



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



GILNEI JOSÉ GAMA DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE IDENTIFICAÇÃO
DE FIO FASE POR ANÁLISE TEMPORAL E DETECÇÃO DE
SINCRONISMO EM SISTEMAS TRIFÁSICOS**

Canoas, Julho de 2009



GILNEI JOSÉ GAMA DOS SANTOS

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE IDENTIFICAÇÃO
DE FIO FASE POR ANÁLISE TEMPORAL E DETECÇÃO DE
SINCRONISMO EM SISTEMAS TRIFÁSICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA
como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção
do grau de Engenheiro Eletricista

Departamento:

Engenharia Elétrica

Área de Concentração

Engenharia Elétrica

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian – CREA-RS: 88.866-D

Canoas

2009



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do Autor: Gilnei José Gama dos Santos

Matrícula: 031000267-8

Título: Desenvolvimento de um Dispositivo de Identificação de Fio Fase por Análise Temporal e Detecção de Sincronismo em Sistemas Trifásicos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Professor Orientador:

Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian

CREA-RS: 88.866-D

Banca Avaliadora:

Eng. Eletr. Mirian Caceres Villamayor

CREA-RS: 067231 - D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Eng. Eletr. Sílvio Longoni Debaco

CREA-RS: 079566

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Assinaturas:

Autor

Gilnei José Gama dos Santos

Orientador

Luis Fernando Espinosa Cocian

Avaliador

Mirian Caceres Villamayor

Avaliador

Silvio Longoni Debaco

Relatório Aprovado em:



DEDICATÓRIA

Dedico a aos meus pais e minha esposa...



AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao Professor Luis Fernando Espinosa Cocian pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado.

Aos colegas Arly, João Daniel e Daiana pelas sugestões e observações valiosas.

Aos Professores Miriam e Silvio pelas valiosas contribuições.



EPÍGRAFE

Somente aqueles que têm a coragem de caminhar

Podem viver todos os dias a esperança de um dia chegar ...



RESUMO

SANTOS, Gilnei. **DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE IDENTIFICAÇÃO DE FIO FASE POR ANÁLISE TEMPORAL E DETECÇÃO DE SINCRONISMO EM SISTEMAS TRIFÁSICOS**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2009.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um equipamento que rastreia fases de um sistema elétrico trifásico, buscando identificá-las entre si. O trabalho envolve o projeto de um hardware (conjunto de componentes eletrônicos) e a elaboração de um programa, que utiliza a linguagem C, implementado em um microcontrolador PIC.

O princípio da identificação está na análise temporal e no sincronismo das fases com o microprocessador. Através de uma interrupção criada pela passagem por zero volts, é iniciado um oscilador interno no PIC a uma frequência de 60 Hz, sincronizando com o fase de interesse.

Uma vez criada e acionada esta onda, com uma segunda leitura faz-se a comparação entre o sinal criado e o da nova leitura testando assim se coincidem ou não, uma vez que não coincidem, analisa-se a fase lida esta atrasada ou adiantada.

Palavras chave: Frequência. Fase. Equilíbrio. Carga. Identificador.



ABSTRACT

SANTOS, Gilnei. **DEVELOPMENT OF A DEVICE OF WIRE IDENTIFICATION PHASE FOR SECULAR ANALYSIS AND DETENTION OF SYNCHRONISM IN THREE-PHASE SYSTEMS.** Work of Conclusion of Course in Electric Engineering - Department of Electric Engineering. Luterana university of Brazil. Canoas, RS. 2009.

This work presents the development of an equipment that tracks phases of an three-phase electrical system, searching to identify them enters itself. The work involves the project of the hardware (joint of electronic components) and the elaboration of a program, that uses language C, implemented in a microcontroller PIC.

I begin it of the identification is in analyzes secular and in the synchronism of the phases with the microprocessor. Through an interruption created for the ticket for zero volts, is initiated an internal oscillator in the PIC to a frequency of 60 Hz, synchronizing with the interest phase.

A bred time and defendant this wave, with one second reading becomes it comparison between the signal bred and of the new reading thus testing they are coincided or not, a time that does not coincide, analyzes it phase deals this behind or advanced one.

Keywords: Frequency. Phase. Balance. Load. Identification.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 2-1 – A fase de um sinal sinusoidal periódico.....	19
Ilustração 2-2 – Dois sinais com uma diferença de fase relativa de Φ entre eles.....	20
Ilustração 2-3 – Fasor girante de comprimento A e velocidade angular ω	21
Ilustração 2-4 – Figura de Lissajous.....	23
Ilustração 2-5 - Figura Lissajous para dois sinais com frequência vertical.....	24
Ilustração 2-6 - Figura Lissajous com mesma frequência e várias diferenças de fase:.....	25
Ilustração 2-7 - Números Lissajous de dois sinais sincronizados.....	25
Ilustração 2-8 - Sinais obtidos com o método do zero-crossing.....	27
Ilustração 2-9 - Diagrama vetorial para determinar o ângulo, Φ	28
Ilustração 2-10 - Diagrama cruz de bobinas dispositivo de medição de fase.....	28
Ilustração 2-11 - Diagrama de bloco Vetor voltímetro.....	31
Ilustração 2-12 – Módulo transmissor e receptor.....	34
Ilustração 2-13 – Identificador de seqüência.....	35
Ilustração 2-14 – <i>LCI-E PLUS</i>	35
Ilustração 2-15 – <i>FC5000E</i>	36
Ilustração 3-1 – Descrição geral do sistema.....	37
Ilustração 3-2 – Função da parte analógica.....	38
Ilustração 3-3 – Esquemático do circuito analógico.....	38
Ilustração 3-4 – Esquemático do Circuito de auto-alimentação da parte analógica.....	39
Ilustração 3-5 – Esquemático do opto-acoplador 4N25.....	39
Ilustração 3-6 – Esquemático do circuito digital.....	40
Ilustração 3-7 – Hardware completo.....	41
Ilustração 3-5 – Planta de teste rede Vs gerador de função.....	41
Ilustração 3-9 – Esquemático de teste rede Vs gerador de função.....	42
Ilustração 3-10 – Planta de teste com a planta digital.....	42
Ilustração 3-11 – Fluxograma de funcionamento do dispositivo.....	44
Ilustração 3-12 – Fluxograma do software.....	45
Ilustração 3-13 – Comparação feita pelo software.....	46
Ilustração 4 -1 – Onda gerada através da rede elétrica.....	47
Ilustração 4-2 – Onda gerada através do gerador de função.....	48
Ilustração 4-3 – Conectores para acompanhamento.....	48
Ilustração 4-4 – Onda da rede Vs gerada pelo sistema.....	49
Ilustração 4-5 – Onda gerada pelo sistema Vs onda da rede.....	50
Ilustração 4-6 – Onda gerada pelo sistema Vs onda da rede.....	50
Ilustração 4-7 – Amostragem da precisão.....	51



LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 – universo das soluções	16
--	----



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC – ANALOGIC DIGITAL CONVERTOR

CRO – CATHODE-RAY OSCILLOSCOPE

FFT – FAST FOURIER TRANSFORMED

RC – CIRCUITO COMPOSTO POR RESISTOR E CAPACITOR



LISTA DE SÍMBOLOS

Hz – Hertz

V - Tensão

I – Corrente

F- Frequência



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Visão Geral do Problema	14
1.2	Formulação do Problema de Engenharia	14
1.3	Formulação do Problema Comercial.....	14
1.4	Estudos de mercado	14
1.5	Definição do Escopo do Projeto.....	15
1.6	Universo das Soluções	15
1.7	Justificativa Técnica e Econômica para a Solução Escolhida	16
1.8	Especificações Técnicas da Solução Escolhida	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Amplitudes, frequência, e fase de um sinal Sinusoidal	20
2.2	Técnicas de Medição de Fase.....	23
2.3	Principais Sistemas de Identificação de Fase.....	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Descrição Geral do Sistema	37
3.2	Descrição dos Sistemas Eletroeletrônicos.....	37
3.3	Descrição dos Sistemas Informáticos e Computacionais	43
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	47
4.1	Teste no circuito analógico.	47
4.2	Testes no circuito digital	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
6	REFERÊNCIAS.....	53
	OBRAS CONSULTADAS	54
	APÊNDICE A – CODIGO FONTE	55
	APÊNDICE B – CODIGO DE TESTES	59



1 INTRODUÇÃO

1.1 Visão Geral do Problema

Em instalações elétricas e linhas de distribuição, há uma necessidade de reconhecer os alimentadores, identificar as fases para ligação de motores e equilíbrio de cargas

1.2 Formulação do Problema de Engenharia

Desenvolver um sistema de identificação de fio fase de uma instalação ou linhas de distribuição de energia elétrica trifásica.

1.3 Formulação do Problema Comercial

Um equipamento com uso específico para identificar fase, é um investimento baixo, e com grande ganho de tempo para o eletricitista.

1.4 Estudos de mercado

Este equipamento será desenvolvido para atender o mercado onde os equipamentos existentes tornam-se inviáveis devido ao seu custo e sua não praticidade, o que torna possível esta implementação, é sua simplicidade construtiva e o número reduzido de funções.

1.4.1 Identificação dos Interessados

Concessionárias, empresas de manutenção em eletricidade e eletricitistas em geral.

