

Paulo Henrique de Oliveira Lopes

Ponto de venda de energia elétrica com cartão indutivo pré-pago

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica.

Orientador: José Antonio Siqueira Dias

Campinas, SP
2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

L881p Lopes, Paulo Henrique de Oliveira
 Ponto de venda de energia elétrica com cartão
 indutivo pré-pago / Paulo Henrique de Oliveira Lopes. - -
 Campinas, SP: [s.n.], 2009.

 Orientador: José Antonio Siqueira Dias.
 Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
 Computação.

 1. Medidores elétricos. 2. Veículos elétricos. 3.
 medidor de watt-hora. I. Dias, José Antonio Siqueira. II.
 Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
 Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Point of sales of electrical energy using pre-paid inductive card

Palavras-chave em Inglês: Electric meters, Electric vehicles, watt-hour meter

Área de concentração: Eletrônica, Microeletrônica e Optoeletrônica

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora: Elnatan Chagas Ferreira, Rogério Lara Leite

Data da defesa: 28/05/2009

Programa de Pós-Graduação: Faculdade de Engenharia Elétrica

COMISSÃO JULGADORA - TESE DE MESTRADO

Candidato: Paulo Henrique de Oliveira Lopes

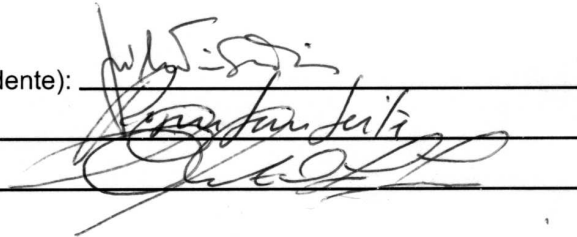
Data da Defesa: 28 de maio de 2009

Título da Tese: "Ponto de Venda de Energia Elétrica com Cartão Indutivo Pré-pago"

Prof. Dr. José Antonio Siqueira Dias (Presidente):

Dr. Rogério Lara Leite:

Prof. Dr. Elnatan Chagas Ferreira:



Resumo

O aumento da poluição nos grandes centros urbanos tem levado a uma busca incessante de soluções tecnológicas para a substituição dos veículos com motor a combustão por outra fonte de energia, sendo que os veículos elétricos têm se apresentado como uma das alternativas mais promissoras para um futuro próximo. Entretanto, um dos problemas a resolver na utilização de veículos puramente elétricos é o abastecimento (recarga das baterias) nas ruas. Neste trabalho é apresentado o projeto, desenvolvimento e implementação de um protótipo de um ponto de fornecimento de energia elétrica pré-paga usando cartões indutivos. O protótipo desenvolvido operou dentro das especificações e normas aplicáveis ao setor de medida de energia elétrica. Outras aplicações para este equipamento estão sendo estudadas, como por exemplo na venda de energia elétrica para residências de baixa renda.

Palavras-chave: Medidores elétricos, Veículos elétricos, medidor de watt-hora.

Abstract

The increasing in pollution caused by combustion engines in large cities has motivated the search for new technologies to replace these engines, and the electrical vehicle is a promising alternative in the near future. However, one of the problems that remains to be solved is charging these vehicles in the streets. This work presents the design, development and implementation of a pre-paid point of sale of electrical energy equipment which uses inductive cards. The developed prototype meets the specifications and rules of the Brazilian electrical sector for the energy meters. Other applications for this pre-paid energy meter are being considered, as, for example, in selling pre-paid energy to low income households.

Keywords: Electric meters, Electric vehicles, watt-hour meter.

Agradecimentos

A Deus pela oportunidade de realização desta obra.

Ao meu orientador Prof. José Antônio Siqueira Dias, sou grato pela orientação.

Ao Prof. Elnatan Chagas pela ajuda na revisão deste modelo de tese.

Ao Dr. Rogério Lara Leite pelas críticas e sugestões bem apropriadas.

Aos colegas Matheus, Manuel, Antenor e Marcos pelas sugestões.

Aos demais colegas da Fundação CPQD e da pós-graduação pelas críticas e sugestões.

A minha família pelo apoio durante esta jornada.

Ao pessoal do Museu da Energia de Itu pela atenção e colaboração.

À Fundação CPQD pelo incentivo e apoio.

À AES Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A, pelo financiamento deste trabalho através do Contrato Eletropaulo/Unicamp No. 4200002665, referente ao projeto ANEEL ciclo 2006/2007 intitulado *Medidores inteligentes de energia para carregadores de baterias de veículos elétricos*.

A minha esposa, aos meus filhos e aos familiares.

Sumário

Lista de Figuras	ix
1 Introdução	1
1.1 Veículos Elétricos e a Motivação do Projeto	2
1.2 Meios de Pagamento	4
1.3 Objetivo do projeto do medidor pré-pago	4
Glossário	1
2 Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica	6
2.1 Introdução	6
2.2 Abordagem Teórica	6
2.3 Abordagem Experimental	8
2.3.1 Medidor eletrônico utilizando conversão tensão-frequência	8
2.3.2 Outro Modelo de Medidor de Energia	10
2.4 Abordagem Prática	10
2.4.1 Características do componente - AD71056	11
2.4.2 Descrição do circuito	12
2.4.3 Tratamento da corrente no Canal 1	13
2.4.4 Tratamento de tensão no Canal 2	17
2.4.5 Multiplicador e filtro	18
2.4.6 Conversão do valor digital para frequência	20
2.4.7 Determinação da frequência de operação da saída CF	22
2.5 Considerações para montagem	23
2.5.1 Descargas Eletrostáticas (ESD)	23
2.5.2 Interferências Eletromagnéticas de Alta Frequência	24
2.5.3 Transientes (EFT)	24
2.6 Montagem final do circuito do medidor	25
3 Meios de Pagamento e Circuitos de apoio	27
3.1 Meios de pagamento	27
3.2 Tecnologia Indutiva	28
3.2.1 Cartão Indutivo	29
3.2.2 Leitora de cartão indutivo	32

3.2.3	Tipos de leitora	33
3.2.4	Princípio de funcionamento da leitora	35
3.2.5	Princípio de funcionamento da tecnologia indutiva	36
3.3	Circuitos de Apoio	40
3.3.1	Placa de controle	40
3.3.2	Chave e Acoplador Optoeletrônico	42
3.3.3	Fontes de alimentação	43
3.3.4	Programação de placa controladora	44
3.4	Montagem Final do Medidor pré-Pago	46
4	Resultados e Discussões	48
4.1	Calibração do Medidor de Energia	48
4.1.1	Método de aferição utilizado pela operadora de energia	49
4.2	Leitura e Débito do cartão Indutivo	49
4.3	Funcionamento do Protótipo	51
4.4	Sugestão para Calibração do medidor de Energia	52
5	Considerações finais	53
	Referências bibliográficas	55

Lista de Figuras

1.1	Foto da Moto Elétrica.	1
1.2	Diagrama de blocos do sistema.	5
2.1	Triângulo de Potência.	8
2.2	Diagrama de blocos do conversor energia-frequência.	10
2.3	Contador acionado por motor de passo (Cixi Eden Company).	11
2.4	AD71056.	12
2.5	Componentes externos e amplificador - canal 1.	13
2.6	Resposta em frequência do sinal.	14
2.7	Sinal amostrado.	14
2.8	Sobreamostragem do sinal de entrada, filtro antialiasing e filtro digital.	15
2.9	Resposta em frequência e fase do filtro RC.	15
2.10	Conversor Sigma Delta.	16
2.11	Ruído de amostragem no modulador.	16
2.12	Erro de fase entre os canais.	17
2.13	Componentes externos e amplificador - canal 2.	18
2.14	Rede resistiva como sensor de tensão.	18
2.15	Filtragem das componentes para obtenção da Potência Ativa.	19
2.16	Saída CF.	20
2.17	Conversão Digital para Frequência.	20
2.18	Estreitamento na trilha para escoamento de descargas elétricas.	24
2.19	Entrada da rede com varistor.	25
2.20	Diagrama esquemático do circuito medidor de energia.	25
2.21	Circuito Impresso da Placa do Medidor.	26
3.1	Cartão Indutivo.	29
3.2	Recorte de uma espira.	30
3.3	Representação do fio da bobina na região metalizada.	30
3.4	Processo de fabricação do cartão indutivo.	31
3.5	Linha de produção de cartões.	31
3.6	Bloco das bobinas.	33
3.7	Bloco da pastilha de ferrite.	33
3.8	Desenho de uma leitora genérica.	33
3.9	Leitora com componentes discretos.	34

3.10	Leitora com circuitos híbridos.	34
3.11	Leitora Matricial.	34
3.12	Leitora autônoma.	34
3.13	Circuito oscilador.	35
3.14	Representação do oscilador.	35
3.15	Diagrama da Leitora Original.	36
3.16	Diagrama da Leitora Matricial.	37
3.17	Bobina da leitora alinhada com a espira do cartão.	37
3.18	Diagrama representando a bobina e a espira.	38
3.19	Impedância da espira repetida no primário (Z_r)	38
3.20	Fator de Qualidade.	39
3.21	Detector de envoltória.	39
3.22	Comparador.	40
3.23	Espira com filete rompido.	40
3.24	Placa de controle.	41
3.25	Diagrama do microcontrolador (80C31) e componentes representados por blocos. . .	42
3.26	Filtro com Schmitt Trigger.	43
3.27	Circuito da chave com acoplador optoeletrônico.	43
3.28	Fonte de alimentação do medidor.	44
3.29	Tela do compilador com o programa do medidor.	45
3.30	Fluxograma da operação do Medidor Pré - Pago.	46
3.31	Foto do Medidor Pré - Pago.	47
4.1	“Setup” de calibração do medidor.	49
4.2	Aferição da calibração.	49
4.3	Arranjo para aumentar o nível de oscilação.	50
4.4	Leitura de algumas espiras.	51
4.5	Sinal do oscilador no modo débito.	51
4.6	Medidor Pré-Pago instalado na Eletropaulo.	52
5.1	Sistema “Off Line”.	54

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho faz parte de um projeto aprovado pela ANEEL, realizado com apoio da AES Eletropaulo, que encarregou a Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp, através do Departamento de Eletrônica e Microeletrônica (DEMIC), a efetuar estudos envolvendo veículos elétricos, particularmente motocicletas elétricas [1]. A Figura 1.1 apresenta a foto da motocicleta utilizada neste projeto.

Os estudos incluem análise dos custos operacionais, logística de recarga das baterias, manutenção e operação destes veículos, utilizando conceitos de engenharia desconhecidos do mercado brasileiro e que vem ganhando a atenção mundial em decorrência de problemas ambientais e de provisão de combustíveis não renováveis.



Fig. 1.1: Foto da Moto Elétrica.

O programa contratado pela AES Eletropaulo propõe os seguintes trabalhos:

- Realização de um projeto com protótipos funcionais de sistemas carregadores de energia que operem com cartões pré-pagos, sendo que os protótipos devem ser instalados em campo, de maneira que possam ser utilizados por qualquer usuário portador de um cartão;
- Adaptação em motocicletas elétricas de um sistema embarcado de monitoramento, junto com um GPS, que permite a avaliação mais objetiva tanto do desempenho elétrico dos componentes

sob teste, como também dos problemas e dificuldades que os condutores das motocicletas possam eventualmente enfrentar no ambiente real da aplicação;

- Análise econômica e logística das possibilidades de substituição das motos convencionais utilizadas atualmente por motos de tração exclusivamente elétrica;
- Projeção de cenários de penetração da motocicleta elétrica, considerando o mercado na área de concessão da AES Eletropaulo, em função dos regimes de operação e recarga obtidos pelo estudo;
- Avaliação do impacto desses cenários na rede de distribuição e eventualmente nos contratos de aquisição de energia, para vários níveis de introdução das motocicletas elétricas em São Paulo.

1.1 Veículos Elétricos e a Motivação do Projeto

Dados da Organização das Nações Unidas (ONU) revelam que, em 1998, o consumo mundial de energia primária proveniente de fontes não renováveis tais como petróleo, carvão, gás natural e energia nuclear correspondia a 86% do total, ficando em torno de 14% às fontes renováveis. Essa enorme dependência de fontes não renováveis tem acarretado a preocupação permanente com o seu esgotamento, além da emissão de grandes quantidades de poluentes na atmosfera.

Segundo o Relatório sobre Desenvolvimento Mundial, divulgado em 2001 pelo Banco Mundial, só em 1996 foram liberados na atmosfera cerca de 23 bilhões de toneladas de dióxido de carbono (CO₂), quase o dobro da quantidade emitida em 1965. No Brasil, o setor de transportes responde por 80% das emissões de CO₂, segundo o Balanço Energético Nacional, divulgado em 2000 pelo Ministério das Minas e Energia.

Diante desse quadro, a mais de uma década, iniciou-se uma corrida tecnológica em busca de alternativas capazes de eliminar a dependência de fontes não-renováveis e de reduzir a emissão de poluentes. Atualmente, apenas carros exclusivamente elétricos satisfazem essa necessidade. Para o funcionamento desses veículos há, até o momento, duas alternativas com base na chamada “energia limpa”:

1. O uso de baterias eletroquímicas;
2. O uso de células a combustível;

A tecnologia de células a combustível [2, 3, 4] ainda está na fase inicial de desenvolvimento, porém apresenta uma grande perspectiva para o futuro, especialmente em aplicações onde sejam necessárias altas potências com grande autonomia para os veículos elétricos.

Por outro lado, o progresso nas novas tecnologias de baterias, para uso em telefones celulares e notebooks, produziu melhorias significativas na autonomia dos veículos elétricos de pequeno porte e uma queda acentuada nos preços do banco de baterias. É possível construir inúmeros tipos de baterias recarregáveis, sendo que dentre as tecnologias mais adequadas para emprego em tração elétrica com grande autonomia destacam-se as baterias de Níquel-Metal [5], Lítio-Íon [6] e Lítio-Polímero [7], sendo que hoje a tecnologia de Lítio-Polímero possibilita a construção de carros elétricos com autonomia de 400 a 500 quilômetros.

Além disso, os motores elétricos dedicados ao uso em tração elétrica encontram-se disponíveis no mercado, cobrindo praticamente toda a gama de potência e torque necessários ao uso urbano. Dessa forma, o segmento de mercado de pequenos veículos elétricos para aplicações específicas, onde as limitações de autonomia e desempenho (aceleração, retomada de velocidade, etc.) não sejam críticos, como o das motocicletas elétricas, tornou-se muito atrativo para a substituição imediata dos veículos com motores a combustão por veículos de tração exclusivamente elétrica.

O Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE [6] anunciou que a venda de veículos elétricos híbridos cresceu 133% em 2005, principalmente nos Estados Unidos, aumentando as escalas de produção e reduzindo os custos dos componentes desses veículos.

Abaixo está a projeção da distribuição de veículos para o Brasil em 2006, apresentada no III Seminário e Exposição de Veículos Elétricos [7]:

I. Veículos de 4 rodas

I. a Frota atual: 30.000.000 de veículos

I. b Vendas anuais: 2.000.000 de unidades.

II. Motocicletas

II. a Frota atual: 6.000.000 de veículos

II. b Vendas anuais: 1.000.000 de unidades.

Como se pode observar pelos dados apresentados, a frota de motocicletas é bastante importante em termos nacionais, e a possibilidade de conversão de parte desta frota para tração elétrica poderia ter um grande significativo no que diz respeito à distribuição de energia e no que se refere ao impacto ambiental.

Dados publicados no relatório anual da Cetesb sobre a qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo mostram que em 60 dias do ano de 2004 a quantidade de ozônio no ar excedeu a considerada segura pela OMS. Em relação às partículas inaláveis, o máximo de 150 microgramas por metro cúbico foi ultrapassado sete vezes nos quatro bairros onde essa medição é feita, sendo que as motos são responsáveis por grande parcela deste problema. Segundo Saldiva [8], uma moto emite até 20 vezes mais poluentes por quilômetro que um carro novo. E como em São Paulo as motos circulam 180 km por dia, em média, comparados com apenas 30 km para os carros, elas podem chegar a emitir, cada uma, tanto quanto 120 automóveis num dia.

A frota total de motocicletas na cidade de São Paulo é de 750.000 motos, sendo que cerca de 150.000 são utilizadas por motociclistas profissionais [9]. Isso nos leva a números alarmantes, pois usando a razão de equivalência de 120:1, conclui-se que a frota de motocicletas na cidade de São Paulo é equivalente a cerca 90 milhões de carros circulando diariamente.

Com o aumento anual da frota, a sociedade está ansiosa por soluções para reduzir drasticamente a poluição causada por esse tipo de veículo, e a motocicleta com tração elétrica se apresenta como uma alternativa de potencial, com imensa importância dentro deste cenário. Para avaliar-se a importância da substituição das motos convencionais por elétricas, vemos que se na cidade de São Paulo, se 10% das motocicletas utilizadas apenas profissionalmente (15.000 motos) forem substituídas por motos elétricas, seria o equivalente, em termos de poluição, a retirarmos 1.800.000 automóveis de circulação da cidade de São Paulo.

Admitindo-se que esta quantidade de motos (15.000) seja utilizada por cerca de 2 horas por dia, durante os dias úteis, isso implica em uma carga adicional de cerca de 50 GWh por mês na rede da concessionária, o que é aproximadamente igual a duas vezes o consumo de uma grande cidade como Ribeirão Preto.

Um grande problema que se coloca para o desenvolvimento de uma frota de veículos elétricos é a logística para o abastecimento destes veículos, ou seja, a recarga de baterias. Embora seja estimado que grande parte do abastecimento ocorra no período noturno, serão necessários postos de abastecimento onde o usuário possa deixar o seu veículo efetuando a recarga por um período razoavelmente longo, por exemplo nos horários de trabalho ou períodos escolares, geralmente nestes momentos os veículos não estariam em utilização.

A idéia é que as empresas, escolas, instituições públicas, shopping centers, deixem à disposição carregadores para estes usuários. Neste caso o serviço seria do tipo “self-service”, como em postos de combustíveis nos EUA e Europa e a melhor alternativa de cobrança são sistemas pré-pagos não assistidos, como por exemplo o sistema utilizado em telefonia pública no Brasil, onde cartões são adquiridos previamente dando direito a um determinado período de tempo para utilizar o telefone.

1.2 Meios de Pagamento

Neste trabalho o termo “meios de pagamento” não é empregado no sentido estrito encontrado nas definições de entidades que atuam na área de economia [10], mas emprega-se num sentido mais amplo designando a forma pela qual um indivíduo efetua o pagamento de qualquer bem ou serviço, tais como, cheques, papel-moeda, cartões, etc.

Atualmente diversas tecnologias são empregadas para efetivação de transações monetárias entre as partes, mas um conceito que está se tornando muito popular é o “pré-pago”, que significa o pagamento antecipado perante a uma entidade prestadora de serviço e que de alguma forma autoriza o indivíduo a utilizar os serviços num momento oportuno. Além do papel-moeda e cheques, algumas tecnologias em meios de pagamento são bastante utilizadas:

- Cartão magnético (Sistema Online - com senha ou sem senha)
- Cartões com codificação numérica para liberação na operadora
- Smart card (Sistema Offline)
- Cartão indutivo

1.3 Objetivo do projeto do medidor pré-pago

O objetivo deste projeto é apresentar uma opção para resolver problemas de abastecimento de veículos elétricos em campo. A solução adotada na implementação deste equipamento está descrita na forma de estudos de viabilidade e de componentes com as suas respectivas implementações.

