

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA

**LUIZ FRANCISCO FARIA SANTOS**

**Controlador De Consumo Para Aquecedores Elétricos**

Taubaté

2019

**Luiz Francisco Faria Santos**

**Controlador De Consumo Para Aquecedores Elétricos**

Monografia apresentada à diretoria do curso de graduação da Universidade de Taubaté como requisito parcial para a conclusão do curso e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica e Eletrônica, Sob a orientação do mestre Marcelo Pinheiro Werneck

Taubaté

2019

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S237c Santos, Luiz Francisco Faria  
Controlador de consumo para aquecedores elétricos / Luiz Francisco  
Faria Santos. -- 2019.  
86 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Me. Marcelo Pinheiro Werneck, Departamento de  
Engenharia Elétrica.

1. Gerenciamento de Recursos. 2. Consumo Instantâneo. 3. Aquecedor  
Elétrico. 4. Microcontrolador. I. Título. II. Graduação em Engenharia  
Elétrica e Eletrônica.

CDD – 621.4028

Ficha catalográfica elaborada por **Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

**CONTROLADOR DE CONSUMO PARA AQUECEDORES ELÉTRICOS**

**LUIZ FRANCISCO FARIA SANTOS**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “**GRADUADO EM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE TRABALHO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. MARCELO PINHEIRO WERNECK  
Orientador/UNITAU-DEE

Prof. RUBENS CASTILHO JUNIOR  
UNITAU-DEE

Eng. ALEXANDRE MARCUS ALVES DOS SANTOS  
Membro Externo

junho de 2019

Dedico este trabalho de graduação a todos que de alguma forma tiveram influência em minha jornada acadêmica e contribuíram no meu crescimento pessoal e profissional, principalmente à minha família e aos professores que me auxiliaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram no decorrer desta jornada acadêmica, primeiramente a Deus, a meus familiares pelo apoio em todos os momentos importantes de minha vida, e aos professores, da universidade, que buscaram excelência em suas aulas e no entendimento de seus alunos dos assuntos relacionados ao curso, além do compartilhamento de suas vivências profissionais com seus alunos, futuros engenheiros. E agradecimento especial aos demais estudantes do curso, onde apoiamos uns aos outros durante este período de formação.

“O sucesso é a soma de pequenos  
esforços repetidos dia após dia”

Robert Collien

## RESUMO

Este trabalho visa o desenvolvimento de um equipamento protótipo, compacto e de baixo custo que através métodos de controle realize a gestão da potência dissipada por um aquecedor de passagem, para assim mitigar desperdícios durante seu uso. Como resultado deverá haver redução de gastos de recursos comparado ao uso do equipamento com o acionamento convencional. A ideia foi concebida com foco principal no melhor gerenciamento de recursos, hídrico e elétrico, com a finalidade da diminuição do consumo final sem o comprometimento do conforto do usuário e sem perdas consideráveis ao resultado entregue pelo equipamento.

Tal circuito seria responsável pelo gerenciamento da tensão elétrica aplicada nos terminais do equipamento e leitura do volume de água utilizado pelo aquecedor elétrico e o armazenamento de dados recolhidos por sensores instalados na planta. Após a instalação deste módulo no equipamento, ele será capaz, através da sua programação, realizar cálculos com as informações geradas pelo circuito, como o registro do consumo instantâneo dos recursos em questão, e posteriormente calcular o consumo tanto de água como de eletricidade utilizados durante seu uso e cálculo de custo de utilização do chuveiro durante aquele banho, levando em consideração os valores base das empresas responsáveis vigentes na região, além de controlar a temperatura da água configurada previamente pelo usuário, dissipando o mínimo de potência necessária para realizar a atividade.

O protótipo é composto basicamente por um circuito integrado (CI) microcontrolador, sensores responsáveis pela leitura de dados reais de partes do circuito, como a temperatura real da água, tornando-se possível identificar perdas presentes no sistema e calcular o tempo de chaveamento do tiristor ideal para que a temperatura final seja igual, ou próxima, à programada, eliminando assim discrepâncias entre temperatura correspondente a saída do controlador e temperatura real. Além de atuadores, capazes de controlar as variáveis de saída do sistema.

O componente responsável pelo controle geral do sistema, e tomada de decisões de acordo com os sinais gerados por seus sensores, será o microcontrolador ATMEGA 328P, produzido pela empresa ATMEL, que se destaca pelo baixo custo de aquisição e sua arquitetura interna que atende os requisitos do projeto.



Neste trabalho demonstraremos os processos de desenvolvimento do circuito, dificuldades durante implementação, facilidades resultantes da implementação do protótipo e por fim possíveis melhorias para trabalhos futuros.

**PALAVRAS-CHAVE:** gerenciamento de recursos. Consumo instantâneo. Aquecedor Elétrico. Microcontrolador.

## ABSTRACT

This work aims at the development of a prototype of equipment, compact and low cost that, through control methods, performs the management of the power dissipated by a passage heater, thus mitigating waste during its use. As a result, there should be a reduction in resource spending compared to using the equipment with the conventional activation. The idea was conceived with a principal focus on better management of resources, hidric and electricity, with the objective of reducing final consumption without compromising user comfort and without considerable losses to the result delivered by the equipment.

Such a circuit would be responsible for the management of the electrical voltage applied at the terminals of the equipment and reading of the volume of water used by the electric heater and the storage of data collected by sensors installed in the plant. After installing this module in the equipment, it will be able, through its programming, to perform calculations with the information generated by the circuit, such as recording the instantaneous consumption of the resources in question, and subsequently calculating the consumption of both water and electricity used during its use and calculation of the cost of using the shower during that bath, taking into account the values of the responsible companies in force in the region, besides controlling the water temperature previously configured by the user, dissipating the minimum power required to carry out the activity.

The prototype consists basically of a microcontroller integrated circuit (IC), sensors responsible for reading real data of parts of the circuit, such as actual water temperature, making it possible to identify losses present in the system and calculate the time of thyristor switching ideal for the final temperature to be equal, or close to, the programmed, thus eliminating discrepancies between temperature corresponding to the output of the controller and actual temperature. In addition to actuators, capable of controlling the output variables of the system.

The component responsible for general control of the system, and decision making according to the signals generated by its sensors, will be the ATMEGA 328P microcontroller, produced by the company ATMEL, which stands out for the low cost of acquisition and its internal architecture that meets the requirements from the project.

In this work we will demonstrate the processes of circuit development, difficulties during implementation, facilities resulting from the implementation of the prototype and finally possible improvements for future work.

**Keyword:** resource management; instant consumption; heater; microcontroller.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Métodos de Aquecimento de Água	19
Figura 2 - Consumo Elétrico Residencial Médio - Brasil/Sudeste	20
Figura 3 - Tempo Médio do Banho de uma Pessoa utilizando chuveiro elétrico	20
Figura 4 - Curvas de consumo residencial horário (total/sem o chuveiro)	22
Figura 5 - Subdivisões do grupo B de Usuários da rede elétrica	24
Figura 6 - Gráfico Comparativo entre Tarifa Branca e Convencional	25
Figura 7 - Comparativo entre Controle em Malha Aberta e Fechada	38
Figura 8 - Fluxograma em Malha Fechada do Protótipo	30
Figura 9 – Pinagem do Microcontrolador Atmega328P	32
Figura 10 - Sensor de Temperatura DS18B20	33
Figura 11 - Sensor de Vazão YF-201	33
Figura 12 – Fluxograma de montagem do circuito	39
Figura 13 - Circuito Detector de passagem por Zero	40
Figura 14 - Sinais Gerados pelo Circuito detector	41
Figura 15 - Circuito de Acionamento de Potência	41
Figura 16 - Gráfico da Potência dissipada em relação ao ângulo de disparo	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais comandos utilizados	38
Tabela 2 - Comparação entre características do nicromo em relação a outros metais outros metais	44
Tabela 3 – Características do chaveamento por ângulo de fase	45
Tabela 4 – Custo de implementação do projeto	49
Tabela 5 – Comparação de custo entre modelos de acionamento	50

## LISTA DE ABREVIACOES

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TRIAC	Triode for Alternating Current
SCMA	Sistema de Controle de Malha Aberta
SCMF	Sistema de Controle de Malha Fechada
CI	Circuito Integrado
IDE	Ambiente Integrado de Desenvolvimento
USB	Universal Serial Bus
ISR	Rotina de serviço da interrupção
LED	Diodo Emissor de Luz
Vbe	Tensão base-emissor

## LISTA DE SÍMBOLOS

NS/NR	Não sabiam ou não responderam
Z	Vazão
F	Frequência do sinal
Q	Volume de água
V <sub>m</sub>	Vazão mássica
C	Calor específico
$\Delta t$	Variação de temperatura
P	Potência em Watts
t	Tempo
T*	Temperatura
$\theta$	Ângulo de disparo
n	Número de amostras
A	Amplitude do sinal
$\omega$	Velocidade do vetor
T*	Período do sinal
V <sub>rms</sub>	Tensão eficaz
R	Resistência elétrica
R <sub>0</sub>	Resistência elétrica à temperatura de 20°C
$\alpha$	Coefficiente de temperatura
$\eta$	Rendimento
C <sub>ele</sub>	Consumo elétrico
C <sub>hid.</sub>	Consumo hídrico
$\sigma$	Resistividade

## SUMARIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1.	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	16
1.2.	ESTRUTURA CAPITULAR DO TRABALHO	17
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS</b>	18
2.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	18
2.2.	OS PROBLEMAS CAUSADOS	19
2.3.	IMPACTOS GERADOS	21
2.4.	MEDIDAS PARA AMENIZAR OS IMPACTOS CAUSADOS	22
<b>2.4.1.</b>	<b>Consciência energética</b>	23
<b>2.4.2.</b>	<b>Tarifação</b>	24
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	26
3.1.	ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DOS AQUECEDORES	26
3.2.	DESCRIÇÃO GERAL DO PROTÓTIPO	27
3.3.	SISTEMAS E MÉTODOS DE CONTROLE	28
<b>3.3.1.</b>	<b>Perturbações e Distúrbios</b>	29
<b>3.3.2.</b>	<b>Sistema de Controle em Malha Fechada</b>	30
<b>3.3.3.</b>	<b>Microcontrolador</b>	31
<b>3.3.4.</b>	<b>Sensores</b>	32
3.3.4.1.	Sensor de Temperatura	32
3.3.4.2.	Sensor de Vazão	33
<b>3.3.5.</b>	<b>Calorimetria Aplicada ao Projeto</b>	34
3.4.	PROGRAMAÇÃO	35
<b>3.4.1.</b>	<b>O Microcontrolador e sua Rotina de Trabalho</b>	37
<b>3.4.2.</b>	<b>Principais comandos utilizados</b>	38
<b>3.4.3.</b>	<b>Interrupções externas</b>	38
3.5.	CIRCUITO	39
<b>3.5.1.</b>	<b>Detector de passagem por zero</b>	40
<b>3.5.2.</b>	<b>Circuito de acionamento de potência</b>	41
<b>3.5.3.</b>	<b>Interface</b>	42
3.6.	CONTROLE DE CONSUMO	42
<b>3.6.1.</b>	<b>Consumo hídrico</b>	42



<b>3.6.2.</b>	<b>Consumo elétrico</b>	43
3.6.2.1	Influência do efeito joule na resistência	43
3.6.2.2	Cálculo da potência em relação ao ângulo de chaveamento	44
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE</b>	46
4.1.	SIMULAÇÃO	46
4.2.	COMPARATIVO ENTRE MODELO MODELOS	46
<b>4.2.1.</b>	<b>Modelo comum</b>	47
<b>4.2.2.</b>	<b>Modelo otimizado</b>	48
4.3.	COMPONENTES UTILIZADOS	49
	<b>CONCLUSÃO</b>	51
	FUTUROS TRABALHOS	52
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	53
	<b>APÊNDICE</b>	54
	PROGRAMA EXECUTADO NO MICROCONTROLADOR	54
	TABELA DE CARACTERÍSTICAS DO DISPARO	59
	<b>ANEXO</b>	61
	TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA	61
	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA SENSOR DE VAZÃO	62
	DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA SENSOR DE TEMPERATURA	65

## 1 INTRODUÇÃO

A higiene pessoal é algo imprescindível para o dia a dia das pessoas, entre as ações comuns para realizar a higiene, tomar um ou mais banhos durante o decorrer do dia é algo comum em nosso país devido à alta temperatura, durante alguns períodos do ano, porém o uso em excesso do chuveiro podem acarretar em danos físicos a pessoa, como ressecamento da pele ou até a alteração no sistema imunológico, além do alto consumo de potência elétrica consumido pelo chuveiro, onde parte deste consumo de potência é proveniente de perdas geradas pela baixa flexibilidade de controle deste dispositivo.

Um equipamento de uso cotidiano com baixa eficiência energética resultará em um incomodo aumento no custo da fatura de energia elétrica, parte significativa deste aumento será resultante de desperdícios. A implementação de um controle automático para os equipamentos residenciais é de grande importância para o mercado atual e futuro, pois viabiliza o gerenciamento refinado do consumo de recursos, trazendo ao cotidiano do residente maior praticidade e economia.

A automação residencial, ou domótica, proporciona ao usuário conforto, devido à alta facilidade de implantação para diferentes finalidades e possível integração entre sistemas. A automação é muito explorada no meio da indústria, porém no âmbito residencial ainda é pouco aproveitada, visto que é um mercado promissor, porém apresenta algumas dificuldades no crescimento devido à falta de percepção das pessoas nas vantagens agregadas à utilização deste conceito. A instalação de pequenos módulos para controlar os principais dispositivos elétricos da residência torna-se o início do uso da domótica em benefício pessoal, trazendo vantagens como aumento de qualidade de vida, otimização de tempo, segurança e o uso racional de energia elétrica.

O desenvolvimento deste protótipo é visado para a busca de uma redução no desperdício de energia elétrica atual, através da implantação de um sistema capaz de manter o fluxo de água constante, com uma pressão ideal para o banho, e controlar a corrente elétrica consumida pelo elemento resistivo do chuveiro, alterando diretamente a forma de onda da tensão aplicada nos terminais do chuveiro, através do uso de um dispositivo de chaveamento controlado (TRIAC). Este módulo controle será constituído por um circuito gerido e comandado por um microcontrolador, programado previamente, que será responsável por realizar a leitura e interpretação dos sensores e realizar o chaveamento do circuito de potência através de um sinal

de onda quadrada. No final deste documento poderemos consolidar e comprovar a viabilidade, ou não, deste método de economia no consumo elétrico de um dos eletrodomésticos de maior consumo de uma residência. É importante salientar que este trabalho inicialmente não visa solucionar, mas reduzir este desperdício desenfreado de nossos recursos. Nas próximas páginas deste documento poderemos observar detalhes construtivos e técnicos da criação e funcionamento do protótipo de controle proposto.

## 1.1 OBJETIVOS GERAIS E ESPECIFICOS

### **Objetivo geral**

Desenvolver um protótipo de um circuito de controle de aquecedor elétrico de passagem, visando economia e buscando acessibilidade de aquisição para famílias de menor poder aquisitivo. Além da busca por um aperfeiçoamento do autor nas áreas relacionadas ao tema do trabalho, vinculando as informações obtidas com os conhecimentos adquiridos durante o curso, para um melhor desenvolvimento intelectual sobre a área.

### **Objetivos específicos**

Com o intuito de atingir o objetivo acima proposto, tem-se os seguintes objetivo preliminares:

- Levantar informações relevantes ao tema estudado;
- Determinar os valores atuais pagos de gastos mensais de uma família, relacionadas ao consumo desacerbado de recursos no uso do chuveiro;
- Determinar valores percentuais possíveis de economia, sem prejuízo ao conforto proporcionado durante o banho;
- Determinar possíveis causas de desperdício de recursos;
- Verificar viabilidade na instalação do projeto;
- Levantar uma comparação refinada entre modelos relacionando-os com seus custos e consumos.

## 1.2 ESTRUTURA CAPITULAR DO TRABALHO

Este trabalho foi subdividido em capítulos, que abordaram tópicos específicos relacionados ao tema do trabalho, que são os seguintes:

Este capítulo apresenta uma introdução ao tema, apresenta a relevância do tema abordado, os objetivos pretendidos, e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo fornece ao leitor uma contextualização histórica dos chuveiros, sua linha de evolução e sua importância para a sociedade moderna. Posteriormente aborda as desvantagens provindas do uso de aquecedores elétricos e os efeitos negativos causados nas linhas de transmissão e usinas de geração do país, além das medidas já tomadas para redução de seus pontos negativos.

No terceiro capítulo, foi explanado detalhadamente o funcionamento comum de grande parte dos aquecedores, o capítulo também contém uma explicação superficial do funcionamento do sistema de controle como um todo.

O quarto capítulo aborda alguns métodos de controle e seus componentes, e posterior a isso foi determinado o tipo de sistema de controle adotado (SCMF) e dado detalhes considerados para adoção dele.

No quinto capítulo, é descrito as possíveis linguagens de programação compatíveis com o controlador, além das partes fundamentais de uma linguagem de programação, a identificação das principais linguagens de programação adotadas e detalhes específicos de alguns comandos.

O sexto capítulo além do esquemático do circuito adotado, contém seus detalhes de funcionamento, características específicas deste protótipo e informações pertinentes a implementação deste sistema.

O sétimo capítulo apresenta as bases matemáticas utilizadas para obtenção do consumo no uso do equipamento, os resultados obtidos, análise e comparação entre modelos de acionamento.

Finalmente, no oitavo capítulo, é realizada uma conclusão referente ao trabalho realizado, aos conhecimentos obtidos e possíveis abordagens de trabalhos futuros relacionados ao tema.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E LEVANTAMENTO DE DADOS

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Por volta de 1330 antes de cristo, foram comprovados pinturas e documentos que comprovavam a existência de chuveiros e duchas, utilizadas para higiene cotidiana, mesmo após todo este tempo de sua criação os aquecedores ainda são dispositivos imprescindíveis no cotidiano das pessoas, principalmente os chuveiros elétricos, no decorrer de alguns anos foi percebida a possibilidade do aquecimento da água para aumento no conforto proporcionado durante o banho. Resultando na implantação de serpentinas, que conduziam a água antes de ser direcionada ao chuveiro, esta serpentina localizada próxima de fogões a lenha ou outros locais onde havia queima de materiais, esta serpentina aquecia com o calor presente naquele ambiente aquecendo consecutivamente a água em seu interior, instaladas geralmente no interior de fogões a lenha.

