

Élcio Moutinho Silveira

Rubens Brandt

TRABALHO DE FORMATURA
Sistema Flexível de Aquisição de Pressões

Projeto apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Engenharia Mecânica com ênfase em
Automação e Sistemas.

Área de Concentração :
Engenharia Mecânica

Coordenador
Raúl González de Lima

São Paulo

1997

AGRADECIMENTOS

Ao coordenador prof. Raúl Gonzalez de Lima que forneceu grande parte dos subsídios necessários para a execução deste projeto.

À empresa AMP que forneceu gratuitamente os elementos piezoelétricos utilizados neste projeto.

À empresa 3M que forneceu gratuitamente as fitas condutiva e de adesivo transferível utilizadas no projeto.

À empresa Fairway que forneceu gratuitamente o tecido utilizado no projeto

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 – Introdução	8
2 – Características Básicas do Sistema	9
3 – Divisão Funcional do Sistema	10
3.1 – Sistema de Transdução	10
3.2 – Interface Entre Transdução e Aquisição de Dados	10
3.3 – Sistema de Aquisição de Dados	11
4 – Especificação Técnica do Sistema	12
4.1 – Sistema de Transdução	12
4.1.1 – Composição do Sistema de Transdução	12
4.1.2 – Elemento de Transdução	13
4.1.3 – Malha de Terra	17
4.1.4 – Coberturas Superior e Inferior	21
Alongamento Seco	22
4.1.5 – Condutores	23
4.1.6 – Montagem do Sistema de Transdução	24
4.2 – Interface entre Transdução e Aquisição de Dados	27
4.2.1 – Chaveamento dos Multiplexadores	28
4.2.2 – Sistema de Drivers para transmissão de dados à distância	29
4.3 Sistema de Aquisição de Dados	30
5 – Exemplo de Funcionamento	38
6 – Discussão	39
7 – Conclusões	40
Anexo 1 – Teoria de materiais Piezoelétricos	41
Anexo 2 – Propriedades típicas do PVDF.	53

<i>Anexo 3 – Datasheet dos multiplexadores analógicos</i>	<u>54</u>
<i>Anexo 4 – Listagem do Software de Aquisição</i>	<u>64</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configuração do sistema de transdução	10
Figura 2.1 – Geometria do condutor da malha de terra	15
Figura 2.2 – Geometria da malha de terra	16
Figura 3 – Esquema de interconexão da malha dos condutores da malha de terra	17
Figura 4 – Esquema de conexão da malha de terra aos elementos de transdução	18
Figura 5 - Geometria dos condutores	20
Figura 6 - Esquema de fixação do condutor no PVDF	21
Figura 7 - Mapa de montagem	22
Figura 8 - Esquema simplificado dos multiplexadores	24
Figura 9 - Diagrama em Blocos do Software de Aquisição de Dados	28
Figura 10 - Exemplo da primeira folha da planilha	30
Figura 11 - Exemplo da folha de conversão	31
Figura 12 - Exemplo da folha de calibração	32
Figura 13 - Exemplo de gráfico com valores máximos de cada sensor	33
Figura 14 - Exemplo de gráfico do sensor 6	34
Figura 15 - Sinal do sensor 24	35

Resumo

Este projeto visa o desenvolvimento de um tecido que permita receber os valores de pressão aplicados ao longo de sua extensão.

A motivação deste projeto partiu de uma necessidade da indústria de calçados. O desenvolvimento de novos calçados exige o conhecimento das pressões que ocorrem entre este e o pé. Atualmente utilizam-se palmilhas que são capazes de aquisitar apenas as pressões na sola do pé. A partir da necessidade de um produto mais abrangente decidiu-se pelo desenvolvimento de um sistema que permita, com uma pequena adaptação, o desenvolvimento do sistema requerido pela indústria de calçados.

O projeto está constituído de três módulos:

- Sistema de transdução;
- Interface entre transdução e aquisição de dados;
- Sistema de aquisição de dados;

Abstract

The purpose of this project is the development of a tissue that allows the receiving of pressures values along its length.

This project reasoning comes from a shoe's industry. The developments of new shoes require the knowledge of the pressures between the foot and the shoe. Nowadays, this research is done using insoles that allow only the acquiring of pressures between the base of the foot and the shoe. From the need of a more enclosed product, we decided for the development of a system that allows, with a little adaptation, the development of the required system.

The project is divided in three modules:

- Transduction system;
- Interface between the transduction and the data acquiring;
- Data acquiring system.

1 – Introdução

A aquisição e análise de pressões ao longo de uma superfície deformável é uma tarefa muitas vezes necessária porém de difícil realização. Geralmente a implementação de uma solução deste tipo requer equipamentos projetados para cada aplicação. Alguns exemplos de aplicações que requerem soluções com esta finalidade são :

- Análise de pressões entre um pé e o calçado para o desenvolvimento de novos calçados;
- Pressões ao longo de uma garra mecânica quando pega um objeto;
- Aumento de sensibilidade em roupas espessas (ex.: roupas de segurança);
- Auxiliar no aumento da sensibilidade de pessoas com deficiências sensitivas;
- Estudos ligados ao esporte;
- Auxílio em tratamentos fisioterápicos.

A motivação deste projeto partiu de uma necessidade da indústria de calçados. O desenvolvimento de novos calçados exige o conhecimento das pressões que ocorrem entre este e o pé. Atualmente utilizam-se palmilhas que são capazes de aquisitar apenas as pressões na sola do pé. A partir da necessidade de um produto mais abrangente decidiu-se pelo desenvolvimento de um sistema que permita, com uma pequena adaptação, o desenvolvimento do sistema requerido pela indústria de calçados.

Tendo esta necessidade em mente, decidiu-se por desenvolver um tecido que permita receber os valores de pressão aplicados ao longo de sua extensão.

2 – Características Básicas do Sistema

Visando atender as necessidades das aplicações expostas no item “1 – Introdução”, este projeto atende às seguintes características básicas :

- Cinco pontos de medição por polegada quadrada;
- Transdução de pressões de 0 até 800 KPa (valor que, obtido a partir de estudos, podem ocorrer no calcanhar de uma pessoa correndo) perpendicularmente ao plano do sistema;
- Suportar impactos da mesma ordem de grandeza que a exposta no item acima;
- Resolução mínima de 6 bits (se possível superior);
- Ser flexível;
- Ser resistente à água e outros líquidos não nocivos à pele;
- Permitir que se faça medições em frequências da ordem de 100 Hz (equivalente a um período de 10 ms) e se possível superior;
- Permitir deformações no plano do tecido da ordem de 10% de sua extensão;
- Suportar temperaturas de até 90°C;
- Permitir o contato com a pele humana;
- Espessura máxima de 3mm;
- Permitir a confecção de sistemas adaptados para as aplicações expostas no item “1 – Introdução ”.

3 – Divisão Funcional do Sistema

A partir das características básicas necessárias ao sistema expostas no item “ 2 - Características Básicas do Sistema ” definiu-se que o sistema pode ser dividido em três partes :

- Sistema de transdução;
- Interface entre transdução e aquisição de dados;
- Sistema de aquisição de dados;

3.1 – Sistema de Transdução

Entende-se por sistema de transdução o equipamento responsável por transformar os valores mecânicos da pressão em sinais elétricos.

A solução adotada neste projeto assemelha-se a um tecido que permite a transdução de valores de pressão aplicados em sua extensão.

Este sistema compreende desde a região de aplicação de pressões até a saída dos sinais elétricos proporcionais à pressão aplicada. Este sistema será realizado em sua configuração básica sem a adaptação para alguma aplicação específica.

3.2 - Interface Entre Transdução e Aquisição de Dados

Esta parte do sistema é responsável por permitir a conexão entre as duas outras partes : Sistema de transdução e Sistema de aquisição de dados. O sistema deve permitir que os

sinais elétricos provenientes do sistema de transdução possam ser levados ao sistema de aquisição de dados a uma distância maior que 1 metro.

3.3 – Sistema de Aquisição de Dados

Esta parte do sistema é responsável por permitir a visualização e arquivamento dos dados gerados no sistema de transdução. Esta parte do sistema corresponde a um microcomputador com características que permitem receber sinais elétricos externos e convertê-los em dados digitais para futura manipulação.

4 – Especificação Técnica do Sistema

Este item tem por finalidade apresentar as soluções adotadas neste projeto assim como as razões que levaram à tal decisão. Neste item estará identificado em quais anexos se encontra o embasamento teórico necessário para as soluções adotadas neste projeto.

4.1 – Sistema de Transdução

A parte mais crítica do projeto está contida nesta parte. Estudos de mercado indicaram que apesar da enorme quantidade de aplicações, não existe um produto que atenda todas as características necessárias.

A solução básica adotada nesta parte do trabalho é a adoção de um sistema com aparência semelhante a um tecido. Desta forma o sistema pode atender a requisitos básicos como elasticidade e contato direto com a pele humana. Apesar de não ser uma característica necessária do sistema, esta solução permite ainda a lavagem do produto. Desta forma a vida útil não é reduzida por problemas de higiene.

4.1.1 – Composição do Sistema de Transdução

O sistema de transdução pode ser dividido em 5 partes :

- Cobertura superior;
- Elementos condutores;
- Elemento de transdução;

- Malha de terra;
- Cobertura inferior;

Na figura 1 está esquematizado a posição de cada um dos elementos do sistema de transdução.

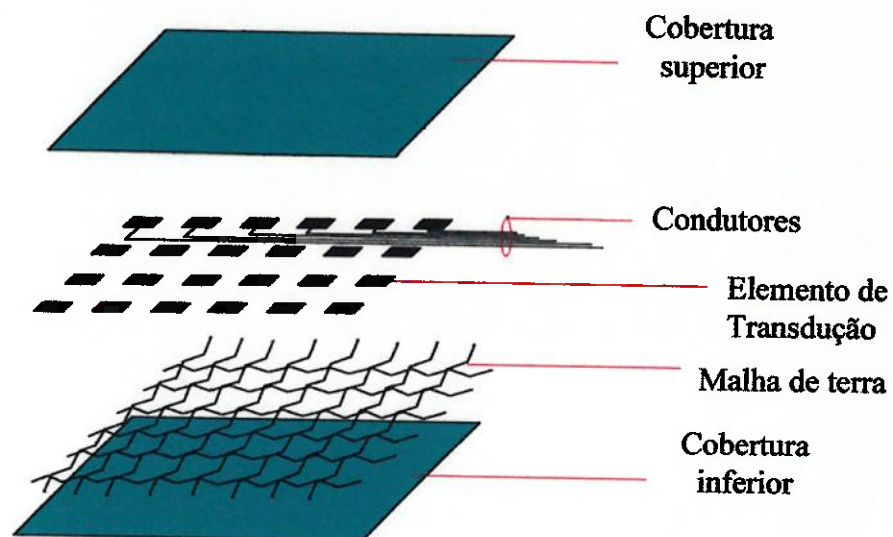


Figura 1 – Configuração do sistema de transdução

4.1.2 – Elemento de Transdução

O núcleo de todo o sistema de transdução está no elemento utilizado para esta tarefa. No estudo de viabilidade técnica deste projeto, analisou-se as seguintes opções :

- Elemento com variação da resistência elétrica com a pressão;
- Elemento com variação da capacitância com a pressão;

- Piezoelétrico cerâmico;
- Piezoelétrico polimérico;

Segue abaixo, de forma reduzida, as características que levaram cada solução a ser descartada ou não :

- Elemento com variação da resistência elétrica com a pressão

Apesar de ser de fácil implementação, sistemas que utilizam a medição da resistência elétrica conforme varia a pressão tem demonstrado a necessidade de regulagens com alta periodicidade.

- Elemento com variação da capacitância com a pressão

Sistemas que utilizam a medição da capacitância com a variação da pressão mostram ser bastante confiáveis. Apesar disto, esta implementação seria bastante complexa uma vez que seria necessário o desenvolvimento tanto do sensor quanto das curvas de resposta.

- Piezoelétrico cerâmico

Os elementos piezocerâmicos são largamente utilizados na medição de pressão. O descarte desta opção se deve ao fato deste tipo de material não suportar impactos da ordem desejada.

- Piezoelétrico polimérico.

Os materiais poliméricos com características piezoelétricas estão aos poucos sendo absorvidos pelo mercado. Estes materiais possuem características que nos levaram à sua escolha como elemento de transdução. Estas características são :

- Características mecânicas típicas de plásticos de engenharia;

- Boa resistência química – atualmente é bastante utilizado na indústria química em bombas e dutos devido à resistência à solventes;
- Excelentes propriedades elétricas;
- Leve;
- Fino;
- Flexível;
- Suporta temperatura de até 110°C;
- Não sofre substancial decaimento de suas características se estiver trabalhando em temperaturas inferiores à 70 °C.
- Permite ser cortado na forma desejada com o uso de uma tesoura;
- Sensibilidade superior ao quartzo;

A teoria que descreve o funcionamento de materiais piezoelétricos pode ser encontrada no **Anexo 1 – Teoria de Materiais Piezoelétricos**

4.1.2.1 – Caracterização do Piezoelétrico utilizado

Neste projeto será utilizado o polímero piezoelétrico denominado PVDF (Polyvinilidene Fluoride). As propriedades típicas deste polímero podem ser encontradas no **Anexo 2 – Propriedades típicas do PVDF**.

