

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO DE MEDIÇÃO PARA MONITORAMENTO DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE UMA MOLA HELICOIDAL DE Ti-Ni USANDO MICROCONTROLADORES

Jadeilson de Santana Bezerra, jadeilson.bezerra@ufpe.br¹

Elson Miranda Silva, elsonmiranda@ipojuca.ifpe.edu.br²

Cezar Henrique Gonzalez, gonzalez@ufpe.br¹

Severino Leopoldino Urtiga Filho, urtiga@ufpe.br¹

¹Universidade Federal de Pernambuco – DEMEC, Av Acadêmico Hélio Ramos, Recife-PE

²Instituto Federal de Pernambuco, Ipojuca – PE

Resumo: O propósito destas instruções é servir de modelo para a formatação de trabalhos a serem publicados nos Anais do CONEM 2010. O resumo deve descrever os objetivos, a metodologia e as principais conclusões em não mais de 300 palavras. Ele não deve conter nem fórmulas ou deduções matemáticas e nem citações bibliográficas. O resumo será incluído em volume impresso a ser disponibilizado aos participantes do Congresso, enquanto o trabalho completo será publicado nos anais em CD-ROM. **Resumo:** A seriedade na pesquisa na engenharia dos materiais tem levado estudiosos das áreas afins a resultados inovadores. Resultados positivos contribuem para a ciência aumentando a fronteira do conhecimento e levando a caminhos inesperados, podendo assim estudiosos, pesquisadores e engenheiros contribuir de forma maciça com o progresso de uma nação. Em toda pesquisa é necessário monitorar uma grandeza física para que os resultados experimentais possam se adequar a teoria proposta. Porém muitas das vezes tais instrumentos são disponibilizados no mercado com um alto custo para aquisição e na maioria dos casos esses instrumentos eletrônicos são subutilizados numa determinada aplicação científica.

Neste artigo é proposto um sistema de instrumentação usando um microcontrolador de custo acessível cuja função principal será o monitoramento da variação de resistência elétrica numa mola helicoidal de Ti-Ni no estado martensítico. O sistema de medição e a mola helicoidal formam o sensor mecatrônico.

O sistema é dotado de uma fonte de corrente que sensibilizará a mola helicoidal para seu estado martensítico através da passagem de uma corrente elétrica. A variação do tamanho da mola resultará na variação da resistência elétrica do material, provoca uma variação da tensão elétrica, proporcional à variação da deformação na mola. Foram feitas medidas da resistência da mola com o procedimento de medição aqui proposto visando obter os melhores resultados, em termos de precisão disponível num, usando o método de medição voltímetro/ampérmetro. O monitoramento da resistência elétrica da mola através do princípio físico da equação de Ohm proporcionou a base de monitoramento do sensor mecatrônico.

Palavras-chave: mola helicoidal de Ti-Ni, microcontrolador, sistema de medição, resistência elétrica

1. INTRODUÇÃO

O uso de uma mola helicoidal de Ti-Ni mostrou-se um grande candidato ao monitoramento de distensão mecânica. Implicando afirmar que o sensor poderá beneficiar vários segmentos da sociedade. Como um exemplo a mineração que necessita de constante monitoramento em seus túneis visando o controle de sua estrutura, verificando constantemente se houve cedimento por parte de suas vigas.

O princípio físico desta mola é regida pela sua mudança na sua estrutura atômica ao distendermos a mola helicoidal de Ti-Ni. Mudando a estrutura atômica da mola induz-se uma mudança na sua resistividade. A resistividade é monitorada indiretamente através da tensão elétrica.

O monitoramento da tensão elétrica é realizado por um microcontrolador PIC16F877A bastante comum no mercado e de custo acessível.

Os resultados mostraram que o sistema de monitoramento proposto apresentou uma confiabilidade considerável, devido à repetibilidade dos valores medidos e a robustez apresentada nos longos períodos de monitoramento.

1.1. Microcontrolador PIC-16F877

Microcontroladores são componentes eletrônicos, dotados de unidades programáveis utilizados para controle de processos lógicos e de periféricos (outros componentes eletroeletrônicos) ligados a ele. Como exemplo, temos: LED's, botões, display's, resistências, relês, sensores, entre tantos outros. São chamados de controles lógicos, pois a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e/ou saída, conforme Tocci (2003).

Esses componentes eletrônicos têm desempenhado um fator diferencial na área do processo de automatização no setor industrial. Pois eles tem um grande poder de processamento e armazenamento de instruções somando-se ao barateamento dos mesmo devido a produção em larga escala em circuitos integrados (CI), conforme Souza, 2003.