Durante a Revolução industrial houve grande avanço no aquecimento de água a gás, que dominou principalmente Europa e Estados Unidos. Porém no Brasil está tecnologia demorou alguns anos para chegar, motivando a criação do chuveiro elétrico em 1940, o aquecedor elétrico de passagem criado se assemelha muito aos que temos no mercado hoje, com um elemento resistivo, conhecido popularmente como resistência, construída de metais de alto ponto de fusão que são percorridos por uma corrente elétrica e através do efeito joule este elemento converte a energia elétrica em térmica aquecendo assim a água.

Os primeiros chuveiros elétricos fabricados expunham os usuários ao alto risco de choque elétrico causado pela baixa isolação entre a carcaça metálica do equipamento e a parte energizada pela rede elétrica, causando choques e formigamentos durante o banho. Em meados de 1970 uma empresa chamada Corona, desenvolveu um chuveiro com carcaça inteiramente constituída por plástico como polipropileno, nylon e baquelita, tais chuveiros além de reduzirem o problema de isolação descrito anteriormente reduziu o custo final do produto em relação aos de carcaças metálicas, de latão ou bronze.

No final da década de 80 a adoção de novas normas de instalações elétricas e aterramento, contribuíram para o aumento significativo da segurança do chuveiro elétrico.

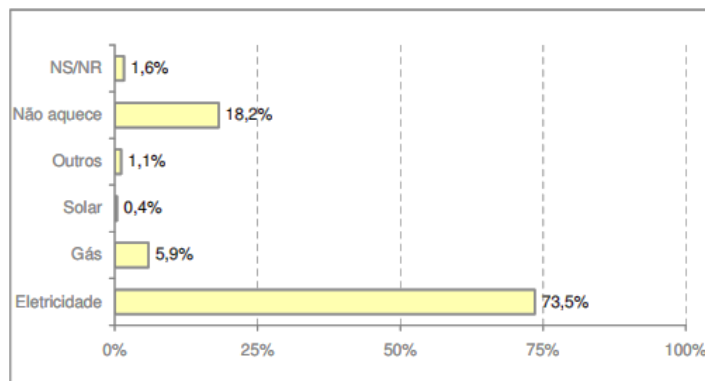


Figura 1 - Métodos de Aquecimento de Água (PROCEL)

Atualmente uma grande porcentagem do aquecimento de água, no Brasil, equivale-se ao método de eletrotermia (aquecimento através do uso de energia elétrica) como mensurado na figura 1, onde segundo a ANEEL em 2005 cerca de 73,5% das famílias no Brasil aqueciam água utilizando energia elétrica, claramente este número tornou-se ainda maior. Devido ao grande uso dos aquecedores e sua alta potência é possível notar que se somado o consumo do equipamento em todo setor residencial o impacto causado nas usinas geradoras é muito maior.

## 2.2 OS PROBLEMAS CAUSADOS

A geração elétrica em território nacional, em 2019, alcança uma potência total instalada de 164,8 GW dos quais 108,5 GW provém de usinas hidrelétricas e 41,9 GW de usinas termelétricas, onde cerca de 22% do consumo total do país é consumida pelo segmento residencial.

Ao levantar o consumo elétrico dos principais equipamentos utilizados em uma residência é possível concluir que entre toda a energia consumida em uma casa, cerca de 24% se destina para o uso do chuveiro elétrico. Este valor demonstra o grande impacto deste equipamento na rede de geração do país, assim sendo atitudes que reduzam este consumo se tornam necessárias.

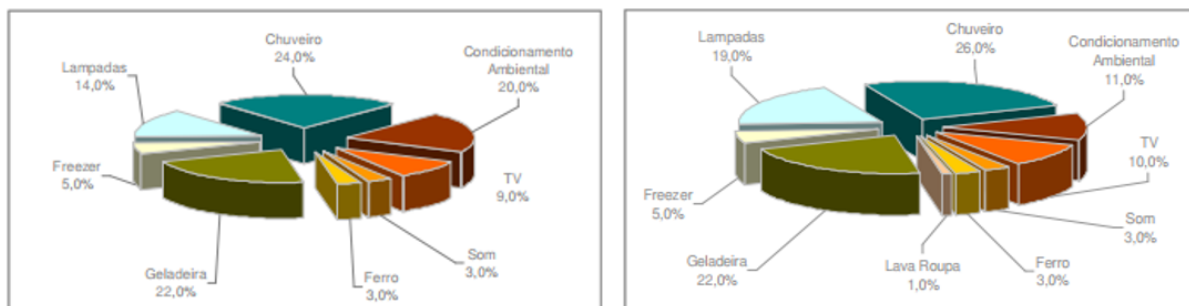


Figura 2 - Consumo Elétrico Residencial Médio - Brasil/Sudeste (PROCEL)

Além do alto consumo, os chuveiros elétricos possuem uma grande desvantagem que é sua baixa eficiência energética comparado a um sistema de aquecimento solar, o processo de aquecimento em si demanda um alto consumo de energia elétrica devido à grande variação de temperatura da água aplicada entre a entrada e a saída do equipamento. Um grande agravante para a baixa eficiência energética de um banho, está relacionado à duração do banho, onde é recomendado um banho de no máximo 10 minutos o que não ocorre em muitas residências. Simultaneamente a isto em algumas regiões do Brasil é comum a repetição desta atividade durante o decorrer do dia, resultando em até três banhos tomados pela pessoa no mesmo dia, gerando assim o aumento do consumo do equipamento.

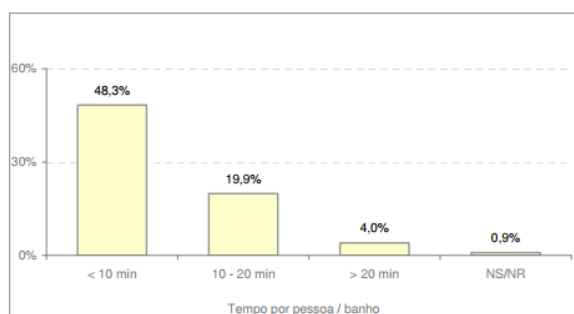


Figura 3 - Tempo Médio do Banho por pessoa utilizando chuveiro elétrico (PROCEL)

A figura 3 aponta que a maioria das pessoas gasta até 10 minutos por banho, porém 25% das pessoas não aderem a redução de tempo da atividade, algumas atitudes são tomadas para melhoria deste índice como o programa Procel destinado a realizar conscientização das pessoas para o uso inteligente da energia. Essas ações do Procel que procuram mitigar o desperdício energético apresentam a população pequenas ações realizadas no dia-a-dia que contribuem para uma maior economia. No relatório realizado pelo próprio Procel (2005), cerca de 31,2% dos chuveiros eram utilizados na posição de inverno mesmo durante o verão, o que influencia diretamente no consumo final.

“A grande maioria (73,4%) dos chuveiros elétricos tinha a chave de controle na posição ‘verão’ na época da pesquisa, sendo que no inverno 18,3% têm a chave de controle nesta posição [...]. Pôde-se observar também que 59,4% dos domicílios declararam que o tempo médio de banho é de até 10 minutos. Além disso, 67,5% dos entrevistados que possuem chuveiro elétrico declararam que não usariam o aparelho na ponta, caso a tarifa fosse mais cara neste período.” (PROCEL, 2006, p.117)

Em paralelo aos tópicos abordados acima, a grande maioria dos chuveiros elétricos disponíveis no mercado e de custo acessível a grande parte da população brasileira, apresentam um número limitado de regulagens de temperatura da água, resultando em temperaturas desconfortáveis. Como solução deste problema os usuários geralmente aumentam o fluxo de água para que resulte na redução da temperatura, porém está solução apenas máscara o problema além de gerar outro, o aumento do consumo de água. Tais consumos excessivos contribuem negativamente tanto no âmbito econômico como no ecológico.

### 2.3 IMPACTOS GERADOS

É perceptível a influência do chuveiro elétrico no setor de geração de energia do país, devido à grande participação dos chuveiros no consumo final de uma residência. Uma medida já praticada pela indústria de geração e distribuição de energia para redução destes impactos é a aplicação de tarifas como estímulo da conscientização das pessoas e redução do impacto energético nas unidades geradoras, como será abordado no próximo tópico.



Como as residências apresentam um consumo semelhante é possível observar uma curva correspondente ao consumo dos equipamentos utilizados em cada instante do dia, e fica evidente um horário de pico do consumo elétrico, resultando em uma máxima aquisição de potência durante o horário de pico, entre às 17 e 21 horas. Porém durante o restante do dia a potência consumida cai, o que implica em um sobre dimensionamento da fonte geradora e da rede de transmissão para que tenham capacidade suprir a demanda de energia elétrica durante as horas de pico, porém no restante do dia produzem uma apenas uma pequena parcela de sua capacidade. Como pode ser mostrado no gráfico abaixo:

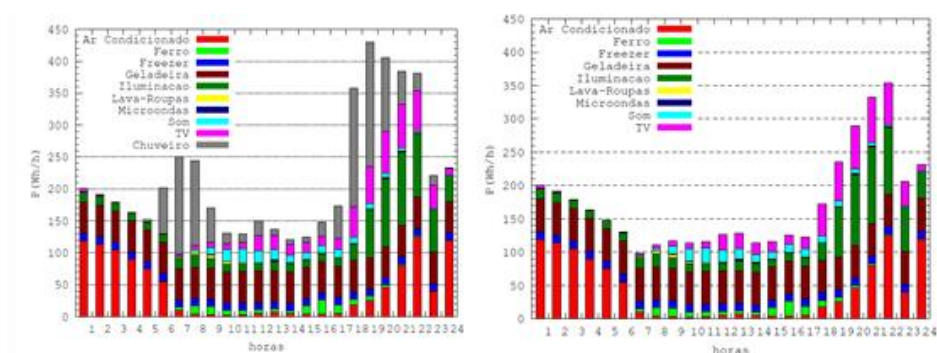


Figura 4 – Curvas de consumo residencial horário (total/sem o chuveiro) (Mauricio de Castro)

Como visto no gráfico o chuveiro elétrico além de possuir um alto consumo, tem como característica a concentração de seu uso estar localizado principalmente em dois pontos, o primeiro entre 5 e 7 horas, horário que muitas pessoas estão saindo de suas casas para trabalhar e durante o horário de pico, entre as 18 e 21 horas, horário de chegada de muitas pessoas em suas residências, assim sendo seu impacto na rede elétrica como um todo é ainda maior tanto na residência em si como nas unidades geradoras. O chuveiro elétrico é um dos maiores causadores do pico de consumo proveniente do setor residencial, este pico causa afundamento de tensão além do aumento de perdas na rede de distribuição.

## 2.4 MEDIDAS PARA AMENIZAR IMPACTOS NA GERAÇÃO

Visto a importância do tema abordado no tópico anterior e as grandes perdas devido à baixa eficiência energética do chuveiro comum e seu consumo concentrado em horários

específicos do dia, é necessário tomar algumas medidas para reduzir este impacto. Uma medida utilizada é através de programas e incentivos criados pelo Procel e Ministério de Minas e Energia, para conscientização da população para que busquem a mitigação de desperdícios, ou o estímulo de movimentação horária do consumo do chuveiro para que se distribua melhor durante o decorrer do dia ou se concentre fora do horário de ponta. O estímulo mais utilizado é o uso de tarifas diferentes de acordo com o horário de utilização.

### **2.4.1 Consciência energética**

Cabem a todas pessoas ter o cuidado ativo com nossos recursos e bens comuns, visto isso, ao perceber que um chuveiro tem um alto consumo e um baixo rendimento, existem algumas medidas simples a serem tomadas que contribuem para a diminuição de desperdícios, como a redução do tempo de banho e uma correta regulação do chuveiro, porém apenas isso não é suficientemente satisfatório, porque mesmo com menos tempo de banho, o consumo elétrico do equipamento é maior do que o necessário para manter a água em uma temperatura confortável. Está lacuna pode ser amenizada com a implementação de um sistema controle na potência entregue ao chuveiro, o programa chamado PROCEL tem foco constante no aumento da eficiência energética.

O PROCEL que é um programa criado pelo governo e regido e coordenado pelo ministério de minas e energia promove o uso eficiente da eletricidade e combate ao desperdício, sua conduta contribui principalmente no aumento da eficiência energética, na melhoria dos hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficaz de energia, contribuindo assim na sustentabilidade do país. Uma das medidas tomadas para identificação de equipamentos eficientes foi a criação do selo de economia de energia, ou selo Procel, que tem a finalidade de facilitar para as pessoas discernirem equipamentos por sua eficiência e seu consumo energético. Para a utilização do selo, são estabelecidos índices de consumo e desempenho para cada categoria de equipamento. Os fornecedores interessados em adicioná-lo em seus produtos, deverão submetê-los a ensaios em laboratório indicados pela Eletrobrás e apenas se atingirem os índices mínimos serão contemplados com o selo. Com a adesão deste programa a redução total de consumo obtida desde 1998 será de 5,6 GWh por ano, segundo informações divulgadas pela Aneel.

## 2.4.2 Tarifação

A tarifação é a determinação de valores monetários para aquisição de serviços, seus valores são determinados por órgãos reguladores responsáveis pela organização, regulação e gestão de seu setor. A ANEEL é o órgão responsável pelo setor elétrico brasileiro e o controla de maneira que se faça real a regularização, a transparência e a competitividade do setor.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, determina uma estrutura tarifária que é um conjunto de tarifas e regras de aplicação de tarifas, a ANEEL iniciou suas atividades em 1997, tendo como principais atribuições:

- Regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica;
- Implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos;
- Estabelecer tarifas;

A Aneel aplica tarifas distintas para cada tipo de consumidores, para estabelecer esta distinção são estabelecidos grupos que permitem diferenciar os tipos de usuários da rede, o grupo são divididos pelo nível de tensão de atendimento, onde o grupo A é constituído por consumidores alimentados por tensões superiores a 2,3 KV e o grupo B composto por usuários de tensão igual ou inferior a 2,3 KV. O grupo B, foco do tema do trabalho é formado principalmente por usuário de baixa tensão e subdividido em subgrupos de acordo com suas finalidades, como na imagem abaixo:

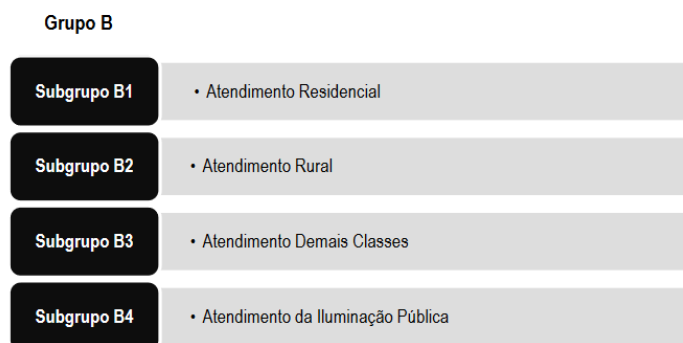


Figura 5 - Subdivisões do grupo B de Usuários da rede elétrica

A aplicação de tarifas de dá inicialmente através da definição da modalidade utilizada para cada consumidor, a modalidade tarifária mencionada é o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo e demanda de potência ativa. No grupo B é possível a aplicação de duas modalidades tarifárias diferentes:

- **modalidade tarifária convencional monômnia:** aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas únicas de consumo de energia elétrica, independentemente horário de utilização;
- **modalidade tarifária horária branca:** aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1, a tarifa branca é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia;

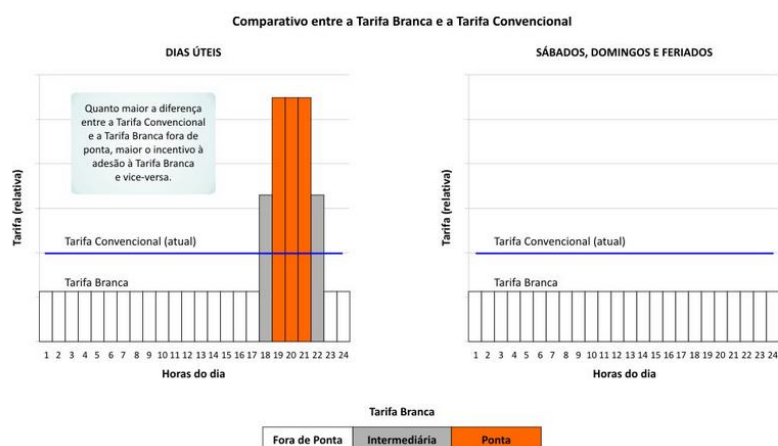


Figura 6 - Comparação entre tarifa Branca e convencional (ANEEL)

A tarifa branca que diferencia o preço da energia elétrica de acordo com o horário de utilização apresenta algumas divisões de horário reguladas pela ANEEL, cada divisão apresenta um valor de aquisição diferente:

- **posto tarifário de ponta:** período composto por 3 (três) horas consecutivas definidas pela distribuidora tomando como base a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, com exceção feita aos sábados, domingos, e feriados nacionais;

- **posto tarifário intermediário:** período de horas conjugado ao posto tarifário ponta, sendo uma hora imediatamente anterior e outra posterior;
- **posto tarifário fora de ponta:** período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos horários de ponta e, para o Grupo B, intermediários;

De acordo com a resolução normativa nº 479 da ANEEL as tarifas, que são valores (reais) por unidade de energia elétrica ativa (kW) ou da demanda de potência ativa contratada ou utilizada, variando conforme o tipo do contratante o contrato firmado entre as partes, essas tarifas são estabelecidas pela própria ANEEL, sendo elas:

- tarifa de energia – TE:

Valor monetário unitário em R\$/MWh, utilizado para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia;

- tarifa de uso do sistema de distribuição – TUSD:

Valor monetário unitário determinado pela ANEEL, em R\$/MWh ou em R\$/kW, utilizado para efetuar o faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição de energia elétrica pelo uso do sistema.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DOS AQUECEDORES

Os aquecedores de água estão presentes constantemente em nossos dias, devido principalmente ao alto conforto proporcionado à pessoa devido a possibilidade de manusear a água em uma temperatura confortável e próxima a temperatura do corpo humano, no Brasil os aquecedores mais difundidos são os elétricos de passagem, devido sua praticidade e facilidade de instalação.

Mesmo com a existência de diversos tipos de aquecedores elétricos, como duchas, chuveiros e torneiras elétricas, todos eles apresentam princípios de funcionamentos semelhantes. Inicialmente, após a liberação do fluxo da água no equipamento, o fluido se acumulará no interior do equipamento, exercendo assim uma força no diafragma, resultando no movimento do componente, o diafragma irá funcionar como uma mola que ao seu deformado pela pressão da água comutará os terminais da entrada de energia no chuveiro. Este mecanismo tem o intuito de impedir que a resistência seja energizada sem a presença de água o que resultará no aquecimento excessivo de seu filamento até o instante que alcançar seu ponto de fusão ocasionando no derretimento do elemento, resultando na queima da resistência e necessitando da aquisição de uma nova. O elemento resistivo do aquecedor é um componente capaz de, através do efeito joule, transformar a energia elétrica em térmica, fica localizada no interior da câmara quente, onde a água será contida para aquecimento antes de sua aspersão. O acúmulo de água na câmara quente se dará devido à vazão de entrada ser superior a vazão de saída limitada pelo espalhador que contém simplesmente a função de aspergir a água aquecida, armazenada na câmara quente, de forma que limite a vazão de saída do fluido.

