

## DESENVOLVIMENTO DE UM CIRCUITO MULTIPLEXADOR DE SINAIS PARA APLICAÇÃO EM MONITORAMENTO ESTRUTURAL.

### Rafael Souza Fávero

UniSalesiano - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Departamento de Engenharia Mecatrônica  
Rodovia Teotônio Vilela, km 8.5, CEP 16016-500 – Araçatuba, SP - Brasil  
rafas\_6@yahoo.com.br

### Adriano Silva Borges

UniSalesiano - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Departamento de Engenharia Mecatrônica  
Rodovia Teotônio Vilela, km 8.5, CEP 16016-500 – Araçatuba, SP - Brasil  
adrianosborges@uol.com.br

### Nobuo Oki

Universidade Estadual Paulista, Unesp - Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Elétrica  
Avenida Brasil. 56 Centro CEP 15385-000 – Ilha Solteira, SP - Brasil  
nobuo@dee.feis.unesp.br

### Antonio Eduardo Turra

Universidade Estadual Paulista, Unesp - Ilha Solteira. Departamento de Engenharia Mecânica.  
Av. Brasil, 56, bloco m3 CEP 15385-000 – Ilha Solteira, SP – Brasil  
turra@dem.feis.unesp.br

**Resumo:** *Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito multiplexador de sinais. O projeto de um circuito multiplexador de sinais consiste na utilização de um sistema de processamento de sinais compartilhado entre vários sensores, sendo que sua utilização visa economia de fiação e de circuitos de processamento de sinais. O projeto efetuado foi aplicado no compartilhamento de sensores cuja resposta seja função da corrente, tais como os sensores piezelétricos atuando em sistemas de monitoramento estrutural (SHM). Para teste do sistema foram implementadas fontes de correntes com valores distintos que atuaram como equivalentes das respostas dos sensores e chaves analógicas atuando como multiplex. Para obtenção de resultados experimentais foi montada uma placa de circuito impresso, composta das fontes de correntes e da chave multiplexadora. Os testes efetuados demonstram a viabilidade do projeto, sendo que os erros observados devem-se a precisão dos resistores utilizados.*

*Palavras chave:* multiplexador, geradores de corrente, sensores piezelétricos

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem muitos sistemas complexos que necessitam de monitoramento constante. Um exemplo atual são os sistemas de monitoramento de estruturas aeronáuticas, tais como aeronaves e helicópteros. Uma importante técnica de monitoramento de estruturas é a técnica da impedância eletromecânica. A concepção básica desta técnica é o uso de altas frequências de vibrações para monitorar mudanças na impedância estrutural, numa área local da estrutura, que pode indicar uma falha eminente. Isto é possível usando sensores/atuadores piezelétricos, os quais fornecem medidas diretamente relacionadas com a impedância mecânica da estrutura. As medidas de impedância são, geralmente, realizadas em altas frequências, maiores que 10 kHz. O pequeno comprimento de onda nessas frequências permite a detecção de pequenas mudanças na integridade

estrutural. O princípio básico consiste em monitorar a variação da impedância mecânica, causada devido a presença de uma mudança estrutural (falha), através da impedância elétrica.

A técnica de monitoramento da saúde estrutural baseada na impedância elétrica tem sido desenvolvida pela utilização de uma variedade de materiais inteligentes e formam um novo método de avaliação não-destrutivo. Esta metodologia é bastante promissora, pois não está sendo utilizada em dispositivos comerciais, no entanto, permite o diagnóstico de danos como trincas, corrosão, cortes, entre outros. Diversos tipos de materiais, naturais e sintéticos, exibem propriedades piezelétricas. Dentre eles, pode-se citar:

Cerâmicas piezelétricas. Em particular, as cerâmicas PZT (Titanato Zirconato de Chumbo), têm sido extensivamente utilizadas como elementos atuadores distribuídos, aplicados sob a forma de placas, com espessuras típicas da ordem de 0,1 a 0,2 mm.