1.4.2 Oportunidade de Negócios

- Empresas de produtos eletrônicos;



1.5 Definição do Escopo do Projeto

Este projeto tem como objetivo desenvolver um equipamento que identifique as fases de uma rede elétrica. Este equipamento deverá rastrear um fio fase, isto é, a partir de um ponto de referência identificar um condutor e reconhecê-lo em qualquer outro ponto da rede.

O reconhecimento das fases de um sistema elétrico tem como benefício a possibilidade de fazer um equilíbrio das cargas e auxiliar na instalação de motores trifásicos.

1.5.1 Objetivos Gerais

Desenvolver um dispositivo que a partir de um ponto de referencia, e de escolha fase de sistema trifásico consiga identificá-la em qualquer outro ponto da instalação.

1.5.2 Resultados Previstos

Um equipamento portátil de baixo custo que identifique as fases de uma instalação elétrica trifásica. A partir de um ponto de referencia, escolher a fase que se quer rastrear, sincronizá-lo com o equipamento e identificá-la num período de tempo de 1 minuto e ou 100 metros de distância.

1.6 Universo das Soluções

Para resolver o problema foram identificadas quatro soluções possíveis bem como seus pontos fortes e fracos. Conforme tabela 1.1. Pode-se observar que o acompanhamento físico que a principio parece ser bem simples conforme a situação é impossível, a segunda solução sugere a troca dos condutores por condutores em cores, o que teria um custo elevadíssimo e conforme o tipo de condutor não tem esta possibilidade. A terceira solução é interromper o fornecimento do condutor para que pela ausência de eletricidade distingue uns dos outros, o que pode causar perdas comerciais para a empresa ou para a concessionária mais os riscos inerentes a esta prática.

Nome da Solução	Descrição	
Acompanhamento físico	Acompanhar o “barramento” ou condutores para identificá-los.	
Identificação por Cores	Identificar por cores de sinalizadores ou por cor de fio	
Desconexão	Desconectar o condutor de interesse e reconhecer por ausência de tensão	
Identificador eletrônico	Equipamento que distingue por defasagem de tensão	
Nome da Solução	Pontos Fortes	Pontos Fracos
Acompanhamento físico	Nenhum custo	Em tubulações fica impossível acompanhar o condutor se os condutores tiverem enroscados.
Identificação por cores	Fácil identificação visual	Para troca de condutores custo elevado.
Desconexão		Interromper o fornecimento
Identificador eletrônico	Identifica em instalação que contem tubulações, um operador, custo baixo.	Possível imprecisão para um longo período

Tabela 1-1 – universo das soluções

A quarta solução que foi escolhida é desenvolver um equipamento que faça esta identificação sem precisar desconectar os condutores, nem fazer o re-condutoramento e mesmo assim conseguir identificá-lo em instalações aéreas, que passam por dentro de tubulações em um determinado trecho ou distância.

1.7 Justificativa Técnica e Econômica para a Solução Escolhida

As principais características que contribuíram para fazer esta escolha foi o baixo custo do equipamento a ser desenvolvido por se tratar de um sistema microprocessado, e apresentar vantagens tal como a sua praticidade por ser leve e portátil e de fácil utilização.

1.8 Especificações Técnicas da Solução Escolhida

O dispositivo deverá identificar os condutores em um sistema trifásico por no mínimo 1 minuto e/ou uma distância de 50 metros.



1.8.1 Características Técnicas:

- Identificador de Seqüência de Fase Trifásica;
- Identificador de Fase;
- Identificador de Cabos Energizados;
- Tensão de Operação: 127V a 220V AC;
- Frequência de Operação: 60Hz;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A noção de "fase" é geralmente associada com sinais periódicos ou de repetição. Com estes sinais, a forma de onda se repete perfeitamente a cada período. Para um sinal periódico pode-se pensar em fase como um ciclo completo. Este ciclo é normalmente expresso em graus ou radianos, o ciclo completo correspondente a 360° ou 2π radianos. Assim, quando o ciclo está apenas começando, a fase é igual a zero. Quando o ciclo está pela metade, a fase é a metade de 360° , ou 180° , conforme ilustração 2.1.

É importante notar que, fase é definida como a parte de um ciclo que se repete, dependendo do início do ciclo em que fase é tomada. Não existe nenhum acordo internacional sobre a forma de especificar este começo. Para um sinal sinusoidal, provavelmente as duas formas mais comuns para tomar o início do ciclo é (1) o ponto em que o valor máximo é atingido, e (2) o ponto em que ocorre a passagem por zero do negativo para positivo. A primeira hipótese é a mais comum em muitos tratamentos da fase teórica, mas para este trabalho será adotado a hipótese 2. Convém notar, ainda, que a hipótese (2) tem alguns benefícios a partir de uma medição, porque o cruzamento por zero é a posição mais fácil de medir do que no ponto máximo.

A medida da fase é importante em quase todas as aplicações onde existem ondas sinusoidais. Muitas destas medidas foram concebidas por este tipo de medição. Uma das técnicas mais óbvia é a de medição direta a partir da parte fracionária do período completo, em um CRO (cathode-ray oscilloscope). Outra abordagem, que é particularmente útil quando há uma quantidade significativa de ruído, é na transformada de Fourier do sinal. Segundo a teoria de Fourier, em um sinal sinusoidal, a energia está concentrada na frequência do sinal, o ponto inicial do sinal (ou seja, a fase de tempo, $t = 0$) é o ponto de concentração desta energia. As medições da fase inicial e frequência obtida a partir da transformada de Fourier podem, então ser utilizadas para inferir a fase do sinal para qualquer valor do tempo.

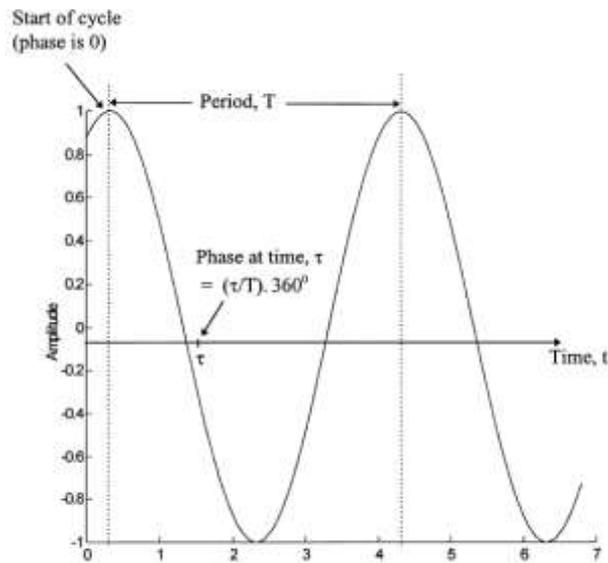
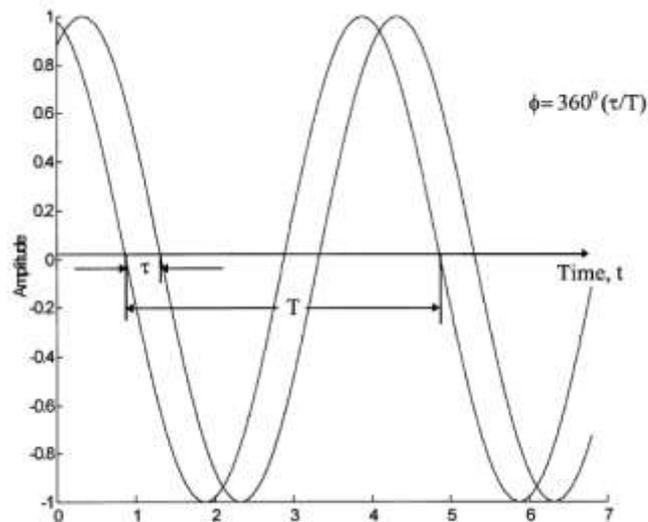


Ilustração 2-1 – A fase de um sinal sinusoidal periódico.

Normalmente o que se quer medir na prática, é uma medição da diferença de fase entre dois sinais da mesma frequência, ou seja, é necessário medir a relação entre as fases de dois sinais e não a medida absoluta de uma fase, conforme ilustração 2.2 . Muitas vezes, na medição da relação entre dois sinais de fase, os dois sinais são derivados a partir da mesma fonte. Estes sinais podem, por exemplo, através da corrente e tensão de um sistema de energia, fornecer ângulo e fase, Φ , entre as atuais tensões, então, a potência pode ser útil para a identificação, uma vez que a potencia é proporcional ao seno do ângulo Φ .

Várias técnicas estão disponíveis para a medição da fase. Um dos métodos é formando por "números *Lissajous* " em um osciloscópio. Neste método, o primeiro dos dois sinais de interesse é introduzido nas entradas verticais de um CRO e o outro é alimentado na entrada horizontal. O resultado na tela do osciloscópio é uma elipse, a interseção é usada para determinar a respectiva fase.

Outros métodos para a determinação da relação fase incluem a cruz de bobinas (com base nos princípios da indução eletromagnética), o cruzamento da fase por zero (com base na mudança de sinal determina-se a posição e o período da fase), outro método é a utilização de três voltímetros (baseado na utilização de três sinais trigonometricamente relacionamentos) e métodos digitais (com base no processamento digital através da conversão do sinal analógico para digital,).

Ilustração 2-2 – Dois sinais com uma diferença de fase relativa de Φ entre eles.