Neste projeto foi utilizado material fornecido pela empresa AMP. O PVDF fornecido por esta empresa foi fabricado exclusivamente para esta finalidade uma vez que não existe este elemento com as dimensões necessárias. Desta forma, o elemento a ser fornecido possui as seguintes características :

- Formato circular com área ativa de 12 milímetros quadrados;
- Base inativa com área de 28 milímetros quadrados;
- Espessura de 28 micrômetros;
- Deposição de tinta de prata nas duas superfícies;

4.1.2.2 – Cálculos teóricos

O objetivo dos cálculos teóricos que seguem abaixo são permitir que se conheça as características da resposta do PVDF à carga aplicada.

- **Cálculo da diferença de tensão quando se aplica pressão de 800 kPa**

As fórmulas a serem utilizadas neste item podem ser encontradas no **Anexo 1 – Teoria de Materiais Piezoelétricos**. Os dados referentes ao PVDF podem ser encontradas no **Anexo 2 – Propriedades Típicas do PVDF**.

$$\begin{aligned} V_{\text{tau}} &= g_{33} * 28 \mu\text{m} * P = -330 * 10^{-3} * 28 * 10^{-6} * 800 * 10^3 = \\ &= - 7,4 \text{ V} \end{aligned}$$

- **Cálculo da frequência de corte**

Frequência de corte é a frequência na qual após uma constante de tempo (R * C) ocorre uma perda de 3dB do sinal. As fórmulas a serem utilizadas neste item podem ser encontradas no **Anexo 1 – Teoria de Materiais Piezoelétricos**. Os dados referentes ao PVDF podem ser encontradas no **Anexo 2 – Propriedades Típicas do PVDF**.

Para este item será utilizada uma resistência da carga de 50 G Ω (amplificador operacional TLC2201 da Texas Instruments).

A capacitância adotada pode ser calculada a partir da área do PVDF utilizado (0,1 X 0,1 polegadas quadradas):

$$C = 380 * A = 2,4516 * 10^{-3} \text{ pF}$$

A partir daí calcula-se a constante de tempo :

$$\tau = R * C = 0,12258$$

Logo a frequência de corte será :

$$F_c = 1 / (2 * \pi * \tau) = 1,3 \text{ Hz}$$

4.1.3 – Malha de Terra

Para que o elemento piezoelétrico (elemento de transdução) possa levar sinais elétricos até os condutores, é necessário que se conheça a diferença de tensão entre os seus dois lados.

A implementação utilizada neste projeto fixa a tensão de um lado do piezoelétrico no que será chamada em tensão da terra.

Tendo em vista que seria necessário levar um condutor com a tensão de terra até cada elemento piezoelétrico, decidiu-se pela criação de uma malha que conecta-se a todos os elementos e é aterrada em apenas um ponto. Através desta solução, elimina-se ou atenua-se dois problemas :

- Elevado número de condutores que saem do sistema de transdução e entram na Interface entre transdução e aquisição de dados;
- Ruído devido a interferência eletromagnética.

A malha de terra deve seguir as mesmas características estabelecidas para o resto do projeto. Desta forma o projeto da malha de terra esteve condicionado à três fatores :

- Material utilizado;
- Geometria da malha;
- Interconexão dos condutores da malha;
- Conexão da malha com os elementos de transdução.

4.1.3.1 – Material utilizado

O material utilizado na construção da malha serão fios condutores, maleáveis, envoltos em verniz. Este condutor é o mesmo utilizado em enrolamentos de motores. A escolha deste material permite que não o sistema não sofra com a corrosão ao mesmo tempo que não está isolado do meio externo nos pontos onde não deve haver

4.1.3.2 – Geometria da Malha

A geometria da malha foi criada de forma a garantir a satisfação do requisito de deformação de 10%. Segue na figura 2.1 o esboço da geometria da criada para cada elemento condutor e na figura 2.2 a geometria da malha completa.

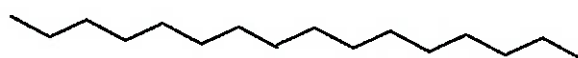


Figura 2.1 – Geometria do condutor da malha de terra

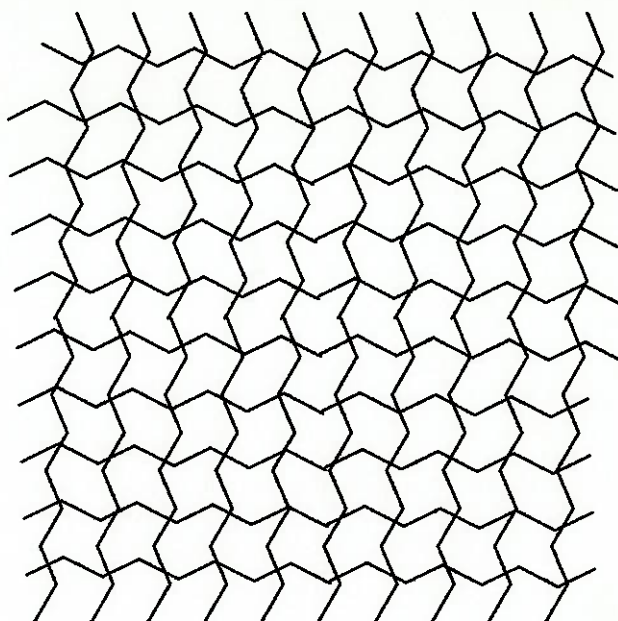


Figura 2.2 – Geometria da malha de terra

4.1.3.3 – Interconexão dos Condutores da Malha

As conexões realizadas entre os condutores da malha de terra nos pontos de cruzamento são fundamentais para garantir a sua eficiência. Uma conexão mal realizada pode levar a flutuações indesejadas na tensão de terra fornecida aos diversos elementos de transdução.

Desta forma, o procedimento de interconexão será realizado em três etapas :

- Lixamento;
- Conexão entre os dois condutores;
- Impermeabilização, proteção mecânica e isolamento elétrico da conexão.

Como o condutor é envernizado, nos pontos onde se deseja realizar uma conexão foi realizado um lixamento utilizando uma lixa de unha comum.

Após o lixamento, realiza-se a conexão entre os dois condutores utilizando fita adesiva condutiva¹ da 3M, modelo 1194.

Para exercer as funções de impermeabilização, proteção mecânica e isolamento elétrico foi utilizada fita isolante líquida modelo ISOFILM da marca Illinois Produtos Químicos.

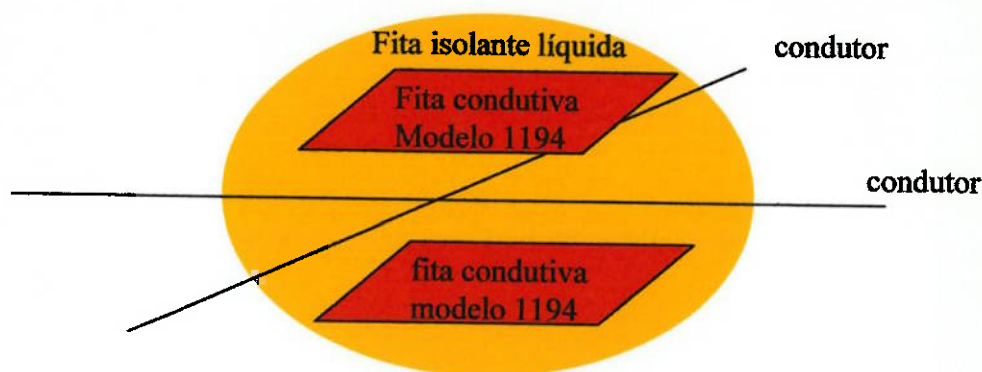


Figura 3 – Esquema de interconexão da malha dos condutores da malha de terra

4.1.3.4 - Conexão da malha com os elementos de transdução

A conexão da malha de terra aos elementos de transdução é semelhante à solução adotada no item 4.1.3.3 – Interconexão dos condutores da malha.

Neste caso, a conexão será realizada fita adesiva condutiva da 3M, modelo 1194 e isolada de líquidos por uma camada de fita isolante líquida. O esquema de conexão pode ser visualizado na figura 4.

¹ agradecimentos a Marise Monteiro da Silva da 3M de São Paulo.

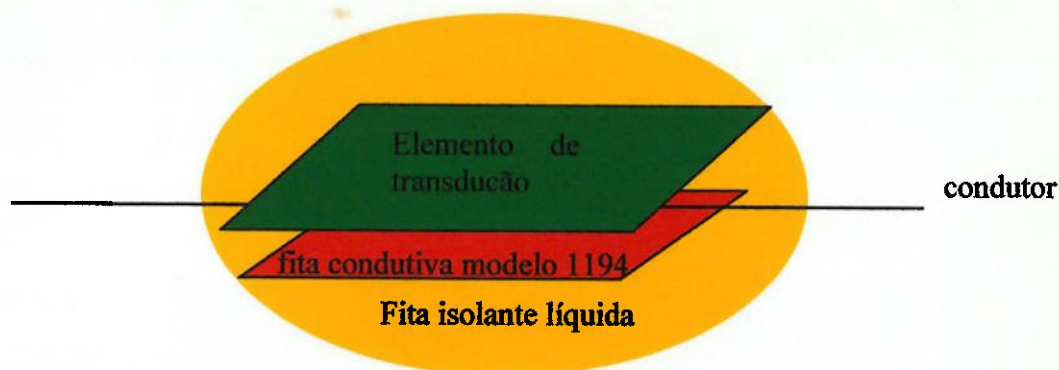


Figura 4 – Esquema de conexão da malha de terra aos elementos de transdução

4.1.4 - Coberturas Superior e Inferior

Tendo em vista que será adotada a mesma solução para as duas coberturas, este item engloba as duas partes.

Para a seleção de um material que atenda as especificações do projeto foi procurada a Fairway Filamentos², uma empresa Hoescht e Rhodia, que indicou dois tipos de tecidos que poderiam ser utilizados no projeto:

- tecido constituído de fibras de nylon e elastano;
- tecido constituído de fibras de poliéster e elastano.

A primeira opção apresenta resistência mecânica muito boa para as solicitações que estarão sendo impostas no sistema e alta resistência ao calor (230°C). Um problema com esta opção é quanto ao alongamento. O tecido seco apresenta um alongamento de 25 a 32%, enquanto que com o tecido molhado, este valor varia de 30 a 37%. Como o

² agradecimentos à engenheira têxtil Andréa da Fairway Filamentos.

sistema não pode apresentar variações no seu comportamento na presença de umidade, esta opção foi descartada.

Em relação ao tecido constituído por fibras de poliéster e elastano, tem-se o seguinte:

Tabela 1 – Características do tecido composto de poliéster e elastano

Resistência mecânica	Suficiente para as solicitações impostas
Alongamento Seco	15 a 25%
Alongamento Molhado	15 a 25%
Resistência ao calor	240°C
Resistência elétrica seco	> 1GΩ
Resistência elétrica molhado com água de torneira	~1GΩ
Resistência elétrica molhado com solução saturada de sal de cozinha	~1GΩ

A partir dos dados da tabela 1, pode-se verificar que as propriedades mecânicas do tecido não são alteradas com ele seco ou molhado. O alongamento, embora menor que do nylon atende as necessidades (10%). A resistência ao calor, de 240°C, é mais do que suficiente (a especificação é de 90°C). A resistência elétrica no pior caso, ou seja, com o tecido molhado com solução saturada de sal de cozinha, mostra que o tecido vai servir de isolante elétrico, assegurando assim a segurança do usuário, o que é muito importante.

Assim, o material escolhido para ser usado nas coberturas superior e inferior foi o tecido constituído por fibras de poliéster e elastano.

4.1.5 – Condutores

Para fazer as diversas ligações dos elementos de transdução, foram utilizados os mesmos fios utilizados na malha de terra. A seguir estão apresentadas as características que levaram a escolha desse material:

- são muito finos;
- são bastante maleáveis;
- o verniz serve de proteção contra curto-circuito, água e outros líquidos.

Por ser maleável, o condutor vai ser utilizado na forma apresentada na figura 5:



Figura 5: Geometria dos condutores.

Dessa forma, o condutor não oferecerá resistência quando o tecido for tracionado, não atrapalhando a medição e também impedindo que o fio seja rompido.

4.1.5.1 - Fixação do Condutor no Elemento Transdutor

No ponto de fixação do condutor ao elemento piezoelétrico o fio foi lixado e fixado ao elemento transdutor por meio de uma fita adesiva condutiva³ da 3M, modelo 1194. Para

³ agradecimentos a Marise Monteiro da Silva da 3M de São Paulo.

a proteção da ponta descascada e da fita adesiva, a conexão será coberta por uma camada de fita isolante líquida.

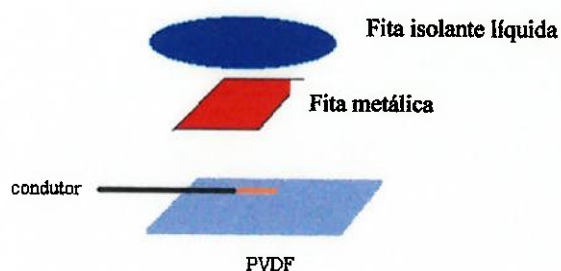


Figura 6: Esquema de fixação do condutor no PVDF

Especificação da Fita Metálica

Esta fita metálica modelo 1194 é de cobre, condutiva e fácil de cortar. Possui 0,08mm de espessura, e uma resistência a tração de 44N/cm. O adesivo é acrílico e a adesão ao aço é da ordem de 4,40N/cm. Dessa forma, encaixa-se bem no projeto.

