



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – FATECS
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO
PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO**

Rodrigo de Aragão Bueno

Simulação de sistema híbrido de aquecimento de água

Brasília, 2009

Rodrigo de Aragão Bueno

Simulação de sistema híbrido de aquecimento de água

Prof. Orientador: Carmo Gonçalves

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do UniCEUB como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Brasília, 2009

Autoria: Rodrigo de Aragão Bueno

Título: Simulação de sistema híbrido de aquecimento de água

Monografia apresentada à Banca Examinadora da Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas do UniCEUB como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Brasília, 03 de Julho de 2009

Banca Examinadora

Os componentes da banca de avaliação, abaixo listados, consideram este trabalho aprovado.				
	Nome	Titulação	Assinatura	Instituição
1				
2				
3				

AGRADECIMENTOS

À minha família, pelo incentivo constante.

A minha namorada Renata Lins, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos pela torcida, ajuda e compreensão.

Ao Mestre Carmo Gonçalves que orientou este projeto com profissionalismo.

Aos professores e profissionais do Uniceub que contribuíram para o processo de formação profissional e intelectual.

Acima de tudo a Deus.

RESUMO

Este trabalho apresenta as fundamentações teóricas de transferência de calor aplicadas diretamente um sistema de aquecimento de água integrado com circuitos eletrônicos capazes de identificar a temperatura da água e tomar a decisão de aquecê-la apenas quando for conveniente, com o intuito de mostrar que é possível criar um sistema híbrido de forma a economizar água e energia em sistemas convencionais de aquecimento. Este projeto contempla o desenvolvimento de uma bancada de testes capaz de simular um sistema híbrido de aquecimento de água automático. A bancada desenvolvida é composta por um recipiente de água, um trocador de calor, um sensor de temperatura LM35, um amplificador operacional LM358, um acoplador óptico MOC3020 e um Triac BTB12. Todos estes componentes estão inseridos em um circuito eletrônico ligado a um microcontrolador PIC16F877A, capaz de selecionar o sistema de aquecimento em função da temperatura da água. A bancada de testes possui apenas um sistema de aquecimento. A simulação de um sistema híbrido é devido à água aquecida retornar ao recipiente responsável pelo armazenamento da água, de tal forma que a temperatura da água altere ao longo do processo e a decisão de aquecimento possa ser tomada de forma automática. O sistema desenvolvido mostrou-se eficiente diante dos testes comprobatórios realizados.

Palavras-chave: Trocador de calor; transferência de calor; microcontrolador; Assembly

ABSTRACT

This project presents the theoretical reasons of heat transfer applied directly to the water heating system integrated with electronic circuits capable of identifying the temperature of the water, and when appropriate, heat the water, in order to show that it's possible to create a hybrid system in order to save water and energy in conventional heating systems. This project includes the manufacturing of a test bench capable of simulating an automatic hybrid heating water system. The manufactures bench is compound of a container of water, a heat exchanger, a temperature sensor LM35, an operational amplifier LM358, an optical coupler MOC3020 and a Triac BTB12. All these components are inserted into an electronic circuit connected to a microcontroller PIC16F877A, able to select the heating system depending on water temperature. The test bench has only one heating system. The simulation of a hybrid system is due to the heated water get back into the container of water, so that the water temperature changes during the heating process and the decision of heating can be taken in an intelligent manner. The developed system has proved efficient in face of evidential tests performed.

Keywords: heat exchanger, heat transfer; microcontroller; Assembly

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	IX
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	X
LISTA DE TABELAS	XI
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Motivação	12
1.2 Objetivos	13
1.3 Métodos Utilizados	13
1.4 Metodologia da pesquisa	14
1.5 Estrutura do Trabalho	14
2 FUNDAMENTOS DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR	16
2.1 Resistência Elétrica	16
2.1.1 Dissipação em Resistores	17
2.1.2 O Efeito Joule	18
2.2 Fenômenos de Transferência de Calor	19
2.2.1 Condução	19
2.2.2 Convecção	20
2.2.3 Radiação	21
2.3 Quantidade de Calor (Q)	22
2.3.1 Calor Sensível	22
2.3.2 Calor Latente (L)	24
3 O MICROCONTROLADOR E OS COMPONENTES ELETRÔNICOS	25
3.1 O Microcontrolador PIC16F877A	25
3.1.1 Conversor A/D	27
3.1.2 <i>Watchdog Timer</i> (WDT)	29

3.2 Placa Mclab2.....	30
3.2.1 LCD Alfanumérico.....	31
3.2.2 Display de LEDs com 7 Segmentos.....	31
3.2.3 Teclas e LEDs.....	31
3.2.4 <i>Buzzer</i>	32
3.2.5 Memória E ² PROM Externa	32
3.2.6 Comunicação Serial RS-232.....	32
3.2.7 Sistema de Temperatura.....	33
3.2.8 Conector de Expansão.....	33
3.2.9 Programação <i>In-Circuit</i>	33
3.3 Componentes Eletrônicos	34
3.3.1 Sensor de Temperatura - LM35	34
3.3.2 Amplificador Operacional - LM358	36
3.3.3 Acoplador Óptico MOC3020	37
3.3.4 Triac BTB12	39
3.3.5 Resistência Interna	40
3.3.6 Bomba D'Água.....	41
4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DO PROTÓTIPO	42
4.1 O Desenvolvimento do Software.....	42
4.2 Montagem do Protótipo.....	46
5 RESULTADOS OBTIDOS	49
5.1 Descrição dos Procedimentos e Metodologias de Ensaio	49
5.2 Resultados Obtidos com a Bancada de Teste	50
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
6.1 Conclusão	53

6.2	Dificuldades Encontradas	54
6.3	Sugestões para Projetos Futuros.....	55
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	56
8	APÊNDICE A – PROGRAMA DESENVOLVIDO	58
9	ANEXOS.....	73
	ANEXO A – Sensor de Temperatura LM35	73
	ANEXO B – Smplificador Operacional LM358	80
	ANEXO C – Acoplador Óptico MOC3020	84
	ANEXO D – Triac BTB12	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico / Digital
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BIT	Binary Digit
CCP	Capture compare PWM
LED	Diodo Emissor de Luz
LCD	Liquid Cristal Display
PWM	Pulse Wide Modulate
RAM	Random Access Memory
WDT	Watch Dog Timer

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Pinagem do PIC16F877A.....	26
Figura 3.2 – Kit Mclab2.....	30
Figura 3.3 –Sensor de Temperatura LM35	35
Figura 3.4 – Amplificador Operacional LM358	36
Figura 3.5 – Pinagem do LM358	36
Figura 3.6 – Associação de Resistores	37
Figura 3.7 – Acoplador Óptico Moc3020	38
Figura 3.8 – Pinos do Moc3020	38
Figura 3.9 – Triac BTB12	39
Figura 3.10 – Simulador de Chuveiro Automatico Aberto	40
Figura 3.11 – Simulador de Chuveiro Automatico Fechado	40
Figura 3.12 – Bomba D'água	41
Figura 4.1 – Fluxograma do Programa Desenvolvido	45
Figura 4.2 – Vista Frontal da Bancada de Ensaios	46
Figura 4.3 – Vista De Trás da Bancada de Ensaios	48
Figura 5.1 – LCD Informando que o Chuveiro Está Ligado.	51
Figura 5.2 – LCD Informando que o Chuveiro Está Desligado	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tabela de conversão A/D	28
--	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Atualmente uma das grandes preocupações com o planeta Terra é a preservação do meio ambiente e principalmente o aquecimento global. Percebe-se que se não forem tomadas atitudes rápidas e cada um não fizer a sua parcela de ajuda a degradação do meio ambiente pode ocorrer mais rapidamente. Os bens não-renováveis estão inseridos neste problema e a contribuição para preservar estes bens pode vir de idéias novas, assim como da otimização de processos já existentes.

Os atuais sistemas de aquecimento solar preocupam-se com a eficiência do aquecimento em relação ao tempo em que a água é aquecida e com a temperatura final que a água atinge não se preocupando com a água desperdiçada enquanto a água quente não é totalmente substituída pela água fria que está na tubulação. Os chuveiros elétricos por sua vez têm uma potência muito alta e conseqüentemente um grande consumo de energia elétrica. Se os dois sistemas de aquecimento de água, ou seja, a energia elétrica convencional e o aquecimento solar forem utilizados juntos, é possível economizar água e energia elétrica.

A quantidade de água desperdiçada em uma residência aquecida por um sistema solar ultrapassa 25 litros de água por banho, tendo em vista que a vazão média de um chuveiro residencial é de aproximadamente 25 litros por minuto e considerando que a água quente demore entre 1 e 3 minutos para chegar ao chuveiro. O valor da vazão média do chuveiro, assim como o tempo em que a água quente chega ao chuveiro foram levantados em 3 residências que possuem sistema de aquecimento solar. Em uma residência que possui 2 pessoas que tomam 2 banhos por dia, este desperdício chega a ultrapassar 100 litros de água por dia. Projetos que contribuam para minimizar ou extinguir este desperdício estarão colaborando fortemente para ajudar a conservar um dos nossos bens mais preciosos, a água doce.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é desenvolver experimentalmente um sistema modelo que simule o aquecimento de água de forma híbrida e automática.

Para atingir o objetivo principal, formulam-se os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer os critérios de automação de forma a tomar decisões para que a água seja aquecida com eficiência e rapidez desde o início do escoamento e pare de ser aquecida no momento adequado.
- Estabelecer critérios e metodologias para realizar os experimentos do sistema desenvolvido;
- Estabelecer critério para avaliação técnica e econômica do sistema modelo desenvolvido.
- Estabelecer critérios para garantir o controle da temperatura da água ao longo do processo.
- Desenvolver o programa em linguagem Assembly para garantir os objetivos acima.
- Montar e colocar em operação uma bancada de teste, para demonstrar experimentalmente a funcionalidade do modelo.

1.3 MÉTODOS UTILIZADOS

Para atingir os objetivos propostos, utilizou-se o microcontrolador PIC17F877A e alguns componentes eletrônicos conectados ao mesmo necessários para identificar a temperatura inicial da água escoada e acionar o sistema elétrico e de aquecimento.

Um reservatório foi utilizado para o armazenamento da água e uma bomba foi necessária para a realização dos ensaios deste projeto modelo.

Um sensor de temperatura de precisão LM35 foi utilizado para identificar a temperatura da água e informar instantaneamente a temperatura da água ao microcontrolador. Para a simulação, a água aquecida retorna ao recipiente garantindo assim a variação de temperatura ao longo do circuito de teste. Desse modo o microcontrolador poderá ligar ou desligar a resistência do chuveiro no momento adequado.

É importante ressaltar que este projeto modelo apenas simula um sistema híbrido de aquecimento de água, já que a água aquecida por intermédio de uma resistência elétrica retorna ao recipiente onde a água disponível para o ensaio estará armazenada, de forma a alterar a temperatura da água ao longo do ensaio. Assim é possível tomar a decisão de acionar a resistência elétrica apenas quando houver necessidade. Devido a este fator, não há um sistema solar de aquecimento neste trabalho, este está sendo simulado pela alteração da temperatura da água. Desta forma, é possível mostrar os benefícios da união entre os dois sistemas de aquecimento.

1.4 MÉTODOLOGIA DA PESQUISA

Para a implementação deste projeto, foram realizadas pesquisas bibliográficas em livros e sites da internet, bem como foram realizados diversos testes para a análise dos componentes eletrônicos a serem utilizados no sistema, para garantir a realização dos objetivos.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além desta introdução, o trabalho é constituído por mais cinco capítulos.

No capítulo 2 é dada uma visão geral dos conceitos de transferência de calor no qual se baseia este trabalho.

No capítulo 3 são apresentados o microcontrolador e os hardwares envolvidos no sistema, com o detalhamento da função dos mesmos.

No capítulo 4 são apresentados o desenvolvimento experimental do projeto modelo, o software desenvolvido no projeto e os componentes eletrônicos envolvidos no protótipo necessários para o funcionamento do modelo.

No capítulo 5 são descritos os resultados obtidos e no capítulo 6 são apresentadas as considerações finais, a conclusão, as dificuldades encontradas e as sugestões para projetos futuros.

2 FUNDAMENTOS DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Aqui são apresentados os principais fenômenos físicos presentes no projeto mostrando os conceitos de transferência de calor, resistência elétrica, dissipação em resistores, o efeito joule, quantidade de calor, calor sensível e calor latente, dando maior ênfase aos assuntos fundamentos utilizados neste trabalho.

2.1 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica é a capacidade de um corpo de se opor a passagem da corrente elétrica por ele, quando existir uma diferença de potencial aplicada ao mesmo. O cálculo é dado pela Lei de Ohm que de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), é medida em ohms (RAMALHO, 2003; TIPLER, 2000).

A primeira Lei de Ohm é expressa pela formula 2.1:

$$V = RI \quad (2.1)$$

Onde:

- **V** - é a diferença de potencial elétrico, medida em Volts.
- **R** - resistência elétrica do circuito, medida em Ohms.
- **I** - é a intensidade de corrente elétrica, medida em Amperes.

Quando uma corrente elétrica é estabelecida em um condutor metálico, um número muito elevado de elétrons livres passa a se deslocar nesse condutor. Nesse movimento, os elétrons colidem entre si e também contra os átomos que constituem o metal. Portanto, os elétrons encontram certa dificuldade para se deslocar, isto é, existe uma resistência à passagem da corrente no condutor. Para medir essa resistência, os cientistas definiram uma grandeza que a chamaram de resistência elétrica (RAMALHO, 2003; TIPLER, 2000).

Existem alguns fatores que influenciam diretamente no valor da resistência, são eles:

- A resistência de um condutor é proporcional ao seu comprimento.
- A resistência de um condutor é tanto maior quanto menor for a área da sua seção reta, ou seja, quanto mais fino for o condutor.
- A resistência de um condutor depende do material que ele é feito.

Estes fatores representam a segunda Lei de Ohm que é expressa pela formula 2.2:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

Onde:

- **R** - é a resistência elétrica do circuito, medida em Ohms.
- **ρ** - é a resistividade elétrica do condutor, media em Ohm x metro.
- **L** - é o comprimento do fio, em metros.
- **A** - é a área da secção transversal em m².

2.1.1 DISSIPACÃO EM RESISTORES

Energia elétrica é uma forma de energia muito importante para o ser humano, pois pode facilmente ser transformada em outras modalidades de energia. Existem diversas formas de transformação de energia, como por exemplo, os motores elétricos que convertem energia elétrica em energia mecânica. Neste projeto o foco foi à conversão de energia elétrica em energia térmica. Aquecedores em geral são exemplos de transformação de energia elétrica em energia térmica e este fenômeno é conhecido como efeito Joule. Este nome é devido a James Prescott Joule, um físico britânico que encontrou as relações entre fluxo de corrente, através de uma resistência elétrica e o calor dissipado (RAMALHO, 2003; TIPLER, 2000).

2.1.2 O EFEITO JOULE

Esse fenômeno ocorre devido o encontro dos elétrons da corrente elétrica com as partículas do condutor. Os elétrons sofrem colisões com átomos do condutor, parte da energia cinética (energia de movimento) do elétron é transferida para o átomo aumentando seu estado de agitação, conseqüentemente sua temperatura. Assim, a energia elétrica é transformada em energia térmica (calor) (RAMALHO, 2003; TIPLER, 2000).

A descoberta da relação entre eletricidade e calor trouxe ao homem vários benefícios. Muitos aparelhos utilizados no dia-a-dia têm seus funcionamentos baseados no efeito Joule, um exemplo é o chuveiro elétrico, que é aquecido por intermédio de uma resistência elétrica e é a fonte de calor utilizada para este trabalho.

A lei de Joule pode ser expressa pela formula 2.3:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.3)$$

Onde:

- **Q** - é o calor gerado por uma corrente constante percorrendo uma determinada resistência elétrica por determinado tempo. Sua unidade é o Joule.
- **I** - é a corrente elétrica que percorre o condutor com determinada resistência *R* e é medida em Amperes.
- **R** - é a resistência elétrica em Ohms do condutor.
- **t** - é a duração ou espaço de tempo em que a corrente elétrica percorreu o condutor e é medido em segundos.

2.2 FENÔMENOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Quando dois corpos com temperaturas distintas são colocados próximos um do outro em um mesmo ambiente, ou em contato, há uma troca de energia térmica entre eles. Pode-se verificar então que, ao longo do tempo, eles passam a ter a mesma temperatura, ou seja, atingir o equilíbrio térmico. O corpo que apresentava temperatura mais alta perde energia térmica, enquanto o outro corpo ganha energia e tem sua temperatura elevada (INCROPERA, 2003; SCHMIDT, 1996).

Os processos pelos quais ocorre transferência de calor são:

- Condução
- Convecção
- Radiação

2.2.1 CONDUÇÃO

Sempre que houver diferença de temperatura em uma substância, seja ela sólida ou líquida, o calor fluirá da região de temperatura mais alta para a região de temperatura mais baixa. A condução de calor é um processo que depende de um meio material, por isso não ocorre no vácuo. Este fenômeno se dá por meio de condução térmica e o calor será conduzido molécula a molécula por vibração molecular. Naturalmente neste projeto ocorrerá troca de calor molécula a molécula, mas o principal processo de transferência de calor é a convecção (SCHMIDT, 1996; TAVEIRA, 2008).

A equação 2.4 expressa que a quantidade de calor (Q) transferida durante uma hora, numa parede de superfície (A), é diretamente proporcional à diferença de temperatura (interior e exterior) e inversamente proporcional à espessura da parede (SCHMIDT, 1996; TAVEIRA, 2008).

$$\frac{Q}{\Delta t} = -k.A \frac{(t_i - t_e)}{e} \quad (2.4)$$

Onde:

- **Q/ΔT** - é a quantidade de calor transferido por unidade de tempo (Kcal/h ou W).
- **K** - é a condutibilidade térmica do material (kcal/h.m. °C)
- **A** - é a superfície de transferência em m².
- **ti** - representa a temperatura interior em °C.
- **te** - representa a temperatura exterior em °C.
- **e** - é a espessura da parede em metros

2.2.2 CONVECÇÃO

A convecção é transferência de calor em um fluido devido ao movimento deste fluido de uma posição para outra. A convecção é o movimento de massa de um fluido, trocando de posição entre si. Portanto não há sentido falar em convecção no vácuo, ou em um sólido. Convecção ocorre apenas entre fluidos. A convecção pode ocorrer de forma natural, ou forçada (INCROPERA, 2003; SCHMIDT, 1996; TAVEIRA, 2008).