2.1 Amplitudes, frequência, e fase de um sinal Sinusoidal

Um sinal sinusoidal arbitrário pode ser representado pela seguinte fórmula:

$$s(t) = A \cos(2\pi f t + \phi) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.1)$$

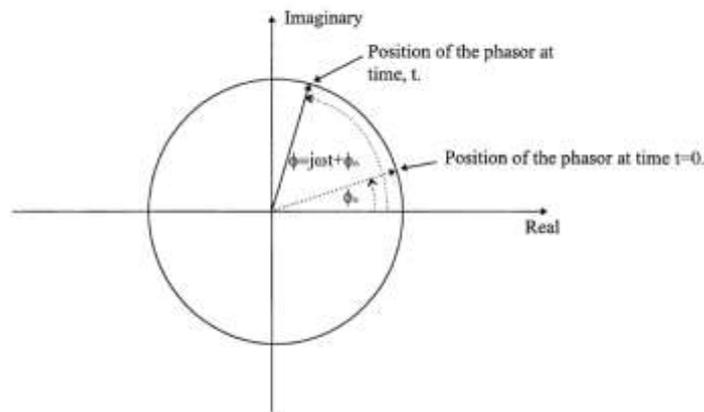
f = frequência
 ω = frequência angular
 Φ = fase no tempo $t = 0$

Este sinal pode ser tido como a parte real de um fasor complexo que tenha a amplitude, A , e que gira em uma velocidade angular constante $\omega = 2\pi f$ no plano complexo conforme ilustração 2.3. Matematicamente, então, $s(t)$ pode ser escrito como:

$$s(t) = \Re\{Ae^{j2\pi f t + \phi_0}\} = \Re\{z(t)\} \quad (2.2)$$

onde $z(t)$ é o fasor complexo associado com $s(t)$, e $\Re\{\cdot\}$ denota a divisória real. A fase de um sinal em qualquer momento corresponde a o tempo e ao ângulo de rotação do fasor em relação a eixo real.

A fase inicial (isto é, a fase no tempo $t = 0$) é Φ_0 . A frequência f do sinal é $1/2\pi$ da velocidade angular dos fasor.

Ilustração 2-3 – Fasor girante de comprimento A e velocidade angular ω

Existem várias maneiras de definir a fase de uma onda sinusoidal real sem conhecer a amplitude, frequência e o ponto inicial da fase. Uma forma, como já foi discutida, é a defini-la como a parte fracionária do período em que tiver sido concluída. Esta é uma definição válida e intuitivamente agradável, e uma definição que pode facilmente ser generalizado para sinais periódicos que contêm não só uma senoide, mas também certo número de harmônicos. Não pode, no entanto, ser generalizada para permitir atenuar as variações na frequência do sinal. Gabor apresentou em 1946 uma definição que pode ser utilizado para sinais com pequena variação da frequência. (1) Ele propôs uma definição matemática para a geração do fasor complexo, $z(t)$, associado o sinal real, $s(t)$. O chamado sinal analítico $z(t)$ é definido de acordo com a seguinte definição:

$$z(t) = s(t) + j\mathcal{H}\{s(t)\} \quad (2.3)$$

onde $\mathcal{H}\{ \}$ denota a transformada Hilbert e é dada por:

$$\mathcal{H}\{s(t)\} = p. v. \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(t-\tau)}{\pi\tau} d\tau \right] \quad (2.4)$$

Com P.V. significando o valor principal da integral de Cauchy.

A parte imaginária do sinal analítico pode ser gerada passando o sinal original através de um filtro. Das Equações 2.3 e 2.4, segue-se que este filtro tem resposta ao impulso dado por $1/\pi t$. O filtro pode ser aplicado, por exemplo, com uma das HSP43xxx série de ICs da Harris Semicondutores.



Após ter definido formalmente o sinal analítico, é possível fornecer definições de fase, frequência, e amplitude em função do tempo. Elas são dadas a seguir.

$$\text{Fase: } \phi(t) = \arg \{z(t)\} \quad (2.5)$$

$$\text{Frequência: } f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d[\arg \{z(t)\}]}{dt} \quad (2.6)$$

$$\text{Amplitude: } A(t) = \text{abs}[z(t)] \quad (2.7)$$

As definições de fase, frequência e amplitude podem ser utilizadas para sinais cuja frequência e/ou amplitude variam pouco com o tempo. Se a frequência e amplitude variam com o tempo, é comum falar sobre a " frequência instantânea " ou "amplitude instantânea" em vez de frequência ou amplitude.

Note que no sinal analítico, a parte imaginária defasada da parte real em 90°. Esta propriedade não é válida somente para sinusoides, mas para a parte real e imaginária de todas as componentes de frequência e também sinais analíticos. A parte real e imaginária do sinal analítico, em seguida, corresponde ao "em fase (I)" e "quadratura (Q)" componentes utilizados nos sistemas de comunicações.

Em uma situação de equilíbrio da rede de distribuição de energia elétrica trifásico, o sinal analítico pode ser gerado combinando as diferentes saídas da energia elétrica, isto é, pode ser formado de acordo com a equação (2.8) onde $v_a(t)$ = Referência fase $v_b(t)$ = fase que conduz a referência de 120 ° .

$v_c(t)$ = Fase defasamentos que a referência de 120 °

$$z(t) = v_a(t) + \frac{j}{\sqrt{3}} [v_c(t) - v_b(t)] \quad (2.8)$$

2.2 Técnicas de Medição de Fase

Serão abordadas algumas das técnicas mais utilizadas para medição de fase e frequência em sistemas elétricos.

2.2.1 Método direto Osciloscópio

Osciloscópios de raios catódicos (CROs), proporcionam um meio simples para medir a diferença de fase entre dois sinais sinusoidais. A abordagem mais simples é usar a medida direta, isto é, o sinal de interesse é aplicado à entrada vertical do (CRO) e um tempo varredura automática é aplicada a o traço horizontal. A diferença de fase é dado tempo entre as duas ondas medido como uma fração do período.

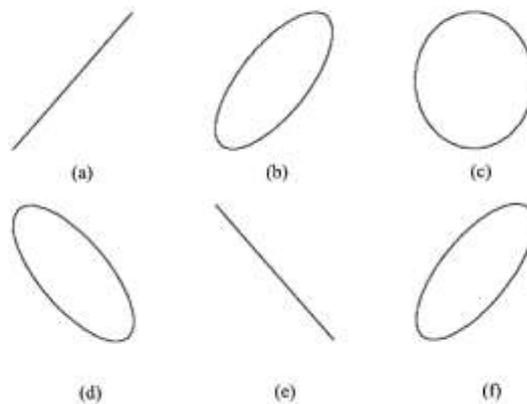


Ilustração 2-4 – Figura de Lissajous

Para sinais de amplitudes iguais e frequências sincronizadas com uma diferença de fase relativa (a) 0, (b) $\pi/4$, (c) $\pi/2$, (d) $3\pi/4$, (e) π , (f) $-\pi/4$;

O resultado é expresso como uma fração de 360° ou de 2π radianos, isto é, se o tempo atraso é de $1/4$ do período e, em seguida, diferença de fase é de $1/4$ de $360^\circ = 90^\circ$ conforme ilustração 2-4. Se as ondas sinusoidais não são periódicas, o mesmo procedimento pode ser aplicado. Diferença de fase é apenas expressa como uma fração do período, ou como uma parte fracionária de 360° .

Cuidados devem ser tomados com osciloscópio com o método direto se houver ruídos. Em especial, o ruído pode aumentar as dificuldades em determinar com precisão o período e/ou o tempo entre dois tipos de ondas. A opção "*HF reject*", se estiver disponível, vai diminuir o problema.

2.2.2 Figuras “Lissajous”

Números *Lissajous* são muitas vezes utilizados para a medição da fase. Eles são produzidos em um osciloscópio, conectando um sinal para o traço vertical e as outras para o traço horizontal. Se a razão do primeiro sinal de frequência para a segundo é um número e , em seguida, uma curva fechada será observada no CRO (ver ilustrações 2-4 e 2-5). Se as duas frequências são independentes e , em seguida, haverá apenas um sinal de luz observado na tela do osciloscópio. Se os dois sinais têm a mesma frequência, então o valor *Lissajous* assumirá a forma de uma elipse.

A elipse formada irá variar de acordo com a diferença de fase entre os dois sinais, e de acordo com a diferença entre as amplitudes dos dois sinais. A Ilustração 2.6 mostra alguns números para dois sinais sincronizados com frequência e amplitudes iguais, mas diferentes fases. A fórmula utilizada para determinar a fase é a seguinte: (2.9) onde H é a metade da altura máxima vertical da elipse e Y é a intersecção no eixo y .

$$\sin \phi = \pm \frac{Y}{H} \quad (2.9)$$

Note que é necessário saber a direção em que o tracejado de *Lissajous* está se movendo, a fim de determinar o sinal da diferença de fase.

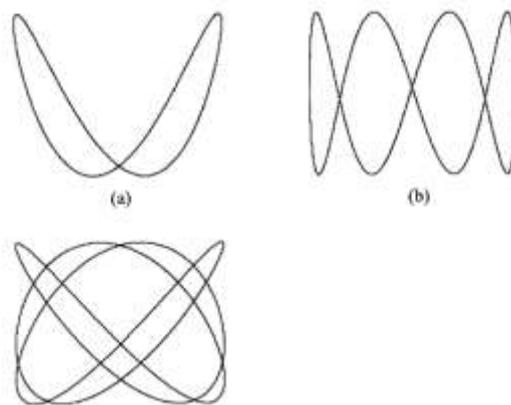


Ilustração 2-5 - Figura Lissajous para dois sinais com frequência vertical

Relações da frequência horizontal (a) de 2:1, (b) 4:1, (c) 4:3. Na prática, se este sinal não for conhecido primeiro, então pode ser determinada por meio de testes com uma frequência variável de um gerador de sinal. Neste caso, um dos sinais em questão passa a ter o sinal frequência variável. O

gerador de sinais é ajustado até que a sua frequência e fase sejam igual a do outro sinal de entrada do (CRO). Quando isso acontecer, irá aparecer uma linha reta.