### 3.2 DESCRIÇÃO GERAL DO PROTÓTIPO

A ideia do desenvolvimento deste trabalho é a criação de um aquecedor elétrico com um controlador de temperatura em malha fechada, que mantenha sua precisão de controle, confiabilidade e estabilidade independente das condições de entrada, apresentando resistência a interferências e perturbações.

Inicialmente foi criado um modelo básico(croqui) do circuito de acionamento, no qual houve pequenas alterações durante o processo de criação e simulação do projeto em si, o objetivo principal deste trabalho é realizar um controle relativamente preciso nas condições do processo sem a criação de grandes impactos ao conforto e a rede elétrica.

Neste projeto, o controle é realizado por disparos realizados em ângulos de fase definidos pela variação de temperatura necessária a ser aplicada na água, assim as informações enviadas pelos sensores instalados na proximidade do fluxo de água serão utilizadas como base para o cálculo do ângulo de disparo( $\theta$ ).

O controle será realizado principalmente por um microcontrolador, o Atmega 318P, por ser um circuito integrado muito difundido, de fácil programação e baixo custo de aquisição, porém tem poucos terminais de entrada e saída e memória limitada para alguns tipos de projeto. Este CI será o circuito ideal para o projeto, visto que suas características atendem os requisitos mínimos do protótipo, algo a ser reavaliado em futuras versões do projeto.

Os sensores serão os dispositivos responsáveis para realizar monitoramento das condições da planta, onde converterá energia térmica e cinética (sensor de temperatura e vazão respectivamente) em energia elétrica que comunicará os valores resultantes ao controlador.

### 3.3 SISTEMAS E MÉTODOS DE CONTROLE

Um sistema de controle é definido como um conjunto de dispositivos que gerenciam o comportamento da planta do sistema, e tem como objetivo controlar uma ou mais variáveis de um sistema, através do uso de sensores e atuadores, tais circuitos executam uma sequência de tarefas como programado previamente de acordo com as excitações elétricas presentes na entrada do sistema. O controle de um equipamento faz-se necessário entre outras vertentes para utilização máxima do potencial de um equipamento reduzindo desperdícios e utilizando diferentes recursos de maneira responsável e consciente. Um sistema de controle utiliza os sensores como comunicação entre o controlador e seu exterior na detecção de variações em suas condições de outras naturezas, para posteriormente realizar uma tomada de decisão de acordo com suas variáveis de entrada. Suas respostas, às entradas, são transmitidas de suas saídas para os atuadores para alteração nas condições do sistema e assim realizar tarefas através do uso do equipamento controlado.

Os sistemas de controle podem ser divididos em dois grupos:

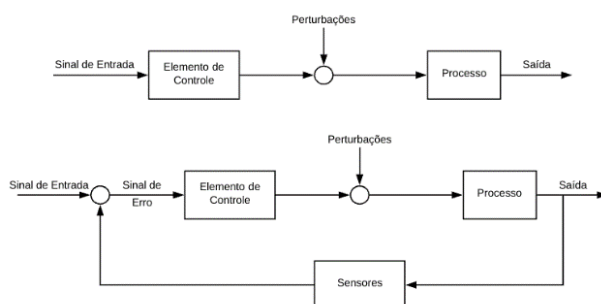


Figura 7 - Comparativo entre Controle em Malha Aberta e Fechada

**Sistema de controle em malha aberta (SCMA):** são controladores que em sua essência inexistem qualquer tipo de realimentação, sendo assim as condições reais presentes na planta não são mensuradas tampouco enviadas ao controlador para comparação com o sinal de entrada, este tipo de controle não apresenta sensores na verificação das variáveis sendo assim as ações do controlador dependem apenas de sua rotina programada em relação ao tempo. É necessário salientar que pela inexistência de retroação este método de controle é extremamente suscetível a apresentar sinais de saída errôneos no caso de presença de distúrbios, internos ou externos, não realizando assim a tarefa desejada.

**Sistema de controle em malha fechada (SCMF):** este sistema mantém uma relação pré-definida entre sua grandeza de saída e a grandeza de referência, utilizando a diferença entre elas como meio para realizar o controle, sendo denominado como sinal de erro. O sinal atuante de erro, em um sistema de malha fechada, atua diretamente no controlador com o intuito de reduzir o erro, gerando assim em sua saída um sinal correspondente ao valor desejado. Este método sempre contém ao menos uma retroação que contribuirá na redução do erro no sistema. O sistema que contém retroação apresenta maior confiabilidade do sinal de saída quando comparado a saída desejada, mesmo que na presença de perturbações contudo, este método apresenta uma resposta mais lenta, e custo de implementação maior quando comparado ao sistema em malha aberta.

### 3.3.1 Perturbações e distúrbios

São estímulos externos e indesejados que interferem no funcionamento normal do conjunto, os distúrbios ou Interferências são caracterizados como um sinal que tende a afetar de maneira adversa o valor da variável de saída do sistema, as interferências têm por características serem inevitáveis e indesejáveis e influem na qualidade do controle realizado. A opção pelo uso do controle em malha fechada foi dada para que a planta fique imune a influências provindas de sinais externos, o que aumentará a confiabilidade e estabilidade das variáveis de saída do sistema.



### 3.3.2 Sistema de controle de malha fechada

Para a realização do controle ativo da temperatura da água será utilizado um método de controle conhecido como SCMF (Sistema de Controle de Malha Fechada), que utiliza a resposta da planta (equipamento controlado pelo sistema) ao sinal de saída do controlador para realizar um reajuste do sinal, reduzindo o erro entre resposta desejada e obtida.

Um sistema em malha fechada apresenta uma realimentação negativa (retroação) que é capaz de determinar uma relação bem-estabelecida entre a saída e a grandeza de referência, a fim de compará-las para gerar uma resposta para controle. O sinal de erro atuante no sistema, que é a diferença entre os sinais de saída e entrada, tem a funcionalidade de reduzir o desvio entre a temperatura ideal do projeto e a temperatura real lida pelo sensor instalado no equipamento. O sistema com retroação tem a vantagem de ficar insensível a perturbações externas ao sistema. Um exemplo bem relacionado ao projeto seria, ao acionar o chuveiro, o sistema atuará para regularizar a temperatura real mais próxima possível à ideal, após reduzir o erro a próximo de zero, caso exista uma variação no fluxo de água o sistema perceberá a variação na temperatura da saída e trabalhará para equilibrá-lo novamente.

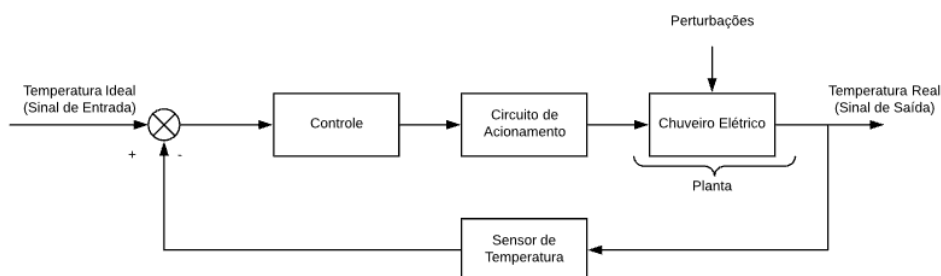


Figura 8 - Fluxograma em Malha Fechada do Protótipo

Como é possível constatar no fluxograma acima, O circuito de controle (microcontrolador) age em razão do erro do sistema, ou seja, ele realiza a comparação entre o sinal de temperatura ideal, recebido através do uso de um resistor variável (potenciômetro), e o sinal real presente na saída do sistema e interpretado pelo sensor de temperatura, a comparação entre sinais será obtida internamente ao microcontrolador pelo uso de programação. Posteriormente o circuito de acionamento irá realizar o intercâmbio entre controle e potência, respeitando uma isolamento elétrica entre as partes, devido à sensibilidade do

controlador, e finalmente o chaveamento do tiristor do circuito de acionamento realizará a alimentação ou não do aquecedor.

### **3.3.3 Microcontrolador**

Este protótipo tem como principal componente para realização do controle o chip da Atmel, o Atmega 328p, que será o responsável pela realização da leitura de variáveis de entrada, como botões de controle e leituras de sensores, e manifestar em seus terminais de saída sua tomada de decisão ideal para a condição que o sistema está exposto.

O microcontrolador é, basicamente, um circuito integrado (CI) contendo um núcleo de processador, memórias e terminais periféricos programáveis de entrada e saída, no qual pode através de uma linguagem de programação (comumente usadas C ou Assembly) desempenhar tarefas antes realizadas por grandes circuitos, os microcontroladores, como o próprio nome já descreve foi criado com a função principal de controle de outros circuitos, sendo responsável pela tomada de atitudes de acordo com as condições de sensores entregues à eles. Entretanto para que seja possível a realização da programação é necessária na maioria das vezes o uso de placas específicas à esta função, e sua programação se faz pelo uso de um computador e transferida ao chip por meio de uma conexão serial.

A parte mais importante constituinte do microcontrolador é a Unidade de Processamento ou CPU que consiste num processador capaz de realizar operações lógicas com sinais digitais.

Neste trabalho será utilizado o CI Atmega328, produzido pela empresa Atmel, este componente atenderá inicialmente aos requisitos deste protótipo, algo que deverá ser reavaliado em versões futuras do protótipo. Segue abaixo as características do CI acima destacado:

Este microcontrolador em específico possui um número de portas de conexão (14 digitais, 6 PWM e 6 analógicas) suficientes para atender o protótipo, tais portas podem ser configuradas durante a programação como entrada ou saídas, de acordo com a necessidade de cada aplicação.

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

Figura 9 – Pinagem do Microcontrolador Atmega328P

### 3.3.4 Sensores

Dispositivos capazes de detectar um estímulo de determinada natureza (mecânica, térmica, elétrica, entre outros), e respondem com um sinal elétrico correspondente ao estímulo, os sensores terão funcionalidades fundamentais para o bom funcionamento do protótipo pois garantem a plena comunicação entre controlador e ambiente de atuação do aparelho, além de possibilitarem o cálculo de erro presente no sistema. Os sensores que atendem ao projeto são: o sensor de temperatura, responsável pelo monitoramento contínuo da temperatura de saída da água que terá influência direta no sinal gerado pelo microcontrolador. E o sensor de vazão, que realizará leituras do volume de água consumido, para realização de cálculos e controle futuros, ambos sensores terão suas características e funções no sistema descritas a seguir.

#### 3.3.4.1 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura será utilizado para verificação da temperatura de saída da água próximo à sua área de aspersão, onde os valores medidos serão monitorados constantemente e utilizados como base de cálculo do chaveamento do tiristor de potência. O sensor adotado foi o sensor, de modelo DS18B20, devido sua ponta de medição ser constituída de aço inoxidável esse sensor possui características de resistência à água, o que o permite trabalhar em ambientes

úmidos ou molhados sem redução à sua vida útil ou sua precisão, algo imprescindível na concepção deste circuito, possui uma faixa de leitura entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $+85^{\circ}\text{C}$  apresentando uma precisão de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , podendo medir entre  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$  porém com a diminuição da precisão. Este sensor pode atuar com alimentação entre 3 e 5,5Vdc o que garante uma compatibilidade entre sensor e microcontrolador, possuindo 3 terminais para conexão, sendo 2 para realizar alimentação do dispositivo e o terceiro transmitirá um sinal correspondente ao valor interpretado pelo sensor.



Figura 10 – Sensor de Temperatura

#### 3.3.4.2 Sensor de vazão

A quantidade de água utilizada pelo equipamento será interpretada por um sensor de vazão conectado na tubulação de água à montante do aquecedor e representará a vazão real de água através de um sinal elétrico gerado em seu interior, após conectado o sensor será capaz de detectar o movimento da água em seu interior pela presença de pás plásticas localizadas no percurso do fluido que movimentará a pás de maneira semelhante à uma turbina de uma usina hidrelétrica. Conectadas à um gerador, as pás transmitiram a energia mecânica produzida ao gerador que a converterá em sinais elétricos.



Figura 11 – Sensor de Vazão YF-201

Este sensor será conectado diretamente na tubulação de água, na entrada de fluxo de água do chuveiro, e irá gerar constantemente pulsos que representaram o fluxo da água, esta representação se dá, conforme informado pelo fabricante, através de uma onda quadrada de amplitude bem definida e de frequência variando de forma proporcional à quantidade de água utilizada, desta forma o microcontrolador deverá decodificar o valor da frequência resultante no valor real em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

$$Z = \frac{f}{8,2} [L/min] \quad (1)$$

### 3.3.5 Calorimetria aplicado ao projeto

Em 1777, o francês Antoine Laurent Lavoisier comprovou em um experimento a lei da conservação da massa, onde ficou conhecido por sua famosa frase: "Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma". Posteriormente Albert Einstein mostrou que energia e massa estão diretamente relacionadas. Com isso, podemos seguir a linha de que toda energia aplicada em um objeto será igual às energias resultantes daquele esforço, assim a energia elétrica que realizar trabalho em um equipamento será convertida em outros tipos de energia (seja ela mecânica, térmica entre outras), em nosso projeto a potência entregue pelo Triac à carga será transformado em energia térmica, que aquecerá a água.

Sabemos que:

$$Q = vm \cdot c \cdot \Delta t \quad (2)$$

Sendo Q a quantidade de calor, vm a vazão mássica da água (calculada a partir da vazão de água), c o calor específico da água (1 cal/g°C) e ΔT a variação de temperatura da água obtida. Como o resistor transforma a energia elétrica integralmente em calor, percebemos que:

$$\eta \cdot P = vm \cdot c \cdot \Delta t$$

Para η sendo o rendimento do equipamento e P a potência ativa.

Para efeito de cálculo adotaremos alguns valores para algumas das variáveis presentes no sistema:

- Utilizaremos um chuveiro elétrico de 6820W e 220VAC;
- Vazão de 10 L/min;
- Rendimento igual a 1;
- Temperatura ambiente de 12°C (temperatura média do inverno no sudeste brasileiro).

$$vm = \frac{1000 \cdot z}{60} \cdot m \left[ \frac{g}{s} \right] \quad (3)$$

$$vm = 166,667 \text{ g/s} \quad (4)$$

$$\Delta T = \frac{6820}{166,667} = 40,92 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5)$$

Assim este equipamento em potência máxima transfere à água cerca de 40 graus célsius de variação (para uma vazão de 10 L/min), resultando em uma temperatura final de 52 °C de acordo com a temperatura ambiente estabelecida como exemplo. Porém um banho confortável tem uma temperatura próxima ao do corpo humano, de 37°C, 15°C menor da temperatura obtida.

A partir destes cálculos, no capítulo 3.6, modelaremos a forma de onda do sinal aplicado ao aquecedor de forma que entregue apenas a potência necessária para atingir a temperatura configurada.

### 3.4 PROGRAMAÇÃO

A programação do microcontrolador se dá através do uso do Arduino IDE (integrated development environment) é, em português, um ambiente de desenvolvimento integrado, escrito em Java, é responsável pela conversão da linguagem de alto nível escrita no desenvolvimento do protótipo em linguagem máquina que é interpretada pelo controlador e

posteriormente realiza a gravação do código no CI através de uma conexão usb. A linguagem de programação utilizado é a C++ (com algumas alterações).

A programação é dividida em algumas partes importantes para o funcionamento durante a rotina de atuação do circuito. A estrutura da programação do Software consiste em:

- Declaração das Variáveis e Bibliotecas:

Nessa primeira parte, são declaradas todas as variáveis que serão usadas em todo o programa e especificação do tipo de cada variável. Aqui também incluímos bibliotecas. Uma biblioteca é um conjunto de comandos pré-programados para aplicações específicas. O Arduino já possui uma vasta biblioteca para aplicações variadas, porém em casos particulares faz-se necessário a adição de outras bibliotecas.

- Definição das Configurações (voidsetup()):

Esta parte é destinada à definição das configurações do programa, além da declaração de quais pinos serão utilizados e definidos o tipo de utilização do terminal (entrada ou saída).

- A rotina de Trabalho:

Pode ser identificado pela indicação “voidloop()” e contém todos os comandos a serem realizados durante o ciclo de funcionamento em forma de loop, ou seja, será executado repetidas vezes até que alguma condição interrompa seu funcionamento.

- A Interrupção

A interrupção é uma parte do programa que não será executada normalmente, em exceção ao instante de excitação de um terminal específico para interrupções.

### 3.4.1 O microcontrolador e sua rotina de trabalho

O início do funcionamento do microcontrolador será dado pela configuração de entradas de saídas do microcontrolador, declaração das variáveis e adição de bibliotecas específicas.

No segundo ciclo, o circuito aguardará o início do uso do aquecedor, que será identificado pelo acionamento de um botão que habilitará o início da atividade e do fluxo da água, realizará inicialmente o comando para realizar a contagem do tempo de banho que será de grande importância no cálculo de consumo no fim da atividade. Em seguida irá realizar a interpretação do sinal enviado e calculará a vazão de água (L/min), esta etapa será realizada apenas uma vez durante todo o banho visto que a vazão permanecerá invariante no tempo.

Na terceira parte, após o cálculo de vazão ser concluído (o que levará 2 segundos), será ativada uma interrupção responsável pelo chaveamento da carga. O uso de interrupções no programa tem a função principal de priorizar certas partes do código em relação as demais, porque após a chamada da interrupção o controlador interrompe o ciclo de instrução que estava sendo executado e realiza outro grupo de comandos, no fim dessa interrupção o programa volta a ser executado do ponto que parou anteriormente. Esta parte do programa realizará atualização na Interface do sistema, imprimindo em seu display LCD os valores calculados e gerados pelo circuito.

O microcontrolador iniciará a execução da interrupção durante a borda de subida do sinal gerado pelo sensor de passagem por zero, que determinará o ângulo de disparo ideal. A interrupção aguardará o tempo correspondente ao ângulo determinado, da ordem de milissegundos, e acionará sua saída de controle e o manterá acionado por um curto tempo, concluindo assim a interrupção e retornando à execução do programa. Com apenas um pulso de curta duração no instante de chaveamento, o Triac entrará em condução que será interrompida apenas no momento que a diferença de potencial for menor que o necessário para vencer a queda de tensão presente no componente semiconductor, aproximadamente 0,6 volts.



