4263B da Agilent.....	38

Figura 11	
Tensões e correntes nos capacitores.....	41
Figura 12	
Sistema proposto.....	42
Figura 13	
Simulação do método de predição por comparação.....	47
Figura 14	
Sistema montado para determinação dos resultados experimentais.....	48
Figura 15	
Diagrama do sistema implementado na prática.	49
Figura 16	
Gráfico dos resultados de simulação e experimental.....	51
Figura 17	
Corrente dos capacitores de referência e teste antes do filtro.....	52
Figura 18	
Valores de k após a ação do filtro da média dos dez últimos valores, para o capacitores com falhas.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	
Falhas relacionadas ao aumento da RSE e redução da capacitância.....	20
Tabela 2	
Especificações de medição RLC com LCR METER 4263B.....	26
Tabela 3	
Resultado da RSE dos capacitores sob condições nominais.....	39
Tabela 4	
Dados do desgaste acelerado.....	40
Tabela 5	
Resultado simulado das amostras dos capacitores para uma carga no barramento de 150 Ω	47
Tabela 6	
Valor do resultado de k experimental e simulado para os capacitores desgastados, para uma carga no barramento CC de 150 Ω	50

LISTA DE SIGLAS

RSE Equivalente	Resistência	Série
VSI	Inversor	fonte de
tensão (<i>Voltage Source Inverter</i>)		
DSP	Processador	Digital
de Sinais (<i>Digital Signal Processing</i>)		
DSC	Controlador de Sinais	
Digitais (<i>Digital Signal Controller</i>)		
CC	Corrente Contínua	
CA	Corrente Alternada	
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio	
CI	Circuito Integrado	
AD	Analógico - digital	

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO I	
O CAPACITOR ELETROLÍTICO.....	13
1.1 MODELO DO CAPACITOR ELETROLÍTICO.....	15
1.2 CONVERSOR VSI.....	15
1.2.1 FALHAS NOS COMPONENTES DE UM CONVERSOR VSI.....	17
1.2.2 RELAÇÃO ENTRE AS FALHAS E O AUMENTO DA SER.....	19
1.3 MANUTENÇÃO E PREDITORES DE FALHA.....	21
1.4 OBJETIVO.....	23
1.4.1 OBJETIVOS GERAIS.....	23
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
CAPÍTULO II	
MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
2.1 MEDODOLOGIA.....	24
2.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	24
2.2.1 MEDIDOR LCR METER 4263B AGILENT.....	25
2.2.2 SENSORES DE CORRENTE.....	26
2.2.3 PLATAFORMA DSP eZdsp™ F28335..	28

2.2.4 SOFTWARE MATLAB.....	32
2.3 MÉTODOS DE LEITURA DA SER.....	33
2.3.1 DESGASTE ACELERADO DO CAPACITOR ELETROLÍTICO.....	35
2.3.2 LEITURA POR INSTRUMENTO: LCR METER 4263B.....	37
2.3.3 LEITURA POR SENSORES COM DSP.....	41
2.3.4 DESCRITOR k.....	43
CAPÍTULO III	
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
3.1 RESULTADOS SIMULADOS.....	46
3.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	48
CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas de predição de falhas vem crescendo com a finalidade de minimizar os custos da manutenção e aumentar a confiabilidade de sistemas. A técnica de predição de falha consiste em acompanhar alguns parâmetros que se modificam no capacitor, à medida que o componente ou sistema de componentes se desgastam. Logo, a análise preditiva visa prever falhas do tipo desgaste.

As falhas estão relacionadas ao stress a que esta submetido o componente e ao tempo de utilização. As falhas precoces dos componentes estão diminuindo por conta da melhoria nos processos produtivos. Por exemplo, na indústria de capacitores destacam-se os procedimentos de “high-stress-screening”, que submete capacitores a alta tensão e temperatura com a finalidade de manifestar falhas precoces latentes nestes componentes, falhas estas provenientes do processo produtivo. O resultado é uma taxa de falha no começo de vida útil de 0,02 a 0,2% (PARLER, APPLICATION NOTES)

O sistema proposto neste trabalho considera a RSE (Resistência Série Equivalente) de capacitores eletrolíticos como um parâmetro para a predição de falhas em conversores estáticos de potência, visto que os capacitores apresentam as maiores estatísticas de falhas nestes conversores.

CAPÍTULO 1

O CAPACITOR ELETROLÍTICO

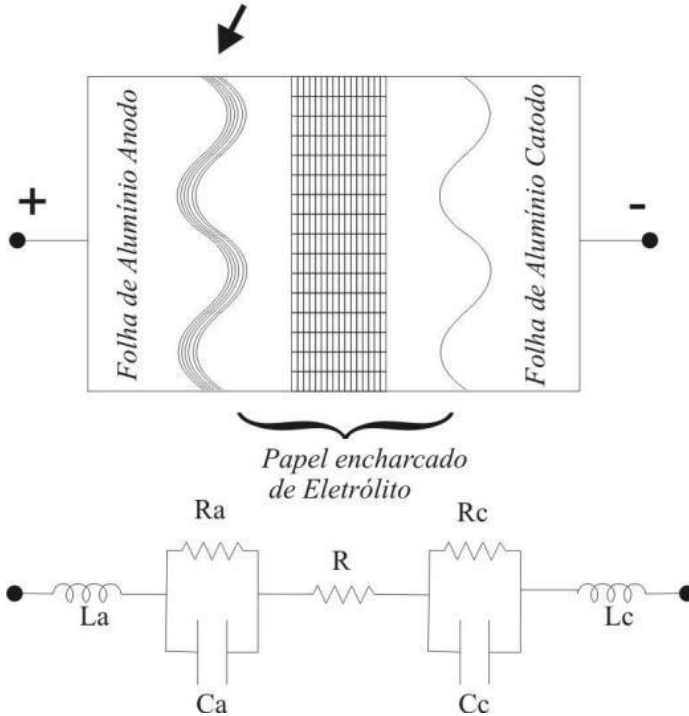
O capacitor é um componente capaz de armazenar energia através do efeito do campo elétrico entre duas placas separadas por um isolante, chamado de dielétrico. Existem capacitores fabricados de diversos materiais, tais como: cerâmica e poliéster, porém os capacitores mais aplicados em conversores estáticos de potência são os capacitores eletrolíticos.

A estrutura do capacitor eletrolítico é mostrada na figura 1. Nesta pode-se observar que o capacitor possui o anodo feito de puro alumínio que em contato com o papel encharcado de eletrólito forma uma camada de óxido de alumínio Al_2O_3 sobre sua superfície. Este óxido funciona como dielétrico do capacitor. O óxido é 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 a uma tensão CC. A espessura da camada de óxido é projetada para a tensão nominal do capacitor. O catodo é formado por eletrodos de alumínio no catodo acontece também a formação de Al_2O_3 , mas em muito menor escala. Praticamente toda a tensão do capacitor eletrolítico está sobre a camada de Al_2O_3 .

O capacitor eletrolítico possui uma maior densidade de energia (por volta de $2J/cm^3$) que seus concorrentes, os capacitores de polipropileno e multicamada de cerâmica. Por isto, os capacitores eletrolíticos tem sido uma opção

mais econômica que seus concorrentes, apresentando um menor custo por joule (WANG, 2014).