O projeto do carregador pré-pago é composto por um circuito que efetua a medição da energia ativa, um sistema de cobrança baseado em cartões indutivos, uma placa de controle e módulos de

apoio que disponibilizam o fornecimento da alimentação, indicações visuais e chave para liberação de energia elétrica, a Figura 1.2 mostra o diagrama do sistema.

O termo ponto de venda foi convenientemente substituído por medidor, pois uma grande parte do trabalho se destina à medição da energia consumida para recarga da bateria. A partir da sinalização disponibilizada pelo medidor, circuitos controladores efetuam operações pertinentes à cobrança, liberação de energia e apresentação visual dos resultados destas operações.

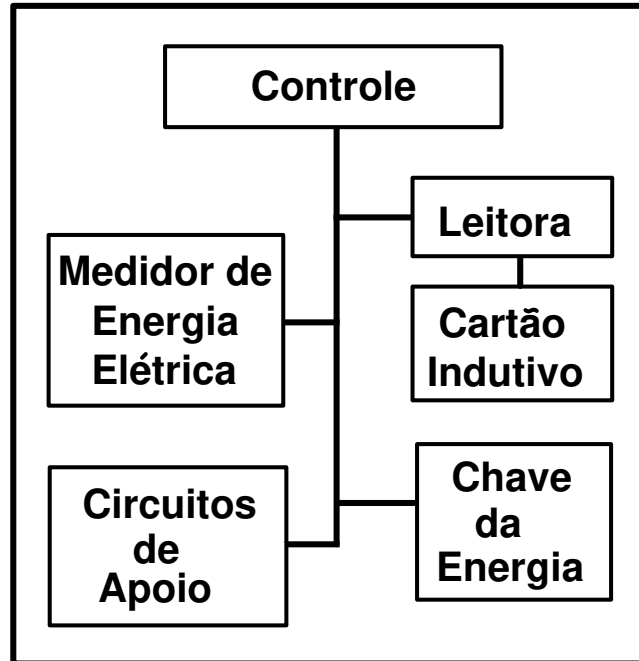


Fig. 1.2: Diagrama de blocos do sistema.

Capítulo 2

Medidores Eletrônicos de Energia Elétrica

2.1 Introdução

O perfil atual de consumo de energia elétrica mostra que os medidores eletromecânicos estão com seus dias contados, pois, na maioria das vezes, as cargas residenciais deixaram de ser resistivas para assumirem características não lineares ou apresentando mesmo consideráveis defasagens entre tensão e corrente. Isto impossibilita a medição da energia com maior precisão por estes aparelhos que são, talvez, os últimos remanescentes da era Vitoriana [11].

No caso de cargas não lineares, os exemplos podem ser encontrados em ambiente doméstico e vão desde fontes chaveadas de micro computadores, televisores e outros equipamentos eletrônicos e chegando até as lâmpadas fluorescentes com controle eletrônico. Para os casos de defasagem, os maiores exemplos encontram-se nas indústrias que utilizam máquinas elétricas com motores de alta potência.

Os relógios de energia, como são conhecidos os medidores eletromecânicos, medem apenas a energia ativa até a terceira harmônica. Nas instalações industriais eles podem medir a energia reativa, mas não a medem com precisão, de forma que a alteração no perfil do consumidor final se transformou numa desvantagem para os distribuidores de energia elétrica.

Com o aumento das cargas não lineares na rede, em breve a energia ativa deixará de representar o total da energia fornecida, desta forma, existe uma carência neste setor, que demanda uma melhoria nos equipamentos destinados à medição de energia, ou seja, existe uma necessidade de implementação de medidores que sejam capazes de obter a energia reativa e também as várias harmônicas de tensão e corrente além do preconizado pelas normas, isto vem assumindo um papel cada vez mais importante neste cenário.

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos teóricos, uma breve descrição de estudos e trabalhos correlacionados bem como a solução adotada neste projeto para implementação do medidor de energia eletrônico.

2.2 Abordagem Teórica

Para melhor compreensão do assunto, serão apresentados alguns conceitos teóricos utilizados nesta área. Basicamente um medidor de energia mede o produto da tensão pela corrente utilizada na

rede elétrica, ao longo de um determinado período. A expressão matemática que melhor traduz este conceito está apresentada na Equação 2.1.

$$E = v(t) \cdot i(t) \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

- E - Energia [Wh];
- $v(t)$ - Tensão [V];
- $i(t)$ - Corrente [A];

Outro conceito importante e que geralmente traz confusão para leitores não familiarizados com este tema é a potência, que é o produto da tensão e corrente num determinado instante, dada pela Equação 2.2.

$$P = v(t) \cdot i(t) \quad (2.2)$$

A expressão apresentada na Eq. 2.3, que é a generalização da Eq. 2.1, será utilizada nas explicações dos próximos itens.

$$E = \int p(t) dt \quad (2.3)$$

Outro conceito importante é o fator de potência que representa a relação entre as potências ativa e aparente, onde a potência ativa depende linearmente da potência aparente através do fator de potência, que é o cosseno do ângulo entre os vetores que representam a variação com o tempo destas potências. Este ângulo pode ser entendido como a defasagem entre tensão e corrente, veja as Equações 2.4 e 2.5.

$$v(t) = V_p \cdot \cos(\omega t); \quad (2.4)$$

$$i(t) = I_p \cdot \cos(\omega t + \phi); \quad (2.5)$$

Onde:

V_p - Tensão de pico;

I_p - Corrente de pico;

O resultado da soma fasorial das potências ativa e reativa é a potência aparente, este conjunto de fasores denomina-se Triângulo de Potência e está representada na Figura 2.1.

Ao longo de um período pode-se afirmar, em determinados casos, que a energia ativa representa apenas uma parte da energia total fornecida pela operadora; isto significa que a outra porção de energia não é utilizada para realizar trabalho útil, esta porção é conhecida como energia reativa.

Na referência [12] estes conceitos são explorados com maior profundidade.

- Potência Aparente:

$$S = \frac{V_p \cdot I_p}{2} = V_{RMS} \cdot I_{RMS}; \quad (2.6)$$

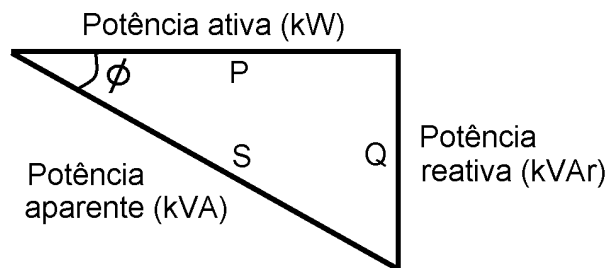


Fig. 2.1: Triângulo de Potência.

- Potência Ativa:

$$P = \frac{V_p \cdot I_p}{2} \cdot \cos\phi = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \cos\phi; \quad (2.7)$$

- Potência Reativa:

$$Q = \frac{V_p \cdot I_p}{2} \cdot \sin\phi = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \sin\phi; \quad (2.8)$$

Onde:

V_{RMS} - Tensão eficaz [V];

I_{RMS} - Corrente eficaz [A];

2.3 Abordagem Experimental

No decorrer deste projeto foram realizados alguns experimentos com circuitos de medição de energia apenas a título de estudo e prospecção.

Um dos experimentos resultou na implementação de um medidor de energia normalizada utilizando técnicas de conversão tensão-frequência baseado num integrador e um comparador. Este pequeno trabalho serviu apenas como uma prova de conceito, não se adotando um cuidado especial no tratamento de assuntos como defasagens e harmônicas de sinais. Além disso, uma simples análise dos resultados obtidos indicava que um grande esforço deveria ser empregado na implementação de um equipamento para uso comercial de alto desempenho e baixo custo.

Isto motivou a escolha de uma configuração básica que utiliza um circuito integrado dedicado disponível comercialmente, para a implementação do equipamento final. Posteriormente será visto que este circuito atende com bastante folga às normas vigentes atualmente.

2.3.1 Medidor eletrônico utilizando conversão tensão-frequência

Como dito anteriormente, não foi objetivo desta implementação obter resultados muito precisos, portanto foram consideradas algumas premissas importantes, sem a qual o nível de dificuldade na implementação extrapolaria o principal objetivo que é a prova do conceito e análise das principais características do circuito. Estas considerações são:

- Carga puramente resistiva;

- Tensão senoidal e sem flutuações com amplitude de pico constante de 179,6 V (equivalente a $127 V_{RMS}$);
- Faixa de medição de energia bem definida;
- Não são consideradas quaisquer defasagens entre tensão e corrente.

A principal idéia desta montagem é fazer com que um pulso digital represente uma determinada quantidade de energia. Sendo assim, através da contagem dos pulsos obtém-se a energia utilizada pela carga, sem que seja necessária a utilização de técnicas analógicas complexas para obtenção do resultado.

O modelo matemático que deu origem a este trabalho se baseia na Eq. 2.2 e a Eq. 2.3 para efetuar o cálculo da energia ativa, assumindo-se que a tensão seja puramente senoidal e sem defasagens, pode-se substituir a variável $v(t)$ na Eq. 2.2 pelo seu valor eficaz (V_{RMS}), pois, nestas condições, o valor eficaz de tensão produz a mesma potência da tensão senoidal. Sendo assim, o cálculo da energia fica dependente apenas da integral da corrente no tempo.

$$E = V_{RMS} \int i(t) dt; \quad (2.9)$$

$$E_{norm} = \frac{E}{V_{RMS}} = \int i(t) dt \quad (2.10)$$

- E_{norm} - Energia normalizada;

Posteriormente este resultado deve ser multiplicado pela tensão para se obter o valor real da energia. O circuito descrito abaixo implementa a integração da corrente na carga.

Descrição do Circuito

O medidor transforma tensão proporcional ao sinal de corrente obtido no resistor “shunt” colocado em série com a carga, em pulsos obtidos no multivibrador monoestável. Estes pulsos são contados pelo processador para se obter o valor da energia. A Fig. 2.2 apresenta a configuração desta montagem.

Basicamente, o sinal obtido no resistor “shunt” de $0,01\Omega$ é amplificado e passa por um retificador de precisão de onda completa antes de ser integrado. Quando a saída do integrador atinge um determinado nível, o estado do comparador muda fazendo com que o multivibrador dispare um pulso de curto período, que atua numa chave a fim de descarregar adequadamente o capacitor que compõe o integrador. O último estágio, composto por comparador-inversor, serve apenas para fazer um condicionamento dos pulsos provenientes do multivibrador para adequá-los às características necessárias ao circuito de entrada do processador. A energia normalizada é determinada pela referência do comparador que dispara o multivibrador, este valor deve ser devidamente calibrado para atender faixa de medição desejada. Os principais resultados deste experimento foram a comparação entre os valores calculados, simulações no Spice e formas de onda obtida da montagem [13].

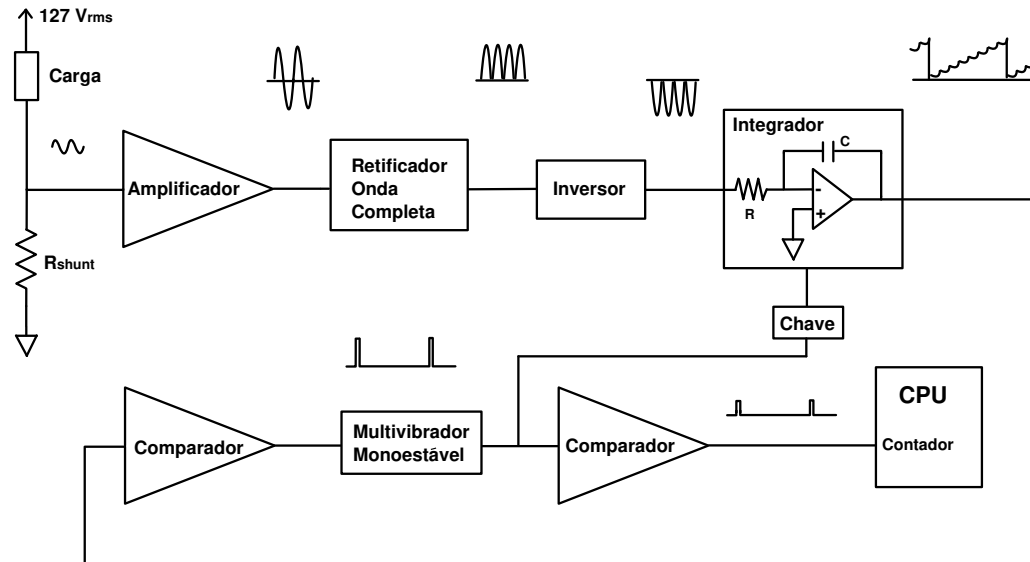


Fig. 2.2: Diagrama de blocos do conversor energia-frequência.

2.3.2 Outro Modelo de Medidor de Energia

Uma outra forma de se implementar um medidor é através de um micro processador com alto desempenho e que possui conversores AD na mesma pastilha, por exemplo, a família C8051Fxx da Silicon Labs; com este componente pode-se efetuar a implementação por software de medidor de energia, mas, como mostra o artigo [14], mesmo assim o processador não seria rápido o suficiente para efetuar os cálculos com a precisão necessária para atender todas as exigências da norma.

2.4 Abordagem Prática

Como o objetivo do projeto é construir um protótipo funcional, não faz sentido empregar demasiado esforço para refinar uma montagem, ou uma implementação de software, onde, provavelmente, não se obteria bons resultados em função do tempo sugerido pelo financiador do projeto.

Além do prazo para desenvolvimento do medidor pré-pago, algumas publicações norteam a decisão de se escolher um circuito integrado para executar a função de medição de energia. Em [11] é apresentado um apanhado geral na área de medição de energia elétrica. Nas referências [14, 15] justifica-se a utilização de “chips” dedicados baseados em processamento digital de sinais para efetuar medições de várias harmônicas e potência reativa, pois mesmo a utilização de CPU’s modernas compostas por conversores AD não conseguem implementar com eficiência e estabilidade medidores de energia.

Dentre os vários modelos existentes, optou-se pelo circuito da Analog Devices AD71056 [16] por se enquadrar nas características desejadas, que são:

- medição de energia em dois fios, fase e neutro;
- ampla faixa dinâmica;

- medição apenas da energia ativa;
- medição de várias harmônicas, já que a carga a ser medida é uma fonte chaveada;

Este componente foi desenvolvido para ser utilizado com contadores eletro-mecânicos do tipo apresentado na Figura 2.3, mas também pode ser usado com micro controladores genéricos. A grande vantagem é seu baixo custo, além disso, apresenta características que atendem com bastante folga os requisitos exigidos pelas normas internacionais, como por exemplo, o item que se refere aos limites de erros provocados pela variação de corrente descritos na norma IEC62053-21/sessão 8.1, apresentados na Tabela 2.1. Nesta tabela, I_b é a corrente básica e I_{max} é corrente máxima, que são utilizadas para determinar a faixa dinâmica do medidor [17].

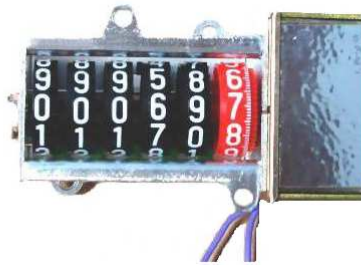


Fig. 2.3: Contador acionado por motor de passo (Cixi Eden Company).

Tab. 2.1: Limites de erros expresso em porcentagem para medidores monofásicos.

Valores de corrente	Fator de Potência	Limite Classe 1	Limite Classe 2
$0,05I_b \leq I < 0,1I_b$	1	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
$0,1I_b \leq I \leq I_{max}$	1	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
$0,1I_b \leq I < 0,2I_b$	0,5 indutivo	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
$0,1I_b \leq I < 0,2I_b$	0,8 capacitivo	$\pm 1,5$	-
$0,2I_b \leq I \leq I_{max}$	0,5 indutivo	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$
$0,2I_b \leq I \leq I_{max}$	0,8 capacitivo	$\pm 1,0$	-

2.4.1 Características do componente - AD71056

Neste item será apresentada uma descrição deste circuito integrado e alguns cálculos que embasaram a montagem final; maiores detalhes podem ser encontrados no manual da Analog Devices [16]. Outros manuais e notas da Analog Devices também fornecem descrições que auxiliaram na compreensão das funcionalidades, tais como [18, 19, 20] e as notas de aplicação da Analog Devices [21, 22].

O AD70156 é uma evolução do AD7757 e suas principais características são:

- baixo custo, menor que US\$ 2;
- alimentação de 5V com baixa potência, 20mW;
- referência interna de 2,45V;
- oscilador interno estável de 450kHz que dispensa um circuito ou cristal externo;
- alta precisão, com menos do que 0,1% de erro em uma faixa dinâmica de 500:1;
- fornece a energia ativa através de 2 saídas e possui uma saída destinada a calibração;
- método proprietário que utiliza técnicas de processamento digital de sinais e conversores Analógico/Digital do tipo Sigma/Delta;

2.4.2 Descrição do circuito

Este circuito é dedicado à medição de energia monofásica, portanto dispõe de apenas dois canais que efetuam a captura dos sinais de tensão e corrente. A Figura 2.4 apresenta o diagrama em blocos do circuito AD71056.

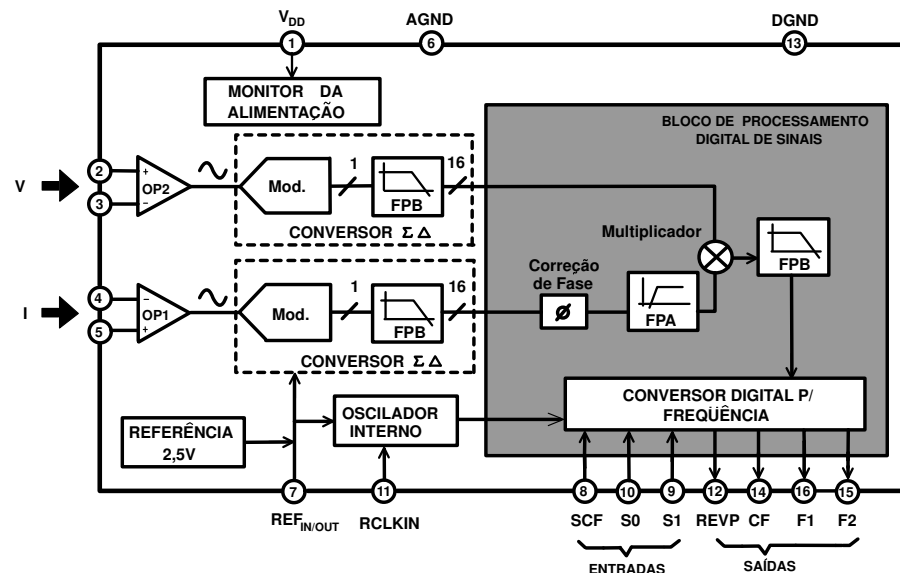


Fig. 2.4: AD71056.