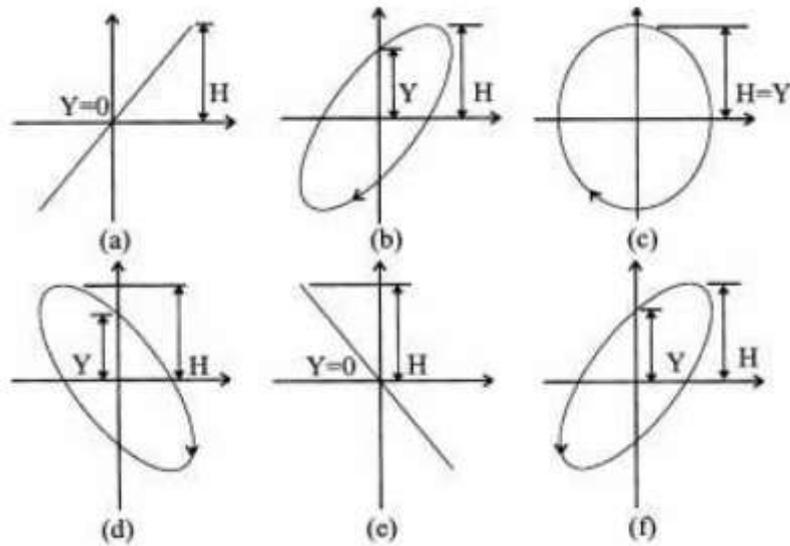


Ilustração 2-6 - Figura Lissajous com mesma frequência e várias diferenças de fase:

Note que (a) Diferença de fase = 0° , (b) diferença de fase = 45° , (c) diferença de fase = 90° , (d) diferença de fase = 135° , (e) diferença fase = 180° , (f) diferença de fase = 315° . Isto pode ser usado determinar o sinal correto sendo efetivamente mudado na equação (2.9).em uma conhecida direção.

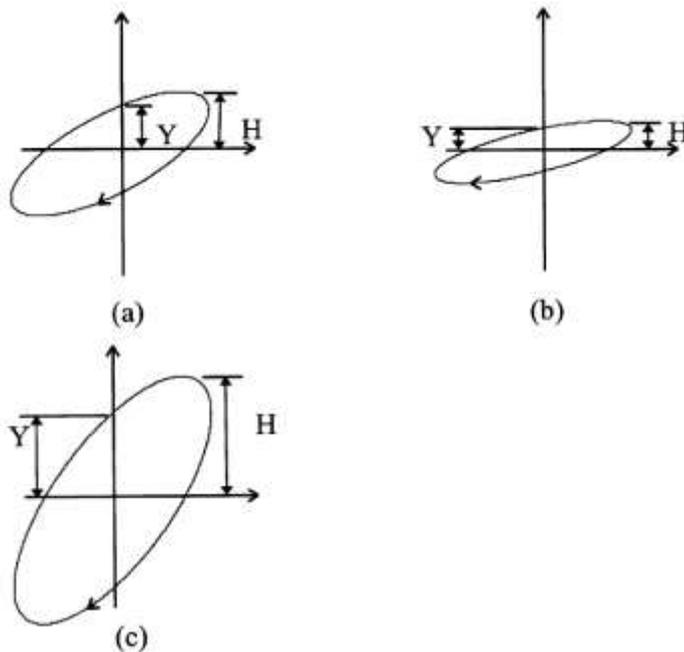


Ilustração 2-7 - Números Lissajous de dois sinais sincronizados



A ilustração acima possui dois sinais sincronizados com a frequência, uma diferença de 45° fase, diversas proporções de amplitude: (a) proporções amplitude de 1, (b) proporções amplitude de 0,5, (c) relação de amplitude 2.

Os métodos das figuras *Lissajous* são um pouco mais robustos do que os métodos direto pelo osciloscópio. Isto é porque não existem problemas devido aos ruídos aleatórios e flutuações. Métodos diretos são, no entanto, muito mais fácil de interpretar quando os harmônicos estão presentes. A precisão dos métodos de osciloscópio é comparativamente pobre. A incerteza da medição é normalmente de 1° .

2.2.3 Método *Zero-Crossing* (passagem por zero)

Este método é atualmente um dos mais populares métodos para a determinação da diferença de fase, em grande parte devido à alta precisão alcançável (normalmente $0,02^\circ$). O processo é mostrado na ilustração 2-8 por dois sinais, denotados A e B, que têm a mesma frequência, mas diferentes amplitudes. Cada passagem por zero do negativo para positivo de um sinal começa o início de um pulso retangular, enquanto que cada passagem por zero do negativo para positivo de sinal B aciona o fim do pulso retangular. O resultado é um trem de pulso com uma largura de pulso proporcional a o ângulo de fase entre os dois sinais.

O trem de pulso passa por um filtro de rendimento médio de uma medida da diferença de fase. Também é interessante notar que se a passagem por zero do positivo para negativo também é utilizada da mesma forma, e os dois resultados são calculados, os efeitos dos ruídos e dos harmônicas podem ser significativamente reduzidos.

Para implementar o método na prática, os sinais de entrada analógica devem primeiro ser convertidos para sinais digitais que são "alto" se o sinal analógico é positivo, e "baixo", se o sinal analógico é negativo. Isto pode ser feito, por exemplo, com um gatilho Schmitt, juntamente com uma rede RC (associação de resistor e capacitor) instalados na saída.

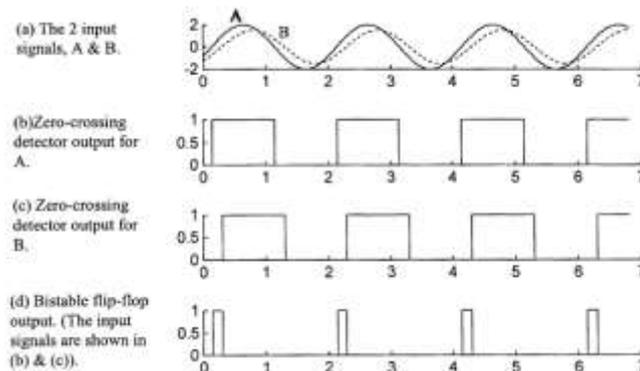


Ilustração 2-8 - Sinais obtidos com o método do zero-crossing

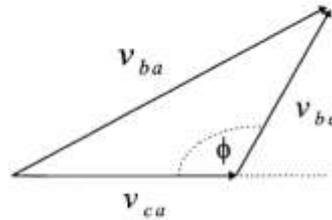
Observa-se que a técnica não é sensível à amplitude do sinal. A parte digital do dispositivo de passagem por zero pode ser implementado com um *edge-triggered-RS*, *flip flop* e alguns circuitos auxiliares, enquanto que a etapa do filtro passa-baixa na saída pode ser implementada com uma rede RC.

Um método mais simples para medir a fase baseado em passagem por zero envolve a utilização de uma (XOR). Novamente, os sinais de entrada analógica devem primeiro ser convertido para o sistema digital em forma de trem de pulso. As duas entradas são então inseridas em uma XOR, e finalmente, em um filtro passa-baixa. A desvantagem com esse método é que ele só é eficaz se o ciclo é de 50% e se o defasamento entre os dois sinais está entre 0 e π radianos. Assim, não é amplamente utilizado.

2.2.4 Método dos três voltímetros

A medição da diferença de fase entre dois sinais de tensão, VAC, e VBC, pode ser obtida se há um ponto comum de tensão, c. A tensão entre os pontos b e um (VBA), a tensão entre os pontos b e c (VBC), bem como a tensão entre os pontos C e uma (VCA) são medidos com três diferentes voltímetros. Um diagrama vetorial é construído com os três, para medir tensões como mostrado na ilustração 2-9. Diferença de fase entre os dois vetores, VAC e VBC, é determinada através de um diagrama vetorial (ilustração 2.9) e regra do cossenos. A fórmula para a diferença de fase, Φ , em radianos é dada por:

$$\Phi = \cos^{-1} \left(\frac{v_{ca}^2 + v_{bc}^2 - v_{ba}^2}{2v_{ca}v_{bc}} \right) \quad (2.10)$$

Ilustração 2-9 - Diagrama vetorial para determinar o ângulo, Φ

2.2.5 O Método *Crossed-Coil*

O método por cruzamento de bobina, cerne de muitos medidores analógicos de fator de potência. Este medidor possui duas bobinas cruzadas, denotada A e B, posicionado sobre um eixo comum, mas alinhados em ângulos diferentes conforme abaixo.

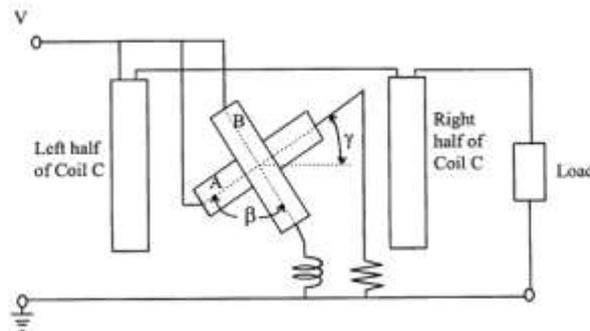


Ilustração 2-10 - Diagrama cruz de bobinas dispositivo de medição de fase.

