UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO LETTIERI TEIXEIRA

PROJETO DE DIPLOMAÇÃO

MEDIDOR DE ENERGIA ELETRÔNICO

Porto Alegre
(2009)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MEDIDOR DE ENERGIA ELETRÔNICO

UTILIZANDO MICROPROCESSADOR

Projeto de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para Graduação em Engenharia Elétrica.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcelo Soares Lubaszewski

Porto Alegre
(2009)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO LETTIERI TEIXEIRA

MEDIDOR DE ENERGIA ELETRÔNICO UTILIZANDO MICROPROCESSADOR

Este projeto foi julgado adequado para fazer jus aos créditos da Disciplina de "Projeto de Diplomação", do Departamento de Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Marcelo Soares Lubaszewski, UFRGS

Doutor pelo Instituto Politécnico Nacional de Grenoble, França

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Soares Lubaszewski, UFRGS

Doutor pelo Instituto Politécnico Nacional de Grenoble, França

Prof. Dr. Renato Ventura Bayan Henriques, UFRGS

Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Brasil

Prof. Dr. Marcelo Götz, UFRGS

Doutor pela Universidade Paderborn, Alemanha

Porto Alegre, dezembro de 2009.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão, aos meus avós, a minha tia e a minha noiva pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Aos pais Vanderlei de Souza Teixeira e Carmela Carmen Lettieri Teixeira.

À Marcela pelo apoio incondicional e atenção inigualável aos problemas que ocorriam durante este projeto.

Aos colegas de empresa pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante este trabalho.

À Universidade, professores e funcionários.

À noiva, pais, irmão.

RESUMO

O projeto consiste em medidor de energia microprocessado (PIC) que adquire os sinais de corrente e tensão de uma instalação elétrica, calculando a potência consumida (ativa e reativa), o fator de potência e atuando neste, acionando bancos de capacitores para correção do mesmo. Os dados serão exibidos em um display de LCD (16x2). Além disso, o medidor oferece um relatório (log) com o consumo de um período, que pode ser transferido para um computador através de uma comunicação serial (RS-232)

Palavras-chaves: Medidor de Energia Eletrônico. Processamento de Sinais. Eletrônica e Instrumentação.

ABSTRACT

The project consists of microprocessor energy meter (PIC) which acquires the signals of current and voltage of an electrical installation, and calculates the power consumption (active and reactive), power factor and acting on this, triggering banks capacitors to correct them. The data will be displayed in an LCD display (16x2). In addition, the meter offers a report (log) with the consumption of a period that can be transferred to a computer via a serial communications (RS-232).

Keywords: Electronic Energy Meter. Signal Processing. Electronic and Instrumentation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. CONTEXTO DO PROJETO 16
3. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS 17
3.1. Aquisição de Dados 17
3.1.1. Sensor de Tensão 18
3.1.2. Sensor de Corrente 19
3.2. Processamento dos Dados 22
3.3. Visualização dos Dados 24
3.4. Interface com Computador 25
4. CONCEITOS TEÓRICOS 26
4.1. Potência e Energia 27
4.1.1. Fator de Potência 31
4.1.2. Fator de Deslocamento 31
4.1.3. Potência Complexa 32
5. MEDIDORES DE ENERGIA 36
5.1. Medidor Tipo Indução 36
5.1.1. Medidor Monofásico de Energia Eletromecânico 37
5.1.2. Medidor Monofásico de Energia Eletrônico 40
6. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO 42
6.1. Implementação do Hardware 42
6.1.1. Microcontrolador 43
6.1.2. Sensor de Corrente e Tensão 44
6.1.3. Comunicação RS-232 47
6.1.4. Visualização dos Dados 49
6.1.5. Teclas e Componentes Passivos 52
6.1.6. Fonte de Alimentação 53
6.2. Teoria de Funcionamento do Hardware 54
6.3. Implementação de Software 56
6.4. Esquemático e Placa em 3D 58
6.5. Análise de Erro 61
6.6. Teoria de Funcionamento Geral do Hardware 62
6.7. Resultados Práticos 63
7. CONCLUSÃO 66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diagrama de Blocos. 15
Figura 2 - Transformador de Potencial. [3] 18
Figura 3 - Divisor de Tensão. [3] 19
Figura 4 - Transformador de Corrente. [3] 20
Figura 5 - Resistor Shunt. [3] 20
Figura 6 - Bobina de Rogowski. [3] 21
Figura 7 - Sensor Hall. [4] 21
Figura 8 - Defasagem carga linear 28
Figura 9 - Triângulo de potência. [10] 33
Figura 10 - Correção Fator de potência. [10] 34
Figura 11 - Técnica correção fator de potência. [10] 35
Figura 12 - Medidor de Energia Monofásico. [4] 38
Figura 13 - Diagrama básico para um medidor eletrônico. [2] 41
Figura 14 - Pinagem PIC16F916 [11] 43
Figura 15 - Pinagem Sensor Hall. [8] 45
Figura 16 - Configuração típica do sensor. [8] 46
Figura 17 - RS-232. [2] 48
Figura 18 - MAX232 Pinagem [12] 49
Figura 19 - Envio de um byte RS-232 49
Figura 20 - Contraste LCD. [13] 51
Figura 21 - Escrita e leitura LCD - tempos. [13] 52
Figura 22 - Configuração das teclas 53
Figura 23 - Fonte de alimentação 54
Figura 24 - Fluxograma do software 57
Figura 25 - Esquemático 59
Figura 26 - Placa 3D 61
Figura 27 - Sinal de Tensão 64
Figura 28 - Sinal de Corrente 64
Figura 29 - Visualização RS-232 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características Sensores de Corrente 22
Tabela 2 - Características de um medidor monofásico..... 40
Tabela 3 - Características do PIC [11]..... 43
Tabela 4 - Descrição de pinos do PIC utilizados..... 44
Tabela 5 - Pinagem display LCD. [13]..... 50
Tabela 6 - Comandos LCD. [13] 51
Tabela 7 - Lista de materiais..... 60
Tabela 8 - Resultados Práticos..... 65

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Lei de Ohm 20
Equação 2 - Sensor Hall 21
Equação 3 - Valor Médio 26
Equação 4 - Valor Médio forma discreta 26
Equação 5 - Valor RMS 26
Equação 6 - Valor RMS forma discreta 27
Equação 7 - Energia 27
Equação 8 - Energia em função da potência média 27
Equação 9 - Equação potência elétrica 28
Equação 10 - Tensão da rede 29
Equação 11 - Corrente para cargas lineares 29
Equação 12 - Potência em carga linear 29
Equação 13 - Potência média expressão final 30
Equação 14 - Potência aparente 31
Equação 15 - Fator de Potência 31
Equação 16 - Fator de deslocamento 32
Equação 17 - Potência complexa 32
Equação 18 - Potência complexa capacitiva 34
Equação 19 - Força de Lorentz 39
Equação 20 - Tensão de saída do sensor hall 46

LISTA DE ABREVIATURAS

PIC: Controlador Integrado de Periféricos

CI: Circuito Integrado

LCD: Display de Cristal Liquido

TTL: Lógica de Transistor-Transistor

FEM: Força Eletro-Motriz

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PC: Computador Pessoal

ADC: Conversor Analógico para Digital

USB: Barramento Serial Universal

MPU: Unidade de microprocessamento

RMS: Raiz média quadrática

AFE: Front-End Analógico

DSP: Processador Digital de Sinais

LSB: Bit Menos Significativo

MSB: Bit Mais Significativo

RTS: Pronto Para Enviar

CTS: Limpo Para Enviar

RTC: Relógio de Tempo Real

CCS: Computer Custom Service Inc.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a obtenção e uso racional da energia elétrica tem se tornado um problema que toma proporções cada vez maiores, visto que a maior parte da energia provém de fontes não-renováveis.

O presente trabalho será focado no uso da energia elétrica. Geralmente as pessoas só têm consciência de como estão usando a energia se tiverem um aparelho que demonstre em tempo real a quantidade de energia que está sendo gasta. Com isso surge um problema, como fazer com que um consumidor saiba o seu consumo e possa atuar de forma eficaz para otimizar o uso? Este trabalho pretende solucionar essa questão, a partir da elaboração do projeto de um aparelho que possa mostrar o consumo de uma determinada instalação e que o mesmo possa atuar sobre a instalação através do acionamento de banco de capacitores.

Existem diversas maneiras de proceder neste tipo de situação, para todas elas é adotado que toda rede pode ser simplificada como uma fonte de tensão ideal, assim para medir a potência de uma determinada instalação basta medir a corrente e usar a tensão como uma referência para os cálculos de potência. Basicamente, a corrente pode ser medida de quatro maneiras:

- Utilizando um resistor shunt com valor de resistência conhecido, assim pela Lei de Ohm, basta medir a tensão neste resistor e dividir pelo valor de sua resistência para encontrar o valor da corrente (será visto melhor no capítulo 3.1.2).
- Utilizando um transformador de corrente, colocando o primário deste transformador em série ao circuito que se deseja medir a corrente. No secundário surge uma tensão que é utilizada para cálculo da corrente (será visto melhor no capítulo 3.1.2).

- Utilizando a bobina de Rogowski, envolve-se o condutor o qual se quer medir a corrente elétrica com um conjunto de espiras, em cada espira é induzida uma FEM que é somada e nos seus terminais é medida uma tensão que é proporcional a corrente que atravessa a bobina de Rogowski corrente (será visto melhor no capítulo 3.1.2).
- Utilizando o sensor Hall, basta acoplar o sensor hall ao circuito que se deseja realizar a medida, ou seja, ao aproximar o sensor ao condutor a corrente elétrica que atravessa este condutor, o condutor induz um campo magnético no sensor, este campo magnético tende a alinhar as cargas elétricas através da força de Lorentz, produzindo uma diferença de potencial (será visto melhor no capítulo 3.1.2).

A solução trabalhada neste projeto será feita com a tecnologia de semicondutores (microcontrolador PIC). O microcontrolador utilizado será o PIC16F916 com duas entradas analógicas para aquisição dos sinais de corrente e tensão, uma linha de comunicação RS-232 para efetuar a transferência dos dados do circuito para o computador, saída comum como um canal paralelo de dados para o display de LCD, entradas e saídas de nível TTL para acionamento do banco de capacitores e demais funções, conforme Figura 1 - Diagrama de Blocos. Para o cálculo da potência e todas as outras grandezas que estão envolvidas neste contexto, será apresentado um estudo sobre quais são os melhores recursos que podem ser empregados para a obtenção do melhor retorno prático e econômico.

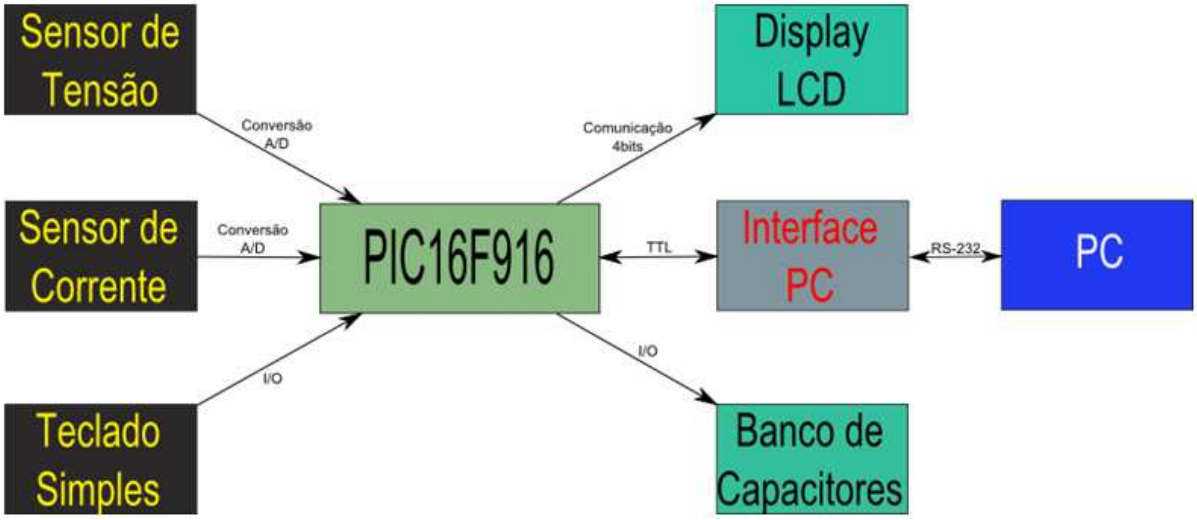

Figura 1 - Diagrama de Blocos.

2. CONTEXTO DO PROJETO

Conforme visto na introdução, este projeto está inserido numa área de grande preocupação atualmente, o uso racional de energia elétrica. Deste modo, foi averiguado que muitos empresários gostariam de possuir um aparelho simples e que fosse capaz de otimizar o consumo de uma planta qualquer. Em função da versatilidade do projeto, pode também ser aplicado para usuários residenciais que desejam maior controle do seu consumo de energia.

E, como no mercado não existem produtos para tal finalidade, surgiu então a idéia de desenvolver um produto que atendesse todas essas necessidades.

3. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS

Com a especificação do projeto em mãos, foram estudadas diversas maneiras de proceder no desenvolvimento do projeto. As partes principais do projeto são:

- Aquisição de dados;
- Processamento dos dados;
- Visualização dos dados;
- Interface com computador.

Deste modo iremos analisar as diversas maneiras que podemos proceder nessas etapas.