4.1.6 - Montagem do Sistema de Transdução

Inicialmente monta-se a malha (figura 7) sobre um “mapa” que indica os locais onde serão fixados os PVDFs (circunferências).

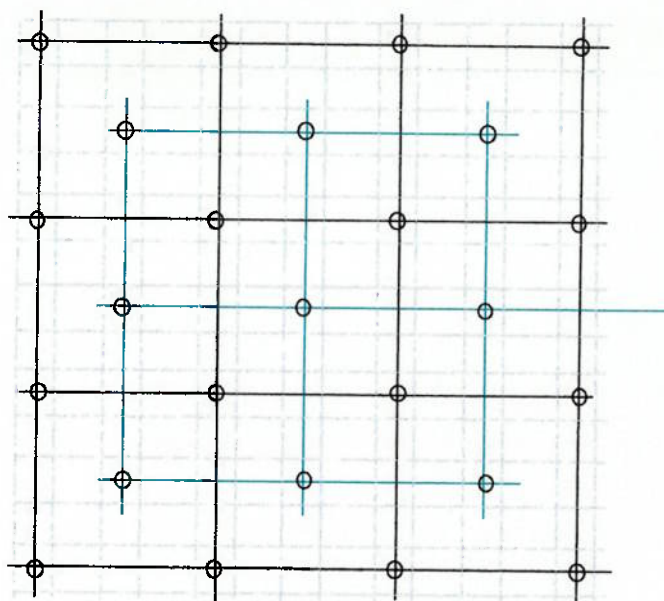


Figura 7: Mapa de montagem

Após são colocados os PVDFs nos locais determinados e estes são fixados à malha. Depois são colocados os condutores. Com isso, tem-se a criação de todo o sistema de transdução faltando ainda a sua fixação ao tecido.. A seguir, os condutores e a malha de terra serão fixados no tecido com adesivo, sendo esta uma fixação inicial. Para isso será utilizado uma fita de adesivo transferível⁴ da 3M, modelo Y 5792. Maiores detalhes sobre esta fita estão adiante.

Deve ser tomado cuidado para que o adesivo não seja aplicado nos locais dos elementos de transdução. Como o PVDF possui uma alta sensibilidade transversal, o sinal acabará sofrendo distorções se ele for colado no tecido, já que quando o tecido for esticado, ou tracionado, surgirão tensões de cisalhamento na superfície colada.

A seguir, será feita a fixação do outro tecido sobre tudo, também utilizando-se o adesivo transferível.

A partir da marcação no tecido, serão feitas algumas costuras em certos pontos marcados, para a fixação final da malha de terra e dos conectores, e em torno dos PVDF's, para fixação final destes.

Especificação da Fita Transferível

A fita de adesivo transferível Y 5792 é constituída de adesivo acrílico aplicada sobre liner (papel siliconizado). Aplica-se a fita sobre a superfície que se quer colar, e remove-se o liner, sobrando apenas o adesivo. Esta facilidade de manipulação que levou a sua utilização no projeto para fixações preliminares.

Esta é uma fita basicamente voltada para a indústria de calçados, sendo este o motivo da escolha desta fita para o projeto. Ela suporta esforços e temperaturas ideais para o projeto, além de ser resistente a água. Possui pequena espessura (0,05mm), o que é ideal para as necessidades do projeto.

⁴ agradecimentos a Eliete Alves de Souza da 3M de São Paulo.

4.2 - Interface entre Transdução e Aquisição de Dados

Apesar do protótipo ter sido montado com 24 sensores, montou-se uma interface entre transdução e aquisição de dados capaz de suportar 64 sinais.

Para a aquisição dos dados, será utilizada a placa PCL-711, que possui 8 entradas analógicas. Dessa forma, foi necessário projetar uma placa que multiplexasse os aproximadamente 64 sinais analógicos em 8. Para tanto foram utilizados multiplexadores analógicos da Motorola modelo MC14097B, de 16 entradas e 2 saídas. A figura 8 apresenta um esquema simplificado das ligações dos multiplexadores para este projeto.

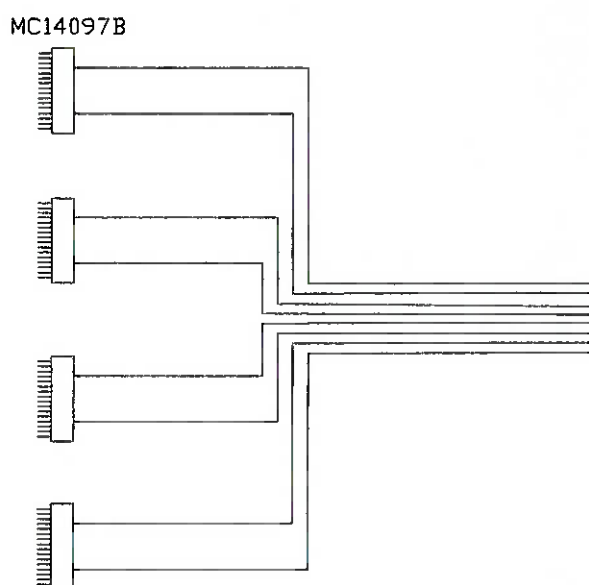


Figura 8: Esquema simplificado dos multiplexadores.

4.2.1 - Chaveamento dos Multiplexadores

A tabela 2 mostra a tabelas verdade do multiplexador MC14097B.

Tabela 2: tabela verdade MC14097B

sinais de controle				saídas
A	B	C	INHIBIT	habilitadas
x	x	x	1	nenhuma
0	0	0	0	X0 Y0
1	0	0	0	X1 Y1
0	1	0	0	X2 Y2
1	1	0	0	X3 Y3
0	0	1	0	X4 Y4
1	0	1	0	X5 Y5
0	1	1	0	X6 Y6
1	1	1	0	X7 Y7

O sinal de INHIBIT estará sempre aterrado, ou seja, sempre estará em nível lógico low, e os multiplexadores estarão sempre habilitados.

O chaveamento será controlado via software, sendo que os sinais de controle irão para a placa multiplexadora através das saídas digitais da placa de aquisição (que possui um total de 8 saídas).

Dessa forma percebe-se que basta incrementar o número e jogar nas saídas digitais da placa de aquisição, o que simplifica a implementação do software. Note que serão utilizados apenas 3 bits para o controle.

4.2.2 – Sistema de Drivers para transmissão de dados à distância

Tendo em vista que os elementos piezoelétricos são capazes de fornecer tensão e não corrente, existiu a necessidade de adotar um sistema de drivers para transmitir os dados à distância. Este sistema foi executado com amplificadores operacionais e é capaz de suportar 32 sinais. O esquema elétrico segue o mesmo de um amplificador de ganho unitário, injetando o sinal pela entrada positiva do amplificador operacional e conectando a entrada negativa à saída.

4.3 Sistema de Aquisição de Dados

Conforme foi dito , a amostragem é feita com a placa PCL-711, placa pertencente ao orientador. Já foi dito que ela receberá os sinais de medição através de 8 entradas analógicas, e enviará sinais de controle através de 3 saídas digitais. Como o hardware já está pronto, faltava desenvolver o software. Foi implementado com o auxílio do orientador, um software baseado num já existente. A linguagem utilizada foi o Fortran. Um diagrama de blocos está apresentado na figura 9:

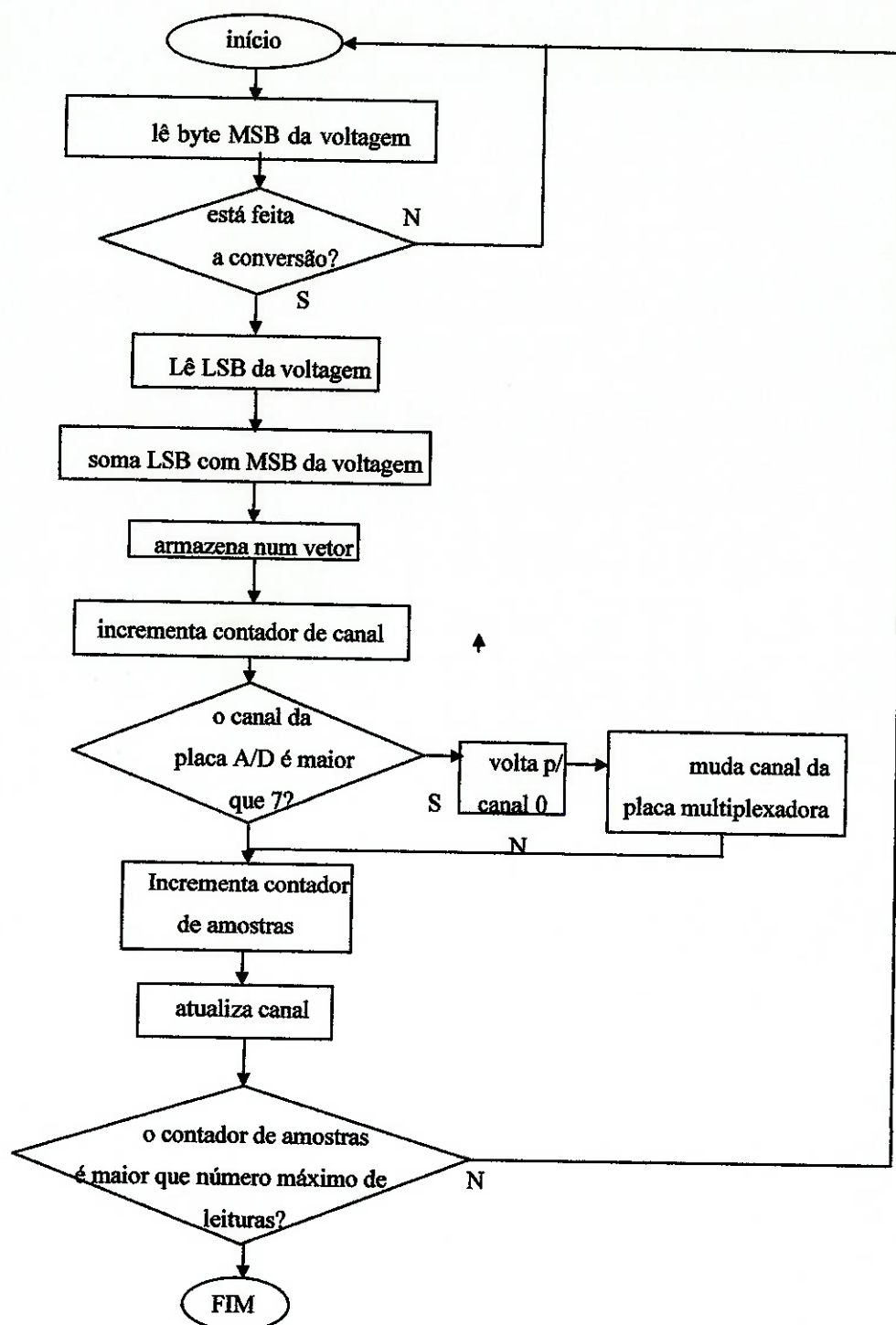


Figura 9: Diagrama em Blocos do Software de Aquisição de Dados.

A listagem relativa ao diagrama acima está no ANEXO 4.

O funcionamento é bem simples. Inicialmente ele lê o MSB da voltagem da leitura anterior. Com isso, ele verifica se a conversão A/D foi feita. Se não, ele volta para o começo. Se sim, lê o LSB, soma-o com o MSB em seguida, e armazena o resultado num vetor. Depois, ele incrementa o contador de canais analógicos, para ler o canal seguinte. Se o resultado deste incremento for maior que 7 (já que são 8 canais analógicos utilizados, numerados de 0 a 7), o programa zera o contador de canais analógicos, lendo desta forma, o canal 0, e incrementa o contador de chaveamento da placa multiplexadora. A seguir, o programa incrementa o contador de amostras, atualiza o canal verifica se o contador de amostras é maior que o número máximo de amostras. Se não for, volta para o início do programa. Se for, interrompe a execução.

Nota-se que não há a necessidade de comparar o valor do contador de chaveamentos com o valor máximo (31), já que estes valores são tratados como números binários. Quando se passa deste valor, por exemplo para 32, tem-se que 32 em binário é 100000, onde tem-se zerados os 5 bits de interesse. Observa-se então que os valores das saídas digitais são zerados "automaticamente".

Por experiência com o uso da placa pelo orientador, pode-se afirmar que o tempo de atraso do multiplexador MC140052B é menor que o tempo gasto pela placa com a verificação da conversão, a própria conversão A/D, leitura do MSB e do LSB, e a soma destes dois valores.

Deve ser lembrado que os dados serão armazenados em arquivo, o que não está mostrado no diagrama em blocos. O programa irá armazenar dados até a NMAX'ima medida. desejadas. Como o produto desenvolvido foi para demonstração do conceito da

aplicabilidade do PVDF para a aquisição de pressões, tendo ido utilizados vinte e quatro sensores, o software foi alterado para ler vinte e quatro sinais diferentes, gerando assim um arquivo no formato texto, com vinte e quatro colunas, uma correspondendo a cada sensor, e mil linhas, sendo os valores na forma de tensão.