A convecção natural acontece quando o movimento do fluido ocorre de forma espontânea, devido à diferença de densidade causada pela variação de temperatura no fluido. Um exemplo de convecção natural é o sistema de aquecimento solar, onde a água circula devido a diferença de densidade entre a água aquecida na tubulação e a água que está no boiler. Outro exemplo são as correntes marítimas, que ocorrem devido a diferença de temperatura de uma determinada região para outra do

oceano. Quando o movimento do fluido é originado por um agente externo, como uma hélice ou uma bomba, a convecção é forçada (INCROPERA, 2003; KREITH, 2003; POTTER, 2006; SCHMIDT, 1996; TAVEIRA, 2008).

No caso deste trabalho, a convecção é forçada, pois o movimento do fluido é causado por um agente externo, uma bomba.

Para efetuar cálculos de transmissão de calor por convecção, utiliza-se a equação 2.5 a seguir:

$$\frac{Q}{\Delta t} = h.A(t_p - t_f) \quad (2.5)$$

Onde:

- **Q/ΔT** - é a quantidade de calor transferido por unidade de tempo (Kcal/h ou W).
- **h** - é o coeficiente de transferência por convecção (kcal/m².h. °C)
- **A** - é a superfície de transferência em m².
- **tp** - é a temperatura da placa em contato com o fluido em °C.
- **tf** - é a temperatura do fluido em °C.

2.2.3 RADIAÇÃO

A radiação é a transferência de energia térmica que não necessita de meio para se propagar. É desta forma que ocorrem trocas de energia no espaço. A energia solar, por exemplo, chega até a terra por meio de radiação (INCROPERA, 2003; POTTER, 2006; SCHMIDT, 1996).

Esse tipo de transferência de calor para os estudos deste projeto modelo não é relevante e, por isso, não foi considerado neste projeto.

2.3 QUANTIDADE DE CALOR (Q)

“Calor é definido como energia em trânsito devido à diferença de temperatura e que não está associada com a transferência de massa.” (SCHMIDT, 1996, p. 20).

Para representar a quantidade de calor trocado entre corpos utiliza-se a letra “Q”. A unidade de medida utilizada no Sistema Internacional de Unidades é o Joule (J), e a unidade mais utilizada no dia-a-dia é a caloria (cal). A relação entre Joule e caloria é: $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.

Por convenção, quando um corpo cede calor, a quantidade de calor Q é negativa e quando um corpo recebe calor, Q é positiva.

Todo corpo tem certa quantidade de energia interna que esta relacionada ao movimento de seus átomos ou moléculas. Os sólidos líquidos e gases apresentam constantes vibrações em suas partículas, onde, a soma destas vibrações constitui a energia térmica do mesmo. Esta energia térmica é diretamente à proporcional temperatura do corpo. Se dois corpos ou fluidos distintos estiverem em contato e possuírem diferente temperatura, eles trocam energia interna até a temperatura ser equalizada (INCROPERA, 2003; KREITH, 2003; POTTER, 2006; SCHMIDT, 1996).

2.3.1 CALOR SENSÍVEL

Calor sensível é aquele que provoca alteração na temperatura sem que haja mudança de fase. Neste trabalho ocorre apenas calor sensível, já que a água aquecida não atingirá o ponto de ebulição.

Capacidade térmica (C): é uma característica do corpo e não das substancias que o constituem. Ela determina a variação térmica deste corpo ao receber determinada quantidade de calor. O valor da capacidade térmica corresponde à quantidade de calor (recebida ou cedida) que leva a uma variação de 1°C na temperatura do corpo (INCROPERA, 2003; POTTER, 2006; SCHMIDT, 1996).. É dada pela relação da quantidade de calor recebida por um corpo e a variação de temperatura sofrida pelo mesmo. É representada pela letra C e é

medida em calorias por grau Celsius (cal/°C) ou cal oria por Kelvin (cal/K), conforme equação 2.6:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.6)$$

Onde:

- **C** - é a Capacidade térmica,
- **Q** - é a quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo;
- **ΔT** - é a variação de temperatura sofrida pelo corpo, ou seja, é a temperatura final menos a temperatura inicial.

Calor específico (c): é uma característica da substancia e não do corpo, ao contrario da capacidade térmica. Corresponde à capacidade especifica de uma substancia de mudar a sua temperatura ao receber ou liberar calor, para cada grama de massa. Isto quer dizer que a capacidade térmica de um corpo é dada pelo calor específico da substância que compõe e sua massa. O calor especifico é representado pela relação da capacidade térmica do corpo pela sua massa (INCROPERA, 2003; KREITH, 2003; SCHMIDT, 1996).. É representado pela equação 2.7 e a letra c (minúscula) e é medido em cal/g. °C ou cal/g. K.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2.7)$$

Ou substituindo o $Q / \Delta T$ por C, temos a equação 2.8:

$$c = \frac{C}{m} \quad (2.8)$$

Onde:

- **c** - é o calor específico;
- **C** - é a capacidade térmica;
- **m** - é a massa.

2.3.2 CALOR LATENTE (L):

É a quantidade de calor que a substância troca por grama de massa durante a mudança de estado físico. É representado pela letra L. É medido em caloria por grama (cal/g) (INCROPERA, 2003; POTTER, 2006; SCHMIDT, 1996). Neste projeto não ocorre Calor Latente.

Para calcular o calor latente é necessário utilizar a expressão 2.9:

$$Q = m \cdot L \quad (2.9)$$

Onde:

- **Q** - é a quantidade de calor recebida ou cedida pelo corpo;
- **m** - é a massa do corpo;
- **L** - calor latente.

3 O MICROCONTROLADOR E COMPONENTES ELETRÔNICOS

O capítulo 3 apresenta o microcontrolador utilizado para execução do projeto modelo, assim como os seus periféricos externos.

O microcontrolador está inserido em um kit didático da Mosaico Engenharia Eletrônica, denominado de Mclab2, que é detalhado em um sub-item dedicado a esta placa.

3.1 MICROCONTROLADOR PIC16F877A

O PIC 16F877A da Microship Technology é um microcontrolador de 40 pinos que permite a montagem de um hardware complexo capaz de executar diversas funções ao mesmo tempo. Como não é possível explorar a fundo todos os recursos disponíveis neste microcontrolador, a seguir são apresentadas as principais funcionalidades disponíveis. São focados os recursos que foram utilizados neste projeto (SOUZA, 2005).

Inicialmente apresentam-se os recursos envolvidos neste chip e como eles se dividem nos pinos do microcontrolador.

Os recursos disponíveis para o PIC16F877A são os seguintes:

- Via de programação com 14 bits e 35 instruções;
- 33 portas configuráveis pelo programador como entrada ou saída;
- Memória de programa E²PROM FLASH, que permite a gravação diversas vezes no mesmo chip, sem a necessidade de apagar-lo previamente;
- Memória de programa de 8Kwords, que pode ser alterada pelo próprio código interno;
- Memória E²PROM não volátil interna, com tamanho de 256 bytes;
- Memória de *Random Access Memory* (RAM) com 368 bytes;

- Três timers, 2 de 8 bits e 1 de 16 bits;
- Comunicações seriais: SPI, I²C e USART;
- Conversor analógico digital de 10 bits;
- Dois modos *Capture*, *Compare PWM* (CCP);
- Programação In-circuit;
- Power-on-reset (POR) interno;
- Brown-on-reset (BOR) interno;

A figura 3.1 apresenta a pinagem do microcontrolador PIC17F877A.

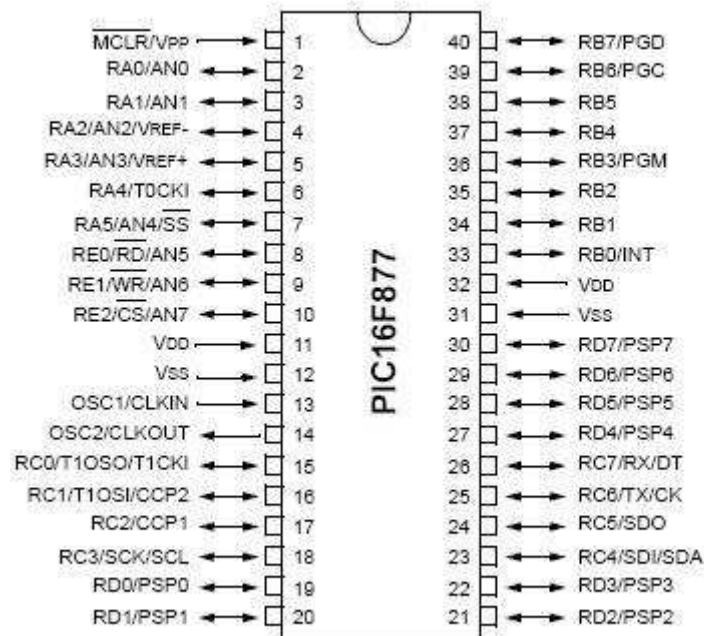


Figura 3.1 – Pinagem do PIC16F877A

Fonte: <http://www.futurlec.com/Pictures/PIC16F874A-877A.GIF>

Para a finalidade deste trabalho o microcontrolador identifica a temperatura da água através do sensor de temperatura conectado ao pino RA2, referente ao conversor analógico digital (A/D), toma a decisão de ligar a resistência ou desligá-la de acordo com a temperatura de entrada.

3.1.1 CONVERSOR A/D

No mundo real, as variáveis são analógicas, ou seja, os dados a serem medidos como tensão, temperatura, ou um sinal qualquer, podem assumir diversos valores. Os sistemas digitais trabalham apenas com informações digitais. O PIC16F877A possui dois conversores A/D internos e um deles é a ferramenta de entrada para o sensor de temperatura (SOUZA, 2005).

Mas, como o microcontrolador recebe esta informação analógica e a transforma em digital? Por incrível que pareça, este PIC trata a conversão de uma maneira simples e direta, denominada conversor de aproximação sucessiva.

Os dois conversores A/D deste PIC são de 10 bits, mas só podem ser usados um de cada vez. Este projeto utiliza apenas um conversor, que está disponível no conector de expansão. Para este projeto são utilizados apenas 8 bits do conversor A/D, pois cada registrador deste microcontrolador é composto por 8 bits, logo seriam necessários 2 registradores para resolver os 10 bits sendo que em um deles apenas 2 bits seriam utilizados (SOUZA, 2005).

A menor resolução de um conversor A/D pode ser expressa pela seguinte formula:

$$\text{Resolução} = V_{\text{ref}} / 2^n \quad (3.1)$$

Onde:

- **Vref** - é uma tensão de referencia, em Volts.
- **n** - é o número de bits do conversor.

Por exemplo: Se o Vref for 5 volts e a quantidade de bits for 8, como neste caso, a menor resolução permitida é $5/2^8 = 0,01953$. Ou seja, a menor resolução permitida seria de 19,53mV.

A conversão é feita bit a bit e vem do mais significativo para o menos significativo, sendo que o bit mais significativo representa a metade da tensão de referencia. Conhecendo este valor (0 ou 1), sabe-se que o valor da entrada é maior ou menor que a metade da tensão de referencia. Depois de conhecer o valor deste bit passa para o próximo. Este bit representa a metade da metade do bit testado

anteriormente, neste caso $\frac{1}{4}$ do valor de referencia. A conversão segue assim bit a bit até chegar ao bit menos significativo (SOUZA, 2003, 2005). Suponha a conversão com 8 bits e a tensão de referencia de 5V. A tabela 3.1 mostra como é feita a conversão.

Tabela 3.1 – Tabela de conversão A/D

Bit	Tensão representada
8	2,5V
7	1,25V
6	0,625V
5	0,3125V
4	0,15625V
3	0,078125V
2	0,0390625V
1	0,01953125V

Para conversão de uma tensão de entrada de 3,8V, por exemplo, o procedimento seria o seguinte:

1. Bit mais significativo: A tensão é maior que 2,5V? Sim, bit igual a 1.
2. Próximo bit: A tensão é maior que 3,75V (2,5V+1,25V)? Sim, bit igual a 1.
3. Próximo bit: A tensão é maior que 4,375V (2,5V+1,25V+0,625V)? Não, bit igual a 0.
4. Próximo bit: A tensão é maior que 4,0625V (2,5V+1,25V+0,3125V)? Não, bit igual a 0.
5. Próximo bit: A tensão é maior que 3,90625V (2,5V+1,25V+ 0,15625V)? Não, bit igual a 0.
6. Próximo bit: A tensão é maior que 3,828125V (2,5V+1,25V+ 0,078125V)? Não, bit igual a 0.
7. Próximo bit: A tensão é maior que 3,7890625V (2,5V+1,25V+ 0,0390625V)? Sim, bit igual a 1.
8. Próximo bit: A tensão é maior que 3,80859375V (2,5V+1,25V+ 0,0390625V+ 0,01953125V)? Não, bit igual a 0.

O valor final desta conversão em binário é: 11000010.

Esta forma de conversão é bem rápida, pois para converter n bits são necessárias n interações.

3.1.2 **WATCHDOG TIMER (WDT)**

Este recurso é um contador interno do microcontrolador que possui um *clock* independente. O Pic possui um contador de registro interno só para operação com WDT, ou seja, seu tempo de incremento é constante independente do oscilador utilizado para gerar o *clock* de máquina. O tempo normal de estouro é de aproximadamente 18 ms, mas pode variar de acordo com a tensão de alimentação e temperatura ambiente. Um fator interessante é que o programador não pode acessar este registrador para leitura nem para escrita, mas pode utilizar o comando *CLRWDT* para zerar o WDT. Este recurso é muito importante, pois se o WDT estourar, o sistema é automaticamente reiniciado, tornando este recurso muito importante para evitar travamentos no sistema em determinadas situações (SOUZA, 2003, 2005).

O WDT pode ser ligado ou desligado ao iniciar as configurações do hardware e esta configuração não pode ser alterada durante a execução do programa.

Este recurso foi utilizado neste projeto modelo com duas finalidades: a primeira é aguardar o estouro do WDT antes de entrar no loop principal para garantir a estabilização do sistema e das portas de entrada e saída. A segunda finalidade foi para evitar travamento ao longo do programa principal e caso isso aconteça ou o programa trave, um estouro do WDT irá ocorrer e o programa irá reiniciar automaticamente. Para garantir que o WDT não estoure durante o funcionamento normal do programa, uma instrução *CLRWDT* foi chamada no início do *loop* principal do programa. O detalhe é que o *loop* principal deve ocorrer em menos de 18 ms para que o programa não reinicie por estouro do WDT em caso de um funcionamento normal, por isso devem-se tomar as devidas precauções para utilizar este recurso.

3.2 PLACA MCLAB2

Esta placa possui todos os hardwares necessários para utilizar os recursos disponíveis no PIC16F877A, com esta placa o usuário é capaz de criar projetos completos com a facilidade de utilizar diversos dispositivos eletrônicos conectados diretamente às portas de entrada e saída através do conector de expansão disponível na placa.

A figura 3.2 a seguir apresenta o Kit de desenvolvimento utilizado.

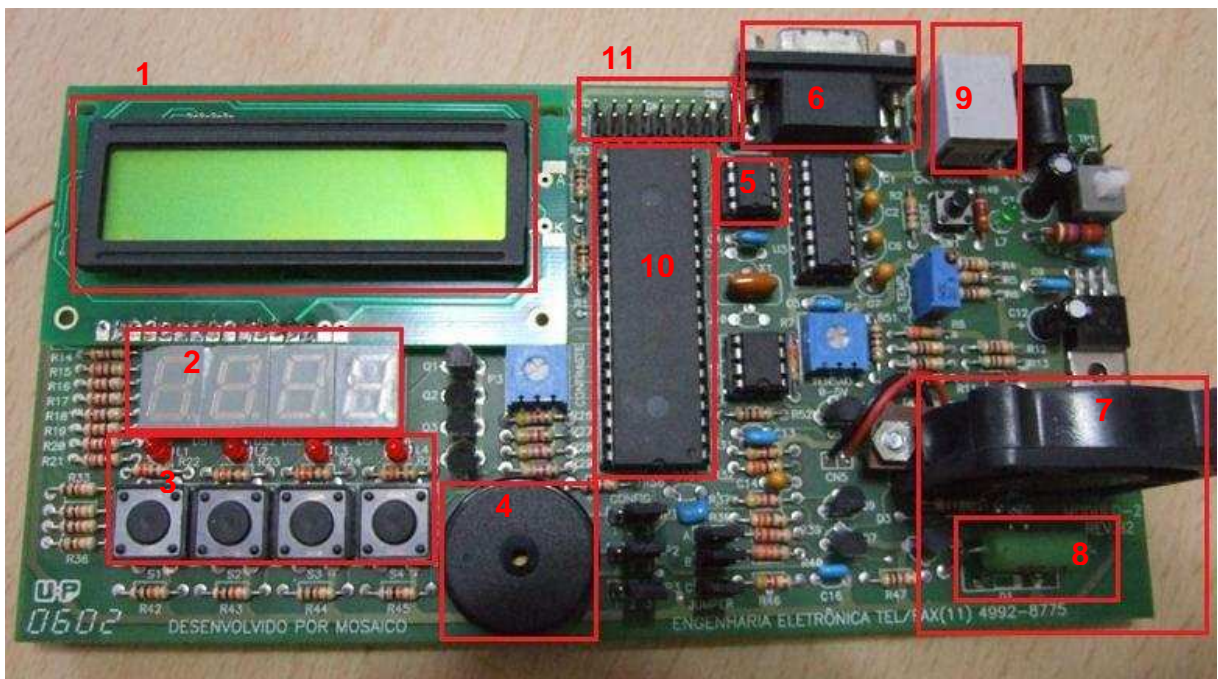


Figura 3.2 – Kit Mclab2

- 1 – Display *Liquid Cristal Display* (LCD) alfanumérico;
- 2 – 4 Displays de 7 segmentos;
- 3 – 4 Botões e 4 leds;
- 4 – *Buzzer*;
- 5 – Memória E²PROM externa;
- 6 – Comunicação serial RS232;
- 7 – *Cooler* para sistema de resfriamento;
- 8 – Resistor para sistema de aquecimento;
- 9 – Conector para gravação *In-Circuit*;
- 10 – Microcontrolador PIC 17F877A;
- 11 – Conector de expansão.

3.2.1 DISPLAY LCD ALFANUMÉRICO

A placa citada possui um display LCD alfanumérico de 2 linhas de 16 caracteres cada uma que é um tipo padrão de display LCD. Este componente possui um controle próprio o qual se comunica através de protocolo específico, utilizando *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) (SOUZA, 2005).

Para este trabalho, o display de LCD foi utilizado para mostrar a temperatura da água e informar se a resistência está ligada ou desligada.