As duas bobinas A e B movem-se juntas, e o ângulo entre eles nunca muda. Existe outra bobina independente bobina, C, constituído por duas partes distintas, (conforme ilustração2-10). A separação de bobina C em duas partes distintas (formando o par Helmholtz) que permite o campo magnético da bobina C, ser quase constante na região onde a rotação A e B bobinas estão posicionados.

Normalmente a corrente do sistema, I , é alimentada na bobina C, enquanto o sistema de tensão, V , é aplicada a bobina A através de um circuito resistivo. A corrente na bobina A é, portanto, em fase com o sistema de tensão, enquanto que a corrente na bobina C está em fase com a corrente do



sistema. A bobina B é impulsionaada pela tensão através de um circuito indutivo, dando origem a uma corrente que defasa de 90° , da tensão (e, portanto, também a corrente na bobina A).

Na prática, o ângulo entre as correntes nas bobinas A e B não é bem 90° devido a problemas associados à realização puramente resistivos e circuitos puramente indutivo. Suponhamos, então, que este ângulo é β . Se o ângulo entre as correntes na bobina B e C é Φ , em seguida, o ângulo entre as correntes nas bobinas A e C é $\beta + \Phi$. O torque médio induzida na bobina A é proporcional ao produto da média das correntes nas bobinas A e C, e ao valor seno do ângulo entre a bobina A e C. O torque médio induzido dentro bobina A é portanto, regida pela equação:

$$T_A \propto I_A I_C \cos(\phi + \beta) \cos(\gamma) = k_A \cos(\phi + \beta) \cos(\gamma) \quad (2.11)$$

Onde:

I_A e I_C = constantes

ω = frequência angular

$\Phi + \beta$ = a fase relativa entre as correntes bobina dentro A e C

γ = ângulo da corrente da bobina A a perpendicular para bobina C

\propto = significa "é proporcional a"

Supondo que a corrente da bobina B esta atrasada β em relação a corrente dentro bobina A, então o torque médio na bobina B será descrito por:

$$T_B \propto I_B I_C \cos(\phi) \cos(\gamma + \beta) = k_B \cos(\phi) \cos(\gamma + \beta) \quad (2.12)$$

Onde I_B é uma constante, Φ , é o ângulo relativo entre as correntes nas bobinas B e C, e os outros símbolos mesmos da equação (2.11). Agora, os torques devido às correntes dentro das bobinas A e B estão projetado para estar em sentidos opostos, o eixo girará conseqüentemente até que os dois torques estejam iguais; isto é, até:

$$K_A \cos(\phi + \beta) \cos(\gamma) = k_B \cos(\phi) \cos(\gamma + \beta) \quad (2.13)$$

Se $k_A = k_B$, a equação (2-13) será satisfeita então quando $\Phi = \gamma$. Assim, a uma bobina será alinhado na direção do defasamento entre a carga e a corrente de carga de tensão (com exceção de erros devido aos circuitos das bobinas cruzadas não serem perfeitamente resistivas e ou indutivo).



Assim, um ponteiro do medidor anexado ao pino vai indicar o ângulo entre a corrente de carga e tensão.

Na prática, o contador é normalmente calibrado para ler o seno do ângulo de fase e não o ângulo de fase, e também para permitir que os erros que possam surgir a partir das imperfeições dos componentes do circuito. A precisão deste método é limitada, devido ao uso de circuitos analógicos ajustáveis. Normalmente, a medida só pode ser feita com uma precisão de cerca de 1° .

2.2.6 Método Lâmpada de Faseamento do Sincronoscópio

O Método de medição por bobinas descrito acima é utilizado como base para a sincronoscópios. Estes dispositivos são freqüentemente utilizados em sistemas de energia elétrica para determinar se dois geradores são sincronizados em fase e freqüência antes de conectá-los.

Se os dois geradores estão sincronizados em freqüência, então a agulha do medidor se moverá para a posição correspondente para o ângulo de fase entre os dois geradores. Se os geradores não tem a freqüência sincronizados, a agulha do medidor irá rodar a uma faixa igual à diferença entre as duas freqüências. A direção da rotação do gerador irá indicar que está em rotação mais rápida. Quando a sincronização da freqüência ocorre (isto é, a rotação da agulha do medidor cessa), e a diferença de fase é igual a zero, os geradores podem ser conectados juntos.

Muitas vezes, na prática, os geradores estão ligados antes de sincronização ocorrer, o gerador que vem em linha é deliberadamente elevado a freqüência um pouco, de modo que ela pode fornecer mais energia em vez de ser um dreno no sistema. A conexão ainda é feita, no entanto, quando a diferença a fase instantânea é igual a zero. O faseamento por luzes são por vezes utilizados como uma alternativa mais simples para os sincronoscópios. Uma lâmpada está ligada entre os dois geradores, e qualquer falta de sincronização da freqüência o dispositivo se manifesta com o acender da lâmpada. A diferença entre o zero das fases dos dois geradores corresponde a um máximo de brilho na lâmpada.

2.2.7 Métodos de medição por Vetor Impedância e Vetor de Voltímetros

Tensões (e correntes) alternadas são freqüentemente caracterizadas como vetores constituídos por uma magnitude e uma fase, com a fase a ser medidos em relação a alguns ponto de referência. Existem muitos instrumentos que podem exibir a tensão de amplitude e fase de um sinal de uma vasta gama de freqüências. Estes instrumentos são conhecidos como vetor voltímetros ou rede analisadora.

A amplitude de fase em função da freqüência podem ser obtidas, em princípio, de forma simples, tomando a transformada de Fourier do sinal e a simples leitura da amplitude de fase em todo

o percurso de frequências. Para alcançar uma boa precisão, isto é normalmente feito com uma conversão. A conversão pode ser analógica, ou pode ser digital. O procedimento é descrito mais plenamente nos próximos parágrafos.

Para determinar a parte real do vetor tensão em uma dada frequência f , o sinal é convertido primeiramente misturando com um sinal local do oscilador, cosseno ($2\pi ft$). Esta mistura do sinal centra novamente a frequência do componente de interesse em 0 hertz.. O sinal resultante é filtrado por um passa-baixa, digitalmente amostrado (se não estiver no domínio já digital). As amostragens digitais permite que a amplitude média do recém formado componente 0 Hz sejam avaliados.

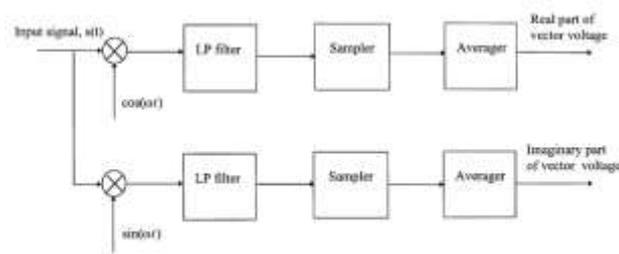


Ilustração 2-11 - Diagrama de bloco Vetor voltímetro.

A parte imaginária é obtida no mesmo estilo, misturando o sinal com o seno ($2\pi ft$), fazendo a filtragem digitalmente da amostragem por um passa baixo, e calculando a média das amostras.

A amplitude e fase da tensão vetor, V , são obtidos a partir das partes reais e imaginárias, usando-se as relações trigonométricas: (2.14) (2.15) em que $\Re(\cdot)$ e $\Im(\cdot)$ Denotar a partes reais e imaginárias, respectivamente

$$\text{Magnitude} = \text{Abs}(V) = \sqrt{[\Re\{V\}]^2 + [\Im\{V\}]^2} \quad (2.14)$$

$$\text{Fase} = \arg(V) = \arctan(\Im\{V\}/\Re\{V\}) \quad (2.15)$$

O processo para formar o vetor tensão está resumido no diagrama de blocos na (ilustração 2-11). O vetor voltímetro determina a tensão (amplitude e fase ou partes real e imaginária) da componente do sinal de entrada em frequência f . Em que na prática, a conversão pode ser realizada em mais de uma etapa. Para sinais de alta frequência, por exemplo, a primeira fase poderia transferir uma grande banda de frequências para uma região áudio, onde mais esta conversão é utilizada. Alternativamente, a primeira fase poderia transferir uma faixa de frequências para a frequência da banda intermediária (IF), e numa segunda fase para a banda de áudio.

2.2.8 Medições com Instrumentos padrão

Para medições e calibrações de fase em alta precisão, instrumentos podem ser utilizados. Estes instrumentos fornecem duas saídas de sinal sinusoidal, cuja diferença de fase pode ser controlada com grande precisão. Eles normalmente usam sincronismo por cristal controlado digitalmente para comparar dois sinusóides independentes com uma variável definida pelo usuário. O *Clarke-Hess 5500 Fase Digital Standard* é um destes instrumentos.

Por padrão, os sinusóides podem ter frequências variando de 1 Hz a 100 kHz, enquanto amplitudes podem variar entre 120 V e 50 mV rms. A fase pode ser configurada com uma resolução de 0,001°, com uma precisão de cerca de 0,003°.