Figura 1
Estrutura do capacitor eletrolítico
Dielétrico Al_2O_3



Fonte: Produzido pelo autor

Onde:

Ca e Cc são as capacitâncias devido ao anodo e catodo;

R é a resistência do eletrólito;

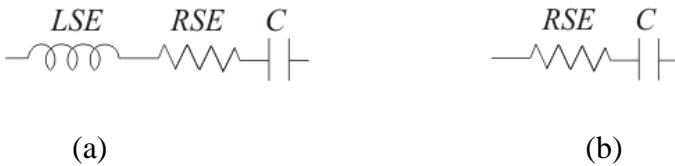
La e Lc são as indutâncias devido ao anodo e catodo;

Ra e Rc são as resistências devido ao anodo e catodo.

1.1 MODELO DO CAPACITOR ELETROLÍTICO

O modelo geralmente aceito do capacitor é o modelo RLC (em série), visto na figura 2a (GASPERI, 2005, AMARAL, 2004). Onde a RSE (Resistência Série Equivalente) é a responsável pelas perdas do capacitor, LSE é a indutância série equivalente que pode ser desprezada em baixas frequências, dando origem ao modelo da figura 2b.

Figura 2
Modelo do capacitor



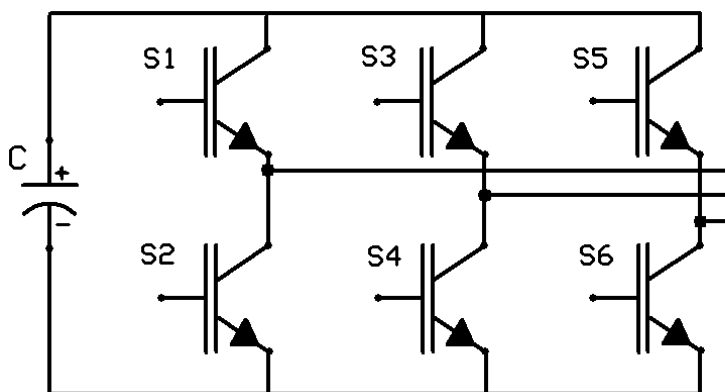
Onde: (a) modelo com indutância equivalente, (b) modelo simplificado.

Fonte:(GASPERI, 2005, AMARAL, 2004)

1.2 CONVERSOR VSI

O conversor VSI (Voltage Source Inverter) também conhecido como inversor fonte de tensão é capaz de sintetizar um sinal CA a partir de uma fonte CC através do chaveamento das chaves semicondutoras. A figura 3 apresenta o circuito básico de um conversor VSI.

Figura 3
Conversor VSI



Fonte: Produzido pelo autor

A tensão CC é armazenada sobre o capacitor C, e este, além de servir como filtro, garante que os eventos de chaveamento não alterem de modo significativo a tensão contínua.

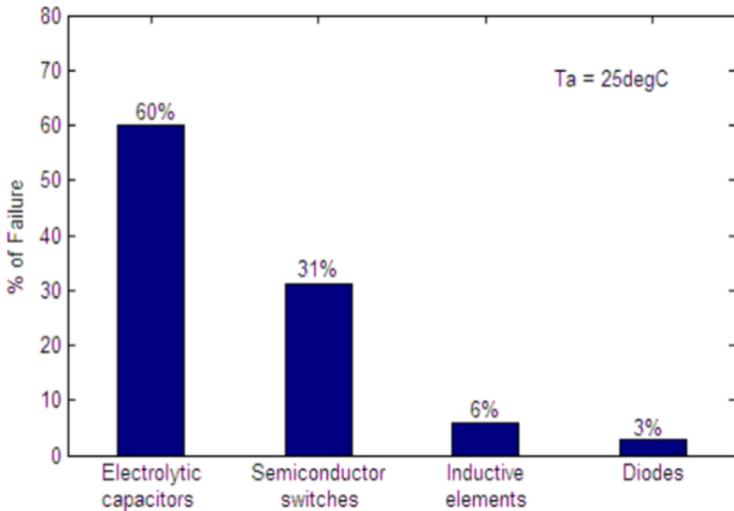
Na figura 2 pode-se observar que as chaves são distribuídas em pares verticais (braços) no inversor, tal que apenas uma pode estar ligada. Se as duas forem ligadas ao mesmo tempo haverá um curto na fonte CC. Quando a chave S1 está ligada S2 estará desligada e fará surgir sobre a saída uma tensão V_a positiva, porém, quando a chave S1 está desligada e S2 está ligada, surge uma tensão V_a negativa sobre a carga. O controle do inversor executa o chaveamento nos três braços e cria uma onda alternada que, em um instante é positiva e em outro instante é negativa, esta onda alternada tem aspecto senoidal.

Em resumo, o inversor permite gerar um sinal periódico, com frequência e amplitude controladas, a partir de uma fonte CC. Estes inversores são fortemente aplicados em ambientes industriais e na conversão da energia de painéis fotovoltaicos. O capacitor que forma o barramento CC é do tipo eletrolítico, devido a suas características de capacidade de armazenamento de energia.

1.2.1 FALHAS NOS COMPONENTES DE UM CONVERSOR VSI

As falhas nos conversores VSI estão relacionadas aos componentes do mesmo. Tais falhas ocorrem por conta do desgaste que acontece naturalmente nos componentes devido ao tempo de uso e ao modo de operação. A figura 4, extraída de Man (2010) mostra a distribuição de falhas dos componentes de um conversor VSI.

Figura 4
Distribuição de falhas nos componentes de um
conversor VSI



Fonte: Man (2010)

Em relação aos outros componentes de um conversor estático de potência, a taxa de falha dos capacitores é maior, chegando a duas vezes a taxa de falha das chaves (military HANDBOOK, 1995; IMAN, 2005; LEE, 2005).

Logo, a predição e tolerância a falha dos capacitores eletrolíticos, contribuem de forma significativa para o aumento da confiabilidade destes conversores.

1.2.2 RELAÇÃO ENTRE AS FALHAS E O AUMENTO DA RSE

O capacitor eletrolítico, elemento fundamental de um conversor VSI, possui características favoráveis a este tipo de conversor, tais como: capacidade de armazenamento de energia e baixo custo. Porém, estes capacitores apresentam alta RSE (Resistência Série Equivalente) se comparado a capacitores de outros materiais. Isto reduz a confiabilidade, pois quanto maior a resistência, maior será a temperatura de operação.

O ato de carregar e descarregar durante o funcionamento do conversor faz com que surja uma corrente de ripple no capacitor. O efeito desta corrente é o aumento da temperatura no núcleo do capacitor. Isto acelera a reação eletroquímica entre o anodo e a solução eletrolítica, gerando gás hidrogênio dentro do capacitor, ou seja, o eletrólito evapora ao longo do tempo. A queda no volume do eletrólito, por evaporação, provoca a redução da capacitância e o aumento da RSE, fazendo o capacitor entrar em um ciclo de degradação das suas características ao longo do tempo (SAKARAN, 1997; GASPERI, 2005; AMARAL, 2004; KUIKANI, 2012). Este processo é a principal causa de falha de capacitores eletrolíticos por desgaste. Outras falhas relacionadas ao aumento da RSE e redução da capacitância são apresentados na Tabela 1, extraída de Kuikarni (2012).