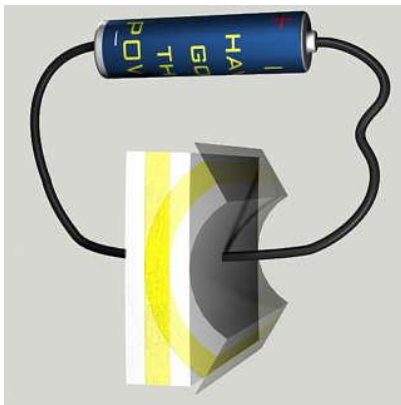
Polímeros piezelétricos. O PVDF (Fluorido de Polivinilideno) tem tido larga utilização como sensores distribuídos, aplicados sob a forma de filmes finos, com espessura típica da ordem de 40 a 120µm.

Muitos trabalhos, principalmente para aplicações aeroespaciais, naval, plataformas e dutos de escoamento têm focado esta técnica de SHM. Giurgiutiu e Zagari (2005) utilizaram o método da impedância eletromecânica para o monitoramento da saúde estrutural em placas finas e estruturas aeroespaciais com sensores piezelétricos ativos acoplados. Kim (2006) apresenta um sistema de monitoramento da saúde estrutural baseado na técnica da impedância que emprega transdutores piezocerâmicos desenvolvidos com um interesse especial em aplicar para membros estruturais soldados de navios e em estruturas *offshore*.

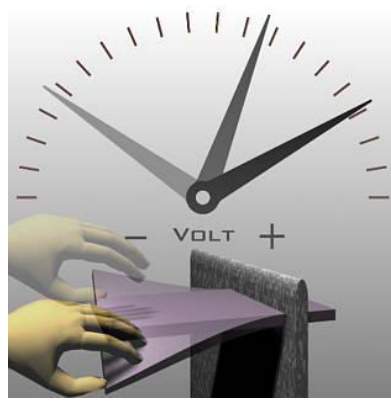
Neste tipo de aplicação é necessário o monitoramento de sinais de dezenas sensores, do processamento do sinal e da obtenção da impedância mecânica característica da estrutura sob teste. A utilização da eletrônica convencional acarretaria a necessidade de um número equivalente de processadores de sinal e também um grande número de fios para interligação entre os sensores e estas unidades de processamento de sinal. O presente trabalho propõe para esta aplicação, a utilização de um circuito de multiplexador de sinais visando a redução do número de unidades de processamento de sinal e da fiação necessária para interligação dos sensores. O trabalho está dividido da seguinte forma: no item 2 serão apresentados os sensores piezelétricos e sua utilização em sistemas monitoramento de estruturas; a descrição do circuito multiplexador de sinais proposto é apresentado no item 3; o desenvolvimento e testes são apresentados no item 4; e no item 5 são apresentadas as conclusões.

## 2. SENSORES/ATUADORES PIEZOELÉTRICOS

A técnica baseada na impedância utiliza o PZT como atuador e sensor. Um PZT colado na estrutura e alimentado por um campo elétrico alternado com valor fixo, excita e induz vibrações na estrutura (Efeito Inverso). A vibração resultante gera um fluxo de corrente no PZT (Efeito Direto), que é função do grau de interação mecânica entre o PZT e a estrutura, dentro da faixa de frequência considerada (Rocha, 2004). Estes efeitos são mostrados na figura 1.



(a) efeito inverso ou efeito atuador



(b) efeito direto ou efeito sensor

Figura 1 – Ilustração do efeito piezelétrico direto e inverso.

Um modelo simples, como mostrado na figura 2, pode descrever a interação entre um PZT e a estrutura a ele vinculada. O PZT é considerado como uma barra fina exposta a uma vibração axial em resposta a aplicação de tensão elétrica alternada. Uma extremidade é fixada e a outra é conectada na estrutura, representada por um sistema de um grau de liberdade.