Foi desenvolvida uma planilha utilizando o software Excel para fazer o tratamento dos sinais aqisitados. Na primeira folha da planilha são colocados os dados armazenados no arquivo gerado. A Figura 10 ilustra esta folha.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4	Sinal	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor
5	1	7,28E-01	7,25E-01	5,69E-01	1,17E-01	-1,02E+00	2,20E-02	1,12E-01	1,02E-
6	2	7,20E-01	5,35E-01	5,64E-01	1,10E-01	-1,02E+00	1,71E-02	1,07E-01	1,02E-
7	3	7,20E-01	5,32E-01	5,62E-01	1,10E-01	-1,02E+00	1,22E-02	1,05E-01	1,02E-
8	4	7,20E-01	5,32E-01	5,62E-01	1,07E-01	-1,02E+00	1,46E-02	1,07E-01	1,02E-
9	5	7,25E-01	5,40E-01	5,69E-01	1,15E-01	-1,02E+00	1,95E-02	1,12E-01	1,02E-
10	6	7,28E-01	5,40E-01	5,69E-01	1,15E-01	-1,02E+00	1,95E-02	1,10E-01	1,02E-
11	7	7,25E-01	5,37E-01	5,66E-01	1,12E-01	-1,02E+00	1,46E-02	1,05E-01	1,02E-
12	8	7,23E-01	5,35E-01	5,62E-01	1,10E-01	-1,02E+00	1,46E-02	1,03E-01	1,02E-
13	9	7,20E-01	5,35E-01	5,64E-01	1,10E-01	-1,02E+00	1,46E-02	1,07E-01	1,02E-
14	10	7,25E-01	5,37E-01	5,69E-01	1,15E-01	-1,02E+00	1,95E-02	1,10E-01	1,03E-
15	11	7,28E-01	5,42E-01	5,71E-01	1,15E-01	-1,02E+00	2,20E-02	1,15E-01	1,02E-
16	12	7,23E-01	5,40E-01	5,66E-01	1,15E-01	-1,01E+00	1,71E-02	1,10E-01	1,02E-
17	13	7,20E-01	5,35E-01	5,64E-01	1,12E-01	-1,02E+00	1,46E-02	1,07E-01	1,02E-

Figura 10: Exemplo da primeira folha da planilha.

Em seguida, a planilha faz a conversão para pressão, como ilustra a Figura 11.

Microsoft Excel - Teste2~2

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 14 N I S

A1 X ✓ = Calibração

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

Calibração

Cálculo dos Ganhos:

Pressão de Referência= 1,00E+01

K1	1,26E-04	K7	5,33E-04	K13	4,40E-04	K19	3,45E-05
K2	1,27E-04	K8	8,82E-05	K14	4,21E-04	K20	3,36E-05
K3	1,60E-04	K9	3,83E-05	K15	1,11E-04	K21	2,61E-04
K4	1,62E-04	K10	5,92E-05	K16	1,21E-04	K22	1,30E-04
K5	8,99E-05	K11	6,88E-04	K17	1,98E-04	K23	9,78E-05
K6	2,91E-03	K12	5,73E-04	K18	2,03E-04	K24	3,13E-04
K1=	4,40E-06	K7=	4,40E-07	K13=	8,40E-06	K19=	2,88E-07
K2=	4,02E-06	K8=	4,86E-07	K14=	3,95E-07	K20=	7,11E-06
K3=	4,02E-06	K9=	4,44E-07	K15=	3,95E-07	K21=	3,95E-07
K4=	3,97E-07	K10=	8,40E-06	K16=	4,00E-07	K22=	4,40E-07
K5=	9,24E-07	K11=	4,02E-07	K17=	3,95E-07	K23=	4,24E-07
K6=	4,40E-06	K12=	2,68E-07	K18=	4,62E-07	K24=	3,80E-07

Sinal	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6	Sensor 7	Sensor 8
1	0,34644762	0,31526087	0,24732609	0,00502961	0,10181	0,01046333	0,00534762	0,05383687
2	0,34295714	0,23246522	0,2452	0,00471502	0,10156	0,0081381	0,00511524	0,05345263
3	0,34295714	0,23140435	0,24413913	0,00471502	0,10205	0,00581286	0,00499995	0,05345263

Figura 12: Exemplo da folha de calibração.

Tendo as pressões já calibradas, é feito então um gráfico com as pressões em cada sensor, como ilustra a Figura 13.

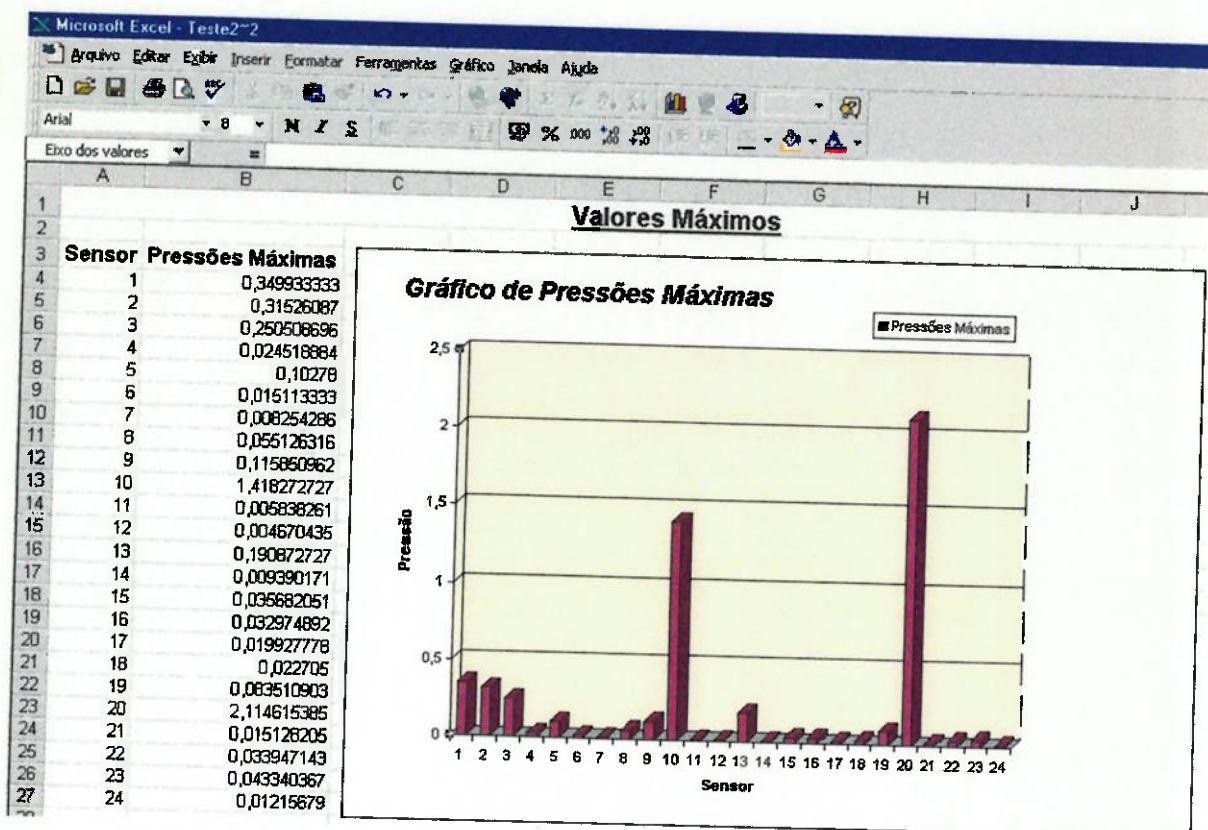


Figura 13: Exemplo de gráfico com valores máximos de cada sensor.

A planilha gera ainda os gráficos em função do tempo de cada sensor, como está ilustrado na Figura 14.

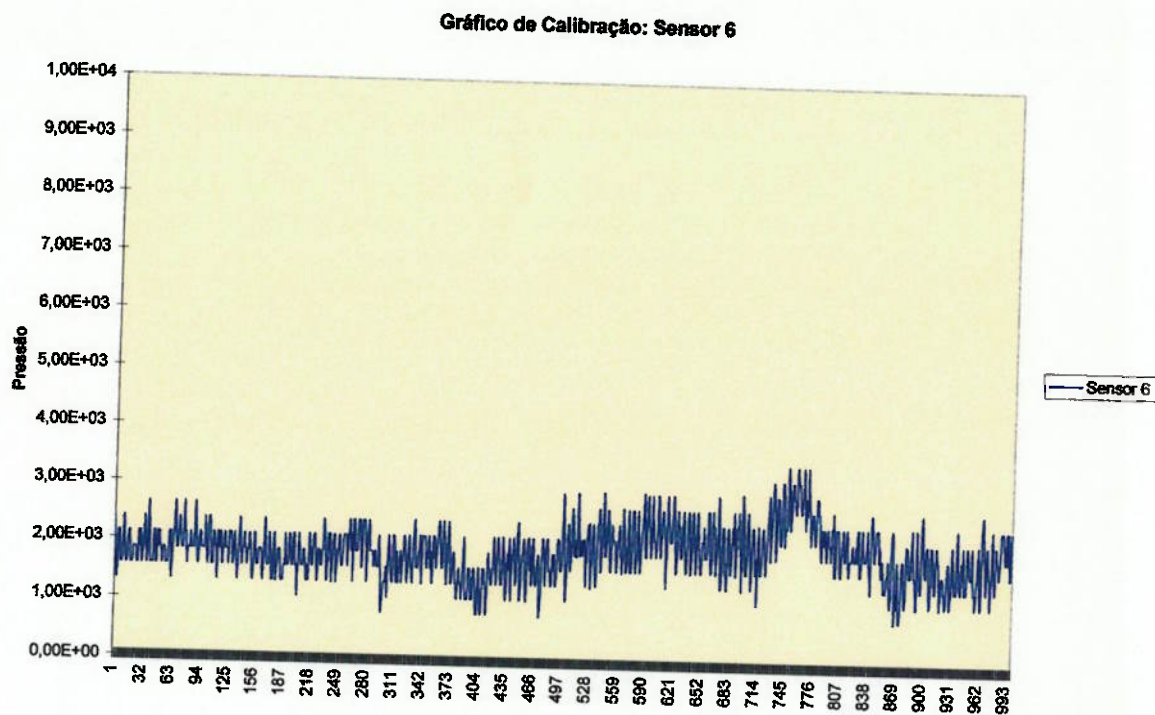


Figura 14: Exemplo de gráfico do sensor 6.

5 – Exemplo de Funcionamento

Neste tópico será apresentado um exemplo de funcionamento de sistema, para o caso de aplicação de tensão em apenas um sensor, no caso o sensor número 24. Inicialmente foi aplicada uma pressão constante, depois nula e por fim uma pressão superior a primeira. O gráfico resultante está representado na Figura 15.

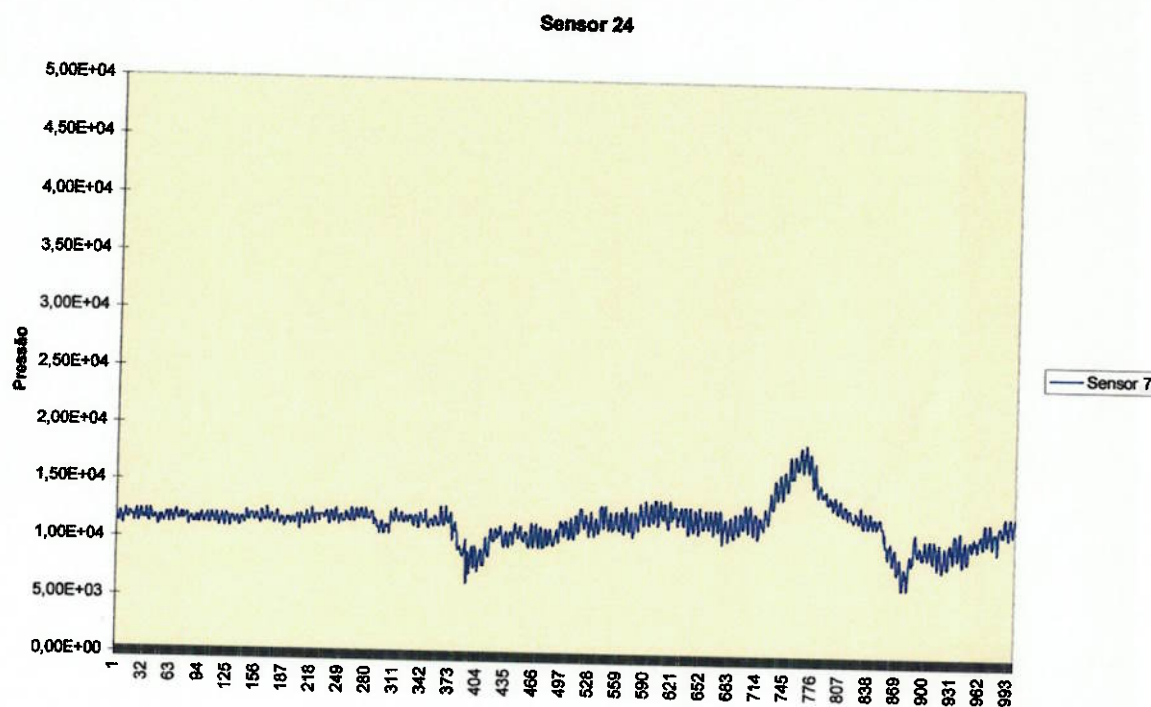


Figura 15: Sinal do sensor 24.