3.1. AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição de dados é feita por sensores, as características de um elemento sensor são: função de transferência, saturação, impedância de saída, excitação e resposta em freqüência.

A principal característica de um elemento sensor é a função de transferência, a qual estabelece a relação entre o sinal de entrada e o sinal de saída, sendo sempre possível determinar uma função de transferência ideal para um sensor. A saturação também deve ser considerada, pois todos os sensores têm limites de funcionamento a partir dos quais perdem a sua linearidade. A impedância de saída de um sensor é importante para o projeto do circuito de interface com o sistema de medida. Para uma saída em tensão, a impedância de saída deve ser baixa e a impedância de entrada deve ser alta. Por outro lado, para a saída em corrente, a impedância de saída deve ser alta e a de entrada deve ser baixa. As características de excitação especificam quais as grandezas necessárias ao funcionamento de um sensor. Para alguns tipos de sensores é importante saber a especificação da resposta em freqüência e qual a

estabilidade necessária ao sinal de excitação. A resposta em freqüência especifica qual a sensibilidade do sensor às variações de freqüência do sinal de entrada. [3]

3.1.1. SENSOR DE TENSÃO

Em alguns circuitos, não podemos simplesmente colocar um sinal de tensão diretamente no circuito que fará o processamento de dados por causa da incompatibilidade dos níveis de tensão. Assim, os sensores de tensão que serão apresentados abaixo possuem essa característica, o sinal que vai ser adquirido passa por um tratamento antes de poder ser utilizado.

- Transformador de Potencial (TP): é um transformador cujo enrolamento primário é ligado em derivação com um circuito elétrico e cujo enrolamento secundário se destina a alimentar bobinas de potencial de instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção. Na prática é considerado um redutor de tensão, pois a tensão no seu circuito secundário é normalmente menor que a tensão no seu enrolamento primário. [6]

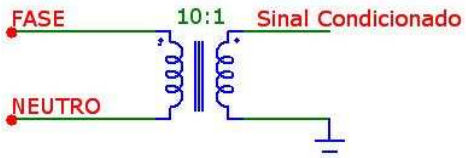

Figura 2 - Transformador de Potencial. [3]

- Divisor de Tensão: Outra maneira simples e eficaz para adequar um sinal de tensão é a adesão de um circuito que tem por finalidade dividir a tensão a qual se quer medir. O circuito divisor de tensão é apresentado na Figura 3 - Divisor de Tensão.:

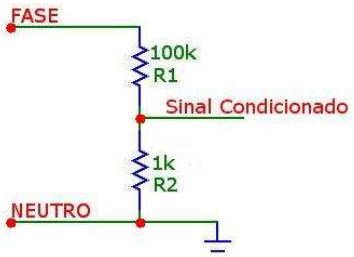

Figura 3 - Divisor de Tensão. [3]

3.1.2. SENSOR DE CORRENTE

Os sensores de corrente, assim como os sensores de tensão, necessitam adequar o nível de corrente medida para um nível que o circuito responsável pela interpretação deste sinal possa ler de forma correta.

Existem diversos tipos de sensores de corrente, cada um para uma determinada aplicação. Será mostrado alguns dos sensores mais utilizados para a aplicação deste projeto.

- Transformador de Corrente: Um transformador de corrente (TC) é um dispositivo que transforma a corrente que circula em um enrolamento primário, através de um acoplamento magnético, em uma corrente induzida no secundário. Os transformadores de corrente têm a função de fornecer correntes proporcionais às medidas no circuito primário de potência, mas suficientemente reduzidas e isoladas galvanicamente de forma a possibilitar a medição por equipamentos de proteção e medição. [6]

  No secundário do transformador, pode ser acoplado um amperímetro, assim a corrente que circula pelo circuito é medida de forma precisa. Apesar de ser um excelente meio de medição de corrente, alguns fatores prejudicam sua utilização neste contexto, como suas dimensões e seu preço elevado.

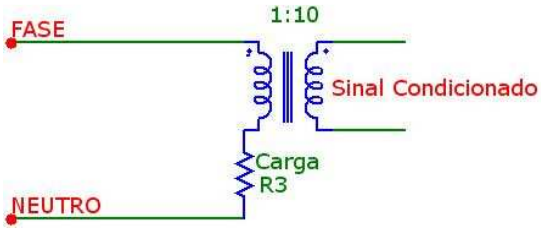

Figura 4 - Transformador de Corrente. [3]

- Resistor Shunt: O processo mais utilizado de medida de corrente elétrica em um circuito é feito introduzindo-se uma resistência shunt em série com o mesmo. A intensidade de corrente é obtida pela lei de Ohm a partir da tensão medida na resistência shunt. Tal método apresenta alguns inconvenientes, como no caso da alta corrente que provoca um aquecimento no resistor, a tensão que causa problema de isolação elétrica do sistema de medida e a alta freqüência que produz o Efeito Pelicular[1] (Skin). [3]

Equação 1 - Lei de Ohm

$$v(t) = R.i(t)$$

Onde, $v(t)$ é tensão medida em Volts [V], $i(t)$ é a corrente elétrica em Ampéres [A] e o valor da resistência R é dado em Ohms [Ω].

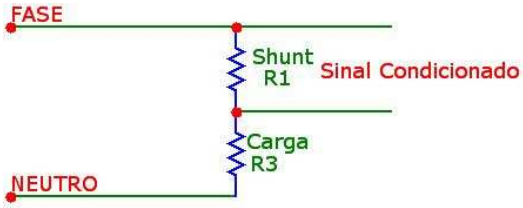

Figura 5 - Resistor Shunt. [3]

- Bobina de Rogowski: Este componente consiste de um núcleo toroidal, não magnético, que é colocado em torno do condutor. O campo magnético produzido pela corrente alternada no condutor induz uma tensão na bobina.

[1] O efeito pelicular é o fenômeno responsável pelo aumento da resistência aparente de um condutor elétrico em função do aumento da freqüência da corrente elétrica que o percorre.

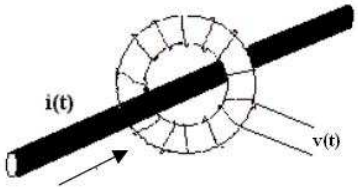

Figura 6 - Bobina de Rogowski. [3]

- Sensor Hall: é uma pastilha retangular de material condutor que ao conduzir uma corrente e estando posicionado em uma região de campo magnético, consegue medir a variação de fluxo. Havendo uma densidade de fluxo magnético B ortogonal à superfície de uma pastilha de espessura t, uma diferença de potencial V é induzida ao longo de sua largura pela força de Lorentz. A expressão que quantifica este nível de tensão é dada por:

Equação 2 - Sensor Hall

$$v = \frac{Rh\,.I.B}{T}$$

Onde, Rh é o coeficiente Hall, e que é constante para um material a uma temperatura fixa, I corrente que atravessa a pastilha, T temperatura de operação, v tensão produzida nas laterais da pastilha e B é a densidade de fluxo magnético.

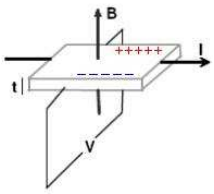

Figura 7 - Sensor Hall. [4]

A Tabela 1 - Características Sensores de Corrente, apresenta um comparativo entre os sensores de corrente mais usado.

Tabela 1 - Características Sensores de Corrente

Sensor	Custo	Largura de Banda	Medição DC	Saturação Histerese	Linearidade	Temperatura de Operação	Tecnologia do material
TC	médio	0.1Hz ~ 100MHz	Não	Sim	Razoável	-50~150°C	Simples
Shunt	baixo	DC ~ 10MHz	Sim	Não	Muito boa	-55~125°C	Simples
Rogowski	baixo	0.1Hz ~ 100MHz	Não	Não	Muito boa	-20~100°C	Simples
Hall	alto	< 1MHz	Sim	Sim	Fraca	-40~125°C	Complicada

Foram apresentados os sensores mais comuns de tensão e corrente. Após uma análise, foi decidido escolher o sensor hall como medidor tanto de corrente quanto de tensão. Será assumido que a rede elétrica é estável e está em regime permanente. Existe um CI da Allegro (ACS712) que é um sensor hall, ou seja, ao atravessar uma corrente por ele é produzida uma tensão que será utilizada pelo microcontrolador para aquisição de dados da corrente e tensão.

3.2. PROCESSAMENTO DOS DADOS

A parte de processamento de dados envolve uma importante etapa do projeto, pois não basta apenas processar os dados, como também devemos atuar de forma eficiente para que os dados que foram interpretados sirvam de base para atuação no sistema. Assim, a opção mais viável seria a utilização de um microcontrolador, outra opção seria utilizar um microprocessador, porém a opção de um microprocessador seria mais trabalhosa, pois o microprocessador possui duas unidades básicas: ULA responsável pela realização das operações lógicas e aritméticas e a UC responsável pela decodificação e execução das instruções, fornecendo os sinais de temporização adequados para as diversas partes do processador e também registradores para armazenamento de informações binárias, e com isso, faltariam outras características ao projeto (clock, memória externa, conversor A/D, entre outros) que teriam que ser incorporados através de outros CIs, que tornariam o projeto mais complexo em termos de layout e disposição de componentes e com um custo mais elevado.

No mercado atual dispomos dos seguintes microcontroladores:

- 8051 (ATMEL e outros): O modelo mais conhecido e popular é 8051, por ser bastante difundido, podemos programá-lo com várias linguagens como assembler, pascal, basic e C. Por ser fabricado por diversas empresas, o usuário não fica preso a um fabricante, assim diminuindo o custo.
- HT8 (HOLTEK): são microcontroladores de alta performance com a tecnologia RISC[2] têm um número reduzido de instruções que facilita a programação e fornece maior flexibilidade ao projeto. Eles são usados em diversas aplicações de controle de I/O e em controle e atuação de sinais de natureza analógica;
- 68HC11 (Motorola e Toshiba): é um microcontrolador de 8 bits popular e com grande quantidade de modelos;
- PIC (MicroChip): família de microcontroladores de 8 e 16 bits que ganha popularidade dia a dia. São facilmente encontrados no mercado e possuem farto material para consulta. Foram os primeiros microcontroladores RISC; Por ser uma família muito grande de microcontroladores, existem modelos com ADC, controladores de LCD, conexão USB, programação no próprio circuito, oscilador interno, entre outros.

Existem ainda mais alguns microcontroladores disponíveis no mercado, porém este não é o objetivo do trabalho. Portanto, para o processamento de dados, foi escolhido o microcontrolador da MicroChip PIC16F916, por apresentar cinco canais analógicos, controlador de LCD, oscilador interno, programação no circuito, possui ambiente de desenvolvimento livre (MpLab), o compilador C utilizado para desenvolvimento é o CCS. E também de possuir afinidade com todas essas ferramentas.

---

[2] **Reduced Instruction Set Computer** ou **Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções (RISC)**, é uma linha de arquitetura de computadores que favorece um conjunto simples e pequeno de instruções que levam aproximadamente a mesma quantidade de tempo para serem executadas. A maioria dos microprocessadores modernos são RISCs.

3.3. VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

A exibição dos dados processados é a parte mais importante do projeto pois é justamente onde todos os dados são exibidos assim o usuário pode interpretá-los da maneira correta. A exibição dos dados neste projeto, será feita de duas maneiras, através do computador (utilizando uma interface de comunicação) e através de um display LCD. Abaixo será mostrado os tipos de LCDs mais comuns para este tipo de aplicação.

- HITACHI – Modelo HD44780U: Este visor de cristal líquido possui duas linhas com dezesseis caracteres cada linha, possui alta velocidade de comunicação com a MPU 2MHz, interface com a MPU de 4 a 8 bits tem baixo custo e a comunicação é feita de forma simples.
- AGTECHONOLOGIES – Modelo AGM1602B: Assim como o modelo HD44780, este LCD tem duas linhas e dezesseis colunas, o ciclo de leitura e escrita é o mesmo para os tipos de LCD apresentados neste projeto. Não existe nenhuma vantagem técnica em relação aos outros visores, somente o seu custo pode ser um atrativo.
- ETC – Modelo JHD162A: Destaca-se por ser encontrado fácil no mercado, seu custo não foge dos modelos acima, possui duas linhas e dezesseis colunas, possui um tempo de resposta típico de 130ms (padrão para este tipo de componente).

Por se tratarem de componentes com as mesmas funcionalidades, a escolha por um determinado fabricante pode ser feita apenas pelo critério de custo. Então, o modelo utilizado neste trabalho é o JHD162A.

3.4. INTERFACE COM COMPUTADOR

Assim como na escolha do LCD, a interface com o computador é feita através de um CI específico, que converte níveis de sinal TTL para sinais RS-232. Os fabricantes mais comuns são: Maxim, National, STMicroelectronics, entre outros. Bem como na escolha do item 3.3. esta escolha também será pelo custo do componente, assim o CI da marca STMicroelectronics será utilizado.

4. CONCEITOS TEÓRICOS

Para análise teórica de um medidor de energia temos que ter em mente alguns conceitos:

- Valor Médio

O valor médio $\bar{X}$ de uma função periódica $x(t)$ de período T é dado pela equação abaixo:

Equação 3 - Valor Médio

$$\bar{X} = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)dt$$

Como será utilizado um microcontrolador para aquisição de dados, a média será feita de forma discreta, assim a Equação 3 - Valor Médio passar a ficar da seguinte forma:

Equação 4 - Valor Médio forma discreta

$$\bar{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x[n]_i$$

onde,

N = número de amostras.

