

UNICEP – Centro Universitário Paulista



Experimental Airspeed Indicator

VELOCÍMETRO PARA AERONAVES ELETRÔNICO

**Participantes :
Ivens Alberto Meyer
Igor Rubbo
Lucas Gentil
Pedro Zanoni**

São Carlos, 20 de Junho de 2010

VAE

VELOCÍMETRO PARA AERONAVES ELETRÔNICO

**Dissertação submetida ao Professor José Antonio, Titular da Matéria
Projetos de Aeronaves da UNICEP, Centro Universitário Paulista, a título de
conclusão de trabalho técnico do 1º. Semestre do Curso de Tecnólogo em
Manutenção de Aeronaves.**

Submetido por

**Ivens Alberto Meyer
Igor Rubbo
Lucas Gentil
Pedro Zanoni**

Sob orientação do

Professor José Antonio

São Carlos, 20 de Junho de 2010.

Agradecimentos.

Em primeiro lugar agradecemos a ajuda prestada na forma de uma constante orientação e entusiasmo do Professor José Antonio, que sem os seus conselhos e sua paciência com o nosso Grupo, este projeto não teria sido possível.

Também estendemos os nossos agradecimentos aos Colegas de Classe que através de uma simpatia única souberam dividir seus erros e acertos, frutos de diferentes experiências e que por vezes com dificuldades comuns a todos, facilitando a conclusão de raciocínios mais complexos, um afago particular ao nosso colega Ilson que sempre esteve ao alcance para com a luz de seu conhecimento iluminar o escuro Universo de nossas dúvidas.

Não há como deixar de estender a nossa gratidão à Cidade de São Carlos que proveu a infra-estrutura comercial para a obtenção dos materiais necessários a esta jornada, e sobremaneira à nossa faculdade, UNICEP, por nos permitirem passar um Semestre inesquecível podendo ter acesso ao conhecimento que nos levaria a lograr êxito nesta empreitada .

Ao Aeroclube de Araraquara penhoramos nossa gratidão pela fé em nossa capacidade, cedendo sua aeronave e tripulação para que pudéssemos realizar a etapa de testes sem qualquer custo adicional.

Agradecemos por fim, e por que não a inicio a nossos Familiares que dividem os esforços para com a nossa luta buscar a realização maior de concluir com louvor o Ensino Superior.

A todos lembrados, e aqueles que por descuido porém não sem menor valor deixaram de ser citados, nosso muito obrigado de coração.

Resumo

Este projeto se enquadra no extenso Universo dos instrumentos digitais microprocessados com emprego da eletrônica digital resolvendo problemas antes abordados apenas pela solução pneumática mecânica.

Pretende-se, por um lado, proporcionar uma visão geral sobre instrumentos desta natureza, definidos neste trabalho como instrumentos pneumáticos mecânicos convencionais e adotados pela área da aviação ao longo dos últimos 50 anos e, por outro, definir a sua estrutura.

Desenvolveremos as partes principais da estrutura e apresentaremos exemplos de Instrumentos pneumáticos mecânicos convencionais.

Uma vez exposta uma visão geral sobre os instrumentos, descreveremos o nosso Projeto VAE, que foi projetado e construído numa parceria entre o Aeroclube de Araraquara e a UNICEP Centro Universitário Paulista, como objetivo de comprovar a viabilidade de realização de esforços conjuntos entre as Instituições de Ensino e os possíveis Utilizadores de Campo.

Sobre o VAE, explicaremos as suas partes principais e também o abordaremos do ponto de vista físico.

Depois são abordadas as comunicações entre o computador e o micro-controlador, que fazem uso de um canal serial de comunicação, seguindo um protocolo estabelecido pelo seu Fabricante.

Por fim, apresentaremos as equações Físicas, bem como a sua implementação em linguagem de Programação C.

Índice

Capa.....	01
Apresentação do Grupo.....	02
Agradecimentos.....	03
Resumo.....	04
Índice.....	05
Índice de Figuras.....	07
Lista de Abreviaturas.....	08
Glossário.....	09
Capítulo 1.....	11
1.1 Introdução.....	12
1.2 Motivações.....	12
1.3 Enquadramento e Objetivos do Projeto.....	13
1.4 Tarefas realizadas.....	13
1.5 Estrutura da Dissertação.....	14
Capítulo 2.....	16
2.1 Introdução.[3].....	17
2.2 Estrutura Geral do VAE	18
2.3 Exemplos de instrumentos.....	21
2.3.1 Velocímetro de Automóveis	21
2.3.2 Velocímetro de Motores	22
2.3.3 Velocímetros de Aeronaves	23
Capítulo 3.....	24
3.1 Estrutura do VAE	25
3.1.1 Constituintes do sistema.....	26
3.1.2 Partes principais.....	27
3.2 Descrição física do VAE.....	33
3.3 Desenho no Proteus.....	36
3.4 Ligações do VAE	37
Capítulo 4.....	41
4.1-Programa em linguagem “C”.....	42
4.2 Programador do micro controlador.....	44
4.3	45
Capítulo 5.....	47
5.1 Teoria de Medição	48
5.2 Função de Medição	49
5.3 Erros de Medição	50
Capítulo 6.....	51
6.1 Conclusão.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	54
ANEXOS.....	56
Anexo A: Desenho do VAE no Proteus	56
Anexo B: Código de VAE	57
Documentário Fotográfico.....	62

Índice de Figuras

Nr	Descriminação	Pág
001	Regulador de Tensão LM 7805	34
001A	Características Elétricas – Regulador Tensão 7805	36
001B	Características Mecânicas – Regulador Tensão 7805	36
001C	Typical Aplicattions – Regulador Tensão 7805	37
002	Display 07 Segmentos	38
003	Fonte de Alimentação	38
004	CD 4511B – Decoder BCD to 7 Segments	39
004A	CD 4511B - Logic Diagram / Test Circuits	40
004B	CD 4511B - Applications	41
005	PIC 16F87X – 28/40-PIN 8-Bit CMOS Flash Microcontrollers	42
006	PIC 16F873 – Pin Diagram	43
007	PIC 16F873 – Key Features	43
007A0	PIC 16F873 - Block Diagram of RA3:RA0 and RA5 PINS	44
005A1	PIC 16F873 - Block Diagram of RA4/T0CK1 PIN	44
005A2	PIC 16F873 – PORT A Functions	44
005A3	PIC 16F873 – Summary of Registers Associated with PORT A	44
007B0	PIC 16f873 – Block Diagram of RB3:RB0 Pin	45
007B1	PIC 16f873 – Block Diagram of RB7:RB4 Pin	45
007B2	PIC 16f873 – Port B Functions	45
007B3	PIC 16f873 – Summary of Registers Associated with PORT B	45
007C0	PIC 16f873 – Port C Block Diagram RC<2:0> RC <7:5>	46
007C1	PIC 16f873 – Port C Block Diagram RC<4:3>	46
007C2	PIC 16f873 – Port C Functions	46
007C3	PIC 16f873 – Summary of Registers Associated with PORT C	46
007D0	PIC 16f873 – Port D Block Diagram	47
007D1	PIC 16f873 – Port D Functions	47
007D2	PIC 16f873 – Summary of Registers Associated with PORT D	47
007E0	PIC 16f873 – Port E Block Diagram	48
007E1	PIC 16f873 – Port E Functions	48
007E2	PIC 16f873 – Summary of Registers Associated with PORT E	48
008	PIC 16F873 - Logic Diagram	49
009	PIC 16F873 – Pin Name Functions	50
010	PIC 16F873 – Program Memory Map	51
011	PIC 16F873 – Register File Map	52
012	PIC 16F873 - A/D Block Diagram	53
012A	PIC 16F873 – Analog Input Model	53
012B	PIC 16F873 – A/D Result justification	54
012C	PIC 16F873 – Register/Bits associated with A/D	54
013	PIC 16F873 – Crystal/Ceramic Resonator Operation	55

Índice de Figuras

[illegible]

Lista de Abreviaturas

[illegible]

Glossário

BUS – Termo Inglês que designa o meio físico através do qual se comunicam dois sistemas informatizados; conjunto de condutores que permite a troca de sinais eléctricos entre dois ou mais dispositivos eletrônicos.

CAN (Controller Area Network) – Protocolo de Comunicação, desenvolvido por Robert Bosch, que permite a troca de informação entre vários dispositivos. A especificação CAN prevê identificadores de mensagens que facilitam o controle do fluxo de dados. Como características principais, podemos citar um controle de alto nível na detecção/correção de erros, grande flexibilidade na topologia e arranjo da rede e baixa latência na comunicação.

CPU (Central Processor Unit ou Unidade Central de Processamento) - Parte de um sistema computadorizado que interpreta e executa as instruções contidas em software. Na maioria das CPU's, essa tarefa é dividida entre uma unidade de controle que dirige o fluxo do programa e uma ou mais unidades de execução que executam operações em dados.

DAC (Digital to Analog Converter) – Conversor de sinais digitais em sinais analógicos.

IC (Integrated Circuit) – Termo inglês que em português se designa por Circuito Integrado.

É um dispositivo de dimensões micrométricas (10^{-6}) que integra em seu interior de silício, diferentes componentes elétricos e eletrônicos, a exemplo de resistores, capacitores, diodos, transístores e outros componentes especificamente interligados capazes de desempenhar várias funções.

Apresenta dimensões extremamente reduzidas, sendo os componentes formados em pastilhas de material semicondutor.

PIC (Programmer Integrated Circuit) - Os PIC são uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip® Technology, que processam dados de 8 bits (recentemente foi lançada uma família de 16 bits com prefixo 24F), com extensa variedade de modelos e periféricos internos.

Estes dispositivos eletrônicos tem capacidades semelhantes às de um microprocessador, contendo dispositivos periféricos (ADC's, PWM, ...) já integrados, controlados por um microprocessador interno.

Tranducer (Transdutor) – É um dispositivo capaz de receber uma forma de energia, a exemplo a pressão atmosférica, e transformá-la em outra, a exemplo sinal elétrica de 0 a 5Vcc, que no caso deste projeto será a forma de energia manipulada ou processada, de modo a realizar uma função específica e entregar um resultado útil para seu Utilizador.

Proteus – Software que permite o desenho de circuitos elétricos (SCH) e posterior desenvolvimento de placas de circuito impresso (PCB), a partir do. Quando integrado a outras ferramentas poderá servir também como simulador de funcionamento para circuitos eletro-eletrônicos, facilitando muito o desenvolvimento de protótipos.

Assembler – Linguagem de máquina, ou conjunto de instruções “Instruction Set” em formato de 8 ou 16 bit’s que orientam o funcionamento do micro-controlador. A partir da utilização adequado destas instruções faz-se com que o micro-controlador possa realizar uma operação ou função específica.

Compilador – Software responsável em adequar a programação feita em linguagem de alto nível, neste caso a linguagem “C”, para a linguagem de baixo nível, no caso o Assembler ou também conhecida como linguagem de máquina. O Compilador após processar o arquivo gerado pela linguagem “C”, produzirá o arquivo executável “EXE”, que será então gravado na memória E²PROM do Microcontrolador.

Capítulo 1

INTRODUÇÃO.

Conteúdo

1.1 Motivações.

1.2 Enquadramento e Objetivos do Projeto.

1.3 Tarefas realizadas.

1.4 Estrutura da Dissertação.

1.1 Introdução.

Neste capítulo pretende-se introduzir os aspectos fundamentais que iremos abordar ao longo do relatório do projecto “VEA”, e também proporcionar uma visão geral de toda a dissertação.

Para tal, iremos abordar as motivações para fazer este projeto, assim como também iremos enquadrar e fazer referência aos objetivos do projeto.

Além disso, iremos apresentar as tarefas realizadas, bem como a estrutura do relatório.

1.2 Motivações.

As razões que nos impulsionaram a fazer este projeto foi a possibilidade de aprofundar os nossos conhecimentos no mundo da mecânica de fluídos, e fenômenos de transporte.

Também serviu de motivação a diversidade de conhecimentos que poderíamos aprender, devido ao grau de liberdade que o assunto nos propiciava, uma vez que abarca diferentes campos da tecnologia, como a eletro-eletrônica mais básica, ou a programação de um micro-controlador.

No entanto, pensamos que o encanto que nos levou a optar por este projeto foi a possibilidade de poder programar um instrumento tão importante como é o velocímetro de uma aeronave.

Este instrumento, o velocímetro, desempenha tarefas de orientação ao Piloto de uma aeronave em todas as etapas de um vôo, quer seja para decolar, subir, voar em cruzeiro, descida e por fim realizar com segurança o seu pouso, pois basicamente tudo em termos de deslocamento de uma aeronave tem como fundamento a velocidade da mesma dentro da massa de ar.

Por outro lado, também serviu-nos de incentivo a possibilidade de adquirir novos conhecimentos para futuramente orientar as nossas carreiras Profissionais.

1.3 Enquadramento e Objetivos do Projeto.

Este projeto está enquadrado no instrumento VEA, desenvolvido em parceria entre o Aeroclube de Araraquara e a UNICEP Centro Universitário Paulista. Trata-se de um instrumento que irá medir, processar e apresentar em um display a velocidade indicada de deslocamento de uma aeronave, cuja construção foi desenhada para participar da instalação em um painel de aeronave Aeroboero AB115T.

Este projeto pretende melhorar o funcionamento do instrumento pneumático mecânico convencional e também adquirir um maior conhecimento sobre os velocímetros empregados na aviação civil de pequeno porte, que pouco sofreram mudanças ao longo de mais de 50 anos de existência.

Os objetivos do trabalho são a introdução no mundo dos instrumentos eletrônicos micro-processados, a programação baseada em micro-controladores e a realização do desenvolvimento da plataforma de construção de um protótipo.

Hoje em dia os instrumentos micro-processados têm uma grande relevância no campo da aviação civil de pequeno porte, poderíamos citar a tecnologia “Glass Cockpit” incrementado pelo uso de telas PFD, MFD, pelo que conclui-se, adentrar neste Universo dos instrumentos eletrônicos programáveis e estar em par com “the state of the Art” que inunda as cabines de comando com implementos de controle baseado em circuitos micro-controlados, sendo então este projeto uma boa forma de aprender.

Para tal, é imprescindível o conhecimento sobre micro-controladores, que é uma parte bastante importante dentro dos instrumentos de controle de uma forma abrangente e genérica.

1.4 Tarefas realizadas.

Na sequência, resumem-se as principais tarefas realizadas neste projeto:

1. Desenho no **Proteus** do esquema elétrico, e a partir deste o desenvolvimento da placa de circuito impresso. Testes básicos de funcionamento.
2. Montagem da placa protótipo e todas as ligações necessárias para o seu funcionamento.
3. Introdução à programação dos micro-controladores fazendo uso de um PC e software de programação em linguagem “C” já com compilador específico para converter os arquivos de programas gerados para a linguagem Assembler.
4. Introdução aos micro-controladores e à comunicação serial.

1.5 Estrutura da Dissertação.

Pretende-se nesta secção proporcionar uma idéia geral do projeto. Para tal, apresentam-se todos os capítulos através de um pequeno resumo, descrevendo-se também todo o trabalho de investigação e desenvolvimento realizados ao longo do período de execução do projeto.

No capítulo 1, “**Introdução**”, apresenta-se a motivação do projeto, o seu enquadramento e objetivos e as tarefas realizadas.

No capítulo 2, “**VAE**” : realizamos uma breve introdução”, faz-se uma introdução aos instrumentos de medição de velocidade empregado em aeronaves, apresenta-se a sua estrutura básica e abordam-se exemplos destes instrumentos.

No capítulo 3, “**Descrição do VAE**”, descreve-se a estrutura e alguns dos componentes principais que constituem o instrumento do nosso projeto.

No capítulo 4, “**Comunicação do VAE**”, abordam-se as comunicações e tenta-se descrever as características das mensagens que se enviam entre o PC e o PIC.

No capítulo 5, “**Fenômenos de Transporte**”, descrevem-se as equações de Bernoulli entre outras, e o código desenvolvido para o PIC de controle, e os erros mais comuns envolvidos no calculo das equações empregadas.

Capítulo 2

VAE : Breve Introdução.

Conteúdo

2.1 Introdução.

2.2 Estrutura Geral do VAE.

2.3 Exemplos de instrumentos.

2.3.1 Velocímetro de Automóveis.

2.3.2 Velocímetro de Motores.

2.3.3 Velocímetro de Aeronaves.

2.1 – Introdução .

O Ser Humano desde os primórdios de sua existência preocupou-se em avaliar o seu desempenho. Uma das formas por ele encontrada foi avaliando a sua velocidade e relacionando-a com diferentes graus de eficiência. Assim sendo aquele que desempenhava um determinado trabalho mais rápido que outro, era indubitavelmente mais eficiente.

É evidente que na Física a velocidade expressa uma relação de uma distância seja esta linear ou angular com um dado espaço de tempo, e não implica em absoluto que quanto maior for o valor desta relação melhor será o resultado.

$$V = d / t$$

De qualquer forma para o Homem isto foi sempre uma questão de referencial, o automóvel em uma auto estrada deve respeitar os limites de velocidade, seja para não andar muito lento, como também e não menos importante não andar muito rápido.

Más não é só na estrada a nossa preocupação com a velocidade, o batimento cardíaco de qualquer ser vivo, que nada mais é do que o numero de batidas do coração no espaço de um minuto, não deixa de ser uma expressão da velocidade com a qual trabalha o nosso coração.