Tabela 1
Falhas relacionadas ao aumento da RSE e redução da capacitância

Processo de Falha	Causa
Deterioração do dielétrico por tempo de utilização.	- Tempo de utilização acima da vida útil física do capacitor.
Degradação do Filme de óxido de alumínio.	- Temperatura do núcleo do capacitor. - Tempo de utilização acima da vida útil física do capacitor.
Evaporação do Eletrólito.	- Temperatura do núcleo do capacitor. - Tempo de utilização acima da vida útil física do capacitor.
Degradação da capacitância do catodo e anodo.	- Sobre tensão. - Sobre corrente (RMS) efetiva.

Fonte: (KUIKARNI 2012)

O volume do eletrólito tem grande relação com a RSE. Esta relação pode ser quantificada pela equação apresentada em (1), segundo Gasperi (2005). Assim, o valor da RSE é um descritor do stress a que foi submetido o capacitor durante seu período utilização, dando uma ideia do restante da vida útil do componente.

$$\frac{RSE}{RSE_0} = (V_0/V)^2 \quad (1)$$

Onde: RSE_0 – RSE inicial do capacitor, V_0 – volume inicial de eletrólito, V – volume final de eletrólito.

1.3 MANUTENÇÃO E PREDITORES DE FALHA

A manutenção é uma técnica que permite ao componente, ou sistema de componentes, operar com disponibilidade dentro das condições de seu projeto. Existem dois tipos básicos de manutenção: corretiva e preventiva. Existe ainda um outro tipo de manutenção dentro do contexto da manutenção preventiva, esta é a chamada manutenção preditiva.

A corretiva é o tipo de manutenção realizada, após a ocorrência de uma falha, para tornar o sistema disponível. Logo, o trabalho da manutenção corretiva não pode ser programado, visto que depende da confiabilidade do sistema.

A manutenção preventiva procura manter o sistema em estado operacional (ou disponível) através da prevenção da ocorrência de falhas. Isto pode ser efetuado por meio de inspeção, controles e serviços como: limpeza, lubrificação, calibração, detecção de defeitos (falhas incipientes), etc. (LAFRAIA, 2001). Este tipo de manutenção é planejada e deve ocorrer com uma frequência determinada aleatoriamente ou sob o monitoramento do comportamento do sistema ou componente. O efeito da manutenção preventiva sobre a confiabilidade é direto, pois, é executada

antes que a falha ocorra. Em ambientes industriais, a falha de um equipamento, como um inversor de frequência, pode parar toda uma linha de produção. Mesmo que haja um inversor de reserva, o tempo gasto para a substituição pode comprometer o produto que está sendo processado. Dentro do contexto de manutenção preventiva temos:

Se a manutenção é executada antes da falha de um equipamento, mas somente quando suas condições, determinadas através de um monitoramento contínuo, indiquem que a falha é iminente, tem-se então a chamada manutenção preventiva-preditiva ou simplesmente manutenção preditiva ou sob condições (LAFRAIA, 2001).

A aplicação da técnica de predição de falha vem crescendo com a finalidade de reduzir o custo da manutenção e aumentar a confiabilidade do componente ou sistema de componentes. A predição de falha consiste em prever a falha, mediante o acompanhamento de alguns parâmetros do componente que se modificam, na medida em que ocorre o desgaste do mesmo. Um exemplo está nos capacitores eletrolíticos: a medida que estes se desgastam ocorre o aumento da sua RSE. Logo, esta pode ser um parâmetro para a análise preditiva, dando a capacidade de prever o quanto próximo está a falha do componente. Associando estes dados à manutenção preventiva, os ganhos são bastante satisfatórios, pois poder-se-á programar o período de troca do componente.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho visa propor um método de predição de falhas de capacitores eletrolíticos, com ênfase em conversores de eletrônica de potência. Para isto são utilizados sensores de corrente de efeito Hall e o DSC da Texas Instruments TMS720F28335. Com estes componentes pretende-se desenvolver um sistema que pode ser embarcado em inversores comerciais do tipo VSI, com a finalidade de se acompanhar o processo de degradação do capacitor. Todo o procedimento faz parte de um pré-teste, realizado no início da operação do conversor e permite acompanhar o quão próxima está o fim da vida útil do capacitor.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o funcionamento e os aspectos construtivos dos capacitores eletrolíticos;
- Acompanhar as mudanças nos valores da RSE em amostras de tais tipos de capacitores antes e depois do desgaste;
- Desenvolver um descritor de falhas baseado indiretamente no valor da RSE;
- Comparar resultados experimentais e simulados para a determinação da correlação entre ambos e confiabilidade do sistema.

CAPÍTULO II

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MEDODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas as seguintes atividades:

- Levantamento das referências bibliográficas que compõem este trabalho.
- Desenvolvimento do código de programação, baseando-se no programa base disponibilizado pela Texas Instruments, código este que foi gravado no DSC (TMS320F28335).
- Desenvolvimento do código de tratamento matemático dos dados no software MATLAB.
- Aquisição de capacitores para testes.
- Simulação do sistema no software MATLAB.
- Resultados e análises sobre o funcionamento do sistema.

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os instrumentos e componentes apresentados nos tópicos a seguir.

2.2.1 MEDIDOR LCR METER 4263B AGILENT

Este medidor é um instrumento de bancada, utilizado em laboratórios para testes de precisão. O instrumento realiza medições de impedância em transformadores, medições de indutores e capacitores eletrolíticos.

É um instrumento de baixo custo que realiza medições precisas e rápidas, cerca de 25ms. Possui ferramentas para obtenção de resultados sem falha, tais como: função de verificação de contato, 0,1% de precisão básica, função de atraso de trigger (para eliminar erros de tempo de disparo), guarda e recupera até dez configurações de medição, entre outras. A figura 5 apresenta o aspecto físico do instrumento.

Figura 5
Medidor LCR METER 4263B AGILENT



Fonte: Produzido pelo autor

O LCR METER 4263B possui cinco frequências diferentes de teste: 100Hz, 120Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz, que proporcionam uma versatilidade para a medição dos componentes. Além disso, este dispositivo possui dois modos de medição série e paralelo, ou seja, no caso dos capacitores para a leitura da RSE o modo de leitura da impedância deve ser configurado como série, devido ao modelo do capacitor eletrolítico.

Algumas especificações de medição importantes para este trabalho podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2

Especificações de medição RLC com LCR METER 4263B

Parâmetro	Range
Impedância $ Z $	1 m Ω a 100 m Ω
Capacitância C	1 pF a 1 F
Indutância L	10 nH a 100 nH

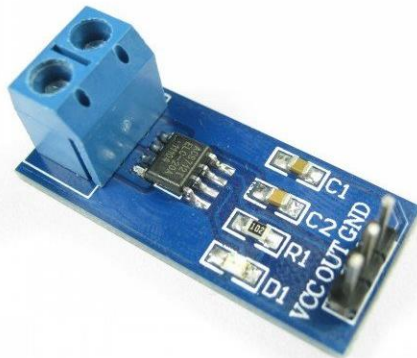
Fonte: Produzido pelo autor

2.2.2 SENSORES DE CORRENTE

O sensor de corrente utilizado neste trabalho foi o ACS 712 da Allegro. Trata-se de um sensor de corrente baseado em efeito Hall e de baixo custo, cerca de U\$ 2,00. O CI no qual está encapsulado o sensor foi adquirido pronto para uso em uma placa de circuito impresso de confecção industrial, de modo a facilitar a instalação e uso do sensor.

A figura 6 apresenta o sensor utilizado, note o CI no centro da placa de circuito impresso e os bornes onde passa a corrente a ser medida.