$x[n]_i$ = valor da função na determinada amostra.

- Valor RMS

O Valor RMS X_{RMS} de uma função periódica $x(t)$ de período T é dado pela equação abaixo:

Equação 5 - Valor RMS

$$X_{RMS} = \sqrt[2]{\frac{1}{T}\int_0^T [x(t)]^2 dt}$$

Como da forma anterior a expressão na forma discreta utilizada para o cálculo do valor RMS será:

Equação 6 - Valor RMS forma discreta

$$X_{RMS} = \sqrt[2]{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x[n]_i)^2}$$

4.1. POTÊNCIA E ENERGIA

A produção da maioria das cargas é tanto maior quanto maior for a energia a ela fornecida. Por outro lado, a "conta da luz" também será tanto maior quanto maior for a energia consumida da rede elétrica. A unidade padrão de energia é o Joule, mas o kilo watt-hora é mais usado em eletricidade. [1]

A energia E (consumida ou fornecida) é, por definição, igual à integral da potência p(t) ao longo do tempo, de acordo com a equação abaixo. [1]

Equação 7 - Energia

$$E = \int_0^t p(\tau)d\tau$$

Caso a potência p(τ) seja uma função periódica de período T e o sistema esteja em regime permanente, então a Equação 7 - Energia, pode ser desenvolvida de acordo com a equação abaixo:

Equação 8 - Energia em função da potência média

$$E = \int_0^t p(\tau)d\tau = t\frac{1}{T}\int_0^T p(\tau)d\tau = t.\bar{P}$$

Note que $\bar{P}$ na equação acima é a potência média, definida da mesma forma que na Equação 3 - Valor Médio, e que a partir da Equação 8 conclui-se que o seu cálculo é da maior importância.

A potência elétrica média fornecida ou absorvida por uma determinada fonte ou carga pode sempre ser calculada de acordo com a Equação 9: [1]

Equação 9 - Equação potência elétrica

$$\bar{P} = \frac{1}{T}\int_0^T v(t).i(t)dt$$

onde,

v(t) = forma de onda de tensão na instalação.

i(t) = forma de onda da corrente na instalação.

Visto o conceito de potência podemos utilizá-lo para calcularmos a potência em dois principais tipos de cargas:

- Linear: Nas cargas lineares pode-se afirmar que a corrente terá a mesma forma de onda da tensão aplicada com defasagem ou não, a Figura 8 mostra a forma de onda de uma carga linear com um ângulo de defasagem Φ entre elas.

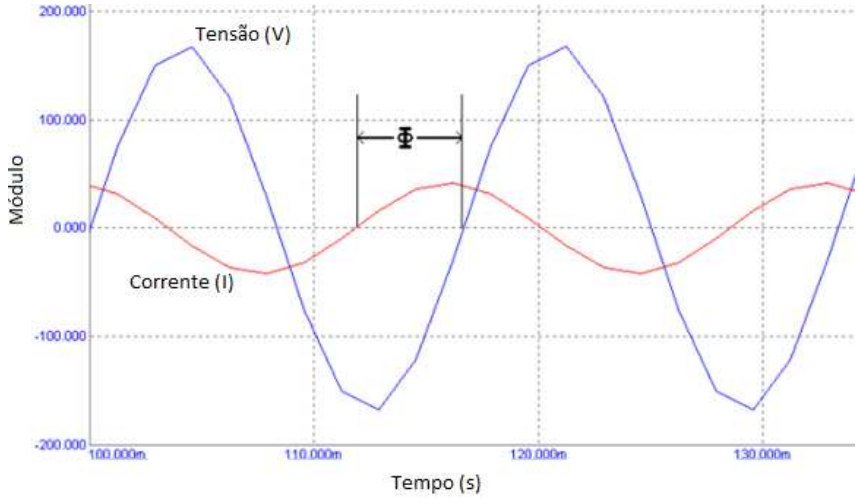

Figura 8 - Defasagem carga linear

- Não linear: Como na maioria dos equipamentos eletrônicos, porém, não é composta apenas de resistências ôhmicas, indutâncias e capacitâncias (cargas lineares), elas utilizam semicondutores como diodos e transistores, ou ainda chaves manuais, estes equipamentos se tornam completamente não lineares. Por exemplo, curvas de tensão x corrente de diodos apresentam descontinuidades (joelhos) em determinados valores de tensão. Chaves manuais podem ser consideradas ainda mais não lineares, uma vez que seu acionamento depende iniciativa de seres

humanos. A dificuldade de modelagem de cargas não lineares reside na complexidade da corrente que apresentam em resposta às tensões impostas. Estas correntes freqüentemente têm formas muito diferentes da forma da tensão aplicada, o que não ocorre com cargas lineares. Por exemplo, em resposta a tensões senoidais ocorrem correntes compostas por diversos harmônicos.

Então a complexidade do cálculo de potência ativa e reativa é bastante elevada, pois não basta assumir apenas que a forma de onda da corrente é senoidal, há a necessidade de um processamento maior, pois quanto maior for o número de amostras do sinal da corrente, mais preciso será o cálculo da potência.

A partir da Equação 9, assumiremos que a tensão da rede é estável, sem harmônicos e será analisado em regime permanente, ou seja, a equação que rege a tensão é mostrada abaixo:

Equação 10 - Tensão da rede

$$v(t) = V_p.sen(wt) \ \ [V]$$

Então, para cargas lineares sabemos que a corrente está defasada da tensão por um ângulo Φ. Assim a equação da corrente para cargas lineares é:

Equação 11 - Corrente para cargas lineares

$$i(t) = I_p.sen(wt + \Phi) \ \ [A]$$

Colocando a Equação 10 e Equação 11 na Equação 9:

$$\bar{P} = \frac{1}{T}\int_0^T V_p.sen(wt).I_p.sen(wt + \Phi)dt =$$

Equação 12 - Potência em carga linear

$$= \frac{V_p.I_p}{T}\int_0^T sen(wt).sen(wt + \Phi)dt =$$

Onde,

V_p = tensão de pico.

I_p = corrente de pico.

Utilizando a identidade trigonométrica:

$$2.sen(x).sen(y) = \cos(x - y) - \cos(x + y)$$

Na Equação 12, temos:

$$= \frac{V_p.I_p}{2.T}\int_0^T cos(wt - (wt + \Phi)) - \ cos(wt + (wt + \Phi))dt =$$

$$= \frac{V_p.I_p}{2.T}\int_0^T \cos(\Phi) - \ cos(2wt + \Phi)dt =$$

$$= \frac{V_p.I_p}{2.T}\int_0^{\mathrm{T}} \cos(\Phi)\,\mathrm{dt} - \frac{V_p.I_p}{2.T}\int_0^{\mathrm{T}} \cos(2\mathrm{wt} + \Phi)\,\mathrm{dt} \ =$$

O segundo termo da equação acima é nulo, pois a integral do cosseno em um período é nulo:

$$\bar{P} = \frac{V_p.I_p}{2.T}\cos(\Phi)\int_0^{\mathrm{T}} 1.\,\mathrm{dt} = \frac{V_p.I_p}{2.T}\cos(\Phi)\,T = \frac{V_p.I_p}{2}\cos(\Phi)$$

Podemos reorganizar a equação acima para uma forma mais utilizada:

Equação 13 - Potência média expressão final

$$= \frac{V_p.I_p}{2}\cos(\Phi) = \frac{V_p}{\sqrt{2}}.\frac{I_p}{\sqrt{2}}\cos(\Phi) = \ V_{RMS}.I_{RMS}.\cos\,(\Phi)$$

Demonstrando o valor RMS de uma senóide:

$$X_{RMS} = \sqrt[2]{\frac{1}{T}\int_0^T \left[X_p sen(wt)\right]^2 dt} = \sqrt[2]{\frac{1}{T}\int_0^T {X_p}^2 cos^2(wt)dt} = \sqrt[2]{\frac{{X_p}^2}{T}\int_0^T cos^2(wt)dt} =$$

$$X_{RMS} = \sqrt[2]{\frac{{X_p}^2}{T}\int_0^T \frac{1}{2}(1 + cos(2wt)dt} = \sqrt[2]{\frac{{X_p}^2}{2T}\int_0^T (1 + cos(2wt)dt} = \frac{X_p}{\sqrt{2}}$$

Assim, então de acordo com a Equação 13 calculamos a potência média ou ativa, de um equipamento, ou seja, a potência ativa é obtida através da multiplicação entre o valor eficaz da tensão, o valor eficaz da corrente e o fator de deslocamento ($\cos\,(\Phi)$). Porém,

existem outros tipos de potências associadas e outros conceitos a serem vistos, como fator de potência, potência reativa, aparente e complexa.

4.1.1. FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência é uma grandeza de suma importância, tem parte no impacto econômico entre os usuários industriais, consumidores de grandes quantidades de potência.

Antes de apresentar a equação do fator de potência, é importante ter em mente outro conceito. A potência aparente (P_{AP}) é o produto da tensão RMS (V_{RMS}) pela corrente RMS (I_{RMS}), normalmente escrita como VA (Volt-Ampères) para ser distinguida da potência média.

Equação 14 - Potência aparente

$$P_{AP} = V_{RMS}.I_{RMS}$$

Por definição, o fator de potência (fp) é a razão entre a potência média pela potência aparente:

Equação 15 - Fator de Potência

$$fp = \frac{\bar{P}}{P_{AP}} = \frac{V_{RMS}.I_{RMS}.\cos(\Phi)}{V_{RMS}.I_{RMS}} = \cos(\Phi)$$

Existindo assim, uma variedade de ângulos de fator de potência entre ±90° e 0° em decorrência do tipo de carga que está associada. Se a carga é uma combinação equivalente *RC* (Resistor e Capacitor), então o *fp* reside entre os limites -90° < Φ < 0°. Por outro lado, se a carga é uma combinação equivalente *RL* (Resistor e Indutor), então o ângulo de *fp* reside entre os limites 0° < Φ < 90°.

4.1.2. FATOR DE DESLOCAMENTO

O conceito de fator de deslocamento muitas vezes é confundido com o fator de potência, por terem uma definição muito parecida. Acima vimos que o fator de potência pode ser calculado pela divisão entre a potência média e a potência aparente, e o fator de

deslocamento é, por definição, igual ao cosseno do ângulo de defasagem entre as primeiras harmônicas da tensão da rede e da corrente de linha.

Assim, podemos concluir que quando a tensão é senoidal e a carga é linear (não havendo presença de harmônicos na instalação) o fator de deslocamento torna-se igual ao fator de potência.

Equação 16 - Fator de deslocamento

$$fd = fp$$

4.1.3. POTÊNCIA COMPLEXA

A potência complexa é definida pela expressão:

$$S = V_{RMS}.I^*_{RMS}$$

Onde I^*_{RMS} se refere ao complexo conjugado de I_{RMS}, isto é, se $I_{RMS} = I_{RMS}\angle\Theta_i = I_R + jI_I$, então $I^*_{RMS} = I_{RMS}\angle{-\Theta_i} = I_R - jI_I$. Assim a potência complexa se torna:

$$S = V_{RMS}.I^*_{RMS} = V_{RMS}.I_{RMS}\angle - \Theta_i$$

Ou

Equação 17 - Potência complexa

$$S = V_{RMS}.I_{RMS}.\cos(\Theta_i) + jV_{RMS}.I_{RMS}.\mathrm{sen}(\Theta_i)$$

Onde:

I_R = Componente real da corrente.

I_I = Componente imaginária da corrente.

Θ_i = Ângulo de defasagem da corrente em relação a tensão[3].

Da Equação 17, vemos que a parte real da potência complexa é simplesmente a *potência média* ou *ativa.* A parte imaginária de **S** chamamos de *potência em quadratura* ou *reativa.* Portanto, a potência complexa pode ser expressa na forma:

$$S = P + jQ$$

[3] Neste estudo o ângulo de defasagem da tensão é 0°, a tensão é a referência deste sistema.

Onde,

$$P = Re(S) = V_{RMS}.I_{RMS}.\cos(\Theta_i)$$

$$Q = Im(S) = V_{RMS}.I_{RMS}.\text{sen}(\Theta_i)$$

E como mostrado na Equação 17, a magnitude da potência complexa é o que chamamos de *potência aparente*, e o ângulo de fase para a potência complexa é simplesmente o ângulo do fator de potência. A medida da potência reativa é VAr (volt-ampèr reativo).

Trabalhando na Equação 17, podemos chegar a algumas relações entre ***S, P*** e ***Q,*** ou seja, essas grandezas podem ser expressas por meio de diagramas, conforme a Figura 9.