Cada canal é composto por um amplificador diferencial, um conversor A/D do tipo Sigma - Delta e filtros. O canal 1 ainda dispõe de um filtro passa altas e um bloco corretor de fase. Com amostras de valores digitais provenientes dos canais de tensão e corrente são feitas as operações de multiplicação seguida de uma filtragem. O resultado final é convertido em pulsos apresentados nas saídas CF, F1 e F2; estes pulsos representam uma quantidade de energia que é predeterminada através de calibração. A corrente é tratada pelo canal 1 é composto pelos seguintes blocos:

- amplificador com entrada limitada em $\pm 30mV_{pico}$ e uma banda passante de 7kHz;

- conversor sigma delta;
- bloco corretor de fase;
- filtro “passa-altas” que retira as componentes de offset introduzidas no circuito;

A tensão é tratada no canal 2 e contém os seguintes módulos:

- amplificador com entrada limitada em $\pm 165mV$ pico a pico e uma banda passante de 7kHz;
- conversor sigma delta;

Os sinais de tensão e corrente são devidamente condicionados antes das entradas dos canais e posteriormente são tratados no domínio digital. A descrição detalhada será apresentada através da análise de cada canal de forma independente.

2.4.3 Tratamento da corrente no Canal 1

Amplificador (OP1)

O canal 1 possui na entrada um amplificador (OP1) , Figura 2.5, que permite a conexão direta com um sensor de corrente.

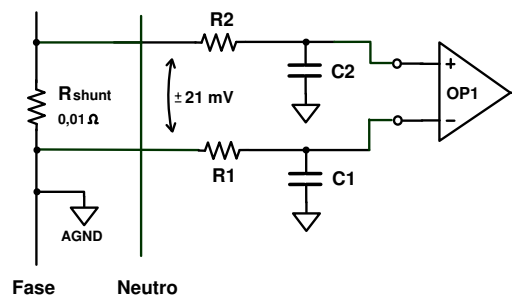


Fig. 2.5: Componentes externos e amplificador - canal 1.

Como este projeto não apresenta uma especificação rigorosa que exija a utilização de um sensor de corrente especial, adotou-se um resistor “shunt” por ser de fácil aquisição e barato. Este resistor é fabricado com uma liga metálica denominada “manganina” (86% cobre, 12% manganês e 2% níquel), que possui baixo coeficiente térmico e boa precisão. Uma desvantagem deste sensor é a possibilidade de fraude através da conexão de um fio em paralelo, abaixando o valor do resistor e conseqüentemente o valor da tensão na entrada do amplificador, esta situação foi desprezada no projeto, pois o protótipo deve ser instalado em local seguro.

O manual [16] recomenda que o sinal de entrada no amplificador OP1 fique em torno da metade da faixa de tensão, ou seja, aproximadamente $10,5mV_{rms}$, para evitar problemas de saturação.

O Medidor Pré-Pago realiza medições exclusivamente em carregadores de baterias, estes dispositivos são constituídos por fontes chaveadas, cujas correntes atingem valores em torno de $1A_{rms}$. Assumindo esta corrente e a tensão de entrada adequada, o valor encontrado para o resistor “shunt” é:

$$R_{SHUNT} = \frac{0,0105}{1,0} = 0,0105\Omega; \quad (2.11)$$

O resistor adquirido para este projeto é de $0,01\Omega$.

Filtro antialiasing

O efeito “aliasing” ou sobreposição é comum em conversores A/D que utilizam o critério de Nyquist [23] para amostragem de sinais, com banda limitada, onde o sinal possui componentes em frequência maiores do que a frequência de Nyquist (f_N), que equivale à metade da frequência de amostragem (f_a).

A representação do espectro de um sinal genérico com banda limitada e as frequências (f_N) e (f_a) nas condições descritas estão mostradas na Figura 2.6.

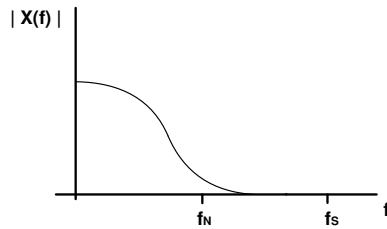


Fig. 2.6: Resposta em frequência do sinal.

Este efeito produz distorções na recuperação do sinal, caso não haja uma filtragem adequada nas frequências superiores a (f_N), sendo assim, o filtro “antialiasing” tem a finalidade de prevenir estas distorções. A área destacada na Figura 2.7 mostra o efeito de sobreposição.

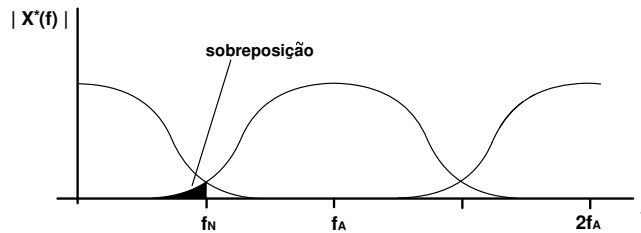


Fig. 2.7: Sinal amostrado.

Um filtro antialiasing utilizado em conversores do tipo Nyquist, deve possuir um corte bem abrupto e plano, isto geralmente é conseguido por técnicas digitais. No caso da conversão sigma - delta não há necessidade de um filtro complexo na entrada do canal [24], pois a frequência de amostragem (f_s) deste conversor é bem superior à frequência de amostragem (f_a) utilizada em conversores Nyquist. A comparação entre os filtros é mostrada na Figura 2.8.

Para atenuar o efeito de sobreposição em conversores sigma - delta basta um simples filtro analógico (RC) de primeira ordem, que neste projeto é composto por R1, R2, C1 e C2 da Figura 2.5, este filtro deve fornecer uma atenuação em torno de 40dB na frequência de amostragem [21].

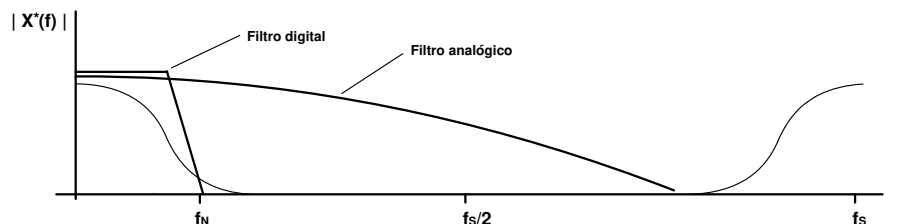


Fig. 2.8: Sobreamostragem do sinal de entrada, filtro antialiasing e filtro digital.

Adotou-se o valor de 22nF para os capacitores C1 e C2, e para calcular os valores de R1 e R2 emprega-se a Equação 2.12 que representa o ganho do filtro (A_v).

$$|A_v| = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}}; \quad (2.12)$$

$$\alpha = -\arctg(2\pi f RC); \quad (2.13)$$

Um ponto negativo deste filtro é a introdução de um erro de fase, que deve ser tratado ao longo do canal para não distorcer os valores das harmônicas, a Equação 2.13 apresenta o desvio de fase (α) no sinal de entrada. Os gráficos na Figura 2.9 mostram as respostas em frequência e fase deste filtro.

Para uma frequência de 450kHz e 40dB de atenuação o valor encontrado para o resistores R1 e R2 é de 1,60k Ω .

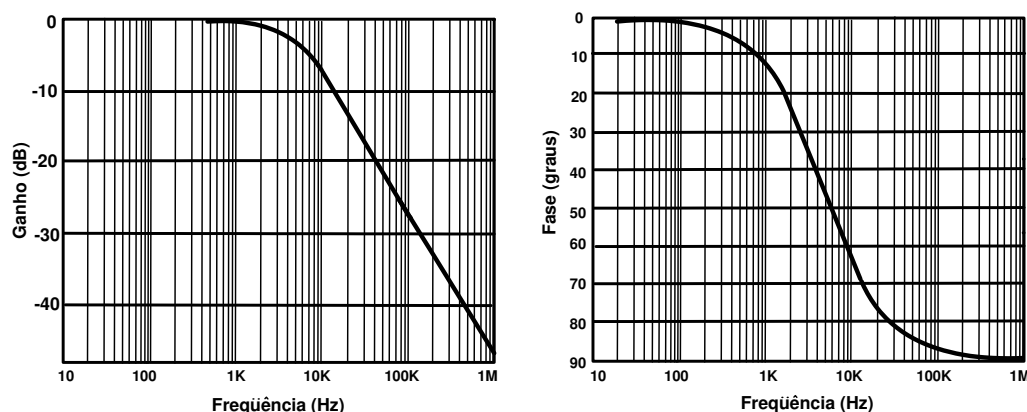


Fig. 2.9: Resposta em frequência e fase do filtro RC.

Conversor Sigma Delta

A implementação deste bloco não está claramente descrita no manual do AD71056 [16], apenas alguns conceitos básicos são fornecidas na descrição de outro componente [25]. Para trazer alguma elucidação sobre o assunto, faz-se uma breve abordagem de alguns conceitos relacionados aos conversores Sigma-Delta.

Este conversor é apresentado na Figura 2.10, realiza a conversão analógica para digital (A/D), é composto por um modulador Sigma Delta, um filtro passa-baixas e um decimador.

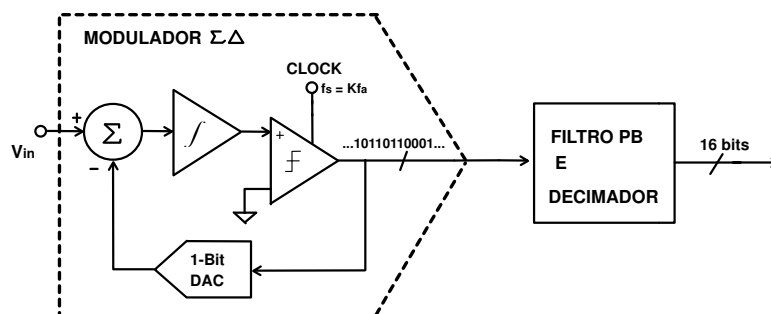


Fig. 2.10: Conversor Sigma Delta.

O modulador basicamente é um conversor A/D de 1-bit com frequência de amostragem igual a Kf_a , onde K é um valor inteiro que representa a taxa de sobre-amostragem e f_a é a frequência de amostragem pelo critério de Nyquist, por isso a frequência do modulador é denominada de sobre-amostragem f_s .

O resultado desta modulação é uma sequência de bits que representa a tentativa de acompanhar as variações do sinal de entrada e posteriormente um decimador converte esta sequência de bits numa palavra digital a uma taxa bem menor que a frequência de amostragem.

A frequência elevada de amostragem faz com que o ruído se concentre próximo as altas frequências ($f_s/2$) longe da banda de interesse (f_B), o espectro do ruído (noise shaper) obtido por este tipo de amostragem é visto na Figura 2.11.

Devido à taxa de sobre-amostragem e banda do sinal de entrada, este conversor equivale a um conversor do tipo Nyquist de 16 bits. A referência [24] apresenta um estudo completo sobre conversores Sigma-Delta

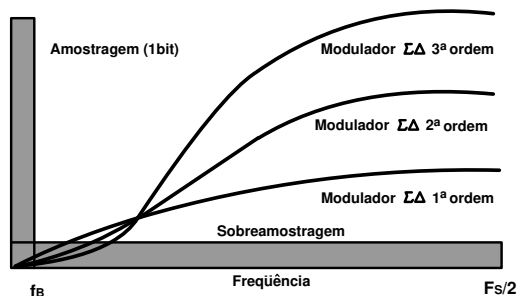


Fig. 2.11: Ruído de amostragem no modulador.

Correção de fase

Este módulo evita que qualquer desvio de fase entre os canais possa se traduzir em erro significativo na medição de energia, principalmente quando se tem baixo fator de potência.

O problema de defasagem do sinal de entrada no canal 1 ocorre em função do tipo de sensor de corrente e do filtro antialiasing, para efetuar a correção de fase o medidor conta com um módulo que utiliza processamento digital de sinais, denominado “Phase Correction”, que atua na faixa de 40Hz a 1kHz, o Gráfico 2.12 apresenta o erro obtido na correção de fase para esta faixa de frequência.

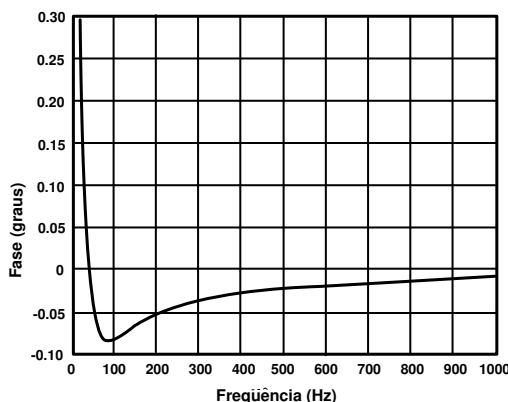


Fig. 2.12: Erro de fase entre os canais.

Deve-se observar que não é feita qualquer correção de fase provocada pela carga, pois este componente só mede potência real e não está capacitado para medir potências reativas.

Correção do offset

O erro de offset causado pela componente d.c. de corrente (I_{OS}) no amplificador de entrada do canal 1, é corrigido utilizando um filtro passa-altas neste canal antes do multiplicador, isto resulta na atenuação da componente I_{OS} e conseqüentemente elimina o produto $V_{OS} \cdot I_{OS}$, que é uma das parcelas encontradas no desenvolvimento da potência instantânea apresentada na Equação 2.15.

O erro de offset também ocorre no canal 2, causado pela componente d.c. de tensão (V_{OS}), porém neste caso, não há necessidade de atenuação, pois o produto destas componentes já foi minimizado com a atenuação de I_{OS} .

2.4.4 Tratamento de tensão no Canal 2

Amplificador OP2 e Filtro antialiasing

As principais diferenças entre o arranjo do amplificador OP2 e o amplificador OP1 são os níveis de tensão de entrada e de modo comum. O nível do sinal na entrada do OP2 ($\pm 165\text{mV}_{pico}$) pode ser maior do que no canal 1, porque a medição da tensão é feita em paralelo com a carga não acarretando problemas com dissipação no sensor, a Figura 2.13 apresenta os componentes utilizados no condicionamento do sinal para o canal 2.

O artigo da Analog Devices [21] sugere uma rede resistiva como sensor de tensão, veja Figura 2.14, porque possibilita o ajuste do sinal com maior precisão na calibração, estabilidade em temperatura e estabilidade da medição ao longo do tempo.

A calibração é feita programando-se os resistores de 1% através de “jumpers”, J2 a J10; os resistores R16, R5 e R15 fornecem um ajuste aproximado do valor desejado e os resistores, R6 a R14, fornecem o ajuste fino.

O ajuste da rede resistiva deve ser feito para obter o meio da faixa de tensão de entrada do amplificador OP2, $\pm 82,5\text{mV}_{pico}$ ou $58,3\text{mV}_{RMS}$ e na figura 2.13 estes ajustes são representados por R_A e R_B respectivamente.

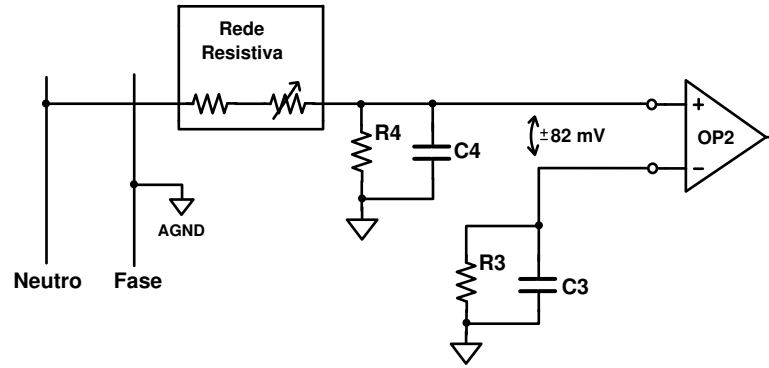


Fig. 2.13: Componentes externos e amplificador - canal 2.

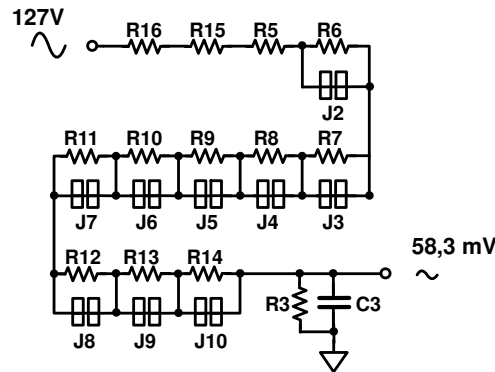


Fig. 2.14: Rede resistiva como sensor de tensão.

O filtro “antialiasing” deste canal é semelhante ao apresentado no canal 1, porém neste caso, optou-se por atribuir o valor de 499Ω para os resistores (R3 e R4) do filtro, já que eles também fazem parte do sensor de tensão.

O valor dos capacitores C3 e C4 são calculados na Equação 2.12, devem manter uma atenuação aproximadamente em 40dB na frequência de amostragem e uma frequência de corte em 4,7kHz.

O conversor Sigma Delta deste canal possui a mesma configuração do canal 1 segundo o manual [16], as principais diferenças entre os canais são a ausência do filtro passa-altas e do bloco corretor de fase.

2.4.5 Multiplicador e filtro

Esta etapa do medidor efetua a multiplicação das amostras digitais provenientes dos canais 1 e 2, seguida de uma filtragem passa-baixas, conforme apresentado na Figura 2.4.

A operação de multiplicação é feita a cada amostra digital de tensão e corrente, obtendo assim a potência real instantânea. Pode-se observar que o desenvolvimento da Equação 2.14 produz componentes nas frequências w e $2w$, que devem ser eliminadas por um filtro passa-baixas obtendo apenas o que interessa, ou seja, a componente d.c. denominada Potência Ativa, ver Gráfico 2.15.

$$P_{INS} = (V \cos(wt) + V_{OS}) \cdot (I \cos(wt) + I_{OS}) = \quad (2.14)$$

$$\frac{V \cdot I}{2} + V_{OS} \cdot I_{OS} + V_{OS} \cdot I \cos(\omega t) + I_{OS} \cdot V \cos(\omega t) + \frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(2\omega t); \quad (2.15)$$

- P_{INS} - Potência real instantânea
- V_{OS} - Tensão de offset ;
- I_{OS} - Corrente de offset;

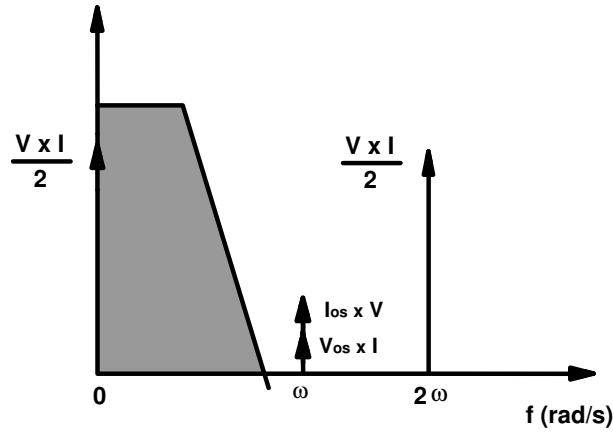


Fig. 2.15: Filtragem das componentes para obtenção da Potência Ativa.

As deduções apresentadas acima não consideram o fator de potência e nem harmônicas de tensão e corrente no caso de cargas não lineares.

Para obter uma equação de potência mais ampla deve-se lançar mão da transformada de Fourier, que considera as componentes harmônicas de tensão (V_k) e corrente (I_k); o manual [16] apresenta estas deduções cujo resultado é a expressão 2.16.

$$P_{ATIVA} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} (V_k \cdot I_k) \cdot \cos \phi_k; \quad (2.16)$$

Lembrando-se que para $k = 1$ obtém-se a P_{ATIVA} da própria fundamental.