3.2.2 DISPLAYS DE LEDS COM 7 SEGMENTOS

O display de 7 segmentos é outra forma de interagir com o usuário e possui a vantagem de ser bem mais barato em relação ao display de LCD. Um display de 7 segmentos custa em torno de R\$ 3,50 enquanto um display de LCD custa em torno de R\$ 25,00. Por isso em alguns projetos a utilização de display de 7 segmentos é mais viável que outro tipo de display mais robusto. Em alguns projetos utiliza-se a combinação dos dois tipos de displays, o que também é possível para esta placa. Neste trabalho não foi utilizado o display de 7 segmentos (SOUZA, 2005).

3.2.3 TECLAS E LEDS

O kit Mclab2 possui 4 teclas e 4 leds programáveis. Um fator interessante é que as teclas e os leds estão conectados na mesma porta, para que o programador possa economizar recursos do microcontrolador. Estes dispositivos não estão sendo utilizados neste trabalho. Um led externo inserido na bancada de teste foi utilizado em série com a resistência elétrica permitindo a visualização do funcionamento do resistor (SOUZA, 2005).

3.2.4 BUZZER

Para chamar a atenção do usuário os sistemas cada vez mais utilizam mais o uso de técnicas sonoras. Para isso a placa possui um *buzzer* sonoro conectado direto ao PIC. Neste trabalho não houve a necessidade de utilizar o *buzzer* (SOUZA, 2005).

3.2.5 MEMÓRIA E ²PROM EXTERNA

Alem da memória E ²PROM interna do PIC, a placa Mclab2 possui uma memória externa do tipo serial, modelo 24C04 que oferece 512 bytes disponíveis ao programador. A conexão deste componente é diretamente ligada aos pinos do PIC (SOUZA, 2005). Para este projeto modelo não foi necessária a utilização desta memória externa, pois a memória interna do PIC possui 96 bytes disponíveis para o programador o que é suficiente para atender aos requisitos do projeto.

3.2.6 COMUNICAÇÃO SERIAL RS-232

Este recurso permite interagir a placa com o microcomputador. Seja para entrada de dados ou para coleta de informações. Este recurso é muito comum e de grande abrangência quando se fala de programação em microcontrolador. Este componente foi utilizado apenas para gravação do software no microcontrolador (SOUZA, 2005).

3.2.7 SISTEMA DE TEMPERATURA

O kit Mclab2 vem com um sistema de identificação de temperatura. Uma resistência que funciona como um atuador de aquecimento e um cooler que funciona como um atuador de resfriamento (SOUZA, 2005). Para este trabalho, o sistema de identificação de temperatura e o sistema de aquecimento são externos à placa Mclab2.

3.2.8 CONECTOR DE EXPANSÃO

Este é o recurso chave da placa Mclab2, pois permite que o projeto não esteja limitado aos recursos da placa e sim acoplar componentes eletrônicos externos e comunicar-se com o microcontrolador (SOUZA, 2005). No caso deste projeto, o conector de expansão é utilizado para conectar o microcontrolador ao sensor de temperatura, através do pino RA2 e também conectar a saída para a resistência, através do pino RC1.

3.2.9 PROGRAMAÇÃO *IN-CIRCUIT*

Para que não seja necessário tirar o microcontrolador da placa toda vez que um programa for alterado, o kit oferece este tipo de gravação diretamente no hardware. A gravação é feita ligando a placa diretamente a saída serial do microcomputador e é possível inserir o programa desenvolvido no microcontrolador sem a necessidade de remoção da placa, o que torna a gravação mais segura (SOUZA, 2005).

Todos estes componentes estão disponíveis para uso na placa, no entanto neste projeto utiliza o display alfanumérico e o conector de expansão, que dispões de todas as entradas e saídas necessárias.

3.3 COMPONENTES ELETRÔNICOS

Nesta sessão são apresentados os componentes eletrônicos necessários para a identificação da temperatura da água e acionamento do sistema elétrico de aquecimento assim como a bomba d'água utilizada para permitir o fluxo de água durante os ensaios. As informações técnicas dos componentes eletrônicos utilizados foram extraídas do manual do fabricante disponível nos anexos deste trabalho. A resistência elétrica e a bomba d'água não necessitam de manual técnico, já que são ligados diretamente na rede elétrica.

3.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA - LM35

O LM35 é um sensor de temperatura de precisão ao qual a sua voltagem no pino de saída é linearmente proporcional a temperatura em graus Celsius. A figura 3.3 mostra o sensor de temperatura utilizado.

3.3.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358

O LM358 consiste em um circuito eletrônico que amplifica um sinal de entrada até o limite de sua tensão de alimentação. O componente utilizado possui 2 amplificadores independentes, no entanto apenas um foi utilizado para o projeto modelo. A figura 3.4 mostra o amplificador operacional.



Figura 3.4 – Amplificador Operacional LM358

Fonte: <http://www.soldafria.com.br/loja/images/LM358.jpg>

A figura 3.5 a seguir mostra a alimentação e a pinagem do LM358.

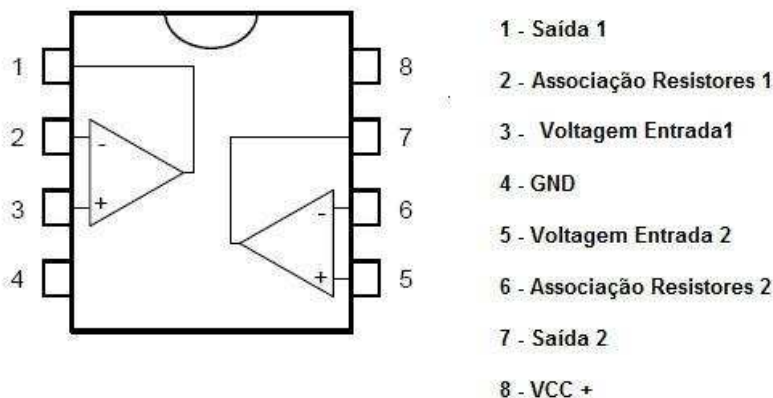


Figura 3.5 – Pinagem do LM358

De acordo com a associação de resistores nos pinos 2 ou 5, a tensão de saída é amplificada de acordo com a seguinte fórmula:

$$V_{\text{Saída}} = (1 + R_{eq1}/R_{eq2}) \times V_{\text{Entrada}} \quad (3.2)$$

Para este trabalho a associação de resistores foi montada conforme a figura 3.6.

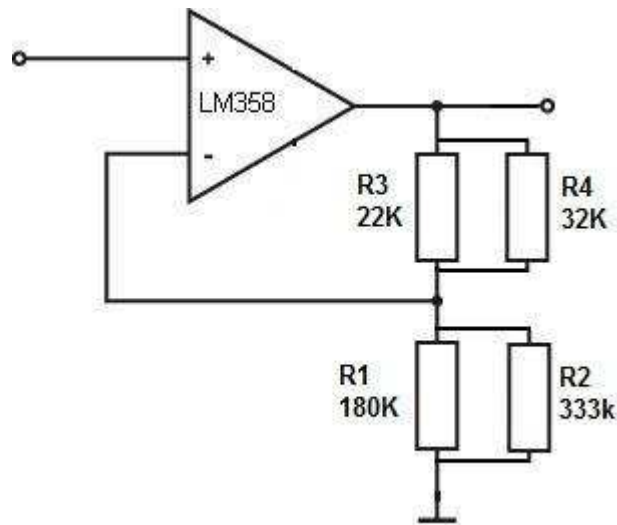


Figura 3.6 – Associação de resistores

Para este projeto modelo, a resistência equivalente entre R1 e R2 é de 116,84K ohm e a resistência equivalente entre R3 e R4 é de 13,03K ohm. Com isso a relação entre a resistência equivalente 1 e a resistência equivalente 2 é 8,97. Utilizando-se esta relação na fórmula, o amplificador operacional proporcionou um sinal de saída 9,97 vezes maior que o sinal de entrada, alterando a escala para 0,1V para cada grau de temperatura. O objetivo de utilizar o amplificador foi para o microcontrolador operar numa faixa entre 2 a 5 V e não em escala de mV.

Todos os componentes eletrônicos apresentados acima compõem o sistema de entrada de dados e estão ligados em baixa tensão (5V) A seguir, são apresentados a parte de potência, ligada em 220V.

O Anexo A2 traz o *datasheet* do LM358, contendo as informações do fabricante.

3.3.3 ACOPLADOR ÓPTICO MOC3020

O Moc3020 é um acoplador óptico isolador para triac. Seu principal objetivo é isolar o microcontrolador, que trabalha em 5V, da rede de energia elétrica, 220V. O

Moc3020 contém um dispositivo emissor de infravermelho através de um diodo, que ao receber um sinal de nível lógico 1 (5V) aciona um diac, que por sua vez aciona o triac que está conectado a este diac. A figura 3.7 mostra o acoplador óptico utilizado.



Figura 3.7 – Acoplador Óptico Moc3020

Fonte: <http://www.futurlec.com/Pictures/MOC3020.jpg>

A seguir a figura 3.8 mostra o diagrama referente aos pinos do Moc3020.

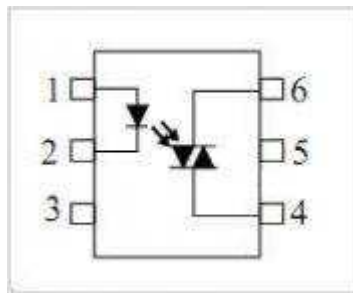


Figura 3.8 – Pinos do Moc3020

Fonte: <http://www.cricklewoodelectronics.com/Cricklewood/image.php?type=T&id=18170>

Os pinos 1 e 2 são a interface com o microcontrolador e o terra, respectivamente. Eles representam o diodo emissor de infra vermelho. O diac é representado pelos terminais 4 e 6. A alimentação deste dispositivo é proveniente da saída do microcontrolador, neste caso RC1.

O Anexo A3 traz o *datasheet* do Moc3020, contendo as informações do fabricante.

3.3.4 TRIAC BTB12

O Triac é um dispositivo usado para chavear corrente alternada. Ele possui três terminais: MT1, MT2 e o Gate. MT1 e MT2 são os terminais de ligação com a rede elétrica e à carga, respectivamente e o Gate é conectado ao Moc3020 e pode ser disparado ao receber um sinal lógico do diac do moc3020.

A figura 3.9 mostra o Triac BTB12.



Figura 3.9 – Triac BTB12

Fonte: <http://www.soldafria.com.br/loja/images/TO-220.gif>

Para este trabalho, o Triac é responsável para ligar ou desligar a resistência, ao receber a informação do Moc3020.

O Anexo A4 traz o *datasheet* do Triac BTB12, contendo as informações do fabricante.

3.3.5 RESISTÊNCIA INTERNA

Para aquecer a água, foi utilizada uma resistência de chuveiro de 2.200W de potência ligada ao terminal MT2 Triac. Esta resistência foi inserida em um recipiente de acrílico para realizar a troca de calor no fluido escoado. Este recipiente possui uma entrada e uma saída de água, onde na tubulação de entrada de água está o sensor de temperatura, conforme figura 3.10 a seguir:

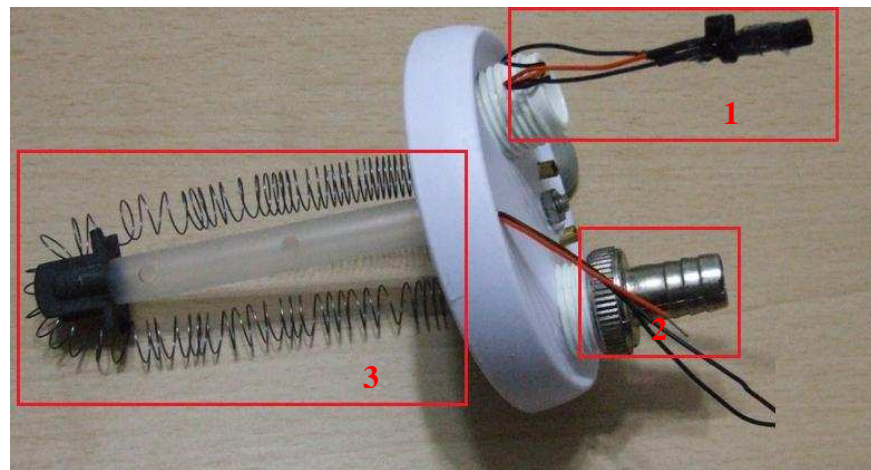


Figura 3.10 – Simuladora de chuveiro automático aberto

Onde:

- 1 – Tubulação de entrada com sensor de temperatura;
- 2 – Tubulação de saída;
- 3 – Resistência elétrica.

A figura 3.11 ilustra o recipiente fechado:

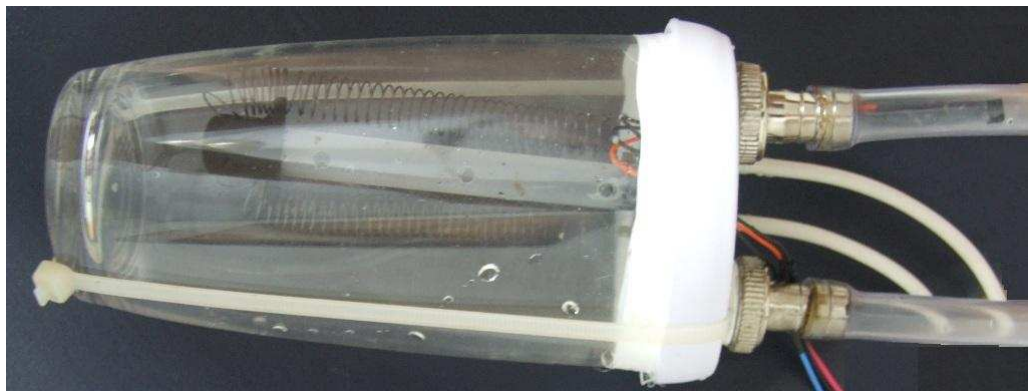


Figura 3.11 – Simuladora de chuveiro automático fechado

3.3.6 BOMBA D'ÁGUA.

A função da Bomba de Água é fornecer pressão suficiente ao fluido de forma que este circule pelo sistema, passando pela resistência e retornando ao recipiente de origem, garantindo assim a continuidade do fluxo de água sob aquecimento, que é um dos objetivos deste trabalho.

A bomba utilizada é uma bomba centrífuga e possui as seguintes características técnicas:

- **Voltagem de entrada:** 220V VAC
- **Vazão média:** 300 ml por segundo
- **Potência:** 25 Wats.

A figura 3.12 a seguir ilustra a bomba utilizada neste trabalho:



Figura 3.12 – Bomba d'água

4 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

O capítulo 4 foi dividido em 2 partes. A seção 4.1 apresenta como o software foi desenvolvido e a seção 4.2 mostra a montagem dos componentes na bancada de teste.

4.1 O DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

Após a descrição do hardware e das interfaces que compõem o protótipo no capítulo anterior, será apresentado o sistema desenvolvido para a implementação do presente projeto.

Para este projeto o modelo foi utilizado apenas um software que foi desenvolvido para atender aos objetivos do projeto que foi inserido na memória do microcontrolador.

Este software é responsável por toda a automação do projeto modelo. Primeiramente todas as configurações dos hardwares e dos dispositivos conectados ao microcontrolador são executadas. Em seguida, o conversor A/D é configurado para o canal RA2 do microcontrolador.

Depois do hardware estar configurado para receber as informações de entrada e tomar a decisão para a saída, uma rotina de limpeza da memória RAM interna é executada, para garantir que não fique nenhum lixo na memória. Em seguida, uma rotina para iniciar o display de LCD é executada de acordo com as indicações do fabricante.

O *loop* principal só é executado após o estouro do WDT, para garantir a estabilização do sistema, conforme sub-item dedicado a este recurso do microcontrolador.

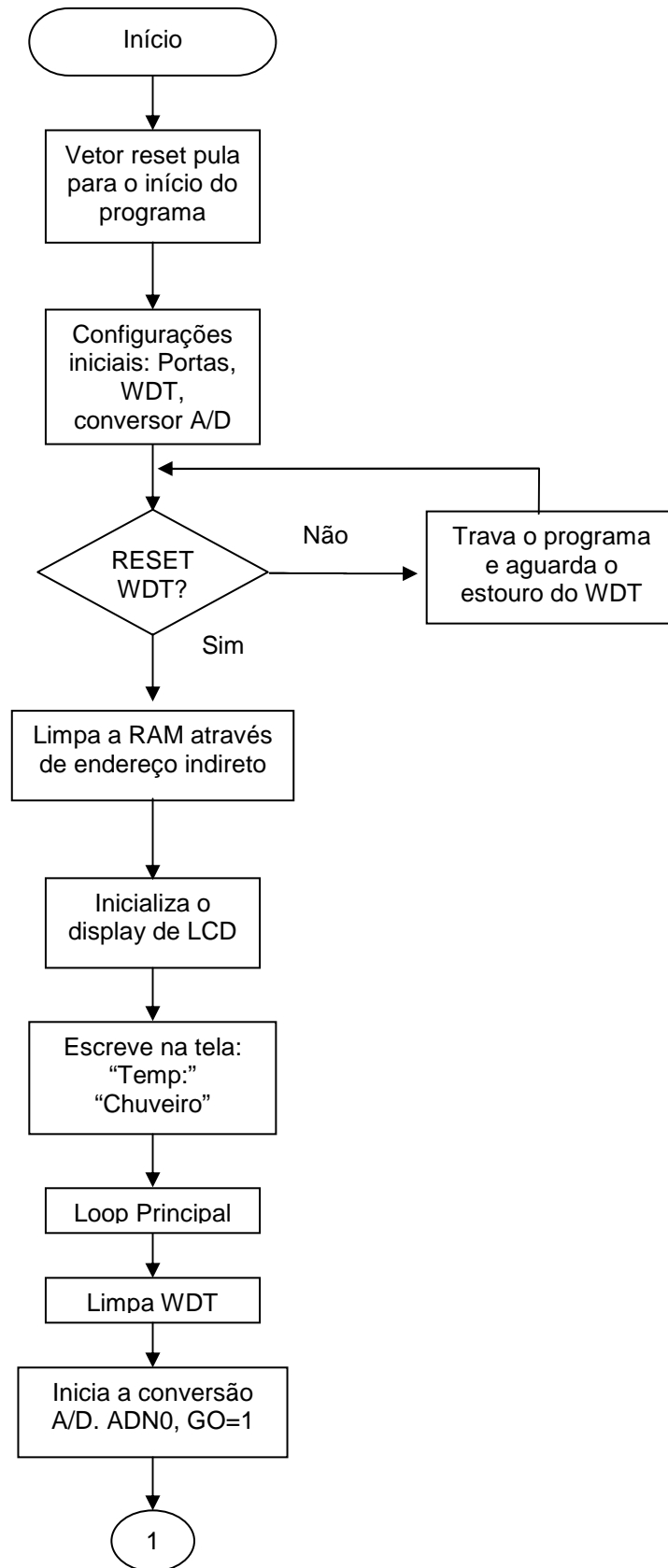
Um *loop* principal é responsável por aguardar a identificação da temperatura de entrada através da conversão A/D do microcontrolador. Após a conversão, o

software escreve a temperatura no display LCD, toma a decisão de ligar ou desligar a resistência e informa no display de LCD se a resistência está ligada ou desligada.