Uma determinada máquina de fabricação de papel que gira um rolo de perímetro “x” a um número “y” de rotações por minuto, logo se o Proprietário da fábrica precisar produzir mais papel deverá aumentar a velocidade de produção de sua máquina, fazendo com que, ou o diâmetro do rolo seja aumentado, o que nem sempre pode ser muito prático, ou então a rotação do motor que impulsiona o rolo seja incrementada.

Existem diferentes necessidades de se controlar a velocidade.

- Velocidade de um Automóvel
- Velocidade de uma Motor.
- Velocidade de uma Aeronave.
- Velocidade de uma Embarcação.

Enfim cada necessidade faz uso de um principio, de um mecanismo.

2.2 – Estrutura geral do VAE.

O VAE está dividido em 5 partes, a saber :

1. Fonte de alimentação (Figura 003).
2. Transdutor de pressão (Figura 017) .
3. Sistema de filtro para ruídos elétricos (Figura 023).
4. Circuito micro-controlador (Figura 005).
5. Circuito Display (Figura 002).

2.3. Exemplos de Instrumentos .

2.3.1. Velocímetro de Automóveis (Velocidade Linear) .



Figura 027

O conjunto de instrumentos do painel do Automóvel organiza uma variedade de sensores e medidores, entre eles o medidor de pressão do óleo, medidor da temperatura de refrigeração, medidor do nível de combustível, **tacômetro** e outros.

Mas o medidor que mais se sobressai, e talvez o mais importante, pelo menos em relação à quantidade de vezes que você olha para ele enquanto está dirigindo - é o **velocímetro**.

Neste caso o trabalho do velocímetro é indicar a velocidade do carro em quilômetros por hora.

Nos modelos de carros mais conservadores, porque não mais econômicos, este serviço é feito por um dispositivo analógico que utiliza uma agulha para indicar uma velocidade específica, que o motorista lê como um número marcado no mostrador, aproveitando este sistema agrega-se o odômetro que irá totalizar a distância percorrida pelo veículo.



Figura 028

Já nos veículos mais modernos, o instrumento analógico cede espaço para marcadores digitais com escalas gráficas acopladas. Assim como acontece com qualquer tecnologia nova, os primeiros velocímetros eram caros e disponíveis somente como uma alternativa. Somente após 1910 que os fabricantes de automóveis passaram a incluir o velocímetro como equipamento padrão.

Um dos primeiros fornecedores de velocímetros foi o **OSA (Otto Schulze Autometer)**, uma herança da Siemens VDO Automotive AG, um dos principais desenvolvedores de conjuntos de instrumentos modernos.

O primeiro velocímetro OSA foi criado em 1923, e seu design básico não sofreu muitas mudanças em 60 anos.

Existem dois tipos de velocímetros: eletrônico e mecânico.

O **velocímetro eletrônico** é uma tecnologia relativamente nova, surgiu a partir de 1993.

2.3.2. Velocímetros de Motores (Velocidade Angular) .



Quando pensamos em medir velocidades angulares, já pensamos nos medidores de velocidade do tipo tacômetro, são semelhantes aos velocímetros, porém medem a velocidade angular de um eixo giratório.

Figura 029

Um tacômetro é um dispositivo usado para medir a rotação de um eixo (da palavra grega takhos, que significa velocidade).

Há diversos tipos de tacômetros, mecânicos ou elétricos.

Os tacômetros mecânicos eram, por exemplo, no velocímetro dos automóveis e motocicletas.

Os automóveis mais recente já utilizam tacômetros elétricos e alguns os tacômetros digitais.



Figura 030

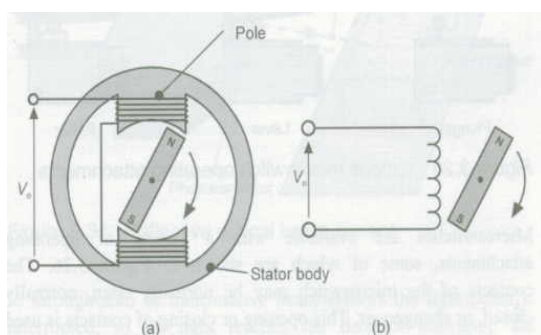


Figura 031

Usando processamento adequado do sinal, ambas frequência e amplitude podem dar uma indicação da velocidade.

A figura á direita mostra um tacômetro elétrico, com um magneto permanente girando no interior de uma bobina. A voltagem de saída V_{OUT} é um sinal elétrico alternado cuja frequência e amplitude são ambas proporcionais à magnitude da velocidade de rotação.

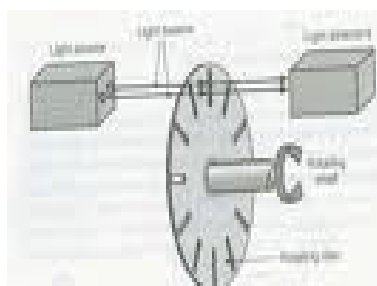


Figura 032

Vejamos o exemplo do tacômetro ótico, um eixo girando a uma velocidade constante, gira um disco perfurado que permite que a luz enviada por um diodo emissor de luz (LED), neste caso operando como unidade transmissora alcance a superfície da base foto-sensível de um transistor, neste caso operando como elemento foto-receptor.

Este transistor transforma a recepção deste feixe luminoso em um pulso elétrico, e um sistema contador realiza a contagem em uma dada base de tempo, a exemplo 1/10 de segundo, o resultado desta contagem será adequadamente mostrada em um display e irá representar a velocidade angular do eixo motor.

2.3.3. Vejamos como isto acontece em uma Aeronave.

A velocidade do ar é a medida da velocidade do avião em relação ao ar ao seu redor.

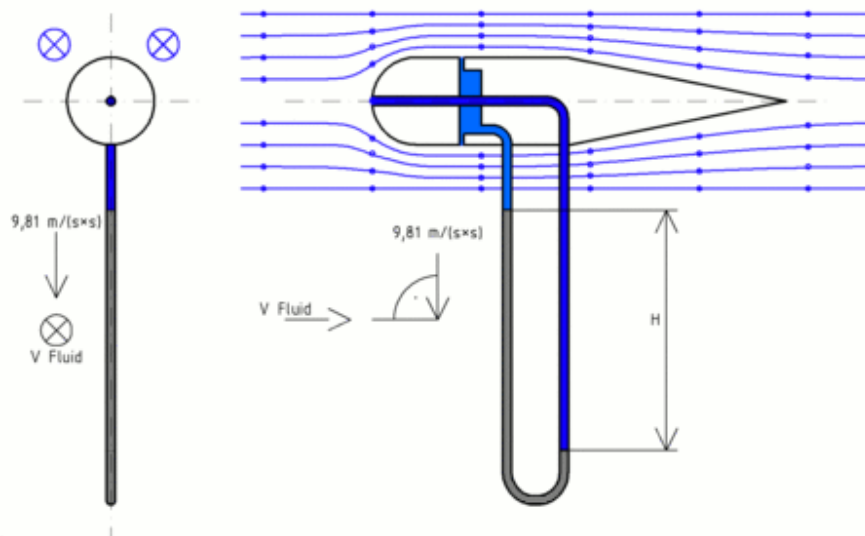


Figura 033

O sistema de tubo pitot-estático é um dispositivo engenhoso usado pelos aviões e barcos para medir a velocidade. O dispositivo é na verdade um manômetro de pressão diferencial e foi inventado por Henri Pitot em 1732.

Um exemplo de um manômetro de pressão é um manômetro de pressão de pneu.



Foto de um tubo de Pitot geralmente colocada sob as asas dos aviões

A extremidade aberta do tubo pitot, geralmente montado sobre uma asa, fica de frente para o fluxo de ar ou de água. O indicador de velocidade de ar mede, na verdade, a diferença entre um sensor estático que não está na corrente de ar e um sensor (tubo pitot) submetido ao fluxo de ar.

Figura 034

Quando o avião fica parado, a pressão em cada tubo é igual e o indicador de velocidade do ar fica no zero. O movimento rápido do ar durante o voo causa uma pressão diferente entre o tubo estático e o tubo pitot. A pressão diferencial faz com que o ponteiro no indicador de velocidade de ar se mova. Aumentos na velocidade elevam a pressão na extremidade do tubo pitot, e a pressão do ar é aplicada contra um diafragma flexível que se move conectado a um ponteiro mecânico na frente do indicador.

O indicador é calibrado para contrabalançar os ventos no ar ou a velocidade da corrente contrária na água.

Em aviões, sistemas eletrônicos também contrabalançam a altitude e a temperatura do ar, fazendo que a medição da velocidade do ar seja mais precisa.



Figura 035

Efeito Venturi

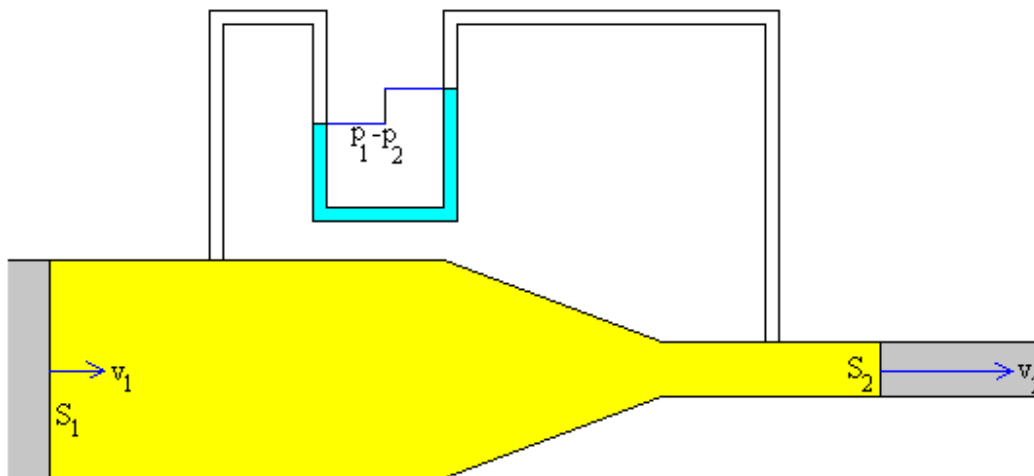


Figura 036

A equação da continuidade é escrita

$$v_1 S_1 = v_2 S_2$$

Que nos diz que a velocidade do fluido no ramo do tubo que tem menor secção é maior que a velocidade do fluido no ramo que tem maior secção. Se $S_1 > S_2$, concluímos que $v_1 < v_2$.

Na equação de Bernoulli com $y_1 = y_2$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Figura 037

Como a velocidade no ramo de menor secção é maior, a pressão neste ramo é menor.

Se $v_1 < v_2$ concluímos que $p_1 > p_2$. O líquido manométrico desce pelo lado esquerdo e sobe pelo direito.

Podemos obter as velocidades v_1 e v_2 em cada ramo do tubo a partir da leitura da diferença de pressão $p_1 - p_2$ no manómetro.

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

Figura 026

Capítulo 3

Exposição Detalhada .

Conteúdo

3.1 Estrutura do VAE.

3.1.1. Constituintes do Sistema.

3.1.2. Partes Principais.

3.2. Descrição Física do VAE

3.3. Desenho no Proteus.

3.4. Ligações do VEA.

3.1. Estrutura do VAE.

O VAE está dividido em 5 partes, a saber :

1. Fonte de alimentação (Figura 003).
 - a. Recebe a alimentação de 12 ou 24V_{DC} da aeronave e a compatibiliza para os valores necessários ao funcionamento do circuito eletrônico, em geral 5V_{DC}.
2. Transdutor de pressão (Figura 017) .
 - a. Recebe as pressões P_T e P_E do sistema pitot-estático, e o diferencial entre estas pressões é convertido para um sinal elétrico proporcional e linear, já corrigidos para efeito de temperatura.
 - b. Sua capacidade é a de medir pressões diferenciais de até 3,92KPa com uma saída linear e proporcional de 5V_{DC}, ou seja, 3,9Pa se considerarmos a resolução do conversor A/D (4,9 mV).
 - c. Possui auto zeramento.
 - d. Função de transferência
$$V_{OUT} = V_S * [(0,2 * P) + 0,2]$$
3. Sistema de filtro para ruídos elétricos (Figura 023).
 - a. Circuito passivo que cria uma dificuldade a passagens de oscilações vindas do transdutor de pressão, quer sejam pelo seu próprio funcionamento, como e principalmente por espúrios vindo através da fonte de alimentação (alternador).
4. Circuito micro-controlador (Figura 005).
 - a. Recebe o sinal elétrico do transdutor analógico, e através de um canal conversor Analógico/Digital (Figura 012), converte para uma palavra de 10 bit's (Figura 012B) com resolução de 4,9 mV (V_{REF}/1024), que corresponderá então a uma sensibilidade de incremento/decremento de 3,9 Pa.
 - b. O valor armazenado como pressão diferencial, para nós já considerado como a P_D, ou seja, Pressão Dinâmica, será submetido ao cálculo para determinação da velocidade da aeronave (Figura 026), levando-se a cabo a densidade padrão do ar atmosférico, e sem nenhum fator de correção para variação da temperatura do Ar.
 - c. O resultado deste cálculo, que representa então a velocidade da aeronave, em Knot's, será direcionado para as portas que se comunicam com o decodificador BCD/7 Segmentos (Figura 004), e deste para os display's (Figura 002).
 - d. A operação de multiplexação dos display's também será gerenciada pelo software, comutando os 03 mostradores a uma frequência de 30 Hz.
 - e. Considerando que a pressão padrão ao nível do mar é de 1013,2 hPa, é necessário criar um ajuste de off-setting, que permita deslocar o zero do transdutor para este valor, uma vez que a pressão teórica será sempre menor que o valor deste off-setting. Este ajuste poderia

ser feito pelo hardware, ou pelo software, a nossa escolha foi a implementação do código escrito pela liberdade de manipulação.

5. Circuito Display.

- a. Formado por 03 display de sete segmentos, conforme Figura 002, mostrarão em conjunto o valor da velocidade calculada pelo modelo matemático implementado no programa processado pelo micro-controlador.
- b. Os display's são acionados um a um, economizando energia elétrica, e o número de conexões necessárias, uma vez que irão compartilhar o bus de dados. O sincronismo é provido por software que ajusta o momento correto de dispor os dados em função do display que será acionado. O acionamento do display é realizado por transistores de chaveamento operando em classe "C". A corrente que irá circular pelos segmentos do display é limitada por resistores fixos, definindo a luminosidade do mesmo.

3.1.1 Constituintes do Sistema.

1. Circuito da Fonte de alimentação (Figura 003).
 - a. 01 – Circuito Integrado LM 7805. (Figura 001)
 - b. 02 - Capacitor de poliéster 0,1uF
2. Circuito do Transdutor de pressão (Figura 017) .
 - a. 01 - Transdutor MPXV 5004 DP (Figura 018)
 - b. 01 - Placa de circuito Impresso.
 - c. 01 - Esquema Elétrico (Figura 021).
 - d. 01 - Borne de 3 vias.
3. Circuito do Sistema de filtro para ruídos elétricos (Figura 023).
 - a. 01 - Capacitores de poliéster 1uF.
 - b. 01 - Capacitor de poliester 0,01 uF.
 - c. 01 - Capacitor de poliéster 470pF
4. Circuito micro-controlador (Figura 005).
 - a. 01 – Micro-controlador PIC 16F873 (Figura 016).
 - b. 01 – Soquete para PIC 16F873.
 - c. 01 – Placa de circuito Impresso.
 - d. 02 – Capacitor poliéster 15 pF (Figura 013)
 - e. 01 – Cristal oscilador de 2.00MHz
5. Circuito Display.
 - a. 03 – Display 07 Segmentos com catodo comum.
 - b. 21 resistores de 4k7 Ohms 1/8W 5%
 - c. 04 Transistores BC 547 ou BC 337
 - d. 01 – Decodificador CD 4511

3.1.2. Partes Principais.

A sustentação de todo o projeto consiste na aquisição das pressões estática e total, e no seu correto tratamento e processamento.

A aquisição da informação de pressão estática e total é feita a partir do transdutor de pressão diferencial (Figura 017), que respeitando os seus limites de pressão máxima, e ou velocidade máxima, deverá oferecer uma boa precisão com um bom grau de exatidão, conforme explicito em sua folha de parâmetros (Figura 019).

Já o tratamento e processamento do sinal, dependem do micro-controlador, o qual apresenta uma resolução de 10 bit's em seu conversor analógico/digital, principal ferramenta a ser explorada no tratamento do sinal.

Considerando-se a precisão apresentada pelos instrumentos convencionais na aviação civil de pequeno porte, esta resolução de 10 bit's atende de modo satisfatório as necessidades, visto que nos velocímetros convencionais as escala gráficas são graduadas na sua maioria de 10 em 10 milhas.

Os cálculos envolvidos são funções já disponíveis em forma de bibliotecas, uma vez que estaremos realizando a programação do firmware em linguagem "C" driblando assim as dificuldades naturais da linguagem de baixo nível, o Assembler, onde com certeza a dificuldade em realizar, a exemplo, uma raiz quadrada seria bem maior.

A manipulação do resultado dos cálculos para a devida amostragem em display, será possível com o apoio de um decodificador de "Binário Codificado em Decimal para 07 segmentos", desta forma no barramento de dados (Data Bus) será colocado o valor decimal codificado adequadamente em binário com o emprego de uma palavra de 04 bit's, que estará sincronizada com outros 03 bit's de multiplexação dos display's.

3.2. Descrição Física do VAE.

O Velocímetro para Aeronaves Eletrônico, o VAE, foi desenvolvido para apresentar ao Piloto em modo instantâneo o valor da velocidade indicada da aeronave dentro da massa de ar, corrigido para os decréscimo da densidade em função do aumento da altitude.