6 – Discussão

A partir da Figura 15, pode-se verificar que o sinal variava de acordo com a variação da solicitação do sensor 24. Deve ser salientado que os testes foram feitos apenas para verificação qualitativa, devendo-se desprezar na Figura 15 os valores da ordenada do gráfico.

Em relação aos problemas apresentados, tem-se que:

- a placa de drivers feita com amplificadores operacionais deveria ter uma impedância de entrada grande para poder reter o sinal, a fim de não perdê-lo. Só que esta impedância está tão grande que não está permitindo a dissipação do sinal, prejudicando as medições seguintes. Este problema pode ser contornado calculando-se mais cuidadosamente a impedância de entrada.
- Na região central do tecido deve estar apresentando algum problema de curto-circuito, pois o sinal de um sensor está influenciando no sinal de alguns outros.

Para a realização de testes, estes problemas puderam ser contornados. O primeiro, descarregando-se a placa de drivers antes de cada medição; o segundo, trabalhando-se com os sensores que não apresentavam este problema, como o caso do sensor 24, 23 e 22, além de outros.

7 – Conclusões

Os resultados obtidos neste projeto de formatura, embora apenas qualitativos e não quantitativos, podem ser considerados bem satisfatórios, já que pode-se verificar o comportamento de um material considerado como tecnologia de ponta, que é o caso do PVDF. Embora o objetivo final não possa ter sido alcançado plenamente, pode-se demonstrar o conceito, e verificar a viabilidade do uso do PVDF no projeto.

A experiência adquirida no desenvolvimento deste projeto foi enorme, já que trabalhou-se com um material relativamente novo e tecnologicamente moderno (PVDF), além de outros pouco conhecidos, como as fitas condutível e transferível.

Anexo 1 – Teoria de materiais Piezoelétricos

O material contido neste anexo é uma composição de partes de artigos extraídos da internet.

Parte extraída do artigo “PVDF and Array Transducers” do prof. Robert A. Day.

Transduction, conversion from one form of energy to another, is a complex process. Ultrasonic transducers for our purposes will be limited to piezoelectric and ferroelectric (giant electrostriction) types. The piezoelectric effect is well known to most of us and is based on the relationships:

$$\Delta t = d_{33} \cdot V_t, \text{ Eq. (1)}$$

Where :

- V_t is an applied voltage
- Δt is a resultant change in thickness
- d_{33} is the piezoelectric moduli appropriate for the crystal in question. (this is of course a simplification but I will ignore that in the interest of clarity).

$$V_t = g_{33} \cdot P, \text{ Eq. (2)}$$

$$V_t = h_{33} \cdot \Delta t_b, \text{ Eq. (3)}$$

Where :

- V_{τ} is the voltage produced
- P is the applied pressure amplitude
- dtb is the applied change in thickness
- g_{33} is the piezoelectric pressure constant, and
- h_{33} is the piezoelectric deformation constant.

Equation 1 tells us what happens when we apply a voltage, equation 2 when we apply a pressure, and equation 3 what happens when we change the thickness. It should be noted that these processes are not reversible, that is applying a voltage changes the thickness but the same change in thickness doesn't produce the same voltage.

Imagine we place two identical piezoelectric material between immovable plate, yes I know this is impossible. This is what physicists call a thought experiment. What we are really doing is making $dta=dtb$. The reason this is of interest is because the ratio of V_{τ}/V_t is a direct measure of how much displacement we would expect for a given voltage.

Solving the above for $dta=dtb$ we get

$$V_{\tau}/V_t = h_{33} \cdot d_{33} \text{ or}$$

$$k^2 = h_{33} \cdot d_{33}$$

Where k is often called the electromechanical coupling efficiency. Because much energy actually gets put into competing modes a correct factor usually called effective coupling efficiency is often used (k_e). For quartz this number is about 1%. Lithium niobate and lithium sulfate are several percent while some ceramic materials are much higher. Ceramics of course are ferroelectric.

What is a ferroelectric? Most dielectric material are electrostrictive. This means they shrink when a voltage is applied.

What's more the amount of shrinkage is proportional to the voltage squared. This means it doesn't matter what polarity of voltage is applied. If that was all there was to it then electrostrive materials wouldn't be of interest. The interest is generated because some materials have a giant electrostriction. This is usually called ferroelectric, analogous to ferromagnetism. These materials, PZT and lead metaniobate are the most common, can be tricked into being piezoelectric by polling.

Polling has nothing to do with the electoral process but has to do with imposing a very large voltage on the crystal while it is held at a high temperature, above the Curie temperature. The crystal is cooled and now has a large "preshrink" on it since the voltage has left a large dipole on the crystal. Under these conditions the ferroelectric now acts like a piezoelectric. Voltage opposite to the imposed dipole lets the crystal grow while voltage in the same sense makes it shrink. Many ferroelectrics are also piezoelectrics. Lithium niobate is one such, so that lithium niobate crystals are usually poled to increase the effective k . Lithium niobate is also not a ceramic so the terminology surrounding this field must be treated with caution.

Parte extraída do artigo "Interfacing Piezo Film to Electronics" fornecido pela empresa AMP

A properly designed interface circuit plays a key role in various piezo film applications. As the applications of piezo film spans from toys to military sensors, interfacing to electronics is application dependent. The unique form factor of piezo film allows the sensor designer flexibility in the size and shape of a sensing element. In many cases,

especially large area/ high-capacitance sensors, piezo film can be directly connected to electronic circuits without special interface considerations. However, for those cases where an interface circuit is required, the following 4 steps are recommended.

- First, consider frequency range requirement and signal amplitude over dynamic range.
- Second, choose a proper load resistance to assure the low end operating frequency and to minimize signal loss due to the loading effect.
- Third, select a buffer circuit if signal level is small. If a high load resistance (such as 22 M or higher value) is needed, a low leakage high impedance buffer amplifier is recommended. For a buffer, JFETs or CMOS operational amplifiers are commercially available.
- Then, conventional electronics can be used for signal processing.

These 4 steps are now explained in detail.

1. Equivalent Circuit of Piezo Film

The first step of an interface circuit design is to understand the piezo film characteristics as a part of an electrical circuit. Figure 1 shows a simplified equivalent circuit of piezo film. It consists of a series capacitance with a voltage source. The series capacitance represents piezo film capacitance which is proportional to the active electrode area and inversely proportional to the film thickness. As an example, the capacitance of a 28 thick DT-1 sensor element is 1.4 nF. The DT-1 is an AMP standard sensor component consisting of a 12x30 mm active area. The voltage source amplitude is equal to the open circuit voltage of piezo film and varies from micro volts to hundreds of volts, depending on the application. Note that the output voltage is inversely proportional to the piezo film capacitance. This simplified equivalent circuit is suitable

for most applications but is of limited value for very high frequency applications such as ultrasound transducers.

2. The Role of Load Resistance

The most critical part of an interface circuit is the load resistance. Figure 2 shows a load resistance which is connected to both sides of piezo film electrodes. The load resistance affects low frequency measurement capability

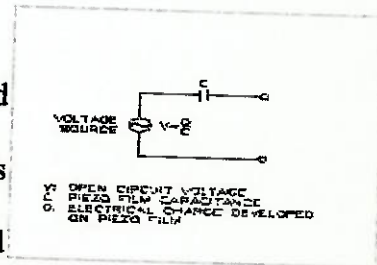


Figure 1

as well as the signal amplitude. These effects can be described in terms of time constant, loading effect, and frequency response.

Time Constant

A typical response of piezo film is shown in Figure 3. The piezo film output voltage decays with a time constant which is defined by R_c , where R and C are the load resistance and piezo film capacitance. The time constant is defined as the time required for a signal to decay to 37% of its original amplitude. A signal decays quicker with a smaller time constant. Because of its finite time constant, piezo film is suitable for a dynamic measurement rather than a true static measurement. In order to minimize the signal decay during measurements, a long time constant is needed. This means that a high load resistance is necessary for an accurate measurement especially when the capacitance of the piezo film is small. For low frequency applications, such as infrared motion sensors, the time constant becomes a critical design issue.

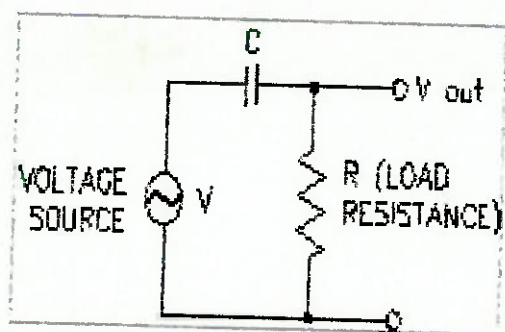


Figure 2

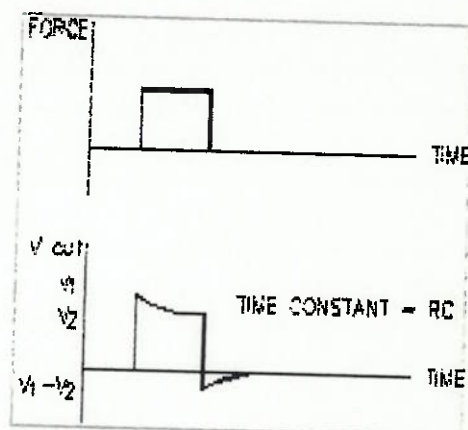


Figure 3

Frequency Response

The importance of the time constant also can be found from the frequency response of an equivalent circuit (see Figure 2). The equivalent circuit exhibits an RC high pass filter characteristic as shown in Figure 4. In the figure, the vertical axis indicates the ratio of signal output to the open circuit voltage of piezo film. Zero dB implies no loss of signal. The cut-off frequency (3 dB down) is inversely proportional to the time constant. When a piezo film sensor is operated below this cut-off frequency, the signal output is significantly reduced. For a low frequency measurement, therefore, a load resistance needs to be high enough so that the cut-off frequency is well below the operating frequency. This consequence can be verified from consideration of the time constant as well as the loading effect.

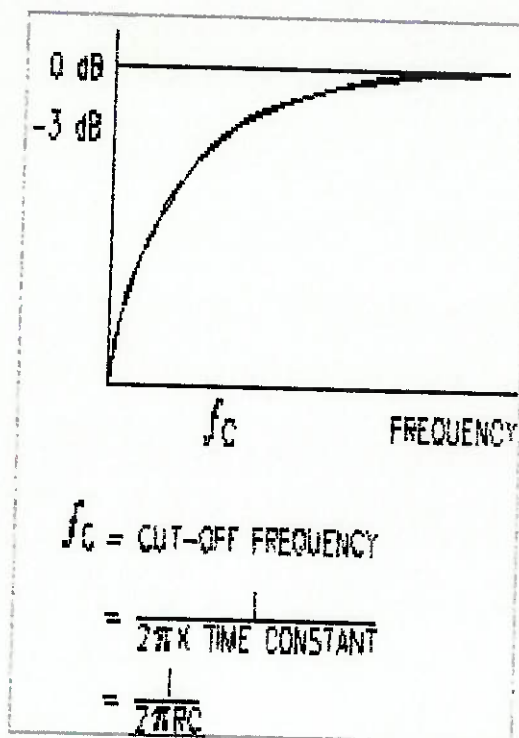


Figure 4

As an example, the frequency response of a VS/FET sensor is shown in Figure 5. The VS/FET is an AMP sensor component which contains a 10 M load resistor and an FET. The capacitance of the piezo film is 2.4 nF. With 10 M load resistance, the time constant becomes 24 msec and thus, the cut-off frequency is 6.6 Hz. For comparison, the cut-off frequency can be reduced to 0.66 Hz if a 100 M resistor is used instead of the 10 M resistor. This sensor component can be used for any application operating above this cut-off frequency.

Loading Effect

Piezo film capacitance can be converted into an equivalent source resistance as shown in Figure 6. It is important to note that this source resistance becomes higher for smaller film capacitance and lower frequency. This configuration works as a voltage divider. As the ratio of load resistance to the source resistance is decreased, the output voltage is reduced. This effect is called the "loading effect". In the

frequency response of the equivalent circuit (see Figure 4), the signal decay below the cut-off frequency is due to this loading effect. A proper load resistance is critical in order to minimize the loading effect.

In some applications, such as sports impact sensors, the sensitivity might be too high to assure the correct dynamic range. This is due to the mutual relationship between range

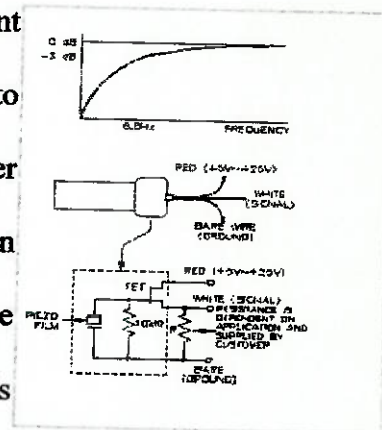


Figure 5

and sensitivity. In such a case, it is necessary to reduce the sensitivity without reducing the load resistance. Figure 7 shows two possible interface circuits to adjust the sensitivity.