Este software utiliza a linguagem de programação Assembly.

A seguir a figura 4.1 apresenta o fluxograma que permite o acompanhamento dos passos de programação, bem como um melhor entendimento do software desenvolvido.

O código fonte do programa desenvolvido para este trabalho encontra-se no Apêndice A.



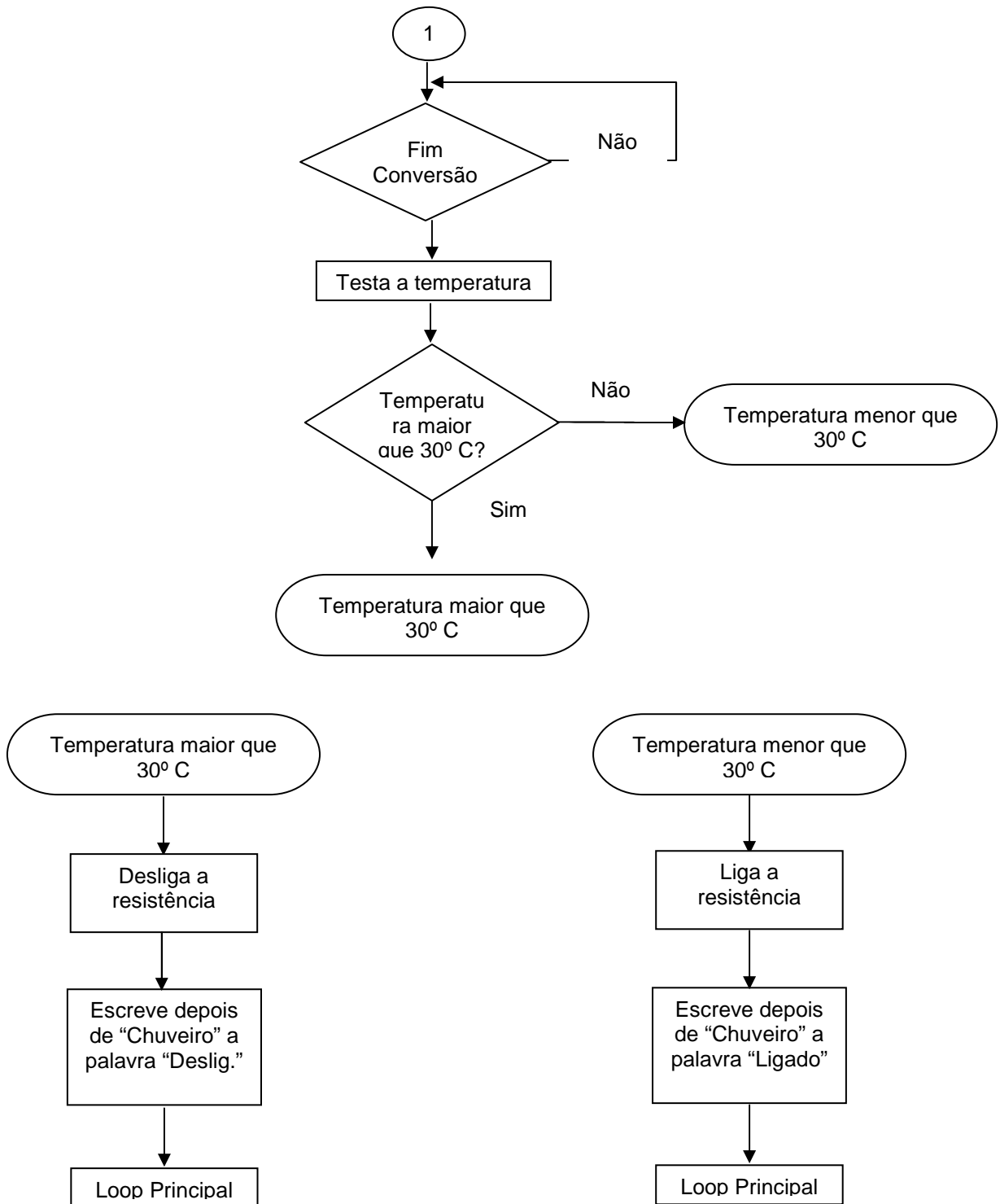


Figura 4.1 – Fluxograma do programa desenvolvido

4.2 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

Com a finalidade de realizar os testes e atender aos objetivos propostos neste projeto, foi montado o aparato experimental apresentado na figura 4.2 a seguir.

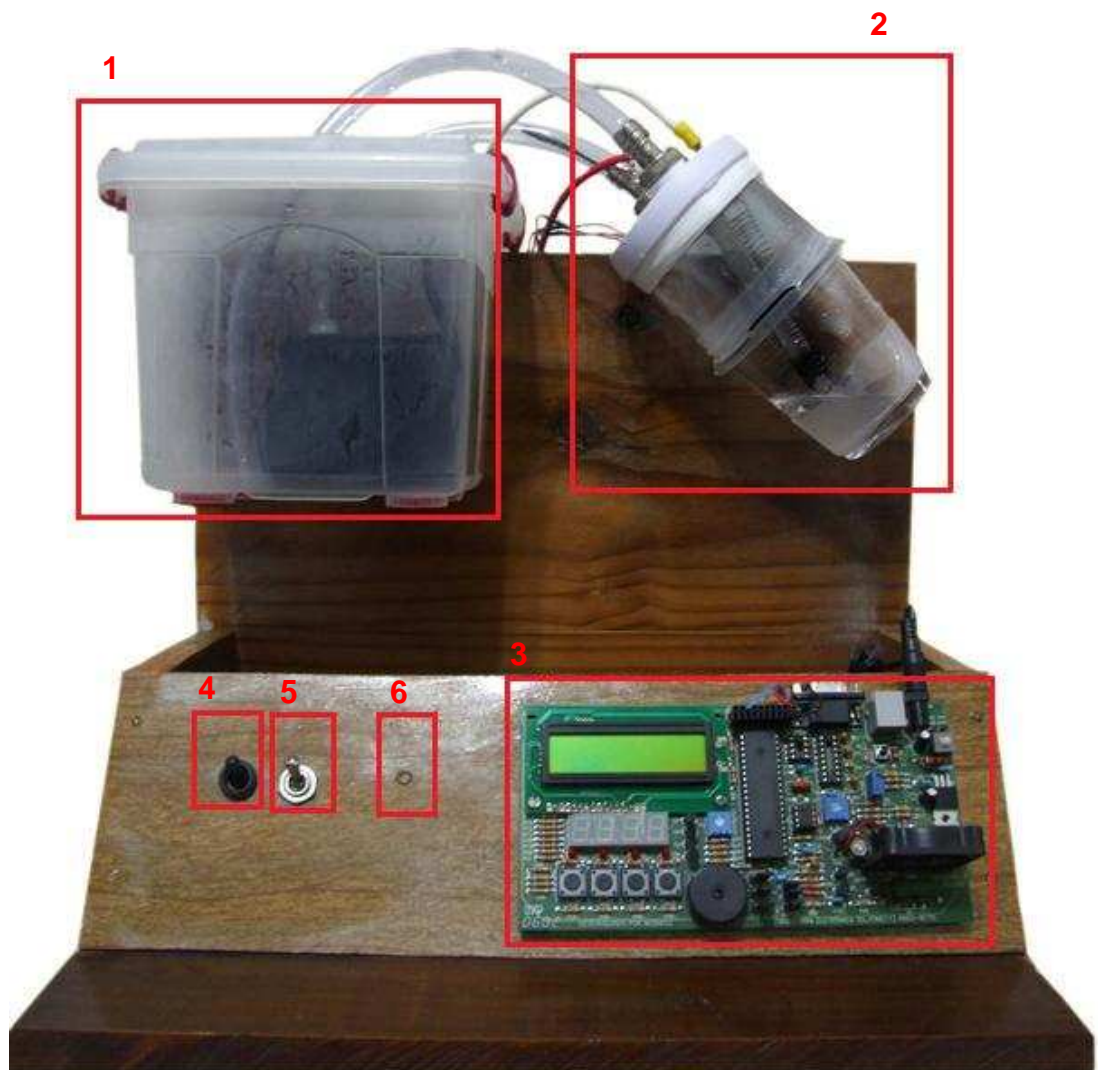


Figura 4.2 – Vista frontal da bancada de ensaios

Onde:

- 1 – Um recipiente de plástico com o volume de 2 litros para armazenar a água durante o ensaio com a bomba utilizada dentro do recipiente para realizar o escoamento;
- 2 – Trocador de calor descrito no capítulo 3;
- 3 – Kit Mclab2;
- 4 – Interruptor para ligar e desligar a bomba;
- 5 – Interruptor para ligar e desligar a resistência interna para evitar possível queima, caso o recipiente trocador de calor esteja sem água;
- 6 – Led indicativo se a resistência está ligada. Este led foi ligado na saída RC1 do microcontrolador (a mesma saída para o circuito que aciona a resistência), logo, quando a resistência está ligada o led também estará ligado.

O protótipo foi montado de forma compacta e econômica. A sua base possui dimensão de 39 cm de largura por 25 cm de comprimento e a sua altura é de 32 cm. Toda a estrutura foi feita em madeira reutilizada e montada de forma a suportar os componentes necessários para atingir aos objetivos propostos. Todos os componentes eletrônicos utilizados para a montagem do protótipo tiveram o custo aproximado de R\$ 35,00, exceto o kit didático Mclab2 que tem um custo de R\$ 700,00 e a bomba de água com o custo de R\$ 90,00. Ambos são utilizados para simular o circuito hidráulico necessário para aferir a funcionalidade e precisão do projeto na prática, ou seja, para o caso de desenvolver um produto industrial para aplicação, este kit poderia ser substituído por um microcontrolador e um display de LCD de 2 linhas e 16 colunas, que tem o custo de R\$ 21,00 e R\$ 25,00 respectivamente. Todos estes produtos estão com os seus valores levantados no varejo logo, em escala comercial, este valor pode cair consideravelmente.

Os componentes eletrônicos e a parte elétrica do projeto modelo foram inseridos em uma placa de circuito impresso de poliéster coberto com uma camada de cobre. A opção pela placa é para garantir o bom funcionamento dos componentes eletrônicos, tendo em vista que a montagem em *prontoboard* torna o circuito mais suscetível a erro.

A figura 4.3 a seguir, mostra a bancada vista por trás onde a placa com os componentes eletrônicos estão inseridos:

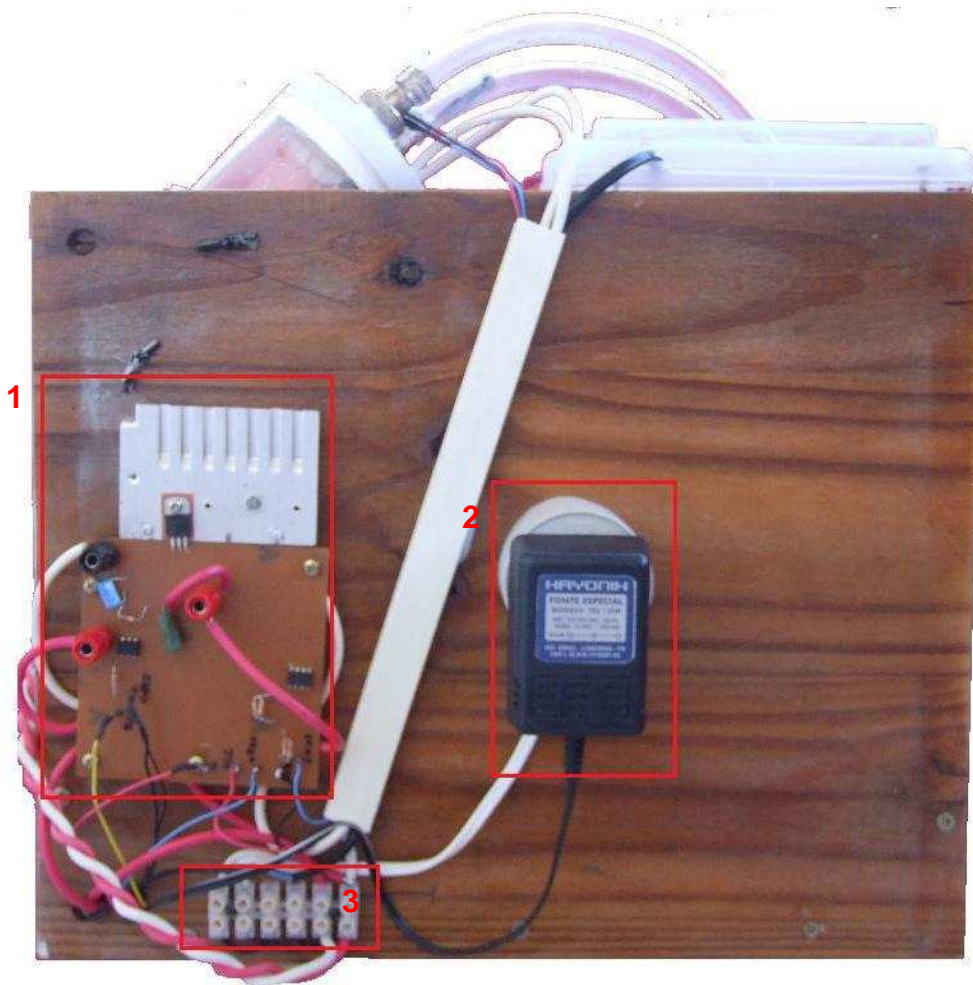


Figura 4.3 – Vista de trás da bancada de ensaios

Onde:

- 1 – Placa de circuito impresso de poliéster com os componentes eletrônicos do projeto;
- 2 – Tomada para ligar o kit didático Mclab2;
- 3 – Barra de conexão elétrica.

5 RESULTADOS OBTIDOS

Nesta sessão são apresentados os procedimentos e a metodologia dos ensaios. A seguir são mostrados os resultados obtidos dos ensaios realizados utilizando a bancada de teste desenvolvida.

5.1 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS E METODOLOGIAS DE ENSAIO

Os ensaios realizados tiveram como metas a obtenção dos seguintes resultados:

1. Certificar a correta operacionalidade da bancada construída;
2. Verificar se o trocador de calor selecionado apresenta a capacidade suficiente para aquecer o fluxo d'água necessário para os testes;
3. A correta operação do microcontrolador e a sua interface com o sensor de temperatura;
4. Verificar a sensibilidade do sensor de temperatura adotado;
5. Verificar a estabilidade e funcionalidade do sistema desenvolvido em linguagem Assembly;

Esta fase do trabalho objetivou testar todas as funcionalidades do projeto proposto de uma forma geral nos cenários encontrados de forma a simular um ambiente real.

Antes de iniciar os ensaios a bancada ficou operando por 10 minutos com a bomba circulando e foram promovidas variações da temperatura da água, com utilização de pedras de gelo no recipiente destinado ao armazenamento da água, com a finalidade de testar a eficiência do sistema de identificação de temperatura. As variações da temperatura da água foram observadas visualmente no display de LCD e comparadas com a temperatura de um termômetro digital de vareta modelo Td-100 da Aquicompras, com a precisão de 0,1^o C. Os testes comprovaram que a

temperatura mostrada pelo sensor de temperatura LM35 estava com uma variação entre $0,1^{\circ}\text{C}$ e $0,2^{\circ}\text{C}$, em relação ao termômetro digital de vareta, o que garante a identificação de temperatura com precisão.

Em seguida os testes foram executados com o sistema de aquecimento em funcionamento, verificando assim toda a funcionalidade da bancada.

Os ensaios foram executados da seguinte forma:

- **Ensaio 1:** Inicialmente foram realizados ensaios com a água do recipiente em sua temperatura ambiente, em torno de 22°C . Este teste foi executado com a finalidade de avaliar o aquecimento em seu fluxo inicial até atingir a temperatura de 30°C e se o sistema seria desligado automaticamente neste momento. Este ensaio foi repetido por 10 vezes de forma a comprovar a boa funcionalidade da bancada de ensaio.

- **Ensaio 2:** Após ter a água em temperaturas igual ou superior a 30°C , o circuito continuou operando para certificar-se que o sistema de aquecimento voltaria a ser acionado automaticamente caso a temperatura da água voltasse a patamares inferiores ou igual a 29°C . O ensaio 2 também foi repetido 10 após a execução do primeiro ensaio.

5.2 RESULTADOS OBTIDOS COM A BANCADA DE TESTE

O aparato experimental foi montado e os testes realizados. A bancada operou conforme esperado e os testes apresentaram os resultados conforme descritos a seguir.

O primeiro resultado a ser observado neste trabalho é a eficiência do aquecimento desde o início do escoamento. Com a resistência de 2.200W com o volume de água escoado de dois litros e meio (volume do reservatório somado ao volume do trocador de calor e volume das mangueiras), foi possível atingir um aquecimento eficiente. Este resultado permite comprovar que toda água escoada com temperatura abaixo da temperatura preestabelecida deixará de ser

desperdiçada, desde que o volume de água esteja adequado a potência do chuveiro. Os detalhes dos resultados obtidos são apresentados a seguir.

Foram realizados dez ensaios para verificar se a resistência elétrica permaneceria ligada enquanto a temperatura estava abaixo de 30° C e desligada assim que esta temperatura fosse atingida. Em todos os testes realizados a resistência elétrica permaneceu ligada para temperaturas da água inferiores a 30 ° C, e ao atingir esta temperatura a resistência elétrica simulando o chuveiro elétrico foi automaticamente desligada.

Nos mesmos 10 ensaios realizados, foi observado também que quando a água voltou a patamares inferiores a 30° C, seja naturalmente ou de forma forçada, a resistência voltou a ser acionada de forma automática e quando a temperatura atingiu o patamar necessário a resistência elétrica foi automaticamente desligada, o que mostra que o sistema funcionou corretamente nos dois cenários possíveis para este projeto modelo.