O PIC16F877A é um tipo de microcontrolador, usados na instrumentação, que detém as seguintes vantagens:

- Aquisição de dados analógicos e conversão em dados digitais, possuindo canais de aquisição;
- Comunicação USART (Universal Sincrono Assincrono Reception Transmition), podendo o microcontrolador comunicar-se com outro microcontrolador ou até mesmo um computador através da porta serial;
- Comunicação com porta serial síncrona com SPI (master) e I2C (master/slave);
- Comunicação com porta paralela;
- Porta serial universal (RS232 ou RS485) com buffer via hardware (2 bytes);
- 33 pinos de entrada/saída configuráveis e outros.

1.2. Mola helicoidal de Titânio - Níquel (Ti – Ni)

É uma mola formada por uma liga diatômica Titânio e Níquel que possui a intitulação de “materiais inteligentes“. Esta intitulação é dada a este tipo de dispositivo pela capacidade de mudar a sua estrutura atômica de CCC para CFC, quando submetidos a uma variação da temperatura ou uma distensão mecânica, retornando a sua estrutura inicial quando tais variações deixam de atuar. Essa mudança na estrutura atômica provoca a variação da resistividade do material.

Dispositivos com essas características tem sido bastante difundidas em aplicações nas áreas de robótica, aeronáutica e na indústria médica como pode ser visto em Duerig, 1999.

1.3. Comportamento da tensão elétrica com a variação do comprimento L da mola Ti-Ni

Usaremos a técnica de medição de quatro pontos. Seu princípio tem por base no fato de que se introduzindo uma corrente contante e conhecida nos terminais da mola helicoidal e medindo, assim, sua tensão, nos terminais mais internos, teremos a resistência da mola para uma dada deformação L (ver Fig. (1)).

Na Fig. (1) **I** representa a fonte de corrente e **V** representa o voltímetro. Nossa informação será registrada através do voltímetro.

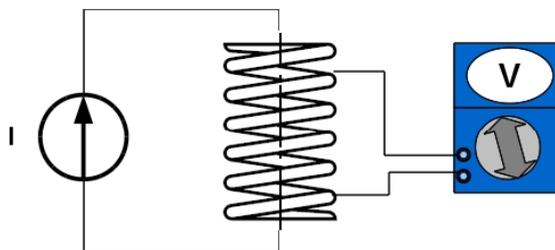


Figura 1: Método de medição quatro pontos

Nosso procedimento de medição, que usou a técnica de medição quatro pontos, consistiu na variação do comprimento **L** e o registro do valor da tensão no voltímetro **V**.

Para que isso fosse possível tivemos que montar um sistema garra-mola, que serviu de suporte para a mola helicoidal de Ti-Ni, tornando, assim, essa variação de comprimento possível (ver Fig (2)).

Deformamos a mola diminuindo o comprimento **L** e verificamos uma variação na tensão elétrica no voltímetro **V**, com uma corrente **I** constante. Note que na Fig. (2) **V** representa um voltímetro, enquanto **I** uma fonte de corrente.

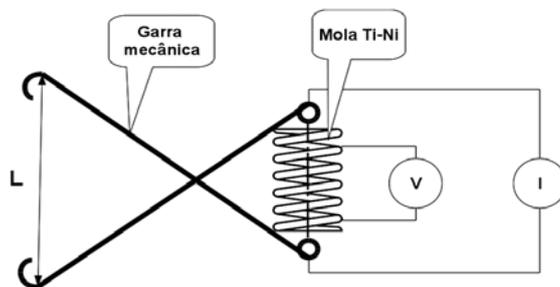


Figura 2: Sistema garra mecânica e mola de mola Ti-Ni

Os seguintes dados foram obtidos:
Para $I = 0.5A$

Tabela 1: Dados tensão elétrica em função da distância

Tensão (V)	Desvio padrão (V)	Distância (cm)
0.269	0.001	4.8
0.270	0.001	4.2
0.271	0.001	3.9
0.274	0.001	2.5
0.279	0.002	1

Os dados da Tab. (1) foi representado na curva tensão-comprimento na figura 3. O resultado mostra que mesmo com uma corrente constante nos terminais da mola helicoidal, a tensão elétrica diminui com a redução do comprimento de L (ver Fig. (3)).