3. Is a Buffer Circuit Needed?

In applications where the electronic circuit cannot be placed near the sensor, a buffer circuit is recommended close to the sensor. The buffer circuit converts the high impedance of piezo film element into a low impedance and thus minimizes the signal loss and noise through the cable. The AMP SDT1 with Preamp VS/FET sensor components are designed with this consideration. For large size (i.e. high capacitance) piezo film sensors, however, a buffer may not be needed with a small signal and a long cable.

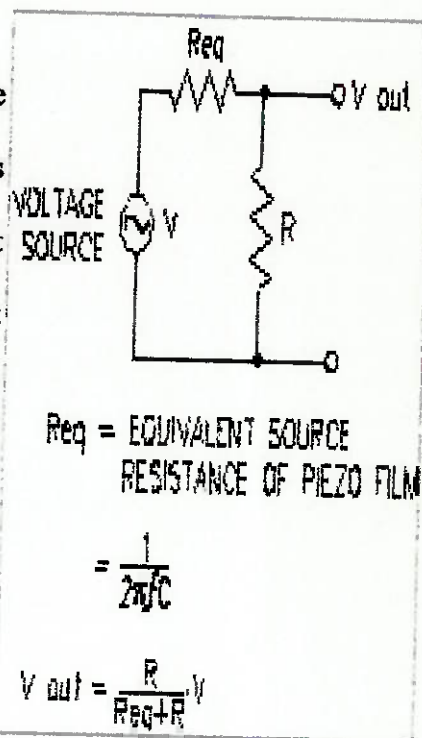


Figure 6

When a high load resistance is selected, a low-leakage, high impedance buffer is necessary. For example, infrared motion sensor and accelerometer applications require up to 50 G of load resistance to obtain a very low frequency response. For such cases, the input impedance of the buffer must be much higher than the load resistance in order to maintain the high load resistance. In addition, minimum leakage current of the buffer is critical in order to maximize the measurement accuracy. Some examples of low leakage buffer electronics include:

JFET - 4117 (Siliconix, Sprague)

Operational amplifiers -

LMC660, LF353 (National Semiconductor),

OP80 (PMI), 2201 (Texas Instruments)

Figure 8 shows unity gain buffer circuit examples for general applications.

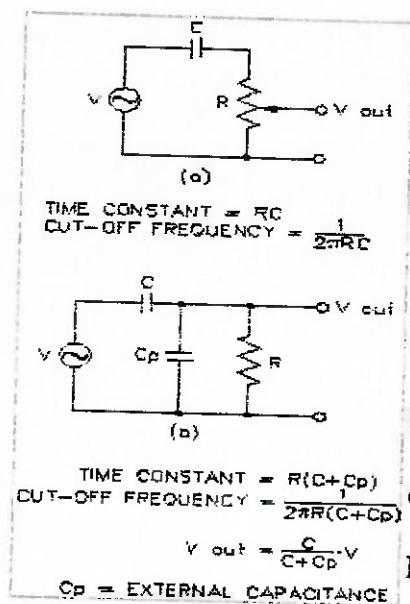


Figure 7

4. Charge Amplifier vs. Voltage Amplifier

Operational amplifiers offer a great deal of versatility as buffers, as well as amplifiers. These can be used as either charge mode amplifiers or voltage mode amplifiers.

Figure 9 shows basic charge amplifier and voltage

amplifier configurations. The output of the charge

amplifier is determined by Q/C . Q is the developed charge on piezo film and C is the feedback capacitance of the charge amplifier. The output voltage of the charge amplifier depends on the feedback capacitance, not the input capacitance. This indicates that the output voltage of a charge amplifier is independent of the cable capacitance. The major advantage of a charge amplifier, therefore, can be found when a long cable is used between a piezo film sensor and electronics. In addition, it also minimizes charge leakage through the stray capacitance around the sensor.

Otherwise, simple voltage amplifiers are sufficient for most applications. Included in Figure 9 is a typical non-inverting voltage amplifier.

On the other hand, the advantage of a voltage amplifier can be seen when ambient temperature is considered. The sensitivity of piezo film varies slightly with ambient temperature changes. Even though it depends on the sensor design, the voltage sensitivity (g-constant) variation over temperature is smaller than the charge sensitivity's (d-constant) variation. Consequently, voltage amplifiers with piezo film exhibit less temperature dependence.

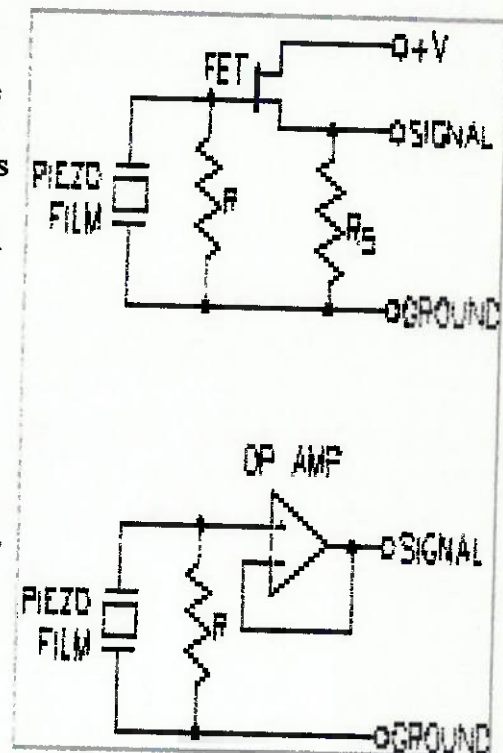


Figure 8

In Figure 9, the time constants for the charge amplifier and voltage amplifier are determined by RC and RC respectively.

Interface Circuit Example

As a design example, a traffic sensor interface is described. Because of its flexibility, piezo film is a perfect sensor for traffic measurement applications. One of the newly developed AMP traffic sensors is the OTR (Over The Road) traffic counter. The piezo film sensor is 113 inches long and is encapsulated with urethane rubber. This electrically shielded sensor has 100 feet of coax cable. The electrical specifications of this sensor include:

- Capacitance = 22.2 Nf (including piezo film and cable)
- Output = min 2 V (open circuit voltage for passenger cars)
- Noise level = max 50 mV

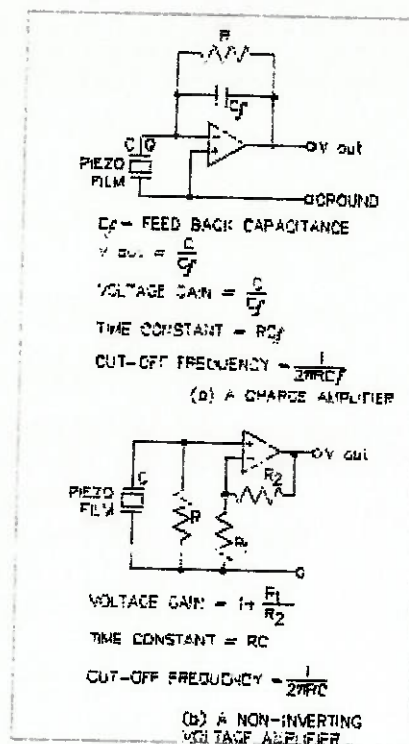


Figure 9

The basic requirements of an interface circuit are:

- Low end frequency = 1 Hz
- Circuit output = Digital pulse count

An interface circuit to meet these requirements is shown in Figure 10. This circuit works as a comparator and the output is digital pulses. A 10 M load resistance is chosen in order to reduce the cut-off frequency to below

1 Hz. The actual cut-off frequency with this resistor can be calculated as 0.7 Hz. A 10 K potentiometer is used to adjust the threshold voltage, V. The diode is included to protect the electronics from high voltage damage. Typical

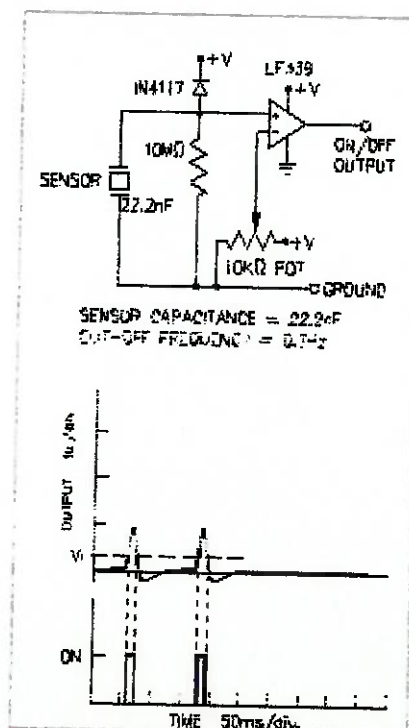


Figure 10

piezo film and interface circuit outputs for a passenger car are shown in figure 10.

Anexo 2 – Propriedades típicas do PVDF.

Segue abaixo tabela fornecida pela empresa AMP relativo às propriedades do filme piezoelétrico (PVDF) fornecido pela empresa :

Symbol	Parameter	PVDF	Units
T	Thickness	9, 28, 52, 110	(micron, 10^{-6})
d ₃₁	Piezo Strain Constant	23	$10^{-12} \frac{\text{m/m}}{\text{V/m}}$ or $\frac{\text{C/m}^2}{\text{N/m}^2}$
d ₃₃		-33	
g ₃₁	Piezo StressConstant	216	$10^{-3} \frac{\text{V/m}}{\text{N/m}^2}$ or $\frac{\text{m/m}}{\text{C/m}^2}$
g ₃₃		-330	
k ₃₁	Electromechanical Coupling Factor	12%	
k _t		14%	
C	Capacitance	380 for 28 μm	pF/cm ² @ 1kHz
Y	Young's Modulus	2-4	10^9 N/m^2
V ₀	Speed of Sound	stretch: 1.5	10^3 m/s
		thickness: 2.2	
p	Pyroelectric Coefficient	30	$10^{-6} \text{ C/m}^2 \text{ K}$
ϵ	Permittivity	106-113	10^{-12} F/m
ϵ/ϵ_0	Relative Permittivity	12-13	
ρ_m	Mass Density	1.78	10^3 kg/m
ρ_e	Volume Resistivity	$>10^{13}$	Ohm meters
R	Surface Metalization	2.0	Ohms/square for CuNi
R	Resistivity	0.1	Ohms/square for Ag Ink
Tan δ_e	Loss Tangent	0.02	@ 1kHz
	Yield Strength	45-55	10^6 N/m^2 (stretch axis)
	Temperature Range	-40 to 80	°C
	Water Absorption	<0.02	% H ₂ O
	Maximum Operating Voltage	750 (30)	V/mil (V/ μm), DC, @25 °C
	Breakdown Voltage	2000 (80)	V/mil (V/ μm), DC, @25 °C
®Kynar is a registered trademark of Elf Atochem North America, Inc.			

Anexo 3 – Datasheet dos multiplexadores analógicos

Analog Multiplexers/Demultiplexers

The MC14067 and MC14097 multiplexers/demultiplexers are digitally controlled analog switches featuring low ON resistance and very low leakage current. These devices can be used in either digital or analog applications.

The MC14067 is a 16-channel multiplexer/demultiplexer with an inhibit and four binary control inputs A, B, C, and D. These control inputs select 1-of-16 channels by turning ON the appropriate analog switch (see MC14067 truth table).

The MC14097 is a differential 8-channel multiplexer/demultiplexer with an inhibit and three binary control inputs A, B, and C. These control inputs select 1 of 8 pairs of channels by turning ON the appropriate analog switches (see MC14097 truth table).

- Low OFF Leakage Current
- Matched Channel Resistance
- Low Quiescent Power Consumption
- Low Crosstalk Between Channels
- Wide Operating Voltage Range: 3 to 18 V
- Low Noise
- Pin for Pin Replacement for CD4067B and CD4097B

MC14067B MC14097B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 623



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 709



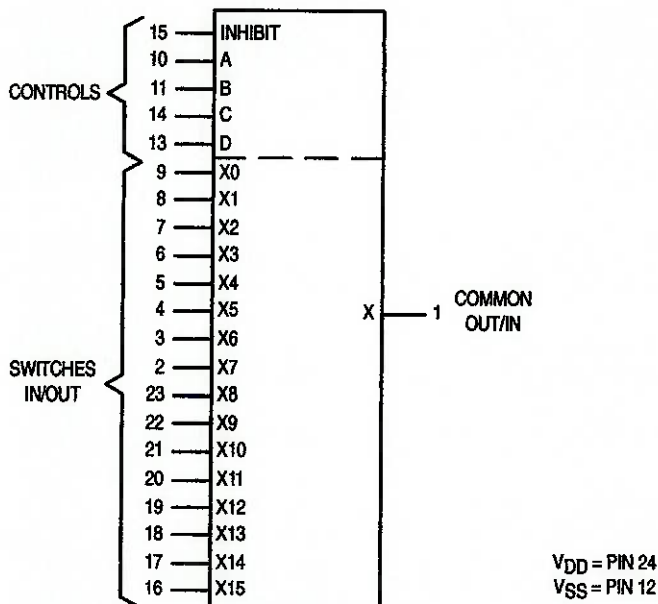
DW SUFFIX
SOIC
CASE 751E

ORDERING INFORMATION

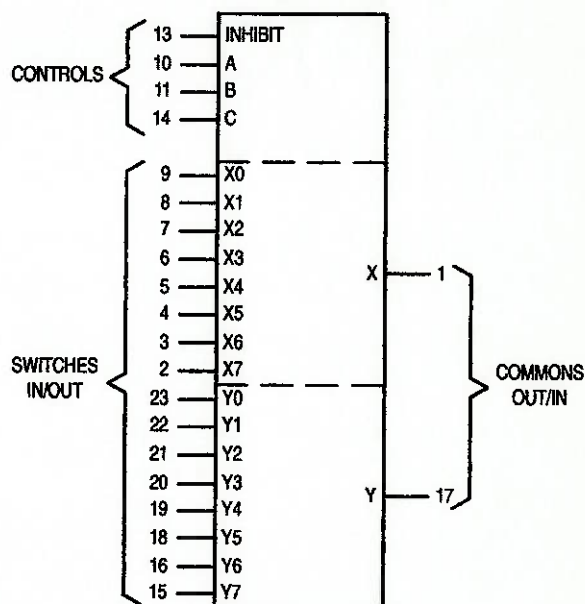
MC14XXXBCP	Plastic
MC14XXXBCL	Ceramic
MC14XXXBDW	SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.