A figura 5.1 ilustra o LCD alfanumérico confirmando que quando a temperatura da água encontrava-se abaixo dos 30° C a resistência que simulou o chuveiro encontrava-se ligada, a sinalização programada de chuveiro ligado também foi apresentada corretamente.



Figura 5.1 – LCD informando que o chuveiro está ligado.

A figura 5.2 ilustra o LCD alfanumérico demonstrando a temperatura da água após o desligamento do “chuveiro” a 30° C.



Figura 5.2 – LCD informando que o chuveiro está desligado.

A bancada operou de forma satisfatória conforme comprovada pelos resultados, pois houve um aquecimento do fluido desde o início do escoamento e a interrupção do aquecimento no momento adequado. A temperatura foi identificada de forma objetiva, sem que oscilasse de forma inesperada e o programa em linguagem Assembly funcionou conforme planejado e programado, de forma a alcançar todos os objetivos inicialmente traçados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na seção 6.1 são apresentadas as conclusões deste trabalho. Na seção 6.2 são apresentadas as dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento do projeto modelo e na seção 6.3 são apresentadas algumas sugestões para projetos futuros que podem servir como aperfeiçoamento deste projeto.

6.1 CONCLUSÃO

Neste projeto modelo foi desenvolvido um protótipo com o intuito de simular o funcionamento de um sistema híbrido de aquecimento de água de forma a aquecê-la automaticamente, ou seja, de forma microcontrolada.

Foram utilizadas uma série referências teóricas e técnicas relacionadas ao campo de microcontroladores, estudo da linguagem Assembly e componentes eletrônicos úteis para a implementação do sistema.

As pesquisas bibliográficas, o desenvolvimento do protótipo, assim como os ensaios realizados, permitiram concluir que:

- O protótipo desenvolvido atendeu ao proposto de garantir a identificação da temperatura da água e de selecionar automaticamente o aquecimento elétrico, de forma a garantir a otimização e a utilização de forma racional do uso da água e da energia elétrica, ou seja, a utilização automatizada de um sistema de aquecimento híbrido;
 - O sistema desenvolvido permite economizar todo o fluxo inicial de água em sistemas onde este não se encontra na temperatura adequada;
 - O sistema desenvolvido também permite economizar energia elétrica utilizando sistema híbrido de aquecimento de água;
 - O sistema pode tornar-se eficiente em estabelecimentos comerciais, industriais e residenciais para banho, assim como em sistemas de aquecimento de

piscina ou aquários onde a temperatura não pode ficar abaixo de um patamar preestabelecido;

- O software desenvolvido para o microcontrolador operou conforme o previsto, executando as ações programadas.

Portanto, os resultados esperados atenderam as propostas e os objetivos traçados para este trabalho e o protótipo experimental encontra-se em funcionamento e operando adequadamente.

6.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Durante o desenvolvimento do projeto, foram encontradas algumas dificuldades. O sensor de temperatura fornece níveis de tensões muito baixa em comparação com a resolução utilizada no microcontrolador. A resolução programada para o microcontrolador foi entre 0 e 5 volts e a saída do sensor de temperatura é na escala de *mili* volt, já que a sua saída varia 10 mV a cada grau Celsius. Isto significa dizer que a 20° C, por exemplo, o valor da tensão de saída seria 200 mV ou 0,2 V e a 30° C a tensão de saída seria 0,3V. Este fator tornou o sistema instável de forma a ligar e desligar a resistência nos valores muito próximos a temperatura de desarme (no caso 30° C). Este problema foi resolvido utilizando um circuito com um amplificador operacional, conforme explicado no capítulo 3, para que a saída do sensor de temperatura chegasse ao microcontrolador amplificada em 10 vezes de forma a estar dentro da escala utilizada no programa.

O segundo problema encontrado no início dos testes foi o vazamento de água durante os ensaios. No primeiro momento foi utilizado silicone plástico para que a água não vazasse pelos orifícios encontrados na tampa do trocador de calor. O silicone mostrou-se ineficiente para os testes o que foi substituído por cola de massa.

Outros problemas genéricos, como a queima de componentes eletrônicos, (neste caso foram danificados o *display* de LCD e o microcontrolador), são comuns quando está trabalhando com eletrônica.

Todos os problemas foram contornados tornando possível realizar os ensaios no projeto modelo, conforme previsto.

6.3 SUGESTÃO PARA PROJETOS FUTUROS

Espera-se que esta bancada de teste torne-se útil para projetos futuros tanto para o desenvolvimento do projeto em si, como para a continuidade das disciplinas inseridas neste mesmo contexto, podendo-se até tornar um produto comercial. Os principais pontos verificados para a continuidade deste projeto modelo são:

- Permitir uma interação usuário sistema, de forma que o usuário possa selecionar a temperatura ideal para que a resistência seja desligada;
- Controlar a intensidade da resistência de acordo com a temperatura de entrada da água, o que irá proporcionar maior economia de energia;
- Informar ao usuário o tempo em que o chuveiro permaneceu ligado;
- Informar o volume de água economizado;
- Informar a energia elétrica economizada;
- Contabilizar os valores economizados em reais, informado em quanto tempo o sistema se pagará e passará a dar lucro para o cliente

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INCROPERA, Frank P.; Dewitt, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2003.

KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios de Transferência de Calor**. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2003.

POTTER, Merle C.; SCOTT, Elaine. P. **Ciências Térmicas: Termodinâmica, Mecânica dos fluidos e Transmissão de Calor**. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2006.

RAMALHO, F. **Os fundamentos da física: Eletricidade**. 8. ed. São Paulo Editora Moderna, 2003.

SCHMIDT, Frank W.; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH Carl H. **Introdução às Ciências Térmicas**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1996

SOUZA, D. J. **Desbravando o PIC – Ampliado e Atualizado para PIC 17F628A**. 7 ed. Editora Érica, São Paulo, 2003.

_____. **Conectando o PIC – Recursos Avançados**. 4 ed. Editora Érica, São Paulo, 2005.

TAVEIRA, Sanne B. **Sistema de ventilação com resfriador de ar experimental**. Monografia de conclusão do curso de engenharia da computação, UniCEUB. Brasília, 2008.

TIPLER, Paul A. **Física: Eletricidade e magnetismo: Volume 2**. 4 ed. LTC, Rio de Janeiro, 2000.

Datasheet4U – “**Acoplador Óptico**”. Disponível em: <
http://www.datasheet4u.com/html/M/O/C/MOC3021_TexasInstruments.pdf.html>.
Acesso em: 15.mar. 2009

Datasheet4U – “**Enhanced Flash Microcontrollers**”. Disponível em:
<http://www.datasheet4u.com/html/P/I/C/PIC16F873A_MicrochipTechnology.pdf.html
>. Acesso em: 16.mar. 2009

Datasheet4U – “**Precision Centigrade Temperature Sensors**”. Disponível em:
< http://www.datasheet4u.com/html/L/M/3/LM35_NationalSemiconductor.pdf.html>.
Acesso em: 19.mar. 2009

Datasheet4U – “**Dual Operational Amplifiers**”. Disponível em:
<http://www.datasheet4u.com/html/L/M/3/LM358_ONSemiconductor.pdf.html>.
Acesso em: 19.mar. 2009

8 APÊNDICE A – PROGRAMA DESENVOLVIDO

```
__CONFIG_CP_OFF & _CPD_OFF & _DEBUG_OFF & _LVP_OFF &
_WRT_ENABLE_OFF & _BODEN_OFF & _PWRTE_ON & _WDT_ON & _XT_OSC
```

```
;DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS
```

```
; ESTE BLOCO DE VARIÁVEIS ESTÁ LOCALIZADO LOGO NO INÍCIO DO
BANCO 0
```

```
CBLOCK 0X20 ; POSIÇÃO INICIAL DA RAM
```

```
TEMPERATURA_TEMP ;VARIABEL TEMPORARIA PARA A
COMPARAR COM A TENSAO (TEMPERATURA) DE ENTRADA
```

```
UTILIZADO ACUM_a_Alto ; ACUMULADOR a DE 16 BITS
```

```
ACUM_a_Baixo ; NA ROTINA DE DIVISÃO
```

```
UTILIZADO ACUM_b_Alto ; ACUMULADOR b DE 16 BITS
```

```
ACUM_b_Baixo ; NA ROTINA DE DIVISÃO
```

```
UTILIZADO ACUM_c_Alto ; ACUMULADOR c DE 16 BITS
```

```
ACUM_c_Baixo ; NA ROTINA DE DIVISÃO
```

```
UTILIZADO ACUM_d_Alto ; ACUMULADOR d DE 16 BITS
```

```
ACUM_d_Baixo ; NA ROTINA DE DIVISÃO
```

```
temp ; CONTADOR TEMPORÁRIO UTILIZADO
; NA ROTINA DE DIVISÃO
```

```
H_byte ; ACUMULADOR DE 16 BITS UTILIZADO
```

```
L_byte ; P/ RETORNAR O VALOR DA ROTINA
; DE MULTIPLICAÇÃO
```

```
MUTUPLICAÇÃO VLR_conv_AD ; OPERADOR P/ ROTINA DE
```

```
MUTUPLICAÇÃO VLR_Escala_conv_AD ; OPERADOR P/ ROTINA DE
```

```
TEMPO0
```

```

        TEMPO1                ; TEMPORIZADORES P/ ROTINA DE
DELAY
        AUX                   ; REGISTRADOR AUXILIAR DE USO GERAL

        UNIDADE               ; ARMAZENA VALOR DA UNIDADE DA
TENSÃO
        DEZENA                ; ARMAZENA VALOR DA DEZENA DA
TENSÃO

```

```

ENDC

```

```

;DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS INTERNAS DO PIC          *

```

```

        #INCLUDE <P16F877.INC>                ; MICROCONTROLADOR
UTILIZADO

```

```

;DEFINIÇÃO DOS BANCOS DE RAM                      *
;
; OS PSEUDOS-COMANDOS "BANK0" E "BANK1", AQUI DEFINIDOS, AJUDAM A
COMUTAR ENTRE OS BANCOS DE MEMÓRIA.

```

```

#DEFINE  BANK1      BSF  STATUS,RP0      ; SELECIONA BANK1 DA
MEMORIA RAM
#DEFINE  BANK0      BCF  STATUS,RP0      ; SELECIONA BANK0 DA
MEMORIA RAM

```

```

;
;#DEFINE  CAD_P2     PORTA,1              ; ENTRADA A/D P/ O
POTENCIÔMETRO P2

```

```

. * * * * *
;
; *                               *
;                               *
; * * * * *
;

```

```

; AS SAÍDAS ASSOCIADAS A NOMES PARA FACILITAR A PROGRAMAÇÃO
E/OU FUTURAS ALTERAÇÕES DO HARDWARE.

```

```

#DEFINE  DISPLAY     PORTD                ; BARRAMENTO DE DADOS
DO DISPLAY

```

```

#DEFINE  RS          PORTE,0              ; INDICA P/ O DISPLAY UM DADO
OU COMANDO

```

```

; 1 -> DADO
; 0 -> COMANDO

```

```
#DEFINE  ENABLE          PORTE,1          ; SINAL DE ENABLE P/
DISPLAY                                     ; ATIVO NA BORDA DE DESCIDA
```

```
. * * * * *
;
; *          VETOR DE RESET DO MICROCONTROLADOR          *
;
. * * * * *
;
; POSIÇÃO INICIAL PARA EXECUÇÃO DO PROGRAMA

        ORG 0X0000          ; ENDEREÇO DO VETOR DE RESET
        GOTOINICIO_PROGRAMA ; PULA PARA O INÍCIO DO
PROGRAMA
```

```
. * * * * *
;
; *          ROTINA DE DELAY (DE 1MS ATÉ 256MS)          *
;
. * * * * *
;
; ESTA É UMA ROTINA DE DELAY VARIÁVEL, COM DURAÇÃO DE 1MS X O
VALOR PASSADO
; EM WORK (W).
```

```
DELAY_MS
        MOVWF    TEMPO1          ; CARREGA TEMPO1 (UNIDADES
DE MS)
        MOVLW    .250
        MOVWF    TEMPO0          ; CARREGA TEMPO0 (P/ CONTAR
1MS)

        CLRWDT          ; LIMPA WDT (PERDE TEMPO)
        DECFSZ   TEMPO0,F      ; FIM DE TEMPO0 ?
        GOTO$-2          ; NÃO - VOLTA 2 INSTRUÇÕES
                          ; SIM - PASSOU-SE 1MS
        DECFSZ   TEMPO1,F      ; FIM DE TEMPO1 ?
        GOTO$-6          ; NÃO - VOLTA 6 INSTRUÇÕES
                          ; SIM
        RETURN          ; RETORNA
```

```
. * * * * *
;
; *          ROTINA DE ESCRITA DE UM CARACTER NO DISPLAY          *
;
. * * * * *
;
; ESTA ROTINA ENVIA UM CARACTER PARA O MÓDULO DE LCD. O
CARACTER A SER
; ESCRITO DEVE SER COLOCADO EM WORK (W) ANTES DE CHAMAR A
ROTINA.
```

```
ESCREVE_LCD
        MOVWF    DISPLAY          ; ATUALIZA DISPLAY (PORTD)
        NOP          ; PERDE 1US PARA ESTABILIZAÇÃO
```

```

        BSF  ENABLE          ; ENVIA UM PULSO DE ENABLE AO
DISPLAY
        GOTO$+1             ; .
        BCF  ENABLE          ; .

        MOVLW  .1
        CALL DELAY_MS       ; DELAY DE 1MS
        RETURN              ; RETORNA

```

```

. * * * * *
;
; *
; *           AJUSTE DECIMAL *
; *           W [HEX] = DEZENA [DEC] ; UNIDADE [DEC] *
; * * * * *

```

```

; ESTA ROTINA RECEBE UM ARGUMENTO PASSADO PELO WORK E
; RETORNA NAS VARIÁVEIS
; DEZENA E UNIDADE O NÚMERO BCD CORRESPONDENTE AO PARÂMETRO
; PASSADO.

```

AJUSTE_DECIMAL

```

        MOVWF  AUX          ; SALVA VALOR A CONVERTER EM AUX
        CLRF  UNIDADE
        CLRF  DEZENA       ; RESETA REGISTRADORES

```

```

        MOVF  AUX,F
        BTFSC STATUS,Z     ; VALOR A CONVERTER = 0 ?
        RETURN            ; SIM - RETORNA

```

```

; NÃO
        INCF  UNIDADE,F    ; INCREMENTA UNIDADE

```

```

        MOVF  UNIDADE,W
        XORLW 0X0A
        BTFSS STATUS,Z    ; UNIDADE = 10d ?
        GOTO$+3           ; NÃO
; SIM

```

```

        CLRF  UNIDADE     ; RESETA UNIDADE
        INCF  DEZENA,F    ; INCREMENTA DEZENA

```

```

        DECFSZ AUX,F      ; FIM DA CONVERSÃO ?
        GOTO$-.8         ; NÃO - VOLTA P/ CONTINUAR CONVERSÃO
        RETURN          ; SIM

```

```

. * * * * *
;
; *
; *           ROTINA DE DIVISÃO *
; * * * * *

```

```

; *****
;
; Double Precision Division
; *****

```

```

; Division : ACCb(16 bits) / ACCa(16 bits) -> ACCb(16 bits) with
; Remainder in ACCc (16 bits)

```

```

; (a) Load the Denominator in location ACUM_a_Alto & ACUM_a_Baixo ( 16 bits )

```

```
; (b) Load the Numerator in location ACUM_b_Alto & ACUM_b_Baixo ( 16 bits )
; (c) CALL D_divF
; (d) The 16 bit result is in location ACUM_b_Alto & ACUM_b_Baixo
; (e) The 16 bit Remainder is in locations ACUM_c_Alto & ACUM_c_Baixo
;*****
;
```

D_divF

```
MOVLW    .16
MOVWF    temp                ; CARREGA CONTADOR PARA DIVISÃO
```

```
MOVFACUM_b_Alto,W
MOVWF    ACUM_d_Alto
MOVFACUM_b_Baixo,W
MOVWF    ACUM_d_Baixo        ; SALVA ACCb EM ACCd
```

```
CLRF ACUM_b_Alto
CLRF ACUM_b_Baixo          ; LIMPA ACCb
```

```
CLRF ACUM_c_Alto
CLRF ACUM_c_Baixo        ; LIMPA ACCc
```

DIV

```
BCF STATUS,C
RLF ACUM_d_Baixo,F
RLF ACUM_d_Alto,F
RLF ACUM_c_Baixo,F
RLF ACUM_c_Alto,F
MOVFACUM_a_Alto,W
SUBWF ACUM_c_Alto,W        ;check if a>c
BTSS STATUS,Z
GOTO NOCHK
MOVFACUM_a_Baixo,W
SUBWF ACUM_c_Baixo,W      ;if msb equal then check lsb
```

NOCHK

```
BTSS STATUS,C            ;carry set if c>a
GOTO NOGO
MOVFACUM_a_Baixo,W      ;c-a into c
SUBWF ACUM_c_Baixo,F
BTSS STATUS,C
DECF ACUM_c_Alto,F
MOVFACUM_a_Alto,W
SUBWF ACUM_c_Alto,F
BSF STATUS,C            ;shift a 1 into b (result)
```

NOGO

```
RLF ACUM_b_Baixo,F
RLF ACUM_b_Alto,F
```

```
DECFSZ temp,F          ; FIM DA DIVISÃO ?
GOTODIV                ; NÃO - VOLTA P/ DIV
; SIM
```

RETURN ; RETORNA

```

. * * * * *
;
; *
;          ROTINA DE MULTIPLICAÇÃO *
; * * * * *
;
;*****
;
;          8x8 Software Multiplier
;          ( Fast Version : Straight Line Code )
;*****
;
;
; The 16 bit result is stored in 2 bytes
; Before calling the subroutine " mpy ", the multiplier should
; be loaded in location " VLR_conv_AD ", and the multiplicand in
; " VLR_Escala_conv_AD " . The 16 bit result is stored in locations
; H_byte & L_byte.
; Performance :
;           Program Memory : 37 locations
;           # of cycles    : 38
;           Scratch RAM   : 0 locations
;*****
;
; *****
;
; Define a macro for adding & right shifting
; *****
;
mult  MACRO  bit                ; Begin macro

        BTFSC    VLR_conv_AD,bit
        ADDWF    H_byte,F
        RRF     H_byte,F
        RRF     L_byte,F

        ENDM                ; End of macro

; *****
;
; Begin Multiplier Routine
; *****
;
mpy_F
        CLRF H_byte
        CLRF L_byte
        MOVF VLR_Escala_conv_AD,W ; move the multiplicand to W reg.
        BCF  STATUS,C ; Clear carry bit in the status Reg.

        mult  0
        mult  1
        mult  2
        mult  3
        mult  4

```

```

mult 5
mult 6
mult 7

```

```

RETURN ; RETORNA

```

```

; * * * * *
; *
; *          INICIO_PROGRAMAÇÕES INICIAIS DE HARDWARE E SOFTWARE
; *

```

```

; * * * * *
;
; NESTA ROTINA SÃO INICIALIZADAS AS PORTAS DE I/O DO
MICROCONTROLADOR E AS
; INICIO_PROGRAMAÇÕES DOS REGISTRADORES ESPECIAIS (SFR). A
ROTINA INICIALIZA A
; MÁQUINA E AGUARDA O ESTOURO DO WDT.