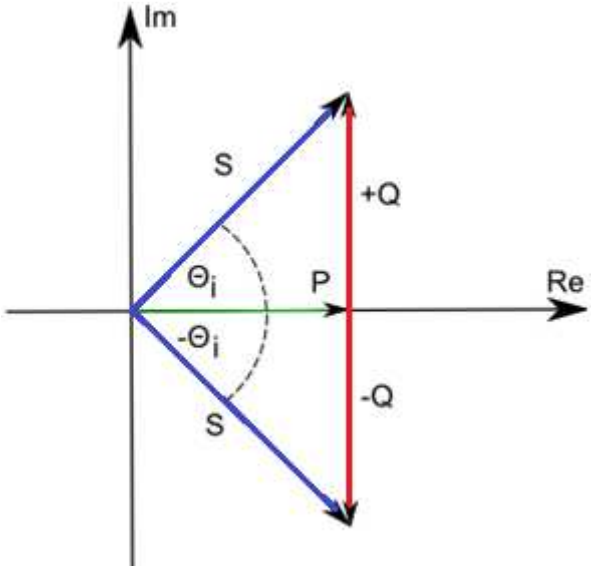

Figura 9 - Triângulo de potência. [10]

Plantas industriais que necessitam de grandes quantidades de potência têm uma ampla variedade de cargas. No entanto, por natureza as cargas normalmente têm um fator de potência em atraso. Então para analisarmos esta questão vamos supor que a Figura 10 ilustre uma carga industrial típica. Em paralelo com tal carga, colocamos um capacitor. A potência complexa original para a carga $\boldsymbol{Z}_L$, que denotaremos por $\boldsymbol{S}_{old}$ é

$$S_{old} = P_{old} + jQ_{old} = |S_{old}|\angle\Theta_{old}$$

A nova potência que resulta da adição do capacitor é:

$$S_{old} = P_{old} + jQ_{new} = |S_{new}|\angle\Theta_{new}$$

Onde Θ_{new} é especificado pelo fator de potência exigido. A diferença entre as potências complexas velha (*old*) e nova (*new*) é causada pela adição do capacitor. Dessa forma,

$$S_{cap} = S_{new} - S_{old}$$

E como o capacitor é puramente reativo,

Equação 18 - Potência complexa capacitiva

$$S_{cap} = +jQ_C = -jwCV_{RMS}^2$$

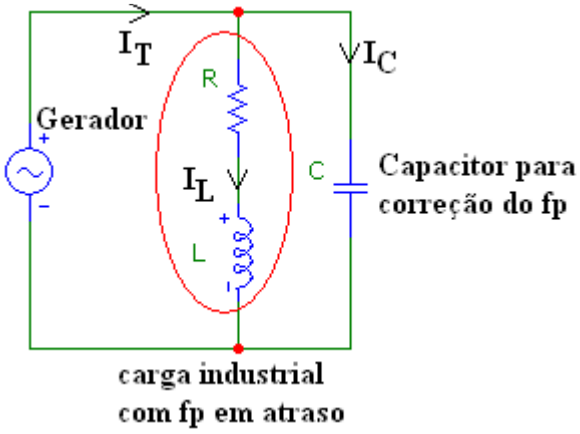

Figura 10 - Correção Fator de potência. [10]

A Equação 18 pode ser usada para determinar o valor exigido de capacitor para se conseguir o novo fator de potência especificado. O procedimento que descrevemos está ilustrado na Figura 11, onde $\Theta_{old} = \Theta_{VL} - \Theta_{IL}$ e $\Theta_{new} = \Theta_{VT} - \Theta_{IT}$. Deste modo, podemos obter um fator de potência em particular para a carga total simplesmente por uma seleção criteriosa de um capacitor e colocando-o em paralelo com a carga original. Em geral, queremos que o fator de potência seja grande, portanto, o ângulo do fator de potência deve ser pequeno (ou seja, quanto maior o fator de potência, menor será o ângulo $\Theta_{VT} - \Theta_{IT}$). [10]

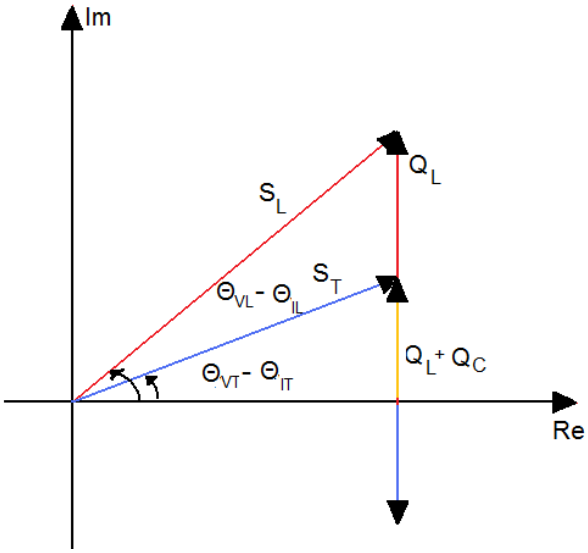

Figura 11 - Técnica correção fator de potência. [10]

5. MEDIDORES DE ENERGIA

A medição da energia elétrica é empregada, na prática, para possibilitar à entidade fornecedora o faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada usuário, dentro de uma tarifa estabelecida.

A concessionária, entidade fornecedora de energia elétrica, tem grande interesse no perfeito e correto desempenho deste medidor, pois nele é que repousam as bases econômicas da empresa. Os litígios entre consumidores e fornecedor podem ser bastante reduzidos se os cuidados necessários forem dispensados à correta medição da energia elétrica consumida. [6]

Então as fornecedoras de energia elétrica desenvolveram inicialmente um medidor que fosse barato, robusto e que tivesse uma ótima precisão. Este equipamento foi desenvolvido há bastante tempo, ou seja, a tecnologia utilizada neste tipo de equipamento está em desvantagem. Atualmente, existem dois tipos principais de medidores de energia.

5.1. MEDIDOR TIPO INDUÇÃO

A medição da energia elétrica possibilita a concessionária fazer um faturamento adequado da quantidade de energia elétrica consumida por cada usuário, dentro de uma tarifa pré-estabelecida. Os equipamentos utilizados para este propósito são chamados de medidores de energia elétrica.

Os medidores de energia elétrica do tipo de indução podem ser classificados em dois tipos:

- Medidores monofásicos:

- Medidor monofásico de dois fios, é constituído de um motor, uma bobina de tensão e uma bobina de corrente.

- Medidor monofásico de três fios, é constituído de um motor, uma bobina de tensão e duas de corrente.

- Medidores polifásicos:

- Medidor polifásico de três fios, é constituído de um ou dois motores, duas bobinas de tensão e duas bobinas de corrente.

- Medidor polifásico de quatro fios, é constituído de um ou três motores, três bobinas de tensão e três bobinas de corrente.

5.1.1. MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGIA ELETROMECÂNICO

Os medidores monofásicos de energia elétrica do tipo indução são bastante utilizados devido a sua robustez mecânica, elevado grau de confiabilidade e baixo custo de fabricação. Sua principal aplicação é na medição de energia elétrica de consumidores residenciais, isto é, que apresentam baixo consumo. Para elevado consumo de energia elétrica as concessionárias geralmente utilizam medidores eletrônicos ou que empreguem outra forma de tarifação de energia elétrica. O medidor tipo indução é empregado em corrente alternada para medir a energia elétrica absorvida por uma carga. É constituído, essencialmente, das partes mostradas na Figura 12 e uma explicação sobre cada parte é demonstrada na seqüência.

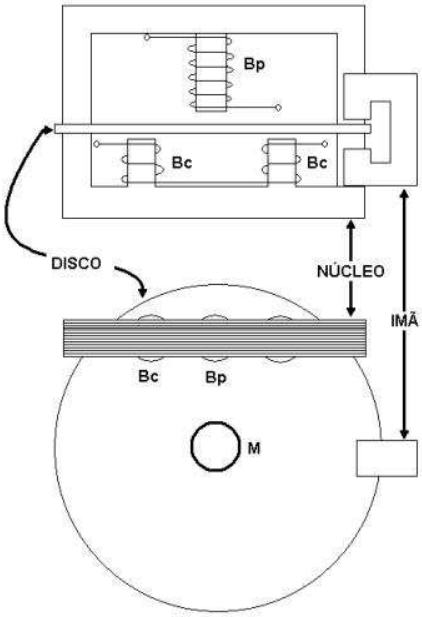

Figura 12 - Medidor de Energia Monofásico. [4]

Bobina de tensão ou de potencial (Bp), altamente indutiva, com grande número de espiras (fio fino de cobre), para ser ligada em paralelo com a carga. Bobina de corrente (Bc), com poucas espiras (fio grosso de cobre), para ser ligada em série com a carga; é dividida em duas meias bobinas enroladas em sentidos contrários. O núcleo é composto de lâminas de material ferromagnético, justapostas, mas isoladas umas das outras para reduzir as perdas por correntes parasitas (Foucault[4]).

Conjunto móvel ou rotor constituído de disco de alumínio, de alta condutibilidade, com grau de liberdade de girar em torno do seu eixo de suspensão (M), ao qual é solidário; a este eixo está preso um parafuso sem fim que aciona um sistema mecânico de engrenagem que registra, num mostrador, a energia elétrica consumida. O imã permanente é utilizado para produzir conjugado que irá frear ou amortecer o disco (velocidade).

Para apresentar o princípio de funcionamento deste tipo de medidor é interessante lembrar que um condutor percorrido por uma corrente *i*, na presença de um campo magnético

[4] **Corrente de Foucault** (**corrente parasita**) é o nome dado à corrente induzida em um condutor quando o fluxo magnético através de uma amostra razoavelmente grande de material condutor varia. O nome foi dado em homenagem a Jean Bernard Léon Foucault, que estudou esse efeito.

B, fica submetido a uma força *F* cujo sentido é dado pela regra da mão direita e cujo módulo é dado por:

Equação 19 - Força de Lorentz

$$F = B.i.Lsen(\beta)$$

Onde,

β é o ângulo entre o campo magnético *B* e a direção de *i L*.

O fluxo da bobina de corrente φ_i ao atravessar o disco, induzirá uma corrente i_I que irá interagir com o fluxo da bobina de potencial φ_v, dando origem a um conjugado em relação ao eixo de suspensão do disco *M*, fazendo o disco girar.

O mesmo ocorre para o fluxo da bobina de potencial φ_v, que ao atravessar o disco induzirá uma corrente i_v que irá interagir com o fluxo da bobina de corrente φ_i, resultando num conjugado que será sempre no mesmo sentido do anterior. Como a bobina de potencial é fortemente indutiva, o seu fluxo φ_v é atrasado 90°, em relação ao fluxo da bobina de corrente φ_i.

Assim, temos que o conjugado produzido no disco *M* é dado pela expressão abaixo:

$$C_m = k.V.I.sen(\alpha)$$

Onde,

C_m é o conjugado mecânico.

k é uma constante do sistema.

V é o valor RMS da tensão de linha.

I é o valor RMS da corrente de linha.

α é o valor do ângulo de defasagem entre a tensão de linha e a corrente de linha.

A rotação do disco alcança um equilíbrio dinâmico balanceando o conjugado originário dos fluxos conseqüentes das bobinas de tensão e corrente com o conjugado originário do ímã permanente.

Esta velocidade pode ser ajustada de tal modo que o número de rotações, durante um dado intervalo de tempo, seja proporcional a energia solicitada pela carga durante este intervalo de tempo, assim o disco dará certo número de voltas por Wh. O movimento do disco é transmitido, por meio de um sistema mecânico de engrenagem, ao mostrador do instrumento que indicará em kWh a quantidade de energia absorvida pela carga. [4]

De acordo com a norma da ABNT NBR-8377 os medidores eletromecânicos monofásicos fabricados no Brasil estão padronizados da seguinte forma:

Tabela 2 - Características de um medidor monofásico

Tensão nominal	120V ou 240V
Corrente nominal	15A
Sobrecarga mínima	400%
Freqüência nominal	60Hz
Número de fios	02
Número de fases	01
Número de elementos	01
Tensão de calibração	127V ou 240V
Sistema de utilização	127V ou 240V

5.1.2. MEDIDOR MONOFÁSICO DE ENERGIA ELETRÔNICO

Os medidores monofásicos eletrônicos são a solução mais moderna. Este equipamento possui entradas de tensão e corrente as quais são digitalizadas e manipuladas de forma a serem inteligíveis pelo usuário do equipamento. Dependendo do tipo de aplicação, o processador envolvido nestas operações pode variar de um simples, até um processador de maior capacidade (DSPs).

Em equipamentos com este tipo de tecnologia mais rebuscada, o processamento é rápido o suficiente para prover processamento em tempo real, bem como transmissão via rede ou algum outro meio de comunicação, também podem ser implementados filtros e outros blocos inteligentes, que fazem com que o instrumento desenvolvido se torne rápido, flexível e com dimensões reduzidas. Outras características podem ser incorporadas a estes medidores, como a análise de harmônicas, fornecendo deste modo importantes informações sobra a qualidade da energia.

Por ser uma tecnologia aberta, diversos componentes podem ser utilizados para esta aplicação, assim, não existe uma fórmula ou um procedimento padrão. Portanto, este trabalho apresentará um tipo de procedimento para medição de energia, utilizando um processador de baixo custo bem como sensores de fácil acesso.

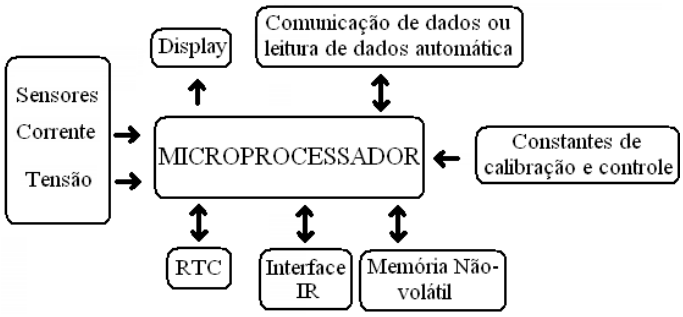

Figura 13 - Diagrama básico para um medidor eletrônico. [2]

6. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

A implementação do projeto será apresentada em dois estágios. O primeiro estágio será a implementação do *hardware* enquanto que o segundo estágio será a implementação do *software.*

O objetivo, conforme visto é a medição de energia elétrica de uma instalação e atuação nesta rede através de banco de capacitores. Após a medição, alguns cálculos são efetuados (potência ativa, potência reativa, fator de potência e consumo de energia em kWh), podendo o usuário visualizar estes dados em um display de LCD ou via terminal através de uma comunicação no padrão RS-232.