2.2.9 O Método da transformada de Fourier

Este é um método em que praticamente todo o processamento no domínio digital é feito. Funciona sobre o código de pulso modulada (PCM) de amostras de um sinal digital. Este e outros métodos semelhantes são muito promissores meios de medição fase. Isso é por causa da revolução digital que se traduziu em ser mais barato, rápido, preciso e altamente versátil processador de sinal digital (DSPs). Estes últimos são pequenos chips computador capaz de realizar rápidas adições e multiplicações, e que pode ser programado para emular eletrônico convencional funções como a filtragem, codificação, modulação, etc Eles também podem ser programados para executar uma ampla variedade de funções que não é possível com circuitos analógicos.

Até o final da década de 1980, a medição digital era limitada pela relativa imprecisão das conversões analógica para digital (A/D), processo de conversão necessário antes do processamento digital. A evolução no início de 1990, no entanto, viu a introdução da sobre-amostragem de analógico para conversores digitais (ADCs), que pode atingir precisão de cerca de uma parte em 100.000. os ADCs, bem como chips DSP estão agora executando conversões fielmente em a alta velocidade.

O método da transformada de Fourier (FFT), as amostras do sinal digital, são transformadas com uma FFT. Se o sinal é sinusoidal, a fase inicial é estimada como o valor da fase em que a transformada de Fourier é maximizada. A frequência do sinal é estimada como esse valor da frequência onde a transforma o Fourier é maximizada. Uma vez que as medidas da frequência f e fase inicial Φ foram obtidos a fase em qualquer momento podem ser calculados de acordo com:

$$\phi = 2\pi ft + \phi_0 \quad (2.16)$$

Uma importante questão prática na medição da frequência e da primeira fase, com uma FFT surge porque a amostra da transformada de Fourier não produz uma curva contínua. É possível por este motivo que a máxima da transformada de Fourier estar entre amostras da FFT. Para a medição da frequência e fase inicial serem precisas,, é necessário interpolar entre as amostras FFT. O método da FFT é interessante quando existe um ruído significativo, porque, não são apresentando na amostragem os componentes harmônicos

2.3 Principais Sistemas de Identificação de Fase

Os equipamentos escolhidos para apresentar são três patentes e três produtos comerciais que têm a finalidade de identificar as fases de um circuito elétrico.

2.3.1 Produtos patenteados

➤ **Patente nº MU7901355-4¹**

Equipamento de identificador de fases: descreve-se a presente patente como um equipamento identificador de fases, aplicável em sistemas trifásicos de distribuição de energia elétrica de baixa tensão onde se tenha as linhas de neutro e três de fases de cento e vinte e sete volts em corrente alternada e sessenta hertz. A presente patente consiste no emprego de um equipamento identificador de fases constituído por um módulo transmissor (TX) (1) e um receptor (RX) (8) que coletam dados e informações na rede distribuição trifásica de baixa tensão (cento e vinte e sete volts em corrente alternada e sessenta hertz), processa-os identificando as fases em qualquer ponto da rede que esteja no alcance do módulo transmissor (1).

➤ **Patente nº PI8801393-6²**

Sistema e processo para identificação da fase de condutores em um circuito elétrico: propõe um sistema para identificação da fase (A,B e C) de condutores em circuitos elétricos, em localizações de junções, a despeito do fato dos condutores estarem ou não conectados à terra. O sistema

¹ Nome do Depositante: Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento - LACTEC (BR/PR).
Nome do Inventor: João Adalberto Pereira e Ivan Jorge Chueiri.

² Nome do Inventor: Bertrand Boucher.
Nome do Procurador: Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira.

compreende dois geradores independentes conectáveis a condutores de fase através de acoplamento eletromagnético, e em qualquer localização disponível ao longo de tais condutores, é gerado sinais de áudio diferentes. O receptor é conectado aos condutores de fase, em localizações selecionadas para a identificação dos sinais de áudio diferentes. A presente invenção também proporciona um processo para identificação da fase de condutores em um circuito elétrico, mesmo quando os condutores estão conectados à terra acima da localização selecionada para efetuar a identificação. O processo compreende a conexão, através de acoplamento eletromagnético, dois geradores independentes gerando sinais de áudio diferentes, em condutores defase pré-identificadas. Em uma localização selecionada para identificação da fase dos condutores, um receptor conectado aos condutores de fase e testado dois a dois para identificar as suas fases corretas.

➤ **Patente MU8102978-0³**

Identificador de fases modelo IF 2003: equipamento de identificação de fases em sistemas trifásicos de distribuição de energia elétrica em linhas de baixa tensão. Sua utilização está diretamente ligada aos trabalhos de distribuição de cargas em sistemas constituídos por um transformador, suas fases secundárias, barramento de neutro e respectivas cargas.

O identificador de fases permite determinar em qual fase o consumidor está conectado, esta informação é de grande importância para cálculos de queda de tensão, podendo assim criar ações de balanceamento de circuitos nas redes de baixa tensão. Também a identificação possibilita, o balanceamento de cargas da instalação interna do consumidor seja prédios ou instalações industriais.

O sistema IF funciona baseado no princípio de transmissão e recepção de dados pela linha de baixa tensão. Desta forma, o sistema identificador de fases é fisicamente constituído por um módulo (TX) e um módulo receptor (RX).



Ilustração 2-12 – Módulo transmissor e receptor

³ Instrumentos Elétricos Engro Ltda.

2.3.2 Produtos comerciais

Além dos produtos patenteados, têm-se os comercializados, como exemplos citam-se:

➤ EZ Phase

É um medidor portátil, fabricado pela Minipa, tipo caneta para identificação de seqüência de fase trifásica, para detecção de presença de tensão e para localização/ rastreamento de cabos energizados. A partir da indicação sonora e luminosa em três cores diferentes é possível executar todos estes testes rapidamente e sem necessidade de contato elétrico.



Ilustração 2-13 – Identificador de seqüência

➤ O LCI-E PLUS

O transmissor é conectado junto ao secundário de um transformador da distribuição, para identificar o cabo de alta tensão da distribuição situado em qualquer lugar entre o transformador e sua fonte. O detector de LCI-D é usado em acessórios isolados do cabo da distribuição. O equipamento ajuda a identificar o cabo correto sem precisar de uma intervenção economizando tempo e dinheiro. Pode também ajudar em identificar um circuito trifásico pela identificação de um de seus condutores.



Ilustração 2-14 – LCI-E PLUS

➤ **O transmissor de FC5000E**

É conectado primeiramente entre as fases do sistema, no ponto de onde partem os condutores. Entre duas fases, o transmissor insere uma frequência que seja diferente daquela do sistema ou de seus harmônicos. Este equipamento identifica em um grupo de cabos o sinal injetado, o cabo de interesse é identificado movendo a cabeça do detector ao longo dos cabos. Um sinal acústico e claro encontra o grupo de cabos conectado ao transmissor. O detector, ou sua ponta de prova externa (opcional), são moveis então mesmo que os cabos se separam eles podem individualmente ser testados para determinar a fase específica.



Ilustração 2-15 – FC5000E

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O método utilizado para desenvolver este trabalho é a passagem por zero através de um sistema microprocessado.

3.1 *Descrição Geral do Sistema*

O sistema funciona em duas etapas. A primeira é a sincronização de uma onda gerada pelo PIC com a fase de interesse, e a segunda etapa faz as comparações desta onda gerada em sincronia com o fase de interesse com as fases que se quer identificar.

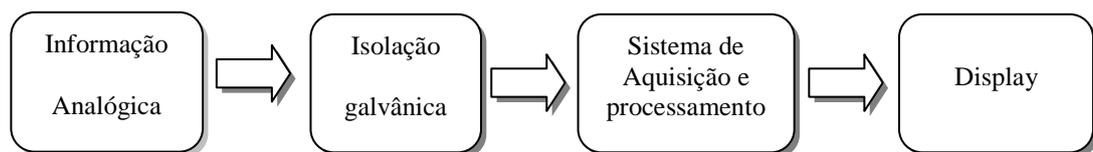


Ilustração 3-1 – Descrição geral do sistema

A primeira parte do hardware aqui chamada de analógica transforma, a onda senoidal da rede elétrica em uma onda quadrada de zero a cinco volts na mesma frequência da rede, isto ocorre através de um circuito onde essencialmente temos um amplificador operacional. A segunda parte chamada de digital implementada uma interrupção sensível a borda de subida que é acionada pela onda gerada pela parte analógica, quando houver a interrupção é disparando um contador que gera uma onda quadrada de 60 Hz ficando assim a onda interna criada no PIC em sincronia com o fase de interesse.

Valendo-se desta informação pode-se testar em outros condutores comparando com a sincronização obtida.

3.2 *Descrição dos Sistemas Eletroeletrônicos*

O dispositivo desenvolvido possui um hardware com um microcontrolador e um software, a interface com o usuário se dá através da sinalização por LEDs.

3.2.1 Hardware

O hardware do dispositivo está dividido em dois blocos, um analógico que retifica a onda da rede, e outro o bloco digital que será responsável por sincronizar, comparar e identificar o sinal.

➤ Parte analógica

A parte analógica tem o objetivo de transformar a onda da rede elétrica que é senoidal em uma onda quadrada, conforme ilustração abaixo.

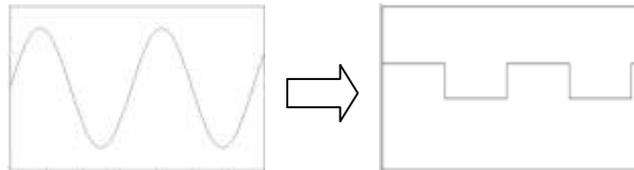


Ilustração 3-2 – Função da parte analógica

Para fazer esta conversão foi utilizado um circuito basicamente composto por um amplificador operacional e um optoacoplador. O circuito abaixo refere-se a parte analógica completa.