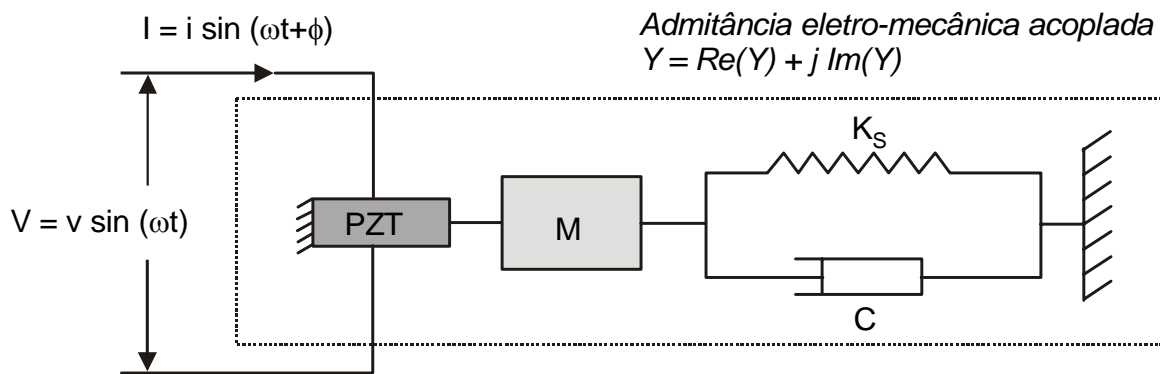


Figura 2 – Modelo usado para representar o acoplamento de um PZT com a estrutura base.

A impedância elétrica é definida como sendo a razão entre a tensão elétrica de entrada e a corrente resultante. A impedância mecânica, equação 1, é definida como a razão entre a força aplicada e a velocidade resultante no domínio da frequência (Ewins, 1991). O transdutor eletromecânico acopla as impedâncias elétrica e mecânica. Sendo mais fácil medir a impedância elétrica do que a mecânica, esta característica pode ser utilizada com vantagens para muitas aplicações, como por exemplo, em situações onde a FRF (Função de Resposta em Frequência) poderia ser de difícil obtenção.

$$Z(\omega) = \frac{F(\omega)}{\dot{X}(\omega)} \quad (1)$$

$$Y(\omega) = \frac{1}{Z(\omega)} \quad (2)$$

sendo  $Z(\omega)$  a impedância mecânica,  $F(\omega)$  a transformada de Fourier da força de entrada,  $\dot{X}(\omega)$  a transformada de Fourier da velocidade e  $Y(\omega)$  a admitância, a qual é o inverso da impedância.

### 3. CIRCUITO MULTIPLEXADOR DE SINAIS

Nas seções a seguir serão apresentados os componentes utilizados na construção do circuito multiplexador de sinais.

#### 3.1 Gerador de corrente

A utilização de geradores de corrente justifica-se pela necessidade de se simular os sinais provenientes dos sensores, que seriam a entrada do multiplexador. Estas correntes implementadas a partir dos geradores foram utilizadas para se testar as condições de uso de múltiplos sensores. A Figura 3 apresenta o circuito o gerador de corrente proposto.

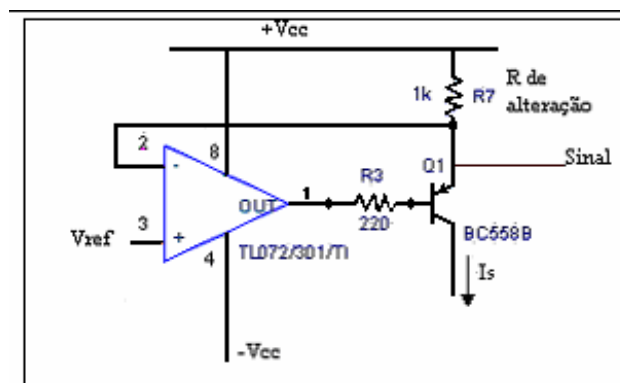


Figura 3: Circuito Gerador de Corrente.