MC14067B
16-Channel Analog
Multiplexer/Demultiplexer



MC14097B
Dual 8-Channel Analog
Multiplexer/Demultiplexer



MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	- 0.5 to + 18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	- 0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_{in}	Input Current (DC or Transient), per Control Pin	± 10	mA
I_{sw}	Switch Through Current	± 25	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

† Temperature Derating:

Plastic "P and D/DW" Packages: - 7.0 mW/°C From 65°C To 125°C

Ceramic "L" Packages: - 12 mW/°C From 100°C To 125°C

MC14067 TRUTH TABLE

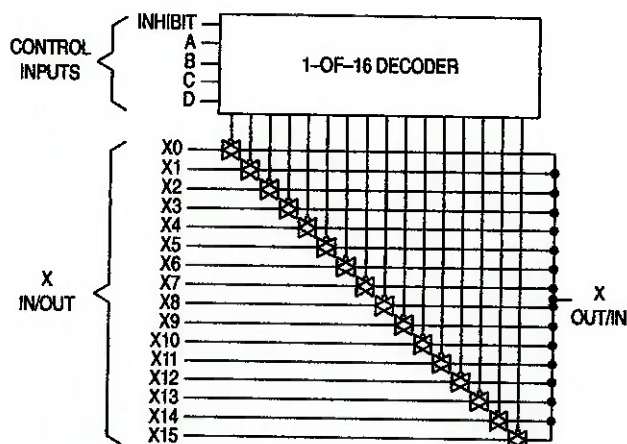
Control Inputs					Selected Channel
A	B	C	D	inh	
X	X	X	X	1	None
0	0	0	0	0	X0
1	0	0	0	0	X1
0	1	0	0	0	X2
1	1	0	0	0	X3
0	0	1	0	0	X4
1	0	1	0	0	X5
0	1	1	0	0	X6
1	1	1	0	0	X7
0	0	0	1	0	X8
1	0	0	1	0	X9
0	1	0	1	0	X10
1	1	0	1	0	X11
0	0	1	1	0	X12
1	0	1	1	0	X13
0	1	1	1	0	X14
1	1	1	1	0	X15

MC14097 TRUTH TABLE

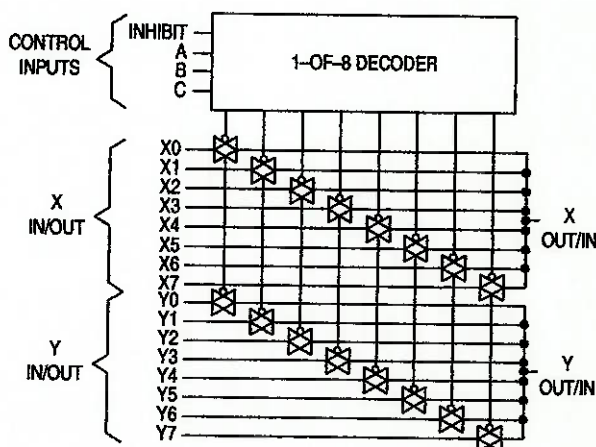
Control Inputs				Selected Channels	
A	B	C	inh		
X	X	X	1	None	
0	0	0	0	X0	Y0
1	0	0	0	X1	Y1
0	1	0	0	X2	Y2
1	1	0	0	X3	Y3
0	0	1	0	X4	Y4
1	0	1	0	X5	Y5
0	1	1	0	X6	Y6
1	1	1	0	X7	Y7

X = Don't Care

MC14067 FUNCTIONAL DIAGRAM



MC14097 FUNCTIONAL DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	V _{DD}	Test Conditions	-55°C		25°C			125°C		Unit
				Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	

SUPPLY REQUIREMENTS (Voltages Referenced to V_{SS})

Power Supply Voltage Range	V _{DD}	—		3.0	18	3.0	—	18	3.0	18	V
Quiescent Current Per Package	I _{DD}	5.0 10 15	Control Inputs: V _{in} = V _{SS} or V _{DD} , Switch I/O: V _{SS} ≤ V _{I/O} ≤ V _{DD} , and ΔV _{switch} ≤ 500 mV**	— — —	5.0 10 20	— — —	0.005 0.010 0.015	5.0 10 20	— — —	150 300 600	μA
Total Supply Current (Dynamic Plus Quiescent, Per Package)	I _{D(AV)}	5.0 10 15	T _A = 25°C only (The channel component, (V _{in} - V _{out})/R _{on} , is not included.)	Typical (0.07 μA/kHz) f + I _{DD} (0.20 μA/kHz) f + I _{DD} (0.36 μA/kHz) f + I _{DD}							μA

CONTROL INPUTS — INHIBIT, A, B, C, D (Voltages Referenced to V_{SS})

Low-Level Input Voltage	V _{IL}	5.0 10 15	R _{on} = per spec, I _{off} = per spec	— — —	1.5 3.0 4.0	— — —	2.25 4.50 6.75	1.5 3.0 4.0	— — —	1.5 3.0 4.0	V
High-Level Input Voltage	V _{IH}	5.0 10 15	R _{on} = per spec, I _{off} = per spec	3.5 7.0 11	— — —	3.5 7.0 11	2.75 5.50 8.25	— — —	3.5 7.0 11	— — —	V
Input Leakage Current	I _{in}	15	V _{in} = 0 or V _{DD}	—	± 0.1	—	± 0.00001	± 0.1	—	1.0	μA
Input Capacitance	C _{in}	—		—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF

SWITCHES IN/OUT AND COMMONS OUT/IN — X, Y (Voltages Referenced to V_{SS})

Recommended Peak-to-Peak Voltage Into or Out of the Switch	V _{I/O}	—	Channel On or Off	0	V _{DD}	0	—	V _{DD}	0	V _{DD}	V _{p-p}
Recommended Static or Dynamic Voltage Across the Switch** (Figure 1)	ΔV _{switch}	—	Channel On	0	600	0	—	600	0	300	mV
Output Offset Voltage	V _{OO}	—	V _{in} = 0 V, No Load	—	—	—	10	—	—	—	μV
ON Resistance	R _{on}	5.0 10 15	ΔV _{switch} ≤ 500 mV**, V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control), and V _{in} 0 to V _{DD} (Switch)	— — —	800 400 220	— — —	250 120 80	1050 500 280	— — —	1300 550 320	Ω
ΔON Resistance Between Any Two Channels in the Same Package	ΔR _{on}	5.0 10 15		— — —	70 50 45	— — —	25 10 10	70 50 45	— — —	135 95 65	Ω
Off-Channel Leakage Current (Figure 2)	I _{off}	15	V _{in} = V _{IL} or V _{IH} (Control) Channel to Channel or Any One Channel	—	± 100	—	± 0.05	± 100	—	± 1000	nA
Capacitance, Switch I/O	C _{I/O}	—	Inhibit = V _{DD}	—	—	—	10	—	—	—	pF
Capacitance, Common O/I	C _{O/I}	—	Inhibit = V _{DD} (MC14067B) (MC14097B)	— — —	— — —	— — —	100 60	— — —	— — —	— — —	pF
Capacitance, Feedthrough (Channel Off)	C _{I/O}	—	Pins Not Adjacent Pins Adjacent	— —	— —	— —	0.47	— —	— —	— —	pF

Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes, but is intended as an indication of the IC's potential performance.

**For voltage drops across the switch (ΔV_{switch}) > 600 mV (> 300 mV at high temperature), excessive V_{DD} current may be drawn; i.e. the current out of the switch may contain both V_{DD} and switch input components. The reliability of the device will be unaffected unless the Maximum Ratings are exceeded. (See first page of this data sheet.)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($C_L = 50 \text{ pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Symbol	$V_{DD} - V_{SS}$ Vdc	Typ #	Max	Unit
Propagation Delay Times Channel Input-to-Channel Output ($R_L = 200 \text{ k}\Omega$) MC14067B MC14097B Control Input-to-Channel Output Channel Turn-On Time ($R_L = 10 \text{ k}\Omega$) MC14067B/097B Channel Turn-Off Time ($R_L = 300 \text{ k}\Omega$) MC14067B/097B Any Pair of Address Inputs to Output MC14067B MC14097B	t_{PLH}, t_{PHL} (Figure 3)	5.0	35	90	ns
		10	15	40	
		15	12	30	
		5.0	25	65	ns
		10	10	25	
		15	7	18	
	t_{PZH}, t_{PZL} (Figure 4)	5.0	240	600	ns
		10	115	290	
		15	75	190	
	t_{PHZ}, t_{PLZ} (Figure 4)	5.0	250	625	ns
		10	120	300	
		15	75	190	
	t_{PLH}, t_{PHL} (Figure 10)	5.0	280	700	ns
		10	115	290	
		15	85	215	
		5.0	250	625	ns
		10	100	250	
		15	75	190	
Second Harmonic Distortion ($R_L = 10 \text{ k}\Omega$, $f = 1 \text{ kHz}$, $V_{in} = 5 V_{p-p}$)	—	10	0.3	—	%
ON Channel Bandwidth ($R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{SS})$ p-p (sine-wave)) $20 \text{ Log}_{10} (V_{out}/V_{in}) = -3 \text{ dB}$ MC14067B MC14097B	BW (Figure 5)	10	15	—	MHz
		10	25	—	
Off Channel Feedthrough Attenuation ($R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{SS})$ p-p (sine-wave)) $f_{in} = 20 \text{ MHz}$ — MC14067B $f_{in} = 12 \text{ MHz}$ — MC14097B	— (Figure 5)	10	-40	—	dB
Channel Separation ($R_L = 1 \text{ k}\Omega$, $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{SS})$ p-p (sine-wave)) $f_{in} = 20 \text{ MHz}$	— (Figure 6)	10	-40	—	dB
Crosstalk, Control Inputs-to-Common O/I ($R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$, Control $t_r = t_f = 20 \text{ ns}$, Inhibit = V_{SS})	— (Figure 7)	10	30	—	mV

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

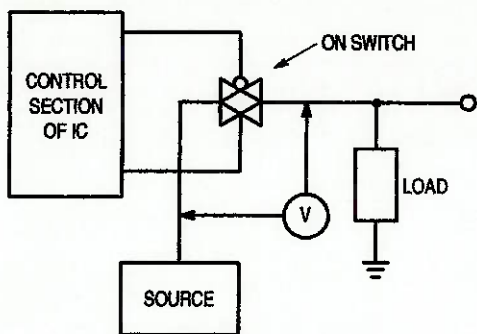


Figure 1. ΔV Across Switch

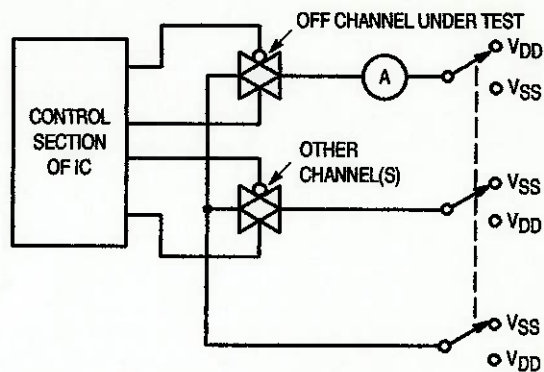


Figure 2. Off Channel Leakage

MC14067B
PIN ASSIGNMENT

X	1	24	VDD
X7	2	23	X8
X6	3	22	X9
X5	4	21	X10
X4	5	20	X11
X3	6	19	X12
X2	7	18	X13
X1	8	17	X14
X0	9	16	X15
A	10	15	INHIBIT
B	11	14	C
VSS	12	13	D

MC14097B
PIN ASSIGNMENT

X	1	24	VDD
X7	2	23	Y0
X6	3	22	Y1
X5	4	21	Y2
X4	5	20	Y3
X3	6	19	Y4
X2	7	18	Y5
X1	8	17	Y
X0	9	16	Y6
A	10	15	Y7
B	11	14	C
VSS	12	13	INHIBIT

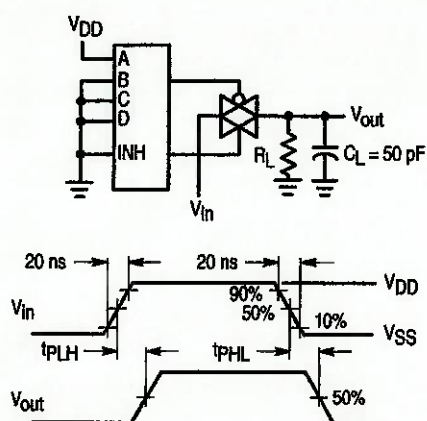


Figure 3. Propagation Delay Test Circuit and Waveforms V_{in} to V_{out}

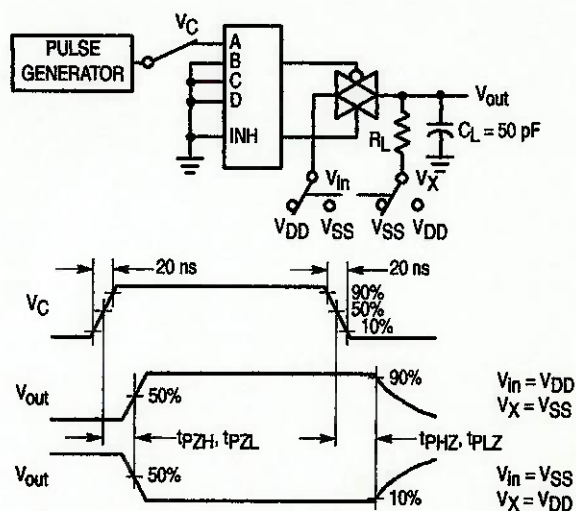


Figure 4. Turn-On and Delay Turn-Off Test Circuit and Waveforms

A, B, and C inputs used to turn ON or OFF the switch under test.