Comando	Função
<code>attachInterrupt()</code>	Habilita a chamada da interrupção declarada
<code>detachInterrupt()</code>	Desabilita a chamada da interrupção declarada
<code>Serial.begin()</code>	Configura a taxa de transferência para transmissão serial
<code>lcd.print("A");</code>	Imprime a letra A no display
<code>analogRead()</code>	Lê o valor do pino analógico especificado
If	Comando condicional “se”
<code>DelayMicroseconds()</code>	Retarda a execução do próximo comando em microssegundos
<code>DigitalWrite()</code>	Determina um valor lógico para uma saída

Tabela 1 – Principais comandos utilizados

### 3.4.2 Interrupções externas

As interrupções são partes importantes dos programas para circuitos microcontrolados, pois tem a principal característica de monitorar certos tipos de atividades em tempo real, sua função é que o processador responda rapidamente a certos eventos, priorizando partes do código em relação as demais. Com o uso desta função é possível comandar o controlador de forma que eventos importantes sejam respondidos rapidamente. Entretanto as seguintes observações devem ser salientadas: A rotina da interrupção deve ser curta e de rápida execução, apenas uma interrupção pode ser executada por vez e a função de delay não funciona durante uma interrupção, mas o comando `delayMicroseconds()` funciona normalmente por não utilizar contadores.

#### Sintaxe

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pino), ISR, modo)
```

```
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pino), ISR, modo)
```

#### Parâmetros

**pino:** o número do pino a “chamar” a interrupção;

**ISR:** A rotina de serviço da interrupção, do inglês, (interrupt servisse routine) determina nome da rotina a ser chamada;

**modo:** Define o instante que a interrupção deve ser chamada, podendo assumir quatro diferentes valores:

**LOW** acionar a interrupção quando o estado do pino for LOW;

**CHANGE** acionar a interrupção sempre que houver mudança de estado do pino;

**RISING** acionar a interrupção quando o estado do pino for de LOW para HIGH apenas;

**FALLING** acionar a interrupção quando o estado do pino for de HIGH para LOW apenas.

Durante a execução do programa principal (voidloop()) é possível habilitar e desabilitar a interrupção de forma que não seja chamada no meio de um conjunto específico de comandos que devem ser executados ininterruptamente.

### 3.5 CIRCUITO

O funcionamento geral do sistema pode ser verificado no fluxograma abaixo, onde é exemplificado a organização de seus componentes e conexões entre eles.

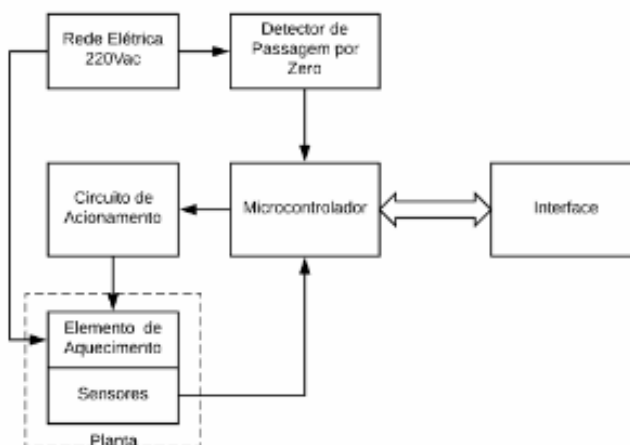


Figura 12 – Fluxograma de montagem do circuito

### 3.5.1 Detector de passagem por zero

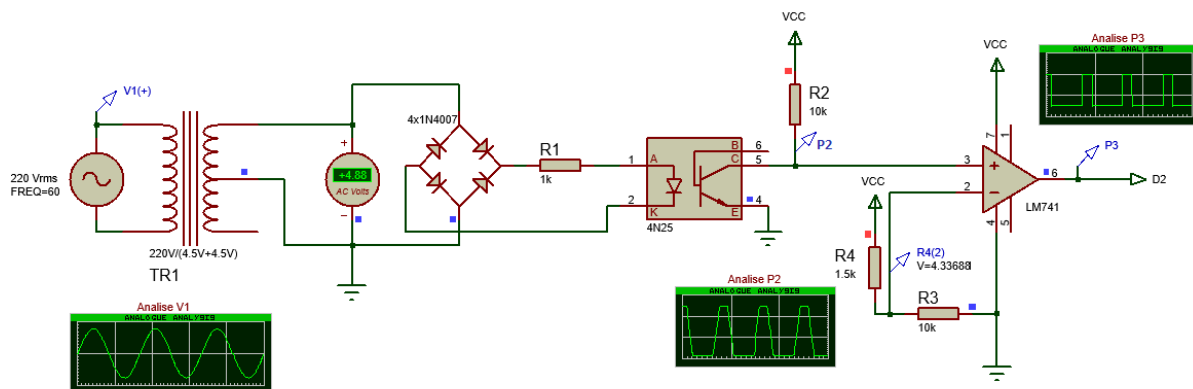


Figura 13 – Circuito Detector de Passagem por zero

O circuito utilizado conta pode ser dividido em três partes, retificação do sinal da rede, detecção do zerocrossing, e discretização do sinal.

A retificação do sinal será realizada por uma ponte retificadora logo após a redução do nível da tensão realizada pelo transformador (220V/4,5+4,5V), o sinal gerado por esta etapa será um sinal contínuo pulsante que conduzirá uma corrente nos terminais do LED interno do optoacoplador conectado à jusante do retificador. O optoacoplador terá importantes funções no funcionamento do circuito, sendo eles realizar isolamento elétrica entre rede e circuito de controle, além de resultar na condução de seu transistor sempre que a queda de tensão induzida em sua base for superior à tensão base-emissor ( $V_{BE}=0,6V$ ) do semiconductor de saída, em seu coletor haverá uma conexão com um resistor na configuração de pull-up, que enviará sinal de nível lógico alto sempre que o transistor estiver em estado de corte, assim sendo o sinal no momento de passagem por zero do sinal da rede este circuito manterá nível alto em sua saída por alguns instantes.

Em seguida o amplificador operacional (LM741), irá realizar uma comparação entre o sinal recebido e uma tensão constante gerada por um divisor de tensão, formado por dois resistores. Assim a tensão antes analógica será convertida em digital, pois todo instante que a tensão de entrada for superior a tensão configurada pelo divisor o sinal de saída estará em nível alto, caso seja inferior a saída estará em nível baixo.

Os sinais de saída dos componentes estão apresentados nos gráficos abaixo:

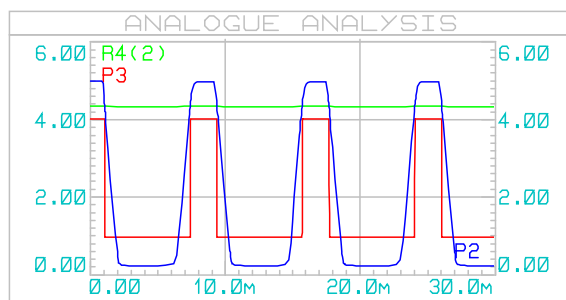


Figura 14 – Sinais de Saída Gerados pelo Circuito detector

### 3.5.2 Circuito de acionamento de potência (Chaveamento da Carga)

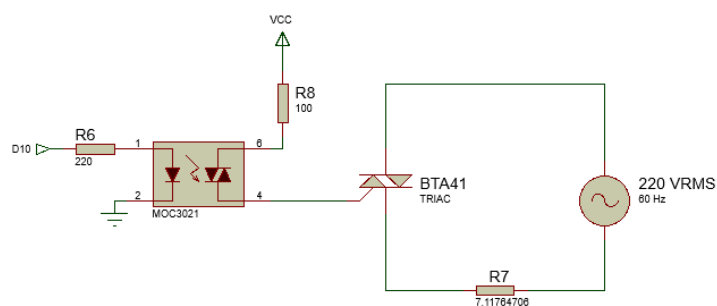


Figura 15 – Circuito de Acionamento de Potência

O acionamento da carga será realizado através de uma saída discreta, que reproduzirá um pulso quadrado no instante de chaveamento da senóide, o microcontrolador estará conectado à rede através de um optoacoplador que evitará que qualquer variação ou ruído no sinal da rede elétrica interfiram na confiabilidade do controlador e na vida útil dos componentes de controle. E à jusante do opto acoplador haverá um Triac, que terá seu gate excitado por este sinal e entrará em condução no instante de subida do sinal, foi adotado este tiristor devido sua alta velocidade de acionamento, e sua flexibilidade de controlar altas correntes providas da carga através de baixíssimas correntes em seu gate. Como por exemplo, o tiristor BTA41-600B utilizado no circuito é controlado por uma corrente máxima de 50 mA (miliampères) em seu

gate e suporta correntes de até 40 Ampères em seus terminais de potência (MT1 e MT2), características importantes na concepção do sistema de controle.

O TRIAC (Triode for Alternating Current) é uma chave eletrônica, do grupo dos tiristores, que ao receber uma tensão em seu gate (G), permite a condução de corrente entre os terminais MT1 e MT2 independente do sentido de condução. Após o acionamento do triac, por meio de um pulso, ele entrará em condução e apenas retornará em estado de corte no instante que a tensão que alimenta a carga for reduzida a um nível próximo de zero. Assim sendo o circuito de controle deverá enviar um pulso (curta duração), para o acionamento no ângulo de fase ideal em cada semiciclo da senoide fundamental de 60 Hz.

### **3.5.3 Interface**

A interface do protótipo é um componente de grande importância na interação entre o equipamento e o usuário, a interface do sistema contará com um botão de responsável por habilitar o início do uso do equipamento e indicar o termino da atividade, um potenciômetro destinado a regulagem da temperatura desejada da água e finalmente um display LCD que imprimirá, em sua tela, as informações do sistema, como o consumo calculado e as configurações do sistema.

## **3.6 CONTROLE DE CONSUMO**

O cálculo de consumo será explanado a seguir separadamente de acordo com o recurso utilizado:

### **3.6.1 Consumo hídrico**

O consumo hídrico ( $C_{hid}$ ) será calculado com base nos valores gerados pelo sensor de vazão instalado na tubulação do chuveiro (Q) e no tempo de banho(t). O sinal gerado pelo

sensor, como já comentado anteriormente, será uma onda quadrada onde o número de pulsos está diretamente relacionado à vazão de água, relação dada pela fórmula a seguir:

$$C_{hid.} = Z \cdot t \cdot 0,001 [m^3] \quad (6)$$

O volume de água utilizado será calculado apenas no final da atividade utilizando o tempo total de utilização de água, é possível a utilização desta fórmula apenas considerando de que a regulação da válvula de controle da água não será alterada durante a atividade, para maior controle o sistema poderia regular a quantidade de água utilizada através do uso de uma válvula solenoide ou de um motor, porém por não ser o foco principal do trabalho não será abordado profundamente no primeiro momento.

### 3.6.2 Consumo elétrico

#### 3.6.2.1 A influência do efeito joule na resistência elétrica

Conforme será mostrado posteriormente o cálculo, realizado pelo controlador, da potência consumida pelo equipamento será calculada utilizando uma variação da lei de Ohm, que relaciona a tensão eficaz aplicada ao valor da resistência, assim sendo um ponto deve ser observado, sendo pertinente a influência da temperatura na resistência elétrica do chuveiro, que pode influenciar nos valores resultantes dos cálculos.

A resistência elétrica tem por característica a capacidade de oposição a passagem de corrente elétrica, uma corrente que percorre um elemento resistivo o gera aquecimento do componente, devido ao efeito joule. O elemento resistivo, responsável pelo aquecimento de água, é constituído por uma liga baseada em Níquel (Ni) e Cromo (Cr), chamada de Nicromo (15%-25%Cr, 19-80%Ni, e o percentual restante normalmente composto por Ferro). Destaca-se pelo alto ponto de fusão, que permite temperaturas elevadas, sem que o filamento se rompa ou danifique. Além do baixo valor de coeficiente de temperatura, que resulta em uma baixa variação de resistência devido a variação de temperatura.

A tabela abaixo faz um comparativo entre a liga utilizada no elemento resistivo e alguns metais conhecidos.

	Resistividade $\rho$ [ $10^{-8}\Omega.m$ ]	Coefficiente de temperatura $\alpha$ [ $^{\circ}C^{-1}$ ]	Ponto de Fusão [ $^{\circ}C$ ]
Níquel	8,7	0,0047	1.455
Ferro	12	0,0050	1.538
Nicromo	110	0,00017	1.400
Constantan	49	0.00001	1.280
Carbono	3500	-0,0005	3550

Tabela 2 - Comparação entre características do nicromo em relação a outros metais outros metais

A variação de resistência devido ao efeito joule dá-se pela fórmula a seguir:

$$R = R0 * (1 + \alpha * \Delta T) \quad (7)$$

Onde:

R = Resistencia à temperatura T;

R0 = Resistência à temperatura de 20  $^{\circ}C$ ;

$\alpha$  = coeficiente de temperatura [ $^{\circ}C^{-1}$ ];

$\Delta T$  = Variação de temperatura entre T0 (temperatura ambiente) e T (temperatura da água já aquecida). [ $^{\circ}C$ ].

Através deste cálculo é possível observar que a variação de resistência, em relação a variação máxima de temperatura do equipamento em questão ( $\Delta T=40^{\circ}C$  como demonstrado na formula 7), é próxima de 0,7%, baixa variação do valor resistivo deve-se ao baixíssimo coeficiente de temperatura do Nicromo,  $0.17 \mu^{\circ}C^{-1}$ , o que, inicialmente, não deve ter influência significativa na montagem do protótipo, no cálculo de consumo realizado pelo microcontrolador ou nos resultados obtidos no fim do trabalho.

### 3.6.2.2 Cálculo da potência elétrica em relação ao ângulo de chaveamento

Em seguida utilizará uma base de dados implementada em sua memória correspondente a potência dissipada pelo equipamento correspondente a diferentes ângulos de disparo. Obtidos por meio de cálculos, realizados pelo próprio autor, utilizando como base a função da senóide pura.

$$V_n = \sqrt{\frac{A^2}{T} \cdot \int_{\phi}^T \text{sen}^2(\omega t) dt} \quad (8)$$

Durante o uso do chuveiro o controlador recolherá amostras do ângulo de disparo do triac utilizados e realizará o cálculo da tensão eficaz correspondente aquele sinal chaveado:

$$V_{rms} = \frac{\sum_0^n V_n}{n} \quad (9)$$

Onde:

$V_{rms}$  é a tensão eficaz média das amostras obtidas;

$n$  é o número de amostras;

$V_n$  é a tensão eficaz da amostra  $n$ ;

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (10)$$

A partir disso foi criada uma tabela com os valores de ângulo de disparo, tensão eficaz correspondente ao sinal chaveado, potência utilizada pelo chuveiro e economia, potência resultante e variação de temperatura ideal relacionada ao ângulo de chaveamento.

Ângulo de disparo	Porc. %	Tempo de disparo	$V_{rms}$	Potência (W)	Potência Economizada (W)	Variação de Temperatura* (°C)
0	0	0	220	6820	0,00	40,92
18	10	0,83	219,2892	6776	44	40,66
36	20	1,67	214,5784	6488	332	38,93
54	30	2,50	202,9874	5806	1013	34,84
72	40	3,33	183,215	4730	2090	28,38
90	50	4,17	155,5635	3410	3410	20,46
108	60	5,00	121,7878	2090	4730	12,54
126	70	5,83	84,78816	1013	5806	6,08
144	80	6,67	48,53997	332	6488	1,99
162	90	7,50	17,67083	44	6776	0,26
180	100	8,33	0	0	6820	0

\*Os dados Calculados foram baseados à uma vazão de 10 L/min.

Tabela 3 – Características do Chaveamento por ângulo de fase

A partir dos ângulos de disparo e de suas potências foi plotado um gráfico que demonstra a potência dissipada pelo aquecedor correspondente a cada ângulo de disparo, evidenciando a possibilidade de economia que dependerá principalmente da temperatura ambiente.



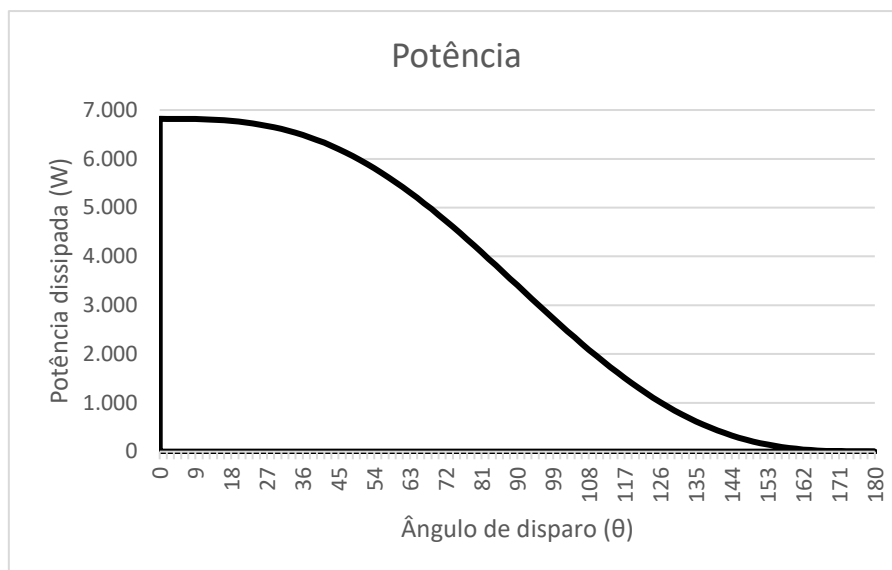


Figura 16 – Gráfico de Potência dissipada em relação ao ângulo de disparo

## 4 RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

### 4.1 SIMULAÇÃO

A montagem e simulação do protótipo foi realizada pelo software Protheus que é capaz de realizar testes, medições e simulações necessárias para elaboração deste trabalho.

### 4.2 COMPARATIVO ENTRE MODELO COMUM E OTIMIZADO

Considerando dados recolhidos por meio de cálculos e simulações, é possível estimular comparações entre métodos de acionamento com a finalidade de confirmar as diferentes características entre o aquecedor que utiliza o sistema de controle proposto e o de acionamento direto, comumente utilizado. Para efeito comparativo os valores obtidos serão divididos em aquisição/instalação e em consumo, desta maneira será evidente vantagens financeiras de cada modelo de acionamento.

Tomando como base que as divergências de consumo entre modelos serão proporcionais à variação de temperatura a ser aplicada na água e logicamente a potência ativa necessária para atingir tal temperatura, como por exemplo no inverno se for imprescindível a utilização da potência máxima disponível, ambos métodos de acionamento terão consumos praticamente iguais, entretanto se não for necessário a aplicação de toda potência as diferenças começarão a ficar evidentes visto que o aquecedor comum irá continuar a utilizar a potência máxima e o modelo otimizado irá regular a tensão ideal a ser aplicada no equipamento. Assim sendo dividiremos este cálculo em duas partes uma parte no verão, com 25°C, e no inverno, com 13°C.

A instalação de ambos modelos exige basicamente a mesma infraestrutura externa independente do modo de acionamento assim sendo não serão considerados como determinantes para a comparação.

#### 4.2.1 Modelo comum

Este método é capaz variar a potência utilizada através da variação do valor da resistência do equipamento, porém tal regulagem é limitada pelo número de variações disponíveis, reduzindo assim sua eficiência para realizar uma comparação justa será considerado duas situações distintas que apresentem diferentes temperatura ambiente, para cada situação será considerado apenas a regulagem que forneça apenas a saída mais próxima do ideal.

O valor de aquisição do produto se deu por meio de pesquisa de mercado para um produto simples de baixo custo com a potência estipulada pelo trabalho neste método este valor é simplesmente o preço apenas do aquecedor, visto que não necessita de nenhum componente de acionamento externo para seu funcionamento.

O consumo será calculado considerando uma residência com 4 pessoas e uso de um chuveiro de 40 minutos por dia. Sabendo que o aquecedor tem três regulagens que variam o valor da resistência interna do aquecedor, assim sendo no cálculo de consumo no verão o equipamento estará na posição 1, que fornece variação aproximada de 15°C e cc <sup>(11)</sup> 2500W, na posição 2 durante o inverno, com variação de 30,6°C e consumo de 5100W, além da posição 3 que consome 6820W e fornece variação máxima de 40,9°C (desconsiderando as perdas).

$$t = \frac{40}{60} * 30 = 20 \text{ horas/mês}$$

**Condição 1** (verão - 25°C)

$$\Delta T = 15^\circ\text{C} \quad P = 2500\text{W} \quad (\text{Regulagem 1})$$

$$C_{ele} = 20 * 2500 C_{ele} = 50 \text{ KWh/mês} \quad (12)$$

**Condição 2** (inverno - 13°C)

$$\Delta T = 30,6^\circ\text{C} \quad P = 5000\text{W} \quad (\text{Regulagem 2})$$

$$C_{ele} = 20 * 5000 \quad C_{ele} = 100 \text{ KWh/mês} \quad (13)$$

#### 4.2.2 Modelo otimizado

O custo de aquisição deste modelo será a soma entre o custo do equipamento e o circuito de acionamento destacado no trabalho.

O cálculo do gasto em energia elétrica deste tipo de acionamento será calculado, em ambas situações propostas (verão e inverno) utilizando apenas a regulagem de temperatura na posição máxima, visto que o circuito de controle se encarregará pela variação da tensão aplicada à planta, diferente do tipo anterior que realiza variação na resistência, este acionamento utiliza uma resolução de regulagem muito menor o que garante um ajuste fino da potência consumida. Conforme os dados levantados na tabela, é possível facilmente verificar o consumo em cada uma das condições propostas.

**Condição 1** (verão - 25°C)

$$\Delta T = 12,54^\circ\text{C} \quad P = 2090 \text{ W} \quad \text{ângulo de disparo: } 108^\circ$$

$$C_{ele} = 20 * 2090 C_{ele} = 41,8 \text{ KWh/mês} \quad (14)$$

**Condição 2** (inverno - 13°C)

$\Delta T = 24,52^\circ\text{C}$

$P = 4086\text{W}$

ângulo de disparo:  $81^\circ$

$$C_{ele} = 20 * 4086 \quad C_{ele} = 81,72 \text{ KWh/mês} \quad (15)$$

## 4.3 COMPONENTES UTILIZADOS

Após coleta de todas as informações das partes do sistema de controle foram levantadas bases de valores monetários para as partes para realização da comparação, estes valores podem variar de acordo com o instante de aquisição e com a região, porém como o intuito é simplesmente comparativo atenderá nossas expectativas.

Componente	Preço
Chuveiro Elétrico 6820W	R\$ 44,90
Microcontrolador Atmega 328P	R\$ 17,00
Sensor de Vazão	R\$ 28,00
Sensor de Temperatura	R\$ 18,00
Detector de Passagem por Zero	R\$ 21,00
Fonte 5V 2A	R\$ 22,00
Circuito de Acionamento + TRIAC	R\$ 16,00
Interface	R\$ 15,00
Demais Componentes	R\$ 7,00
Total	R\$188,90

Tabela 4 – Custo de Implementação do projeto

Finalmente com o uso dos dados levantados acima será possível o cálculo monetário devido a aquisição de ambos sistemas e do uso de eletricidade de cada um, o consumo de eletricidade será calculado seguindo valores cálculos realizados na Fórmula **X**, e valores tarifários referentes ao mês de abril de 2019, detalhados no Anexo I, acrescidas dos valores referentes à impostos. O que resultará em um multiplicador de aproximadamente 0,681. Assim sendo obtemos os valores de consumo listados abaixo:

	Modelo Comum	Modelo Otimizado
Aquisição	R\$ 44,90	R\$ 188,90
Consumo verão	R\$ 34,04	R\$ 28,47
Consumo inverno	R\$ 68,10	R\$ 55,65

Tabela 5 – Comparação de custo entre modelos de acionamento

Após a análise da tabela é possível constatar que claramente o modelo comum obtém vantagem econômica, em comparação com o modelo otimizado, visto apenas do ponto de vista de investimento inicial devido seu valor de aquisição ser menor, porém a diferença de consumo presente entre os modelos eliminará esta diferença financeira entre os modelos, a partir daí é possível estipular um prazo para retorno financeiro do modelo a ser implantado através da economia obtida pelo uso mais consciente da energia elétrica.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho teve o objetivo de realizar um estudo sobre o uso de aquecedores elétricos em nosso cotidiano, e a percepção de possíveis melhorias de sua utilização. Após a percepção do desperdício presente no uso desses equipamentos foi detalhado o impacto causado por este consumo excessivo tanto nos valores cobrados pela companhia concessionária à residência como impactos nas unidades geradoras. Em seguida, foi proposto um circuito protótipo capaz de mitigar este desperdício através do uso de um controlador responsável pela operação de acionamento do aquecedor, este controlador é capaz, por meio dos circuitos periféricos detalhados no trabalho (capítulo 3.5), de regular a potência dissipada pelo dispositivo.

O modelo de acionamento proposto, conta com um microcontrolador capaz de reger todas ações do sistema e coordená-las de forma que economize energia da melhor maneira possível. Após a concepção do circuito foram realizadas simulação que comprovassem seu correto funcionamento em relação ao esperado, com as simulações e seus respectivos cálculos realizados, foi possível comprovar a economias obtidas se comparado com o modelo de acionamento convencional.

Enfim, no capítulo7 (Resultados Obtidos e Análise), foi realizada uma comparação detalhada entre os métodos de acionamento, comum e otimizado, quantificando através de cálculos as divergências entre valores resultantes de cada modo de acionamento. E assim atingindo o objetivo do trabalho, que além de identificar pontos de desperdício no uso dos aquecedores elétricos, com a implementação do protótipo estes valores foram reduzidos, ocasionando na melhoria do controle de temperatura, redução de riscos de choque elétricos ocasionados pela alteração manual da chave seletora do chuveiro e na utilização apenas da potência necessária para atingir a temperatura desejada pelo usuário.

Como resultado do trabalho, com um baixo investimento inicial, o protótipo que através do uso racional da energia gerou economia e assim a minimização dos impactos causados nas fontes geradoras.

## **Futuros Trabalhos**

Como sugestão de trabalhos futuros, é possível um aperfeiçoamento do sistema proposto como a implementação de um banco de dados para armazenamento dos dados obtidos, além da integração do circuito com uma tecnologia de IoT (em português, internet das coisas) para controle remoto do sistema. Além da possível a identificação de outros equipamentos com baixa eficiência e a realização de estudos específicos e relacionados ao dispositivo, buscando melhorias tanto no uso da eletricidade como no uso de outros recursos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ogata, K. *Modern Control Engineering* 3<sup>a</sup> ed. 1997, 828p. Tradução: LTC – Livros técnicos e Científicos Editora S.A.

SGT. Tarifa Branca. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acessado em: 15 mar. 2019

TOMÉ, M. C. Análise do impacto do chuveiro elétrico em redes de distribuição no contexto da tarifa horossazonal. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - UNICAMP

ARDUINO. Documentação de Referência da Linguagem Arduino. 2019. Disponível em: <[www.arduino.cc/reference/pt/](http://www.arduino.cc/reference/pt/)>. Acesso em: 11 abr. 2019

PROCELINFO. Pesquisas de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPHs). 2006. Disponível em: <<http://www.procel.gov.br/main.asp?View={4A5E324F-A3B0-482A-B1CD-F75A2A150480}>>. Acesso em: 28 abr. 2019



## APÊNDICE I

### Programa

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#define ONE_WIRE_BUS 3 // Porta do pino de sinal do DS18B20
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Define uma instancia do sensor
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensor1;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 6, 5, 4); // Inicializa o LCD
int Tensoes[] = {220, 219, 217, 212, 202, 190, 178, 167, 160, 156, 155, 155, 152, 143, 129,
110, 86, 60, 34, 12, 0};
int Bliga=9, SaidaPulso=10; //Interface
int essavazao, lastvazao, countervazao; //vazao
int tempoatual, tempoanterior, seg, minuto; //contagem de tempo
float Tideal, Treal, Pot; //variaveis analogicas
int px=0, tempopx=0;
int n=0, ang=0;
int Svazao;
float Q, hora, Poteconomia, VolumeAgua , Custoagua, CustoEle, RSeletrica, RSagua,
Resistencia=7.097;
float Vrms, nVrms, Temp;
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  // Localiza e mostra enderecos dos sensores
  Serial.println("Localizando sensores DS18B20...");
  Serial.print("Foram encontrados ");
  Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
  Serial.println(" sensores.");
  if (!sensors.getAddress(sensor1, 0))
    Serial.println("Sensores nao encontrados !");
  // Mostra o endereco do sensor encontrado no barramento

