

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**TRANSDUTORES ELETROMECAÑICOS DE
ELETRETOS POLIMÉRICOS COM BOLHA DE
AR TERMOFORMADA**

Claudio Vara de Aquino

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Heitor Cury Basso

São Carlos

2007

CLAUDIO VARA DE AQUINO

**Transdutores eletromecânicos de eletretos poliméricos com
bolha de ar termoformada**

**Tese apresentada à Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção do título de
Doutor em Engenharia Elétrica.**

Orientador: Prof. Dr. Heitor Cury Basso

São Carlos

2007

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **CLAUDIO VARA DE AQUINO**

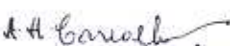
Tese defendida e julgada em 15/05/2007 perante a Comissão Julgadora:


Prof. Associado **HEITOR CURY BASSO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

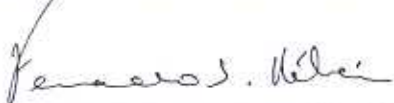

Prof. Titular **RUY ALBERTO CORRÊA ALTAFIM**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

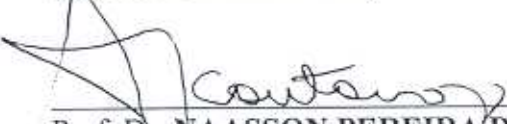


Prof. Titular **APARECIDO AUGUSTO DE CARVALHO**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP-Campus de Ilha Solteira)

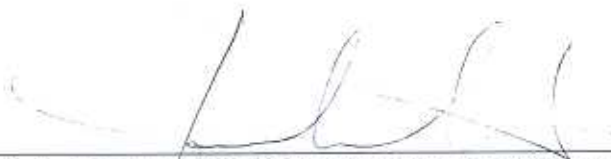
Aprovado


Prof. Titular **FERNANDO SELLES RIBEIRO**
(Escola Politécnica/USP)

Aprovado


Prof. Dr. **NAASSON PEREIRA DE ALCÂNTARA JUNIOR**
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP-Campus de Bauru)

Aprovado


Prof. Associado **GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
em Engenharia Elétrica e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado de maneira geral a todos que aqueles que empregam o seu precioso tempo no avanço construtivo da ciência.

Dedico também de maneira especial à minha esposa Tania e aos meus filhos Thais e André pela paciência, demonstrada além dos seus limites, por uma compreensão enfática, para que este trabalho fosse concluído.

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre presente e que tudo torna possível.

Ao Prof. Dr. Heitor Cury Basso, pela dedicação e pela orientação na realização deste trabalho, recebida de modo competente, paciente e persistente, sempre me apontando qual o melhor caminho a seguir.

Ao Prof. Titular Ruy Alberto Corrêa Altafim, pela participação co-orientada neste trabalho e pelo seu espírito de equipe, sempre me incentivando e mostrando que nunca estamos sós.

Ao Prof. Dr. Naasson Pereira de Alcântara Junior por acreditar no meu futuro acadêmico.

Ao amigo, Prof. Luiz Gonçalves Junior, grande companheiro que sempre se fez presente em todas as etapas da realização deste trabalho.

Ao colega Ruy Alberto Pisani Altafim pela realização das experiências que confirmaram os propósitos para a realização deste trabalho.

Ao técnico Rui Bertho pela confecção dos arranjos experimentais que tornaram possíveis as realizações experimentais que nortearam o rumo deste trabalho.

A todas as outras pessoas, também não menos importantes, que direta ou indiretamente exerceram uma influência positiva, colaborando para que este trabalho fosse realizado e concluído.

EPÍGRAFE

*“No meio de toda dificuldade
existe uma oportunidade.”*

Abert Einstein

RESUMO

de AQUINO, C. V. (2007). *Transdutores eletromecânicos de eletretos poliméricos com bolha de ar termoformada*. São Carlos, 2007 Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A sensibilidade eletromecânica dos transdutores de eletretos poliméricos resulta em muitas aplicações na engenharia, que motivaram a produção industrial de um filme não homogêneo e eletricamente carregado, denominado Filme EletroMecânico ou *EMFi (ElectroMechanical Film)*. Um dispositivo alternativo a este *EMFi*, produzido em nosso laboratório, foi o resultado de uma bolha de ar homogênea termoformada, unida por dois filmes de Teflon[®] FEP. Este dispositivo possui uma estrutura similar ao *EMFi*, mas permite cavidades homogêneas a serem predefinidas e distribuídas no momento em que o dispositivo é produzido, diferindo das células no *EMFi* com tamanhos diversos e dispersas no interior do filme industrial. A possibilidade de controlar a geometria das bolhas de ar tornou possível o desenvolvimento de um modelo, empregado como uma ferramenta de projeto. A resposta eletromecânica deste transdutor foi modelada e então apresentada neste trabalho. Este modelo analítico avalia o desempenho destes transdutores com somente uma bolha termoformada, para efeitos de simplificação, baseado em capacitores em série, em função da deformação mecânica e da carga elétrica retida no polímero. São representados dinamicamente com parâmetros elétricos e mecânicos, definidos à medida que operam como sensores ou atuadores, com respeito aos limites impostos pela aplicação especificada. O gráfico da resposta em frequência mostra a frequência de ressonância e a largura da faixa para meia-amplitude que determina o coeficiente de amortecimento que não pode ser obtido diretamente do modelo analítico. Este gráfico também permite comparar a frequência natural obtida graficamente com aquela calculada pelo modelo, tornando mais confiável o modelo desenvolvido para o transdutor. Finalmente, melhorias na instrumentação e em condições mais adequadas para os testes são sugeridas, bem como métodos alternativos para trabalhos futuros.