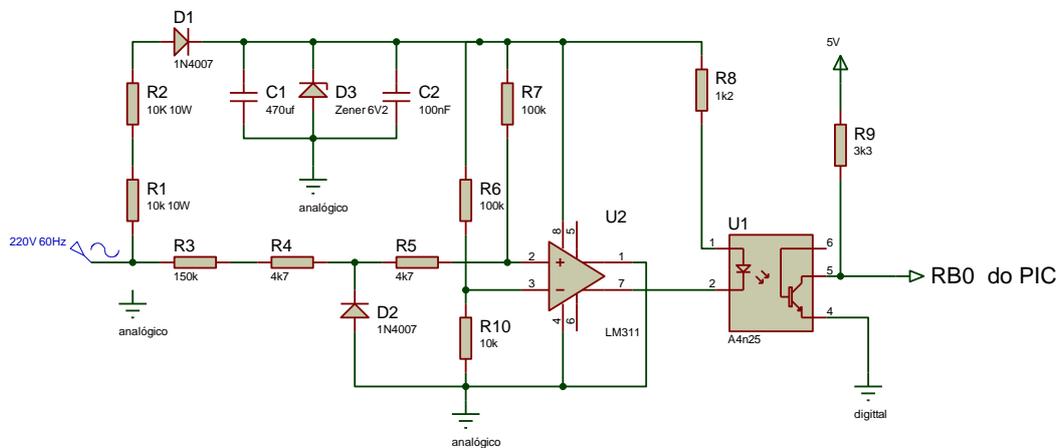


Ilustração 3-3 – Esquemático do circuito analógico

Com a necessidade de isolar eletricamente a parte analógica da digital, foi necessário implementar auto-alimentação no amplificador operacional e no opto, para isso foi implementado uma associação de resistores de potência, diodos e capacitores, conforme ilustração 3-4.

O princípio é bem simples, os resistores de potência servem para limitar a corrente, uma vez que se está trabalhando diretamente na rede de até 220V, o diodo 1N4007 serve para retificar a onda, o diodo zener tem a função de limitar a tensão em 6,2V o que é suficiente para o principal objetivo, que

é alimentar o amplificador operacional e em parte no optoacoplador(4N25) e os capacitores servem para linearizar a tensão obtida.

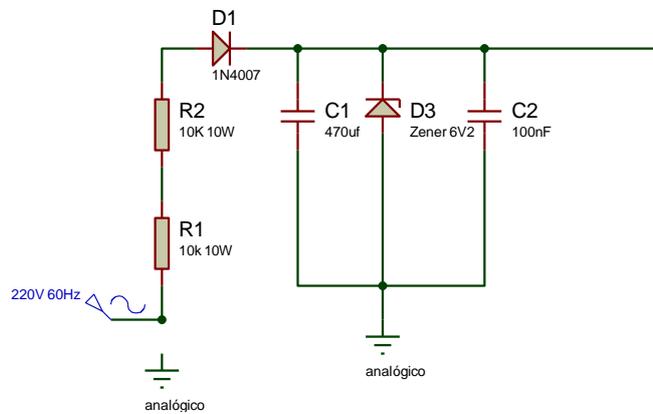


Ilustração 3-4 – Esquemático do Circuito de auto-alimentação da parte analógica

Foi utilizado com uma topologia sugerida no *datasheet* (*Zero-Crossing Detector*) do LM 311 para poder retificar o sinal e obter na saída do LM311 somente a parte positiva do sinal de entrada.

Como o sinal deverá ser lido pelo microcontrolador e ele também é o responsável por controlar todo o funcionamento da parte digital é necessário isolar galvanicamente esta parte do circuito.

Como não são compatíveis com os níveis de tensão lidos na parte analógica da entrada do do sistema, é necessário utilizar um componentes para fazer esta interface e também isolar as entradas do microcontrolador.

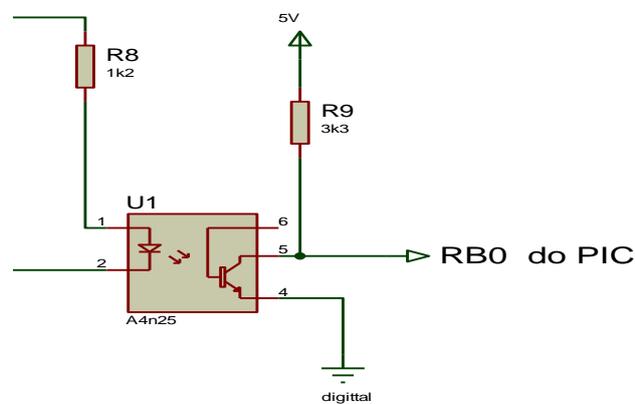


Ilustração 3-5 – Esquemático do opto-acoplador 4N25

Na saída do LM311 é conectado o optoacoplador conforme ilustração 3-3. Este CI (circuito integrado) tem a função de isolar galvanicamente a parte analógica da parte digital tendo como saída final um sinal de zero a cinco volts com a fonte de alimentação do circuito digital

O optoacoplador utilizado é o 4n25 conforme ilustração 3-5, este dispositivo possui quatro entradas isoladas opticamente, para evitar problemas de nível de tensão uma vez que se está trabalhando diretamente conectado a rede, a entrada digital é isolada do resto do circuito a fim de evitar também que qualquer surto de tensão danifique e comprometa todo o sistema.

➤ **Parte Digital**

O segundo bloco é constituído pela parte digital do circuito que contém basicamente um microcontrolador PIC16F877, um max232 para conexão serial com o PC para visualizar mais claramente o funcionamento do software, uma entrada para o gravador e *butons* para controle do funcionamento do sistema.

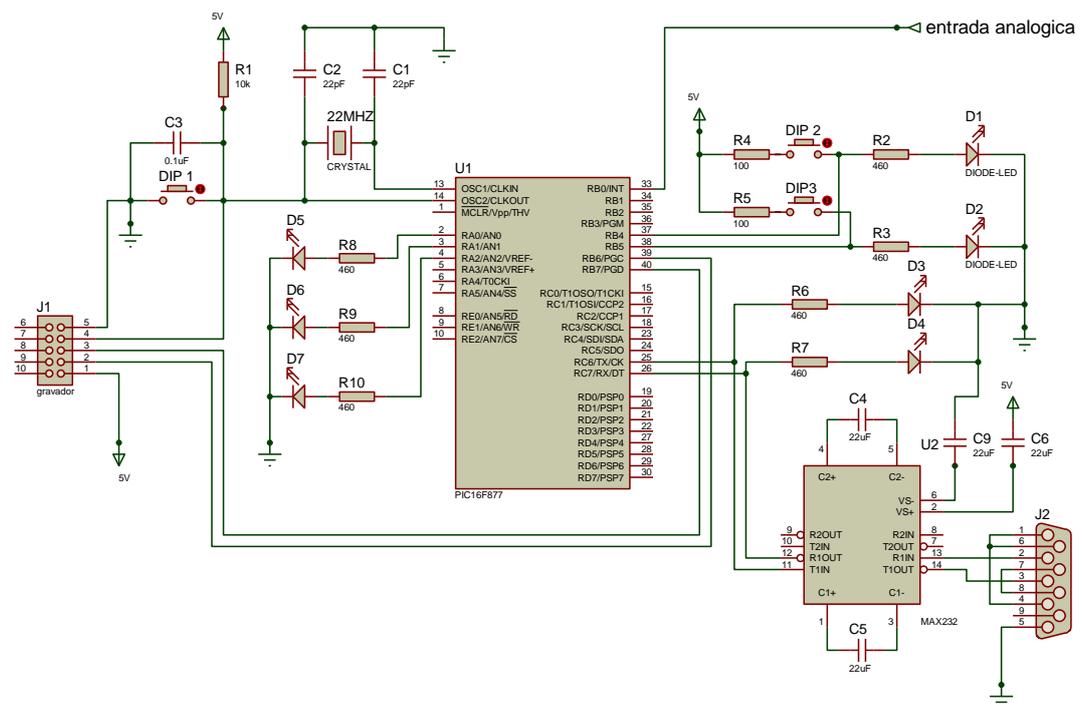


Ilustração 3-6 – Esquemático do circuito digital

O funcionamento desta parte do hardware constitui todo o controle do dispositivo. O DIP 1 tem a função de resetar o PIC, o DIP 2 será responsável em acionar a primeira aquisição e o DIP 3 quando acionado irá fazer a comparação. Os LEDs D5, D6, D7 serão os responsáveis em informar a seqüência de fase.

O hardware final com a parte analógica e digital ficou como segue na ilustração 3-7 a seguir.