Na prática, o filtro passa-baixas possui uma resposta em amplitude, Equação 2.17, cujo o resultado da filtragem não é apenas a componente d.c. desejada, mas também fornece um resíduo na segunda harmônica que é a somatória atenuada das componentes $\cos(2k\omega t)$, isto é bastante significativo pois esta somatória provoca uma pequena flutuação na saída CF. A Figura 2.16 mostra o erro causado pelo resíduo da segunda harmônica ao longo do tempo.

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{f^2}{19,8}}}; \quad (2.17)$$

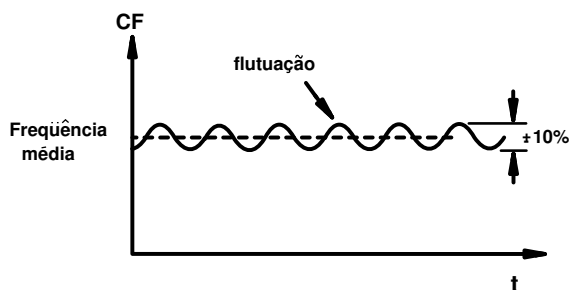


Fig. 2.16: Saída CF.

2.4.6 Conversão do valor digital para frequência

Este bloco é composto por dois conversores apresentados na Figura 2.17. Os conversores são responsáveis por fornecer pulsos digitais que representam a quantidade de energia medida. Cada conversor basicamente soma os resultados provenientes do multiplicador e quando a soma atinge um determinado valor, dispara um pulso na respectiva saída, então o registro do somador é zerado e recomeça um novo ciclo de soma. A diferença entre os dois conversores é o valor da soma.

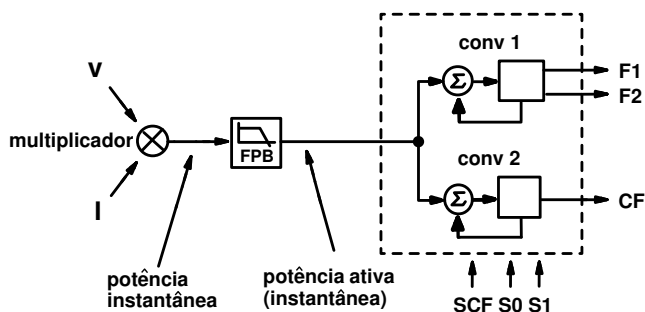


Fig. 2.17: Conversão Digital para Frequência.

O conversor *conv1* possui saídas digitais em F1 e F2, sendo que a saída F2 é inversa a F1; foi projetado para operar com contadores eletromecânicos do tipo apresentado na Figura 2.3. Estes contadores podem dispor de vários dígitos, sendo que, se a unidade de energia medida for em kWh, o primeiro dígito representa os centésimos de kWh e é incrementado a cada 10 pulsos, o segundo representa a unidade de kWh e é incrementado a cada 100 pulsos, o terceiro representa dezena e assim por diante, então a principal característica deste contador é quantidade de impulsos para mudar uma unidade de energia, ou seja 100 impulsos. Em outras palavras, o medidor associado a um contador eletromecânico deve ser programado e calibrado para fornecer 100 impulsos, nas saídas F1 e F2, a cada unidade de energia (1kWh).

O conversor *conv2* com saída digital CF, foi criado com propósitos de calibração, portanto a frequência de CF é bem maior que nas saídas F1 e F2. Esta saída pode ser utilizada para incrementar diretamente contadores internos de um micro controlador; isto melhora a precisão da medida, já que o controlador pode trabalhar com grandes quantidades de pulsos representando qualquer quantidade de energia, desde que se faça a devida conversão e respeite as faixas de operação do medidor. A saída CF também pode fornecer a potência real instantânea, desde que seja convenientemente programada,

neste caso deve-se considerar as flutuações citadas anteriormente para evitar erros na medição da potência.

As entradas S0 e S1 atuam num divisor de frequência do oscilador do medidor, conforme mostra a Tabela 2.2, alterando as saídas F1 e F2 de acordo com a Equação 2.18.

$$F_{F1,F2} = \frac{494,75 \cdot V1_{RMS} \cdot V2_{RMS} \cdot f_{1..4}}{V_{ref}^2}; \quad (2.18)$$

Onde:

- $F_{F1,F2}$ - é a frequência das saídas F1 e F2;
- $V1$ - é a tensão na entrada do amplificador OP1;
- $V2$ - é a tensão na entrada do amplificador OP2;
- $f_{1..4}$ - é a frequência do divisor programado pela Tabela 2.2;

Tab. 2.2: Seleção de frequência.

S1	S0	OSC (divisor)	$f_{1..4}$ (relação)
0	0	OSC/2 ₁₉	0,86
0	1	OSC/2 ₁₈	1,72
1	0	OSC/2 ₁₇	3,43
1	1	OSC/2 ₁₆	6,86

A entrada digital SCF combinada com as entradas S0 e S1, fornecem um multiplicador de F1 e F2 para ajustar a máxima frequência de CF, como mostra a Tabela 2.3.

Tab. 2.3: Seleção da máxima frequência da saída CF.

SCF	S1	S0	CF Máximo
1	0	0	128 x F1,F2 = 22,4
0	0	0	64 x F1,F2 = 11,2
1	0	1	64 x F1,F2 = 22,4
0	0	1	32 x F1,F2 = 11,2
1	1	0	32 x F1,F2 = 22,4
0	1	0	16 x F1,F2 = 11,2
1	1	1	16 x F1,F2 = 22,4
0	1	1	2048 x F1,F2 = 2.867 kHz

2.4.7 Determinação da frequência de operação da saída CF

Normalmente um medidor com contadores eletromecânicos realiza o cálculo da energia através de uma calibração adequada baseada na contagem de pulsos das saídas F1 e F2; o manual [16] e as notas da Analog Devices [21] descrevem os passos para o ajuste da faixa de operação e a calibração para este caso.

O projeto do Medidor Pré-pago utiliza um processador para controlar várias funcionalidades, e, aproveitando este recurso, a melhor opção para realizar o cálculo da energia é através da contagem de pulsos da saída CF, conforme justificativa apresentada no item 2.4.6.

Para se determinar as melhores condições de operação deste medidor, primeiro define-se a faixa de corrente e tensão utilizada pela carga e em seguida define-se a constante do medidor. Após estes dois passos pode-se finalmente efetuar a calibração, que consiste em ajustar a entrada do amplificador OP2.

Conforme apresentado anteriormente, a carga utiliza uma corrente em torno de $1A_{rms}$ e a tensão da rede é $127V_{rms}$, portanto, o objetivo é efetuar uma medição de energia de $0,127Kw$ em uma hora.

No caso de um medidor comercial a constante do medidor é definida na fábrica e dependendo a faixa de operação pode ser, por exemplo, de $1600 \text{ impulsos}/kWh$.

No caso Medidor Pré-Pago a escolha desta constante deve ser definida em função do capacidade do processador para que não ocorra uma sobrecarga no processamento, ou seja, se a frequência for muito alta e a constante baixa, o processador poderá perder contagens de pulsos e com isso distorcer as medidas.

Definição da Constante do Medidor Pré-Pago

A definição da constante do medidor foi baseada na Equação 2.18 e na sugestão do fabricante para utilizar o meio da faixa de tensão de entrada dos amplificadores OP1 e OP2.

Como a faixa de energia medida é baixa optou-se pelas entradas digitais com os seguintes valores:

- $SCF = 0$, $S0 = 0$ e $S1 = 0$.

Com isso a frequência do divisor apresentado na Tabela 2.2 é $0,86Hz$ e o multiplicador de F1 e F2 para fornecer CF, encontrado na Tabela 2.3 é 64.

Utilizando a metade dos valores de entrada dos amplificadores: $10,6mV_{rms}$ para OP1 e $58,5mV_{rms}$ para OP2 aplicados na Equação 2.18, obtém-se a frequência de $0,044Hz$ para F1 e F2, que multiplicado por 64 produz na saída CF uma frequência de $2,82Hz$. Isto significa que em uma hora a saída CF forneceu 10.137 pulsos. Para que o sistema opere com folga adotou-se arbitrariamente a quantidade de 7.000 pulsos na saída CF para medir uma energia de $0,1kWh$.

Com estes valores pode-se obter a constante do medidor (CM) em termos de Hz/kWh , que é a relação entre a frequência das saídas F1 e F2 e a unidade de energia, isto é fornecido pela Equação 2.19.

$$CM = \frac{70.000}{64 \cdot 3.600} = 0,30382Hz/kWh; \quad (2.19)$$

Ajuste da tensão de entrada de OP2

Na prática o nível na entrada do amplificador OP1 já foi determinado anteriormente no item 2.4.3, pela escolha do resistor “shunt” que é sempre constante, portanto, para efetuar a calibração deve-se ajustar o nível de entrada de OP2 para a nova constante do medidor.

Se a potência na carga (P_c) é:

$$P_c = 127 \cdot 1,0 = 0,127kw; \quad (2.20)$$

Então a frequência das saídas F1 e F2 é determinada pela equação abaixo:

$$F_{F1,F2} = CM \cdot P_c = 0,30382 \cdot 0,127 = 0,03859Hz; \quad (2.21)$$

Aplicando-se os novos valores definidos acima na Equação 2.18, obtém-se o valor de V2:

$$V2 = \frac{F_{F1,F2} \cdot 2,45^2}{494,75 \cdot V1 \cdot f_{1..4}} = \frac{0,03859 \cdot 2,45^2}{494,75 \cdot 0,010 \cdot 0,86} = 54,43mV_{rms}; \quad (2.22)$$

Para ajustar esta tensão na entrada do amplificador OP2 optou-se pela associação de resistores, mostrada na Figura 2.20, composta pelo trimpot P1 e os resistores R5, R6, R7 e R4, este último faz parte do filtro antialiasing e vale 499Ω.

Para que o valor de tensão de V2 seja facilmente ajustado em 54,43mV_{rms}, o trimpot P1 deve ficar próximo ao meio da escala, portanto os valores escolhidos para estes componentes são:

- R5 = R6 = R7 = 290K e P1 = 500K.

2.5 Considerações para montagem

As notas da Analog Devices [21] apresentam um bom guia para o desenho da placa considerando os diversos tipos de distúrbios que podem ocorrer na rede, alguns dos principais são citados abaixo junto com sugestões que podem minimizar ou ajudar na solução dos problemas apontados.

2.5.1 Descargas Eletrostáticas (ESD)

Muitos componentes eletrônicos possuem alguma proteção contra descargas eletrostáticas no próprio CI, mas nem sempre é suficiente para protegê-lo de descargas intensas. Outro problema associado é o efeito cumulativo, ou seja, o componente pode sobreviver a uma descarga, mas não é garantido que não se degrade ou que continue resistindo a outras descargas.

Uma boa maneira de resolver este problema é tentar eliminar ou atenuar consideravelmente a descarga antes que ela atinja partes sensíveis do circuito. Nem sempre é necessário acrescentar componentes extras para desempenhar esta função, basta tomar um certo cuidado com os próprios componentes do circuito, por exemplo, a escolha adequada dos resistores R1, R2, R3 e R4 dos filtros antialiasing pode ser suficiente para proteger o circuito; outra sugestão é a colocação de ferrites do tipo “choke” na entrada da placa.

Existe uma forma de proteção contra descargas eletrostáticas efetuada no layout da placa, que é a colocação de uma trilha com estrangulamento, que sai da entrada do sinal em direção à malha de

aterramento, conforme mostra a Figura 2.18. O estreitamento possui uma pequena interrupção de aproximadamente 180 μm de largura.

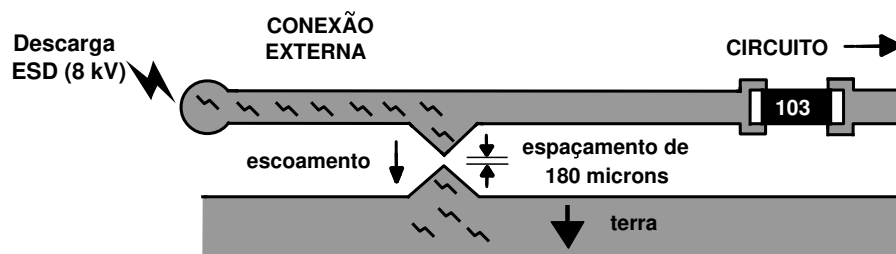


Fig. 2.18: Estreitamento na trilha para escoamento de descargas elétricas.

Esta solução é conhecida como “sparks gap” e deve ser feita no lado dos componentes; isto permite o escoamento de altas tensões para o terra no momento da descarga, mas se o medidor estiver exposto ao ar livre deve-se tomar cuidado para não posicionar este estreitamento próximo ao “shunt”, pois no momento da descarga pode ocorrer a carbonização no espaçamento alterando a impedância de entrada ou mesmo colocando-a em curto. Para que ocorra o escoamento adequado, recomenda-se não utilizar a máscara de solda sobre o estrangulamento.

2.5.2 Interferências Eletromagnéticas de Alta Frequência

Testes realizados pela Analog Device mostram que as interferências em alta frequência são mais pronunciadas na faixa de 20MHz a 200MHz, acima disso as capacitâncias parasitas se encarregam de as eliminar. Porém, na faixa em questão deve-se ter um cuidado especial em relação às trilhas para não se criar circuitos ressonantes que amplificam os efeitos destas irradiações em determinadas frequências.

O medidor requer uma largura de banda efetiva de uns 2kHz, portanto para minimizar o efeito das altas frequências a escolha de determinados pontos de entrada na placa pode surtir o efeito de um filtro passa-baixas.

O sinal proveniente do “shunt” já é filtrado, mas a adição de “beads” de ferrite e a escolha de componentes pequenos para o filtro “antialiasing” junto com um projeto adequado do leiloute, reduzem consideravelmente os efeitos das capacitâncias e indutâncias parasitas acentuando a resposta em altas frequências.

2.5.3 Transientes (EFT)

A sigla EFT vem do inglês “Electrical Fast Transient”, são picos de tensão provocados por chaveamento de conexões externas na rede. Provavelmente o maior dano provocado por este tipo de distúrbio não é causado pelas altas amplitudes de tensão (4kV), mas sim pelas componentes em alta frequência que aparecem devido às diversas subidas rápidas na tensão.

Para minimizar o efeito deste problema pode-se utilizar um varistor (MOV) em paralelo na entrada da placa, Figura 2.19.

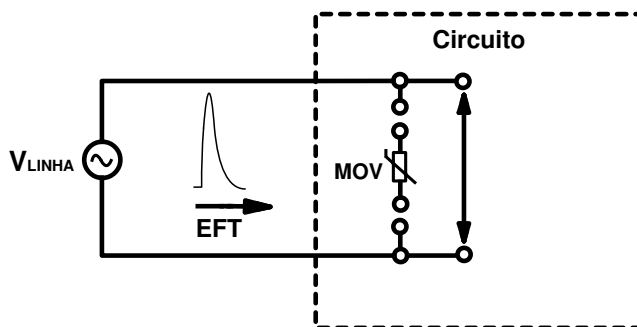


Fig. 2.19: Entrada da rede com varistor.

2.6 Montagem final do circuito do medidor

O esquema na Figura 2.20 apresenta a montagem final do medidor, contendo o CI AD71056 e os componentes associados, também pode se observar neste diagrama, que a saída CF está conectada a um acoplador óptico para evitar o contato elétrico entre a placa do medidor, que lida com tensão mais alta, e a placa do microcontrolador.

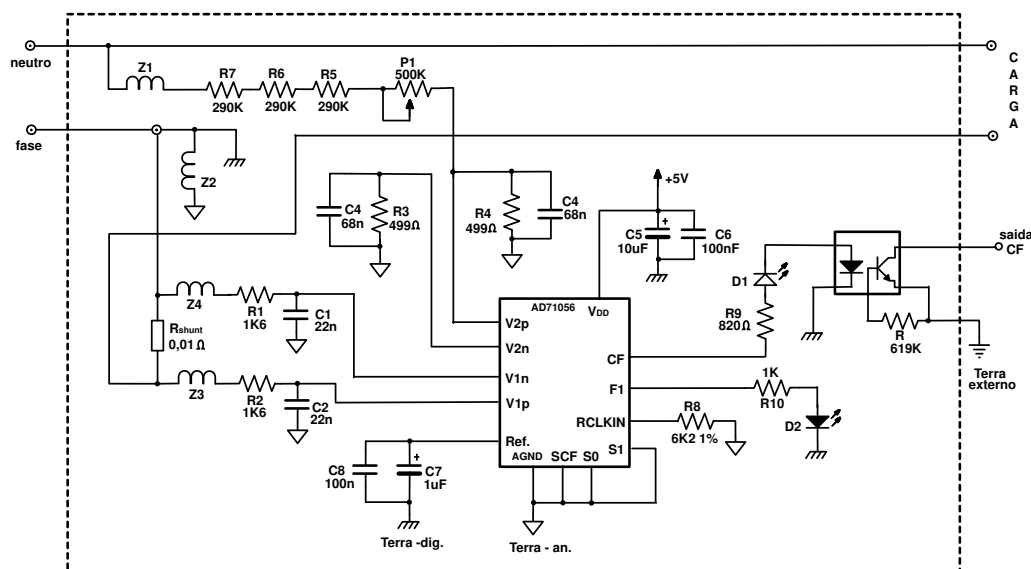


Fig. 2.20: Diagrama esquemático do circuito medidor de energia.

Algumas das considerações de montagem apresentadas no item 2.5 não são implementadas neste protótipo, por exemplo a colocação do varistor na entrada da placa. Para confecção do circuito impresso mostrado na Figura 2.21 são considerados relevantes os itens citados abaixo:

- Separação física do plano de terra digital da plano de terra analógico, estas partes são conectadas pelo micro choke Z2;
- Pontos de entrada da rede elétrica, a fase (K4) e o neutro (K3), estão isolados e posicionados na parte superior da placa;

- Saída do acoplador fica na lateral e está envolvida pelo plano de terra digital;
- As trilhas do filtro “antialiasing” do canal 1, são curtas e entram diretamente no CI;

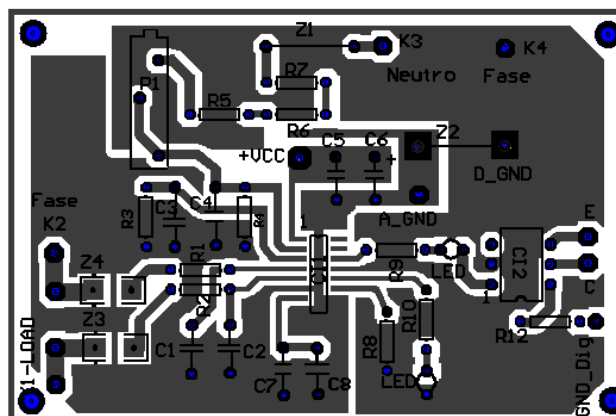


Fig. 2.21: Circuito Impresso da Placa do Medidor.

Capítulo 3

Meios de Pagamento e Circuitos de apoio

3.1 Meios de pagamento

A definição encontrada para a expressão “meios de pagamento” se refere ao volume de oferta de moeda em circulação na economia mais a moeda escritural, depósitos à vista do público nos bancos [10, 26, 27], mas atualmente este termo vem ganhando outras nuances em seu significado já que também está sendo usado no meio financeiro para designar formas com que se efetuam os pagamentos, tais como cheques, cartões de crédito e débito, e atualmente, cartões que efetivamente portam quantidades monetárias sem a necessidade de autorização do banco para despendar o crédito, isto é definido como carteiras eletrônicas.