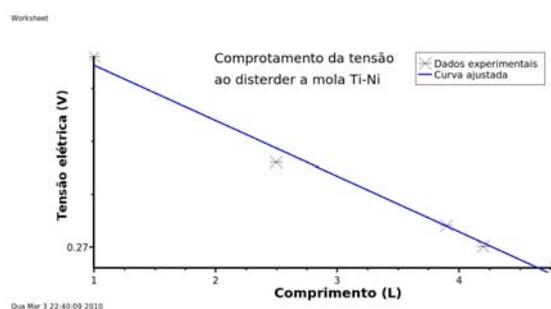


Figura 3: Comportamento tensão elétrica em função do comprimento

Se olharmos sob a perspectiva da distensão da mola, ou seja, ao diminuirmos L distendemos a mola helicoidal, notamos que a tensão elétrica aumentará com o aumento da distensão mecânica da mola.

A diferença de tensão elétrica (ver Fig. (3)) nos terminais interiores da mola helicoidal Ti-Ni surge por conta da alteração na resistividade elétrica que acompanha as mudanças de fases que ocorrem pela distensão da mola, conforme Oliveira, 2007. Portanto esta propriedade da mola Ti-Ni será a indicação base para verificação na possível alteração do comprimento L da mola. Ou seja nossa mola funcionará com um transdutor distensão/tensão elétrica.

1.4. Comportamento da Tensão elétrica com a variação da corrente I da mola Ti-Ni.

Permanecendo com a estrutura montada da Fig. (2), mantivemos um comprimento L constante e variamos a corrente I e verificamos o comportamento da tensão.

Obtemos os seguintes resultados:

$L=4,8\text{cm}$

Tabela 2: Dados tensão elétrica em função da corrente

Tensão (V)	Desvio padrão (V)	Corrente (A)
0	0.002	0.001
0.130	0.001	0.106
0.364	0.001	0.298
0.576	0.001	0.496
0.621	0.001	0.699

Os dados da Tab. (2) foram representados na curva tensão-comprimento na figura 4.

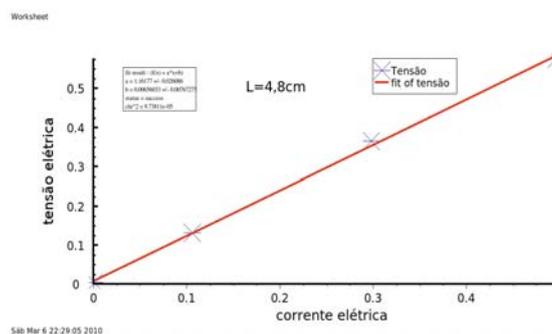


Figura 4: Comportamento Tensão elétrica com a variação da corrente.

O gráfico da Fig. (4) mostra que a tensão elétrica mola helicoidal de Ti-Ni apresenta um comportamento linear com a variação da corrente elétrica.

Através desta curva a mola helicoidal de Ti-Ni obedece a Lei de Ohm ver equação abaixo.

$$U = R * I \quad (1)$$

2. SISTEMA DE MONITORAMENTO DA DEFORMAÇÃO MECÂNICA NA MOLA DE TI-NI

A nossa proposta de trabalho é criação de um sistema de instrumentação eletrônica digital que visa ao monitoramento da variação da deformação mecânica da mola helicoidal de Ti-Ni usando o modulo de aquisição de dados do PIC16F877A como base.

O sistema de monitoramento fará a verificação de mudança de estado da mola helicoidal de Ti-Ni. Ou seja o sistema terá que reagir de forma estabelecida a mudança de estado em repouso ao estado distendido da mola de Ti-Ni (ver Fig. (5)).

Usando a propriedade da mola Ti-Ni de variação da resistência através da distensão mecânica (ver figura 3) , teremos a capacidade de monitorar a informação advindos da diferença de potencial elétrico da mola, para verificação da distensão mecânica da mola através de sua variação na tensão elétrica para diferentes comprimentos.

A corrente deve ficar numa intensidade constante. A partir deste momento o PIC16F877A irá fazer a primeira aquisição chamada de inicial, ou seja, aquisição da tensão quando a mola estiver em repouso e em seguida fazer o constante monitoramento para verificar se houve variação na tensão (ou variação no comprimento da mola).

Na etapa de subtração, o PIC16F877A irá, através de software, realizar a subtração entre o valor da tensão final, obtida na aquisição 2, e do valor da tensão inicial, obtida na aquisição 1, como indicado no diagrama de bloco da Fig. 6. A variação das tensões comparadas são comparadas com um valor de tensão pré-estabelecido, correspondente ao valor limite que indique a não distensão mecânica da mola. Se houver uma variação de tensão com uma intensidade maior que a tensão pré-estabelecida, ocorrerá o estouro de flag, conforme indicado na Fig. (6); nesta situação será acionado um LED ou um display de cristal líquido, como mostrado no esquema elétrico da Fig. (7), indicando o estado mecânico distendido da mola helicoidal Ti-Ni.