A potência ativa máxima medida será de 4400W. Este limite pode ser estendido trocando o sensor de entrada ou efetuando alguma manobra na aquisição da corrente. Este projeto atua medindo a potência de 40W até 4400W.

6.1. IMPLEMENTAÇÃO DO HARDWARE

Conforme visto nas seções anteriores, algumas partes do hardware já foram apresentadas e comentadas. Agora, será dado um enfoque para estas partes. Para este projeto, foram escolhidos os seguintes componentes:

- 1 PIC16F916 - Microcontrolador;
- 2 ACS712 – Sensor de tensão e corrente;
- 1 MAX232 – Comunicação RS-232;
- 1 Display LCD – Visualização dos dados;
- 2 Teclas - Navegação;
- Resistores - Acerto de tensões e relação de impedâncias;
- Capacitores - Filtro e funcionamento de certos diagramas;

- Fonte de Alimentação;

6.1.1. MICROCONTROLADOR

O microcontrolador da Microchip PIC16F916 possui as seguintes características:

Tabela 3 - Características do PIC [11]

Nome do parâmetro	Valor
Tipo da memória de programa	Flash
Memória de programa	14 kB
Velocidade da CPU	5 MIPS
Bytes de RAM	352
Data EEPROM	256 bytes
Timers	2x8-bit, 1x16-bit
ADC	5ch, 10-bit
Canal de comunicação	1ch comunicação serial
Oscilador interno	125kHz até 8MHz
Temperatura de operação	-40°C até 125°C
Tensão de operação	2V até 5,5V
Número de pinos	28

A pinagem do microcontrolador é a seguinte:

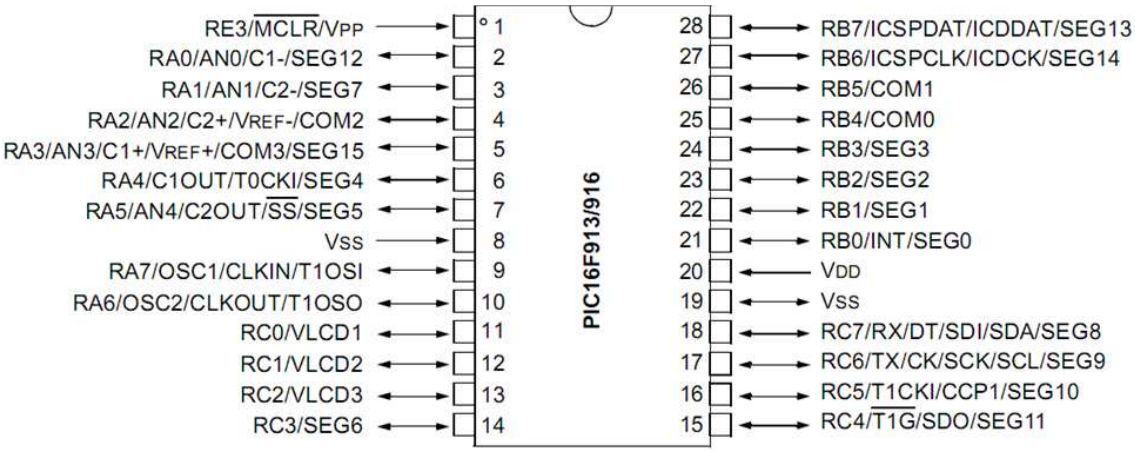

Figura 14 - Pinagem PIC16F916 [11]

Os pinos utilizados para este projeto foram:

Tabela 4 - Descrição de pinos do PIC utilizados

Pino	Nome	Descrição
1	MCLR/Vpp	Reset
2	RA0/AN0	Não Utilizado
3	RA1/AN1	Leitura da Tensão (analógico)
4	RA2/AN2	Leitura da Corrente (analógico)
5	RA3/AN3	Não Utilizado
6	RA4	Não Utilizado
7	RA5/AN4	Não Utilizado
8	Vss	Ground
9	RA7	Tecla 1
10	RA6	Tecla 2
11	RC0/VLCD1	Saída para banco de capacitores
12	RC1/VLCD2	Saída para banco de capacitores
13	RC2/VLCD3	Saída para banco de capacitores
14	RC3	Saída para banco de capacitores
15	RC4	Saída para banco de capacitores
16	RC5	Saída para banco de capacitores
17	RC6/TX	TX - RS-232
18	RC7/RX	RX - RS-232
19	Vss	Ground
20	Vdd	5V – Vcc
21	RB0	Chip Select – LCD
22	RB1	RS - LCD
23	RB2	R/W - LCD
24	RB3	Não Utilizado
25	RB4	D0 - LCD
26	RB5	D1 - LCD
27	RB6	D2 - LCD
28	RB7	D3 - LCD

6.1.2. SENSOR DE CORRENTE E TENSÃO

O dispositivo consiste de um circuito preciso de baixo offset, o circuito do sensor Hall é linear com um caminho de condução de cobre localizado perto da superfície do encapsulamento. Aplicando uma corrente que flui através deste caminho de condução de cobre, é gerado um campo magnético que é percebido pelo integrado Hall IC e convertido em

uma tensão proporcional. A precisão do dispositivo é otimizado através da proximidade do sinal magnético para o transdutor Hall.

A saída do dispositivo tem uma inclinação positiva, quando um crescente fluxo de corrente através do caminho principal de condução de cobre (de pinos 1 e 2, para os pinos 3 e 4), que é o caminho usado para a corrente de detecção. A resistência interna desse caminho condutor é 1,2 mΩ (típica), proporcionando baixa perda de potência. A espessura do condutor de cobre permite a sobrevivência do aparelho em até 5 × condições de sobre corrente. Os terminais do caminho condutor são eletricamente isolados da saída do sensor (pinos 5 a 8). Isso permite que o ACS712 pode ser usado em aplicações que exigem isolamento elétrico sem o uso de opto-isoladores ou outras técnicas caras de isolamento.

Pinagem do componente é a seguinte:

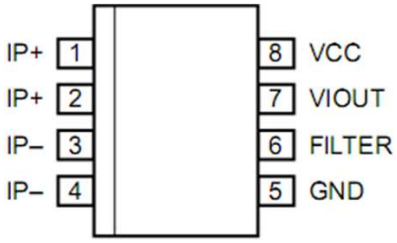

Figura 15 - Pinagem Sensor Hall. [8]

Onde,

IP+ são os terminais por onde a corrente é amostrada.

IP- são os terminais por onde a corrente é amostrada.

GND é o terminal de terra.

FILTER é o terminal onde é configurado através de um capacitor a largura de banda.

VIOUT é a saída analógica do sinal amostrado.

VCC é o terminal de alimentação do componente.

A aplicação típica do sensor é a seguinte:

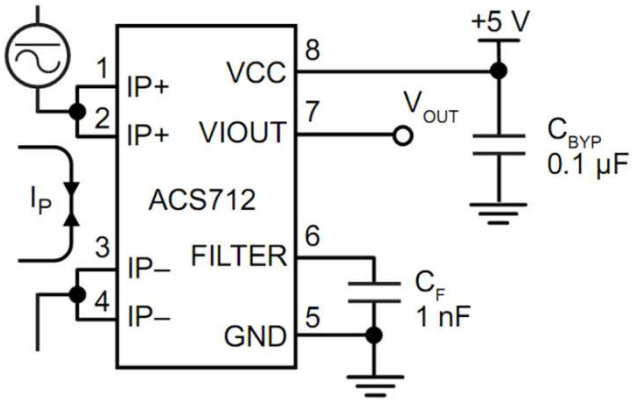

Figura 16 - Configuração típica do sensor. [8]

Onde,

I_P é a corrente que se quer medir.

V_{out} é a saída de tensão proporcional a I_p.

C_F é o capacitor de filtro.

A saída de tensão (pino 7) é dado pela seguinte expressão:

Equação 20 - Tensão de saída do sensor hall

$$V_{out} = 2{,}5V \ \pm 100mV/A$$

Algumas características deste sensor são:

- Caminho de sinal analógico com baixo ruído;
- Largura de banda do componente é configurada através do pino FILTER (pino 6);
- 80 kHz de largura de banda (máxima);
- Erro de saída de 1,5% na TA = 25°C;
- Encapsulamento SOIC8;
- 1,2 mΩ de resistência interna (circuito de medição);
- 2,1 kVRMS de isolamento entre os pinos 1-4 e pinos 5-8;
- 5,0 V, alimentação simples;
- 100 mV/A sensibilidade de saída;
- Medição de corrente AC e DC

Com essas características serão medidos então a corrente e a tensão. As duas medidas serão conectadas as entradas analógicas do microcontrolador. A medida de tensão será feita através de uma resistência conhecida que servirá de base para que o microcontrolador possa adquirir o sinal da rede de forma precisa, ou seja, a tensão da rede será assumida como uma senóide em regime permanente, servindo então este resistor apenas como um identificador de qual a tensão está sendo utilizada (127 ou 220Vrms), bem como o cruzamento por zero (para o cálculo do ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente).

6.1.3. COMUNICAÇÃO RS-232

Também conhecido por EIA RS-232C ou V.24, o RS-232 é um padrão bastante antigo, mas que continua sendo bem utilizado por sua simplicidade e confiabilidade. Como qualquer dispositivo de transmissão serial, os bits são enviados um a um, seqüencialmente, e normalmente com bit menos significante primeiro (*LSB*). Por ser um protocolo assíncrono isto é, sem uma linha de relógio (*clock*), é responsabilidade do transmissor e do receptor efetuarem controles de tempo para saber quando cada bit inicia e finaliza.

Na sua forma padrão o RS-232 utiliza dois sinais de controle, o RTS e o CTS para efetuar o controle de fluxo via hardware. Basicamente, quando o transmissor deseja começar um envio ele sinaliza através do pino RTS. O receptor, ao perceber que o transmissor deseja enviar algum dado, prepara-se para recebê-lo e seta o pino CTS. Apenas depois de receber o sinal CTS o transmissor pode começar a transmissão.

Para cada byte existem bit de start e stop; o mais comum é utilizar-se 1 bit de início (*start bit*) e 1 bit de parada (*stop bit*), mas é possível encontrar aplicações que utilizam 1,5 ou 2 bit de início/parada.

Entre o microcontrolador e o computador a comunicação é um pouco diferente, mas

obedece o padrão elétrico RS-232, ou seja, nesta comunicação não existem as sinalizações de RTS e CTS, assim, os dois equipamentos podem enviar e receber dados a qualquer momento. Como nesta aplicação estamos apenas interessados em enviar os dados para um terminal, apenas temos que conformar o sinal de saída do microcontrolador, em algo inteligível para o computador. Para isso é utilizado um CI (MAX232) que converte um sinal de 0V para um sinal de 12V e um sinal de 5V para -12V.

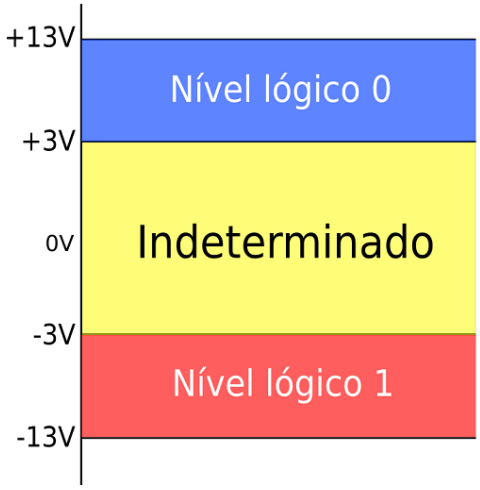

Figura 17 - RS-232. [2]

A pinagem do componente utilizado é mostrada abaixo:

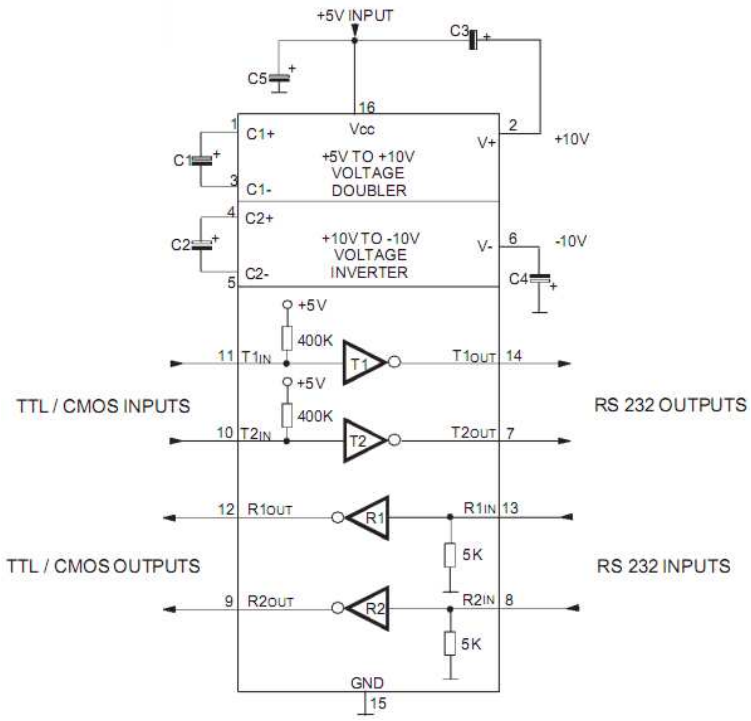

Figura 18 - MAX232 Pinagem [12]

Utilizando-se então os pinos 12 e 13 para o canal de recepção e os pinos 11 e 14 para transmissão. Deste modo, o envio de um byte fica da seguinte forma:

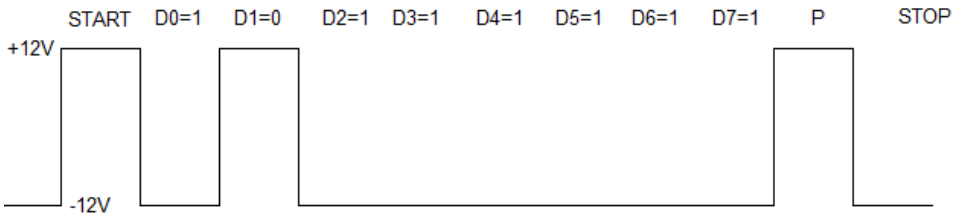

Figura 19 - Envio de um byte RS-232

6.1.4. VISUALIZAÇÃO DOS DADOS

O display de LCD é largamente utilizado em diversos aparelhos eletro-eletrônico com a finalidade de mostrar resultados preliminares ou informações que auxiliem no manejo do aparelho.