Conforme mostrado da Figura 3, na entrada não-inversora no pino 3 foi aplicada a tensão de referência, representada por  $V_{REF}$ . Em  $V_{REF}$  aplicou-se uma tensão de 7 volts, sendo que a tensão de alimentação foi de 10 volts, com isso criou-se uma diferença de tensão sobre o resistor  $R_7$  fazendo com que uma corrente  $I_s$  fosse criada e enviada para o transistor  $Q_1$ , que fornece uma corrente para o multiplexador (Sinal). Esta corrente pode ser calculada pela Equação 3.

$$I_s = \frac{V_{cc} - V_{ref}}{R_7} \quad (3)$$

Foram construídos oito geradores de corrente, que foram utilizados para fornecer oito correntes diferentes na entrada do multiplexador. A tensão de alimentação utilizada para os geradores foi a mesma, mas esta era modificada para cada gerador devido presença de um resistor ( $R$  de alteração) que alterava a corrente.

#### 3.2 Amplificador

O amplificador utilizado foi o TL 071, que é mostrado na Figura 4. Este amplificador desempenhou duas funções nesta etapa. Uma delas foi transformar a corrente proveniente do sensor em tensão novamente. A outra função foi de efetuar seu papel mais comum, que é o de amplificar o sinal. Esta configuração dada amplifica os sinais enviados pelos sensores fazendo com que possam ser visualizados mais facilmente. Com este único amplificador localizado na saída do multiplexador pode-se resolver o problema da de amplificação dos sinais provenientes dos sensores, ou seja, não há a necessidade de se aplicar um amplificador para canal ou sensor.

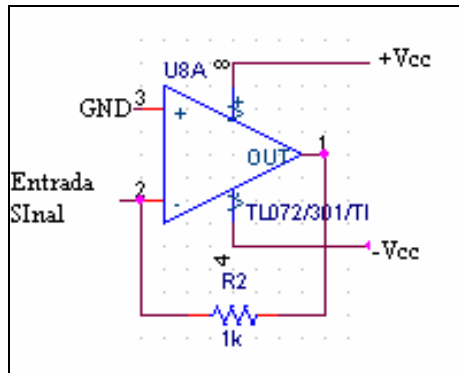


Figura 4: Amplificador de sinal TL 071.

### 3.3 Multiplexador

O multiplexador tem como sua função básica combinar múltiplas entradas em um único terminal de dados. Um multiplexador mux ou multiplex é um dispositivo que codifica as informações de duas ou mais fontes de dados em um único canal. Eles são utilizados em situações onde o custo de implementação de canais separados para cada fonte de dados é maior que o custo e a inconveniência de se utilizar as funções de multiplexação, ou para quando o espaço a ser utilizado é ser limitado.

Em eletrônica, o multiplexador combina um conjunto de sinais elétricos em um único sinal elétrico. Em processamento de sinais digitais, o multiplexador obtém fluxos de dados distintos e os combinam em um único fluxo de dados com uma taxa de transferência mais elevada. Isto permite que múltiplos fluxos de dados sejam transportados de um local a outro através de uma única ligação física, o que reduz os custos.

O multiplexador implementado utiliza suas portas de 3 bits para que possa ser feito o endereçamento de suas portas de entrada, que é reconhecida como Decodificador, que pode ser acionado manualmente ou automaticamente. Para que este decodificador possa ter seu funcionamento adequado, quando forem acionados em 1, emitem o sinal, mas quando forem acionadas em 0, devem ser aterradas devido a sua configuração TTL. Sua tabela de verdade pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela verdade do componente ADG 507

Tabela Verdade (ADG 507A)				
A2	A1	A0	EN	Saida Selecionada
X	X	X	0	Sem sinal
0	0	0	1	1
0	0	1	1	2
0	1	0	1	3
0	1	1	1	4
1	0	0	1	5
1	0	1	1	6
1	1	0	1	7
1	1	1	1	8

Pode ser observado na Tabela 1, que existe o EN. Este é o pino de Enable (acionamento), ele faz com que as portas sejam ou não acionadas, ou seja, liga ou desliga as entradas de bits para a seleção das portas.