Os cartões de débito por utilizarem uma infra-estrutura de comunicação com um autorizador (banco), dispensam o uso de tecnologia apurada com relação à mídia, basta que as informações estejam gravadas numa simples tarja magnética para que o cartão se identifique com o terminal e a através da digitação de uma senha, o portador pode se identifica com a aplicação; desta forma a transação eletrônica é efetivada.

No caso dos cartões de crédito, até pouco tempo atrás, a assinatura do portador ainda era indispensável, quando por imposição das circunstâncias de segurança, as instituições financeiras se viram obrigadas a empregar tecnologia de última geração para as mídias e meios de comunicação com os autorizadores. Em outras palavras, com o crescente índice de fraudes na estrutura financeira, principalmente relacionadas à transações eletrônicas, houve necessidade da difusão de mecanismos mais seguros para se efetuar as transações, então entrou em cena o Smart Card [28] que é um dispositivo de formato padronizado contendo um circuito integrado que pode ser composto por processador e memórias e se comunica com o terminal através de contato ou por radio frequência (RF).

Além das mídias magnéticas e com circuitos integrados utilizadas no mundo inteiro, o Brasil dispõe de uma tecnologia proprietária cuja utilização ultrapassa a uma década e ainda é amplamente empregada em telefonia pública, trata-se do cartão indutivo. Esta mídia é utilizada preferencialmente em sistemas pré-pagos.

Sistemas Pré-Pagos

Sistemas Pré-Pagos são estruturas destinadas à distribuição de créditos para utilização em determinados serviços ou pagamentos em geral. Apesar deste termo estar atualmente ligado à telefonia

móvel, ele se refere ao pagamento antecipado de um serviço para liberação de créditos, que podem estar na forma de um dispositivo como um cartão ou uma senha validada por um autorizador.

No caso deste projeto, o usuário deve adquirir um cartão indutivo contendo uma determinada quantidade de créditos para utilização no Medidor Pré-Pago a fim de efetuar a recarga da bateria da moto.

3.2 Tecnologia Indutiva

Esta tecnologia, que foi inventada no Brasil na década de 70, disponibilizada como produto no final nos anos 80 e utilizada comercialmente nos começo dos anos 90, tem como principal mercado as operadoras de telefonia pública [29].

O conceito de cartão indutivo no mundo se restringe a dispositivos com substrato metálico utilizados em leitoras que apenas identificam regiões metálicas e regiões não metálicas, mas não promovem quaisquer alterações neste material, ou seja, não são capazes de gravar no cartão qualquer tipo de informação que posteriormente possa ser utilizado.

No Brasil este termo se designa a dispositivos com substrato metálico e com uma geometria particular, que permite tanto a identificação de áreas metálicas e não metálicas, quanto à gravação de informações que possam ser lidas posteriormente.

Motivador para escolha desta tecnologia

Existem vários fatores que motivaram a escolha desta tecnologia para utilização neste projeto, alguns estão citados abaixo:

- Tecnologia inteiramente nacional;
- Baixo custo;
- Cartão resistente a intempéries e manuseio inadequado;
- Concepção e desenvolvimento de todos os elementos do sistema foram realizados no Brasil;
- Domínio completo da técnica de produção de cartões e dispositivos de leitura;
- Controle de qualidade rigoroso;
- Sistemas para monitoramento automático dos telefones públicos;
- Logística de distribuição dos cartões;
- Possibilidade de se fazer Merchandising no cartão;
- Infraestrutura industrial e de desenvolvimento voltado a este mercado;
- Cinco fabricantes de cartões, quatro fabricantes de telefones públicos e diversos fornecedores de matéria - prima;

- Diversos grupos de software e sistemas que fornecem produtos para o sistema de telefonia pública.

Estas e outras razões despertaram um grande interesse do patrocinador do projeto, enfatizando que já foram produzidos e utilizados, pela população, mais de 6 bilhões de cartões só na área de telefonia. Esta tecnologia também está presente nos meios de transporte, bilheteria de eventos esportivos e culturais dentre outros.

Neste trabalho o termo “tecnologia indutiva” aplica-se ao conjunto cabeçote leitor e cartão indutivo que atuam de maneira complementar. Nos próximos itens serão apresentados os mecanismos envolvidos nas operações de detecção e cobrança dos créditos, através de determinadas características elétricas que fazem desta tecnologia uma forma simples e segura de prover recursos para sistemas de pré-pagamento.

3.2.1 Cartão Indutivo

O cartão indutivo é composto por um substrato de ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ou poliéster com uma fina camada metálica depositada na superfície através de processo eletro-químico [30]. A película metálica possui uma geometria particular semelhante a uma matriz de elementos geométricos, sendo que o interior de cada elemento não possui metal, a Figura 3.1 apresenta o formato genérico de um cartão.

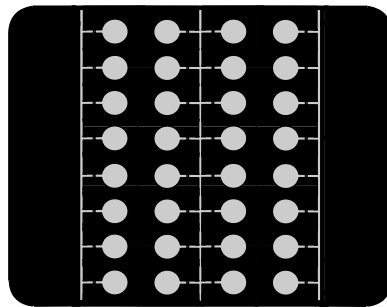


Fig. 3.1: Cartão Indutivo.

O elemento geométrico é denominado espira e pode ser observado em detalhes na Figura 3.2. Um cartão pode conter até 104 espiras, dependendo da aplicação, que são utilizadas tanto como sensores ou como unidades de crédito. Esta quantidade de créditos é suficiente para prover recursos de mídia para a maioria das aplicações, haja vista que a telefonia pública utiliza este tipo de cartão com sucesso há vários anos.

A área metálica incluindo o filete intacto formam uma bobina de um fio, se for considerado o centro do círculo como referência, esta idéia pode ser entendida melhor observando-se a linha tracejada representada na Figura 3.3. Esta representação será útil na compreensão das operações de detecção e débito do crédito.

Fabricação do cartão

Existem algumas variações nos processos de fabricação do cartão, e esta seção descreve em linhas gerais uma das formas de se produzir cartões indutivos voltados à telefonia pública no Brasil, onde são

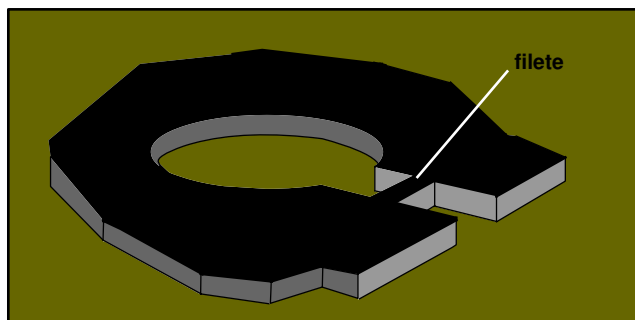


Fig. 3.2: Recorte de uma espira.

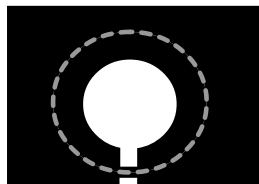


Fig. 3.3: Representação do fio da bobina na região metalizada.

referenciados alguns princípios básicos da eletrodeposição em plásticos e transferência de imagem em painéis que contém algumas dezenas de cartões [31].

O primeiro substrato utilizado para confecção em larga escala foi o ABS, esta base, por ser um plástico e não conduzir eletricidade, necessita de um tratamento prévio para que seja possível a colocação de uma fina camada metálica que serve de condutor na fase de eletrodeposição da principal liga metálica. Esta fina camada deve estar bem aderente ao substrato e permitir a condução da corrente elétrica de forma homogênea para que a eletrodeposição final atinja todos os pontos do painel.

O processo para deposição desta fina camada é efetuado em vários passos, que incluem lavagem com água destilada, aplicação de ácidos para aumentar a rugosidade e conseqüentemente aumentar a aderência, ativação e finalmente a aplicação de uma solução para deposição de um metal, por exemplo, o níquel.

Uma vez que o níquel esteja depositado uniformemente nos painéis, coloca-se uma película de filme fotossensível sobre o painel e através de um processo fotográfico realiza-se a transferência de imagem em salas especiais, sensibilizando a película em áreas específicas e posteriormente as partes não sensibilizadas são eliminadas no processo de revelação.

Depois de passar pela revelação o desenho do circuito fica impresso no filme aguardando a corrosão do níquel que está exposto nas áreas descobertas. Após a corrosão o painel é lavado por completo e está pronto para a eletrodeposição da liga.

Após a eletrodeposição o painel é novamente lavado, secado e está pronto para o processo de impressão gráfica e estampagem. A Figura 3.4 ilustra o processo de fabricação do cartão indutivo.

Hoje em dia utiliza-se linhas de produção mecanizadas capazes de fabricar milhares de painéis por dia, a Figura 3.5 apresenta uma destas linhas produzidas na Alemanha [32].

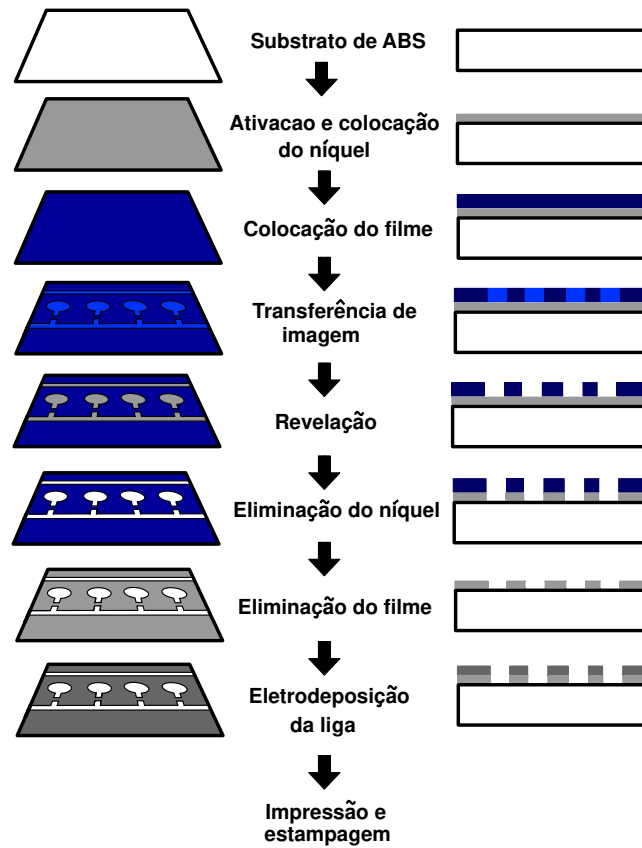


Fig. 3.4: Processo de fabricação do cartão indutivo.



Fig. 3.5: Linha de produção de cartões.

Controle de Qualidade

O controle de qualidade aplicado aos cartões é bem rigoroso, sendo que alguns testes devem ser efetuados na totalidade da produção e outros são estatísticos, pois inutilizam a amostra após o teste.

As descrições dos testes são normatizados e encontram-se disponíveis na página da ANATEL [33]. Abaixo são descritos alguns destes testes.

Teste Elétrico

Este teste é executado por um equipamento automático que possui uma leitora capaz de verificar as condições de cada espira do cartão segundo uma referência obtida através de calibração. Toda a produção deve passar por este teste.

Teste Funcional

O teste funcional é estatístico obedecendo a normas ABNT para teste em lotes e consiste em realizar a operação de débito em todas as espiras que são utilizadas como créditos no cartão.

Teste de Aderência

O teste de aderência é feito para verificar se o circuito metálico não irá se desprender do substrato. Este teste consiste em traçar linhas paralelas a aproximadamente 2mm de distância, com um estilete afiado e depois linhas transversais com a mesma distância formando um reticulado. Em seguida coloca-se uma fita adesiva, especialmente produzida para esta finalidade, sobre o reticulado e efetua-se um puxão brusco tentando remover o material; a camada eletrodepositada é considerada bem aderida se não ocorrer o desprendimento nos cantos. Este teste também é estatístico.

Testes Mecânicos

São testes realizados por dois tipos de equipamentos, eles efetuam uma certa quantidade de torções e flexões no cartão e posteriormente são refeitos testes elétricos para verificar se houve degradação nos cartões. Este teste também é destrutivo.

3.2.2 Leitora de cartão indutivo

Existem várias configurações de leitora, portanto a montagem dos circuitos depende do tipo de leitora. A leitora é composta por dois blocos e circuitos eletrônicos conectados de forma a ocupar o menor espaço possível.

O bloco mais importante da leitora possui bobinas embutidas, o material deste bloco pode ser PVC ou ABS. Este módulo pode conter até 104 bobinas com núcleos de ferrite e um alojamento com medidas adequadas para comportar um cartão. A colocação do cartão no alojamento deve ocorrer de tal forma que todas as espiras do cartão fiquem alinhadas com suas respectivas bobinas do bloco. Figura 3.6.

Outro tipo de bloco que pode ser encontrado em uma leitora é constituído de uma pastilha ou espelho de ferrite encaixada numa moldura de PVC ou ABS, Fig 3.7. Quando uma leitora utiliza este tipo de bloco, necessariamente o outro deve conter bobinas. Na montagem final, estas partes são justapostas e a placa com os circuitos de endereçamento e osciladores é colocada sobre o bloco de bobinas, Figura 3.8.

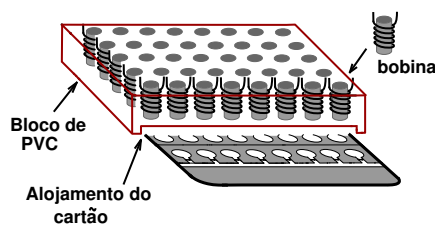


Fig. 3.6: Bloco das bobinas.

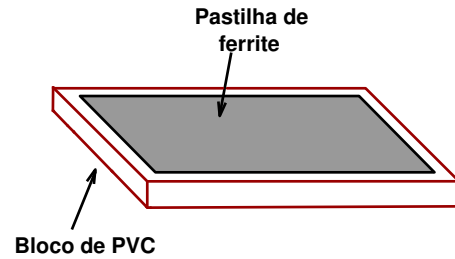


Fig. 3.7: Bloco da pastilha de ferrite.

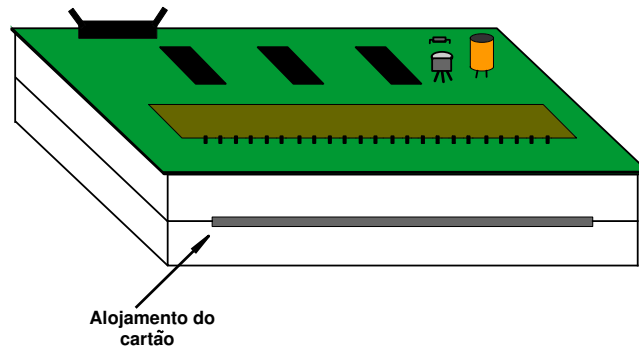


Fig. 3.8: Desenho de uma leitora genérica.

3.2.3 Tipos de leitora

Ao longo dos anos a leitora evoluiu tanto na forma de construção do bloco como na parte eletrônica responsável controle e conexão com as bobinas.

Leitora Original

Existem duas versões de leitora que foram inicialmente utilizadas na telefonia pública à cartão, provavelmente ainda existem algumas remanescentes instaladas em regiões mais remotas do Brasil.

Estes modelos são compostos por 2 blocos simétricos com bobinas, como o apresentado na Figura 3.6, onde duas bobinas, uma em cada bloco, ficam colinearmente justapostas fazendo parte de um oscilador.

Os osciladores ficam dispostos em placas separadas, que são instaladas na parte externa de cada bloco. O primeiro modelo, apresentado na Figura 3.9, contém placas com componentes discretos e o outro modelo, Figura 3.10, circuitos com componentes SMD montados em porcelana.

Leitora Matricial

A leitora matricial possui um bloco com bobinas e outro com uma pastilha de ferrite, [34]. A placa do circuito fica conectada ao bloco de bobinas e possui apenas um conjunto de 13 osciladores, circuitos de decodificação (DMUX), chaves e um conversor DC-DC para elevar a tensão de 12,5V para 25V. Esta leitora está apresentada na Figura 3.11.

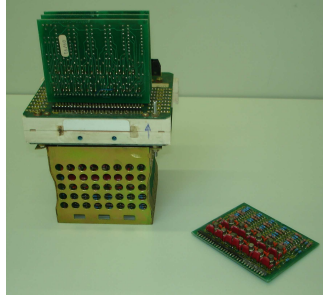


Fig. 3.9: Leitora com componentes discretos.

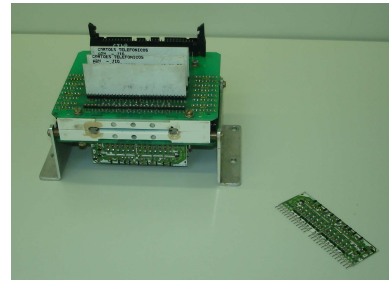


Fig. 3.10: Leitora com circuitos híbridos.



Fig. 3.11: Leitora Matricial.

Leitora Autônoma

Esta leitora é do tipo matricial que além dos circuitos citados anteriormente possui um micro controlador que executa as funções de leitura e débito conforme a necessidade da aplicação. A comunicação deste arranjo é feita por uma interface serial que, através de um protocolo, estabelece uma relação mestre-escravo permitindo que um controle externo faça a requisição das funções desejadas sem se preocupar com os detalhes das operações, por exemplo, se a aplicação solicitar a leitura de um cartão, basta que envie apenas um comando de leitura e a resposta será a quantidade de créditos disponíveis.

A leitora autônoma facilita a utilização dos cartões indutivos em qualquer tipo de aplicação, pois o proprietário não precisa se preocupar com detalhes da tecnologia indutiva, isto fica por conta do fornecedor, que deve disponibilizar a manutenção, produção das leitoras e cartões para o cliente.

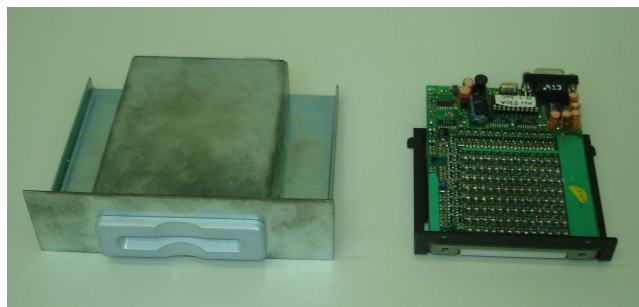


Fig. 3.12: Leitora autônoma.

3.2.4 Princípio de funcionamento da leitora

A unidade eletrônica básica de uma leitora é o circuito oscilador tipo Collpits [35, 36], mostrado na Figura 3.13. Os valores dos componentes podem variar de acordo com o tipo de leitora, por esta razão decidiu-se apresentar apenas uma análise qualitativa deste circuito.