Figura 6
Sensor de corrente ACS 712



Fonte: (DIGIPAK, 2015)

Além de ser de baixo custo e de fácil instalação, o sensor possui ótimas características para leitura da corrente. Suas principais características são apresentadas a seguir:

- Baixo nível de ruído de sinal analógico;
- Largura de banda de 80 kHz;
- Erro total da saída de 1,5% com uma temperatura ambiente de 25 °C;
- Pequenas dimensões;
- Resistência do condutor interno de 1,2 mΩ;
- Tensão de alimentação de 5 V;
- Corrente máxima de leitura de 20 A;

- Histerese magnética praticamente nula;
- Tensão de isolamento de 2,1 kVrms;

Este sensor dispensa o uso de isoladores ópticos, pois os condutores por onde passa a corrente a ser medida são eletricamente isolados dos condutores de sinal. Este é um sensor preciso e de baixo custo, com características suficientes a este trabalho.

2.2.3 PLATAFORMA DSP eZdsp™ F28335

Esta ferramenta é uma plataforma para desenvolver e executar softwares para o DSC (Controlador Digital de Sinais) TMS320F28335, da Texas Instruments.

Um DSC é um componente híbrido que combina as características de um microprocessador e de microcontrolador. Logo, possui alta velocidade de processamento aliado a periféricos como conversor AD, timers e PWM.

Este componente é usado em aplicações que exijam resposta em tempo real, ou seja, no menor tempo possível, como em telecomunicações. A seguir são apresentadas algumas características do DSC TMS320F28335.

- Frequência de operação máxima de 150 MHz (ciclo de instrução de 6,67 ns);
- Arquitetura Harvard com CPU de 32 bits;
- Unidade em ponto-flutuante;
- Memória RAM (SRAM) com 16 bits (word);
- Watchdog Timer disponível;

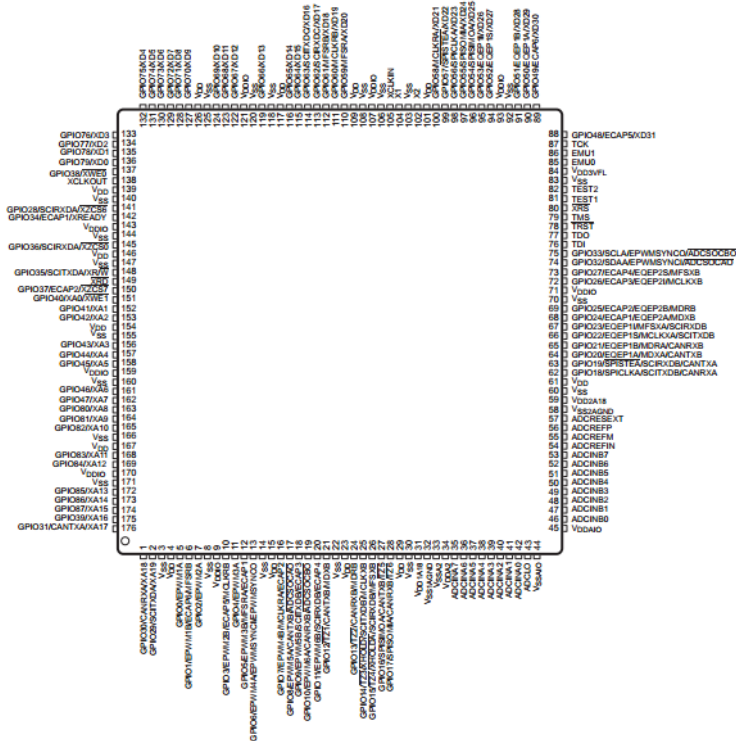
- 16 canais de conversor AD, com tempo de conversão de 80 ns;
- 88 pinos de entrada e saída de uso geral (GPIO) disponíveis;
- 12 canais de PWM de 16 bits, ou 6 canais PWM de 32 bits, com tempos mortos programáveis;
- Até 8 interrupções externas, além das internas.

O DSC TMS320F28335 possui 176 pinos, em boa parte são reconfiguráveis, o seja, podem assumir mais de uma função. Dependendo da configuração feita no programa há pinos que podem assumir até 6 funções diferentes.

A figura 7 apresenta a vista superior do DSC com as funções que podem ser assumidas por cada pino.

Figura 7

Pinagem do DSCTMS320F28335



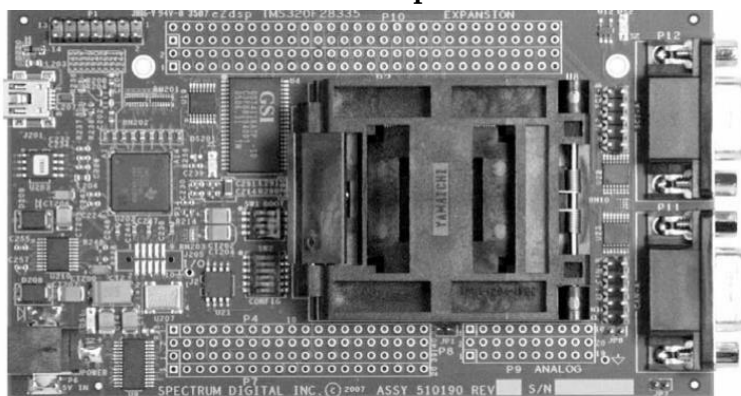
Fonte: (Data Manual DSCTMS320F28335, 2007)

A plataforma eZdsp™ F28335 permite o uso da velocidade máxima do DSC com vários conectores de expansão para circuitos de avaliação, logo a plataforma serve como uma interface de testes das aplicações do DSC. A seguir são apresentadas algumas características do hardware da plataforma.

- Controlador JTAG USB embarcado;
- Interface CAN 2.0 embarcada com conector;
- Conector RS232 com controlador de linha;
- Clock de entrada com frequência de 30 MHz;

A plataforma eZdsp™ F28335 conta com um software de programação em linguagem C, o que torna a programação mais amigável: o Code Composer Studio™ V3.3. Esta IDE com compilador permite ao projetista uma visão geral do projeto e todas as suas bibliotecas necessárias. A Texas Instruments ainda disponibiliza o Projeto Base, que é um programa completo com exemplos para os desenvolvedores criarem programas mais complexos. Muitas bibliotecas disponibilizadas pelo fabricante permitem a comunicação com outros softwares e equipamentos. O aspecto físico da plataforma pode ser visto na figura 8.

Figura 8
Plataforma eZdsp™ F28335



Fonte: (TechnicalReferenceeZdsp™ F28335, 2007)

2.2.4 SOFTWARE MATLAB

MATLAB[®] é a linguagem de alto nível e ambiente interativo usado por milhões de engenheiros e cientistas em todo o mundo. Ele permite que ao usuário explorar e visualizar ideias e trabalhar em todas as áreas, incluindo processamento de sinal e imagem, comunicações, sistemas de controle e finanças computacionais (MATHWORKS[®], 2015).

O MATLAB é um software de desenvolvimento matemático, desenvolvido pela MathWorks, que possibilita realizar cálculos complexos e simulações de componentes ou sistemas de componentes. O software ainda conta com o aplicativo Simulink, onde é possível realizar simulações de sistemas modelados matematicamente, através da linguagem de programação em blocos.

A linguagem de programação MATLAB é uma linguagem que permite a criação de objetos para realizar a comunicação com hardwares de plataformas microcontroladas e processadores digitais de sinais. Este software não realiza apenas simulações mas pode ser usado em conjunto com um hardware para aquisição de dados e controle. Com isso é possível implementar algoritmos e criar interfaces gráficas de controle em tempo real.