Foram desconsiderados a princípio as correções necessárias promovidas pela variação da temperatura em razão da variação da altitude, isto porque o velocímetro convencional aplicado a aeronaves de pequeno porte e baixa velocidade também a despreza.

De acordo com a teoria da continuidade de Bernoulli, o valor da pressão diferencial, ou seja, $P_D = P_T - P_E$ representa a própria pressão dinâmica, ou pressão de movimento.

Como podemos observar a medida que a aeronave ganha altitude o valor de P_T e P_E diminuem em razão da diminuição da densidade, e portanto mantém o valor de P_D constante, o que implica dizer que a Velocidade Indicada permanecerá constante.

Sendo assim, se por um lado a pressão estática tenderia a diminuir o seu valor por conta da diminuição da densidade, por outro o incremento da pressão dinâmica por conta da diminuição do arrasto sofrido pela aeronave compensa esta redução equilibrando-se as forças e mantendo o diferencial teoricamente constante.

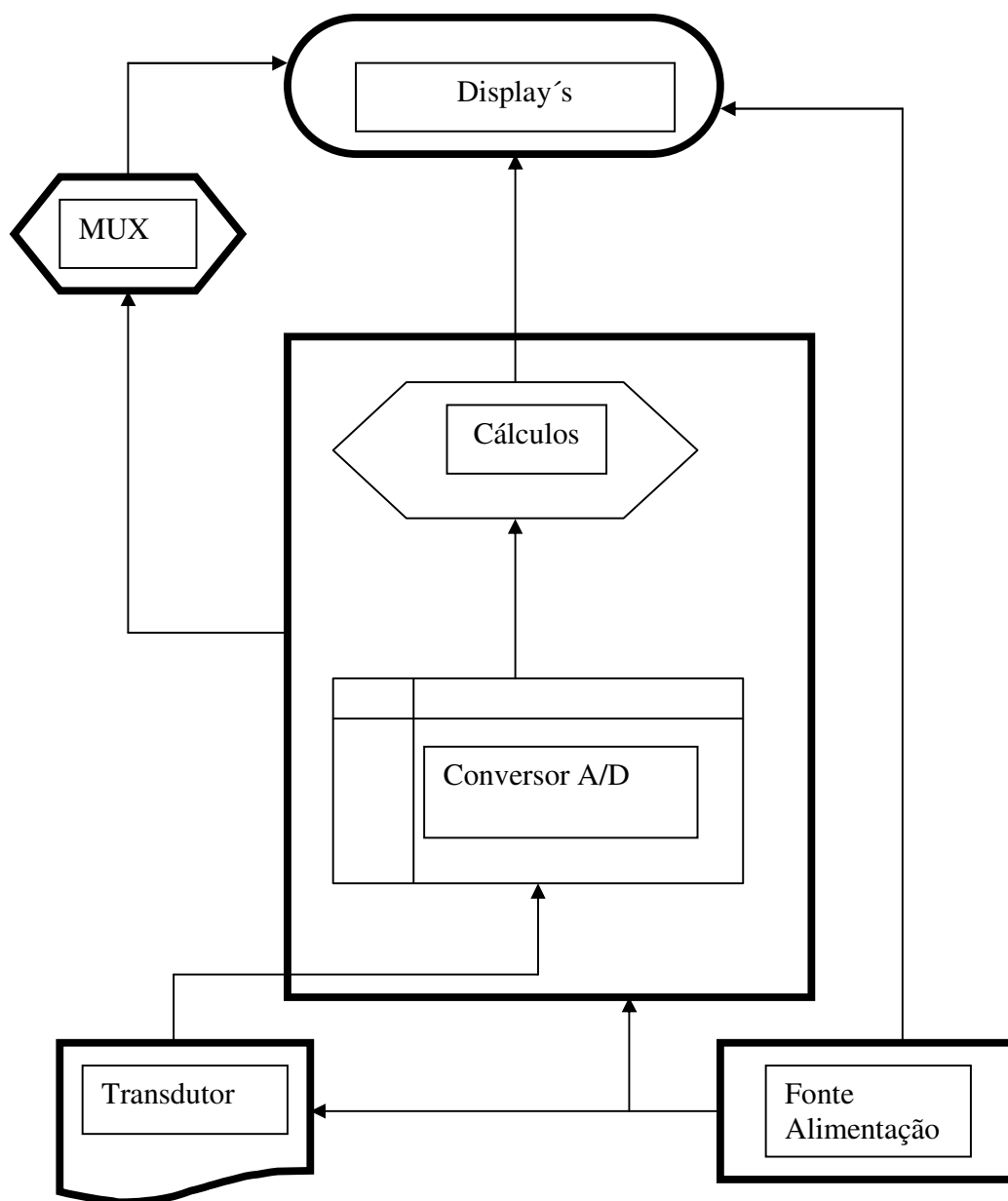
A bem da verdade matemática, a V_I é constante, mas não a V_A , pois esta com certeza em razão da diminuição da densidade irá sofrer um incremento. Dai tem-se então que a V_A é maior a medida em que a altitude aumenta, ou se preferir a densidade diminui.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

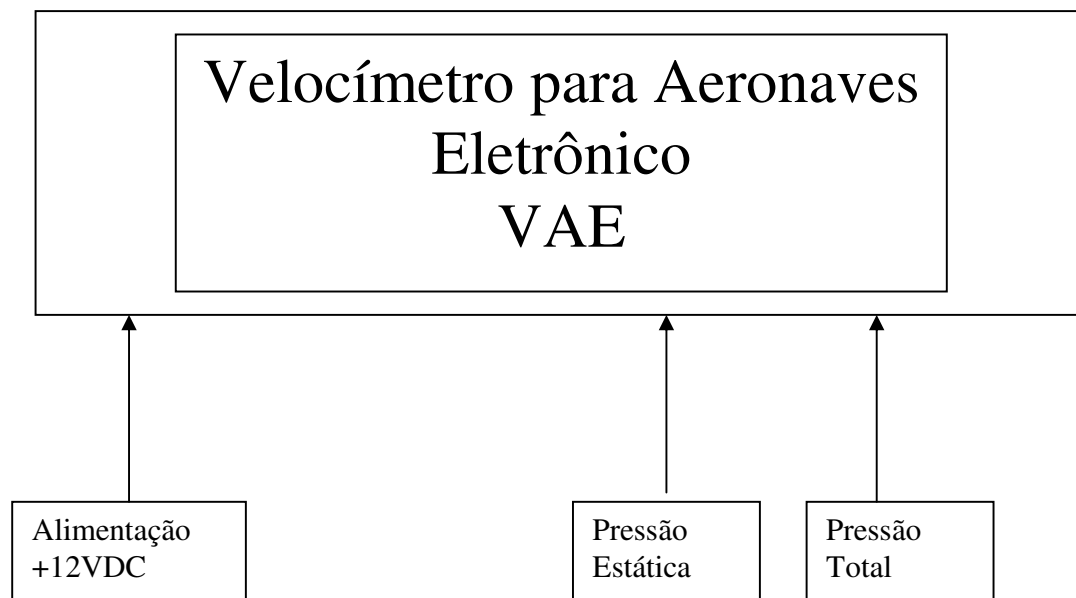
Com este raciocínio implantado no firmware do micro-controlador, e recebendo o valor da Pressão Diferencial ($P_1 - P_2$) a partir do transdutor de pressão, podemos deduzir de imediato o valor da velocidade a partir de :

$$V_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

3.3. Desenhos no Proteus .



3.4. Ligações do VAE.



Capítulo 4

Exposição Detalhada .

Conteúdo

4.1. Programa em Linguagem C.

4.2. Programador do micro-controlador

4.1. Programa em Linguagem “C”.

Programa em Linguagem “C”

```
1:
2: #include "16F873A.h"
3: #device adc=10
4: #include <math.h>
5: #USE DELAY (CLOCK=10000000)
6:
7: #Fuses HS, NOWDT, PUT, NOPROTECT, NOLVP
8:
9: #byte portb=0x06
10: #byte portC=0x07
11: #define cont_h 10
12:
13: byte cont;
14: int16 adc_value;
15:
16: #int_rtcc
17: le_adc(){
18: if (--cont==0){
19: adc_value = read_adc();
20: delay_us(5);
21: cont=cont_h;
22: }
23: return(adc_value);
24: }
25:
26: int z = 1;
27:
28: #int_ext
29: temp_or_spd(){
30: if (z==1){
31: z=0;
32: set_adc_channel(0);
33: delay_us(30);
34: }
35: else
36: {
37: z=1;
38: set_adc_channel(1);
39: delay_us(30);
40: }
41: delay_ms(200);
42: return(z);
43: }
44:
45: unsigned Dig[4];
46: int16 Out0;
47: double BrA=0;
48: double BrB=0;
49: double BrC=0;
50:
51: void main(){
52:
53: set_rtcc(0);
54: setup_counters(RTCC_INTERNAL, RTCC_DIV_128);
55: enable_interrupts(INT_RTCC);
56: enable_interrupts(INT_EXT);
57: enable_interrupts(GLOBAL);
58:
```



```

59: setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3);
60: setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_16);
61: set_adc_channel(1);
62: delay_us(30);
63: adc_value = read_adc();
64: delay_us(5);
65:
66: Set_Trис_A(0b00000111);
67: Set_Trис_B(0b1);
68: Set_Trис_C(0b0);
1
C:\PIC_Projetos\Teste.c
69:
70: while(1) {
71:
72: if(z==0) {
73: set_adc_channel(0);
74: delay_us(30);
75: Out0=((adc_value)-518)*2;
76: delay_ms(1);
77: }
78: else
79: {
80: BrA=((9.8*(adc_value-251.6))/1.29);
81: BrB=Sqrt(BrA);
82: BrC=BrB*1.943846;
83: Out0=BrC;
84: delay_ms(1);
85: }
86:
87: Dig[0]=((Out0)%10) << 1;
88: Dig[1]=((Out0/10)%10) << 1;
89: Dig[2]=((Out0/100)%10) << 1;
90: Dig[3]=((Out0/1000)%10) << 1;
91:
92: Output_High(PIN_C4);
93: portb=Dig[3];
94: delay_ms(1);
95: Output_Low(PIN_C4);
96:
97: Output_High(PIN_C3);
98: portb=Dig[2];
99: delay_ms(1);
100: Output_Low(PIN_C3);
101:
102: Output_High(PIN_C2);
103: portb=Dig[1];
104: delay_ms(1);
105: Output_Low(PIN_C2);
106:
107: Output_High(PIN_C1);
108: portb=Dig[0];
109: delay_ms(1);
110: Output_Low(PIN_C1);
111:
112: }
113: }
114:

```

4.2. Programador do micro-controlador.

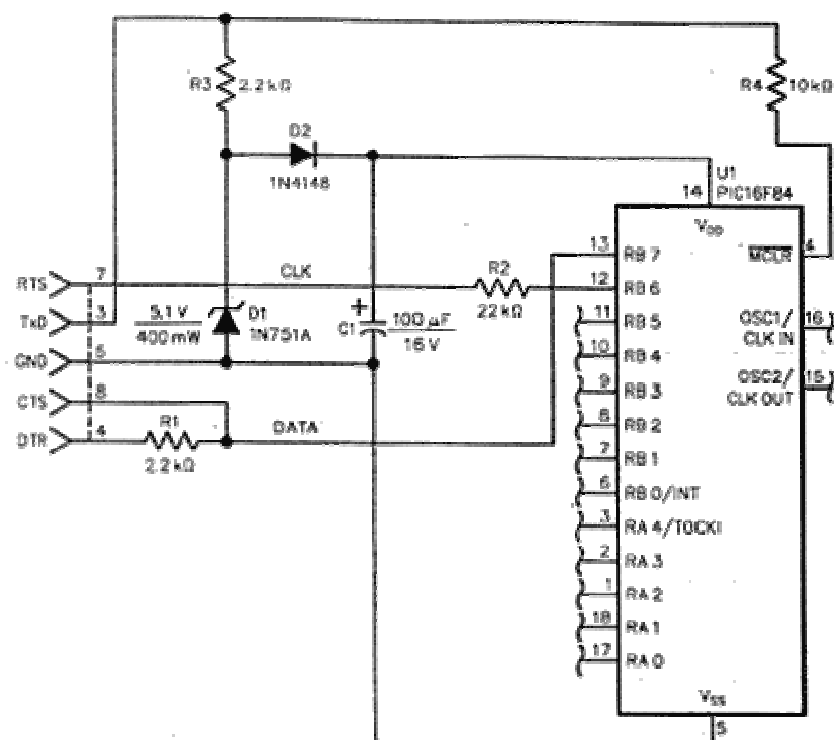
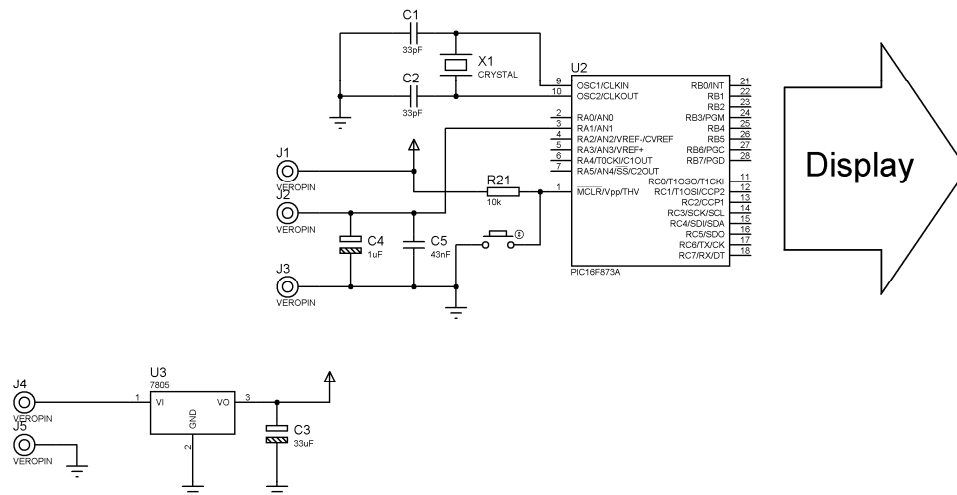
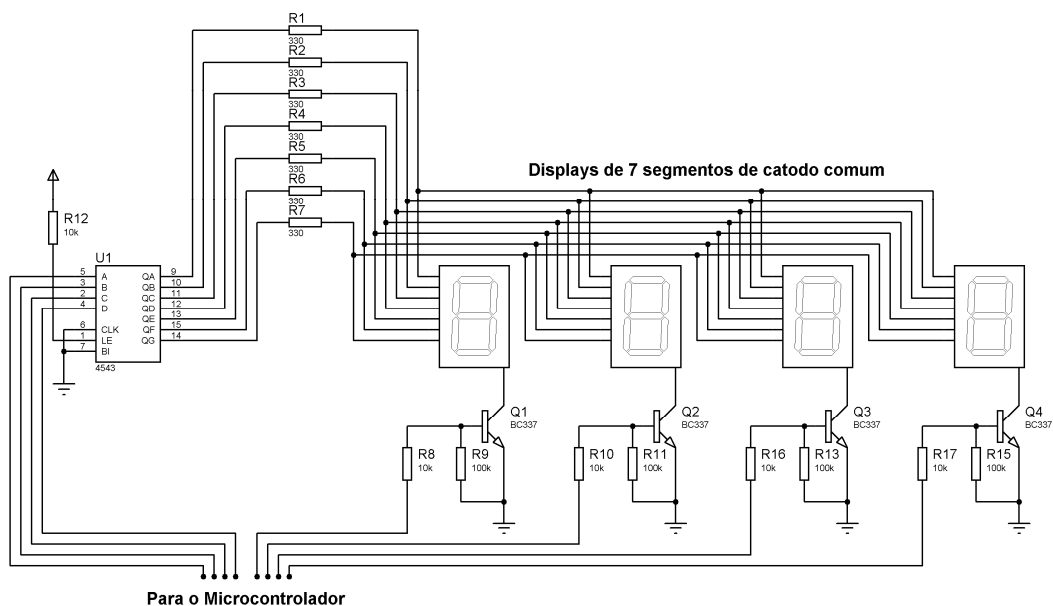


Figura 038

4.2.1. Circuito microcontrolado.



4.2.2. Display Muxado.



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

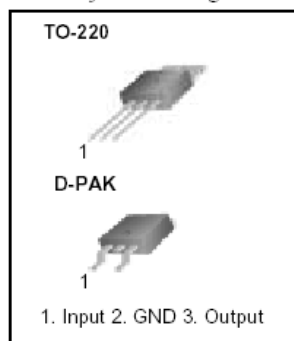
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram

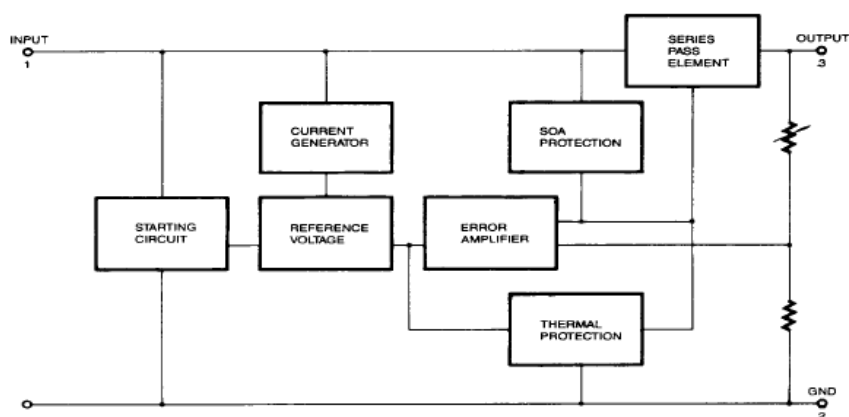


Figura 001

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_I	35 40	V V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	$0 \sim +125$	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	$-65 \sim +150$	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25	
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$				mV
		$V_O = 7V$ to $25V$ $V_I = 8V$ to $12V$	-	4.0 1.6	100 50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$				mV
		$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$ $I_O = 250mA$ to $750mA$	-	9 4	100 50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3	
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB
Dropout Voltage	V_{Drop}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V
Output Resistance	r_O	$f = 1KHz$	-	15	-	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A

Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Figura 001 A

Mechanical Dimensions

Package

TO-220

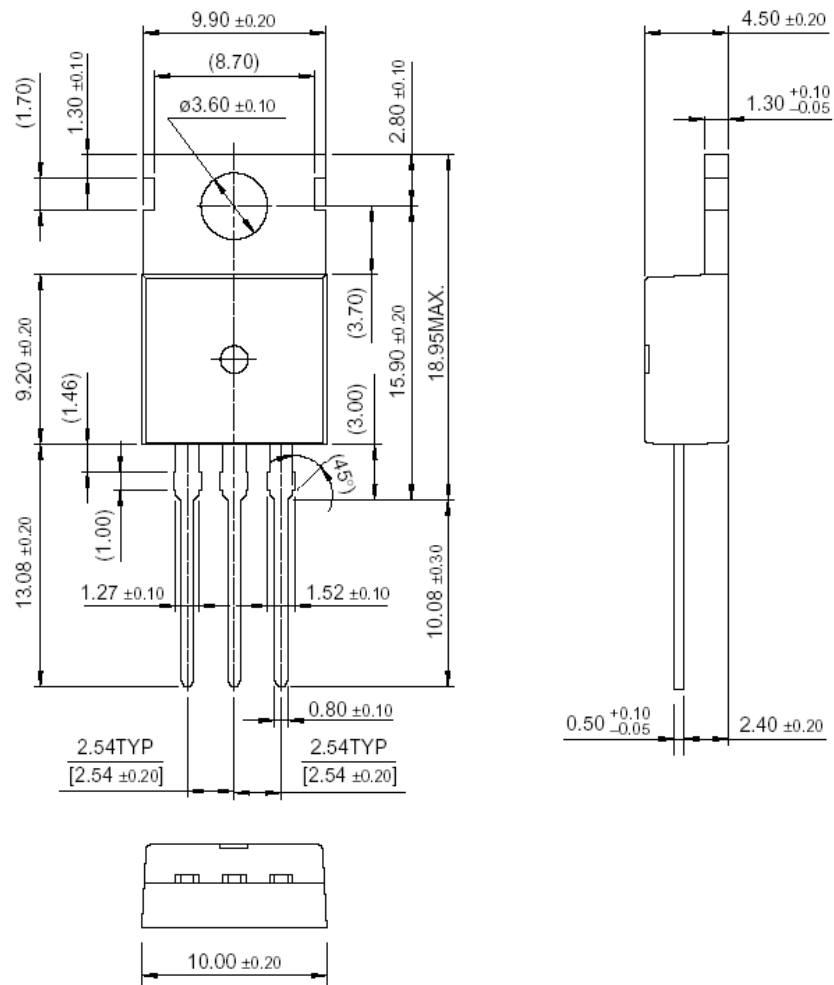


Figura 001 B

Typical Applications

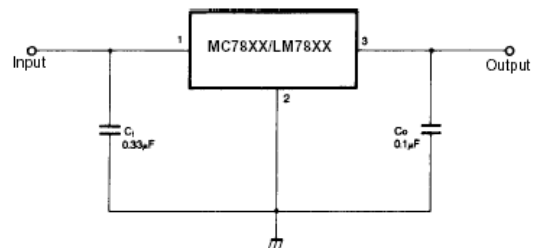


Figure 5. DC Parameters

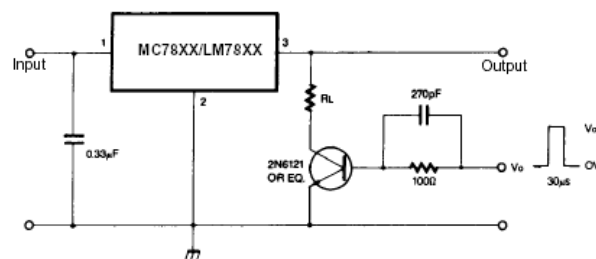


Figure 6. Load Regulation

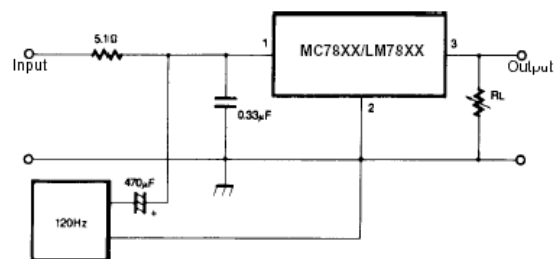


Figure 7. Ripple Rejection

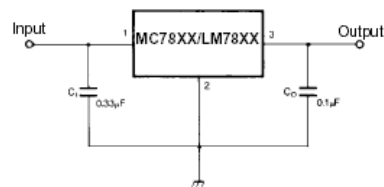


Figure 8. Fixed Output Regulator

Figura 001C

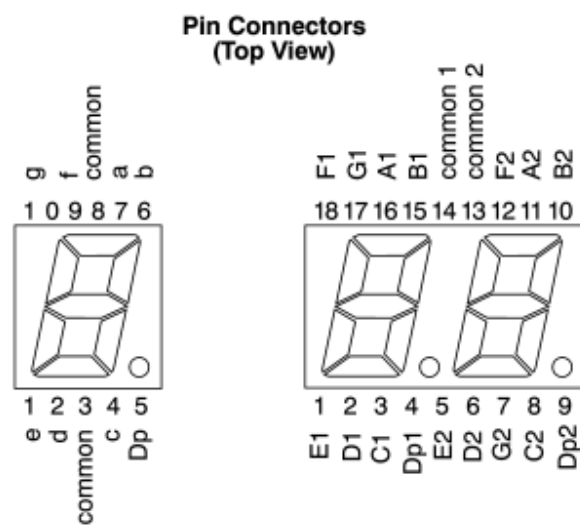


Figura 002

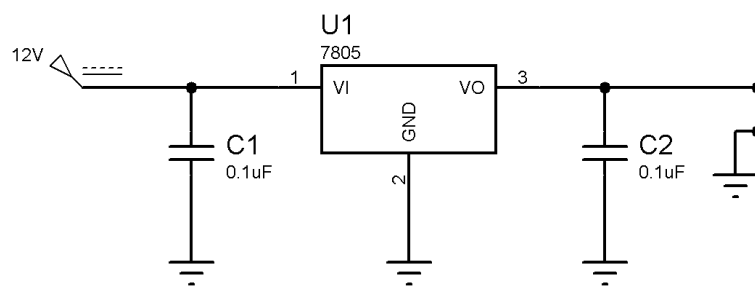
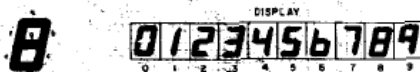


Figura 003

CMOS BCD-to-7-Segment Latch Decoder Drivers

High-Voltage Types (20-Volt Rating)

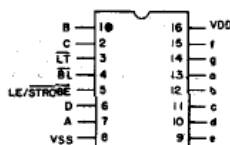


92CS-25087

■ CD4511B types are BCD-to-7-segment latch decoder drivers constructed with CMOS logic and n-p-n bipolar transistor output devices on a single monolithic structure. These devices combine the low quiescent power dissipation and high noise immunity features of RCA CMOS with n-p-n bipolar output transistors capable of sourcing up to 25 mA. This capability allows the CD4511B types to drive LED's and other displays directly.

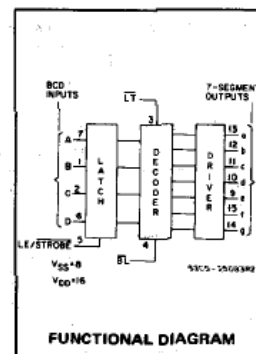
Lamp Test (LT), Blanking (BL), and Latch Enable or Strobe inputs are provided to test the display, shut off or intensity-modulate it, and store or strobe a BCD code, respectively. Several different signals may be multiplexed and displayed when external multiplexing circuitry is used. The CD4511B is supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (D and F suffixes), 16-lead dual-in-line plastic packages (E suffix), and in chip form (H suffix).

These devices are similar to the type MC14511.



**CD4511B
TERMINAL ASSIGNMENT**

CD4511B Types



Features:

- High-output-sourcing capability up to 25 mA
- Input latches for BCD Code storage
- Lamp Test and Blanking capability
- 7-segment outputs blanked for BCD input codes > 1001
- 100% tested for quiescent current at 20 V
- Max. input current of 1 μ A at 18 V, over full package-temperature range, 100 nA at 18 V and 25°C
- 5-V, 10-V, and 15-V parametric ratings

Applications:

- Driving common-cathode LED displays
- Multiplexing with common-cathode LED displays
- Driving incandescent displays
- Driving low-voltage fluorescent displays

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V _{DD})	-.05V to +20V
Voltages referenced to V _{SS} Terminal	
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	-.05V to V _{DD} +0.5V
DC INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	\pm 10mA
POWER DISSIPATION, PER PACKAGE (P _D):	
For T _A = -55°C to +100°C	500mW
For T _A = +100°C to +125°C	Derate Linearly at 12mW/°C to 200mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR	
For T _A = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)	100mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T _A)	-55°C to +125°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T _{stg})	-65°C to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):	
At distance 1/16 \pm 1/32 inch (1.59 \pm 0.79mm) from case for 10s max	+265°C

OPERATING CONDITIONS AT T_A = 25°C Unless Otherwise Specified

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges

Characteristic	V _{DD}	Min.	Max.	Units
Supply-Voltage Range (T _A): (Full Package-Temperature Range)	—	3	18	V
Set-Up Time (t _S)	5	150	—	ns
	10	70	—	ns
	15	40	—	ns
Hold Time (t _H)	5	0	—	ns
	10	0	—	ns
	15	0	—	ns
Strobe Pulse Width (t _W)	5	400	—	ns
	10	160	—	ns
	15	100	—	ns

Figura 004

CD4511B Types

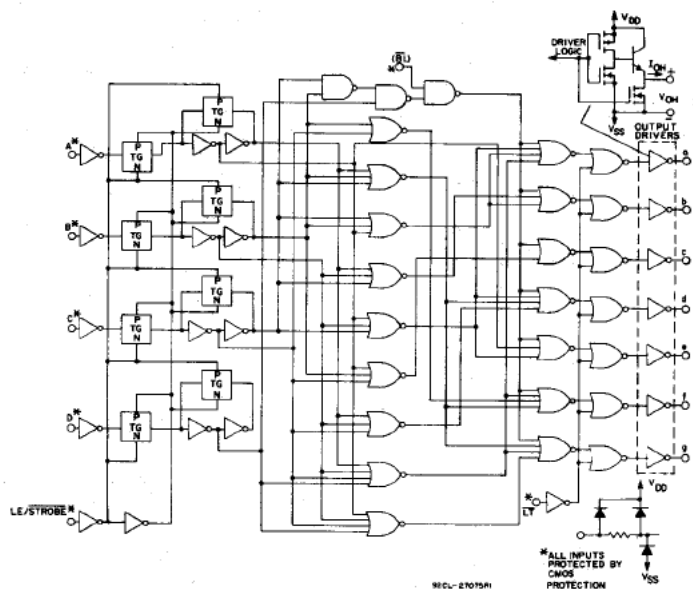


Fig. 8 - Logic diagram.

TRUTH TABLE												
LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	X	X	X	X	*	*	*	*	*	*

X = Don't Care * Depends on BCD code previously applied when LE = 0

Note: Display is blank for all illegal input codes (BCD > 1001).

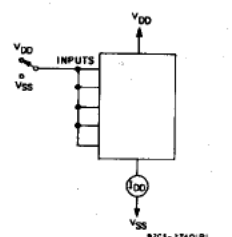


Fig. 9 - Quiescent device current.

TEST CIRCUITS

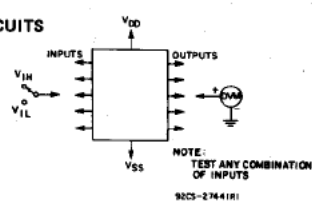


Fig. 10 - Input voltage.

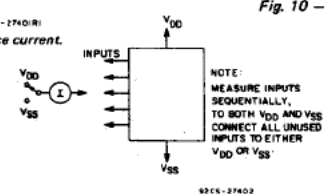


Fig. 11 - Input current.

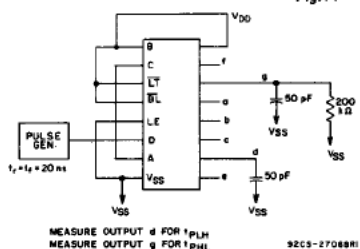


Fig. 12 - Data propagation delay.

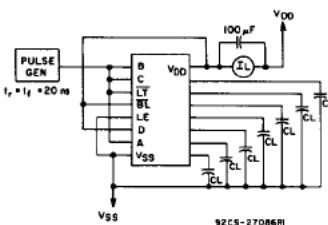
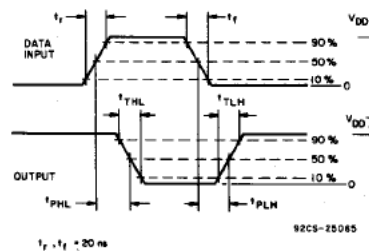
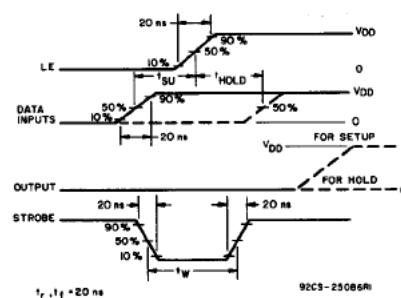


Fig. 13 - Dynamic power dissipation.



$t_r, t_f = 20 \text{ ns}$

92CS-25085



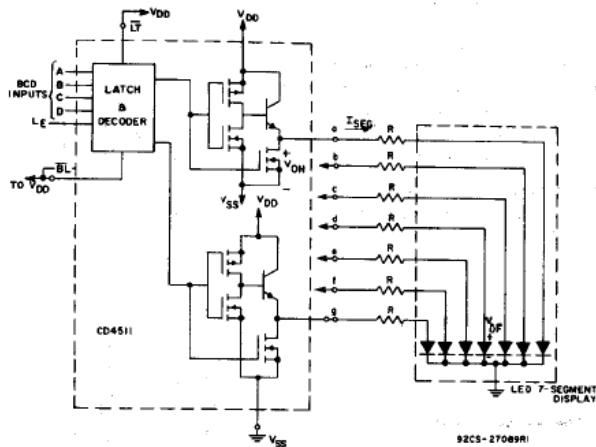
$t_r, t_f = 20 \text{ ns}$

Fig. 14 - Dynamic waveforms.

Figura 004 A

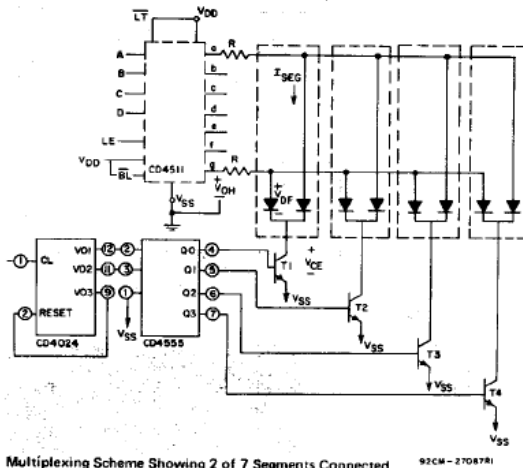
CD4511B Types

APPLICATIONS Interfacing with Various Displays



Duty Cycle = 100%
 $I_{SEG} = I_{DIODE_{AVG}} = 20 \text{ mA}$ at Luminous Intensity/Segment = 250 microcandles
 $R = \frac{V_{OH} - V_{DF}}{I_{SEG}}$

Fig. 15 - Driving common-cathode 7-segment LED displays (example Hewlett-Packard 5082-7740).

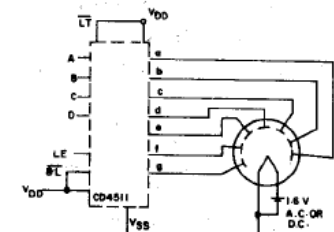


Multiplexing Scheme Showing 2 of 7 Segments Connected
 Transistors T_1-T_4 (RCA-2N3053 or 2N2102) have I_C Max. rating $> 7 \times I_{SEG}$

Duty Cycle = 25%
 $I_{SEG} = (I_{DIODE_{AVG}}) \times 4$
 $R = \frac{(V_{OH} - V_{DF} - V_{CE})}{I_{SEG}}$

All unused inputs on CD4555 are connected to V_{DD} or V_{SS} .

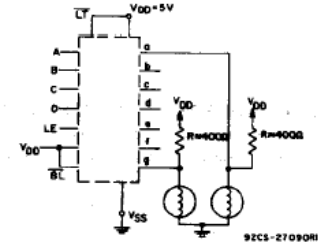
Fig. 18 - Multiplexing with common-cathode 7-segment LED displays (example Hewlett-Packard 5082-7404 4 character display or 4 discrete Monosanto Man 3 displays).