```

```

INICIO_PROGRAMA

```

```

    CLRF PORTA ; GARANTE TODAS AS SAÍDAS EM ZERO
    CLRF PORTB
    CLRF PORTC
    CLRF PORTD
    CLRF PORTE

```

```

    BANK1 ; SELECIONA BANCO 1 DA RAM

```

```

    MOVLW B'11111111'
    MOVWF TRISA ; INICIO_PROGRAMA I/O DO PORTA

```

```

    MOVLW B'11111111' ; Saida - Loga / Desliga da Saida para a placa.
    MOVWF TRISB ; INICIO_PROGRAMA I/O DO PORTB

```

```

    MOVLW B'11111101' ; RC1 - Saída para o MOC3020 e Ventilador da
placa

```

```

    MOVWF TRISC ; INICIO_PROGRAMA I/O DO
PORTC

```

```

    MOVLW B'00000000'
    MOVWF TRISD ; INICIO_PROGRAMA I/O DO
PORTD

```

```

    MOVLW B'00000100'
    MOVWF TRISE ; INICIO_PROGRAMA I/O DO PORTE

```

```

    MOVLW B'11011011'
    MOVWF OPTION_REG ; INICIO_PROGRAMA OPTIONS
; PULL-UPS DESABILITADOS
; INTER. NA BORDA DE SUBIDA DO RB0
; TIMER0 INCREM. PELO CICLO DE MÁQUINA
; WDT - 1:8
; TIMER - 1:1

```

```

        MOVLW    B'00000000'
        MOVWF    INTCON                ; INICIO_PROGRAMA
INTERRUPÇÕES
                                        ; DESABILITA TODAS AS INTERRUPÇÕES

        ;MOVLW    B'00000100' ; Entrada do potenciometro da placa.
        MOVLW    B'00000010' ; novo - entrada para LM35 analogico no pino RA2
(quatro ultimos bits = 0001) e

A/D    MOVWF    ADCON1                ; INICIO_PROGRAMA CONVERTOR

                                        ; RA0, RA1 E RA3 COMO ANALÓGICO
                                        ; RA2, RA4 E RA5 COMO I/O DIGITAL
                                        ; PORTE COMO I/O DIGITAL
                                        ; JUSTIFICADO À ESQUERDA
                                        ; 8 BITS EM ADRESH E 2 BITS EM ADRESL
                                        ; Vref+ = VDD (+5V)
                                        ; Vref- = GND ( 0V)

        MOVLW    .255
        MOVWF    PR2                  ; INICIO_PROGRAMA PERÍODO DO PWM
                                        ; T=((PR2)+1)*4*Tosc*TMR2 Prescale
                                        ; T=((255)+1)*4*250ns*16
                                        ; T=4,096ms -> 244,14Hz

        BANK0                          ; SELECIONA BANCO 0 DA RAM

        ;MOVLW    B'01001001' ;Antigo canal de conversao RA1 (Potenciometro)
        MOVLW    B'01010001' ; novo, canal de conversao RA2 (LM35)
        MOVWF    ADCON0                ; INICIO_PROGRAMA CONVERTOR

A/D

                                        ; VELOCIDADE -> Fosc/8
                                        ; CANAL 1
                                        ; MÓDULO LIGADO

        MOVLW    B'00000111'
        MOVWF    T2CON                ; INICIO_PROGRAMA TMR2
                                        ; TIMER 2 LIGADO
                                        ; PRESCALE - 1:16
                                        ; POSTSCALE - 1:1

;-----
;ALTERACAO
;MOVLW    B'000000000'
;MOVWF    CCP2CON
;MOVLW    B'00001111'

```

```

;MOVWF    CCP2CON            ; INICIO_PROGRAMA CCP2CON PARA
PWM
; (PINO RC1)
;MOVWF    CCP1CON            ; INICIO_PROGRAMA CCP2CON
PARA PWM
; (PINO RC1)

;CLRFCCPR2L                ; INICIA COM DUTY CYCLE EM ZERO
;CLRFCCPR1L                ; INICIA COM DUTY CYCLE EM ZERO

```

```

; AS INSTRUÇÕES A SEGUIR FAZEM COM QUE O PROGRAMA TRAVE
QUANDO HOVER UM
; RESET OU POWER-UP, MAS PASSE DIRETO SE O RESET FOR POR WDT.
DESTA FORMA,
; SEMPRE QUE O PIC É LIGADO, O PROGRAMA TRAVA, AGUARDA UM
ESTOURO DE WDT
; E COMEÇA NOVAMENTE. ISTO EVITA PROBLEMAS NO START-UP DO PIC.
ESTA É UMA FORMA DE
; GARANTIR QUE O PROGRMA NAO TRAVE.

```

```

        BTFSK    STATUS,NOT_TO    ; RESET POR ESTOURO DE
WATCHDOG TIMER ?
        GOTO$          ; NÃO - AGUARDA ESTOURO DO WDT
; SIM

```

```

. * * * * *
;
; *                INICIALIZAÇÃO DA RAM                *
; * * * * *
;
; ESTA ROTINA IRÁ LIMPAR TODA A RAM DO BANCO 0, INDO DE 0X20 A 0X7F.
; EM SEGUIDA, AS VARIÁVEIS DE RAM DO PROGRAMA SÃO INICIALIZADAS.

```

```

        MOVLW    0X20
        MOVWF    FSR            ; APONTA O ENDEREÇAMENTO
INDIRETO PARA
; A PRIMEIRA POSIÇÃO DA RAM
LIMPA_RAM
        CLRF    INDF            ; LIMPA A POSIÇÃO
        INCF    FSR,F          ; INCREMENTA O PONTEIRO P/ A PRÓX. POS.
        MOVFFSR,W
        XORLW    0X80          ; COMPARA O PONTEIRO COM A ÚLT.
POS. +1
        BTFSK    STATUS,Z      ; JÁ LIMPOU TODAS AS POSIÇÕES?
        GOTOLIMPA_RAM        ; NÃO - LIMPA A PRÓXIMA POSIÇÃO
; SIM

```

```

. * * * * *
;
; *                INICIO_PROGRAMAÇÕES INICIAIS DO DISPLAY                *
; * * * * *
;
; ESTA ROTINA INICIALIZA O DISPLAY P/ COMUNICAÇÃO DE 8 VIAS, DISPLAY
PARA 2

```

; LINHAS, CURSOR APAGADO E DESLOCAMENTO DO CURSOR À DIREITA.
 ; ESTAS SEQUENCIA DE INTRICOES SAO SEGUIDAS DE ACORDO COM O
 DATASHEET DO DISPLAY.

INICIALIZACAO_DISPLAY

```

BCF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ COMANDOS

    MOVLW  0X30          ; ESCREVE_LCD COMANDO 0X30 PARA
CALL  ESCREVE_LCD      ; INICIALIZAÇÃO
    MOVLW  .3            ; DELAY DE 3MS (EXIGIDO PELO DISPLAY)
CALL  DELAY_MS

    MOVLW  0X30          ; ESCREVE_LCD COMANDO 0X30 PARA
CALL  ESCREVE_LCD      ; INICIALIZAÇÃO

    MOVLW  0X30          ; ESCREVE_LCD COMANDO 0X30 PARA
CALL  ESCREVE_LCD      ; INICIALIZAÇÃO

    MOVLW  B'00111000'   ; ESCREVE_LCD COMANDO PARA
CALL  ESCREVE_LCD      ; INTERFACE DE 8 VIAS DE DADOS

    MOVLW  B'00000001'   ; ESCREVE_LCD COMANDO PARA
CALL  ESCREVE_LCD      ; LIMPAR TODO O DISPLAY

    MOVLW  .1            ; DELAY DE 1MS
CALL  DELAY_MS

    MOVLW  B'00001100'   ; ESCREVE_LCD COMANDO PARA
CALL  ESCREVE_LCD      ; LIGAR O DISPLAY SEM CURSOR

    MOVLW  B'00000110'   ; ESCREVE_LCD COMANDO PARA
INCREM.
CALL  ESCREVE_LCD      ; AUTOMÁTICO À DIREITA

```

```

. * * * * *
;
; *
; *
; * * * * *

```

ROTINA DE ESCRITA DA TELA PRINCIPAL

```

;
; *
; * * * * *
;
; ESTA ROTINA ESCREVE_LCD A TELA PRINCIPAL DO PROGRAMA, COM AS
FRASES:

```

```

; LINHA 1 - " Temp: "
; LINHA 2 - "Saida:"

```

```

    MOVLW  0X81          ; COMANDO PARA POSICIONAR O
CURSOR
CALL  ESCREVE_LCD      ; LINHA 0 / COLUNA 1

    BSF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ DADOS

    MOVLW  'T'
CALL  ESCREVE_LCD

```

```

    MOVLW    'e'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'm'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'p'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    ':'
    CALL ESCREVE_LCD

    BCF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ COMANDOS

    MOVLW    0X8B          ; COMANDO PARA POSICIONAR O
CURSOR
    CALL ESCREVE_LCD      ; LINHA 1 / COLUNA 1

    BSF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ DADOS

    MOVLW    ':'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'C'
    CALL ESCREVE_LCD

    BCF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ COMANDOS
    MOVLW    0XC0          ; COMANDO PARA POSICIONAR O
CURSOR
    CALL ESCREVE_LCD      ; LINHA 1 / COLUNA 0
    BSF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ DADOS

                                ; COMANDOS PARA ESCREVE_LCDR AS
                                ; LETRAS DE " PWM: OFF "

    MOVLW    'C'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'h'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'u'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'v'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'e'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'i'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'r'
    CALL ESCREVE_LCD
    MOVLW    'o'
    CALL ESCREVE_LCD

```

```

; *****
;
; *                               *
; *                               *
; *                               *
; *****
;
; A ROTINA PRINCIPAL FICA CONVERTENDO O CANAL A/D, CALCULANDO O
VALOR EM
; VOLTS E MOSTRANDO NO DISPLAY.

```

```

LOOP
    CLRWDT                ; LIMPA WATCHDOG TIMER

```

```

;-----
;
;   CLRF AUX_QTD_MED
;   CLRF TEMP_MEDIA
;   CLRF VALOR_SOMA_CONV_AD
;
;
;   CLRF VALOR_CONV_AD
;
;
;   MOVLW .10
;   MOVWF AUX_QTD_MED

```

```

CONVERSOR_AD
    BSF  ADCON0,GO        ; INICIA CONVERSÃO A/D
    BTFSC  ADCON0,GO      ; FIM DA CONVERSÃO ?
    GOTO$-1              ; NÃO - VOLTA 1 INSTRUÇÃO
                        ; SIM
    MOVF ADRESH,W

    MOVWF VLR_conv_AD    ; CARREGA O VALOR DA CONVERSAO EM
VLR_conv_AD

    MOVLW  .50
    MOVWF  VLR_Escala_conv_AD      ; CARREGA 50d EM
VLR_Escala_conv_AD

    CALL  mpy_F          ; CHAMA ROTINA DE MULTIPLICAÇÃO

    MOVFH_byte,W
    MOVWF  ACUM_b_Alto      ; SALVA VALOR DA
MULTIPLICAÇÃO
    MOVFL_byte,W          ; EM ACCb PARA SER UTILIZADO NA
    MOVWF  ACUM_b_Baixo    ; ROTINA DE DIVISÃO

```

```

        CLRF ACUM_a_Alto                ; CARREGA ACCa COM 255d
(FUNDO DE
        MOVLW    .255                    ; ESCALA DO CONVERSOR A/D)
        MOVWF    ACUM_a_Baixo            ; (ESTÃO SENDO
UTILIZADOS 8 BITS)

        CALL    D_divF                    ; CHAMA ROTINA DE DIVISÃO

        MOVF    ACUM_b_Baixo,W           ; FAZ O AJUSTE DECIMAL PARA
        CALL    AJUSTE_DECIMAL            ; MOSTRAR NO DISPLAY (LCD)

        BCF    RS                          ; SELECIONA O DISPLAY P/ COMANDOS
        MOVLW    0X88                      ; COMANDO PARA POSICIONAR O
CURSOR
        CALL    ESCREVE_LCD                ; LINHA 0 / COLUNA 9
        BSF    RS                          ; SELECIONA O DISPLAY P/ DADOS

        MOVF    DEZENA,W
        ADDLW    0X30                      ; CONVERTE BCD DA DEZENA EM ASCII
        CALL    ESCREVE_LCD                ; ENVIA AO LCD

        MOVF    UNIDADE,W
        ADDLW    0X30                      ; CONVERTE BCD DA UNIDADE EM ASCII
        CALL    ESCREVE_LCD                ; ENVIA AO LCD

TESTE_TEMPERATURA
;Este módulo testa se a temperatura é maior ou menor que 30 graus. Caso seja
menor que 30 graus, mantém a saída ligada.
        MOVLW    .152
        MOVWF    TEMPERATURA_TEMP ;COMPARAR TEMPERATURA_TEMP
COM VLR_conv_AD:

        MOVLW    .255
        CALL    DELAY_MS                    ; DELAY DE 255 MS
        NOP
        MOVLW    .255
        CALL    DELAY_MS                    ; DELAY DE 255 MS
        NOP
        MOVLW    .255
        CALL    DELAY_MS                    ; DELAY DE 255 MS
        NOP
        MOVLW    .255
        CALL    DELAY_MS                    ; DELAY DE 255 MS

        MOVF    VLR_conv_AD,W
        SUBWF    TEMPERATURA_TEMP,W
        BTFSS    STATUS,C                    ;TESTE CARRY: RESULTADO NEGATIVO?

        GOTO    TENSAO_MENOR_1

```

GOTO TENSAO_MENOR_2

;NAO, ENTAO TEMPERATURA_TEMP >= VLR_conv_AD

GOTOLOOP ; VOLTA PARA LOOP

. ***** TRATAMENTO TEMPERATURA Menor
;

TENSAO_MENOR_1

BCF SAIDA_RC1

BCF RS ; SELECIONA O DISPLAY P/ COMANDOS
MOVLW 0XC8 ; COMANDO PARA POSICIONAR O
CURSOR
CALL ESCREVE_LCD ; LINHA 1 / COLUNA 8
BSF RS ; SELECIONA O DISPLAY P/ DADOS
; COMANDOS PARA ESCREVE_LCDR AS
; LETRAS DE " Deslig."

MOVLW ''
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW 'D'
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW 'e'
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW 's'
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW 'l'
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW 'i'
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW 'g'
CALL ESCREVE_LCD
MOVLW '!'
CALL ESCREVE_LCD

GOTOLOOP ; VOLTA P/ LOOP PRINCIPAL

. ***** TRATAMENTO TEMPERATURA Maior
;

TENSAO_MENOR_2

BSF SAIDA_RC1

```

        BCF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ COMANDOS
        MOVLW 0XC8            ; COMANDO PARA POSICIONAR O
CURSOR
        CALL ESCREVE_LCD      ; LINHA 1 / COLUNA 8
        BSF  RS                ; SELECIONA O DISPLAY P/ DADOS

                                ; COMANDOS PARA ESCREVE_LCDR AS
                                ; LETRAS DE "Ligado"

        MOVLW  ''
        CALL ESCREVE_LCD
        MOVLW  'L'
        CALL ESCREVE_LCD
        MOVLW  'i'
        CALL ESCREVE_LCD
        MOVLW  'g'
        CALL ESCREVE_LCD
        MOVLW  'a'
        CALL ESCREVE_LCD
        MOVLW  'd'
        CALL ESCREVE_LCD
        MOVLW  'o'
        CALL ESCREVE_LCD

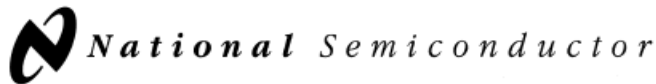
        GOTOLOOP             ; VOLTA P/ LOOP PRINCIPAL

;FIM DO PROGRAMA
        END

```

9 ANEXOS

ANEXO A – SENSOR DE TEMPERATURA LM35



July 1999

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

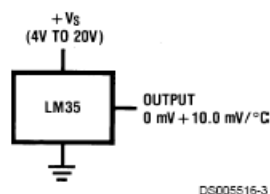
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available packaged in

hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

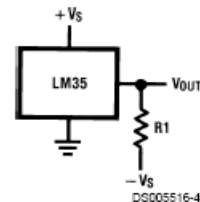
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



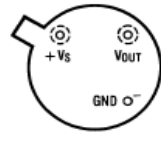
DS005516-4

Choose $R_1 = -V_G/60\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

**TO-46
Metal Can Package***

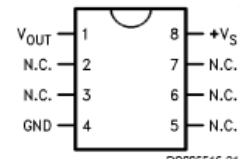


BOTTOM VIEW
DS005516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

**SO-8
Small Outline Molded Package**

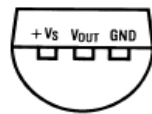


DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

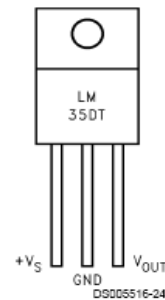
**TO-92
Plastic Package**



BOTTOM VIEW
DS005516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

**TO-220
Plastic Package***



DS005516-24

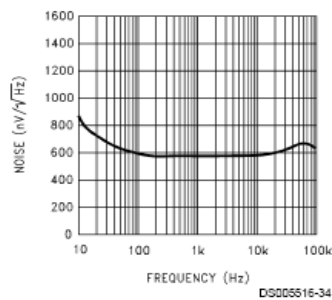
*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

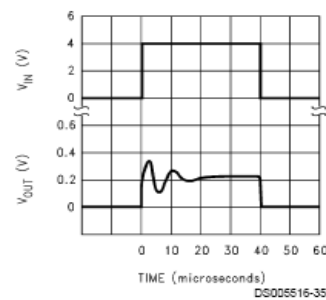
Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

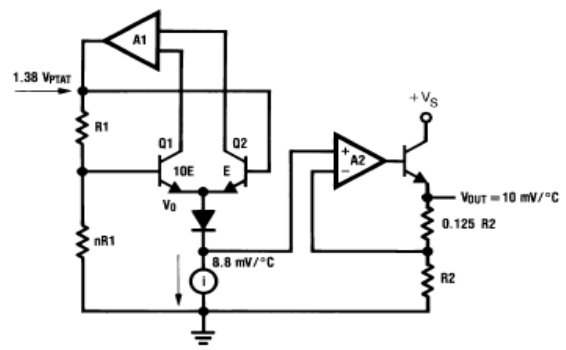
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	28°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Block Diagram



ANEXO B – AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM358



LM158,A-LM258,A
LM358,A

LOW POWER DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

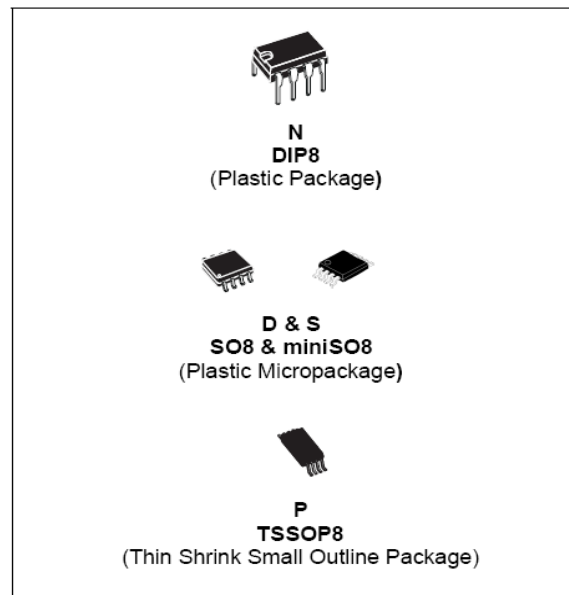
- INTERNALLY FREQUENCY COMPENSATED
- LARGE DC VOLTAGE GAIN: 100dB
- WIDE BANDWIDTH (unity gain): 1.1MHz (temperature compensated)
- VERY LOW SUPPLY CURRENT/OP (500µA) ESSENTIALLY INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE
- LOW INPUT BIAS CURRENT: 20nA (temperature compensated)
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: 2mV
- LOW INPUT OFFSET CURRENT: 2nA
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE POWER SUPPLY VOLTAGE
- LARGE OUTPUT VOLTAGE SWING 0V TO ($V_{CC} - 1.5V$)

DESCRIPTION

These circuits consist of two independent, high gain, internally frequency compensated which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. The low power supply drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, these circuits can be directly supplied with the standard +5V which is used in logic systems and will easily provide the required interface electronics without requiring any additional power supply.