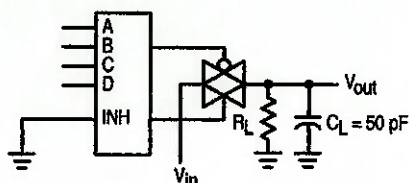


Figure 5. Bandwidth and Off-Channel Feedthrough Attenuation

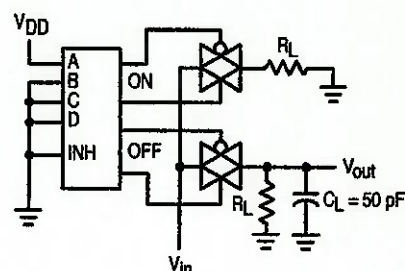


Figure 6. Channel Separation (Adjacent Channels Used for Setup)

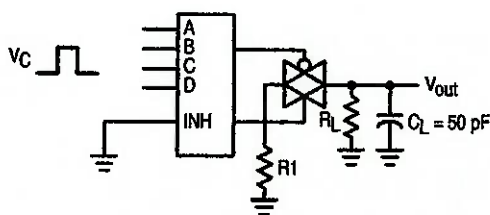


Figure 7. Crosstalk, Control to Common O/I

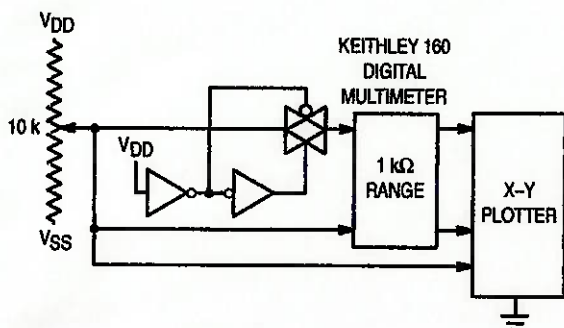


Figure 8. Channel Resistance (R_{ON}) Test Circuit

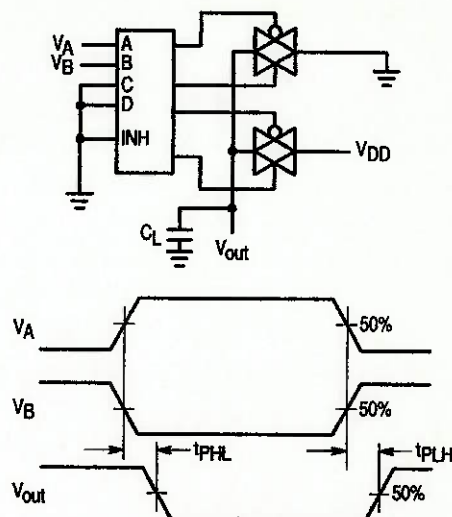


Figure 9. Propagation Delay, Any Pair of Address Inputs to Output

TYPICAL RESISTANCE CHARACTERISTICS

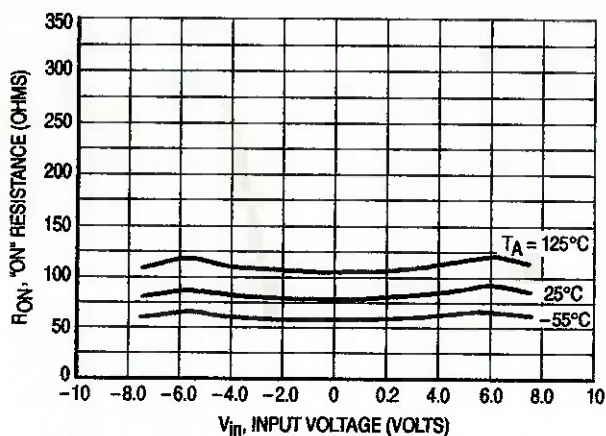


Figure 10. $V_{DD} = 7.5 \text{ V}$, $V_{SS} = -7.5 \text{ V}$

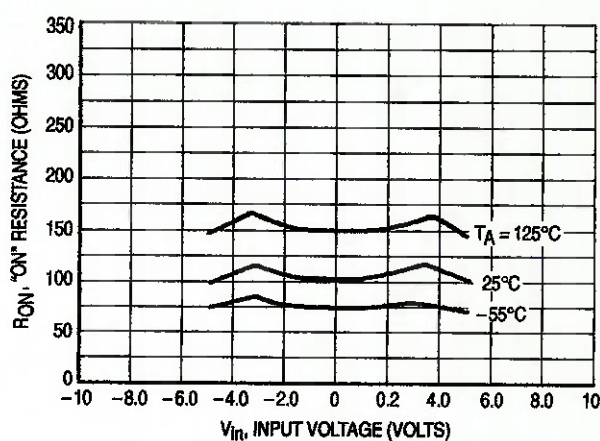


Figure 11. $V_{DD} = 5.0 \text{ V}$, $V_{SS} = -5.0 \text{ V}$

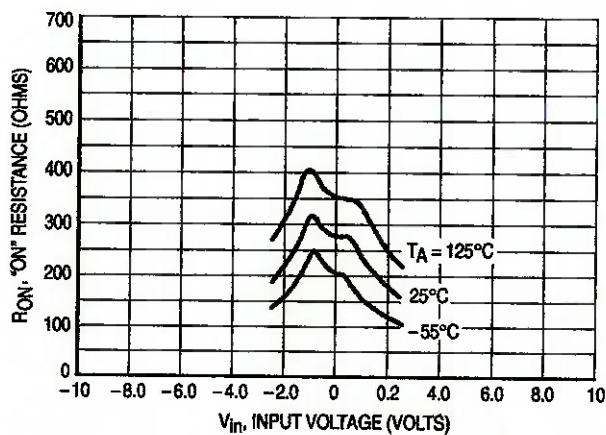


Figure 12. $V_{DD} = 2.5 \text{ V}$, $V_{SS} = -2.5 \text{ V}$

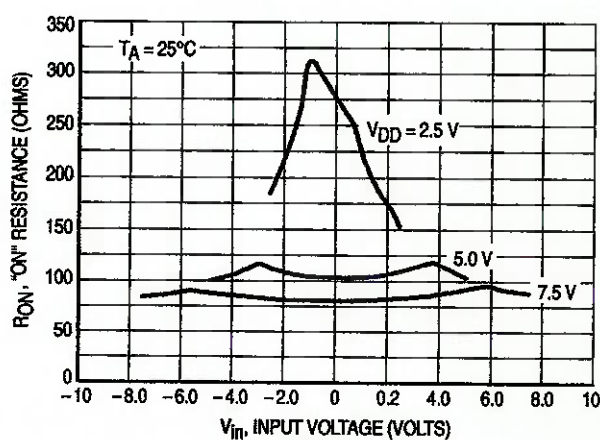


Figure 13. Comparison at 25°C , $V_{DD} = -V_{SS}$

APPLICATIONS INFORMATION

Figure A illustrates use of the Analog Multiplexer/Demultiplexer. The 0-to-5 volt Digital Control signal is used to directly control a 5 V_{p-p} analog signal.

The digital control logic levels are determined by V_{DD} and V_{SS}. The V_{DD} voltage is the logic high voltage; the V_{SS} voltage is logic low. For the example, V_{DD} = +5 V = logic high at the control inputs; V_{SS} = GND = 0 V = logic low.

The maximum analog signal level is determined by V_{DD} and V_{SS}. The analog voltage must swing neither higher than V_{DD} nor lower than V_{SS}. The example shows a 5 V_{p-p} signal

which allows no margin at either peak. If voltage transients above V_{DD} and/or below V_{SS} are anticipated on the analog channels, external diodes (D_x) are recommended as shown in Figure B. These diodes should be small signal types able to absorb the maximum anticipated current surges during clipping.

The absolute maximum potential difference between V_{DD} and V_{SS} is 18.0 volts. Most parameters are specified up to 15 V which is the recommended maximum difference between V_{DD} and V_{SS}.

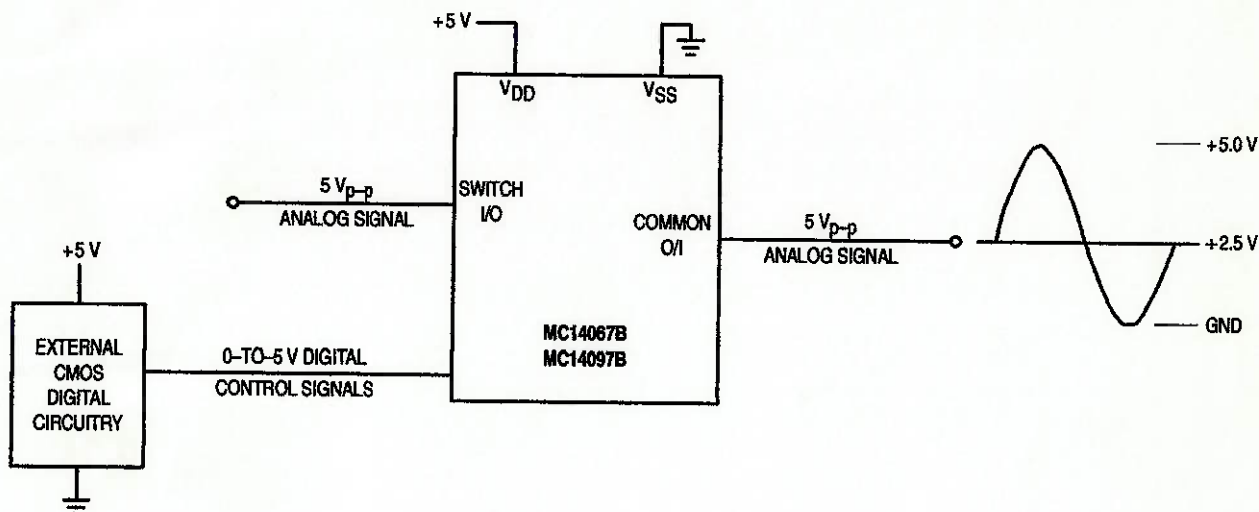


Figure A. Application Example

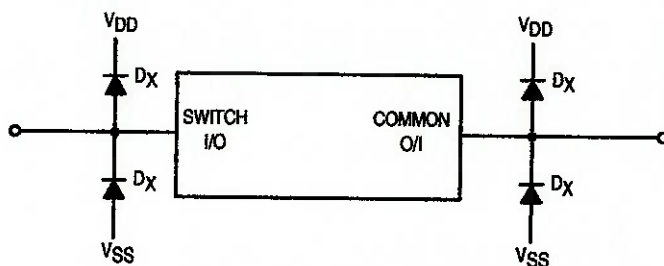


Figure B. External Germanium or Schottky Clipping Diodes

nexo 4 – Listagem do Software de Aquisição

```
program interf
parameter (NMAX=20000)
integer i,nba,nch,ncanal
integer high,low,namostra
dimension leitura(NMAX)

c    A/D initialization
call set_io_permission(.true.)
call out@(520,0) ! clear interrupt flag
call out@(521,0) ! gain 1
call out@(522,0) ! channel 0
nch=0
call out@(523,20) ! no int, pacer, software transfer
c    pacer initialization
call out@(515,116) ! counter 1 mode 2 74H=116
call out@(513,20) ! c1=10 low byte
call out@(513,0) ! c1 hi byte
call out@(515,180) ! counter 2 mode 2 B4H=180
```