A medium-brightness intensity display can be obtained with low-voltage fluorescent displays such as the Tung-Sol Digivac S/G** Series.

**Trademark Tung-Sol Division Wagner Electric Co.

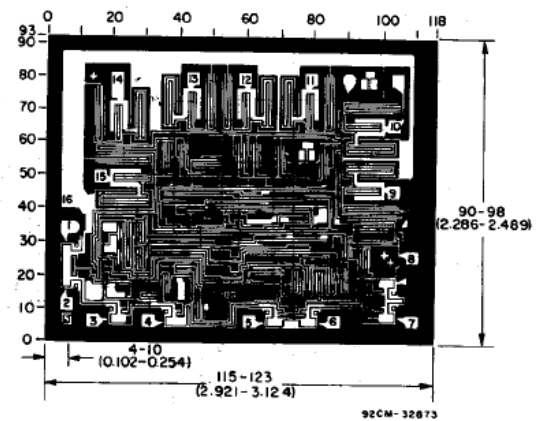
Fig. 16 - Driving low-voltage fluorescent displays.



2 of 7 Segments Shown Connected

Resistors R from V_{DD} to each 7-segment driver output are chosen to keep all Numitron segments slightly on and warm.

Fig. 17 - Driving incandescent displays (RCA Numitron DR2000 series displays).



Dimensions and pad layout for CD4511B chip.

Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils (10^{-3} inch).



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

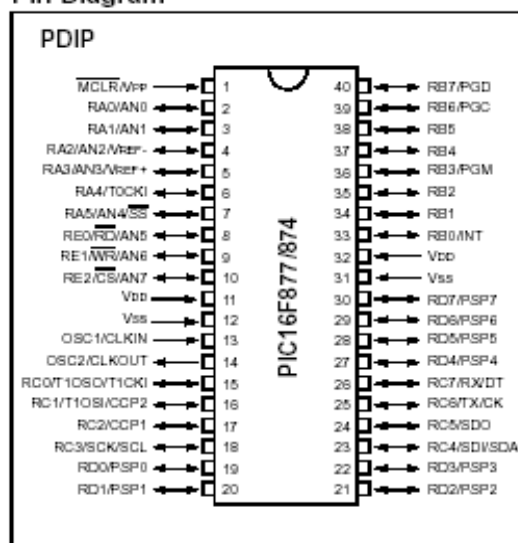
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Figura 005

Pin Diagram

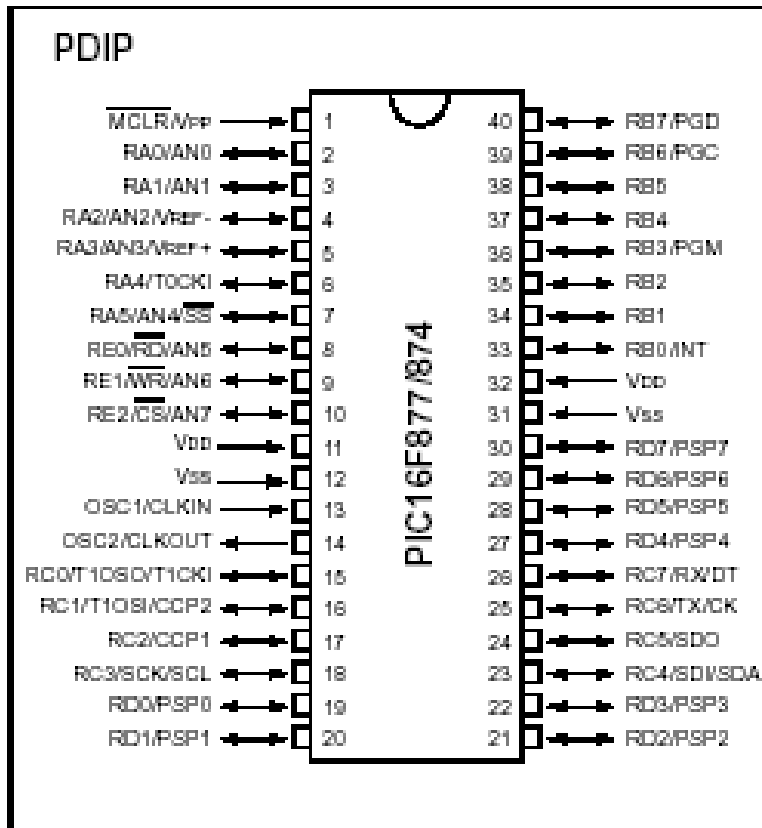


Figura 006

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

Figura 007

FIGURE 3-1: BLOCK DIAGRAM OF RA3:RA0 AND RA5 PINS

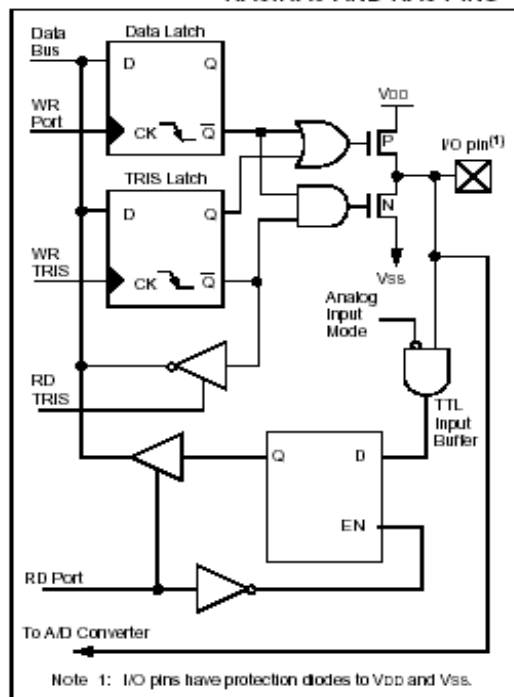


Figura 007 A0

FIGURE 3-2: BLOCK DIAGRAM OF RA4/T0CKI PIN

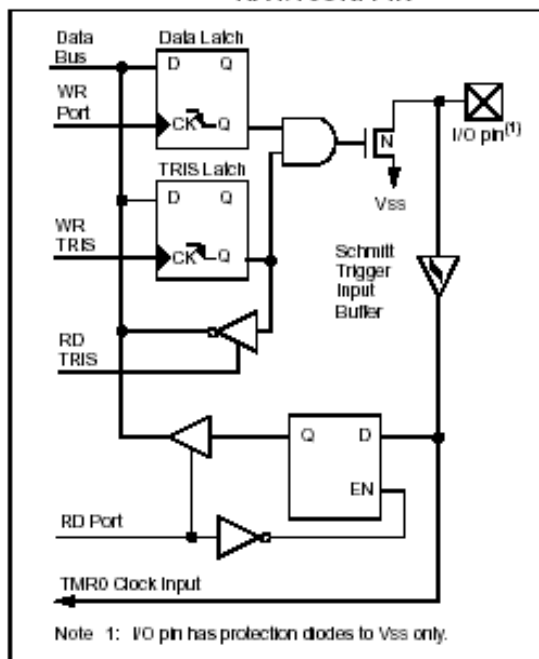


Figura 007 A1

TABLE 3-1: PORTA FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit0	TTL	Input/output or analog input.
RA1/AN1	bit1	TTL	Input/output or analog input.
RA2/AN2	bit2	TTL	Input/output or analog input.
RA3/AN3/VREF	bit3	TTL	Input/output or analog input or VREF.
RA4/T0CKI	bit4	ST	Input/output or external clock input for Timer0. Output is open drain type.
RA5/SS/AN4	bit5	TTL	Input/output or slave select input for synchronous serial port or analog input.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Figura 007 A2

TABLE 3-2: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0u 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented locations read as '0'.
Shaded cells are not used by PORTA.

Note: When using the SSP module in SPI Slave mode and SS enabled, the A/D converter must be set to one of the following modes, where PCFG3:PCFG0 = 0100, 0101, 011x, 1101, 1110, 1111.

Figura 007 A3

FIGURE 3-3: BLOCK DIAGRAM OF RB3:RB0 PINS

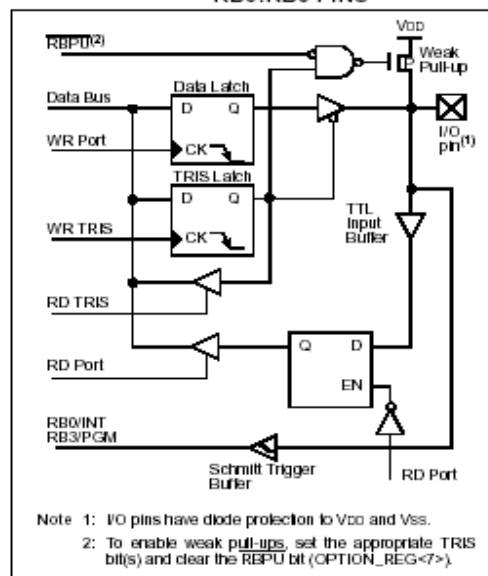


Figura 007 B0

FIGURE 3-4: BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS

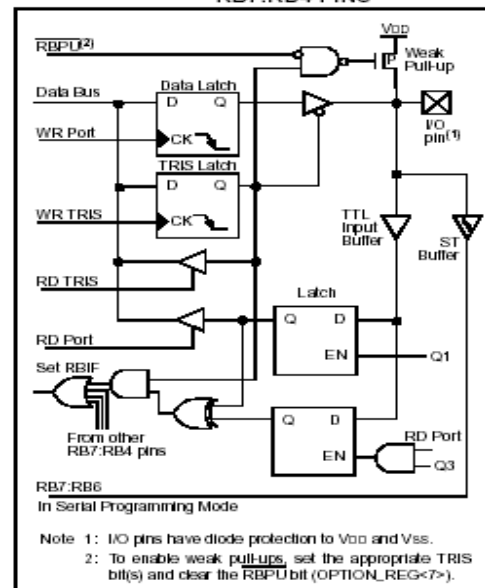


Figura 007 B1

TABLE 3-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM ⁽³⁾	bit3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit7	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.

Note 3: Low Voltage ICSP Programming (LVP) is enabled by default, which disables the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and allow maximum compatibility to the other 28-pin and 40-pin mid-range devices.

Figura 005 B2

TABLE 3-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
06h, 106h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
86h, 186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
81h, 181h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

Figura 005 B3

FIGURE 3-5: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<2:0>, RC<7:5>

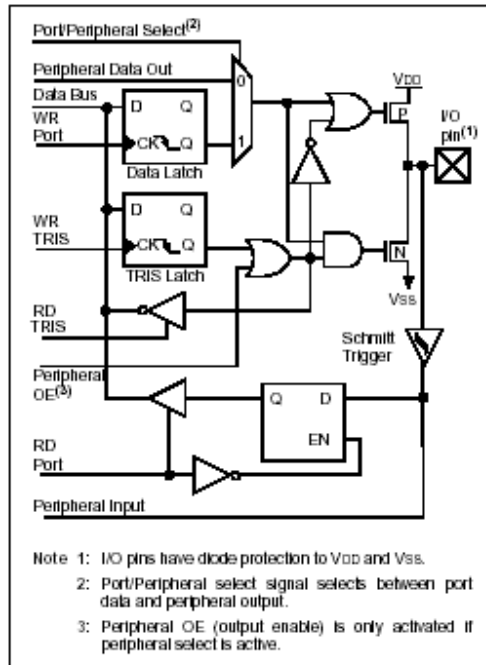


Figura 007 C0

FIGURE 3-6: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<4:3>

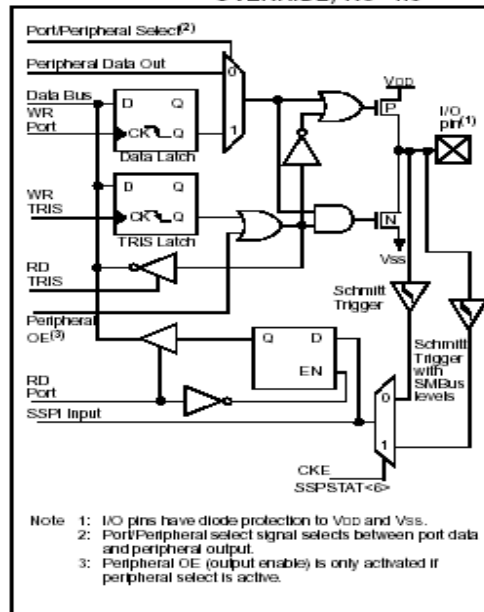


Figura 007 C1

TABLE 3-5: PORTC FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	bit1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	bit2	ST	Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	bit3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	bit4	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	bit5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output.
RC6/TX/CK	bit6	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	bit7	ST	Input/output port pin or USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.

Legend: ST = Schmitt Trigger input

Figura 007 C2

TABLE 3-6: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTC

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged

Figura 007 C3

The diagram shows an I/O pin circuit with the following components and connections:

- Data Bus:** Connected to the D input of the Data Latch and the D input of the TRIS Latch.
- WR Port:** Connected to the CK (clock) input of the Data Latch.
- WR TRIS:** Connected to the CK (clock) input of the TRIS Latch.
- RD TRIS:** Connected to the D input of a 3-state buffer (tri-state symbol) that drives the I/O pin.
- RD Port:** Connected to the D input of a 3-state buffer (tri-state symbol) that drives the I/O pin.
- Data Latch:** A D-type flip-flop with Q output connected to the I/O pin.
- TRIS Latch:** A D-type flip-flop with Q output connected to the Data Bus.
- Schmitt Trigger Input Buffer:** Connected to the I/O pin and the Data Bus.
- Protection Diodes:** Two diodes are connected to the I/O pin, one to VDD and one to VSS.

TABLE 3-7: PORTD FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RD0/PSP0	bit0	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit0.
RD1/PSP1	bit1	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit1.
RD2/PSP2	bit2	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit2.
RD3/PSP3	bit3	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit3.
RD4/PSP4	bit4	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit4.
RD5/PSP5	bit5	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit5.
RD6/PSP6	bit6	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit6.
RD7/PSP7	bit7	ST/TTL ⁽¹⁾	Input/output port pin or parallel slave port bit7.

Note 1: Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode.

TABLE 3-8: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTD

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
08h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	xxxx xxxx	uuuu uuuu
88h	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
89h	TRISE	IBF	OBF	IOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	0000 -111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PORTD.

49

FIGURE 3-8: PORTE BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

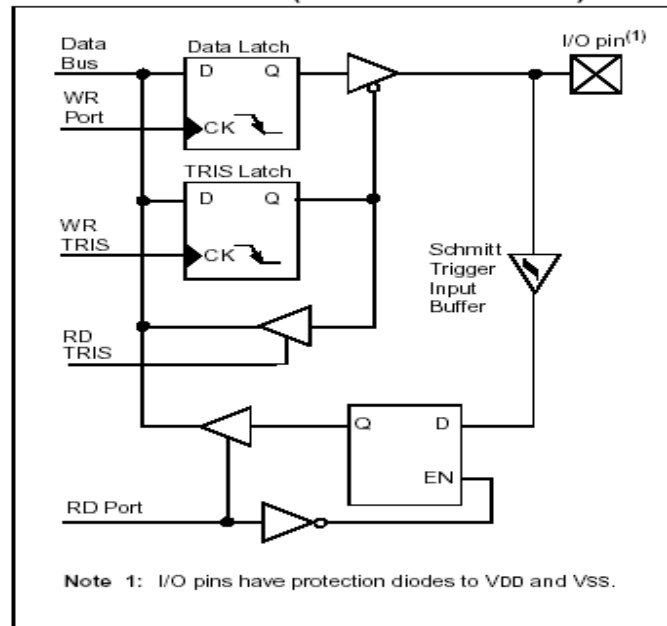


Figura 007 E0

TABLE 3-9: PORTE FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5	bit0	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or read control input in Parallel Slave Port mode or analog input: $\overline{\text{RD}}$ 1 = Idle 0 = Read operation. Contents of PORTD register are output to PORTD I/O pins (if chip selected)
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6	bit1	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or write control input in Parallel Slave Port mode or analog input: $\overline{\text{WR}}$ 1 = Idle 0 = Write operation. Value of PORTD I/O pins is latched into PORTD register (if chip selected)
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7	bit2	ST/TTL ⁽¹⁾	I/O port pin or chip select control input in Parallel Slave Port mode or analog input: $\overline{\text{CS}}$ 1 = Device is not selected 0 = Device is selected

Legend: ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL input

Note 1: Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode.

Figura 007 D1

TABLE 3-10: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTE

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
09h	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu
89h	TRISE	IBF	OBf	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	0000 -111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PORTE.