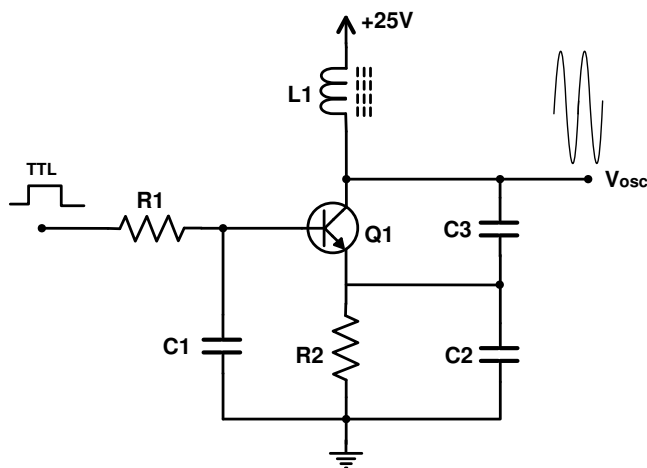


Fig. 3.13: Circuito oscilador.

Um oscilador é baseado num amplificador realimentado positivamente, que induz uma instabilidade resultando na oscilação. Para que o circuito funcione adequadamente é preciso satisfazer duas condições, isto se denomina critério de Barkhausen:

- 1. O ganho do circuito fechado deve ser maior ou igual a um;
- 2. A realimentação deve ser sempre positiva, ou seja, o deslocamento total da fase do sinal no circuito deve ser de $0, 2\pi, 4\pi, \dots 2n\pi$ radianos.

A Figura 3.14 mostra a representação do oscilador na forma blocos, para determinar a frequência de oscilação deve-se achar a função de transferência em malha fechada e igualar a parte imaginária a zero, como apresentada na Equação 3.1.

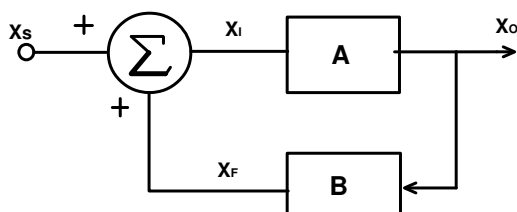


Fig. 3.14: Representação do oscilador.

$$A(s) \cdot B(s) = -1; \quad (3.1)$$

O oscilador tipo Collpits possui uma boa estabilidade com relação à frequência, é de fácil sintonização e pode ser usado numa ampla faixa de frequências. A estabilização da frequência pode ser conseguida através dos capacitores em paralelo com as junções do transistor [37]. A frequência de ressonância deste oscilador está apresentada na Equação 3.2.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot \frac{C1 \cdot C2}{C1+C2}}}; \quad (3.2)$$

A circuito eletrônico da leitora original é constituída apenas de osciladores, portanto necessita de um módulo externo para realizar o endereçamento individual de cada oscilador. O diagrama esquemático deste tipo de leitora está apresentado na Figura 3.15.

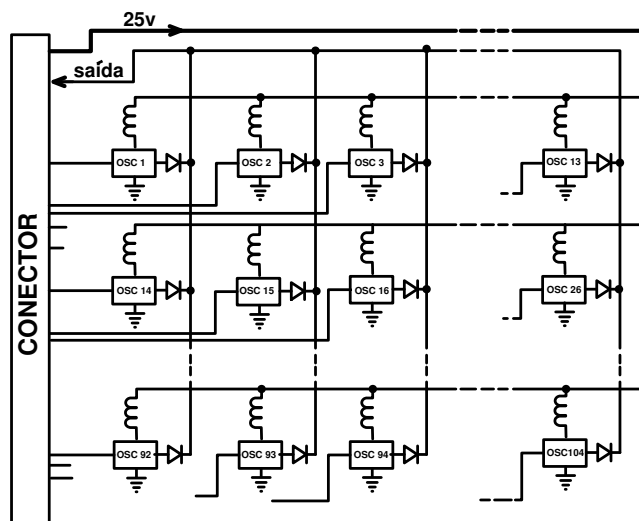


Fig. 3.15: Diagrama da Leitora Original.

A eletrônica da leitora matricial é baseada no chaveamento da tensão de uma determinada fileira de bobinas, simultaneamente com o chaveamento de um oscilador ativando a bobina escolhida, o diagrama apresentado na Figura 3.16 mostra esta solução.

3.2.5 Princípio de funcionamento da tecnologia indutiva

A tecnologia indutiva é baseada na indução de um campo magnético, gerado pela bobina associada a um oscilador, sobre uma espira do cartão; a descrição completa do funcionamento desta tecnologia pode ser encontrada em algumas patentes, em particular adotou-se como referência a patente [38] por apresentar esquemas, descrições e indicações literárias bem adequadas aos propósitos deste trabalho. veja Figura 3.17. Existem três situações que são de interesse para estudo:

- Detecção de uma espira com filete intacto;
- Detecção de uma espira com filete rompido ou ausência de espira;
- Eliminação do filete.

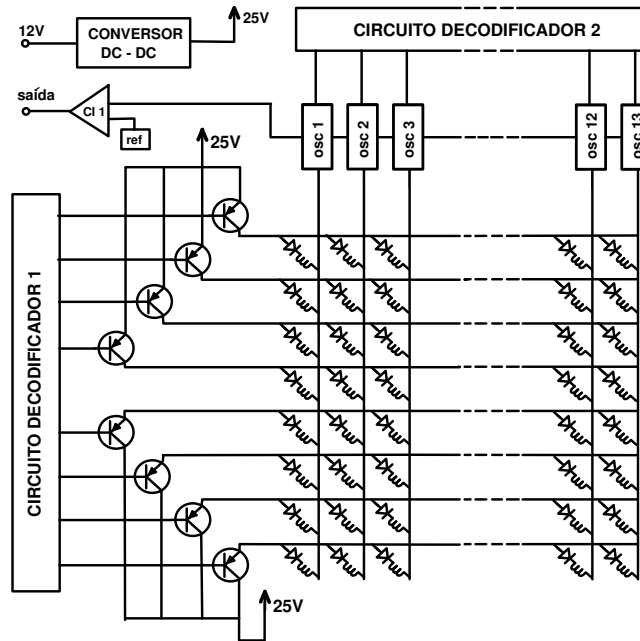


Fig. 3.16: Diagrama da Leitora Matricial.

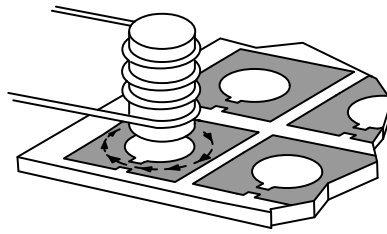


Fig. 3.17: Bobina da leitora alinhada com a espira do cartão.

Detecção de uma espira com filete intacto

A análise desta situação é feita através do modelamento de um transformador representado na Figura 3.18, onde o primário é composto pela indutância $L1$ e resistência $R1$ do oscilador e o secundário é composto pela espira ($L2$ e $R2$), a indutância mútua (M) entre os enrolamentos é fornecida pela Equação 3.3, onde k é o coeficiente de acoplamento.

$$M = k \cdot \sqrt{L1 \cdot L2}; \quad (3.3)$$

Para continuar a análise deve-se refletir a impedância do secundário (Z_{espira}) para o primário, obtendo o circuito equivalente mostrado na Figura 3.19. Esta impedância é representada pela Equação 3.4.

$$Z_r = \frac{(2\pi f \cdot M)^2}{Z_{espira}}; \quad (3.4)$$

- Z_r - Impedância do secundário (espira) refletida para o primário;

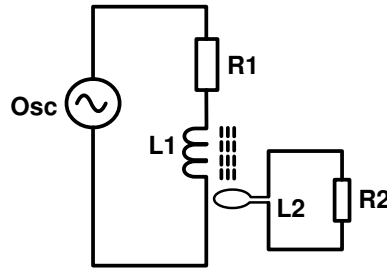
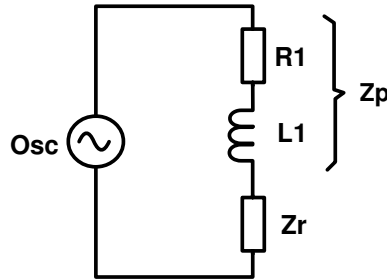


Fig. 3.18: Diagrama representando a bobina e a espira.

Fig. 3.19: Impedância da espira repetida no primário (Z_r) .

Para obter a resistência refletida para o primário, deve-se desenvolver a Equação 3.4 e retirar a parte real, desta forma pode-se observar através da relação apresentada na Equação 3.5, que a resistência refletida é muito dependente do acoplamento e inversamente proporcional à resistência do secundário.

Se for considerado que a resistência de uma espira é pequena e o acoplamento é suficiente para refletir esta resistência, isto significa que a resistência total no primário aumenta provocando a deterioração do fator de qualidade do circuito ressonante (Equação 3.6). Esta deterioração produz a diminuição da amplitude de oscilação, que deve ser adequadamente tratada para que o sistema perceba a presença de uma espira com filete intacto.

$$R_r \propto \frac{M^2}{R_2}; \quad (3.5)$$

$$Q = \frac{(2\pi \cdot f_{res} \cdot L_1)}{R_{total}}; \quad (3.6)$$

$$R_{total} = R_1 + R_{refletida}; \quad (3.7)$$

Detecção de uma espira com filete rompido

A outra situação é quando o filete da espira está rompido ou quando não existe uma espira posicionada no oscilador.

Se houver uma espira com filete rompido posicionado no oscilador, a resistência R_2 é muito grande fazendo com que a resistência refletida seja praticamente nula, isto produz uma deterioração

muito pequena no fator de qualidade, sendo assim o nível do sinal do oscilador é praticamente da mesma amplitude do sinal sem a presença da espira.

A Figura 3.20 apresenta o fator de qualidade em duas situações, a primeira representa o oscilador com presença de uma espira intacta (Q1) e a segunda é sem a presença da espira no oscilador (Q2). As curvas estão normalizadas em relação à frequência de ressonância (f_r).

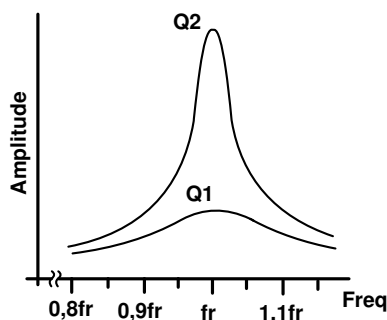


Fig. 3.20: Fator de Qualidade.

Através de um detector de envoltória conectado a um comparador, pode-se determinar quando existe ou não a presença de uma espira com filete intacto.

O detector de envoltória mostrado na Figura 3.21, é um dobrador de tensão de meia onda conectado na saída do oscilador, que serve para formatar o sinal do oscilador num pulso retangular, que pode estar em torno de 35V, para uma espira intacta ou em torno de 45V no caso da espira com filete rompido. Estes valores dependem do tipo da leitora e da espessura da espira.

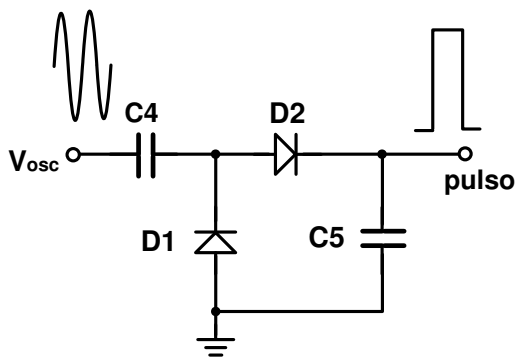


Fig. 3.21: Detector de envoltória.

O pulso proveniente do detector de envoltória é condicionado por um diodo zener de 35V (D_z) e um divisor de tensão, mostrado na Figura 3.22, para limitar a faixa de entrada do comparador entre 0 e 5V. A referência do comparador é colocada em 2,5V, portanto pode discriminar as duas situações citadas anteriormente. Quando a espira está intacta a saída do comparador apresenta nível lógico “0” e quando está rompida é “1”.

Para determinar se existe a presença de uma espira com filete rompido posicionada no oscilador, é necessário verificar antes se existe um cartão posicionado na leitora, isto se faz verificando a presença de algumas espiras especiais, que necessariamente devem possuir filetes intactos para servir como sensores de presença do cartão.

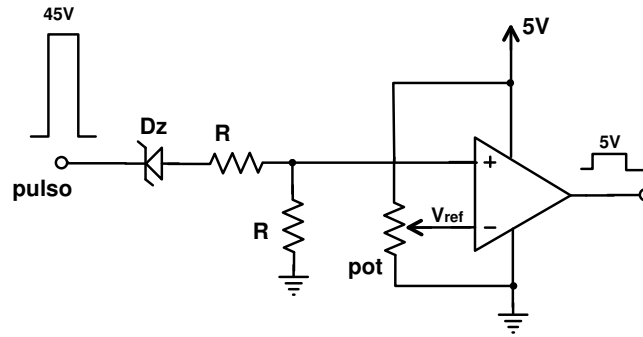


Fig. 3.22: Comparador.

Eliminação do Crédito

A eliminação do crédito consiste em romper o filete de uma espira, veja Figura 3.23, para isto basta aumentar o fluxo magnético induzido na espira, isto pode ser conseguido aumentando a corrente ou aumentando a tensão no oscilador.

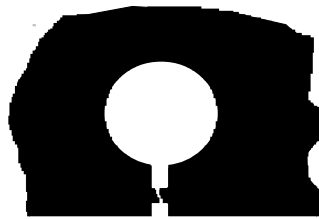


Fig. 3.23: Espira com filete rompido.

Outra forma de eliminar o crédito é ajustar adequadamente a tensão e a corrente do oscilador, para que o fluxo magnético, quando for injetado por um curto período, não cause dano algum ao filete, neste caso o objetivo é apenas detectar a presença do crédito; a outra situação é injetar o campo magnético durante um longo período para provocar o rompimento do filete.

3.3 Circuitos de Apoio

Neste projeto denominam-se circuitos de apoio a estrutura que viabiliza o funcionamento e as operações tanto do circuito medidor quanto da leitora; é composta por uma placa controladora, uma chave para liberação de energia, uma interface optoeletrônica e fontes.

3.3.1 Placa de controle

Esta placa foi inicialmente desenvolvida para o projeto do medidor mencionado no item 2.3.1 e reaproveitada no projeto do Medidor Pré-Pago, pois o ambiente de desenvolvimento de software e o hardware já estavam operacionais.

A descrição deste circuito não será muito detalhada neste trabalho, pois o uso deste microcontrolador é bastante disseminado em equipamentos que executam poucas funcionalidades, além disso o projeto desta placa pode ser encontrada na internet [39]. A Figura 3.25 apresenta o diagrama do 80C31 com as conexões que são relevantes para o projeto e os componentes menos importantes são representação em blocos. A foto da placa está apresentada na Figura 3.24.

Este circuito possui uma configuração básica composta pelos seguintes componentes:

- Um microcontrolador (80C31);
- Uma memória RAM não volátil (M48Z08) que retém as informações mesmo que seja retirada a energia;
- Uma memória EEPROM de 32 Kbytes (27C256) para armazenar o programa;
- Um “latch” (74HC373) para seleção do barramento de endereços;
- Um conversor AD (AD0800) associado a potenciômetros programáveis para realização de testes gerais, esta parte não está apresentado no esquema ;
- Um circuito de endereçamento 74HC138 (DMUX);
- dois reguladores de tensão (7808 e 7812).



Fig. 3.24: Placa de controle.

A placa executa as seguintes funções:

- Controle operacional de todos os componentes do Medidor Pré-Pago;
- Cálculo da quantidade de energia medida, através da contagem de pulsos da saída CF do 71056;

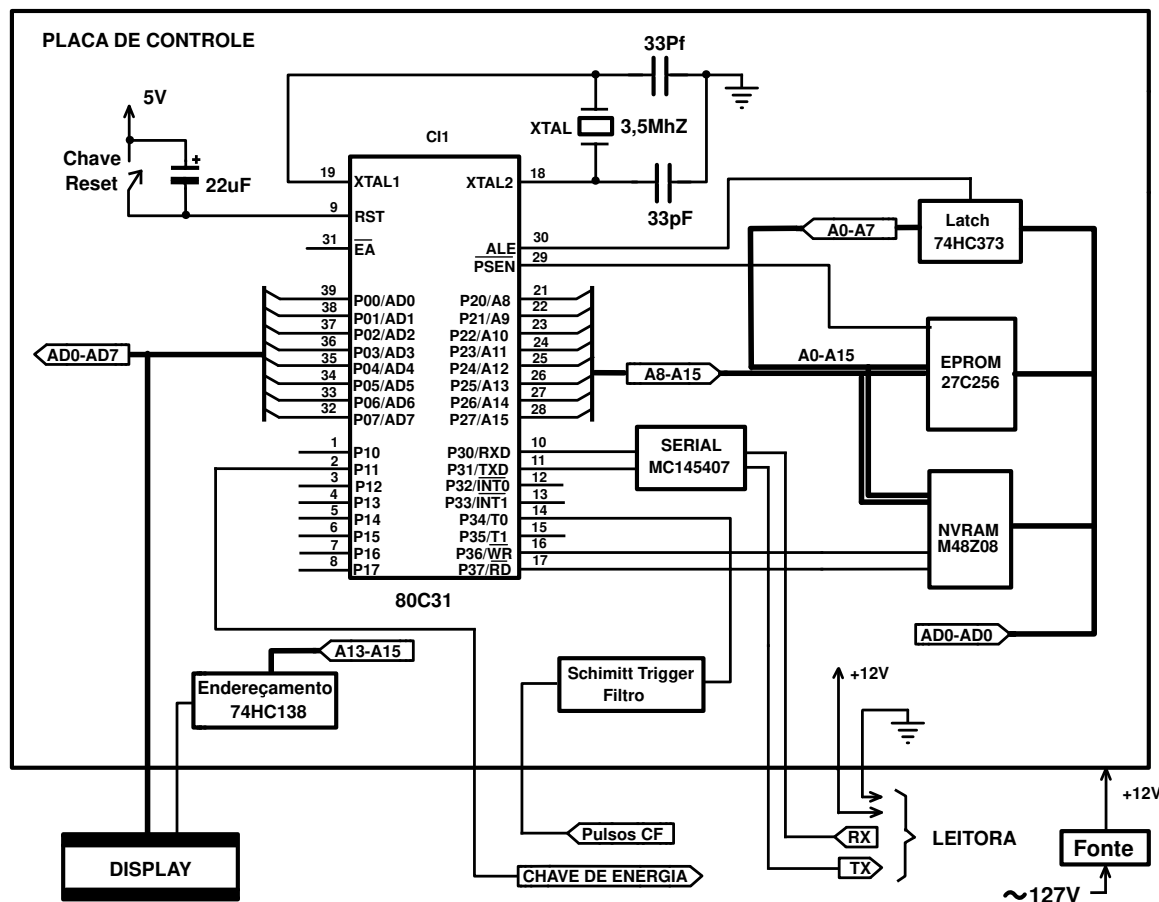


Fig. 3.25: Diagrama do microcontrolador (80C31) e componentes representados por blocos.

- Comunicação com a leitora de cartões para solicitar a quantidade de créditos disponíveis no cartão ou requisitar um débito;
- Apresentação no display das informações necessárias à operação do sistema.

Posteriormente foi incluído neste arranjo um filtro utilizando um “Schmitt trigger” associado a dois capacitores com o objetivo de limpar o sinal CF proveniente do circuito medidor, este sinal após passar pelo fotoacoplador da placa do medidor apresentava ruídos que eram contabilizados erroneamente pelo contador do microcontrolador, Figura 3.26.