2.3 MÉTODOS DE LEITURA DA RSE

A ideia de usar a RSE como um preditor de falhas para capacitores eletrolíticos é bastante atrativa. Porém, o procedimento de leitura não é simples. A RSE varia com a temperatura, frequência e tensão a que o capacitor é submetido (CHEN, 2008; BHC componentes, Application Notes). De modo que para comparar o valor de duas leituras de RSE, estas devem ser feitas na mesma base de temperatura, frequência e tensão.

Os tópicos a seguir apresentam os trabalhos realizados na tentativa de prever a idade efetiva de utilização do capacitor em conversores estáticos de potência:

- Em Gasperi (1996, 2005), o autor realizou um procedimento que precisa do valor da temperatura no núcleo do capacitor, e com este valor determinar o volume do eletrólito e por sua vez a RSE. Porém, trata-se de uma proposta evasiva, pois, a leitura só é possível implantando sensores de temperatura dentro do capacitor;
- Em Iman (2005), o autor determina padrões de comportamento da ondulação de tensão (ripple) usando a transformada rápida de Fourier (FFT). A partir do comportamento determina-se a idade do capacitor;

- Em Lee (2005), o autor estima a capacitância ao longo do tempo para prever falhas. Mas sem levar em consideração a temperatura, pois, o teste pode ser realizado sem carga;
- Em Chen (2008) e Man (2010), os autores implementaram a leitura da capacitância online, usando apenas o ripple da tensão do capacitor, sem levar em consideração a temperatura para circuitos de potência que utilizam filtros LC. Também em Braham (2010) os autores usam o ripple da tensão para determinar o desgaste do capacitor. Contudo a ondulação de tensão é sensível a temperatura ambiente, que pode variar bastante em um ambiente industrial;
- No trabalho de Gasperi (1996), o autor utiliza várias expressões analíticas que relacionam a RSE, temperatura no núcleo e volume do eletrólito. O que dificulta sua aplicação prática;
- Em Kuikarni (2012), o autor testa os capacitores eletrolíticos para os fatores: stress tempo, temperatura e tensão. Em todos os casos os capacitores apresentam redução da capacitância e aumento da RSE. Logo, tanto a capacitância como a RSE podem ser usadas para prever falhas;
- No trabalho de Yao (2014), o autor identifica a RSE e a capacitância em um conversor Buck operando de forma contínua. A diferença dos

resultados para a RSE, com o capacitor operando em temperaturas de 50 °C e 85 °C, chega a 25%, o que prova que resultados que não se baseiam na temperatura são inconsistentes.

A abordagem deste trabalho traz uma proposta diferente, comparar a RSE de um capacitor com stress com a de um capacitor de mesmo valor sem stress, sob a mesma temperatura. A hipótese é ter um sistema mais preciso, pois os capacitores estão a mesma temperatura e o capacitor sem stress é a referência. Os métodos de leitura da RSE realizados neste trabalho dividem-se em dois grupos: leitura por instrumentos e leitura por sensores.

2.3.1 DESGASTE ACELERADO DO CAPACITOR ELETROLÍTICO

Com a finalidade de se garantir capacitores com falhas para os testes de comparação, foi realizado um método de desgaste acelerado dos capacitores. O método, utilizado por vários dos autores apresentados na seção 2.3, consiste em aumentar a temperatura do eletrólito para forçar sua evaporação de forma rápida. O desgaste acelerado foi realizado aumentando-se a corrente efetiva do capacitor e observando a temperatura da carcaça do mesmo. A temperatura de regime permanente da carcaça é função do quadrado da corrente efetiva apresentada na equação (2). A expressão deriva da equação de regime permanente de transferência de calor. Isto é evidenciado na temperatura de

convergência da carcaça do capacitor em função da corrente efetiva do capacitor até a 50ª harmônica, mostrado na figura 9. Desta forma, ajusta-se a temperatura da carcaça a partir da corrente efetiva do capacitor, para uma determinada temperatura ambiente controlada.

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

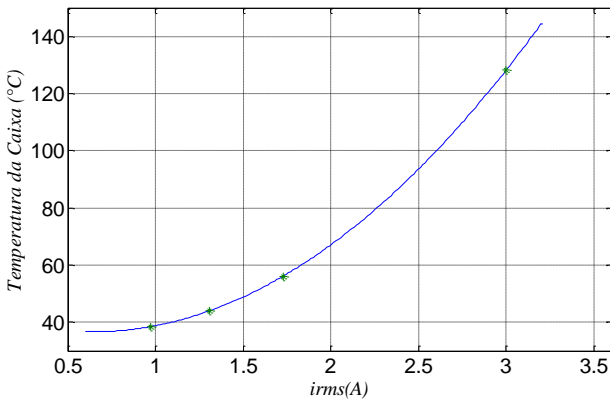
Onde: T_{can} – temperatura da carcaça;

$R_{th(can-ambiente)}$ – resistência térmica entre carcaça e ambiente;

$T_{ambiente}$ – Temperatura ambiente

Figura 9

Temperatura de convergência da carcaça do capacitor utilizado no experimento em função da corrente efetiva do mesmo



Para a realização do desgaste foi necessário aumentar a corrente efetiva do capacitor e observar a temperatura da carcaça em um ambiente com temperatura

controlada, os dados resultantes do desgaste acelerado dos capacitores podem ser observados na seção a seguir.

2.3.2 LEITURA POR INSTRUMENTO: LCR METER 4263B

A leitura da RSE foi realizada com o medidor de impedância LCR METER 4263B da AGILENT, para fins de comparação com as leituras do sistema proposto. A figura 10 apresenta a leitura de um capacitor de 250 V e 100 μF a uma frequência de 100 Hz e temperatura da carcaça de 25 °C. O resultado é uma capacitância de 100,18 μF e uma RSE de 0,758 Ω . Este tipo de capacitor é utilizado em bancos de capacitores de inversores para fontes fotovoltaicas de 500 W.

Figura 10
Medição de um capacitor eletrolítico com LCR METER
4263B da Agilent



Fonte: Produzido pelo autor

Foi utilizada uma amostra de seis capacitores de 250 V e $100 \mu\text{F}$ do mesmo fabricante. Os resultados da RSE se deram para uma operação sob a tensão nominal, uma corrente efetiva nominal de 3 A e com temperatura da carcaça por volta de $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Tais resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3
Resultado da RSE dos capacitores 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	0,5761	0,0215
C5	0,5027	0,0184
C6	0,5020	0,0236
Média	0,5183	

Fonte: Produzido pelo autor

A tabela 4 apresenta os resultados das leituras dos capacitores com o LCR METER 4263B, após terem sido submetidos ao desgaste acelerado. Além da RSE são apresentados outros dados, como: temperatura da carcaça, tempo do desgaste, volume de eletrólito estimado, capacitância e a condição do capacitor. Comumente, na literatura técnica, é caracterizado como falha um aumento de 180% da RSE. Neste caso o volume do eletrólito teve uma redução de 40%.

Segundo Kuikarni (2012), uma redução de 80% da capacitância caracteriza a falha. Em BHC AppNotes o final da vida útil do capacitor é dado por uma RSE de 200% e capacitância menor que 90% do valor inicial.