Figura 007 D2

Figura 008

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TTL	
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	
RB4	25	25	I/O	TTL	
RB5	26	26	I/O	TTL	
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	
Vss	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

Figura 009

FIGURE 2-2: PIC16F874/873 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

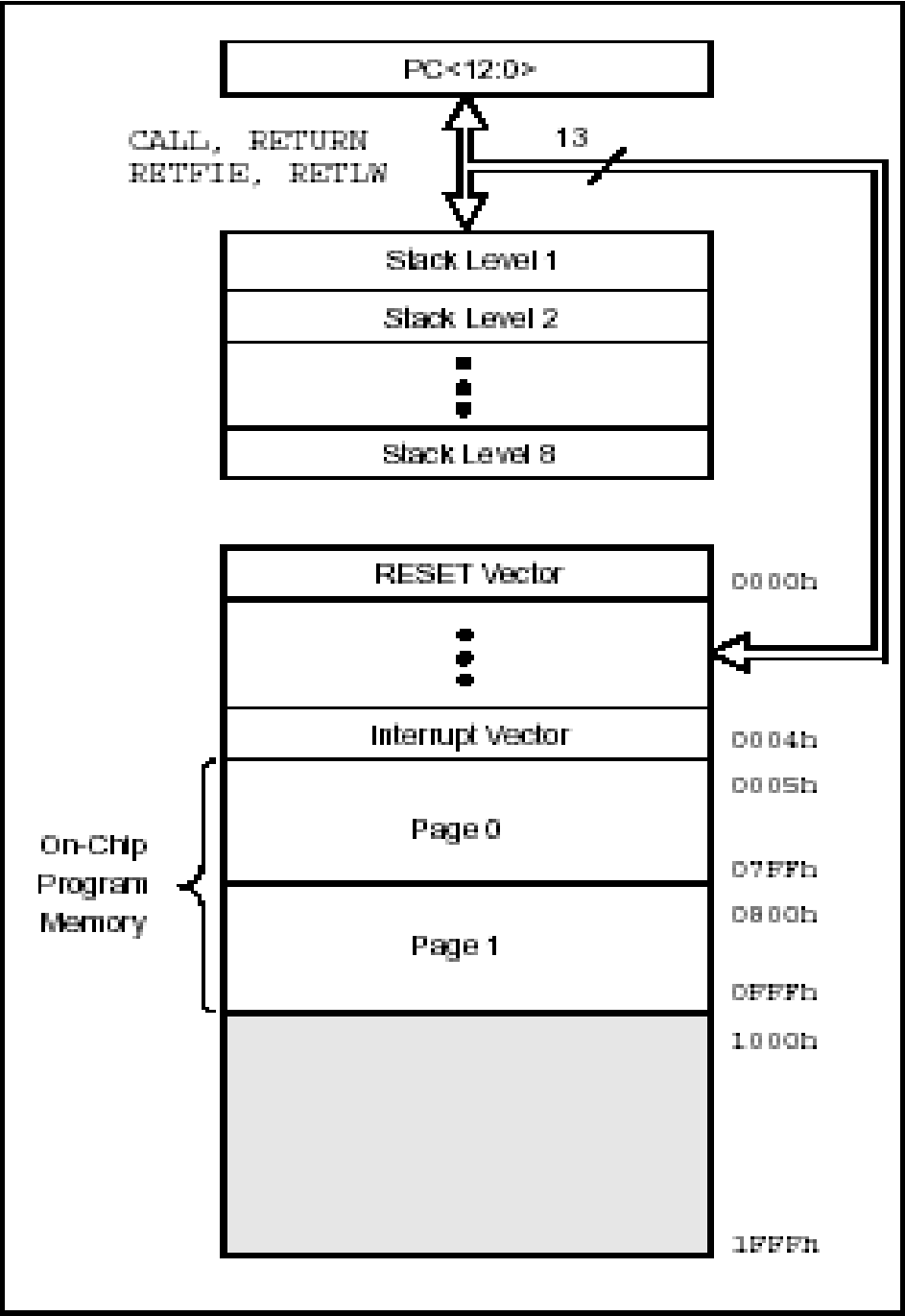


Figura 010

FIGURE 2-4: PIC16F874/873 REGISTER FILE MAP

File Address	File Address	File Address	File Address
Indirect addr. ^(*) 00h	Indirect addr. ^(*) 80h	Indirect addr. ^(*) 100h	Indirect addr. ^(*) 180h
TMR0 01h	OPTION_REG 81h	TMR0 101h	OPTION_REG 181h
PCL 02h	PCL 82h	PCL 102h	PCL 182h
STATUS 03h	STATUS 83h	STATUS 103h	STATUS 183h
FSR 04h	FSR 84h	FSR 104h	FSR 184h
PORTA 05h	TRISA 85h		
PORTB 06h	TRISB 86h	PORTB 106h	TRISB 186h
PORTC 07h	TRISC 87h		
PORTD ⁽¹⁾ 08h	TRISD ⁽¹⁾ 88h		
PORTE ⁽¹⁾ 09h	TRISE ⁽¹⁾ 89h		
PCLATH 0Ah	PCLATH 8Ah	PCLATH 10Ah	PCLATH 18Ah
INTCON 0Bh	INTCON 8Bh	INTCON 10Bh	INTCON 18Bh
PIR1 0Ch	PIE1 8Ch	EEDATA 10Ch	EECON1 18Ch
PIR2 0Dh	PIE2 8Dh	EEADR 10Dh	EECON2 18Dh
TMR1L 0Eh	PCON 8Eh	EEDATH 10Eh	Reserved ⁽²⁾ 18Eh
TMR1H 0Fh		EEADRH 10Fh	Reserved ⁽²⁾ 18Fh
T1CON 10h			
TMR2 11h	SSPCON2 91h		
T2CON 12h	PR2 92h		
SSPBUF 13h	SSPADDD 93h		
SSPCON 14h	SSPSTAT 94h		
CCPR1L 15h			
CCPR1H 16h			
CCP1CON 17h			
RCSTA 18h	TXSTA 98h		
TXREG 19h	SPBRG 99h		
RCREG 1Ah			
CCPR2L 1Bh			
CCPR2H 1Ch			
CCP2CON 1Dh			
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh		
ADCON0 1Fh	ADCON1 9Fh		
General Purpose Register 96 Bytes	General Purpose Register 96 Bytes	accesses 20h-7Fh	accesses A0h - FFh
Bank 0 7Fh	Bank 1 FFh	Bank 2 17Fh	Bank 3 1FFh


 Unimplemented data memory locations, read as '0'.
^{*} Not a physical register.
Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F873.
Note 2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

Figura 011

FIGURE 11-1: A/D BLOCK DIAGRAM

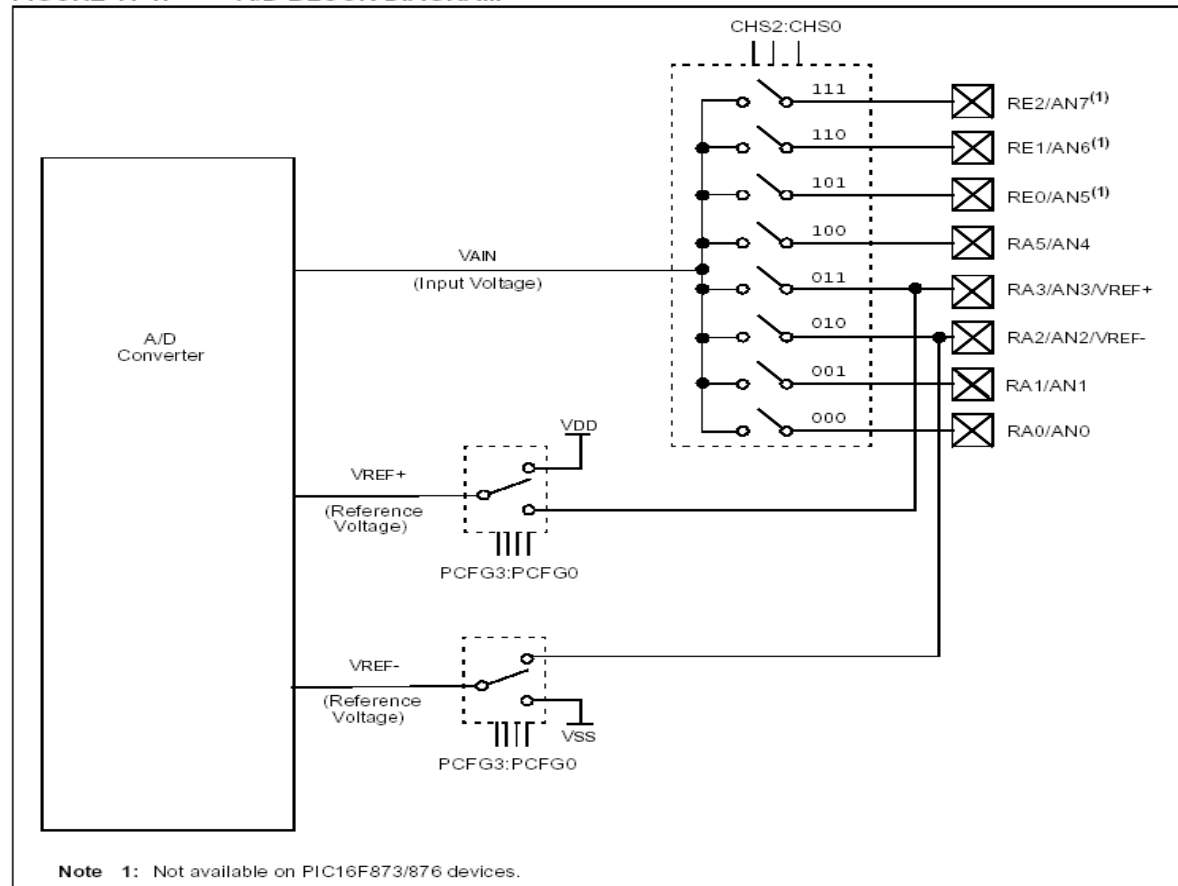


Figura 012

FIGURE 11-2: ANALOG INPUT MODEL

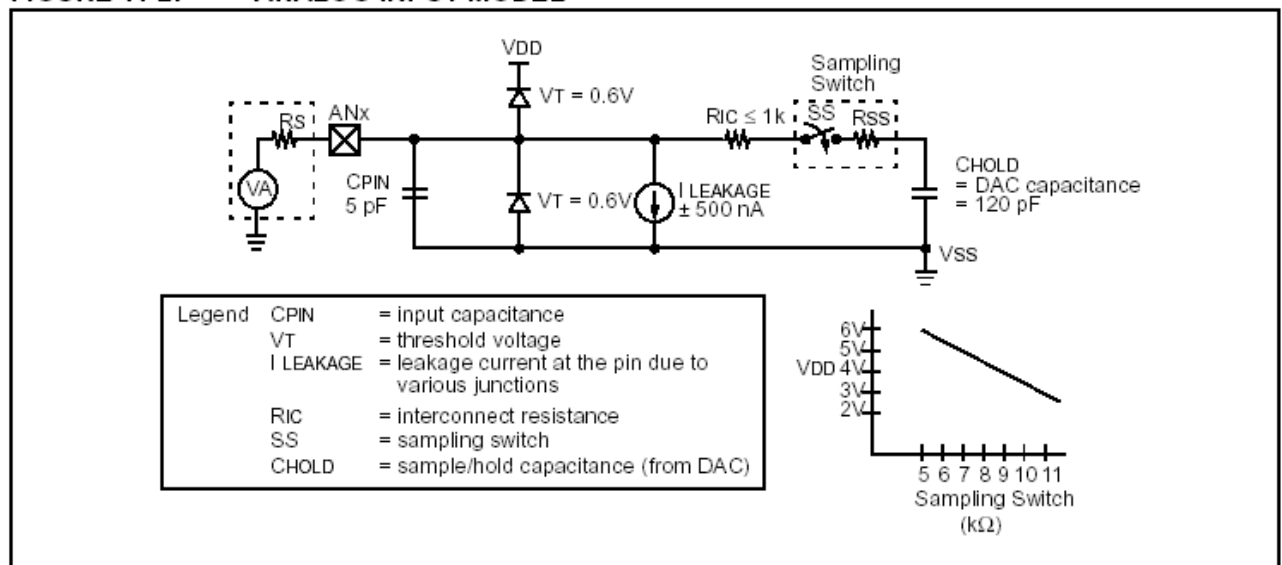


Figura 012A

FIGURE 11-4: A/D RESULT JUSTIFICATION

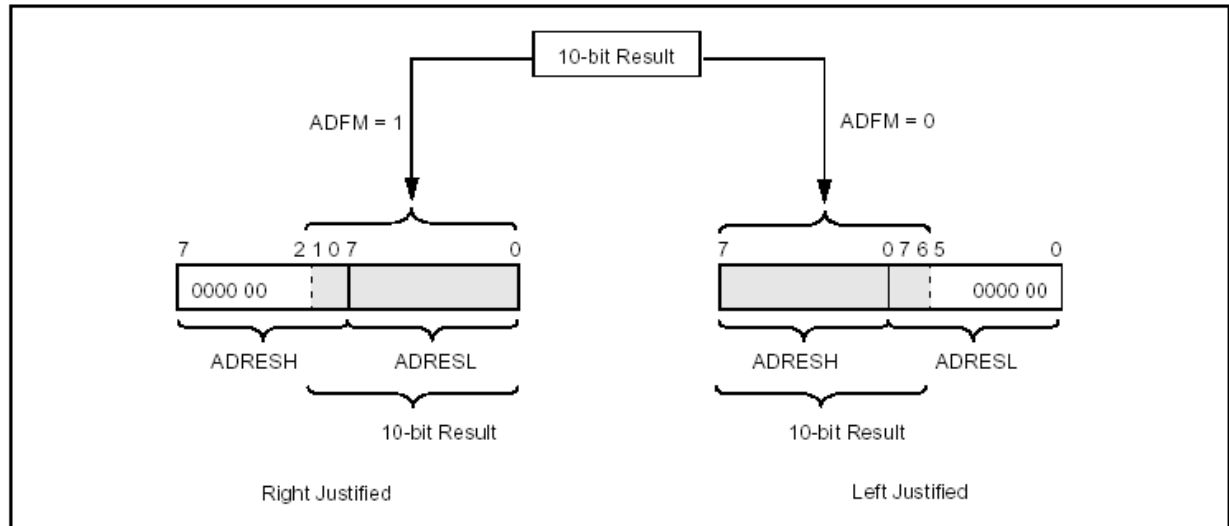


Figura 012B

TABLE 11-2: REGISTERS/BITS ASSOCIATED WITH A/D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on MCLR, WDT
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	0000 00-0
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read						--0x 0000	--0u 0000
89h ⁽¹⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111
09h ⁽¹⁾	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for A/D conversion.

Note 1: These registers/bits are not available on the 28-pin devices.

Figura 012C

Note 1: See Table 12-1 and Table 12-2 for recommended values of C1 and C2.

2: A series resistor (R_s) may be required for AT strip cut crystals.

3: RF varies with the crystal chosen.

FIGURE 12-4: SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM OF ON-CHIP RESET CIRCUIT

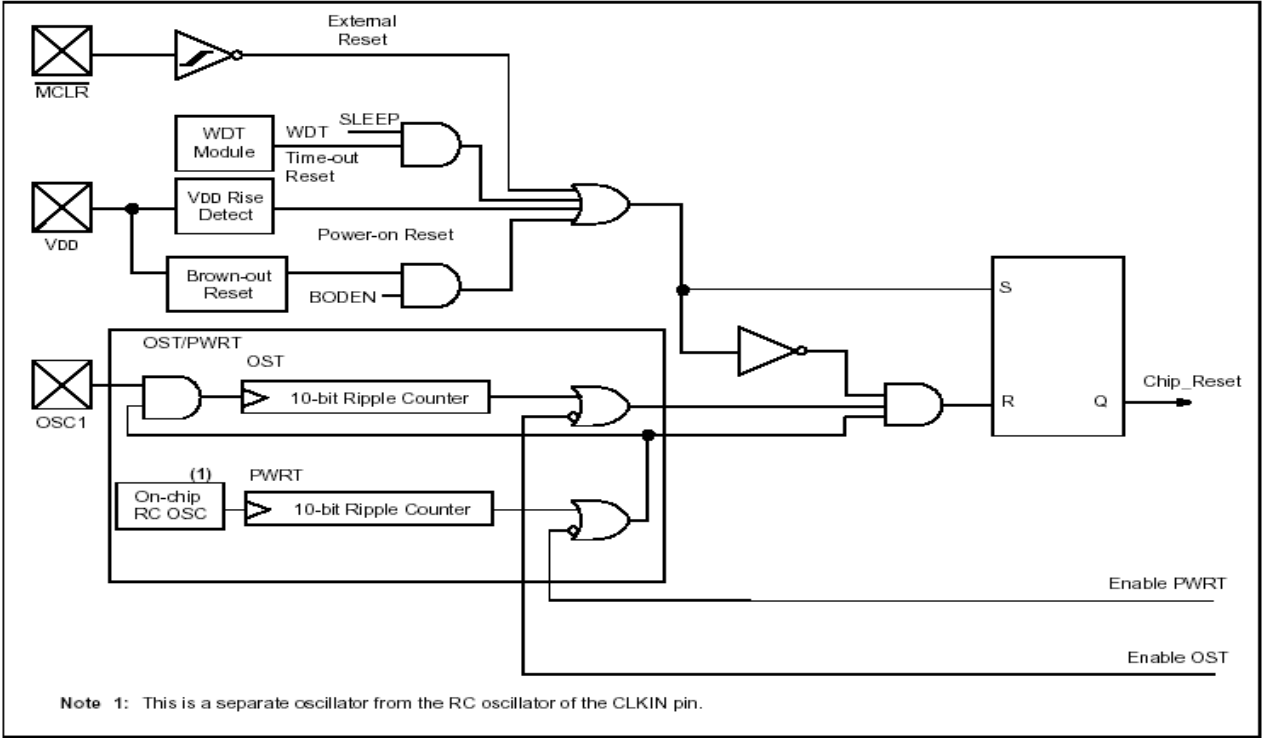
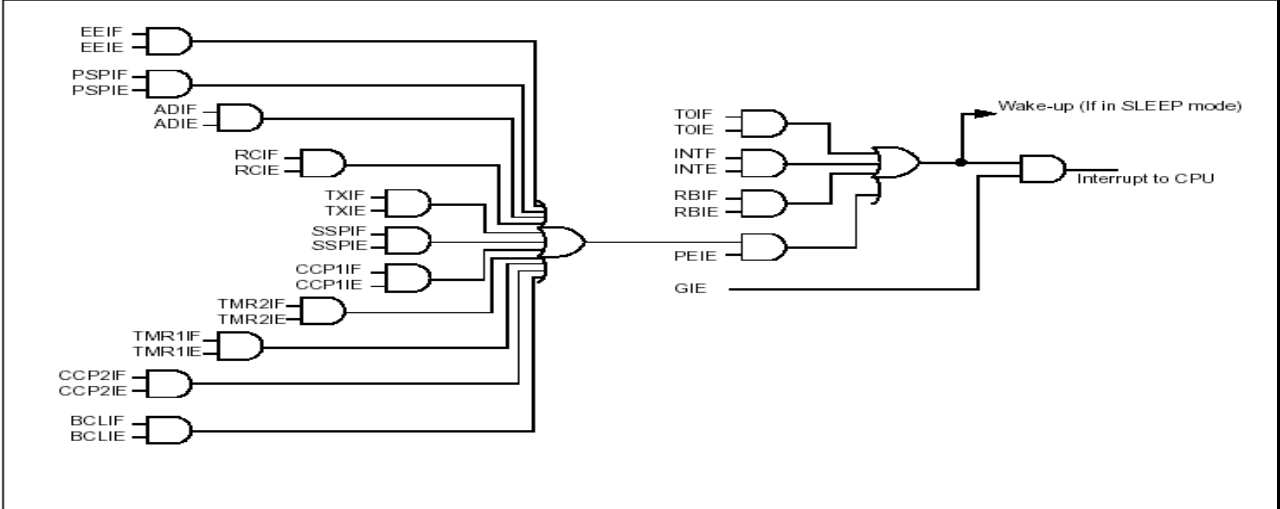


Figura 014

FIGURE 12-9: INTERRUPT LOGIC



The following table shows which devices have which interrupts.