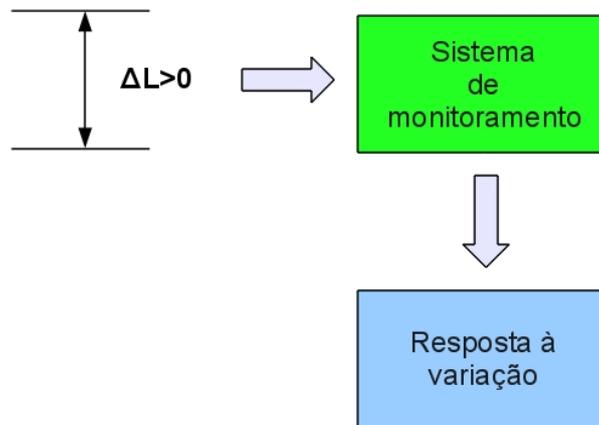


Figura 5: Ilustração do funcionamento do sistema de monitoramento.

O esquema ilustra a mola de Ti-Ni recebendo uma corrente de polarização e que através da entrada analógica do PIC16F877A é feito o monitoramento. O estado mecânico da mola helicoidal de Ti-Ni será possível de ser visto no LCD (ver Fig. (7)).

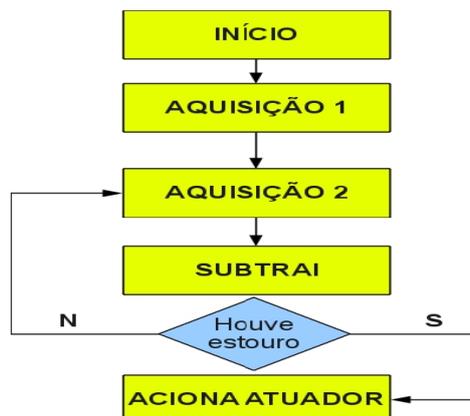


Figura 6: Algoritmo de monitoramento do comprimento da mola.

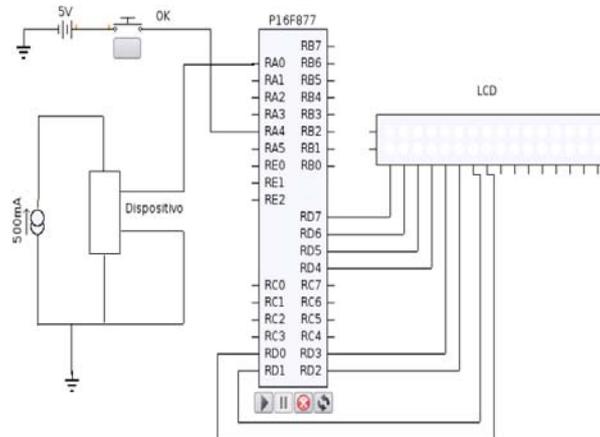


Figura 7: Esquema elétrico do sistema de monitoramento.

3. ESTUDO ESTATÍSTICO PARA CONDIÇÕES DE CORRENTE E COMPRIMENTO CONSTANTES

Montamos o circuito proposto da Fig. (7) e coletamos dados com a intenção de verificar se a variação de tensão limite não era atingindo mesmo se a mola helicoidal de Ti-Ni permanecendo em repouso. Ou seja, o sistema de monitoramento fosse induzido a um alarme falso. A variação de tensão diferencial para o alarme é de 9mV.

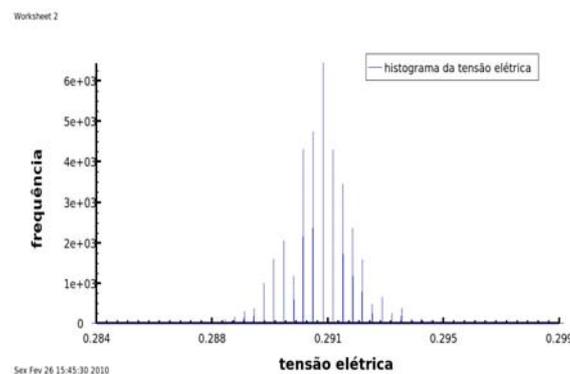


Figura 8: Histograma da tensão elétrica na mola Ti-Ni.