Para colocá-lo em funcionamento, primeiro precisamos configurá-lo, ou seja, precisamos dizer ao display como vamos transferir os dados para ele (8 ou 4 bits), quantas

linhas vamos utilizar, se a mensagem deve ficar fixa ou rolar, se a escrita será da esquerda para direita ou da direita para esquerda, ou seja, todas essas configurações são necessárias antes de escrever qualquer mensagem. O datasheet do display traz essas informações, a seguir serão apresentadas algumas delas e como podemos fazer.

Outro detalhe importante quando se trabalha com este tipo de display, é a temporização. Devemos ter um cuidado especial com este ponto, pois uma temporização equivocada inviabilizará o funcionamento do mesmo (não danificará, mas também não funcionará).

O display utilizado neste projeto, de acordo com o datasheet do componente, deve ser montado com a seguinte pinagem para o seu funcionamento:

Tabela 5 - Pinagem display LCD. [13]

Pino	Função	Descrição
1	Alimentação	Terra ou GND
2	Alimentação	Vcc (5V)
3	V0	Tensão para ajuste do contraste
4	RS Seleção	1 - Dado; 0 – Instrução
5	R/W Seleção	1 - Leitura; 0 – Escrita
6	E Chip Select	1 ou (1->0) - Habilita; 0 - Desabilitado
7	D0 LSB	Barramento de dados
8	D1	
9	D2	
10	D3	
11	D4	
12	D5	
13	D6	
14	D7 MSB	
15	Alimentação	Anodo para LED backlight
16	K	Catodo para LED backlight

Onde a tensão no pino 3 deve ficar entre 0 e Vcc (contraste), para isto, será utilizado um potenciômetro de 10k ohms para configurar o contraste.

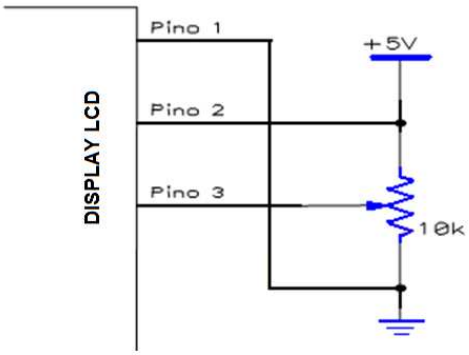

Figura 20 - Contraste LCD. [13]

O display então será montado conforme a Tabela 5, porém a comunicação dos dados a serem enviados ou recebidos será feita por 4 bits (B0 a B3).

Para fazer funcionar o display, devemos executar alguns comandos para que o display funcione da maneira desejada e obedecer ao tempo de escrita (comando/caractere). As funções que podemos executar no display são:

Tabela 6 - Comandos LCD. [13]

Descrição	MODO	RS	R/W	CÓDIGO h
Display	Liga (sem cursor)	0	0	0C
	Desliga	0	0	0A/08
Limpa display com home cursor		0	0	01
Controle do cursor	Liga	0	0	0E
	Desliga	0	0	0C
	Desloca para Esquerda	0	0	10
	Desloca para Direita	0	0	14
	Cursor home	0	0	02
	Cursor piscante	0	0	0D
	Cursor com alternância	0	0	0F
Sentido de deslocamento do cursor ao entrar com caractere	Para a esquerda	0	0	04
	Para a direita	0	0	06
Deslocamento da mensagem ao entrar com caractere	Para a esquerda	0	0	07
	Para a direita	0	0	05
Deslocamento da mensagem sem entrada de caractere	Para a esquerda	0	0	18
	Para a direita	0	0	1C
Endereço da primeira posição	Primeira linha	0	0	80
	Segunda linha	0	0	C0

A tabela acima apresenta o conjunto de instruções, levando-se em consideração que a comunicação com o módulo seja com barramento de 8 bits (fixado durante a inicialização). Para o caso desta comunicação com apenas 4 bits (*nibble*[5] – utilizado neste projeto), os dados ou instruções serão enviados por *nibble*. sendo enviado o *nibble* mais significativo primeiro. Por exemplo para limpar o display, escreve-se o *nibble* 0000 e depois 0001.

Assim, o tempo de escrita/leitura de comando/caractere é mostrado na figura abaixo:

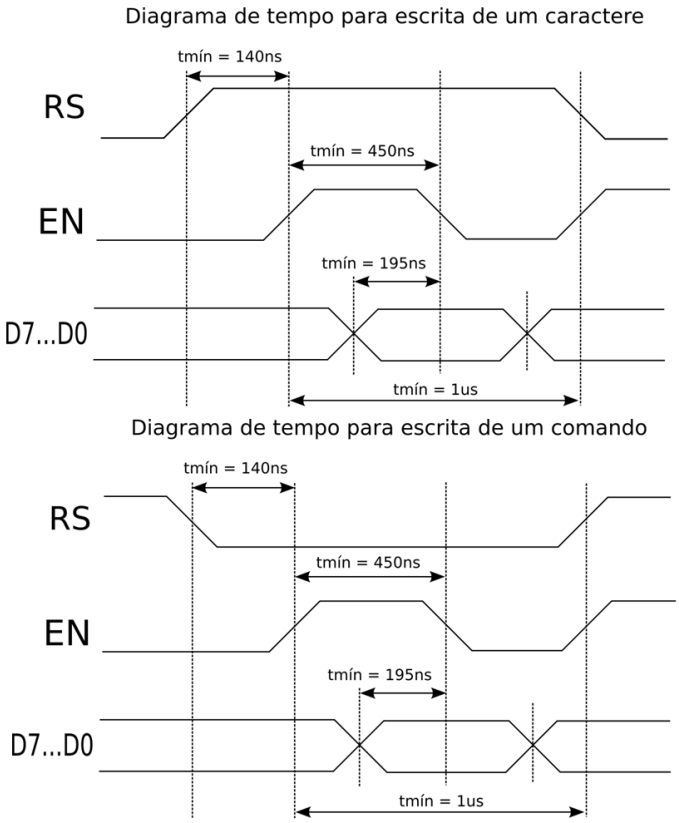

Figura 21 - Escrita e leitura LCD - tempos. [13]

6.1.5. TECLAS E COMPONENTES PASSIVOS

As teclas utilizadas são apenas para navegação dentro do software desenvolvido, ou seja, as teclas servem para tomadas de decisão. Estas teclas são chaves que colocam a porta de

[5] **Nibble** - Sucessão de quatro cifras binárias (bits).

entrada do microcontrolador em zero quando acionadas. Abaixo segue a configuração de como elas estão dispostas no projeto.

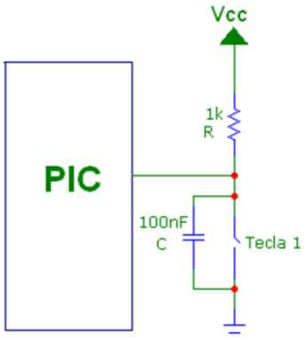

Figura 22 - Configuração das teclas

O restante dos componentes (resistores, capacitores, entre outros) serão explicados no momento em que o esquemático do projeto for apresentado, de acordo com seus blocos funcionais e quando forem pertinentes ao projeto.

6.1.6. FONTE DE ALIMENTAÇÃO

A fonte de alimentação utilizada neste projeto é o mais simples possível, pois não é exigida muita potência, e não existem diferentes níveis de alimentação, tornando assim o projeto da fonte simplificado.

Para a fonte foram utilizados os seguintes componentes:

- 1 Transformador AC-AC 240V/15V;
- 2 Diodos para retificar a onda de saída do transformador;
- 2 Capacitores de filtro (evitar oscilação na tensão de alimentação);
- 1 Regulador de tensão (7805 – TO220) para alimentar o circuito proposto;

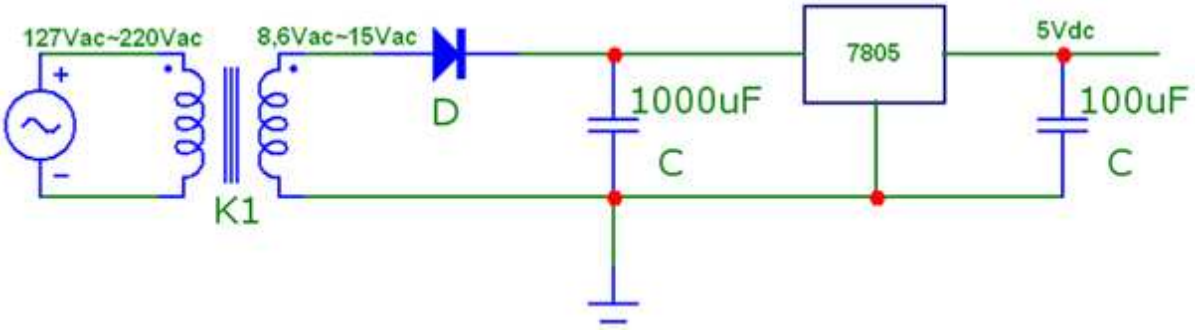

Figura 23 - Fonte de alimentação

O componente 7805 (LM7805) é um conhecido regulador de tensão linear, ele opera com tensões de entrada entre 7 e 40 Vdc, e a sua saída é 5 Vdc. Com um dissipador de calor apropriado, o LM7805 pode fornecer até mais que 1A de corrente. Ele também possui proteção contra sobre-temperatura e curto-circuito.

6.2. TEORIA DE FUNCIONAMENTO DO HARDWARE

Conforme visto na Equação 13, a potência é obtida através do produto entre a corrente, a tensão e o ângulo de defasagem entre a tensão e corrente, deste modo, o equipamento projetado terá que suprir esta característica, ou seja, terá que de alguma forma, amostrar o sinal de tensão e corrente para efetuar todas as operações necessárias para chegar ao valor da potência esperado.

A aquisição dos sinais de tensão e corrente serão amostrados pelo CI ACS712. Este CI conforme a Equação 20 coloca em seu pino de saída uma tensão de Vcc/2 +/-100mV/A, esse valor analógico será colocado na entrada analógica do microcontrolador, deste modo amostrando o sinal. A diferença entre os dois métodos de medição (tensão e corrente) está no fato de que para medir a tensão, uma resistência de valor conhecido é colocada em paralelo com a instalação. Como o valor de tensão será considerado como sendo uma senóide, o problema se resume em saber se é 127Vrms ou 220Vrms.

A corrente por outro lado, é medida através da seguinte maneira, o circuito o qual se deseja medir a potência é posto em série com o medidor de corrente.

O ângulo de defasagem entre os dois sinais é implementado da seguinte forma, é analisado por um intervalo (igual ao período da rede) o valor de pico da tensão, e a amostra que apresentar o maior valor será considerado como a origem do sistema ou ângulo zero. Concomitantemente este procedimento é realizado no canal que amostra o sinal de corrente. E para descobrir o ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente basta saber por quantas amostras os picos dos sinais estão defasados e multiplicar por uma constante, achando assim o ângulo de defasagem entre as amostras.

Utilizando 60 amostras em 1 ciclo da rede (16,66ms), podemos chegar a solução deste problema através de uma regra de três:

Se 60 amostras são 360°, então uma diferença de Δ amostras são Φ graus.

$$\begin{array}{ll} 60\ amostras & 360° \\ \Delta\ amostras & \Phi° \end{array}$$

Assim, para calcular a potência ativa e reativa será utilizado a seguinte fórmula:

$$P = V_{RMS}.I_{RMS}.\cos\left(\frac{\Delta\ amostras.360°}{60}\right)$$

E a potência reativa será utilizada a equação:

$$Q = V_{RMS}.I_{RMS}.\text{sen}\left(\frac{\Delta\ amostras.360°}{60}\right)$$

A correção do fator de potência será de modo iterativo, ou seja, será acionada uma saída do conjunto de capacitores e verificado o valor da potência reativa, este processo é repetido até ser atingido um valor mínimo de potência reativa.

6.3. IMPLEMENTAÇÃO DE SOFTWARE

O software foi desenvolvido em linguagem C, no ambiente do MpLab com o compilador CCS (versão livre para estudante – 30 dias e com limite de programa de 2kB). O gravador do microcontrolador utilizado no projeto foi o ICD2. O software foi estruturado de maneira a ser o mais amigável possível, tanto para pessoas acostumadas com o jargão da área, como pessoas que desconhecem este assunto.