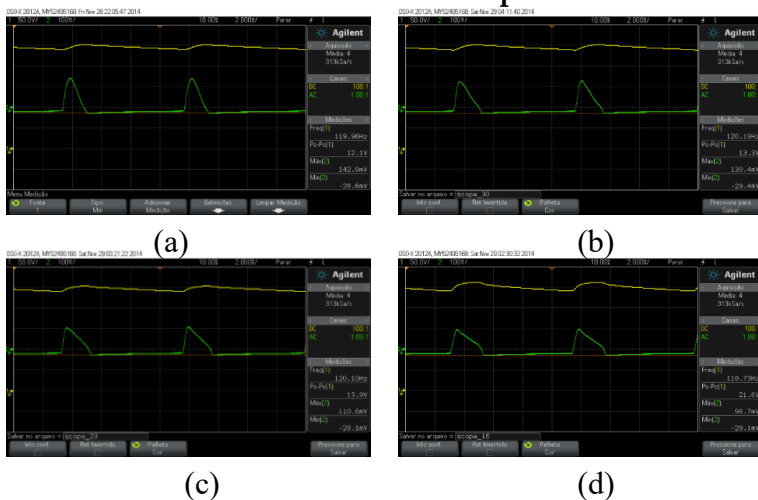
Tabela 4
Dados do desgaste acelerado

Condição	Sem Falha	Em Falha Latente	Em Falha Latente	Falha Concreta	Falha Concreta
Volume do Eletrólito - estimado (%)	100	53,6	39,6	24,26	17,8
Tempo Aproximado do Ensaio (horas)	0,16	1	3	4	5
Temperatura da caixa do ensaio(°C)	25	130	130	130	130
Capacitância (µF)	100	88	83	68	55
RSE(Ω)	0,518	1,8	3,3	8,7	16,4
Capacitor	C1	C2	C3	C4	C5

Fonte: Produzido pelo autor

A figura 11 apresenta as formas de onda de corrente efetiva e tensão nominal, após o desgaste dos capacitores C1, C2, C3 e C5, respectivamente. Os capacitores C2, C3, C4 e C5 serão usados para fim de comparação com o capacitor C1, que não obteve falha, e será o capacitor de referência.

Figura 11
Tensões e correntes nos capacitores



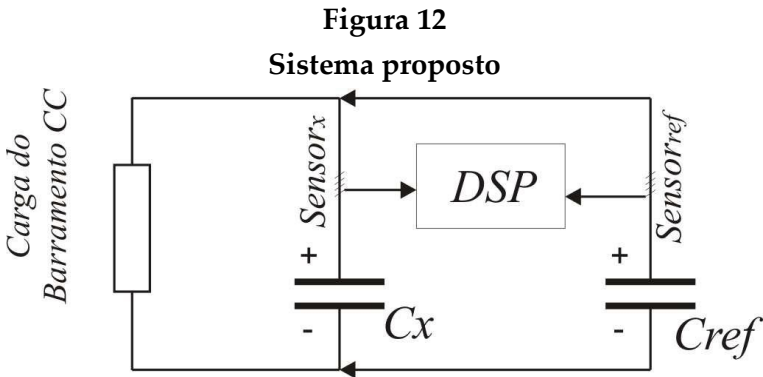
Fonte: Produzido pelo autor

Onde: (a)- $RSE=0,518 \Omega$, (b)- $RSE=1,8\Omega$, (c)- $RSE=3,3\Omega$ e (d)- $RSE=16,4\Omega$.

2.3.3 LEITURA POR SENSORES COM DSP

Após a submissão dos capacitores ao desgaste obtemos um capacitor de referência de quatro capacitores com desgaste comprovado, estas amostras são necessárias para realizar os testes com o sistema proposto.

O sistema proposto neste trabalho tem foco na confiabilidade. Diferente dos métodos adotados onde os valores da RSE são determinados de forma absoluta, este sistema utiliza dois capacitores: um de referência C_{ref} (usado apenas no instante do teste) e outro de operação C_x (usado permanentemente). O sistema acompanha a RSE de forma indireta, fazendo a comparação entre os capacitores. A figura 12 apresenta o sistema proposto.



Fonte: Produzido pelo autor

Este sistema é destinado a acompanhar o processo de falha de capacitores eletrolíticos de barramentos CC usados em inversores comerciais.

O teste é feito no início da operação do inversor, tempo este que não é suficiente para aumentar a temperatura dos capacitores. O procedimento de comparação é realizado

através da leitura das correntes dos bancos I_x e I_{ref} , que são lidas pelos sensores $Sensor_x$ e $Sensor_{ref}$, mostrados na figura 12. Baseado nas leituras e no descritor de desgaste, que será apresentado na seção a seguir, é determinado o nível de desgaste no capacitor C_x . Em operação a alimentação dos capacitores é feita pela concessionária de energia elétrica, isso pode gerar variações de tensão da concessionária em regime permanente em horas com maior e menor solicitação do sistema, considerando esta informação a partir deste sistema, podem ser considerados dois pressupostos:

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

Pressuposto 2 – Como os dois capacitores ficam dispostos em paralelo, estão submetidos à mesma temperatura no início de operação (instante em que ocorre o teste) e a série de leituras não é afetada pelas variações de temperatura. Sendo assim, o teste está imune a variações de temperatura, que altera muito o valor da RSE lida (GASPERI, 2005), (CHEN, 2008).

2.3.4 DESCRITOR k

O descritor k é um parâmetro desenvolvido para o acompanhamento do desgaste do capacitor, neste caso servirá como um preditor de falha do capacitor.

O descritor k baseia-se no ângulo de fase das correntes lidas dos capacitores. As componentes CA mais significativas do valor das correntes são determinadas

através da transformada de Fourier. Gerando os valores dos módulos das correntes I_x e I_{ref} , e os valores das fases θ_x e θ_{ref} . No caso da retificação monofásica (dois pulsos) a frequência mais significativa é duas vezes a frequência da rede. No caso da retificação trifásica (seis pulsos) a frequência mais significativa é seis vezes a frequência da rede.

As expressões que relacionam estes valores são apresentadas nas equações (3) e (4), onde E_{ac} é a componente alternada da tensão de barramento CC.

$$RSE_{ref} I_{ref} \cos(\theta_{ref}) = E_{ac} \quad (3)$$

$$RSE_x I_x \cos(\theta_x) = E_{ac} \quad (4)$$

Estas expressões resultam na expressão (5).

$$RSE_x = RSE_{ref} \left(\frac{I_{ref}}{I_x} \right) \left(\frac{\cos(\theta_{ref})}{\cos(\theta_x)} \right) \quad (5)$$

$$\theta = \text{Arctan}(1/(RSE C \omega)) \quad (6)$$

Sabe-se que a evaporação do eletrólito aumenta a RSE e diminui a capacitância. O ângulo de fase da corrente em relação a tensão alternada numa frequência ω é expresso por (6) que mostra que o ângulo de fase é função da capacitância e da RSE. O ângulo de fase das correntes, utilizando a capacitância de referência, pode ser usado como um descritor de nível da degradação do capacitor. Este descritor é chamado de k e sua equação é apresentada na expressão (7). Os parâmetros C e RSE são conflitantes

no cálculo de k , pois enquanto um diminui o outro aumenta. Porém, a capacitância é muito menor que a RSE, ou seja, k aumenta com o desgaste do capacitor.