Foram coletadas 36000 amostra num determinado período de medição, correspondente a 5 minutos. E constatamos que a mola possui uma média de 0.291V (tensão inicial ou aquisição 1, ver Fig. (6)) e um desvio padrão de 0.001 V.

Então para esse resultado asseguramos uma confiabilidade de 99% de que a tensão inicial ficará em torno de [0.289 0.294]. Portanto nosso sistema de medição não apresentará falsos alarmes.

4. CONCLUSÃO

A curva da Fig. (3) mostra que o comportamento da variação da tensão elétrica, para o intervalo de comprimento L, possui uma diminuição na resistência elétrica. Isso demonstra a capacidade de verificação do estado mecânico da mola através da propriedade da mola de ser um transdutor distensão/tensão elétrica.

Como os dados para condições de corrente e comprimentos contantes, a variação de tensão elétrica permanece dentro de uma faixa que não extrapola a faixa considerada como uma variação no comprimento da mola. Apresentando assim uma confiabilidade de 99% que o sistema de monitoramento não indicará falsa variação de comprimento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao CNPq, pelo suporte financeiro através de concessão de Bolsa de Mestrado, e a TERMOPERNAMBUCO/ANEEL, pelo aporte financeiro na montagem dos experimentos de laboratório.

6. REFERÊNCIAS

- Duerig, T. M.; Pelton, A.; Stöckel, D. "An Overview of Nitinol Medical Applications". Materials Science and Engineering, 1999 .A273-275
- Oliveira C.A.N.; *Caracterização termoelástica de Molas da Liga Cu-Zn-Al com memória de forma. Dissertação (Mestrado) - UFPE-PE / DEMEC, 2007. 79p. 1. Molas helicoidais. 2. Efeito memória de forma. 3 Transformações martensíticas. 4. Deformação termoelástica .*
- Souza, D. J. , Lavinia, N. C., "Conectando o PIC: explorando Recursos Avançados", 1ª edição. São Paulo: Érica, 2003, p. 5-23, ISBN: 8571947376..
- Tocci, Ronald J., Sistema digitais : princípios e aplicações, 8ª edição. São Paulo: Pretence Hall, 2003, p 641-642, ISBN: 85-87918-20-6.

7. DIREITOS AUTORAIS.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DEVELOPMENT OF A ELECTRONIC MEASUREMENT SYSTEM FOR MONITORING THE ELECTRICAL RESISTANCE VARIATION OF AN COIL SPRING OF Ti-Ni USING MICROCONTROLLERS

Jadeilson de Santana Bezerra, jadeilson.bezerra@ufpe.br¹

Elson Miranda Silva, elsonmiranda@ipojuca.ifpe.edu.br²

Cezar Henrique Gonzalez, gonzalez@ufpe.br¹

Severino Leopoldino Urtiga Filho, urtiga@ufpe.br¹

¹Federal University of Pernambuco – DEMEC, Av Acadêmico Hélio Ramos, Recife-PE

²Federal Institute of Pernambuco, Ipojuca – PE

Abstract: *The seriousness of the research in engineering materials has been carry scholars from similar fields to innovative results. Positive results will contribute to science by increasing the frontiers of knowledge and carry to unexpected ways, therefore, scholars, researchers and engineers contribute massively to the progress of a nation. All research is needed to monitor a physical quantity that can fit experimental results to the theory. But often such instruments are available on the market with a high cost to purchase and in most cases, these electronic instruments are underused in a specific scientific application.*

In this paper we propose an instrumentation system using an inexpensive microcontroller whose main function is to monitor the change in electrical resistance of a coil spring of Ti-Ni in the martensitic state. The measurement system and form the coil spring mechatronic sensor.

The system is equipped with a supply chain that will raise awareness of the coil spring to its martensitic state by passing an electric current. The size variation of the spring will result in the variation of electrical resistance material, causes a change in voltage proportional to the variation of strain in the spring. Measurements were made of the resistance of spring with the measurement procedure proposed here to obtain the best results in terms of accuracy available in one, using the method of measuring voltmeter / ammeter. The monitoring of electrical resistance of the spring through the physical principle of Ohm's equation provided the basis for monitoring the mechatronic sensor.

The results showed that for a variable temperature environment, the measurement system was able to specify reliably, if the spring is at rest or extended, with accurate results for different levels of strain imposed on the spring

Keywords: *coil spring of Ti-Ni, microcontroller, system of measuring electrical resistance.*