Assim o fluxograma abaixo dá uma visão geral do software implementado.

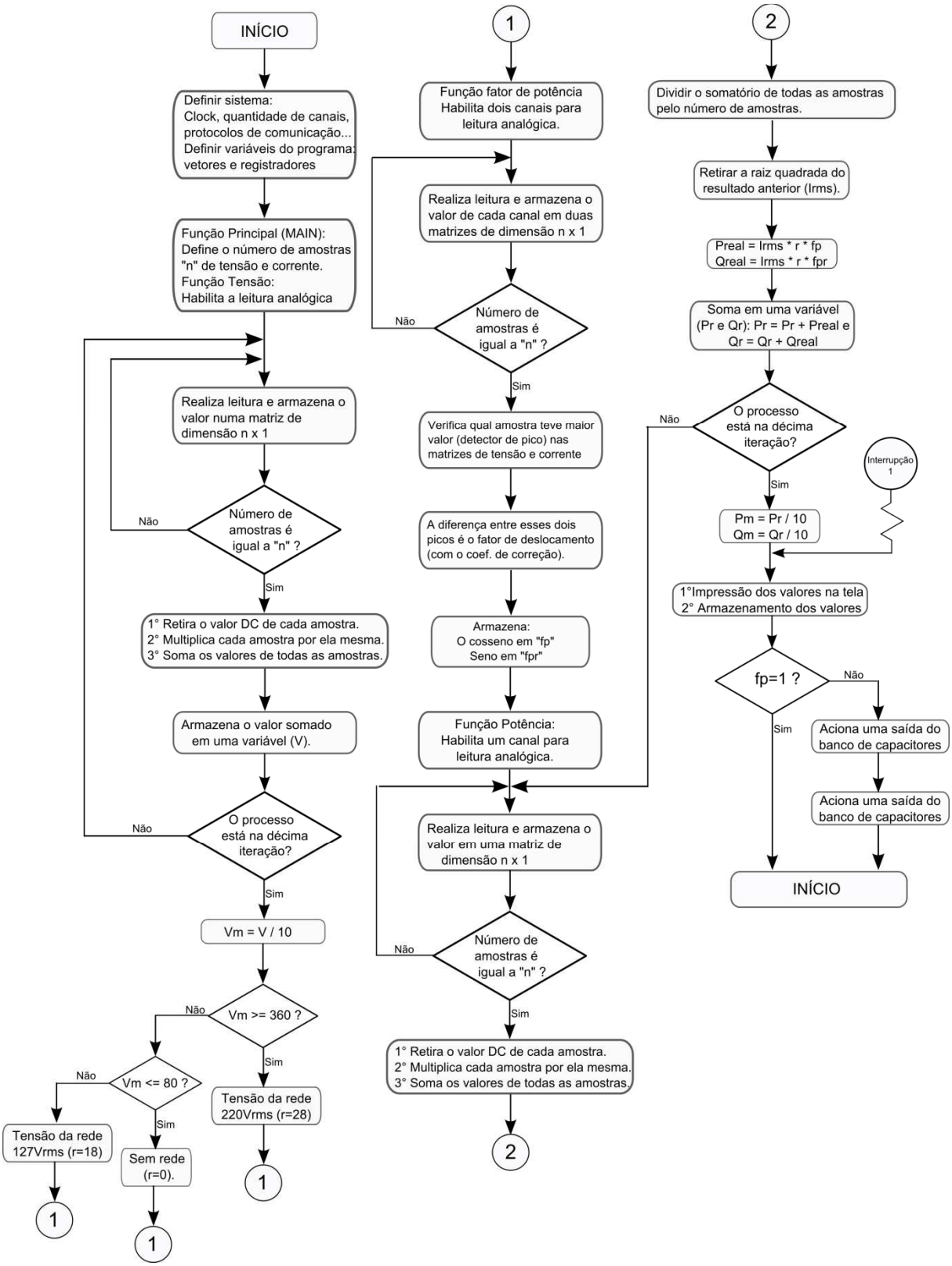

Figura 24 - Fluxograma do software

6.4. ESQUEMÁTICO E PLACA EM 3D

O esquemático do projeto é ilustrado na Figura 25.

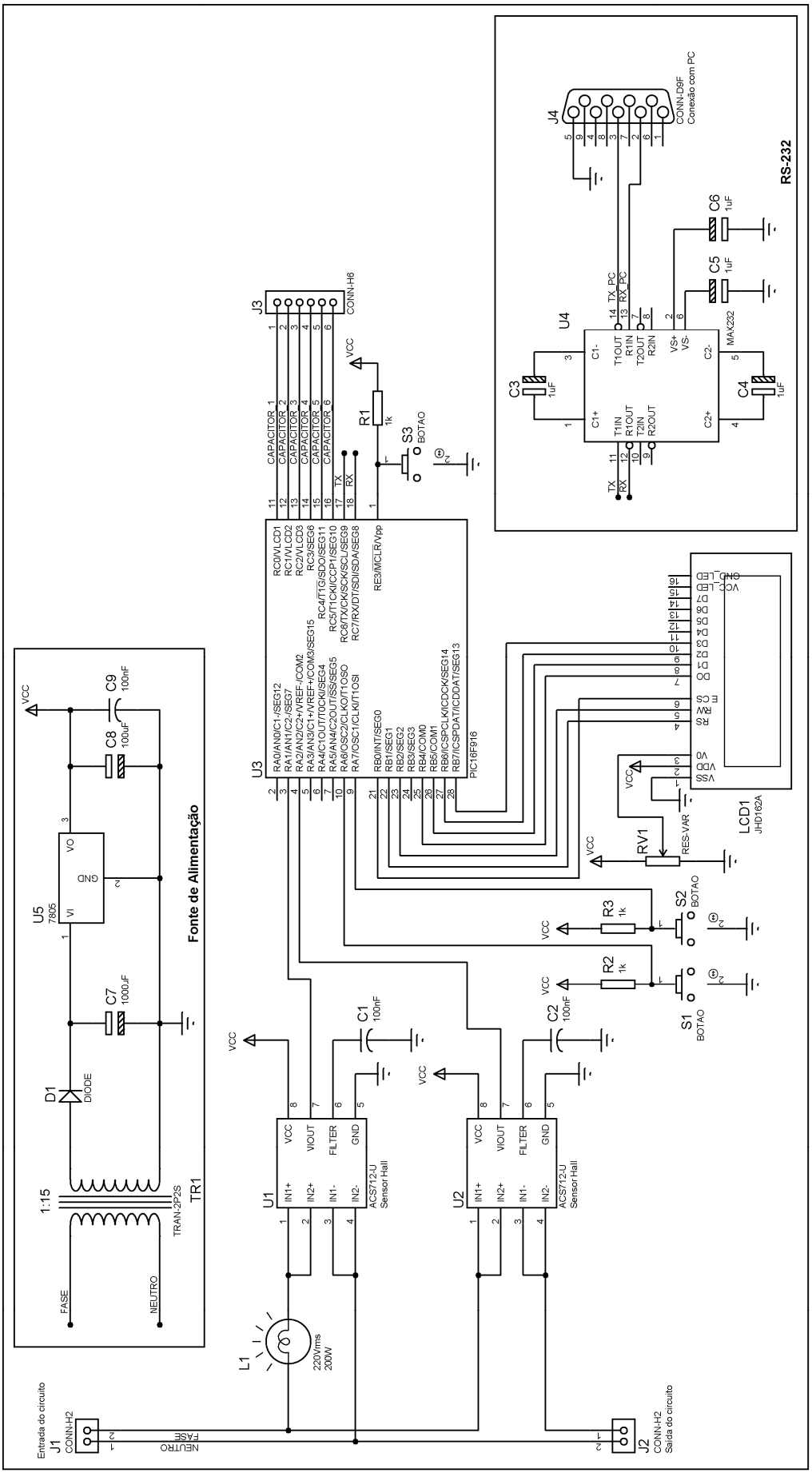

Figura 25 - Esquemático

Para facilitar a compreensão, a Tabela 7 discrimina os componentes utilizados neste projeto.

Tabela 7 - Lista de materiais

Quantidade	Referência	Descrição	Valor	Custo R$
3	R1-R3	Resistor PTH	1kΩ / 1/8 W	0,30
1	RV1	Potenciômetro	10kΩ	2,00
3	C1, C2, C9	Capacitor Poliéster	100nF / 16V	0,30
4	C3-C8	Capacitor Eletrolítico	1uF / 16V	0,40
1	C7	Capacitor Eletrolítico	1000uF / 16V	0,50
1	C8	Capacitor Eletrolítico	100uF / 16V	0,15
2	U1, U2	Sensor Hall	ACS712-U	22,50
1	U3	Microcontrolador	PIC16F916	9,70
1	U4	Conversor RS-232	MAX232	4,50
1	U5	Regulador de tensão	LM7805	0,88
1	LCD1	Display LCD 2x16	JHD162A	11,70
1	D1	Diodo retificador	1N4001	0,10
2	J1, J2	Entrada/saída circuito	Jumper conexão	0,40
1	J3	Conexão banco capacitores	Jumper conexão	0,20
1	J4	DB-9 Fêmea	Conector	5,00
1	L1	Lâmpada para calibração	220V / 200W	4,50
3	S1-S3	Botão de seleção	Push Button	0,20
1	TR1	Trafo rebaixador	127V / 12+12 V	10,50
			TOTAL	74,13

A disposição dos componentes em uma placa protótipo foi desenvolvida em ambiente virtual (Proteus – Módulo Ares) e apresentou o resultado ilustrado pela Figura 26.

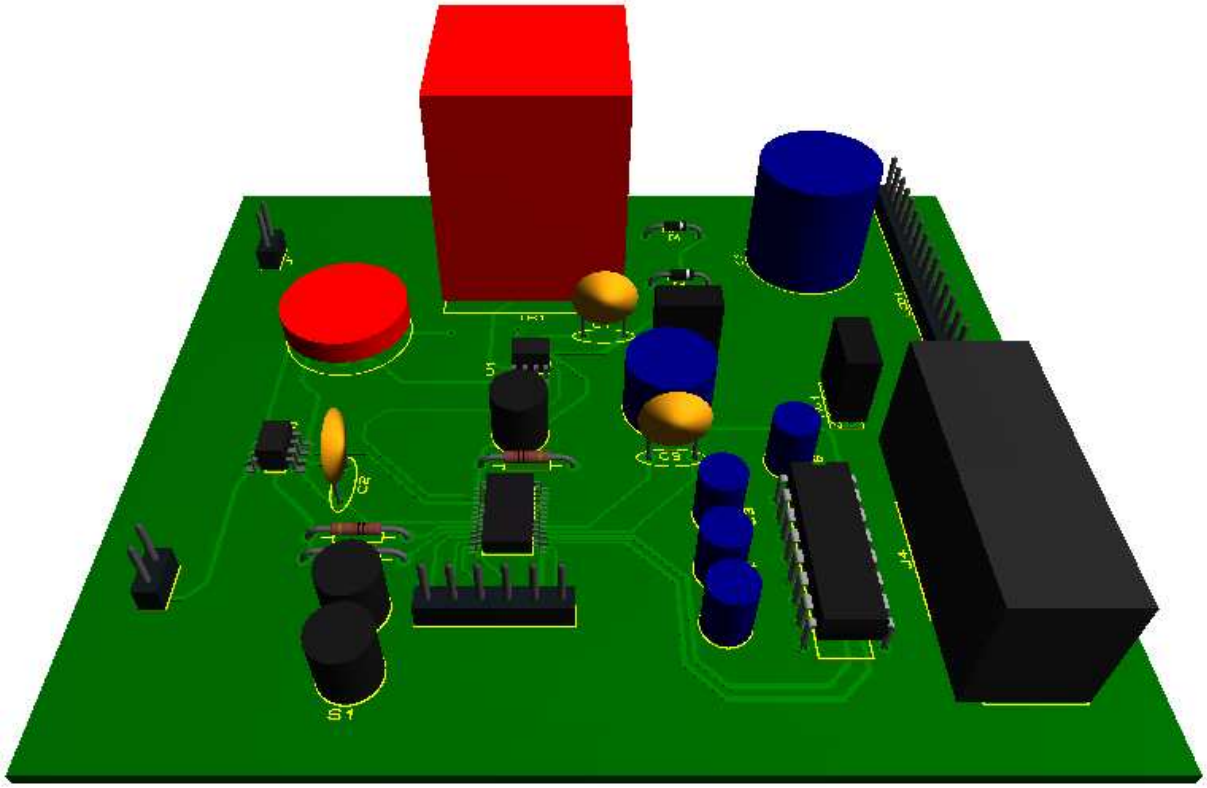

Figura 26 - Placa 3D

6.5. ANÁLISE DE ERRO

Ao trabalhar com componentes fabricados e fazer algumas aproximações, estamos deixando de lado à busca do resultado exato. Deste modo, esta parte do relatório será dedicada a este fato, será estudado o quanto estaremos fugindo do resultado real.

A análise de erro passará por três etapas, aquisição, processamento e exibição dos dados.