Device	TOIF	INTF	RBIF	PSPIF	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	EEIF	BCLIF	CCP2IF
PIC16F876/873	Yes	Yes	Yes	—	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
PIC16F877/874	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Figura 015

28-Lead Skinny Plastic Dual In-line (SP) – 300 mil (PDIP)

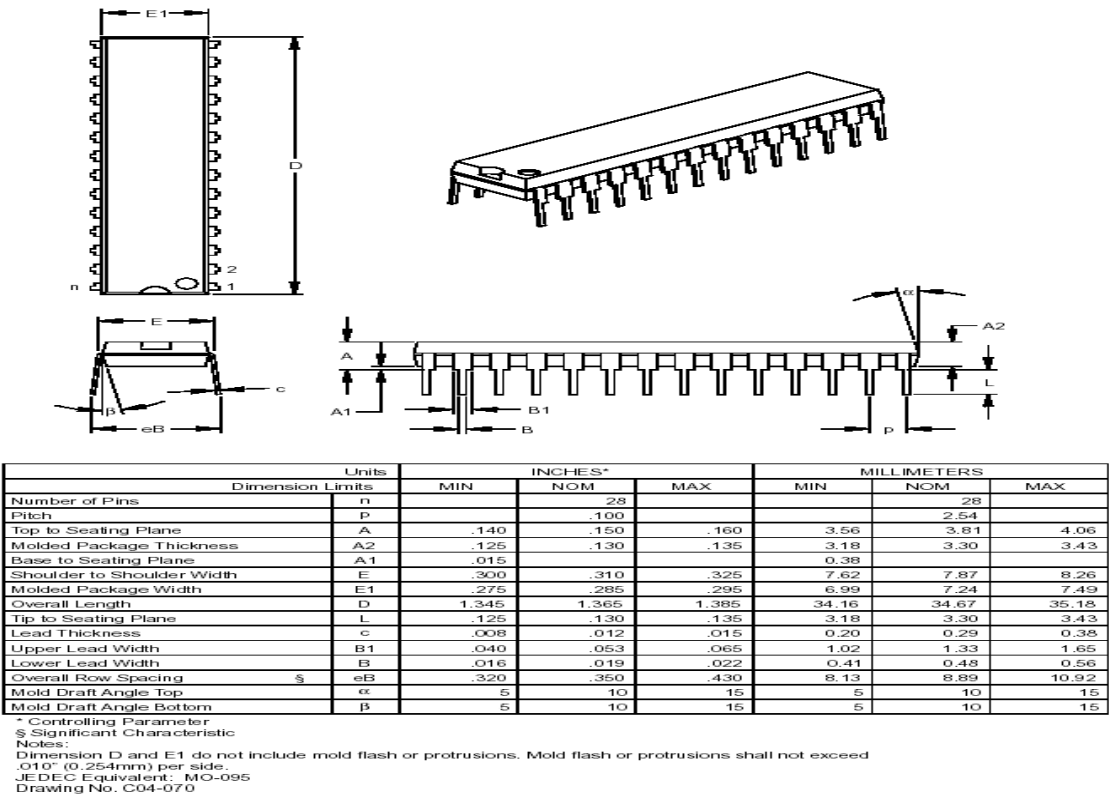


Figura 016

Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPxx5004 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This sensor combines a highly sensitive implanted strain gauge with advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 1.5% Maximum Error for 0 to 100 mm H₂O over +10° to +60°C with Auto Zero
- 2.5% Maximum Error for 100 to 400 mm H₂O over +10° to +60°C with Auto Zero
- 6.25% Maximum Error for 0 to 400 mm H₂O over +10° to +60°C without Auto Zero
- Temperature Compensated over 10° to 60°C
- Available in Gauge Surface Mount (SMT) or Through-Hole (DIP) Configurations
- Durable Thermoplastic (PPS) Package

MPXV5004 MPVZ5004 Series

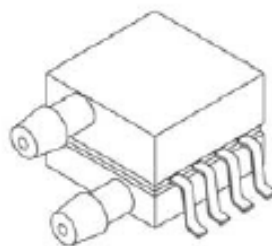
0 to 3.92 kPa
(0 to 400 mm H₂O)
1.0 to 4.9 V Output

Application Examples

- Washing Machine Water Level
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Appliance Liquid Level and Pressure Measurement
- Respiratory Equipment

ORDERING INFORMATION								
Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
		None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Small Outline Package (MPXV5004 Series)								
MPXV5004DP	1351			•		•		MPXV5004DP
MPXV5004GC6T1	482A		•		•			MPXV5004G
MPXV5004GC6U	482A		•		•			MPXV5004G
MPXV5004GC7U	482C		•		•			MPXV5004G
MPXV5004GP	1369		•		•			MPXV5004GP
MPXV5004GPT1	1369		•		•			MPXV5004GP
MPXV5004GVP	1368		•		•			MPXV5004GVP
Small Outline Package (Media Resistant Gel) (MPVZ5004 Series)								
MPVZ5004G6T1	482	•			•			MPVZ5004G
MPVZ5004G6U	482	•			•			MPVZ5004G
MPVZ5004G7U	482B	•			•			MPVZ5004G
MPVZ5004GC6U	482A		•		•			MPVZ5004G
MPVZ5004GW6U	1735		•		•			MZ5004GW
MPVZ5004GW7U	1560		•		•			MZ5004GW

Figura 017



**MPXV5004DP
CASE 1351-01**

Figura 018

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.0 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range	P_{OP}	0	—	3.92 400	kPa mm H ₂ O
Supply Voltage ⁽¹⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	V_{DC}
Supply Current	I_S	—	—	10	mAdc
Span @ 306 mm H ₂ O (3 kPa) ⁽²⁾	V_{FSS}	—	3.0	—	V
Full Scale Span @ 400 mm H ₂ O (3.92 kPa) ⁽²⁾		—	4.0	—	
Offset ⁽³⁾	V_{OFF}	0.75	1.0	1.25	V
Sensitivity	V/P	—	1.0	—	V/kPa
Accuracy ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	0 to 100 mm H ₂ O (10 to 60°C)	—	—	±1.5	% V_{FSS} with auto zero
	100 to 400 mm H ₂ O (10 to 60°C)	—	—	±2.5	% V_{FSS} with auto zero
	0 to 400 mm H ₂ O (10 to 60°C)	—	—	±6.25	% V_{FSS} without auto zero

1. Device is ratiometric within this specified excitation range.
2. Span is defined as the algebraic difference between the output voltage at specified pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
3. Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
4. Accuracy (error budget) consists of the following:
 Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
 Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
 Offset Stability: Output deviation, after 1000 temperature cycles, -30 to 100°C, and 1.5 million pressure cycles, with minimum rated pressure applied.
 TcSpan: Output deviation over the temperature range of 10 to 60°C, relative to 25°C.
 TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 10 to 60°C, relative to 25°C.
 Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} , at 25°C.
5. Auto Zero at Factory Installation: Due to the sensitivity of the MPVZ5004G, external mechanical stresses and mounting position can affect the zero pressure output reading. Autozeroing is defined as storing the zero pressure output reading and subtracting this from the device's output during normal operations. Reference AN1636 for specific information. The specified accuracy assumes a maximum temperature change of ±5°C between autozero and measurement.

Figura 019

Maximum Ratings

Table 2. Maximum Ratings⁽¹⁾

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure ($P_1 > P_2$)	P_{MAX}	16	kPa
Storage Temperature	T_{STG}	-30 to +100	°C
Operating Temperature	T_A	0 to +85	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Figura 020

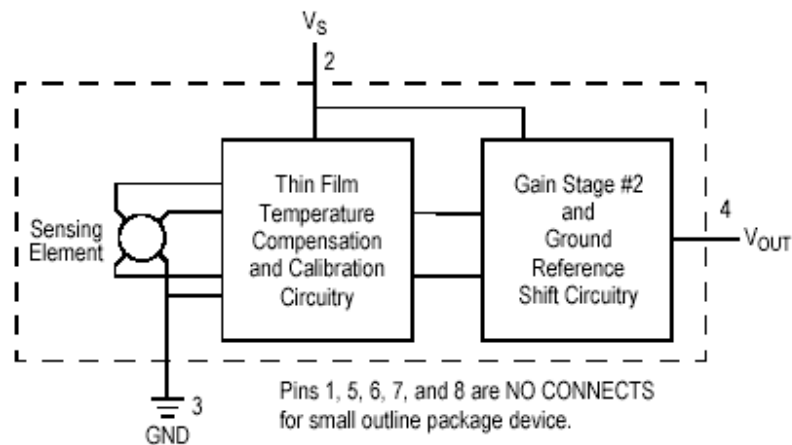


Figure 1. Integrated Pressure Sensor Schematic

Figura 021

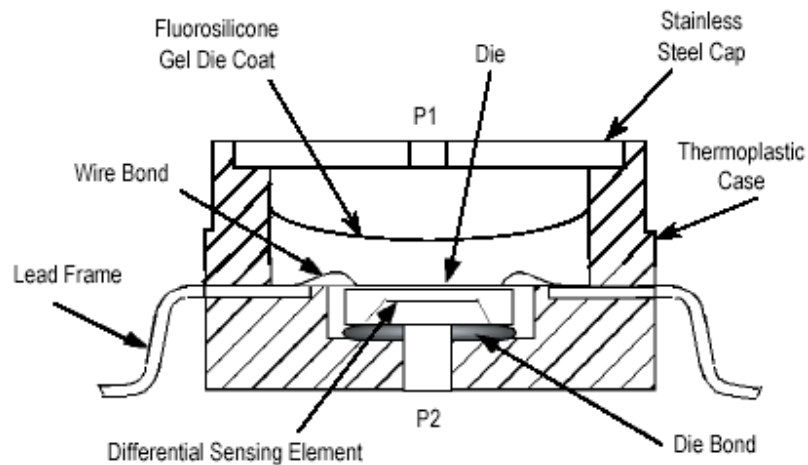


Figure 2. Cross-Sectional Diagram (Not to Scale)

Figura 022

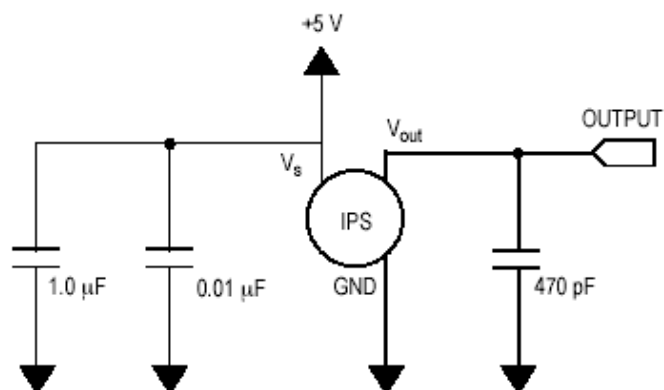


Figure 3. Recommended Power Supply Decoupling and Output Filtering
(For additional output filtering, please refer to AN1646.)

Figura 023

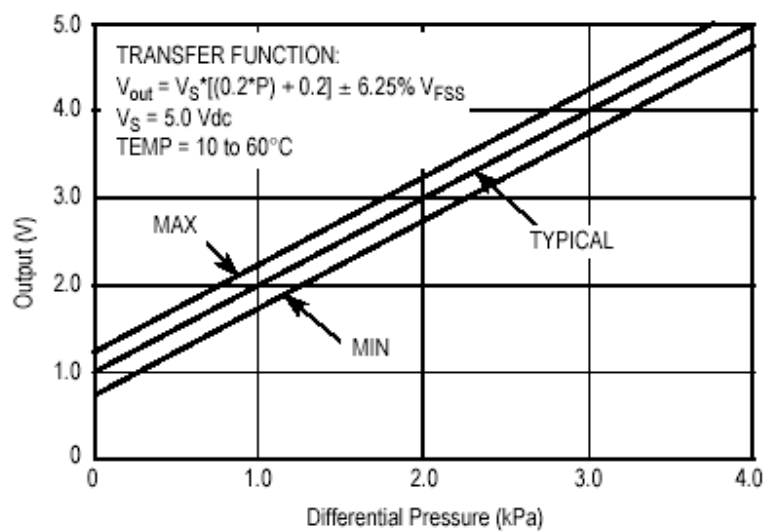
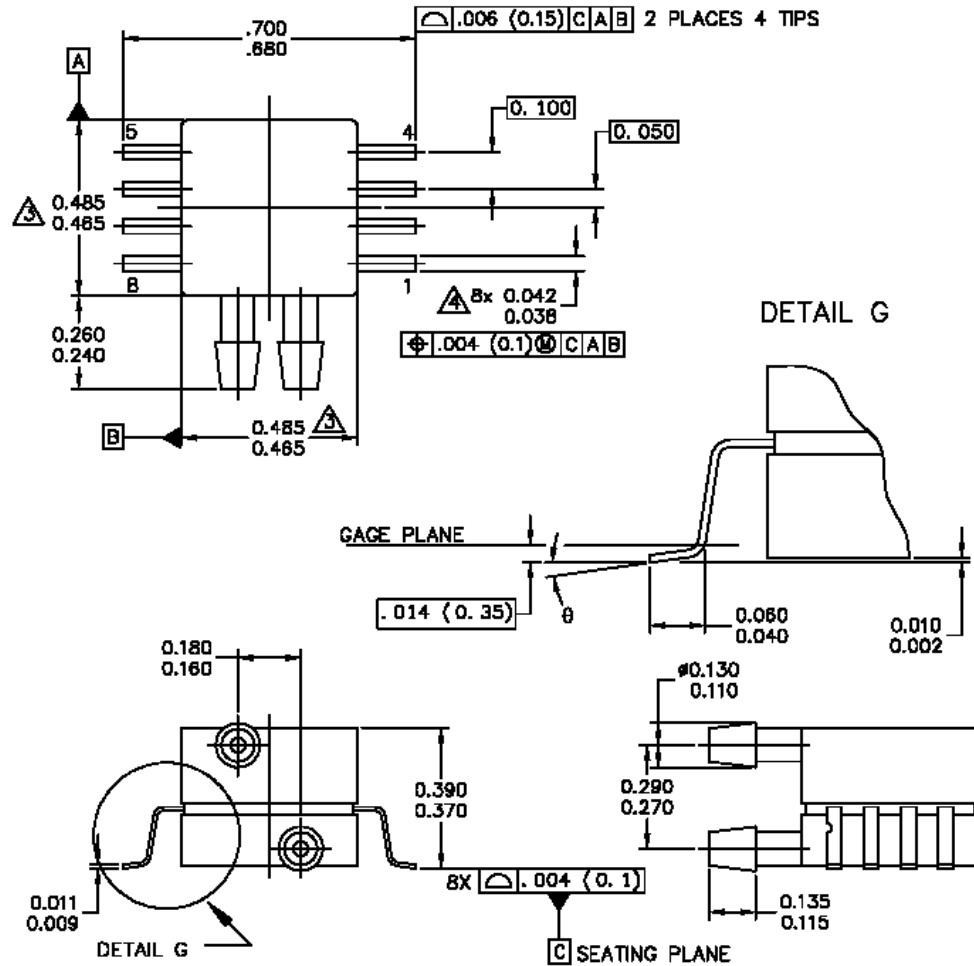


Figura 024

PACKAGE DIMENSIONS



© FREESCALE SEMICONDUCTOR, INC. ALL RIGHTS RESERVED.	MECHANICAL OUTLINE	PRINT VERSION NOT TO SCALE
TITLE: 8 LD SNSR, DUAL PORT	DOCUMENT NO: 98ASA99255D	REV: A
	CASE NUMBER: 1351-01	27 JUL 2005
	STANDARD: NON-JEDEC	

PAGE 1 OF 2

CASE 1351-01
 ISSUE A
 SMALL OUTLINE PACKAGE
 SURFACE MOUNT

MPXV5004G

Figura 025

EM BRANCO

UNICEP – Centro Universitário Paulista



Experimental Airspeed Indicator

VELOCÍMETRO PARA AERONAVES ELETRÔNICO

Documentário Fotográfico

Participantes :
Ivens Alberto Meyer
Igor Rubbo
Lucas Gentil
Pedro Zanoni

São Carlos, 20 de Junho de 2010

Mostra o detalhe da ligação feita por tubos de cobre ligando as tomadas de pressão (Total e Estática) do Pitot-Estático, aos instrumentos.