#### 4. DESENVOLVIMENTO E TESTES

O desenvolvimento do circuito foi efetuado com uma placa de fibra de vidro de duas faces medindo 10 cm x 10 cm. Como pode ser visto na Figura 5, a disposição dos componentes foi efetuada para melhor aproveitamento da placa. Cada seta mostrada na figura representa um componente específico, por exemplo, a seta **A** representa as entradas dos sensores. Inicialmente esta placa seria destinada apenas a testes com os geradores de corrente, mas optou-se por disponibilizar entradas para sinais provenientes dos sensores. Utilizando-se as chaves (micro switches), representados por **B**, podem-se utilizar tanto os geradores de corrente quanto os sinais de entrada provenientes de sensores, bastando selecionar a entrada desejada.

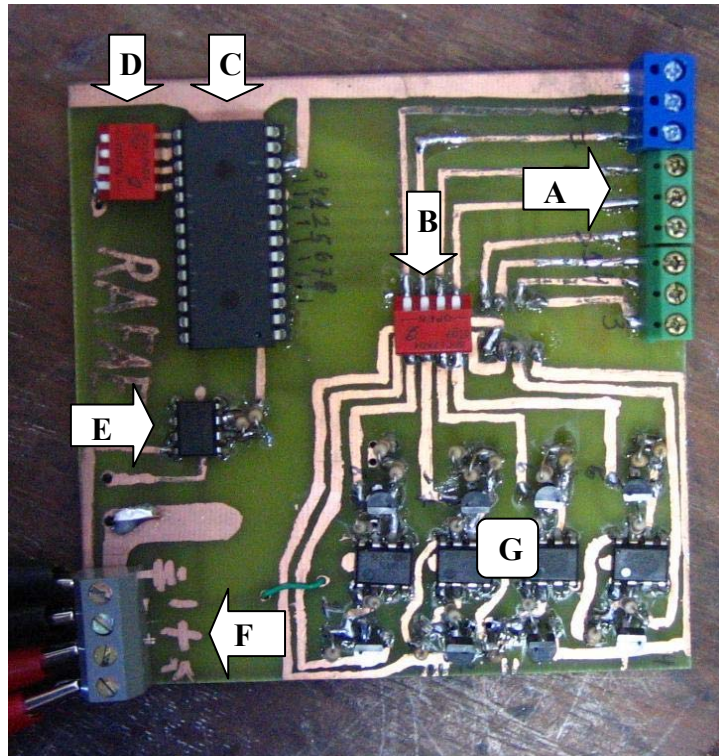


Figura 5: Circuito desenvolvido e em fase de testes.

A seta **C** representa o componente ADG507, que está disposto sobre uma base tomada de pinos torneados. Isso foi realizado devido ao fato de que o componente não tenha sido soldado à placa para facilitar a sua remoção.

**D** representa as entradas de três bits, onde se pode observar A2, A1, A0 e EN, organizados de cima para baixo. Este micro swit faz com que suas entradas sejam submetidas ao valor de uma tensão de entrada um e ao aterramento.

**E** representa o amplificador de sinais, onde são recebidos os sinais individuais que são direcionados pelo multiplex.

**F** são as entradas da fonte, onde pode se observar o terra, a tensão de corrente contínua negativa ( $-V_{cc}$ ), a tensão de corrente contínua positiva ( $+V_{cc}$ ) e a tensão de referência ( $V_{ref}$ ), que faz com que seja gerada a corrente para o multiplex.