In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.



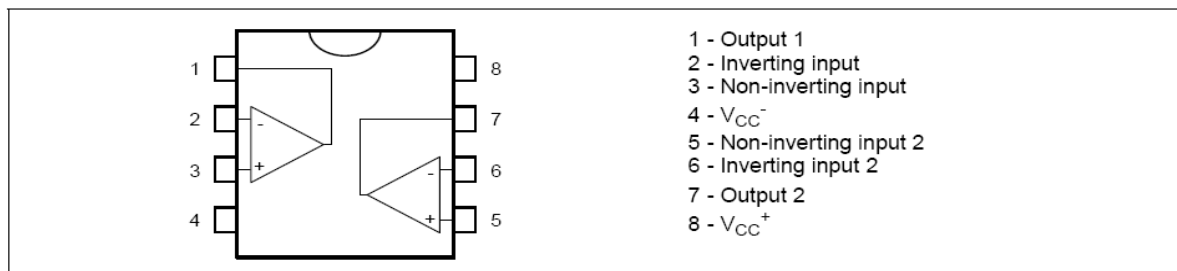
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package			
		N	S	D	P
LM158,A	-55°C, +125°C	•		•	•
LM258,A	-40°C, +105°C	•		•	•
LM358,A	0°C, +70°C	•	•	•	•

Example : LM258N

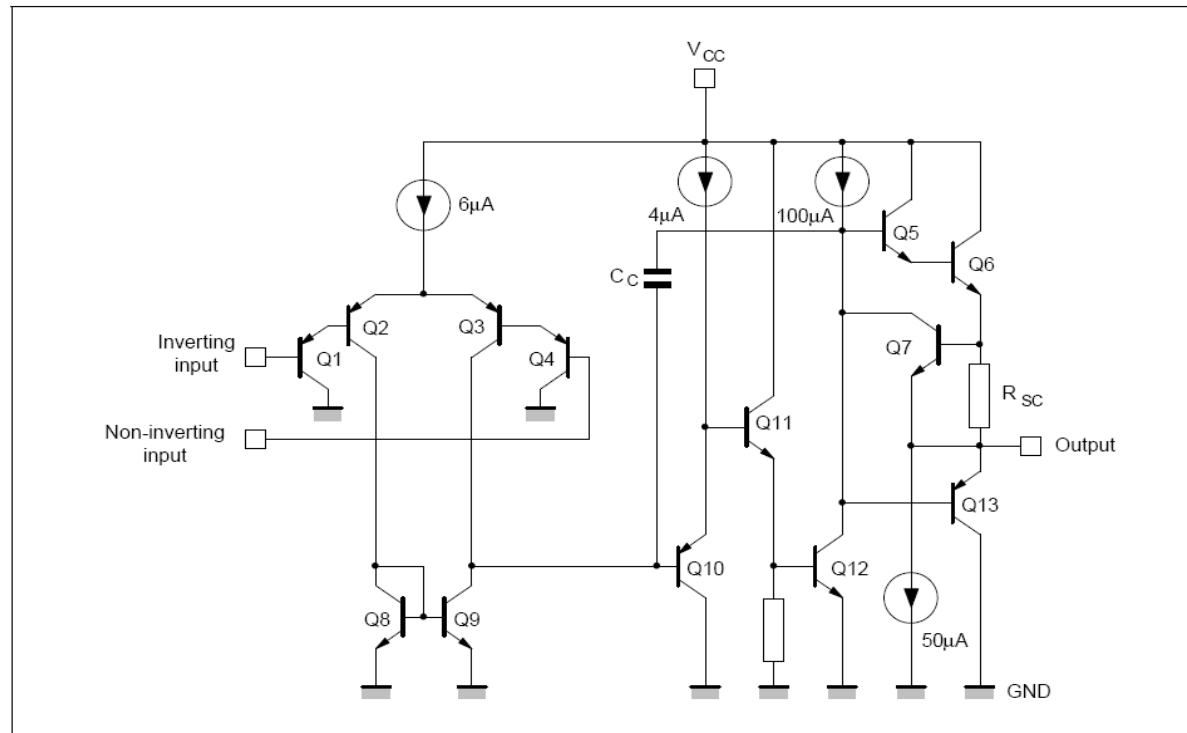
N = Dual in Line Package (DIP)
 D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
 S = Small Outline Package (miniSO) only available in Tape & Reel (DT)
 P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



LM158,A-LM258,A-LM358,A

SCHEMATIC DIAGRAM (1/2 LM158)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

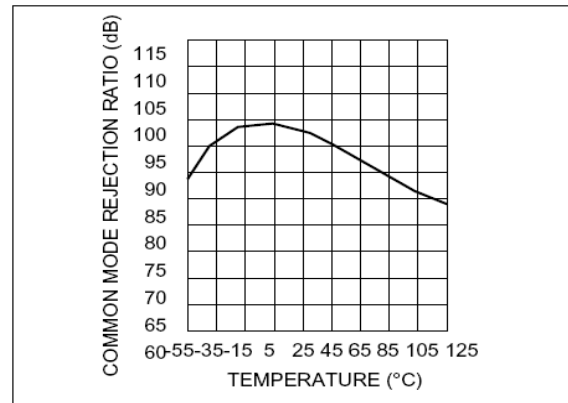
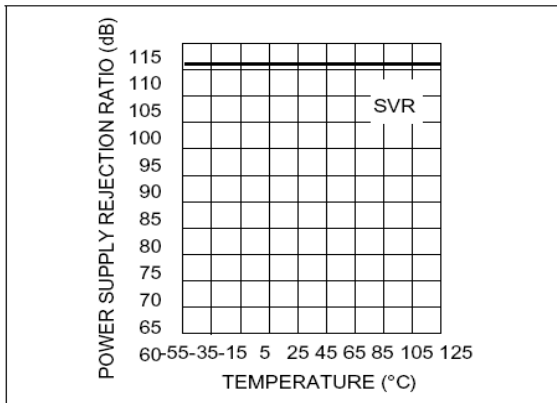
Symbol	Parameter	LM158,A	LM258,A	LM358,A	Unit
V_{CC}	Supply voltage		+/-16 or 32		V
V_i	Input Voltage		-0.3 to +32		V
V_{id}	Differential Input Voltage		+32		V
P_{tot}	Power Dissipation ¹⁾		500		mW
	Output Short-circuit Duration ²⁾		Infinite		
I_{in}	Input Current ³⁾		50		mA
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature (TJ) is not exceeded.

2. Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating if $V_{CC} > 15V$. The maximum output current is approximately 40mA independent of the magnitude of V_{CC} . Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuit on all amplifiers.

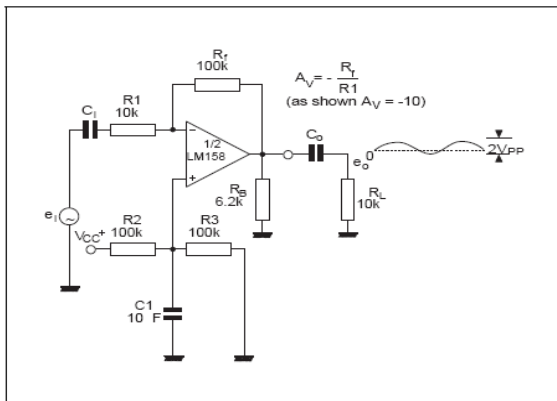
3. This input current only exists when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistor becoming forward biased and thereby acting as input diodes clamps. In addition to this diode action, there is also NPN parasitic action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the Op-amps to go to the V_{CC} voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration than an input is driven negative. This is not destructive and normal output will set up again for input voltage higher than -0.3V.

LM158,A-LM258,A-LM358,A

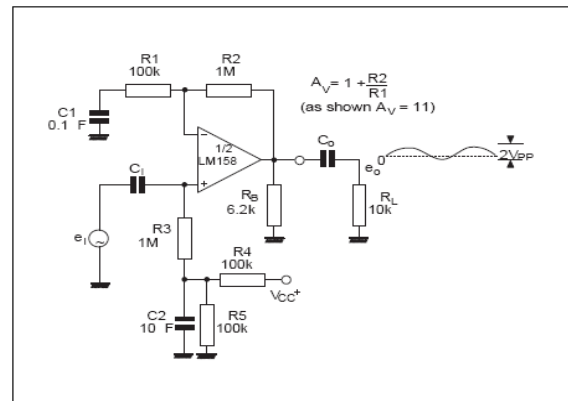


TYPICAL APPLICATIONS (single supply voltage) $V_{CC} = +5V_{DC}$

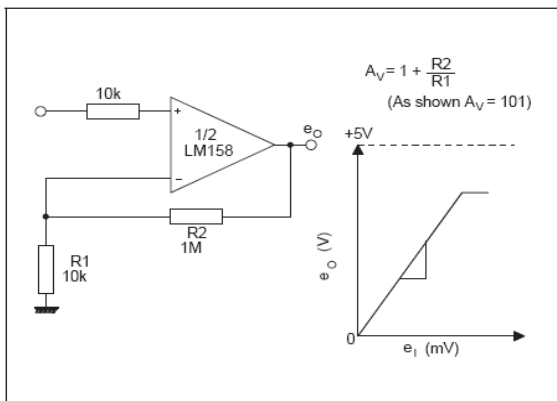
AC COUPLED INVERTING AMPLIFIER



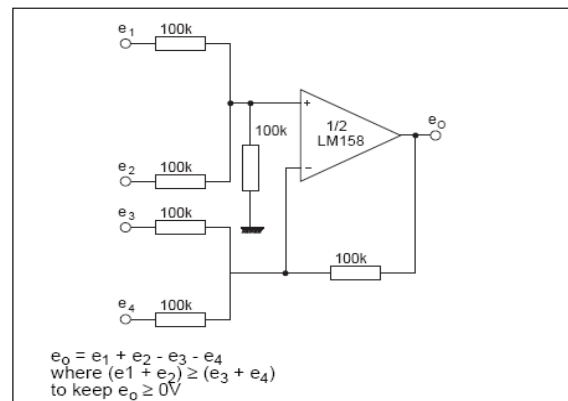
AC COUPLED NON-INVERTING AMPLIFIER



NON-INVERTING DC AMPLIFIER

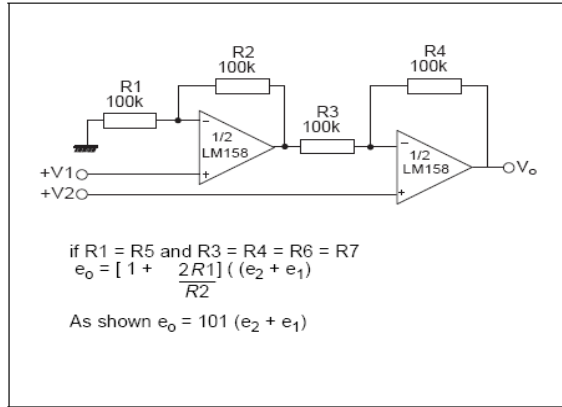


DC SUMMING AMPLIFIER

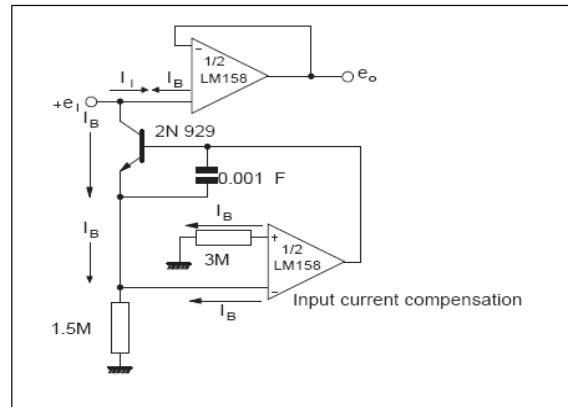


LM158,A-LM258,A-LM358,A

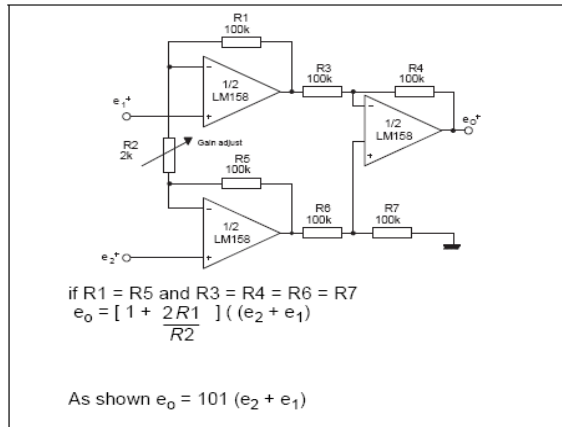
HIGH INPUT Z, DC DIFFERENTIAL AMPLIFIER



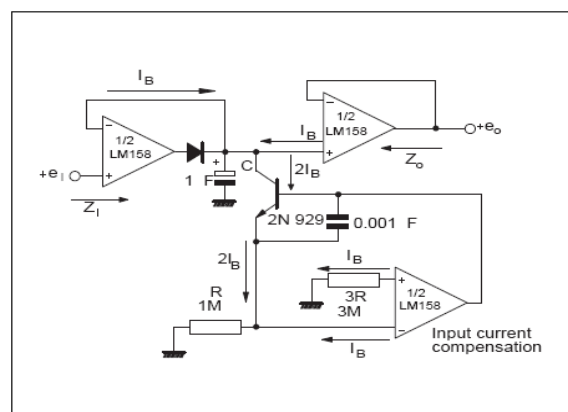
USING SYMMETRICAL AMPLIFIERS TO REDUCE INPUT CURRENT



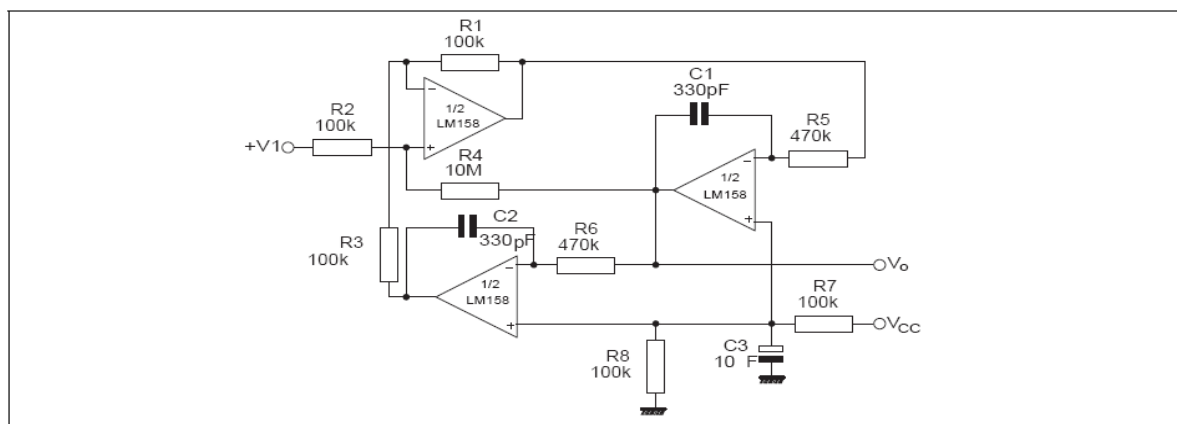
HIGH INPUT Z ADJUSTABLE GAIN DC INSTRUMENTATION AMPLIFIER



LOW DRIFT PEAK DETECTOR



ACTIVE BAND-PASS FILTER

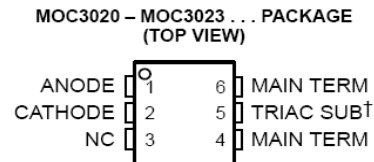


ANEXO C – ACOPLDOR ÓPTICO MOC3020

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPERS/OPTOISOLATORS

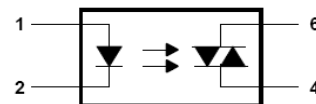
SOES025 – OCTOBER 1986 – REVISED OCTOBER 1995

- 250 V Phototriac Driver Output
- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source and Optically-Coupled Silicon Triac Driver (Bilateral Switch)
- UL Recognized . . . File Number E65085
- High Isolation . . . 7500 V Peak
- Output Driver Designed for 220 V ac
- Standard 6-Terminal Plastic DIP
- Directly Interchangeable with Motorola MOC3020, MOC3021, MOC3022, and MOC3023
- Direct Replacements for:
 - TRW Optron OPI3020, OPI3021, OPI3022, and OPI3023;
 - General Instrument MCP3020, MCP3021, and MCP3022;
 - General Electric GE3020, GE3021, GE3022, and GE3023



† Do not connect this terminal
NC – No internal connection

logic diagram



absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Input-to-output peak voltage, 5 s maximum duration, 60 Hz (see Note 1)	7.5 kV
Input diode reverse voltage	3 V
Input diode forward current, continuous	50 mA
Output repetitive peak off-state voltage	400 V
Output on-state current, total rms value (50-60 Hz, full sine wave): $T_A = 25^\circ\text{C}$	100 mA
$T_A = 70^\circ\text{C}$	50 mA
Output driver nonrepetitive peak on-state current ($t_w = 10$ ms, duty cycle = 10%, see Figure 7)	1.2 A
Continuous power dissipation at (or below) 25°C free-air temperature:	
Infrared-emitting diode (see Note 2)	100 mW
Phototriac (see Note 3)	300 mW
Total device (see Note 4)	330 mW
Operating junction temperature range, T_J	-40°C to 100°C
Storage temperature range, T_{stg}	-40°C to 150°C
Lead temperature 1,6 (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. Input-to-output peak voltage is the internal device dielectric breakdown rating.
 2. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 1.33 mW/°C.
 3. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4 mW/°C.
 4. Derate linearly to 100°C free-air temperature at the rate of 4.4 mW/°C.