Observe o detalhe do tubo metálico da esquerda que se ramifica em “Y” para permitir que a pressão estática possa ser encaminhada também para o Altímetro e o Climb. Os dois pequenos tubos plásticos são responsáveis pela emenda entre os tubos que chegam do Pitot-estático para os tubos que irão para os instrumentos



Foto 001

Vista do painel frontal da aeronave Aeroboero AB115T e o Colega, Lucas, realizando as modificações de forma a poder realizar a inclusão de uma nova tubulação que será conectada ao sensor/transdutor de pressão de nosso instrumento VAE. É interessante observar que o espaço é luminosidade são realmente reduzidos, trazendo bastante dificuldade a realização do trabalho.



Foto 002

Detalhe dos tubos de cobre já desconectados, permitindo então que seja instalado duas conexões em forma de “T”, que permitirão a inclusão de dois novos tubos, sendo um de Pressão Total e outro da Pressão Estática.

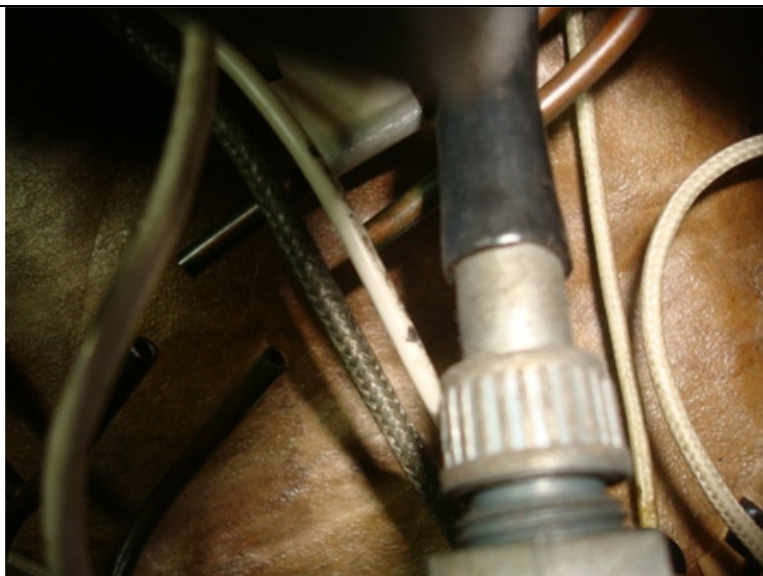


Foto 003

Detalhe dos tubos de plásticos removidos.

Estes dois tubos eram os responsáveis em interligar os tubos de cobre que vinham do Pitot-Estático e os tubos de cobre que vão para os instrumentos.

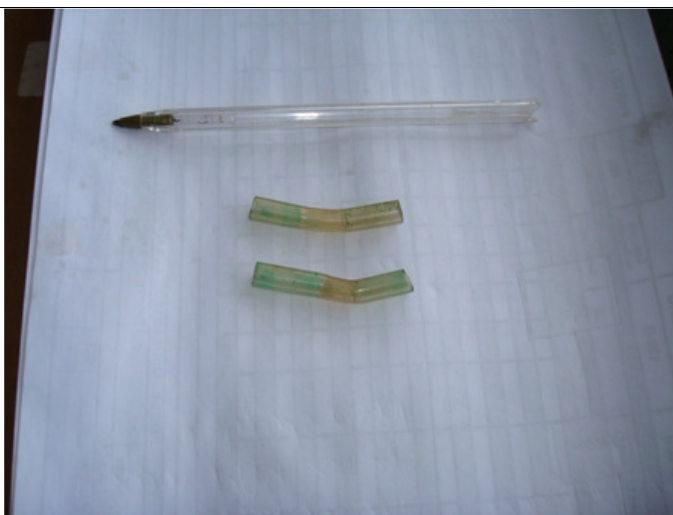


Foto 004

Vista do Sistema Pitot-Estático. Observamos a capa de proteção para evitar que ocorra obstrução do orifício por insetos ou outros objetos estranhos. A tubulação plástica segue por dentro da coluna carenada.



Foto 005

Vista do Sistema Pitot-Estático já com a sua capa de proteção removida. O orifício visto a frente é o responsável em capturar a pressão total (P_T). Na parte traseira poderemos observar a tomada de pressão estática. (P_E).



Foto 006

Vista em detalhes da parte frontal do tubo de Pitot-Estático. Pelo orifício mostrado é capturado a pressão total (P_T)



Foto 007

Vista em detalhe da parte traseira do Sistema Pitot-Estático.
Neste detalhe é possível observar a carreira com diversos furos a 90 graus com a direção do fluxo de ar relativo.



Foto 008

Vista do Sistema Pitot-
Estático. Podemos observar
tanto a parte frontal onde é
tomada da **pressão total**,
como a parte traseira onde é
feita a tomada da **pressão
estática**.



Foto 009

Esquema pneumático
desenhado pelo grupo a
partir da observação feita
nas ligações das tubulações.

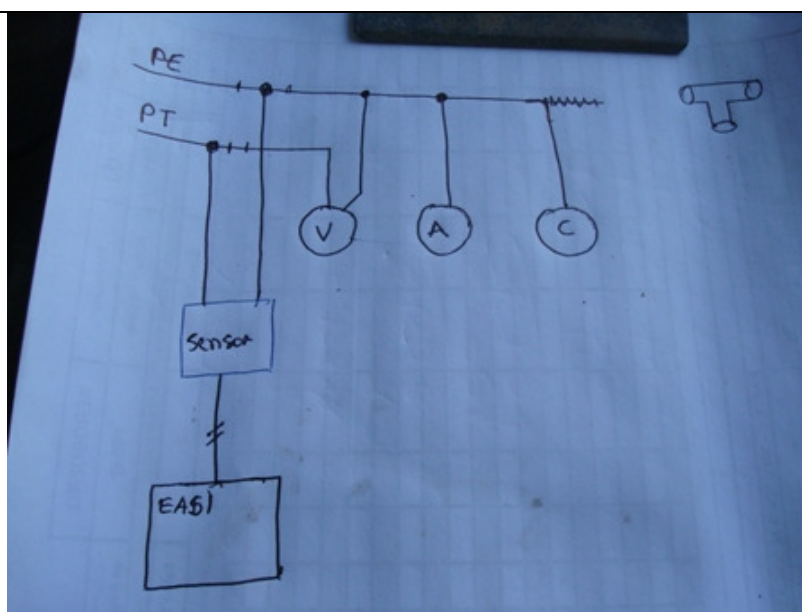


Foto 010

Vista da parte inferior do painel de instrumentos, com o detalhe da ligação da conexão em “T”, já com os dois tubos que serão conectados ao nosso Sistema VAE.



Foto 011

Outra vista das conexões já realizadas com a utilização da conexão em “T” .

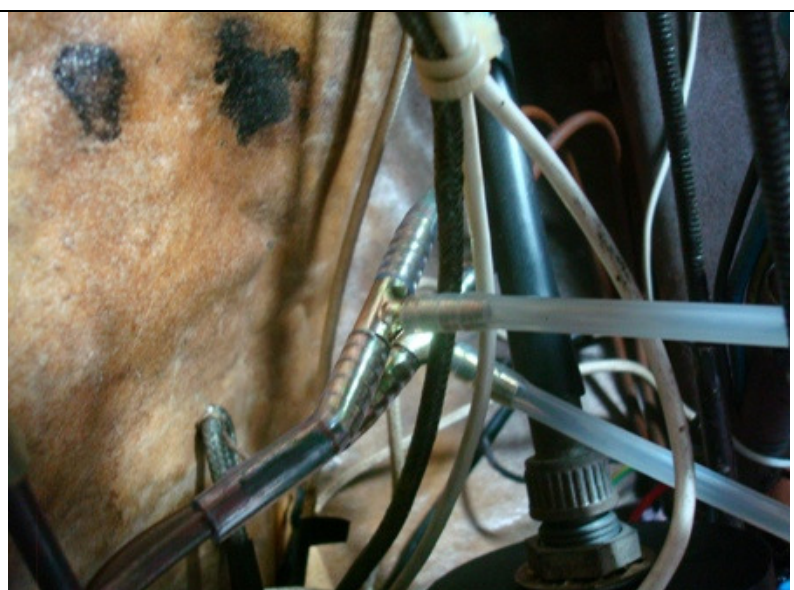


Foto 012

Conexão das novas mangueiras (em azul) na placa do transdutor de pressão MPXV 5004 DP. O sinal elétrico da placa sensora já encontra-se, como pode ser visto na foto, conectada a placa de controle.

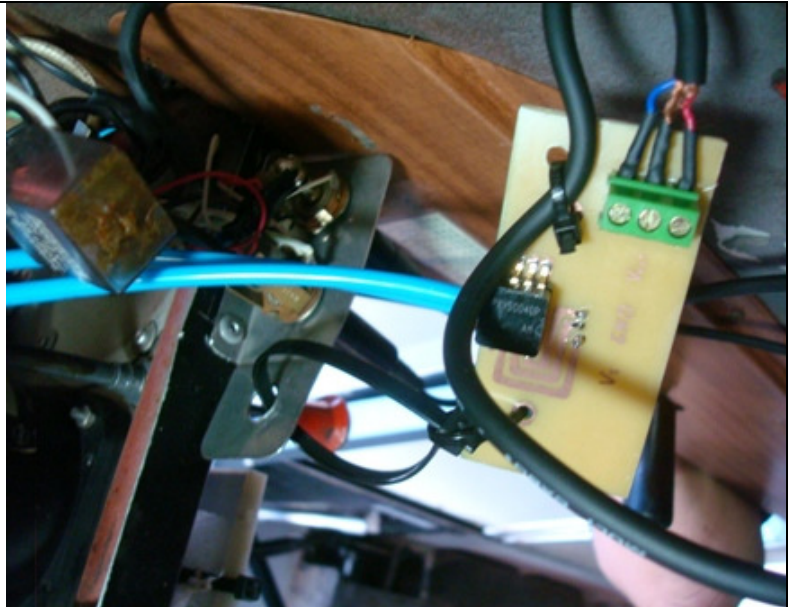


Foto 013

Vista superior da placa eletrônica. A esquerda a fiação elétrica (03 condutores) conectadas ao borne. Do lado inferior central os dois tubos azuis que trazem a P_T e a P_E .

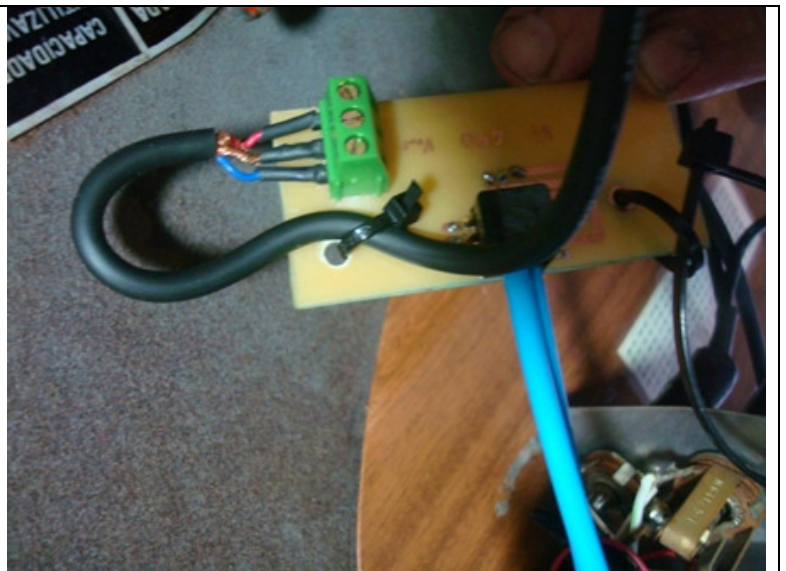


Foto 014

Detalhe da ligação dos dois tubos azuis que trazem as informações de pressão para o transdutor.

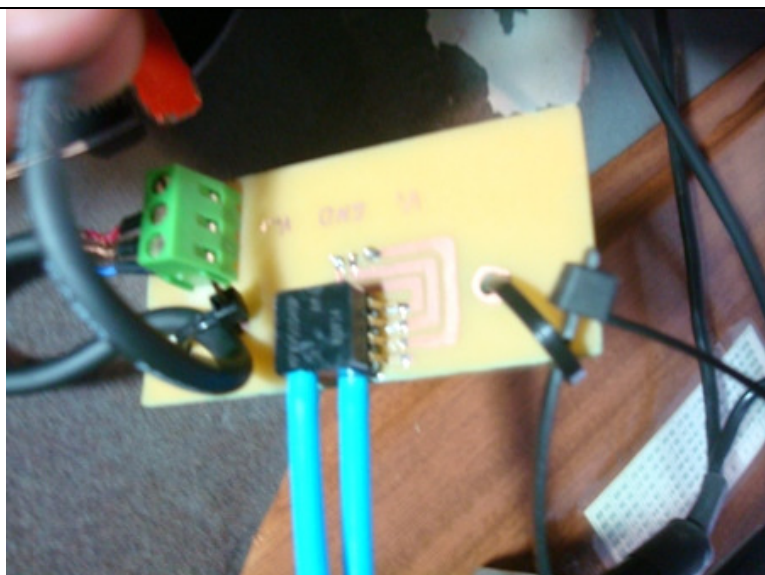


Foto 015

Vista da instalação do módulo de controle, ainda na versão protoboard, preso com ajuda de cintas de nylon e com alimentação provida a partir de bateria própria de 9V.



Foto 016

Tudo pronto para início dos testes em voo.



Foto 017

A tripulação acerta os últimos detalhes realizando um briefing da missão, que terá uma duração de 00:30 hs.



Foto 018

A tripulação acerta os últimos detalhes realizando um briefing da missão, que terá uma duração de 00:30 hs.



Foto 019

A vista em detalhe apresenta o velocímetro eletrônico VAE, e o velocímetro convencional, mostrando que o alinhamento permitirá uma rápida confrontação dos valores apresentados.



Foto 020

Um vista bem aproximada do módulo de controle eletrônico, onde podemos observar os displays, o decodificador a esquerda do display, o Micro-controlador a esquerda e abaixo.

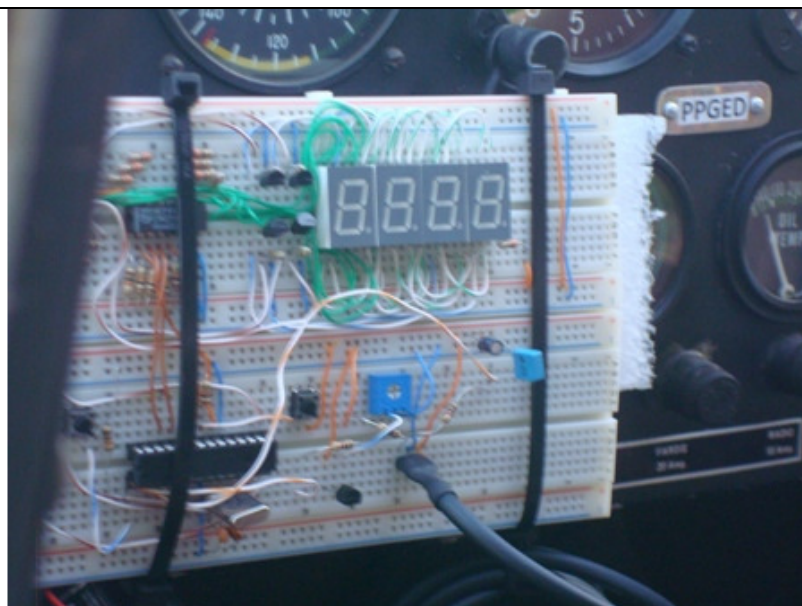


Foto 021

E tem inicio a missão de aferição do sistema eletrônico de medição de velocidade, o VAE.



Foto 022

Nesta foto apresentamos como foi realizado os primeiros testes do sistema. Com o auxílio de uma seringa, foi aplicado uma Pressão Total ao tubo de Pitot-Estático.



Foto 023

Podemos observar o velocímetro da aeronave marcando cerca de 61 Milhas, a partir da pressão total aplicada no Pitot-Estático pela seringa.



Foto 024

A formula utilizada para o calcula da indicação do velocímetro da aeronave é :

$$V_{\text{AERONAVE}} = V_{\text{VAE}} \times K$$

Onde K = 1,802

Logo : $33,2 \times 1,802 =$

59,8Mph



Foto 025

Comemorando os resultados.



Foto 026

Aspecto Final após o vôo de ensaio e aferição.



Foto 027

O trabalho foi coroado de êxito, foi possível observar que o instrumento desenvolvido mesmo com seus erros matemáticos, não diferente do instrumento convencional instalado na aeronave, apresentou um bom resultado.



Foto 027