Palavras-chave: transdutores com eletretos, transdutores eletromecânicos, sensores e atuadores, elasticidade em bolhas.

ABSTRACT

de AQUINO, C. V. (2007). Electromechanical transducers of polymeric electrets with thermo-formed air bubble. São Carlos, 2007 Ph.D. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The electromechanical sensibility of polymeric electrets transducers yields many engineering applications which have motivated industrial production of a non-homogeneous and electrically charged film, the so-called ElectroMechanical Film (EMFi). An alternative device for this EMFi that has been produced in our laboratory was a homogeneous thermo-formed air bubbles bonded with two Teflon[®] FEP films. This device has a structure similar to the EMFi, but allows the homogeneous voids to be pre-defined and distributed at the moment the device is produced, differing the EMFi voids with diverse sizes and dispersed into the industrial film. The possibility to control the air bubbles geometry makes possible the development of a model to be used as a design tool. The electromechanical response of this transducer has been modeled and is presented in this work. Such analytical model evaluates the transducers performance using just a single thermo-formed bubble for simplification purposes, based on series capacitors, which are function of the mechanical deformation and electrical charge trapped in the polymer. They are represented dynamically, with electrical and mechanical parameters being defined as they work as sensors or actuators, regarding the limits imposed by the specified application. A frequency response plot shows the resonance frequency and the bandwidth for the half amplitude, which determines the damper coefficient that cannot be obtained directly from the analytical model. This plot also allows comparison of the natural frequency obtained graphically with the calculated one using the model, making more reliable the transducer model developed. Finally, instrumentation improvements and more suitable test conditions are suggested, as well as alternative methods for future works.

Keywords: electret transducers, electromechanical transducers, sensors and actuators, elasticity in bubbles.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	27
2. Revisão Bibliográfica	33
2.1. A descoberta dos eletretos	33
2.1.1. As primeiras pesquisas com eletretos.....	34
2.1.2. Capacitores vibrantes.....	40
2.1.3. Microfones capacitivos de eletreto	41
2.2. A descoberta da piezeletricidade	42
2.3. Polímeros homogêneos e eletretos	44
2.3.1. Polímeros piezelétricos.....	45
2.3.2. Polímeros não polares.....	47
2.3.3. Eletretos e a piezeletricidade aparente.....	48
2.4. Polímeros porosos e celulares	54
2.4.1. Descobrimto dos polímeros porosos e celulares.....	54
2.4.2. Medidas da atividade eletromecânica nos polímeros porosos e celulares.....	57
2.5. Transdutores com polímeros homogêneos	62
2.5.1. Eletretos poliméricos homogêneos em multicamadas.....	62
2.5.2. Eletretos poliméricos homogêneos com micro-bolhas	66
2.6. Materiais dielétricos e eletretos	69
2.6.1. Cargas aprisionadas em armadilhas energéticas.....	69
2.6.2. Princípios físicos dos eletretos	71
3. Propriedades elétricas e comportamento eletromecânico.....	75
3.1. Transdutores eletromecânicos com eletretos	75
3.1.1. Condição estática inicial.....	76
3.2. Comportamento eletromecânico do transdutor como sensor	79
3.2.1. Decomposição espectral para o comportamento do sensor	81

3.2.2. O Sensor para altas frequências ou em circuito aberto	83
3.2.3. O sensor para baixas frequências ou em curto-circuito	85
3.2.4. O sensor para pequenas deformações	86
3.3. Comportamento eletromecânico do transdutor como atuador	86
3.4. Análise elétrica e considerações	90
4. Propriedades mecânicas dos transdutores	93
4.1. Relação causal entre força e deformação	93
4.1.1. Forças agentes no sistema	94
4.1.2. Deformação apresentada pelo sistema oscilatório	96
4.2. Força e deformação em modo sensor	96
4.3. Força e deformação em modo atuador	99
4.4. A restituição elástica	101
4.4.1. Deformação na película e o pistão equivalente	102
4.4.2. Deformação elástica na película	102
4.4.3. Pressão de ar na bolha	102
4.4.4. Coeficiente elástico resultante	104
4.5. Amortecimento e dissipação de energia	105
4.6. Análise mecânica e considerações	108
5. Medidas e Análises	109
5.1. A amostra sob testes	109
5.2. A resposta em frequência	110
5.2.1. Ensaio para obtenção da resposta em frequência	110
5.2.2. Análise do espectro de frequências	112
5.3. A frequência natural de oscilação	113
5.4. O amortecimento específico	114
5.5. Desempenho do transdutor como atuador	115
5.6 Desempenho do transdutor como sensor	117

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