```

```

Serial.print("Endereco sensor: ");
mostra_endereco_sensor(sensor1);
Serial.println();
Serial.println();
lcd.begin(16, 2);
lcd.clear();
pinMode(Bliga,INPUT);
pinMode(SaidaPulso,OUTPUT);
pinMode(A1,INPUT);
pinMode(A0,INPUT);
pinMode(2,INPUT);
pinMode(3,INPUT);
}
void mostra_endereco_sensor(DeviceAddress deviceAddress)
{
  for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
  {
    // Adiciona zeros se necessário
    if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
    Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
  }
}
void loop()
{
  int SDPZ = digitalRead(2);
  int SVZ = digitalRead(3);
  if(Bliga=1)
  {
    if(SVZ>0||Svazao!=SVZ)
    {
      if(countervazao=0) //----- leitura da vazao -----
      {
        attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), interrupcaoVazao, RISING);
        delay(2000);
      }
    }
  }
}

```

```

detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3));
}
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), interrupcaoDPZ, RISING);
Svazao=digitalRead(2);
tempoatual = millis(); //----Contagem de tempo-----
if (tempoatual >(tempoanterior + 1000))
{
tempoatual=tempoanterior;
seg = seg + 1;          //passou 1 segundos
if (seg>59)
{
seg=0;
minuto = minuto + 1;   //passou 1 minuto
hora = minuto/60;
ang = px/5;
nVrms = Tensoes[ang]; //Tensão eficaz para disparo no angulo "ang"
n = n + 1;             //numero de amostras
}
}
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("tempo:  m");
lcd.setCursor(7, 0);
lcd.print(minuto);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temp:");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(Temp);
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(223); //simbolo de grau
lcd.print("C");
}
else // caso vazão acabe
{

```

```

    tempoanterior = millis();
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2));
}
}
if (Bliga=0)
{
    detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2));
    Q = countervazao/(8.2);
    Pot = (Vrms*Vrms) / Resistencia;    //Potencia dissipada
    Poteconomia = 6820 - Pot;          //Potencia economizada 5042W (potencia total)
    VolumeAgua = Q*minuto*0,001;
    Custoele = Pot*hora*RSeletrica;
    lcd.setCursor(0, 0); //----- Imprimir custos no LCD -----
    lcd.print("tempo:");
    lcd.setCursor(6, 0);
    lcd.print(minuto," m ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Agua:");
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(VolumeAgua,"m3");
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("P:    KW/h");
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print(Pot*hora);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Custo: RS ");
    lcd.setCursor(10, 0);
    lcd.print(Custoele);
    delay(1000);
}}
void interrupcaoDPZ()
{ //----- leitura de temp -----

```

```

Pot = analogRead(A1); //definir entrada analogica POT
Tideal = (Pot/1024)*100; //Calcula a temperatura(Potenciometro)
sensors.requestTemperatures(); //Recebe temperatura do sensor
float Temp = sensors.getTempC(sensor1); //recebe valor do sensor
if(px<100||px>=0) // periodo de meia senoide é 8333 us
{
  if(Tideal>Treal||px>=5)
  {
    px = px-5;
  }
  else if(Tideal<Treal)
  {
    px = px+5;
  }
}
tempopx = 82.3*px;
delayMicroseconds(tempopx);
digitalWrite(SaidaPulso, HIGH);
delayMicroseconds(100);
digitalWrite(SaidaPulso, LOW);
}
void interrupcaoVazao()
{
  countervazao++;
  delay(1); // Delay a little bit to avoid bouncing
}

```

## APÊNDICE II

Tabela dos ângulos de disparo e suas características.

Ângulo de disparo	Porc. %	Tempo de disparo	Tensão Eficaz (V)	Potência (W)	Potência Economizada (W)	Varição de Temperatura* (°C)
0	0	0	220	6820,00	0,00	40,92
1,8	1	0,08	220	6819,96	0,04	40,92
3,6	2	0,17	219,99	6819,64	0,36	40,92
5,4	3	0,25	219,98	6818,79	1,21	40,91
7,2	4	0,33	219,95	6817,14	2,86	40,9
9	5	0,42	219,91	6814,42	5,58	40,89
10,8	6	0,5	219,84	6810,38	9,62	40,86
12,6	7	0,58	219,75	6804,76	15,24	40,83
14,4	8	0,67	219,63	6797,31	22,69	40,78
16,2	9	0,75	219,48	6787,81	32,19	40,73
18	10	0,83	219,29	6776,00	44,00	40,66
19,8	11	0,92	219,06	6761,68	58,32	40,57
21,6	12	1	218,78	6744,63	75,37	40,47
23,4	13	1,08	218,46	6724,65	95,35	40,35
25,2	14	1,17	218,08	6701,54	118,46	40,21
27	15	1,25	217,65	6675,14	144,86	40,05
28,8	16	1,33	217,16	6645,26	174,74	39,87
30,6	17	1,42	216,62	6611,78	208,22	39,67
32,4	18	1,5	216	6574,53	245,47	39,45
34,2	19	1,58	215,33	6533,41	286,59	39,2
36	20	1,67	214,58	6488,31	331,69	38,93
37,8	21	1,75	213,77	6439,14	380,86	38,63
39,6	22	1,83	212,88	6385,81	434,19	38,31
41,4	23	1,92	211,92	6328,28	491,72	37,97
43,2	24	2	210,88	6266,49	553,51	37,6
45	25	2,08	209,77	6200,44	619,56	37,2
46,8	26	2,17	208,58	6130,09	689,91	36,78
48,6	27	2,25	207,3	6055,48	764,52	36,33
50,4	28	2,33	205,95	5976,61	843,39	35,86
52,2	29	2,42	204,51	5893,54	926,46	35,36
54	30	2,5	202,99	5806,31	1013,69	34,84
55,8	31	2,58	201,39	5715,01	1104,99	34,29
57,6	32	2,67	199,7	5619,73	1200,27	33,72
59,4	33	2,75	197,94	5520,58	1299,42	33,12
61,2	34	2,83	196,08	5417,66	1402,34	32,51
63	35	2,92	194,14	5311,14	1508,86	31,87
64,8	36	3	192,12	5201,14	1618,86	31,21
66,6	37	3,08	190,02	5087,85	1732,15	30,53
68,4	38	3,17	187,83	4971,43	1848,57	29,83
70,2	39	3,25	185,56	4852,08	1967,92	29,11
72	40	3,33	183,22	4730,00	2090,00	28,38
73,8	41	3,42	180,79	4605,41	2214,59	27,63
75,6	42	3,5	178,28	4478,51	2341,49	26,87
77,4	43	3,58	175,69	4349,56	2470,44	26,1
79,2	44	3,67	173,03	4218,78	2601,22	25,31
81	45	3,75	170,3	4086,42	2733,58	24,52
82,8	46	3,83	167,49	3952,74	2867,26	23,72
84,6	47	3,92	164,61	3817,99	3002,01	22,91
86,4	48	4	161,66	3682,44	3137,56	22,09
88,2	49	4,08	158,64	3546,36	3273,64	21,28