3.3.2 Chave e Acoplador Optoeletrônico

O acoplador (4N35) serve de interface entre a porta do microcontrolador e a chave (relé) que libera ou corta a energia utilizada no carregamento da bateria da moto, veja Figura 3.27. O diodo em paralelo com a bobina evita que o transistor se danifique devido à tensão reversa gerada na própria bobina durante o chaveamento do relê [40].

A tensão regulada $5V_R$ e o terra (GND-EXT) são provenientes da fonte da placa controladora e as tensões $12V$ e $12V_{NR}$ e o terra (GND-DIG) são da fonte do medidor.

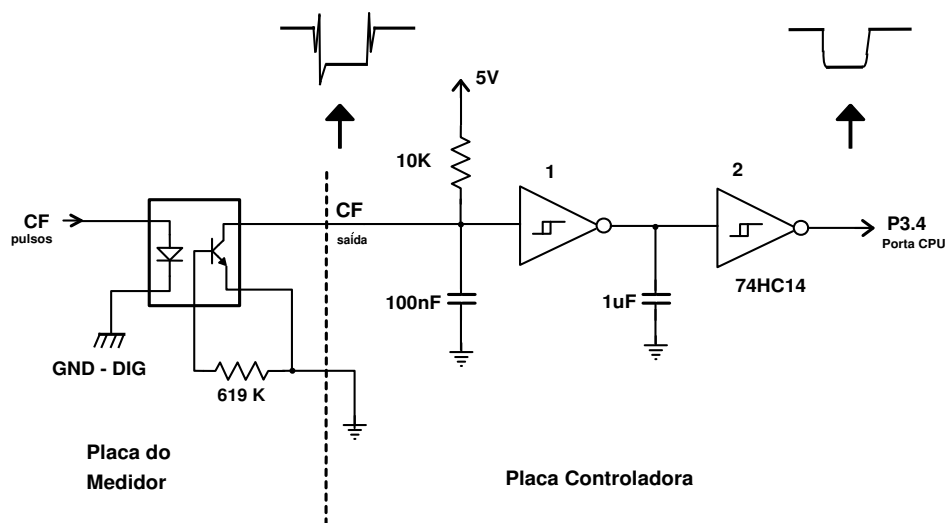


Fig. 3.26: Filtro com Schmitt Trigger.

Este circuito está na placa da fonte do medidor.

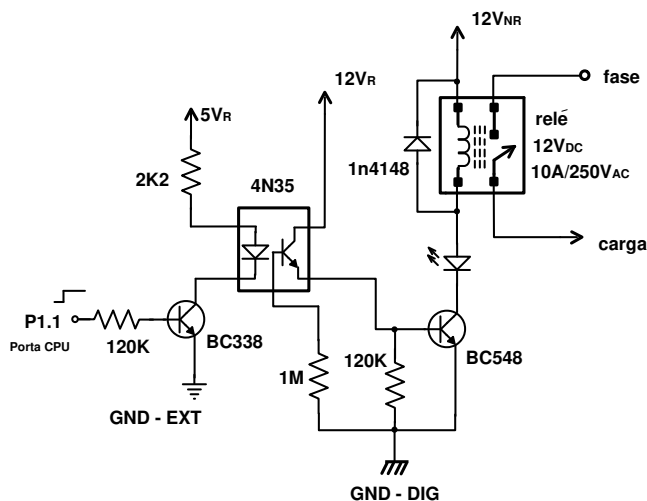


Fig. 3.27: Circuito da chave com acoplador optoeletrônico.

3.3.3 Fontes de alimentação

O equipamento possui duas fontes similares, mas independentes entre si. Uma alimenta o circuito do medidor e a outra a placa controladora e a leitora de cartões. A Figura 3.28 apresenta o diagrama da fonte do medidor.

Esta independência visa eliminar ruídos gerados pela placa controladora que podem interferir no circuito do medidor e, por outro lado, evitar que algum problema com a rede cause danos na parte de baixa potência. As fontes fornecem tensões reguladas de $12V_R$ e $5V_R$.

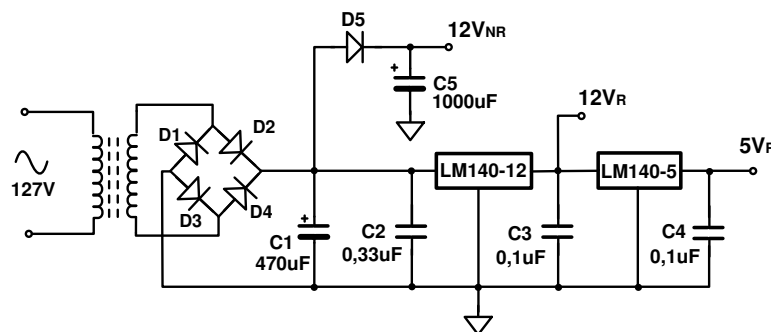


Fig. 3.28: Fonte de alimentação do medidor.

Conforme recomendação da Analog Devices [21] todos componentes, incluindo a fonte, devem ser dimensionados para que o consumo total do medidor não exceda a 2W e 10VA.

A tensão não regulada de $12V_{NR}$ na fonte do medidor alimenta o relé que compõe a chave descrita no item 3.3.2.

3.3.4 Programação de placa controladora

O programa da placa de controle foi desenvolvido em linguagem C utilizando o compilador da empresa Keil Elektronik [41], este ambiente de desenvolvimento gera um arquivo de extensão (.HEX) para ser gravado em EPROM, o tamanho do arquivo é de 4Kbytes. A Figura 3.29 apresenta a tela do compilador com algumas rotinas do programa.

A rotina principal implementa a parte operacional do medidor, ou seja, o modo como o usuário vai interagir com o equipamento. O programa dispõe de rotinas auxiliares para tratamento da contagem dos pulsos que são usados no cálculo da energia consumida, comunicação com a leitora autônoma através da interface serial, apresentação no display das informações importantes e inicializações em geral. As rotinas estão gravadas em um CD em anexo.

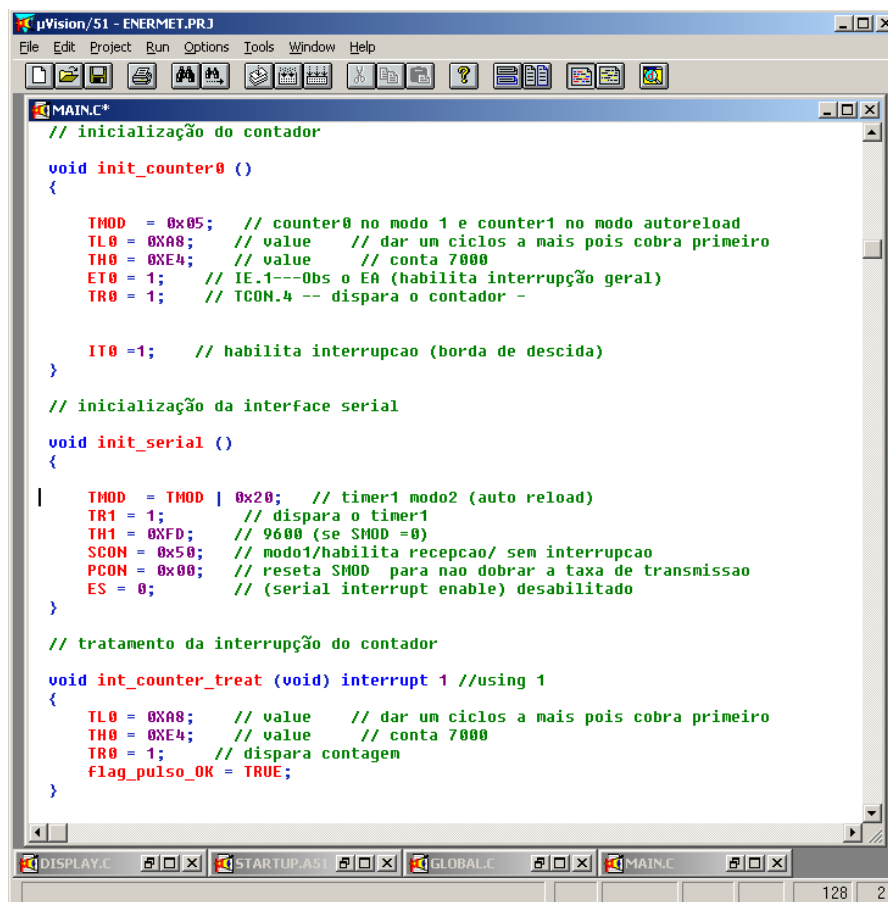
A comunicação com a leitora é feita utilizando um protocolo proprietário onde a placa de controle envia um comando, composto por 3 ou 4 bytes, e recebe uma resposta com 4 bytes. Os bytes são enviados a 9600 bps, sem paridade, 8 bits de dados e um stop bit. Os três principais comandos enviados à leitora são:

- Requisição de presença do cartão;
- Requisição da quantidade de créditos;
- Requisição de queima de um crédito.

Fluxograma da Operação do Medidor pré-Pago

O fluxograma apresentado na Figura 3.30 mostra o funcionamento deste equipamento.

Para iniciar a operação o usuário deve colocar um cartão válido na leitora e conectar a tomada do carregador no Medidor Pré-Pago, ao perceber a presença do cartão o controle aciona a chave de



```

// inicialização do contador

void init_counter0 ()
{
    TMOD = 0x05; // counter0 no modo 1 e counter1 no modo autoreload
    TL0 = 0xA8; // value // dar um ciclos a mais pois cobra primeiro
    TH0 = 0xE4; // value // conta 7000
    ET0 = 1; // IE.1---Obs o EA (habilita interrupção geral)
    TR0 = 1; // TCON.4 -- dispara o contador -

    IT0 = 1; // habilita interrupcao (borda de descida)
}

// inicialização da interface serial

void init_serial ()
{
    TMOD = TMOD | 0x20; // timer1 modo2 (auto reload)
    TR1 = 1; // dispara o timer1
    TH1 = 0XFD; // 9600 (se SMOD = 0)
    SCON = 0x50; // modo1/habilita recepcao/ sem interrupcao
    PCON = 0x00; // reseta SMOD para nao dobrar a taxa de transmissao
    ES = 0; // (serial interrupt enable) desabilitado
}

// tratamento da interrupção do contador

void int_counter_treat (void) interrupt 1 //using 1
{
    TL0 = 0xA8; // value // dar um ciclos a mais pois cobra primeiro
    TH0 = 0xE4; // value // conta 7000
    TR0 = 1; // dispara contagem
    flag_pulso_OK = TRUE;
}

```

Fig. 3.29: Tela do compilador com o programa do medidor.

energia colocando a porta P1.1 em "1"; assim que for contado pelo menos um pulso da saída CF, o controle requisita a eliminação de um crédito e desta forma se inicia a recarga da bateria.

A contagem dos pulsos CF é feita através da porta P3.4 do microcontrolador, utilizando a porta T0 no modo contador e programando os registros TL0 e TH0 para contar até 7000 pulsos, esta quantidade equivale a 0,1kWh. A cada interrupção do contador esta quantia de energia é adicionada a uma variável e o resultado é apresentado no display.

Após o consumo de 1kWh o controle faz nova requisição de eliminação de outro crédito para dar prosseguimento à recarga, caso o cartão não esteja posicionado na leitora a operação será interrompida.

Neste modelo de operação se um crédito for debitado, porém a carga não foi totalmente consumida, o próximo usuário poderá utilizar a carga restante até completar 1kWh, quando, então, deverá posicionar um cartão na leitora para continuar o processo.

O display também apresenta a energia total consumida desde a instalação do Medidor Pré-Pago, esta informação fica armazenada na memória RAM não volátil, portanto não se perderá mesmo que o medidor seja desligado.

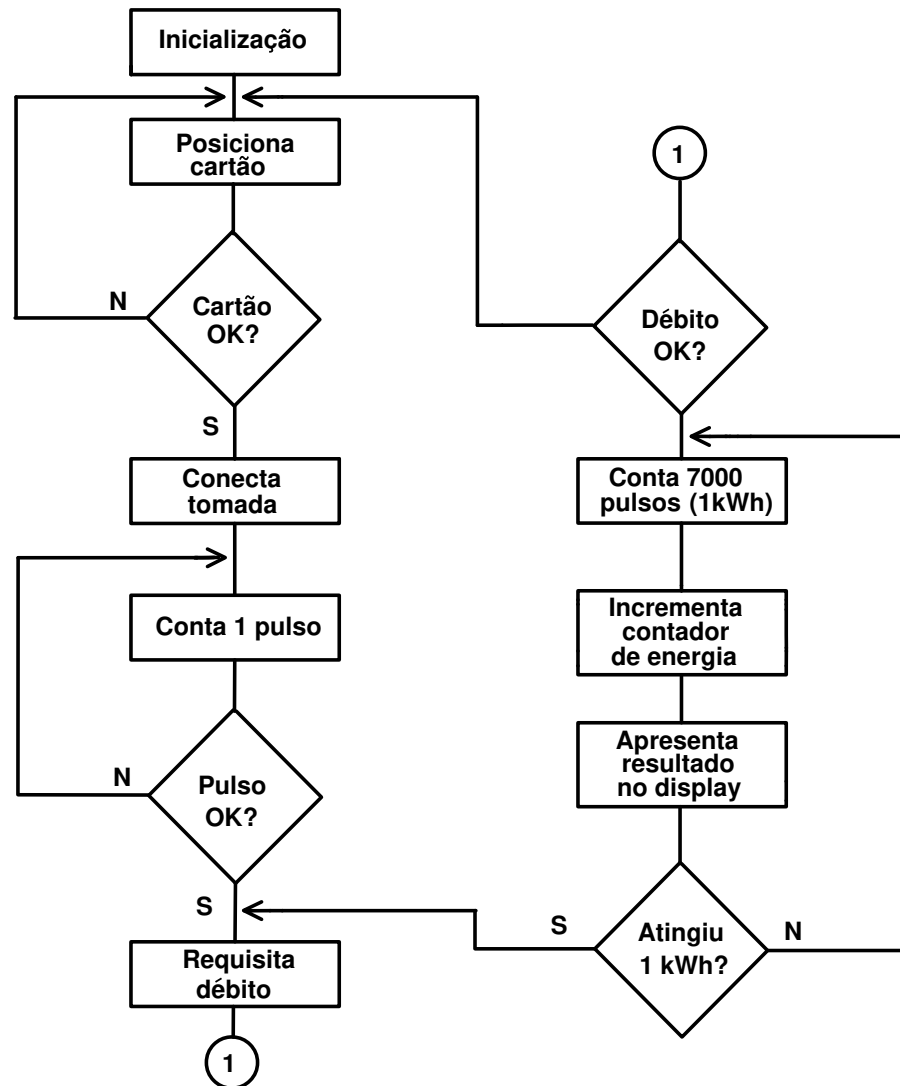


Fig. 3.30: Fluxograma da operação do Medidor Pré - Pago.

3.4 Montagem Final do Medidor pré-Pago

O equipamento completo, Figura 3.31, foi concebido de forma modular composta pelos seguintes blocos:

- Placa do Circuito Medidor;
- Placa de Controle;
- Placa da Fonte do Medidor;
- Placa da Chave de Energia;
- Leitora autônoma;

- Display, chave, tomada e LED.



Fig. 3.31: Foto do Medidor Pré - Pago.

Esta forma de implementação permitiu obter agilidade na construção e testes atendendo a premência de tempo colocada pelo patrocinador. Os blocos eram montados e testados independentemente das outras partes sem a necessidade de se refazer aquelas que já se encontravam em funcionamento, isto permitiu a evolução dos protótipos de maneira satisfatória e hoje se encontram em demonstração em uma unidade da AES Eletropaulo.

Caso os protótipos atendam às expectativas da operadora, projetos como o Medidor Pré-Pago para atender consumidores de baixa renda, poderão ser requisitados. De qualquer forma o próximo objetivo é implementar um equipamento que tenha seu custo reduzido mantendo as mesmas funções e precisão.

Para atender estas características o melhor é construir uma placa única contendo todos os blocos apresentados, com exceção da leitora. Uma sugestão é utilizar um processador que contenha todos os periféricos disponíveis.

Capítulo 4

Resultados e Discussões

4.1 Calibração do Medidor de Energia

A calibração do Medidor Pré-Pago divide-se em duas partes: a Calibração e Aferição.

Calibração

A calibração foi descrita no capítulo 2 item (2.4.7), neste protótipo optou-se por fixar a quantidade de pulsos em 70000/kWh. Para simplificar a calibração substituiu-se a rede resistiva um por potenciômetro (P1) e esta alteração já está implementada no diagrama da Figura 2.20.

A quantidade de 70000 pulsos foi estipulada apenas por comodidade de apresentação, já que não haveria problemas em assumir qualquer quantidade no projeto.

A Figura 4.1 mostra o “setup” desta etapa, nesta configuração utiliza-se uma carga de 100W, um voltímetro em paralelo e um amperímetro em série com esta carga para mostrar a potência consumida, estes equipamentos medem os valores de tensão e corrente RMS com 4 casas de precisão. Com a ajuda de um freqüencímetro colocado na saída CF do circuito, ajusta-se o valor do potenciômetro P1, Figura 2.20, para obter a freqüência calculada na Equação 4.1 que equivale a um consumo de 0,1kWh.

$$f_{CF_{max}} = \frac{7000}{3600} = 1,94Hz; \quad (4.1)$$

Aferição

Esta etapa consiste em deixar o equipamento ligado por 1 hora com a carga de 100 W, e colocar um contador na saída CF para verificar se realmente no período de uma hora foram contados 7000 pulsos.

Não há necessidade de utilizar uma carga precisa, porém ela deve ser estável durante o intervalo de tempo definido na aferição.

Caso a carga não seja exatamente a indicada na pré-calibração, deve-se utilizar uma simples regra de três para redefinir os parâmetros fornecidos pela Equação 4.2.

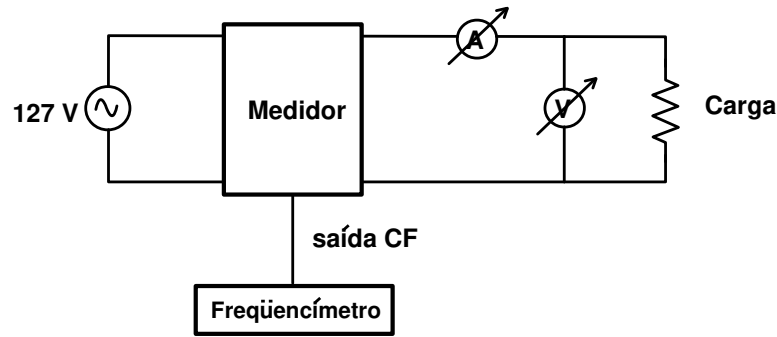


Fig. 4.1: “Setup” de calibração do medidor.

$$\text{Número de Pulsos} = \frac{\text{Valor da Carga[kW]} \cdot 7000}{0,01}; \quad (4.2)$$

Lembrando que a quantidade de pulsos já está definida em 7000 pulsos para uma energia consumida de 0,01kWh.

4.1.1 Método de aferição utilizado pela operadora de energia

As operadoras de energia dispõem de um contador ótico para aferir a calibração efetuada pelo fabricante de medidores, isto é realizado acoplando-se o sensor do contador a um LED colocado na saída CF e da mesma forma que a calibração apresentada no item anterior, coloca-se uma carga conhecida para que seja efetuar a aferição. Figura 4.2.