$$k = \frac{\cos(\theta_{ref})}{\cos(\theta_x)} \quad (7)$$

CAPÍTULO III

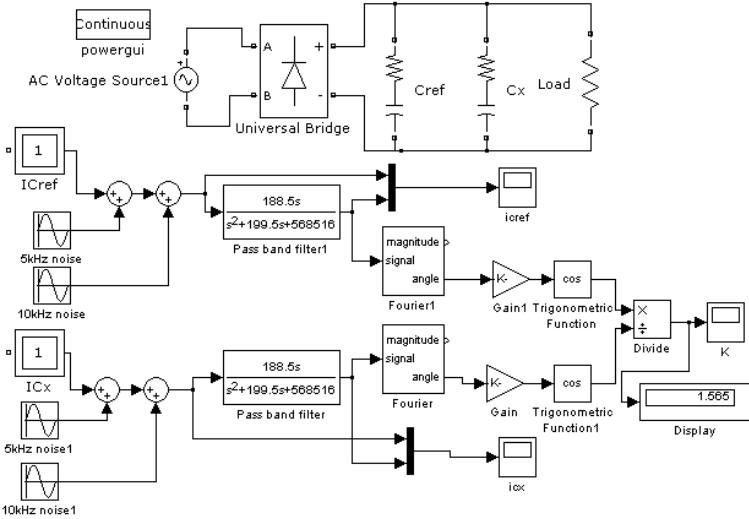
RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESULTADOS SIMULADOS

A simulação foi realizada no aplicativo SIMULINK do software MATLAB. O diagrama de blocos da simulação do sistema é apresentado na figura 13. Foi utilizado o método de Euler com um passo de amostragem de $1 \cdot 10^{-6}$ s. Como trata-se de um retificador monofásico, os ângulos de fase são determinados para uma frequência de 120 Hz. Ainda foram emuladas duas fontes de ruídos na frequência de amostragem do DSC, uma de 5 kHz e outra de 10 kHz. Dois filtros passa banda de segunda ordem foram implementados com frequência de corte de 754 rad/s, para filtrar os ruídos na leitura das correntes.

Figura 13

Simulação do método de predição por comparação



Fonte: Produzido pelo autor

Os resultados simulados do descritor k para as amostras dos capacitores são apresentados na tabela 5.

Tabela 5

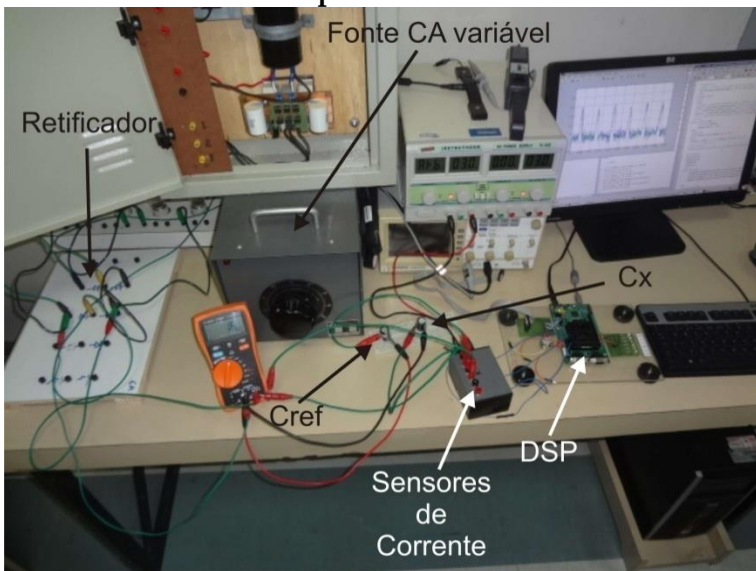
Resultado simulado das amostras dos capacitores para uma carga no barramento de 150 Ω

Capacitor	RSE (Ω)	Capacitância (μF)	k (simulado)
C5	0,518	100	1,000
C3	1,8	88	1,086
C1	3,3	83	1,195
C4	8,7	68	1,577
C2	16,4	55	2,055

3.2 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O sistema proposto foi implementado no DSC da Texas Instruments TMS320F28335. Dois sensores de corrente de efeito Hall, de baixo custo foram utilizados para ler as correntes dos capacitores, o sistema montado para determinar os resultados experimentais é apresentado na figura 14.

Figura 14
Sistema montado para determinação dos resultados experimentais



Fonte: Produzido pelo autor

Na simulação e na implementação experimental foi utilizado um retificador monofásico em ponte completa, alimentado pela tensão da concessionária 220 V/ 60 Hz. O

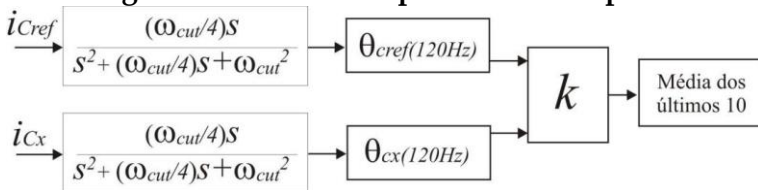
retificador monofásico tem o mesmo princípio do retificador trifásico, a única diferença é o harmônico mais significativo, sobre o qual se faz as medições. Para o retificador monofásico o harmônico mais significativo é de 120 Hz e para o retificador trifásico é o harmônico de 360 Hz, pois são seis pulsos. Uma carga resistiva de 150 Ω foi utilizada como carga no barramento de corrente contínua.

Também foram implementados experimentalmente dois filtros passa banda de segunda ordem, assim como na simulação, para filtragem das correntes lidas. Porém a frequência de corte teve que ser ajustada para 745 rad/s, pelo método de tentativa e erro, para obter uma qualidade melhor do sinal. A função de transferência do filtro na expressão (8) foi discretizada para a frequência de amostragem do DSC, que é de 10 kHz. O diagrama do sistema implementado na prática pode ser visto na figura 15.

$$H(z) = \frac{0.009214z^2 - 0.009214}{z^2 - 1.976z + 0.9816} \quad (8)$$

Figura 15

Diagrama do sistema implementado na prática



Fonte: Produzido pelo autor

Os resultados experimentais com as amostras dos capacitores que passaram pelo desgaste acelerado (C2, C3, C4 e C5) estão dispostos na tabela 6, para uma carga no barramento de corrente contínua de 150 Ω . Além de possuir boa correlação, 0,9979, os resultados apresentados nas quarta e quinta colunas da tabela 6 são muito próximos, assim como no gráfico da figura 16. Os erros entre os resultados experimentais e simulados ocorreram por conta de fatores como variação da temperatura da resistência do barramento, pequenos erros no procedimento numérico no cálculo do DSC e principalmente ruídos de leitura, que foram bastante reduzidos pela ação do filtro.