Ângulo de disparo	Porc. %	Tempo de disparo (ms)	Tensão Eficaz (V)	Potência (W)	Potência Economizada (W)	Varição de Temperatura (°C)
90	50	4,17	155,56	3410	3410	20,46
91,8	51	4,25	152,42	3273,64	3546,36	19,64
93,6	52	4,33	149,22	3137,56	3682,44	18,83
95,4	53	4,42	145,96	3002,01	3817,99	18,01
97,2	54	4,5	142,65	2867,26	3952,74	17,2
99	55	4,58	139,28	2733,58	4086,42	16,4
100,8	56	4,67	135,87	2601,22	4218,78	15,61
102,6	57	4,75	132,41	2470,44	4349,56	14,82
104,4	58	4,83	128,91	2341,49	4478,51	14,05
106,2	59	4,92	125,37	2214,59	4605,41	13,29
108	60	5	121,79	2090	4730	12,54
109,8	61	5,08	118,18	1967,92	4852,08	11,81
111,6	62	5,17	114,54	1848,57	4971,43	11,09
113,4	63	5,25	110,87	1732,15	5087,85	10,39
115,2	64	5,33	107,19	1618,86	5201,14	9,71
117	65	5,42	103,48	1508,86	5311,14	9,05
118,8	66	5,5	99,76	1402,34	5417,66	8,41
120,6	67	5,58	96,03	1299,42	5520,58	7,8
122,4	68	5,67	92,29	1200,27	5619,73	7,2
124,2	69	5,75	88,55	1104,99	5715,01	6,63
126	70	5,83	84,82	1013,69	5806,31	6,08
127,8	71	5,92	81,09	926,46	5893,54	5,56
129,6	72	6	77,37	843,39	5976,61	5,06
131,4	73	6,08	73,66	764,52	6055,48	4,59
133,2	74	6,17	69,97	689,91	6130,09	4,14
135	75	6,25	66,31	619,56	6200,44	3,72
136,8	76	6,33	62,67	553,51	6266,49	3,32
138,6	77	6,42	59,07	491,72	6328,28	2,95
140,4	78	6,5	55,51	434,19	6385,81	2,61
142,2	79	6,58	51,99	380,86	6439,14	2,29
144	80	6,67	48,52	331,69	6488,31	1,99
145,8	81	6,75	45,1	286,59	6533,41	1,72
147,6	82	6,83	41,74	245,47	6574,53	1,47
149,4	83	6,92	38,44	208,22	6611,78	1,25
151,2	84	7	35,21	174,74	6645,26	1,05
153	85	7,08	32,06	144,86	6675,14	0,87
154,8	86	7,17	28,99	118,46	6701,54	0,71
156,6	87	7,25	26,01	95,35	6724,65	0,57
158,4	88	7,33	23,13	75,37	6744,63	0,45
160,2	89	7,42	20,34	58,32	6761,68	0,35
162	90	7,5	17,67	44	6776	0,26
163,8	91	7,58	15,12	32,19	6787,81	0,19
165,6	92	7,67	12,69	22,69	6797,31	0,14
167,4	93	7,75	10,4	15,24	6804,76	0,09
169,2	94	7,83	8,26	9,62	6810,38	0,06
171	95	7,92	6,29	5,58	6814,42	0,03
172,8	96	8	4,51	2,86	6817,14	0,02
174,6	97	8,08	2,93	1,21	6818,79	0,01
176,4	98	8,17	1,6	0,36	6819,64	0
178,2	99	8,25	0,56	0,04	6819,96	0
180	100	8,33	0	0	6820	0

## ANEXO I

## Tarifas de Energia Elétrica

TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA BAIXA TENSÃO		
SUBGRUPO / CLASSE / SUBCLASSE (R\$/KWH)	TARIFA DO USO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO (TUSD) (R\$/KWH)	TARIFAS DE ENERGIA TE (R\$/KWH)
<b>B1 - RESIDENCIAL</b>	<b>0,2417</b>	<b>0,3198</b>
<b>B1 - RESIDENCIAL - BAIXA RENDA</b>		
Consumo mensal até 30kWh	0,0665	1,1119
Consumo mensal entre 31kWh e 100kWh	0,1140	0,1919
Consumo mensal entre 101kWh e 220kWh	0,1711	0,2878
Consumo mensal superior 220kWh	<b>0,1901</b>	<b>0,3198</b>
<b>B2 - RURAL</b>	<b>0,1692</b>	<b>0,2239</b>
<b>B2 - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL</b>	<b>0,1692</b>	<b>0,2239</b>
<b>B2 - SERVIÇO PÚBLICO DE IRRIGAÇÃO</b>	<b>0,1450</b>	<b>0,1919</b>
<b>B3 - DEMAIS CLASSES</b>	<b>0,2417</b>	<b>0,3198</b>
<b>B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b>		
Iluminação Pública (B4a)	0,1330	0,1759
Iluminação Pública (B4b)	0,1450	0,1919

Fonte: EDP Bandeirantes



## ANEXO II

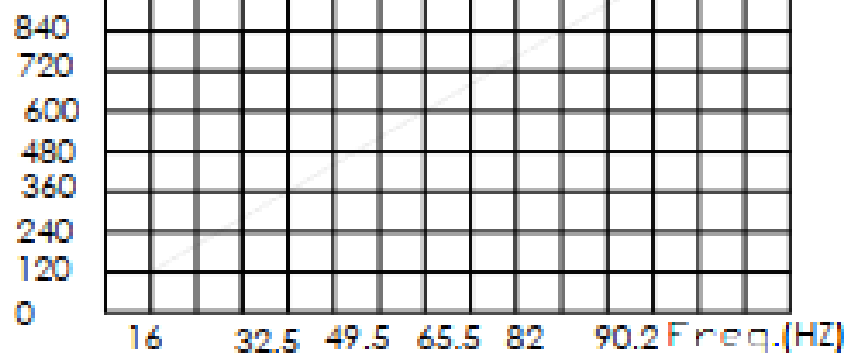
DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA SENSOR DE VAZÃO

Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

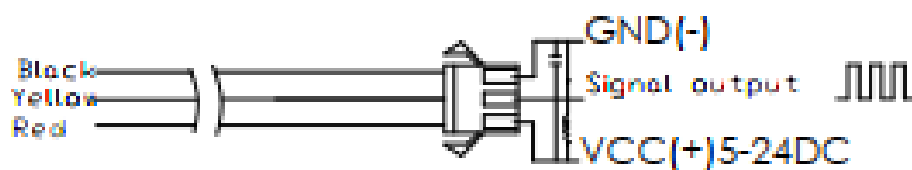
→.Flow Range:100L/H-/1800H-L/H

Flow (L/H)	Frezq.(HZ)	Erra range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	

L/H



Connection method:



## YIFA the plastics Ltd Product Introduction

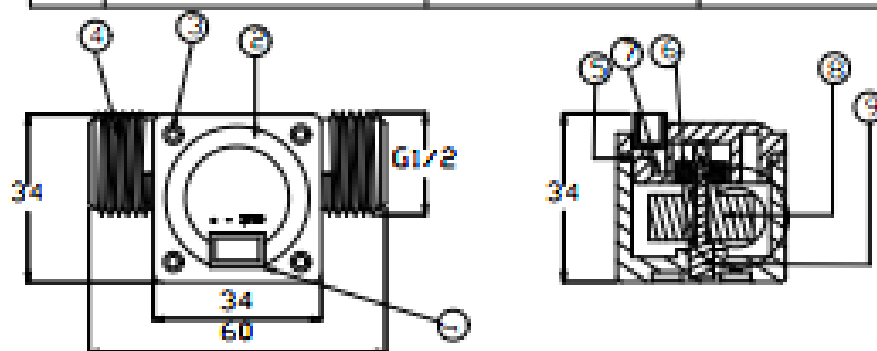
- 1) Model: F-21
- 2) Product Name: Hall sensor
- 3) Flow Range: 1-30L/MIN
- 4) Connection Method



- (2) Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic: F=7Q(L/MIN).
- (3) Extent of error: ±5%.
- (4) Flow-Pulse  
 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ  
 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

### 5. BOM

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



## **ANEXO III**

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA SENSOR DE TEMPERATURA

## DS18B20

## Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

### General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

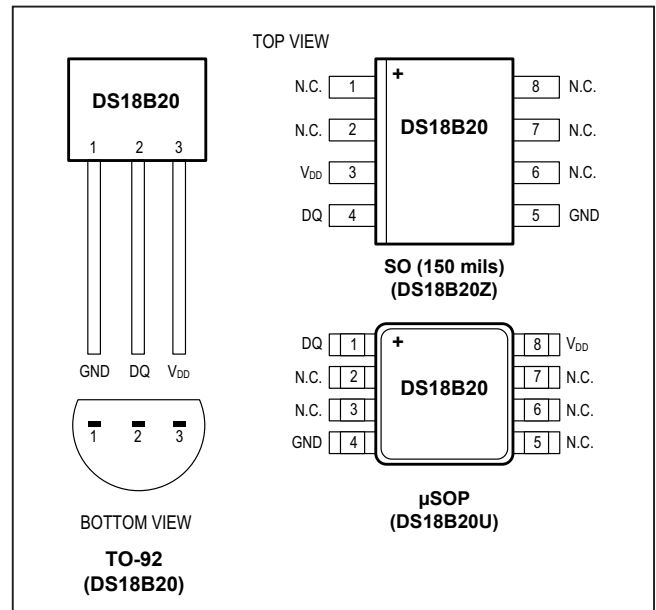
### Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

### Benefits and Features

- Unique 1-Wire® Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
  - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
  - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
  - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
  - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
  - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin  $\mu$ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages

### Pin Configurations



**Ordering Information** appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

## Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground .... -0.5V to +6.0V  
 Operating Temperature Range..... -55°C to +125°C

Storage Temperature Range ..... -55°C to +125°C  
 Solder Temperature ..... Refer to the IPC/JEDEC  
 J-STD-020 Specification.

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.*

## DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C;  $V_{DD} = 3.0V$  to  $5.5V$ )

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{DD}$	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	$V_{PU}$	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		$V_{DD}$	
Thermometer Error	$t_{ERR}$	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	$V_{IL}$	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	$V_{IH}$	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	$I_L$	$V_{I/O} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	$I_{DDS}$	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	$I_{DD}$	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	$I_{DQ}$	(Note 10)		5		μA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

**Note 1:** All voltages are referenced to ground.

**Note 2:** The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to  $V_{PU}$ . In order to meet the  $V_{IH}$  spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus:  $V_{PU\_ACTUAL} = V_{PU\_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$ .

**Note 3:** See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

**Note 4:** Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

**Note 5:** To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions,  $V_{ILMAX}$  may have to be reduced to as low as 0.5V.

**Note 6:** Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

**Note 7:** Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3μA at +125°C.

**Note 8:** To minimize  $I_{DDs}$ , DQ should be within the following ranges:  $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$  or  $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$ .

**Note 9:** Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

**Note 10:** DQ line is high ("high-Z" state).

**Note 11:** Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with  $V_{DD} = 5.5V$ .

**AC Electrical Characteristics–NV Memory**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t <sub>WR</sub>			2	10	ms
EEPROM Writes	N <sub>EEWR</sub>	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t <sub>EEDR</sub>	-55°C to +55°C	10			years

**AC Electrical Characteristics**

(-55°C to +125°C; V<sub>DD</sub> = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>	9-bit resolution			93.75	ms	
		10-bit resolution			187.5		
		11-bit resolution	(Note 12)				375
		12-bit resolution			750		
Time to Strong Pullup On	t <sub>SPON</sub>	Start convert T command issued			10	μs	
Time Slot	t <sub>SLOT</sub>	(Note 12)	60		120	μs	
Recovery Time	t <sub>REC</sub>	(Note 12)	1			μs	
Write 0 Low Time	t <sub>LOW0</sub>	(Note 12)	60		120	μs	
Write 1 Low Time	t <sub>LOW1</sub>	(Note 12)	1		15	μs	
Read Data Valid	t <sub>RDV</sub>	(Note 12)			15	μs	
Reset Time High	t <sub>RSTH</sub>	(Note 12)	480			μs	
Reset Time Low	t <sub>RSTL</sub>	(Notes 12, 13)	480			μs	
Presence-Detect High	t <sub>PDHIGH</sub>	(Note 12)	15		60	μs	
Presence-Detect Low	t <sub>PDLOW</sub>	(Note 12)	60		240	μs	
Capacitance	C <sub>IN/OUT</sub>				25	pF	

**Note 12:** See the timing diagrams in [Figure 2](#).

**Note 13:** Under parasite power, if t<sub>RSTL</sub> > 960μs, a power-on reset can occur.

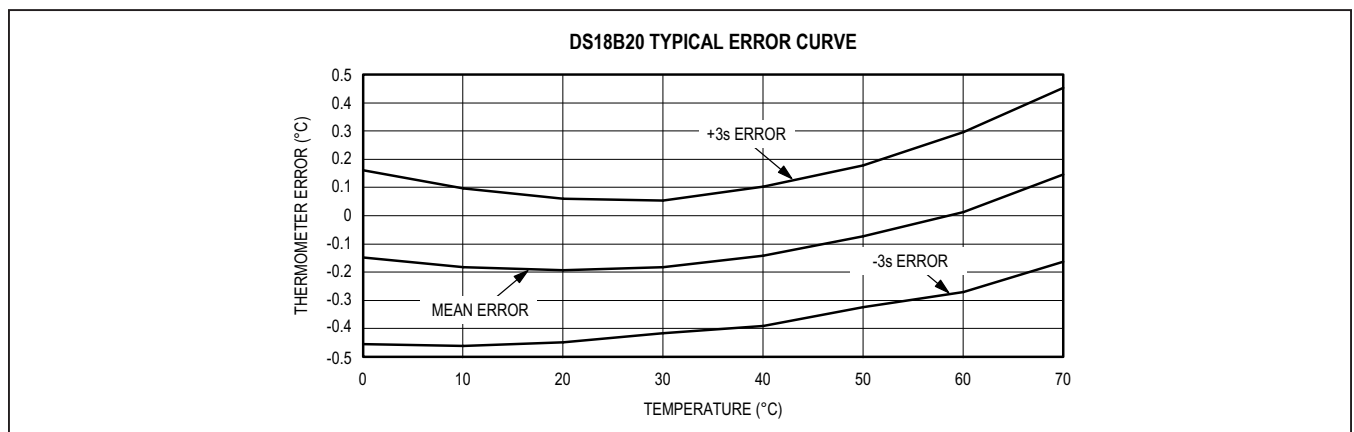


Figure 1. Typical Performance Curve

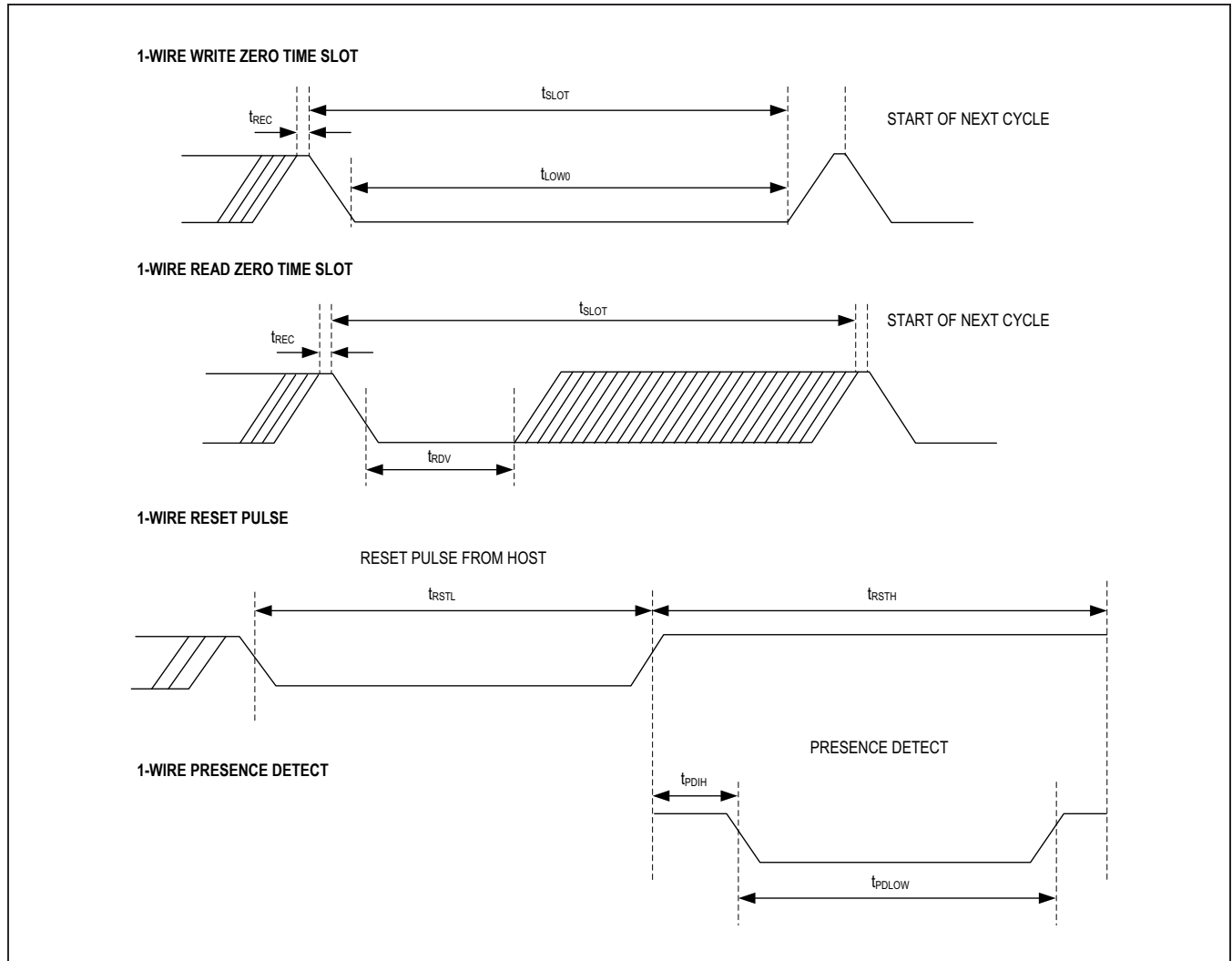


Figure 2. Timing Diagrams

### Pin Description

PIN			NAME	FUNCTION
SO	$\mu$ SOP	TO-92		
1, 2, 6, 7, 8	2, 3, 5, 6, 7	—	N.C.	No Connection
3	8	3	$V_{DD}$	Optional $V_{DD}$ . $V_{DD}$ must be grounded for operation in parasite power mode.
4	1	2	DQ	Data Input/Output. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see the <i>Powering the DS18B20</i> section.)
5	4	1	GND	Ground



**Overview**

Figure 3 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in the *Pin Description* table. The 64-bit ROM stores the device’s unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers ( $T_H$  and  $T_L$ ) and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The  $T_H$ ,  $T_L$ , and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Maxim’s exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device’s unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and “time slots,” is covered in the [1-Wire Bus System](#) section.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor through the

DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor ( $C_{PP}$ ), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as “parasite power.” As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on  $V_{DD}$ .

**Operation—Measuring Temperature**

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers up in a low-power idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue “read time slots” (see the [1-Wire Bus System](#) section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the [Powering the DS18B20](#) section.