**G** representa os quatros geradores de corrente, onde cada um deles tem a capacidade de desenvolver duas correntes.

Os testes realizados puderam ser verificados com o auxílio de um multímetro, possibilitando a leitura das tensões e das correntes em cada ponto de análise. Todos os pontos de análise foram documentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados

Entradas do ADG507	R de alteração (k $\Omega$ )	Tensão de Resposta (V)
1	5,1	0,69
2	1	3,55
3	15	0,23
4	10	0,35
5	20	0,15
6	25	0,14
7	3	0,16
8	30	0,12

A Tabela 2 demonstra que os valores recolhidos da placa em funcionamento, efetuam o papel de multiplexar os sinais de entrada, e os geradores de corrente se mostram em perfeito funcionamento, conforme o esperado.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a construção deste multiplexador foram satisfatórios e bastante promissores, indicando desta forma que será uma boa opção para uso em testes experimentais em laboratório permitindo desta forma simplificar a montagem dos ensaios e automatizar sistemas de aquisição multi-sensores. Possibilitará também seu uso em SHM onde a necessidade de um arranjo composto de vários transdutores, caso a área a ser monitorada possua dimensões maiores. Um grande número de transdutores acarreta a necessidade de um grande número de fios e conexões.

A vantagem desta configuração é a minimização dos fios e conexões necessárias para monitoramento de um arranjo contendo vários transdutores. As desvantagens estão na existência de resistências internas das chaves e necessidade de sincronização dos sinais.

## 6. REFERÊNCIAS

- Ewins, D.J. Modal testing: theory and practice. New York: John Wiley & Sons, 1991. 269p. .
- Giurgiutiu, V., Zagari, A., “Damage Detection in Thin Plates and Aerospace Structures with the Electro-Mechanical Impedance Method”, Structural Health Monitoring, Vol 4 (2), 2005. .
- Kim, M. H., “Smart Health Monitoring Systems with Application to Welded Structures using Piezoceramic and Fiber Optic Transducers”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol 17 – January 2006. .
- Rocha, T. L., 2004, “Modelagem de Estruturas Inteligentes”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”(Dem/ Feis/Unesp), Ilha Solteira, SP, Brasil. .

## DEVELOPMENT OF A CIRCUIT MULTIPLEX OF SIGNS FOR APPLICATION IN STRUCTURAL MONITORING.

### Rafael Souza Fávero

UniSalesiano - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Departamento de Engenharia Mecatrônica  
Rodovia Teotônio Vilela, km 8.5, CEP 16016-500 – Araçatuba, SP - Brasil  
rafas\_6@yahoo.com.br

**Adriano Silva Borges**

UniSalesiano - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium – Departamento de Engenharia Mecatrônica  
Rodovia Teotônio Vilela, km 8.5, CEP 16016-500 – Araçatuba, SP - Brasil  
adrianosborges@uol.com.br

**Nobuo Oki**

Department of Electrical Engineering, Universidade Estadual Paulista – Unesp/Ilha Solteira,  
Av. Brasil. 56 Centro CEP 15385-000 – Ilha Solteira, SP - Brasil  
nobuo@dee.feis.unesp.br

**Antonio Eduardo Turra**

Department of Mechanical Engineering, Universidade Estadual Paulista – Unesp/Ilha Solteira,  
Av. Brasil, 56, CEP 15385-000 – Ilha Solteira, SP – Brasil  
turra@dem.feis.unesp.br

*Abstract: This work presents the development of a signals multiplex circuit. The project of a signals multiplex circuit consists of the use of a signals processing systems shared among several sensors, and its use seeks cable economy and signals processing circuits. The project was applied in the sharing of sensor whose answer is function of the current, such as the sensor piezoelectrics acting in systems of structural monitoring (SHM). For tests of the system sources of currents they were implemented with different values that acted as equivalent of the answers of the sensor ones and analogical keys acting as multiplex. For obtaining of experimental results a plate of printed circuit was set up, composed of the sources of currents and of the key multiplex. The tests demonstrated the viability of the project, and the observed mistakes are due the precision of the used resistors.*

*Keywords: piezoelectric sensor, multiplex,*