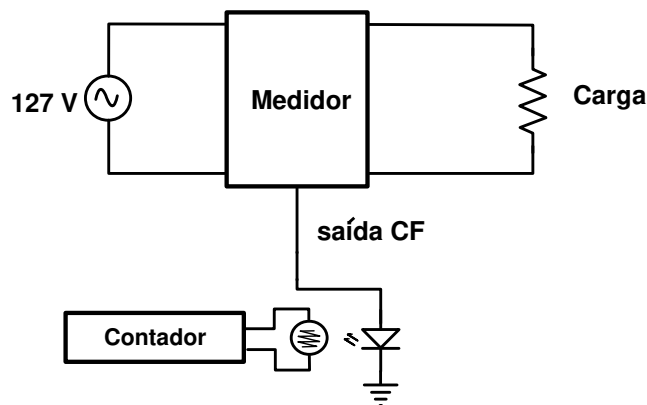


Fig. 4.2: Aferição da calibração.

4.2 Leitura e Débito do cartão Indutivo

Os resultados apresentados neste item referem-se aos osciladores da leitora matricial que são do tipo apresentado na Figura 3.13, onde os valores dos componentes do circuito tanque do oscilador são:

- $L1 = 1\mu\text{H}$;
- $C2 = 22\text{nF}$;
- $C3 = 1\text{nF}$;

A leitora matricial ainda dispõe de um arranjo, veja Figura 4.3, composto por um transistor (Q2) e um resistor R_{serie} de $47\ \Omega$, colocado em série com R2 ($15\ \Omega$), cujo objetivo é aumentar ou diminuir o nível de oscilação.

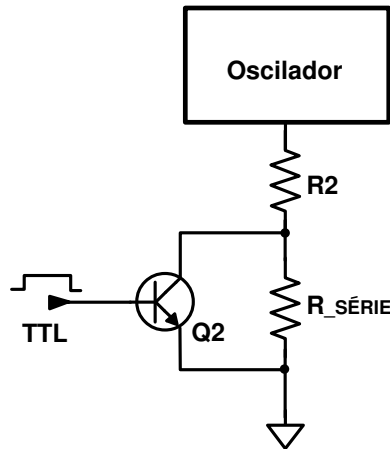


Fig. 4.3: Arranjo para aumentar o nível de oscilação.

Leitura

Para efetuar uma leitura o transistor Q2 funciona como uma chave aberta fazendo com que o oscilador trabalhe com R2 em série com R_{serie} , deste modo o nível de oscilação é menor não causando dano ao filete.

A Figura 4.4 apresenta um sinal obtido após a leitura de 12 espiras, onde duas já estavam com o filete rompido. Este sinal é coletado no diodo D2, Figura 3.13.

Débito

Para efetuar a ruptura do filete da espira de um cartão, conhecida também como débito, o transistor Q2 atua como uma chave fechada em paralelo com R_{serie} fazendo com que o oscilador opere apenas com R2, aumentando assim o nível de oscilação e conseqüentemente a energia transferida para espira.

A Figura 4.5 mostra um sinal do oscilador operando no modo débito. Pode-se observar que enquanto o filete está intacto o nível do sinal é mais baixo, conforme discutido no item 3.2.5, e no momento da ruptura a impedância refletida da espira é anulada melhorando o fator de qualidade e conseqüentemente o nível do sinal.

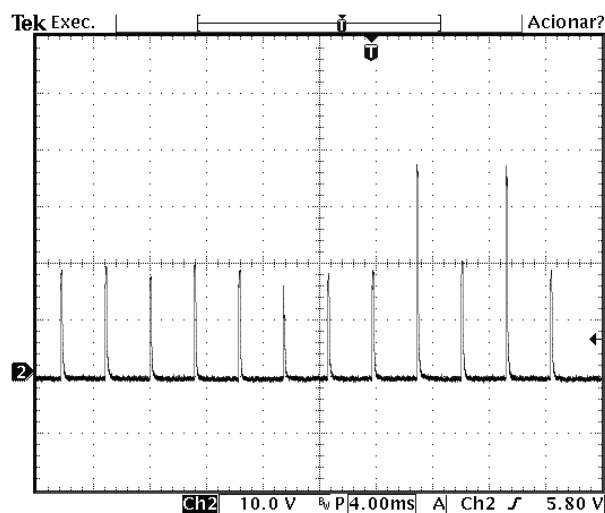


Fig. 4.4: Leitura de algumas espiras.

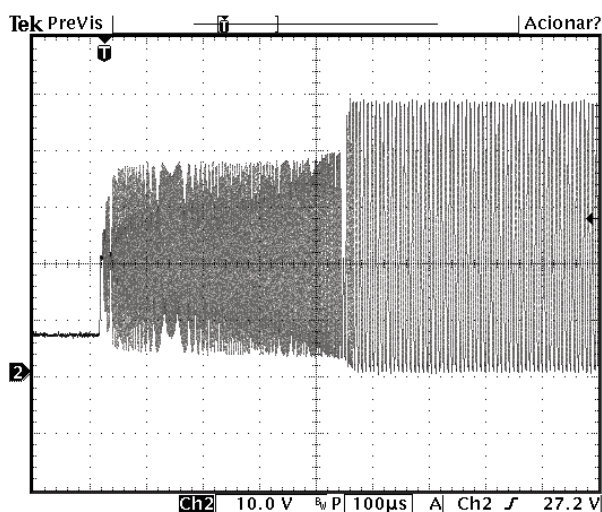


Fig. 4.5: Sinal do oscilador no modo débito.

4.3 Funcionamento do Protótipo

O maior resultado deste trabalho é o funcionamento do projeto como um todo incluindo o modo com que o equipamento se relaciona com o usuário. Foram montados dois protótipos e instalados em uma unidade da AES Eletropaulo, veja Figura 4.6. Os protótipos estão operando normalmente desde agosto de 2008 e o teste está servindo principalmente para fornecer dados que serão utilizados nas melhorias do projeto, tais como, disposição das interfaces com o usuário, tipos de informações apresentadas no display, altura para colocação do equipamento, tamanho da caixa, acréscimo de um dispositivo sonoro indicando o “status” do medidor, “manuseabilidade” do operador, etc.



Fig. 4.6: Medidor Pré-Pago instalado na Eletropaulo.

4.4 Sugestão para Calibração do medidor de Energia

O método utilizado pelas operadoras de energia obriga que um técnico coloque uma carga conhecida e faça um ajuste num componente do medidor até que o contador forneça o valor desejado.

O método sugerido necessita apenas que uma carga conhecida seja colocada no medidor durante um intervalo de tempo previamente especificado, o próprio medidor deve efetuar a contagem de pulsos e armazenar este valor. Esta quantidade de pulsos serve como unidade de energia consumida, por exemplo, se naquele intervalo de tempo o medidor consumiu 0,01kWh para uma quantidade de 700 pulsos, então toda vez que o medidor contar esta quantidade será equivalente ao consumo de 0,01kWh, ou seja, basta efetuar a operação apresentada na Equação 4.3 para se obter a energia total consumida em (kWh).

$$\text{Energia Consumida} = \frac{\text{Número de Pulsos Total}}{700} \cdot 0,01; \quad (4.3)$$

Este método abre a possibilidade do desenvolvimento de uma auto-calibração, o que aumentaria a confiabilidade do equipamento e traria considerável economia durante a manutenção obrigatória dos medidores.

Capítulo 5

Considerações finais

No que se refere à operação do sistema, a solução agradou bastante o financiador do projeto (AES Eletropaulo), porém questões de logística e tecnológicas, principalmente com relação ao tempo de carga da bateria, podem intimidar um investimento seguro neste produto.

O problema da logística se apresenta em relação aos postos de abastecimento do veículo e está estreitamente ligada ao tempo de carga, aproximadamente 8 horas. Isto pode inviabilizar a colocação deste produto diante das opções já existentes, tais como GNV, álcool e gasolina, que apesar de não se enquadrarem no quesito energia limpa, não apresentam problemas com relação ao tempo de abastecimento.

Com a perspectiva do lançamento no mercado de baterias de carga rápida [42, 43], pode haver um grande impulso e tornar viável a curto prazo esta opção de energia para utilização em veículos.

Este projeto é um dos indicadores que mostra o esforço que a concessionária está realizando em se antecipar no fornecimento de uma solução voltada à preservação do meio ambiente.

Sugestão de uma nova plataforma de cobrança

Uma opção para efetuar a cobrança da energia consumida, além do cartão indutivo, é o sistema conhecido como “off line” que é baseado em smart card. Este sistema está sendo utilizado em diversos setores, tais como, vale-refeição, abastecimento de combustível em frotas automotivas, cartão benefício para funcionários em algumas prefeituras, etc.

O termo “off line” faz contraposição ao termo “on line”, este último se refere a sistemas de transações eletrônicas conectadas em rede e que necessitam de uma autorização imediata para se concretizar a transação.

No caso do sistema “off line” existe um terminal, que não está conectado em rede, que serve como intermediário na transferência de créditos do cartão do cliente ou usuário para um cartão do dono do negócio que fica residente no terminal, no caso desta sugestão seria denominado de cartão do medidor, este cartão só é retirado do terminal para que seja efetuada a descarga de transações que foram realizadas. Toda segurança está baseada em protocolos e algoritmos de criptografia contidos nos smart cards.

Para efetuar a carga e descarga de informações nos cartões, a plataforma “off line” conta com leitoras ligadas a computadores, que acessam um servidor via internet. Basicamente estas leitoras servem para coletar as transações que já foram realizadas e estão armazenadas no cartão do medidor,

e também fornecem cargas de crédito para os cartões de usuários.

Para implementar esta opção é necessário uma adaptação do terminal “off line” no medidor de energia, o custo e prazo para o desenvolvimento praticamente seriam os mesmos utilizados no projeto do Medidor Pré-Pago, além disso existe uma infraestrutura para coleta e autorização das transações que pode ser adquirida no mercado ou desenvolvida na própria universidade. A Figura 5.1 apresenta um esboço do sistema “off line”.

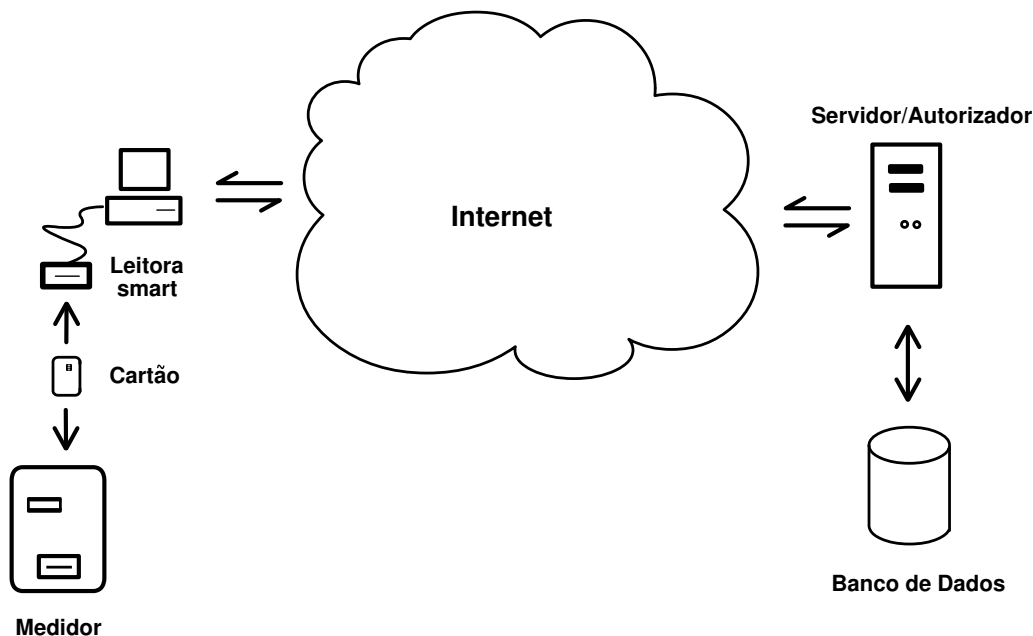


Fig. 5.1: Sistema “Off Line”.

A grande vantagem deste sistema é o rígido controle sobre o consumo de energia, as informações necessárias para este controle podem ser anexadas junto com as transações realizadas e ficam armazenadas no cartão do medidor até serem coletadas pelo servidor.

Projetos Futuros

A Eletropaulo já vinha demonstrando interesse na construção de medidores pré-pagos para utilização em residências de baixa renda. Os protótipos desenvolvidos neste trabalho mostraram-se bastante satisfatórios e com possibilidades de adaptação para que o valor final do equipamento, pois as leitoras do cartão indutivo ainda possuem valores elevados se constituindo no maior custo do equipamento, para esta aplicação, a nova plataforma de cobrança pode ser uma excelente opção já que não utiliza componentes especiais e podem ser encontrados no mercado.

Conclusão

Este trabalho é de investigação e mostra a viabilidade de produtos voltados a mercados diferentes, como é o caso do medidor e da leitora de cartões, estarem colaborando para a criação de um novo produto que deve contribuir para a nova ordem ditada na atualidade: preservação do meio ambiente.

Referências Bibliográficas

- [1] "Medidores inteligentes de energia para carregadores de baterias de veículos elétricos". Contrato AES Eletropaulo/Unicamp No. 4200002665, referente ao projeto ANEEL ciclo 2006/2007.
- [2] Michael Götz e Marcelo Linardi Hartmut Wendt. Tecnologia de células a combustível. *Química Nova*, v.23, 2000.
- [3] Fuel Cell Today. Informing the fuel cell industry. Página na internet. "<http://www.fuelcelltoday.com/index/>".
- [4] U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy. Página na internet. "<http://www.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/>".
- [5] U.S. Department of Energy. Fuel Cell Vehicles. Página na internet. "<http://www.fueleconomy.gov/feg/fuelcell.shtml>".
- [6] INEE. Instituto Nacional de Eficiência Energética. Página na internet. "<http://www.inee.org.br>".
- [7] Antonio Nunes Jr. Ações para acelerar o uso de veículos elétricos. *3o Seminário e Exposição de Veículos Elétricos*, 2005. São Paulo.
- [8] Eduardo Augusto Geraque. Perigo no ar. *Scientific American Brasil*, No. 54:p. 86–90, Nov/2006.
- [9] José A. dos Santos. Executive express. *I Seminário DENATRAN de Educação e Segurança no Trânsito*, Setembro - 2006. São Paulo.
- [10] Banco Central do Brasil. Glossário. Página na internet. "<http://www.bcb.gov.br/glossario.asp?id=GLOSSARIO&Definicao=163>".
- [11] David Marsh. Energy consumption demands electronic metering. *EDN Europe.*, pages 20–26, agosto 2005.
- [12] José Antenor Pomilio. Fator de potência e distorção harmônica. Página na internet, Unicamp. "<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap1.html>".
- [13] Paulo Henrique de Oliveira Lopes. Medidor de energia. Relatório técnico, Demic - Unicamp, Fevereiro - 2008. "<http://www.demic.fee.unicamp.br/>".

- [14] Etienne Moulin. Measuring harmonic energy with a solid-state. *Metering International*, is.3:68–70, 2003.
- [15] Etienne Moulin. Measuring reactive power in energy meters. *Metering International*, is.1:52–54, 2002.
- [16] Analog Devices. AD71056. Datasheet, Analog Devices, Inc., 2006. "http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD71056.pdf".
- [17] Analog Devices. AN559. Application Note, Analog Devices, Inc., 2000. "http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN559.pdf".
- [18] Analog Devices. ADE7757. Datasheet, Analog Devices, Inc., 2003. "http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7757.pdf".
- [19] Analog Devices. ADE7566. Datasheet, Analog Devices, Inc., 2001. "http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7116_7156_7166_7169_7566_7569.pdf".
- [20] Analog Devices. ADE7761B. Datasheet, Analog Devices, Inc., 2007. "http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7761B.pdf".
- [21] Analog Devices. AN679. Application Note, Analog Devices, Inc., 2003. "http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/81462932AN679_a.pdf".
- [22] Analog Devices. AN639. Application Note, Analog Devices, Inc., 2003. "http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/270563648643326429202575AN639_0.pdf".
- [23] Alan V. Oppenheim e Ronald W. Schaffer. *Digital signal processing*. Prentice-Hall, 1975.
- [24] Sangil Park. Principles of sigma-delta modulation for analog-to-digital converters. Relatório técnico, Motorola, 1990.
- [25] Analog Devices. ADE7116 - Single-phase energy measurement ic with 8052 mcu, rtc, and lcd driver. Datasheet, Analog Devices, Inc., 2008. "http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADE7116_7156_7166_7169_7566_7569.pdf".
- [26] Economia - UOL. Glossário financeiro. Página na internet. "<http://economia.uol.com.br/glossario/index-m.jhtm>".
- [27] Jean Mary Pirie. *Meios Eletrônicos de Pagamento - Anuário Brasileiro de 2009*. Empresa Latino Americana de Publicações (ELAP), 2009.
- [28] Wolfgang Rankl e Wolfgang Effing. *Smart card handbook*. JOHN WILEY, 2003.

- [29] CPQD. Cartão indutivo. Página na internet, Fundação CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações. "<http://www.cpqd.com.br/site/ContentView.php?cd=2819>".
- [30] Maria Rosa Sequeira de Velardez. . Processo de fabricação de cartões de débito indutivos. Patente - PI9105585, Fundação CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 1991.
- [31] Galvano. Cromação de plástico. Página na internet. "<http://www.galvano.com.br/cromplastico/cromplastico.htm>".
- [32] Atotech. Telecard metallization. Página na internet, Atotech - Deutschland GmbH. "<http://www.atotech.com/products/electronics/alternative-process-technologies/telecard-metallization.html#>".
- [33] Anatel. Página na internet, Agência Nacional de telecomunicações. "<http://sistemas.anatel.gov.br/>".
- [34] Paulo Takashi Moriya. Aperfeiçoamento introduzido no conjunto de sensores para cobrança de cartões de débito indutivos. Patente - PI9204434, Fundação CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 1992.
- [35] Jack Smith. *Modern Communication Circuits*. McGraw-Hill, 1986.
- [36] Kenneth C. Sedra, Adel S. e Smith. *Microeletrônica*. Pearson, 2007.
- [37] Integrated Publish. Colpitts oscillator. Página na internet. "<http://www.tpub.com/neets/book9/35e.htm>".
- [38] Manuel A. M. dos S. Pato e Antenor Capeli Jr. . Aperfeiçoamento introduzido em dispositivos de leitura e gravação de cartões de dados de tecnologia indutiva. Patente - PI9203968, Fundação CPqD - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações, 1994.
- [39] David Setya Atmaja . Mcs31 basic system development board. Página na internet. "http://www.geocities.com/dsa_projects/electronics/8031-ah/basic31_project.zip".
- [40] Associação de Rádio Amadores A.R.V.M. Transistores bipolares. Página na internet. "<http://www.arvm.org/exames/trasistor.htm>".
- [41] Keil. Embedded development tools. Página na internet, Keil - ARM Company. "<http://www.keil.com/>".
- [42] Paul Kallender. Toshiba develops fast-charging batteries. Página na internet, IDG News Service. "<http://pcworld.about.com/news/Mar302005id120234.htm>".
- [43] Serkan Toto . Toshiba showcases cannondale electric bike. Página na internet, Crunch Gear. "<http://www.crunchgear.com/2008/11/24/toshiba-showcases-cannondale-electric-bike/>".