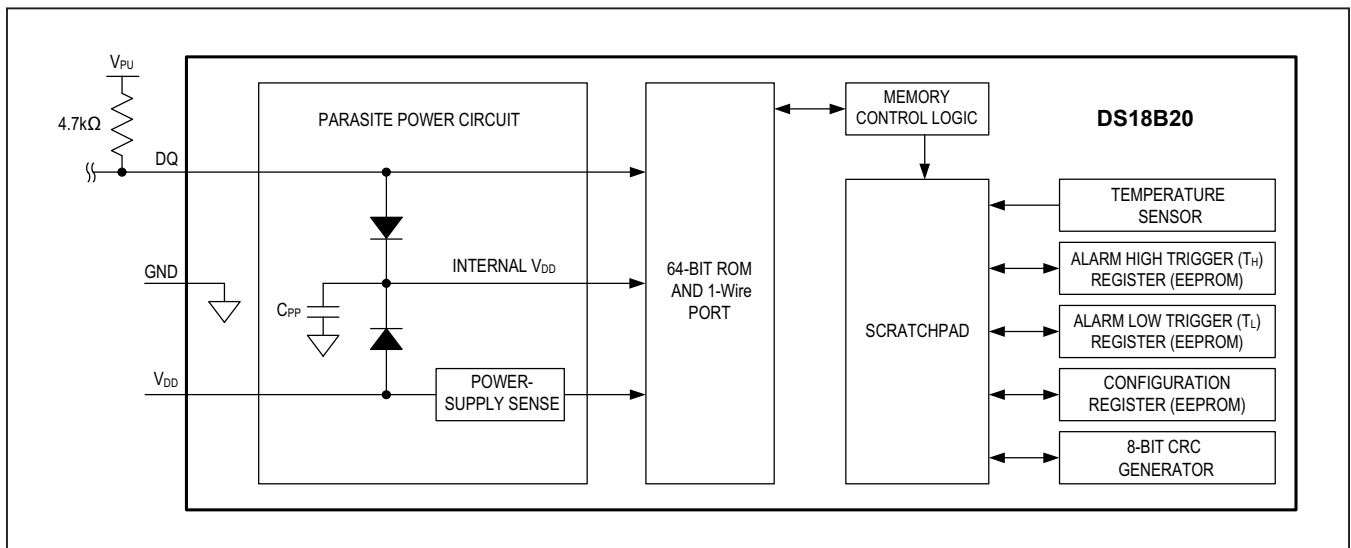


Figure 3. DS18B20 Block Diagram

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees Celsius; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two's complement number in the temperature register (see [Figure 4](#)). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1, and 0 are undefined. [Table 1](#) gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

### Operation—Alarm Signaling

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte  $T_H$  and  $T_L$  registers (see [Figure 5](#)). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. The  $T_H$  and  $T_L$  registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down.  $T_H$  and  $T_L$  can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the [Memory](#) section.

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the  $T_H$  and  $T_L$  comparison since  $T_H$  and  $T_L$  are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than

	<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
<b>LS BYTE</b>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>	2 <sup>-1</sup>	2 <sup>-2</sup>	2 <sup>-3</sup>	2 <sup>-4</sup>
	<b>BIT 15</b>	<b>BIT 14</b>	<b>BIT 13</b>	<b>BIT 12</b>	<b>BIT 11</b>	<b>BIT 10</b>	<b>BIT 9</b>	<b>BIT 8</b>
<b>MS BYTE</b>	S	S	S	S	S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>

S = SIGN

Figure 4. Temperature Register Format

Table 1. Temperature/Data Relationship

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C.

<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
S	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>

Figure 5.  $T_H$  and  $T_L$  Register Format

or equal to  $T_L$  or higher than or equal to  $T_H$ , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the  $T_H$  or  $T_L$  settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

### Powering the DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the  $V_{DD}$  pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 3 shows the DS18B20’s parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor ( $C_{PP}$ ) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the  $V_{DD}$  pin must be connected to ground.

In parasite power mode, the 1-Wire bus and CPP can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (see the [DC Electrical Characteristics](#) and [AC Electrical Characteristics](#)). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied

by  $C_{PP}$ . To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 6. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 $\mu$ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) or data transfer ( $t_{WR} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the  $V_{DD}$  pin, as shown in Figure 7. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a “read time slot”. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

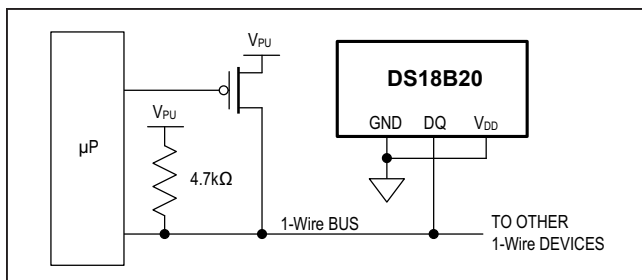


Figure 6. Supplying the Parasite-Powered DS18B20 During Temperature Conversions

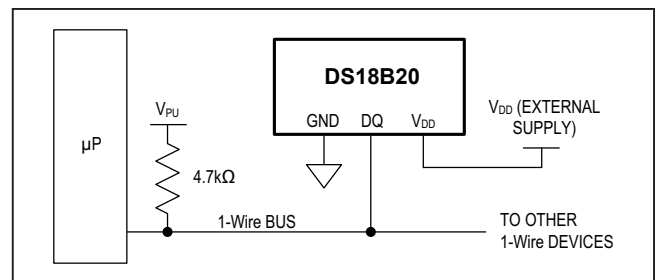


Figure 7. Powering the DS18B20 with an External Supply

**64-BIT Lasered ROM code**

Each DS18B20 contains a unique 64-bit code (see [Figure 8](#)) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20’s 1-Wire family code: 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the [CRC Generation](#) section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the [1-Wire Bus System](#) section.

**Memory**

The DS18B20’s memory is organized as shown in [Figure 9](#). The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub>) and configuration register. Note that if the DS18B20 alarm function is not used, the TH and TL registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to TH and TL registers. Byte 4 contains the configuration regis-

ter data, which is explained in detail in the [Configuration Register](#) section. Bytes 5, 6, and 7 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the CRC code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18B20 generates this CRC using the method described in the [CRC Generation](#) section.

Data is written to bytes 2, 3, and 4 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18B20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T<sub>H</sub>, T<sub>L</sub> and configuration data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E<sup>2</sup> [B8h] command. The master can issue read time slots following the Recall E<sup>2</sup> command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

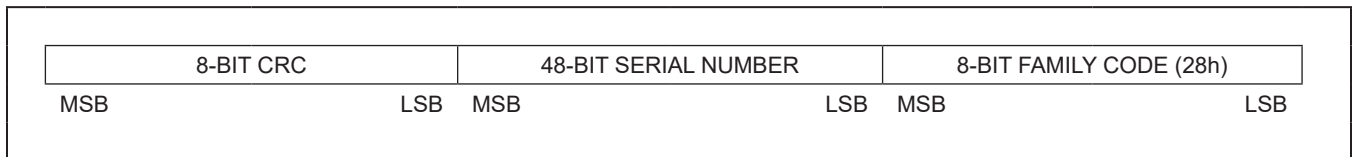


Figure 8. 64-Bit Lasered ROM Code

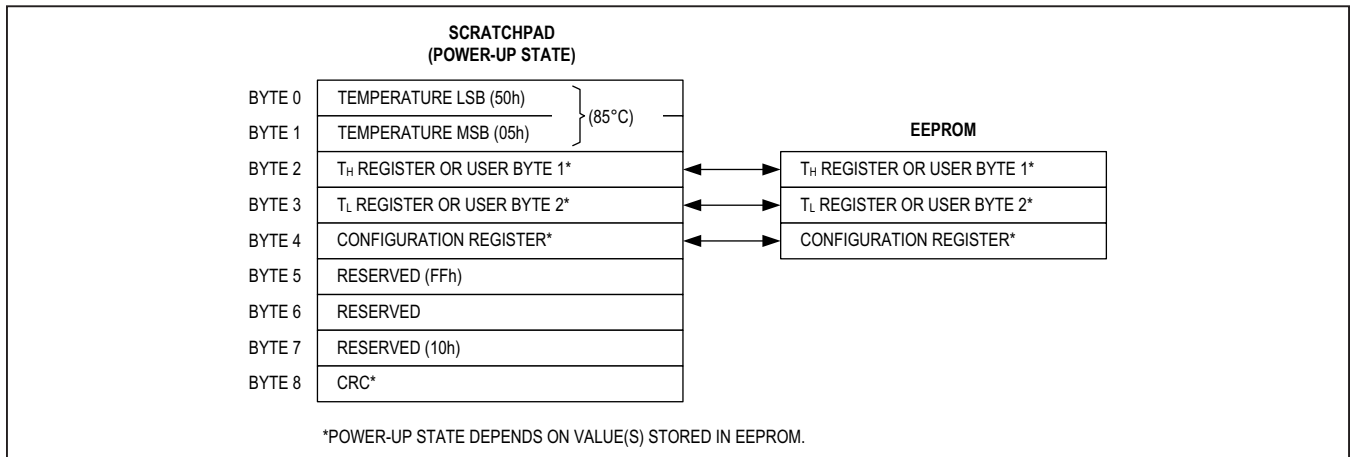


Figure 9. DS18B20 Memory Map

### Configuration Register

Byte 4 of the scratchpad memory contains the configuration register, which is organized as illustrated in [Figure 10](#). The user can set the conversion resolution of the DS18B20 using the R0 and R1 bits in this register as shown in [Table 2](#). The power-up default of these bits is R0 = 1 and R1 = 1 (12-bit resolution). Note that there is a direct tradeoff between resolution and conversion time. Bit 7 and bits 0 to 4 in the configuration register are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten.

### CRC Generation

CRC bytes are provided as part of the DS18B20's 64-bit ROM code and in the 9<sup>th</sup> byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18B20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been

received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18B20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18B20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$CRC = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18B20 using the polynomial generator shown in [Figure 11](#). This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 56<sup>th</sup> bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the recalculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18B20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Maxim 1-Wire cyclic redundancy check is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*.

<b>BIT 7</b>	<b>BIT 6</b>	<b>BIT 5</b>	<b>BIT 4</b>	<b>BIT 3</b>	<b>BIT 2</b>	<b>BIT 1</b>	<b>BIT 0</b>
0	R1	R0	1	1	1	1	1

Figure 10. Configuration Register

### Table 2. Thermometer Resolution Configuration

R1	R0	RESOLUTION (BITS)	MAX CONVERSION TIME	
			93.75ms	(t <sub>CONV</sub> /8)
0	0	9	187.5ms	(t <sub>CONV</sub> /4)
0	1	10	375ms	(t <sub>CONV</sub> /2)
1	0	11	750ms	(t <sub>CONV</sub> )
1	1	12		

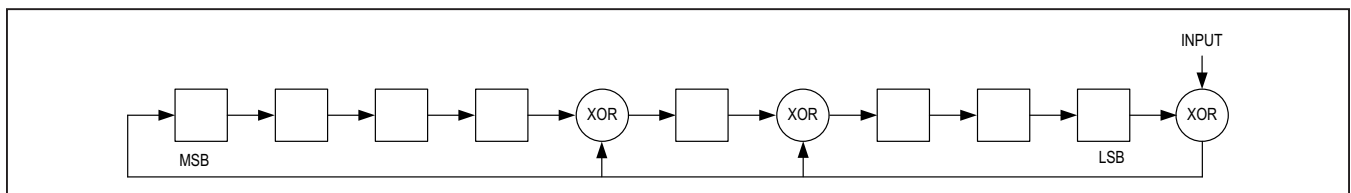


Figure 11. CRC Generator

## 1-Wire Bus System

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18B20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a “single-drop” system; the system is “multidrop” if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

## Hardware Configuration

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open-drain or 3-state port. This allows each device to “release” the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18B20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in [Figure 12](#).

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5k $\Omega$ ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus MUST be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480 $\mu$ s, all components on the bus will be reset.

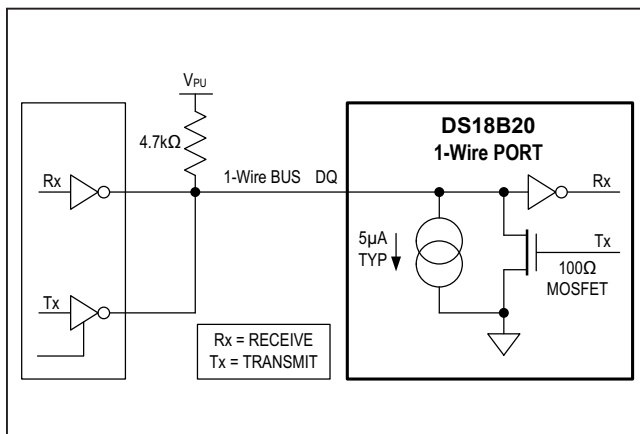


Figure 12. Hardware Configuration

## Transaction Sequence

The transaction sequence for accessing the DS18B20 is as follows:

- Step 1. Initialization
- Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)
- Step 3. DS18B20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18B20 is accessed, as the DS18B20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

## Initialization

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18B20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the [1-Wire Signaling](#) section.

## ROM Commands

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18B20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in [Figure 13](#).

## Search Rom [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices.

If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM [33h] command can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to *Application Note 937: Book of iButton® Standards*. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

### Read Rom [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

### Match Rom [55H]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

### Skip Rom [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18B20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case, time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

### Alarm Search [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18B20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus

*iButton* is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. See the [Operation—Alarm Signaling](#) section for an explanation of alarm flag operation.

## DS18B20 Function Commands

After the bus master has used a ROM command to address the DS18B20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18B20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18B20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18B20 function commands, which are described below, are summarized in [Table 3](#) and illustrated by the flowchart in [Figure 14](#).

### Convert T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) as described in the [Powering the DS18B20](#) section. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue read time slots after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting a 0 while the temperature conversion is in progress and a 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

### Write Scratchpad [4Eh]

This command allows the master to write 3 bytes of data to the DS18B20's scratchpad. The first data byte is written into the  $T_H$  register (byte 2 of the scratchpad), the second byte is written into the  $T_L$  register (byte 3), and the third byte is written into the configuration register (byte 4). Data must be transmitted least significant bit first. All three bytes MUST be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

### Read Scratchpad [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

**Copy Scratchpad [48h]**

This command copies the contents of the scratchpad  $T_H$ ,  $T_L$  and configuration registers (bytes 2, 3 and 4) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10 $\mu$ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the [Powering the DS18B20](#) section.

**Recall E<sup>2</sup> [B8h]**

This command recalls the alarm trigger values ( $T_H$  and  $T_L$ ) and configuration data from EEPROM and places the data in bytes 2, 3, and 4, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read time slots

following the Recall E<sup>2</sup> command and the DS18B20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

**Read Power Supply [B4h]**

The master device issues this command followed by a read time slot to determine if any DS18B20s on the bus are using parasite power. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. See the [Powering the DS18B20](#) section for usage information for this command.

**Table 3. DS18B20 Function Command Set**

COMMAND	DESCRIPTION	PROTOCOL	1-Wire BUS ACTIVITY AFTER COMMAND IS ISSUED	NOTES
<b>TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS</b>				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18B20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18B20s).	1
<b>MEMORY COMMANDS</b>				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18B20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2, 3, and 4 ( $T_H$ , $T_L$ , and configuration registers).	4Eh	Master transmits 3 data bytes to DS18B20.	3
Copy Scratchpad	Copies $T_H$ , $T_L$ , and configuration register data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E <sup>2</sup>	Recalls $T_H$ , $T_L$ , and configuration register data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18B20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18B20 power supply mode to the master.	B4h	DS18B20 transmits supply status to master.	