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

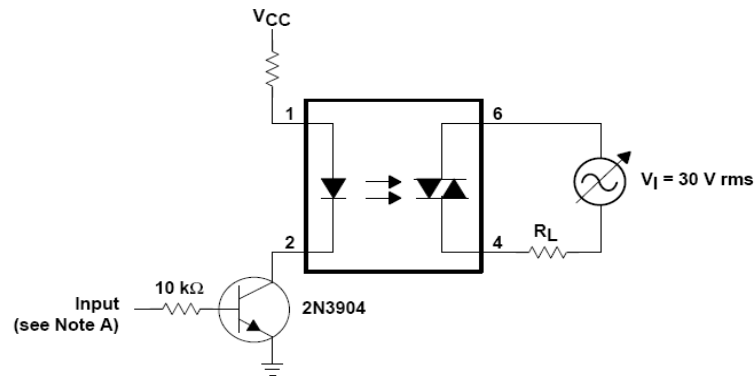
SOES025 – OCTOBER 1986 – REVISED OCTOBER 1995

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT	
I_R	Static reverse current	$V_R = 3\text{ V}$		0.05	100	μA	
V_F	Static forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$		1.2	1.5	V	
$I_{(DRM)}$	Repetitive off-state current, either direction	$V_{(DRM)} = 400\text{ V}$, See Note 5		10	100	nA	
dv/dt	Critical rate of rise of off-state voltage	See Figure 1		100		V/ μs	
dv/dt(c)	Critical rate of rise of commutating voltage	$I_O = 15\text{ mA}$, See Figure 1		0.15		V/ μs	
I_{FT}	Input trigger current, either direction	Output supply voltage = 3 V	MOC3020		15	30	mA
			MOC3021		8	15	
			MOC3022		5	10	
			MOC3023		3	5	
V_{TM}	Peak on-state voltage, either direction	$I_{TM} = 100\text{ mA}$		1.4	3	V	
I_H	Holding current, either direction			100		μA	

NOTE 5: Test voltage must be applied at a rate no higher than 12 V/ μs .

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTE A. The critical rate of rise of off-state voltage, dv/dt, is measured with the input at 0 V. The frequency of V_{in} is increased until the phototriac turns on. This frequency is then used to calculate the dv/dt according to the formula:

$$dv/dt = 2 \sqrt{2\pi f V_{in}}$$

The critical rate of rise of commutating voltage, dv/dt(c), is measured by applying occasional 5-V pulses to the input and increasing the frequency of V_{in} until the phototriac stays on (latches) after the input pulse has ceased. With no further input pulses, the frequency of V_{in} is then gradually decreased until the phototriac turns off. The frequency at which turn-off occurs may then be used to calculate the dv/dt(c) according to the formula shown above.

Figure 1. Critical Rate of Rise Test Circuit

MOC3020 THRU MOC3023 OPTOCOUPLEDERS/OPTOISOLATORS

SOES025 – OCTOBER 1986 – REVISED OCTOBER 1995

APPLICATIONS INFORMATION

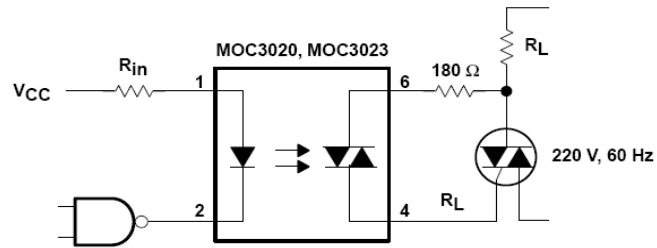


Figure 5. Resistive Load

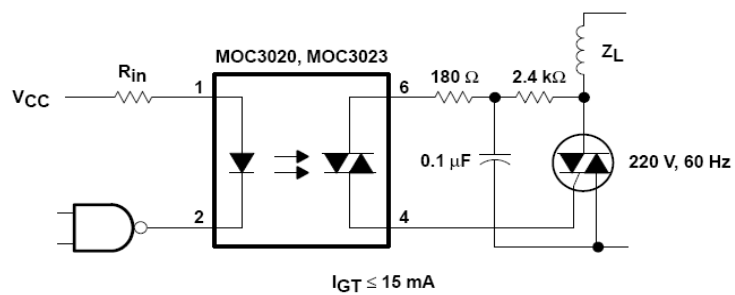


Figure 6. Inductive Load With Sensitive-Gate Triac

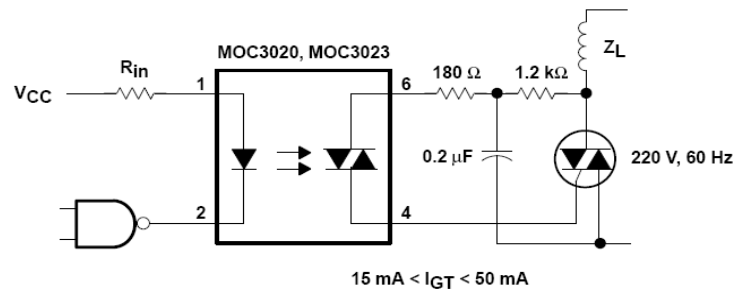


Figure 7. Inductive Load With Nonsensitive-Gate Triac

ANEXO D – TRIAC BTB12



BTA/BTB12 and T12 Series

SNUBBERLESS™, LOGIC LEVEL & STANDARD

12A TRIACs

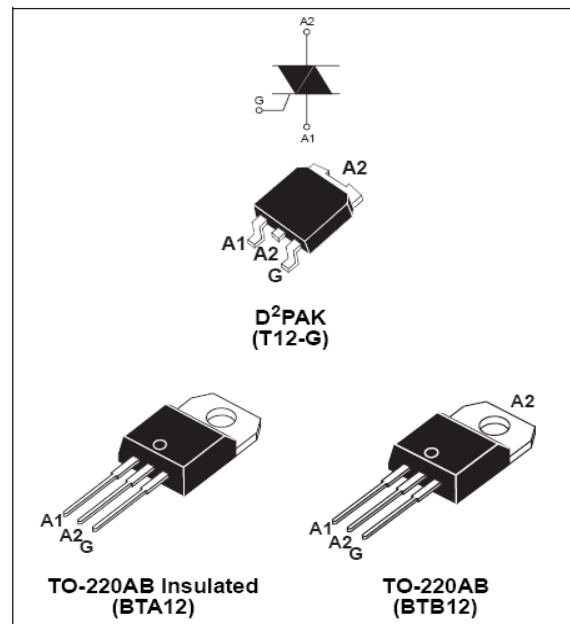
MAIN FEATURES:

Symbol	Value	Unit
$I_{T(RMS)}$	12	A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 and 800	V
$I_{GT}(Q_1)$	10 to 50	mA

DESCRIPTION

Available either in through-hole or surface-mount packages, the BTA/BTB12 and T12 triac series is suitable for general purpose AC switching. They can be used as an ON/OFF function in applications such as static relays, heating regulation, induction motor starting circuits... or for phase control operation in light dimmers, motor speed controllers,...

The snubberless versions (BTA/BTB...W and T12 series) are specially recommended for use on inductive loads, thanks to their high commutation performances. By using an internal ceramic pad, the BTA series provides voltage insulated tab (rated at 2500V RMS) complying with UL standards (File ref.: E81734)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit	
		D²PAK/TO-220AB	TO-220AB Ins.		
$I_{T(RMS)}$	RMS on-state current (full sine wave)	$T_c = 105^\circ\text{C}$	12	A	
		$T_c = 90^\circ\text{C}$			
I_{TSM}	Non repetitive surge peak on-state current (full cycle, T_j initial = 25°C)	F = 50 Hz t = 20 ms	120	A	
		F = 60 Hz t = 16.7 ms			126
I^2t	I^2t Value for fusing	tp = 10 ms		100	A^2s
di/dt	Critical rate of rise of on-state current $I_G = 2 \times I_{GT}$, tr ≤ 100 ns	F = 120 Hz	$T_j = 125^\circ\text{C}$	50	$\text{A}/\mu\text{s}$
V_{DSM}/V_{RSM}	Non repetitive surge peak off-state voltage	tp = 10 ms	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_{DRM}/V_{RRM} + 100$	V
I_{GM}	Peak gate current	tp = 20 μs	$T_j = 125^\circ\text{C}$	4	A
$P_{G(AV)}$	Average gate power dissipation	$T_j = 125^\circ\text{C}$		1	W
T_{stg} T_j	Storage junction temperature range Operating junction temperature range			- 40 to + 150 - 40 to + 125	$^\circ\text{C}$

BTA/BTB12 and T12 Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_j = 25°C, unless otherwise specified)

■ SNUBERLESS™ and LOGIC LEVEL (3 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		T12	BTA/BTB12			Unit
				T1235	SW	CW	BW	
I _{GT} (1)	V _D = 12 V R _L = 30 Ω	I - II - III	MAX.	35	10	35	50	mA
V _{GT}		I - II - III	MAX.	1.3				V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125°C	I - II - III	MIN.	0.2				V
I _H (2)	I _T = 100 mA		MAX.	35	15	35	50	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III	MAX.	50	25	50	70	mA
		II		60	30	60	80	
dV/dt (2)	V _D = 67 %V _{DRM} gate open T _j = 125°C		MIN.	500	40	500	1000	V/μs
(dl/dt) _c (2)	(dV/dt) _c = 0.1 V/μs T _j = 125°C		MIN.	-	6.5	-	-	A/ms
	(dV/dt) _c = 10 V/μs T _j = 125°C			-	2.9	-	-	
	Without snubber T _j = 125°C			6.5	-	6.5	12	

■ STANDARD (4 Quadrants)

Symbol	Test Conditions	Quadrant		BTA/BTB06		Unit
				C	B	
I _{GT} (1)	V _D = 12 V R _L = 30 Ω	I - II - III IV	MAX.	25 50	50 100	mA
V _{GT}		ALL	MAX.	1.3		V
V _{GD}	V _D = V _{DRM} R _L = 3.3 kΩ T _j = 125°C	ALL	MIN.	0.2		V
I _H (2)	I _T = 500 mA		MAX.	25	50	mA
I _L	I _G = 1.2 I _{GT}	I - III - IV	MAX.	40	50	mA
		II		80	100	
dV/dt (2)	V _D = 67 %V _{DRM} gate open T _j = 125°C		MIN.	200	400	V/μs
(dV/dt) _c (2)	(dl/dt) _c = 5.3 A/ms T _j = 125°C		MIN.	5	10	V/μs

STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions			Value	Unit
V _T (2)	I _{TM} = 17 A tp = 380 μs	T _j = 25°C	MAX.	1.55	V
V _{to} (2)	Threshold voltage	T _j = 125°C	MAX.	0.85	V
R _d (2)	Dynamic resistance	T _j = 125°C	MAX.	35	mΩ
I _{DRM}	V _{DRM} = V _{RRM}	T _j = 25°C	MAX.	5	μA
I _{RRM}		T _j = 125°C		1	mA

Note 1: minimum IGT is guaranteed at 5% of IGT max.

Note 2: for both polarities of A2 referenced to A1

BTA/BTB12 and T12 Series

THERMAL RESISTANCES

Symbol	Parameter		Value	Unit	
$R_{th(j-c)}$	Junction to case (AC)		D ² PAK/TO-220AB	1.4	°C/W
			TO-220AB Insulated	2.3	
$R_{th(j-a)}$	Junction to ambient	S = 1 cm ²	D ² PAK	45	°C/W
			TO-220AB TO-220AB Insulated	60	

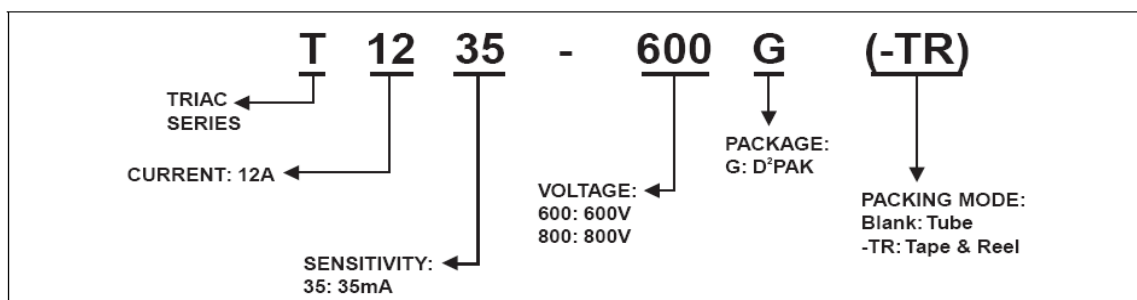
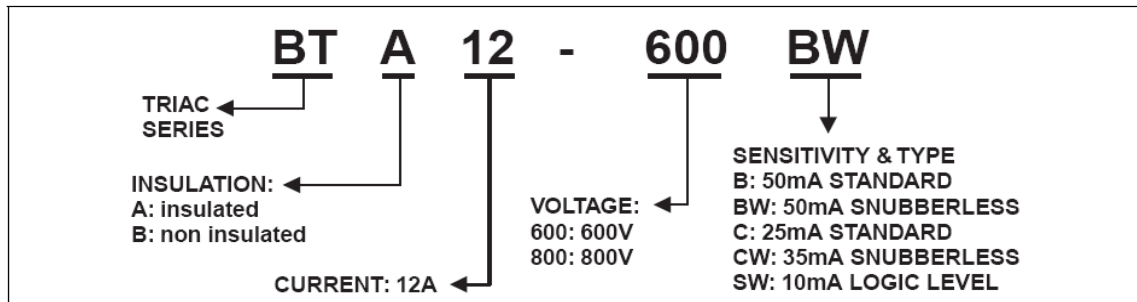
S = Copper surface under tab

PRODUCT SELECTOR

Part Number	Voltage (xxx)		Sensitivity	Type	Package
	600 V	800 V			
BTA/BTB12-xxxB	X	X	50 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxBW	X	X	50 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxC	X	X	25 mA	Standard	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxCW	X	X	35 mA	Snubberless	TO-220AB
BTA/BTB12-xxxSW	X	X	10 mA	Logic level	TO-220AB
T1235-xxxG	X	X	35 mA	Snubberless	D ² PAK

BTB: non insulated TO-220AB package

ORDERING INFORMATION



BTA/BTB12 and T12 Series

OTHER INFORMATION

Part Number	Marking	Weight	Base quantity	Packing mode
BTA/BTB12-xxxxyz	BTA/BTB12-xxxxyz	2.3 g	250	Bulk
T1235-xxxG	T1235xxxG	1.5 g	50	Tube
T1235-xxxG-TR	T1235xxxG	1.5 g	1000	Tape & reel

Note: xxx = voltage, yy = sensitivity, z = type

Fig. 1: Maximum power dissipation versus RMS on-state current (full cycle).

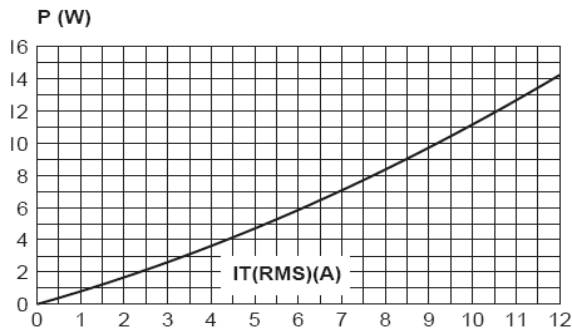


Fig. 2-2: RMS on-state current versus ambient temperature (printed circuit board FR4, copper thickness: 35µm), full cycle.

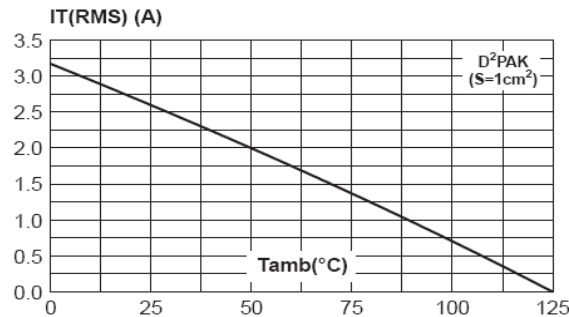


Fig. 2-1: RMS on-state current versus case temperature (full cycle).

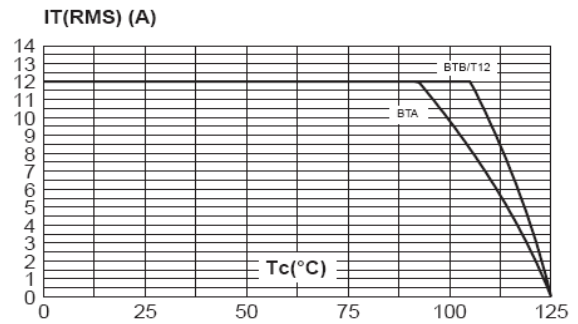


Fig. 3: Relative variation of thermal impedance versus pulse duration.