- Aquisição dos dados: A aquisição de dados é feita através do componente ACS712 que tem como função transformar corrente em um nível de tensão através do efeito Hall. De acordo com o datasheet, a erro do componente é de 1,5% na temperatura de 25ºC. A outra parte da aquisição é parte do microcontrolador. O conversor AD utilizado no projeto possui resolução de 8 bits, deste modo a resolução máxima do microcontrolador é:

$$Resolução\ do\ microcontrolador = \frac{5V}{2^8} = 0{,}0195\ \mathrm{V}\ \pm 0{,}4\%$$

Deste modo, corrente mínima detectada pelo sensor é:

$$Corrente\ mínima = (0{,}0195\ \mathrm{V} \pm 0{,}4\%) * (0{,}1\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}} \pm 1{,}5\%) = 1{,}95\ \mathrm{mA}\ \pm 0{,}19\%$$

Assim, o erro na aquisição de dados é de 0,19%.

- Processamento de dados: na etapa de processamento de dados o erro reside apenas na definição do tipo de variáveis. Nesta etapa foram utilizadas as variáveis coerentes para os tipos de dados.

Valores inteiros: Utilizada variável int (0 a 255), long int para valores acima do número decimal 256 (0 a 65535) e signed int (-128 a 127) para valores negativos.

Valores fracionários: float para valores fracionários e negativos.

- Visualização de dados: na última etapa os dados são exibidos e armazenados. Foi assumido o critério de dois dígitos após a vírgula. Então o maior erro nesta etapa consiste na menor potência medida pelo projeto. De acordo com a especificação do projeto a menor corrente medida é 40W, logo, e erro percentual na visualização dos dados é de 0,025%

Com os três erros definidos o erro total do projeto na medição de potência é de:

$$Erro\ total = 0{,}215\%$$

6.6. TEORIA DE FUNCIONAMENTO GERAL DO HARDWARE

De acordo com o esquemático do projeto, Figura 25, a *net*[6] fase serve para adquirir os sinais de tensão e corrente. Após estes sinais serem adquiridos os componentes U1 e U2 o repassam para o microcontrolador através do pino 7. Os capacitores C1 e C2 servem de

[6] *Net:* termo utilizado pelos profissionais da área de layout de projetos eletrônicos ao se referirem a uma ligação entre uma parte do circuito a outra. Quando se tratam de ligações importantes ou quando o esquemático é muito complexo, elas são nomeadas para facilitar a compreensão e facilitar o manuseio do esquemático.

filtros, o componente ACS712 possui um resistor interno de 1,7 kΩ para formar com estes capacitores um filtro RC dado pela equação abaixo:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Onde, f_c é a freqüência de corte do projeto, R é o resistor interno e C são os capacitores C1 e C2. Com os valores utilizados no projeto foi obtido uma freqüência de corte de aproximadamente 930Hz. O sinal relativo a tensão e corrente entra no microcontrolador, que por sua vez processa de acordo com o software desenvolvido. Após o processamento o microcontrolador disponibiliza na porta B os sinais de controle do LCD (B0, B1 e B2) e o dado a ser interpretado pelo LCD (B4, B5, B6 e B7), a porta B3 não está sendo utilizada. Na porta C é utilizada para acionamento de banco de capacitores (C0, C1, C2, C3, C4 e C5) e para comunicação via RS-232 (C6 e C7). Existem ainda três botões que são acionados por zero (através de resistores de *pull-up*[7]), o botão 3 (S3) é uma interrupção para descarga dos dados acumulados no medidor, e os botões S1 e S2 servem para navegação no display de LCD (visualizar mais dados).

6.7. RESULTADOS PRÁTICOS

Para a validação do projeto, serão utilizados vários tipos de cargas (cargas lineares e cargas não-lineares). Elas servirão como parâmetro para a precisão do equipamento.

A aquisição do sinal de tensão é exibida na Figura 27:

[7] A idéia de um resistor *pull-up* é que ele fracamente "puxe(*pull*)" a tensão do condutor que ele está conectado para a tensão a qual está sendo alimentado. Contudo, o resistor é intencionalmente fraco(alta resistência) o suficiente que, se qualquer outra coisa que puxe fortemente a tensão do condutor para 0V, a tensão irá para 0V.

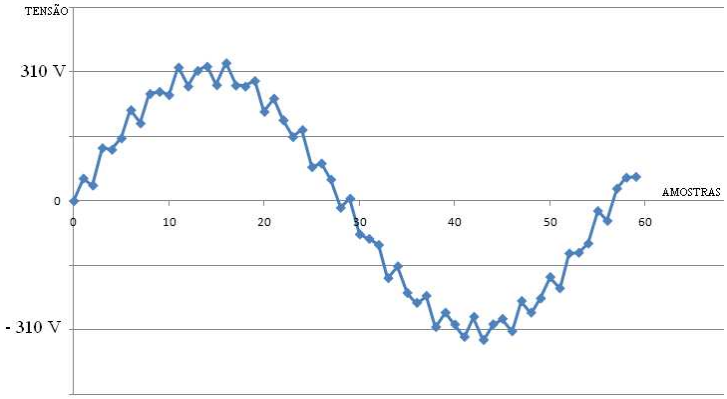

Figura 27 - Sinal de Tensão

A forma de onda da corrente varia conforme a carga que está sendo utilizada para uma carga resistiva, a forma de onda da corrente é ilustrada na Figura 28:

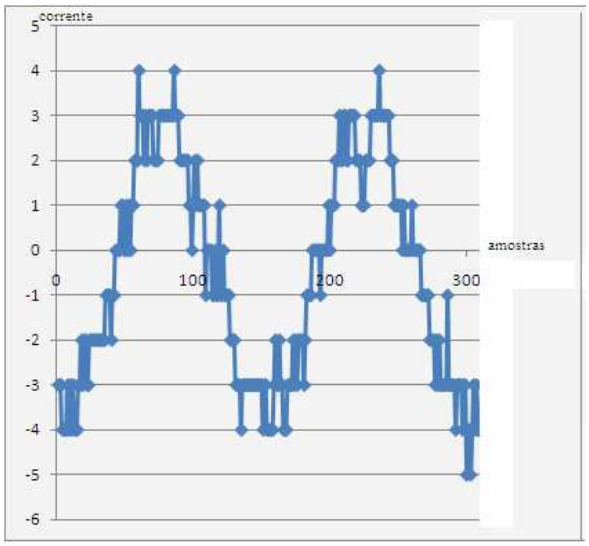

Figura 28 - Sinal de Corrente

A amostragem na figura acima foi de 150 amostras por período. Ao se amostrar o sinal com 60 amostras reduzimos a precisão da medida mas não de forma significativa (inferior a 5%) por isso foi adotado uma freqüência de amostragem de 60 amostras por ciclo.

Assim a Tabela 8 abaixo ilustra os resultados obtidos

Tabela 8 - Resultados Práticos

Resultados práticos			
Tipo Carga	Valor Nominal	Valor Medido	Fator de potência
Resistiva (Lâmpadas)	40W	43,2W	0,99
Resistiva (Lâmpadas)	100W	99,8W	0,98
Resistiva (Lâmpadas)	1000W	1003W	0,99
Indutiva (Aspirador)	1200W	1195W	0,86
Carga não linear (TV)	65W	62W	0,95
Carga não linear (TV)	120W	122W	0,93

A Figura 29 exibe o ambiente de visualização dos dados via RS-232, o programa utilizado exibe com uma taxa de transmissão de 9600 bits por segundo, dado de 8bits e sem paridade. Os três tipos de dados escolhidos para a exibição foram: tensão da rede, a potência ativa e o fator de potência da instalação.

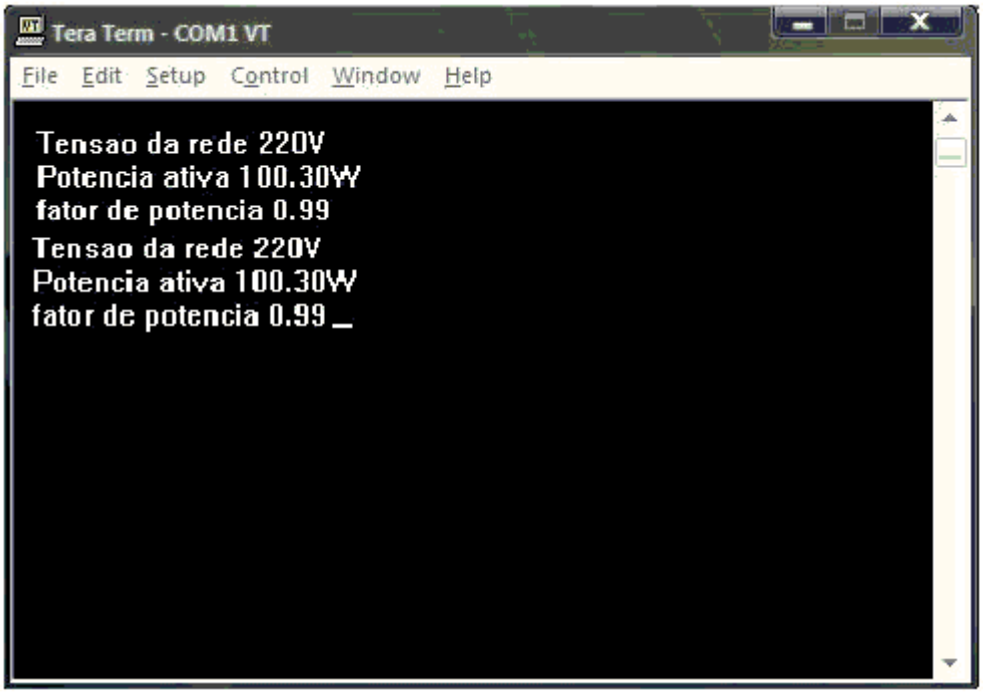

Figura 29 - Visualização RS-232

7. CONCLUSÃO

Assim, o objetivo de conscientizar as pessoas para a economia de energia através de um aparelho onde o usuário possa ter uma idéia de seu consumo, foi alcançado. Algumas melhorias como valor da potência consumida em um determinado período de tempo e tarifa diferenciada em determinado período seriam possíveis com o acréscimo de um circuito adicional de tempo real (RTC) e uma memória externa de maior capacidade E2PROM. O impacto dessas melhorias no custo do projeto seria mínimo, pois estes componentes são baratos e o software não sofre acréscimo de preço, apesar de aumentar a sua complexidade.

Em termos de engenharia, o projeto foi bem sucedido, pois alcançou resultados muito próximos do real, o tempo de resposta ao variar a carga é muito rápido (1 segundo), e pode ser utilizado por grande parte da população, pois sua interface amigável torna-o bastante acessível.

O custo do projeto foi de R$ 74,13, um preço bem abaixo dos medidores de energia encontrados no mercado (aproximadamente R$500,00). Durante os testes com diversos tipos de cargas o medidor foi totalmente estável não apresentando nenhum problema (*bug*), estando pronto para sair da fase protótipo.

Pelo lado pessoal, foi um desafio bastante grande, pois todas as etapas de um projeto foram feitas a partir do zero, ou seja, o projeto começou na idéia básica chegando até o seu protótipo. Durante este processo, relatórios foram gerados e os prazos de entrega foi fator motivacional e serviu para fornecer a visão sistêmica de processo de desenvolvimento do produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BLAUTH, Yeddo B. **Apostila de Aplicações Industriais da Eletrônica.** UFRGS, Porto Alegre, 2000.

[2] GRIOTTI, P. L. H. **Mostrador Digital**. Projeto de Diplomação, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

[3] BITTENCOURT, J. D. A. **Medidor de Consumo Microcontrolado**. Projeto de Diplomação, UFRGS, Porto Alegre, 2008.

[4] SILVA, R. L. **Medidor de Energia Elétrica de Baixo Custo com Interface Serial Compatível com a NBR14522**. Trabalho de Conclusão, CEFET, Florianópolis, 2007.

[5] SAELPA, **Leitura Remota de Consumo de Energia Elétrica e Medição Agrupada em Poste com Leitura Eletrônica Utilizando-se Medidores Convencionais de Energia**. Projeto 1, CELB, Campina Grande, 2002.

[6] FILHO, **S. de M. Medição de Energia Elétrica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1997.

[7] HIGASHI, **E. M. Modelagem da Bobina de Rogowski para Medidas de Pulsos de Corrente Elétrica**. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 2006.

[8] ALLEGRO MICROSYSTEMS, INC, **0712.pdf,** Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor, 2009. Arquivo baixado. 637kb. Acrobat Reader. Disponível em: <http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/0712/0712.pdf>. Acesso em 08 set. 2009.

[9] ATMEL CORPORATION, **530A8815d01.pdf,** 8-bit Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash, 2009. Arquivo baixado. 426kb. Acrobat Reader. Disponível em: < http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/8059S.pdf>. Acesso em 13 set. 2009.

[10] IRWIN, J. DAVID, **Análise de Circuitos em Engenharia**. 4ª ed. Makron Books, São Paulo, 2005.

[11] MICROCHIP, **41250f.pdf,** 28/40/44/64-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with LCD Driver and nanoWatt Technology. Arquivo baixado. 5.9Mb. Acrobat Reader. Disponível em: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41250F.pdf>. Acesso em 13 set. 2009.

[12] TEXAS INSTRUMENT, **max232.pdf,** 5V Powered Multi-Channel RS-232 Drivers and Receivers. Arquivo baixado. 705kb. Acrobat Reader. Disponível em: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>. Acesso em 14 set. 2009.

[13] ETC, **JHD162A SERIES.pdf,** JHD162A SERIES. Arquivo baixado. 553kb. Acrobat Reader. Disponível em: < http://www.electrokit.se/download/JHD162A%20SERIES.pdf>. Acesso em 10 set. 2009.