**Note 1:** For parasite-powered DS18B20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.

**Note 2:** The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.

**Note 3:** All three bytes must be written before a reset is issued.



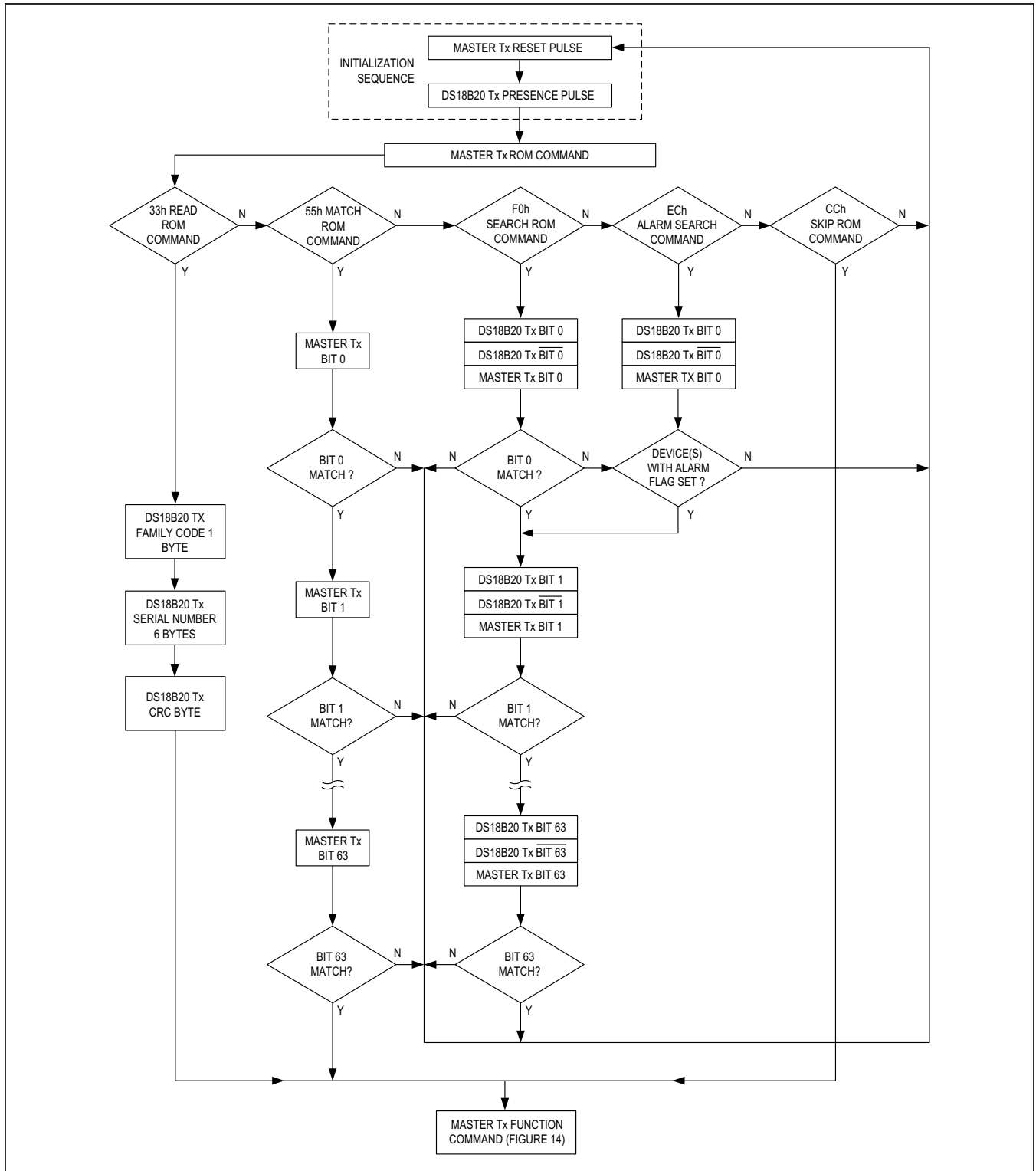


Figure 13. ROM Commands Flowchart

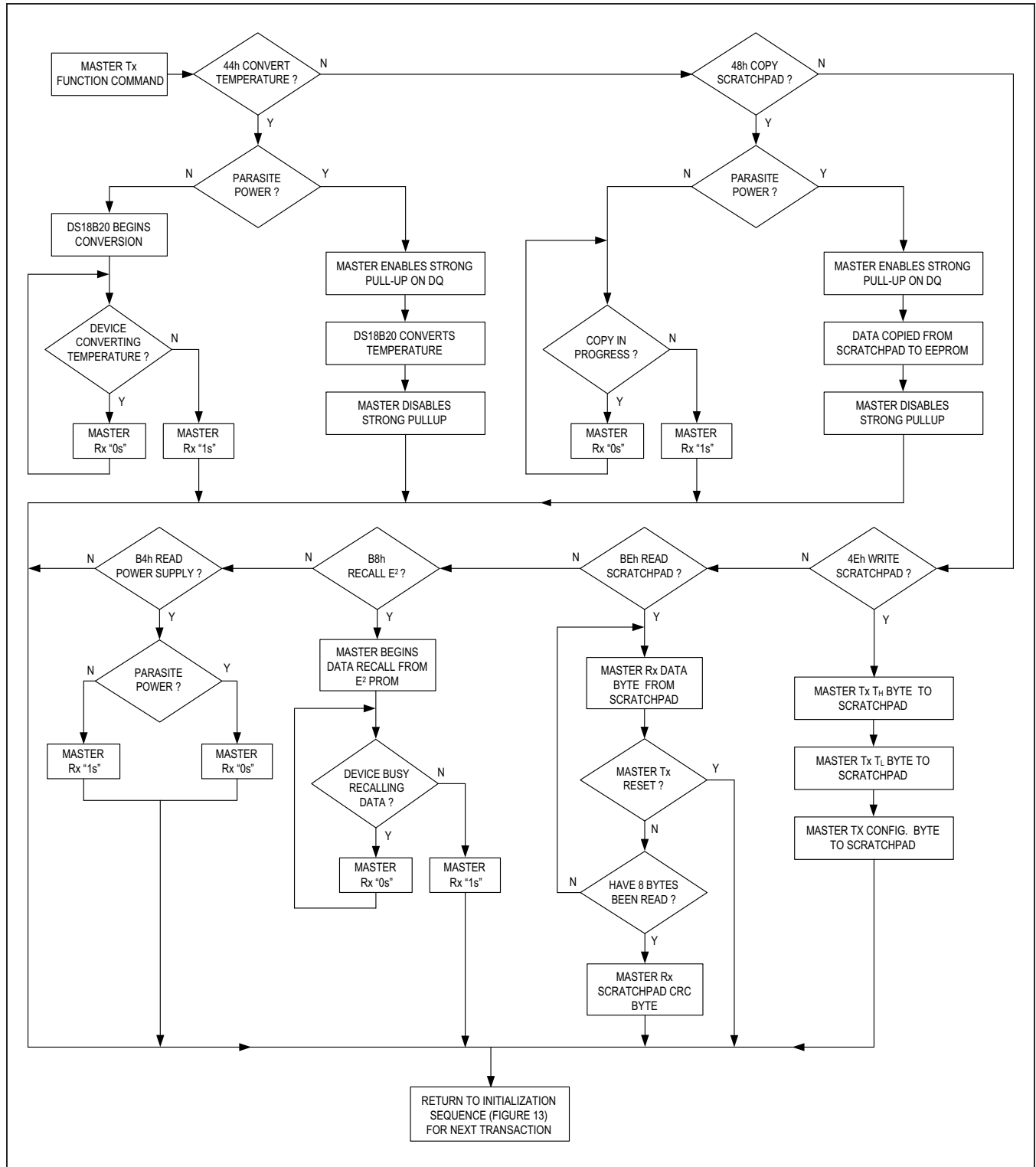


Figure 14. DS18B20 Function Commands Flowchart

### 1-Wire Signaling

The DS18B20 uses a strict 1-Wire communication protocol to ensure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. The bus master initiates all these signals, with the exception of the presence pulse.

### Initialization Procedure—Reset And Presence Pulses

All communication with the DS18B20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18B20. This is illustrated in Figure 15. When the DS18B20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (Tx) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 480µs. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (Rx). When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18B20 detects this rising edge, it waits 15µs to 60µs and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for 60µs to 240µs.

### Read/Write Time Slots

The bus master writes data to the DS18B20 during write time slots and reads data from the DS18B20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

### Write Time Slots

There are two types of write time slots: “Write 1” time slots and “Write 0” time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18B20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18B20. All write time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 14).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within 15µs. When the bus is released, the 5kΩ pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60µs).

The DS18B20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from 15µs to 60µs after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18B20. If the line is low, a 0 is written to the DS18B20.

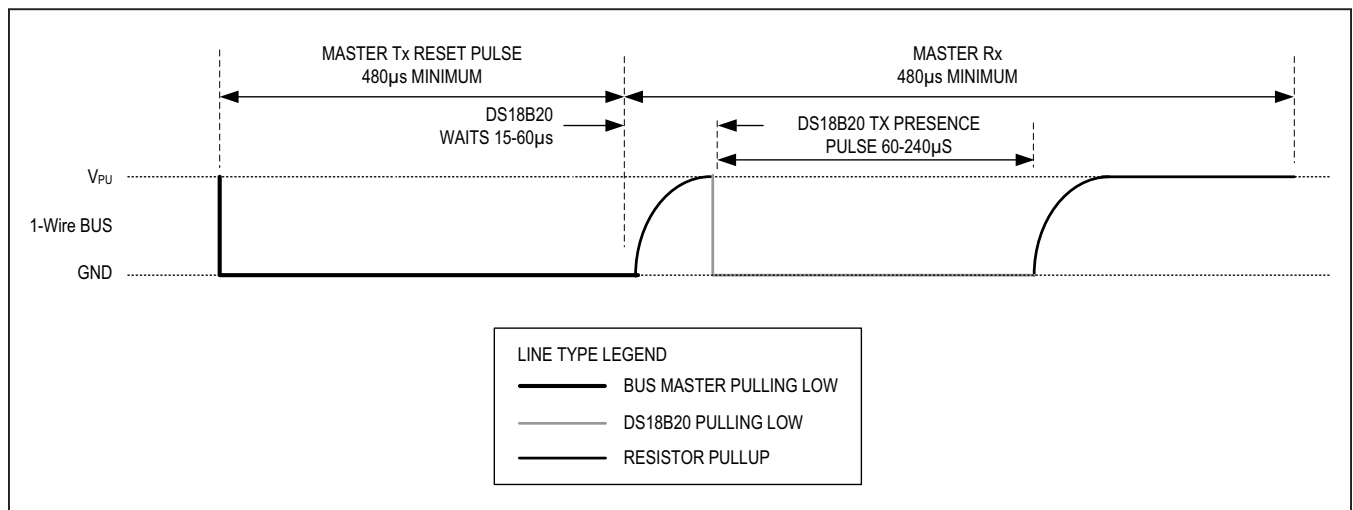


Figure 15. Initialization Timing

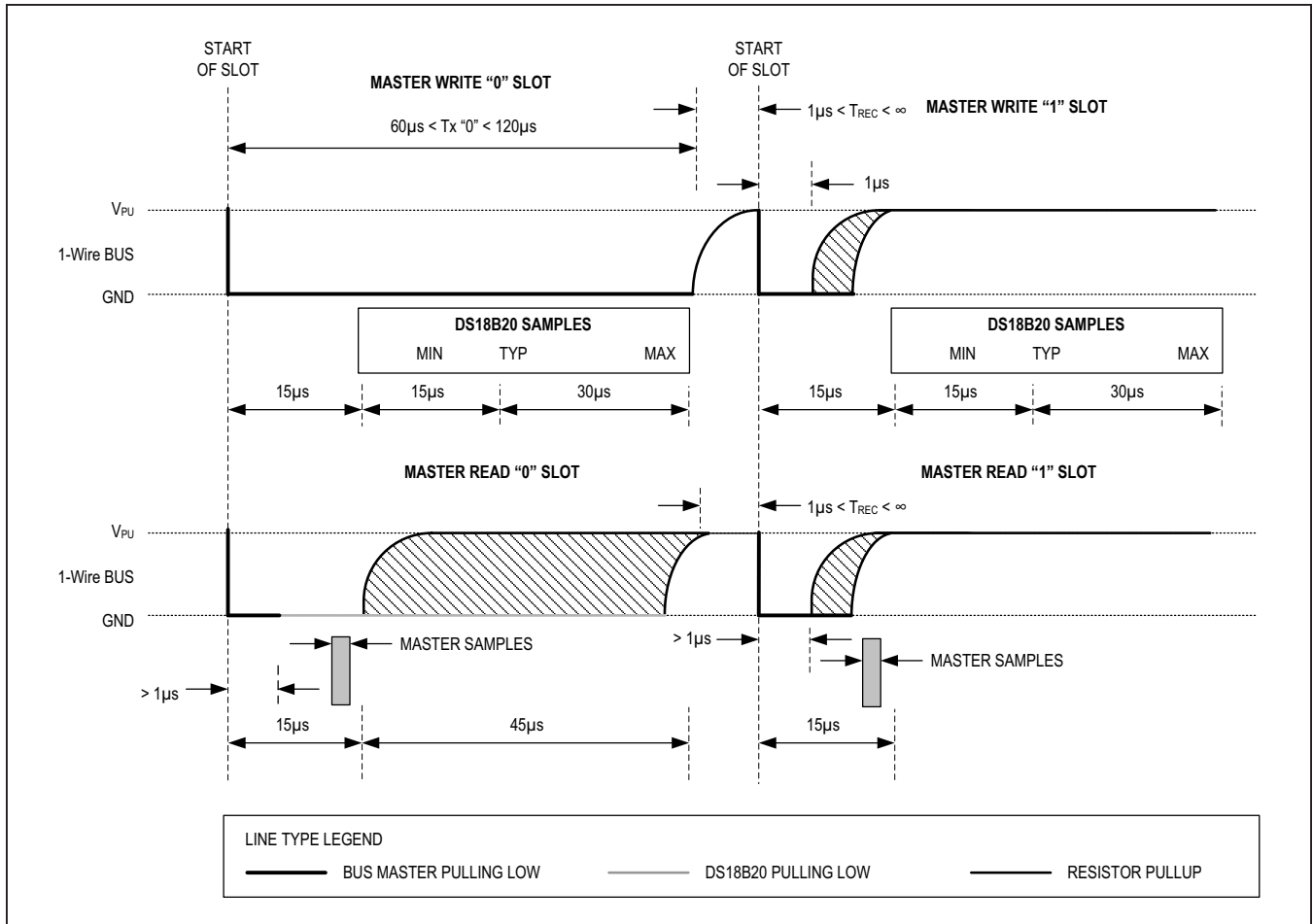


Figure 16. Read/Write Time Slot Timing Diagram

### Read Time Slots

The DS18B20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18B20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E<sup>2</sup> [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the [DS18B20 Function Commands](#) section.

All read time slots must be a minimum of  $60\mu s$  in duration with a minimum of a  $1\mu s$  recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of  $1\mu s$  and then releasing the bus (see [Figure 16](#)). After the master initiates the

read time slot, the DS18B20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18B20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18B20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18B20 is valid for  $15\mu s$  after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within  $15\mu s$  from the start of the slot.

[Figure 17](#) illustrates that the sum of  $T_{INIT}$ ,  $T_{RC}$ , and  $T_{SAMPLE}$  must be less than  $15\mu s$  for a read time slot. [Figure 18](#) shows that system timing margin is maximized by keeping  $T_{INIT}$  and  $T_{RC}$  as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the  $15\mu s$  period.

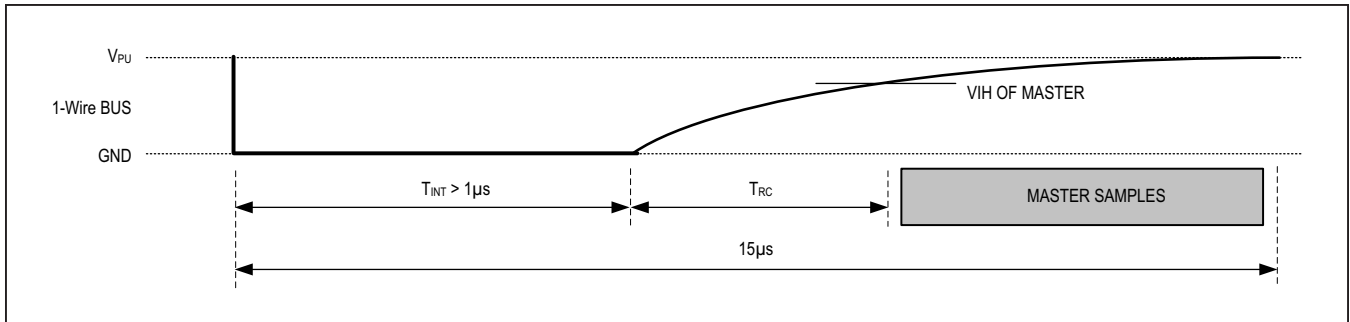


Figure 17. Detailed Master Read 1 Timing

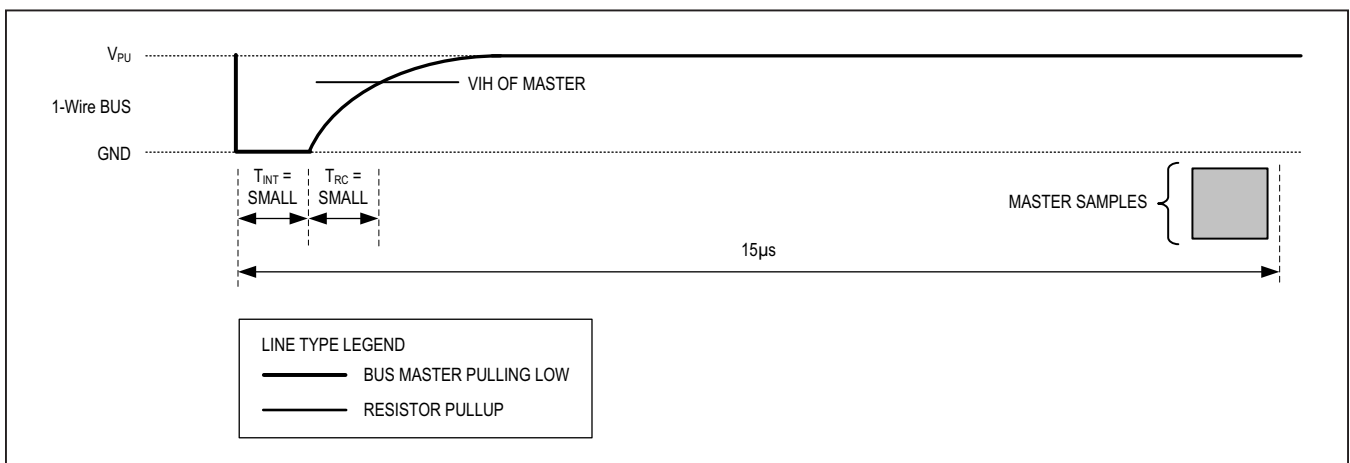


Figure 18. Recommended Master Read 1 Timing

**Related Application Notes**

The following application notes can be applied to the DS18B20 and are available at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

*Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Maxim iButton Products*

*Application Note 122: Using Dallas' 1-Wire ICs in 1-Cell Li-Ion Battery Packs with Low-Side N-Channel Safety FETs Master*

*Application Note 126: 1-Wire Communication Through Software*

*Application Note 162: Interfacing the DS18x20/DS1822 1-Wire Temperature Sensor in a Microcontroller Environment*

*Application Note 208: Curve Fitting the Error of a Bandgap-Based Digital Temperature Sensor*

*Application Note 2420: 1-Wire Communication with a Microchip PICmicro Microcontroller*

*Application Note 3754: Single-Wire Serial Bus Carries Isolated Power and Data*

Sample 1-Wire subroutines that can be used in conjunction with *Application Note 74: Reading and Writing iButtons via Serial Interfaces* can be downloaded from the Maxim website.

**DS18B20 Operation Example 1**

In this example there are multiple DS18B20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18B20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	44h	Master issues Convert T command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20s respond with presence pulse.
Tx	55h	Master issues Match ROM command.
Tx	64-bit ROM code	Master sends DS18B20 ROM code.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

**DS18B20 Operation Example 2**

In this example there is only one DS18B20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the TH, TL, and configuration registers in the DS18B20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
Tx	3 data bytes	Master sends three data bytes to scratchpad ( $T_H$ , $T_L$ , and config).
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
Rx	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
Tx	Reset	Master issues reset pulse.
Rx	Presence	DS18B20 responds with presence pulse.
Tx	CCh	Master issues Skip ROM command.
Tx	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
Tx	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

## Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE	TOP MARK
DS18B20	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20+	-55°C to +125°C	3 TO-92	18B20
DS18B20/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)	18B20
DS18B20-SL/T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20-SL+T&R	-55°C to +125°C	3 TO-92 (2000 Piece)*	18B20
DS18B20U	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U+	-55°C to +125°C	8 FSOP	18B20
DS18B20U/T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20U+T&R	-55°C to +125°C	8 FSOP (3000 Piece)	18B20
DS18B20Z	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z+	-55°C to +125°C	8 SO	DS18B20
DS18B20Z/T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20
DS18B20Z+T&R	-55°C to +125°C	8 SO (2500 Piece)	DS18B20

+Denotes a lead-free package. A "+" will appear on the top mark of lead-free packages.

T&R = Tape and reel.

\*TO-92 packages in tape and reel can be ordered with straight or formed leads. Choose "SL" for straight leads. Bulk TO-92 orders are straight leads only.

## Revision History

REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
030107	In the Absolute Maximum Ratings section, removed the reflow oven temperature value of +220°C. Reference to JEDEC specification for reflow remains.	19
101207	In the <i>Operation—Alarm Signaling</i> section, added “or equal to” in the description for a TH alarm condition	5
	In the <i>Memory</i> section, removed incorrect text describing memory.	7
	In the <i>Configuration Register</i> section, removed incorrect text describing configuration register.	8
042208	In the <i>Ordering Information</i> table, added TO-92 straight-lead packages and included a note that the TO-92 package in tape and reel can be ordered with either formed or straight leads.	2
1/15	Updated <i>Benefits and Features</i> section	1
09/18	Updated <i>DC Electrical Characteristics</i> table	2

For pricing, delivery, and ordering information, please visit Maxim Integrated's online storefront at <https://www.maximintegrated.com/en/storefront/storefront.html>.

Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.