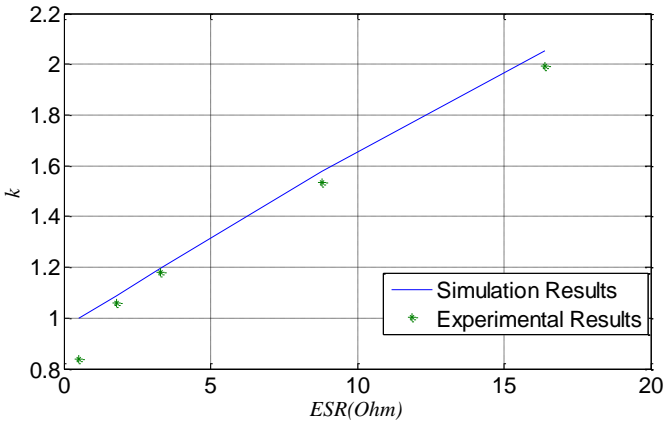
Tabela 6
Valor do resultado de k experimental e simulado para os capacitores desgastados, para uma carga no barramento CC de 150 Ω

Capacitor	RSE (Ω)	Capacitância (μF)	k (Simulado)	k (Experimental)
C5	0,518	100	1,000	0,8379
C3	1,8	88	1,086	1,0604
C1	3,3	83	1,195	1,1798
C4	8,7	68	1,577	1.5331
C2	16,4	55	2,055	1.9909
			Correlação de: 0,9979	

Fonte: Produzido pelo autor

Figura 16

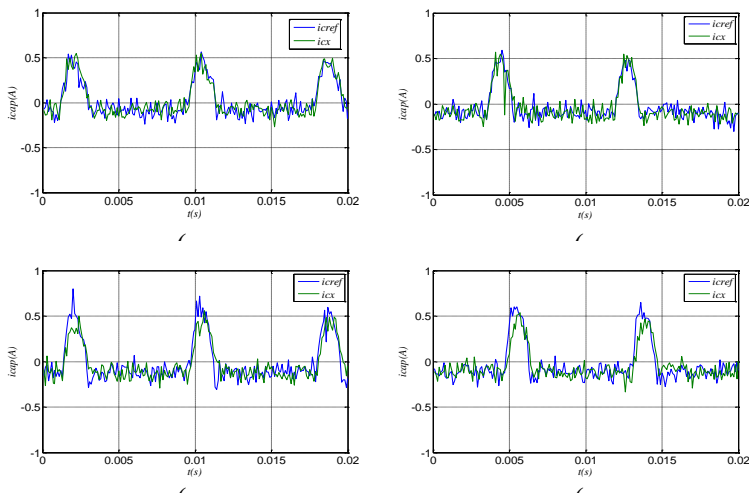
Gráfico dos resultados de simulação e experimental



Fonte: Produzido pelo autor

A figura 17 apresenta a leitura das correntes a partir dos sensores antes da atuação dos filtros. Os ruídos de alta frequência foram minimizados pela atuação dos filtros passa banda com frequência de corte de 745 rad/s, discretizado para o tempo de amostragem do DSC. Ainda foi aplicado um filtro final que realiza a média dos dez últimos valores lidos, o que torna o valor de k mais preciso para a tomada de decisão.

Figura 17
Corrente dos capacitores de referência e teste antes do filtro



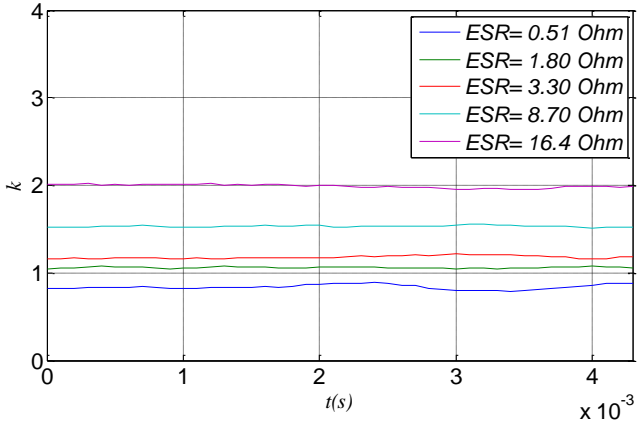
Fonte: Produzido pelo autor

Onde: (a) – $RSE_{ref} = 0,5 \Omega$, (b) – $RSE_x = 1,8 \Omega$, (c) – $RSE_x = 3,3 \Omega$, (d) – $RSE_x = 16,4 \Omega$

Na figura 18 são mostrados os valores de k após a média dos dez últimos valores para capacitores com falhas. Os resultados experimentais para o descritor de desgaste se mostram ótimos, podendo ser utilizados para a tomada de decisão sobre as condições dos capacitores eletrolíticos.

Figura 18

Valores de k após a ação do filtro da média dos dez últimos valores, para os capacitores com falhas



CONCLUSÃO

O método de acompanhamento de desgaste de capacitores foi testado por simulação e experimentalmente. Nos dois casos os resultados foram bastante satisfatórios e possuem uma correlação ótima. O método apontou para uma escala de valores unívoca com o valor da RSE e conseqüentemente com o volume de eletrólito. Este sistema possui quatro vantagens em relação as técnicas já abordadas:

I - É imune a temperatura ambiente. Pois, seja qual for a temperatura ambiente os dois capacitores no início da operação estão submetidos a mesma temperatura;

II – Pode ser embarcado em um inversor, ou fazer parte de um instrumento específico para determinado inversor. O DSP do controle do inversor pode ser utilizado para realizar testes no começo da operação, decidindo se os capacitores estão em condição de utilização ou não. Evitando assim paradas não programadas;

III –É de baixo custo, pois, usa apenas dois sensores de corrente de baixo valor comercial. Os sensores utilizados custam apenas U\$ 2,00 cada;

IV – Não é invasivo. Não necessita da informação da temperatura no núcleo do capacitor.

REFERÊNCIAS

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

BRAHAM, Ahmed, Amine Lahyani, Pascal Venet, NejlaRejeb. 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.

DIGIPAC. Sensor ACS712T. Disponível em: <http://digipak.org/zencart/index.php?main_page=product_info&products_id=131>. Acesso em: 05 de junho, 2015.

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.

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.

Imam, 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/ João Ricarso Barusso Lafraia. - Rio de Janeiro : Qualitymark: Petrobras, 2001. 388p

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. IEE- Proceeding Electronics power application, V. 152, n.6, November, 2005, pp 1503-1508, 2005.

Man, Pang Hon e 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.

MathWorks. Software MATLAB. Disponível em: <
<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>.
Acesso em: 11 de maio 2015.

Parler Sam G. Jr. Reliability of CDE
Aluminium Electrolytic Capacitors. Cornell Dublier
Applications Notes.

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.

Reliability prediction of Electronic Equipament, Military
Handbook 217.F. 1995.

BHC components “Aluminium Electrolytic Capacitors”,
Applications notes.

Os capacitores eletrolíticos que formam o barramento de corrente contínua de conversores VSI (Voltage Source Inverter) são os componentes que apresentam as maiores taxas de falha em operação. Conversores estáticos são bastante utilizados na indústria, um exemplo está no inversor de frequência. Uma falha no barramento CC destes conversores pode ocasionar grandes prejuízos financeiros para uma indústria, como parada não programada da produção para manutenção corretiva, ou, em muitos casos, substituição do equipamento. Um excelente indicador de falha dos capacitores eletrolíticos é o aumento da sua Resistência Série Equivalente (RSE), que cresce gradativamente ao longo da utilização do capacitor. Porém a RSE varia com a temperatura, tensão e frequência de operação do capacitor, o que dificulta sua medição para servir como indicador. O sistema desenvolvido neste trabalho permite acompanhar o desgaste do capacitor a partir de um preditor que se baseia no valor da RSE, com imunidade das variáveis destacadas. Assim torna-se possível a implementação da manutenção preditiva, que proporciona o controle de paradas na produção para substituição do equipamento, ou substituição de componentes, evitando assim, paradas não programadas e grandes perdas. O sistema foi desenvolvido a partir de um DSC (Controlador Digital de Sinais) e a tecnologia pode ser embarcada em produtos comerciais.

ISBN 978-65-83366-26-9



978-65-83366-26-9

Kattleya
EDITORA