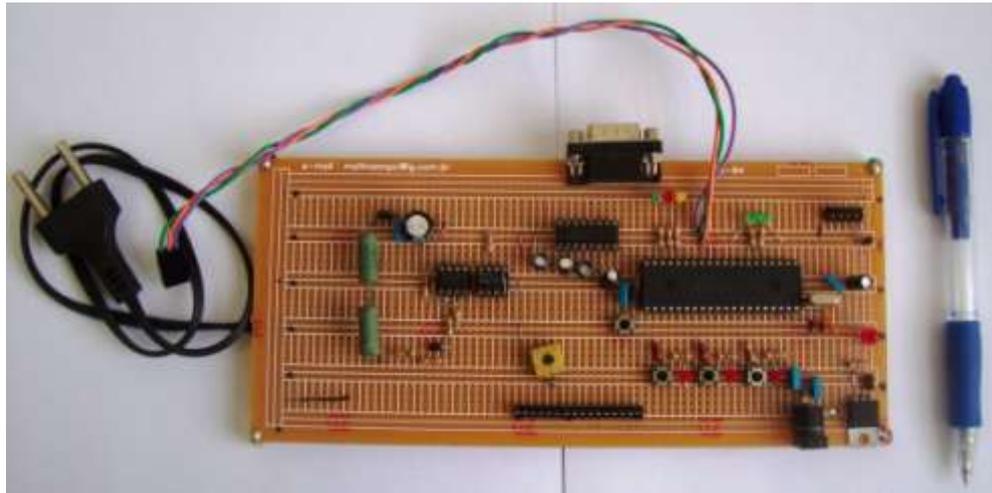


Ilustração 3-7 – Hardware completo

➤ Descrição dos Testes Realizados no Hardware

As principais questões que envolviam o hardware eram como trabalhar com a tensão em até 220 V e retificar esta tensão alta em relação a tensão do microcontrolador. A questão foi solucionada com o LM311 e o 4N25, para confirmar estes dados foi utilizado um osciloscópio para confirmar a tensão que o PIC iria receber.

A outra questão que foi trabalhada era criar um ambiente considerado ideal para ajustar o sistema. Para isso foi desenvolvido uma planta de testes que tanto serviria para a leitura do sinal da rede quanto, ler o sinal criado por um gerador de função e uma fonte externa, esses dois componentes criam uma simulação de rede.

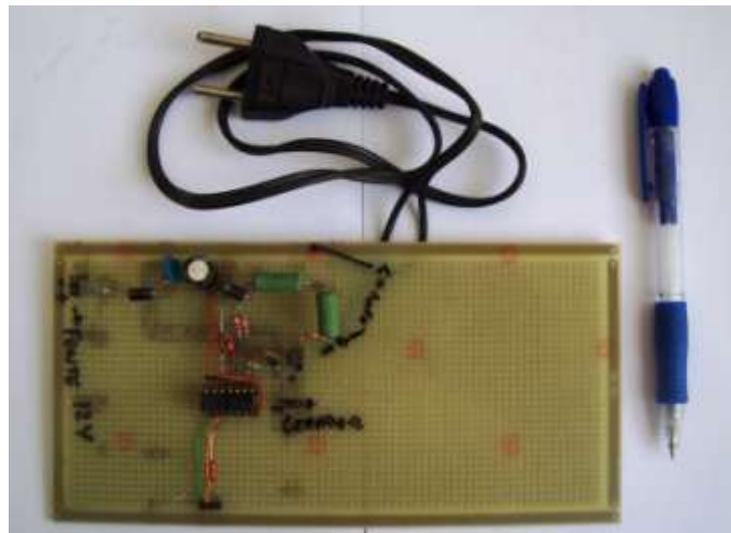


Ilustração 3-8 – Planta de teste rede Vs gerador de função

O princípio da planta de testes foi pegar o circuito montado para a rede, e adicionar uma segunda situação, sem os resistores para potência alta e colocar um resistor de resistência mais baixa. Também no circuito de alimentação da parte analógica foi conectada uma fonte externa, e na entrada do LM311 foi injetado um gerador de função.

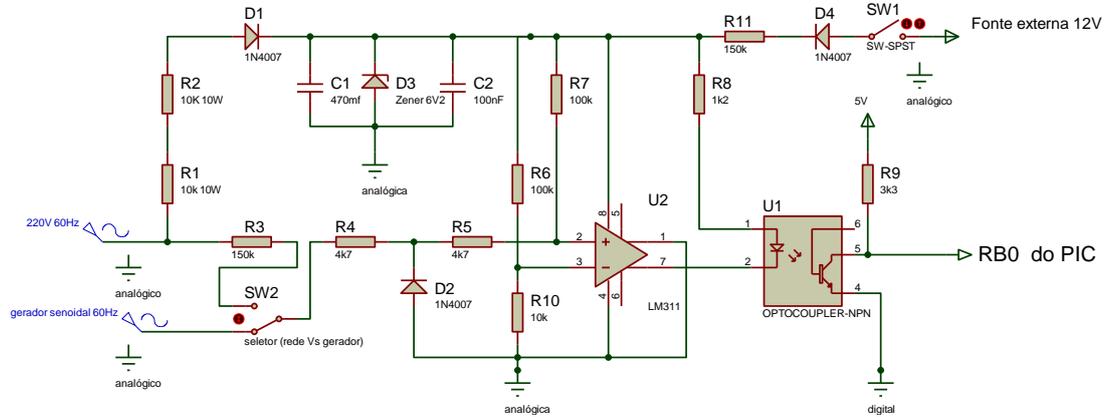


Ilustração 3-9 – Esquemático de teste rede Vs gerador de função

Para então fazer a comunicação com a planta digital foi adicionada uma conexão de 3 fios: terra digital, alimentação de cinco volts para o 4N25 e o sinal de saída deste mesmo CI para conectar no microprocessador.

A conexão pode ser observada na ilustração abaixo.

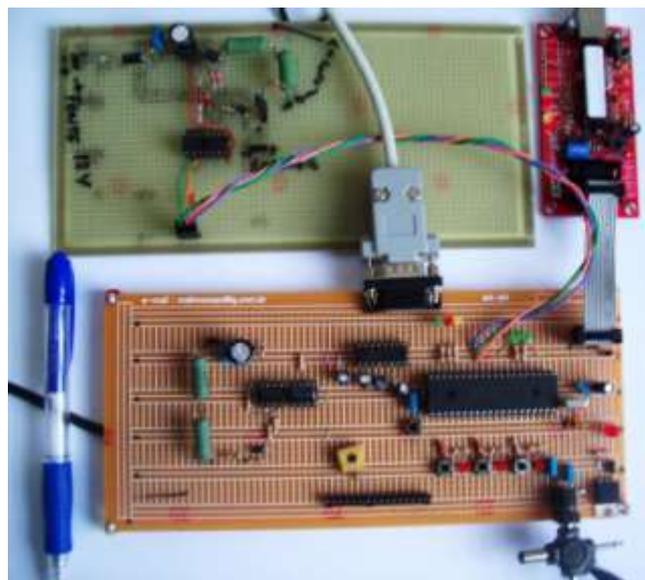


Ilustração 3-10 – Planta de teste com a planta digital



3.3 Descrição dos Sistemas Informáticos e Computacionais

3.3.1 Interfaces de I/O e Fluxogramas

O dispositivo tem a seguinte interface com o usuário, através dos DIP 2 e 3 o usuário irá interagir com o dispositivo e ainda com o DIP 1 tem a possibilidade de *resetar* o sistema.

O fluxograma de funcionamento a seguir da a idéia de como será a interação do dispositivo com o usuário, buscou-se simplificar ao máximo esta interação para que qualquer usuário possa entender e utilizar o dispositivo.

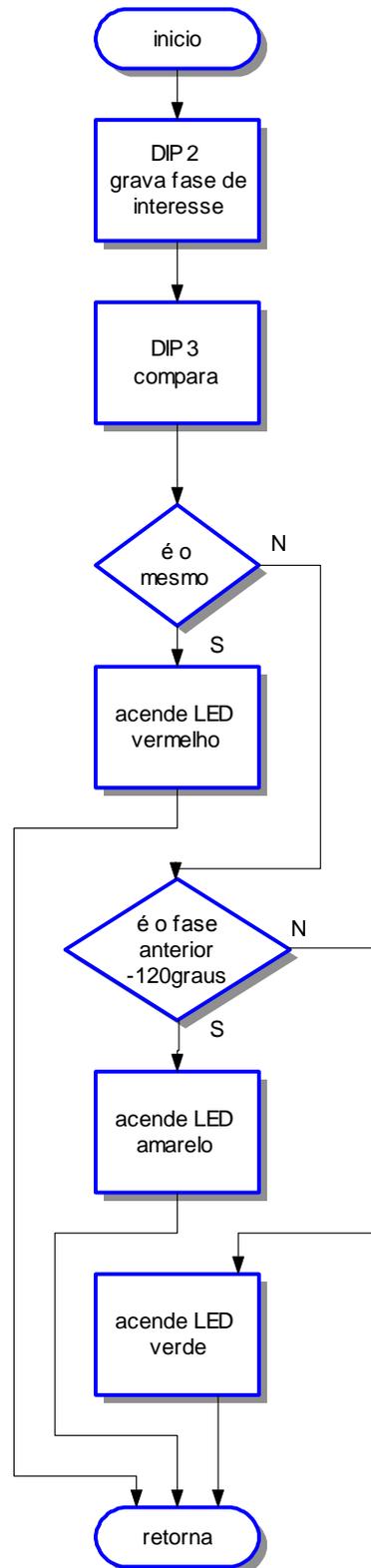


Ilustração 3-11 – Fluxograma de funcionamento do dispositivo

O dispositivo funciona da seguinte forma, o *plug* que esta na ilustração 3-7 serve para conectar o dispositivo à rede elétrica, depois de conectado deverá ser pressionado o DIP 2 (ilustração 3-6) que irá sincronizar, através de uma interrupção externa sensível à borda de subida, o contador interno com a frequência da rede.

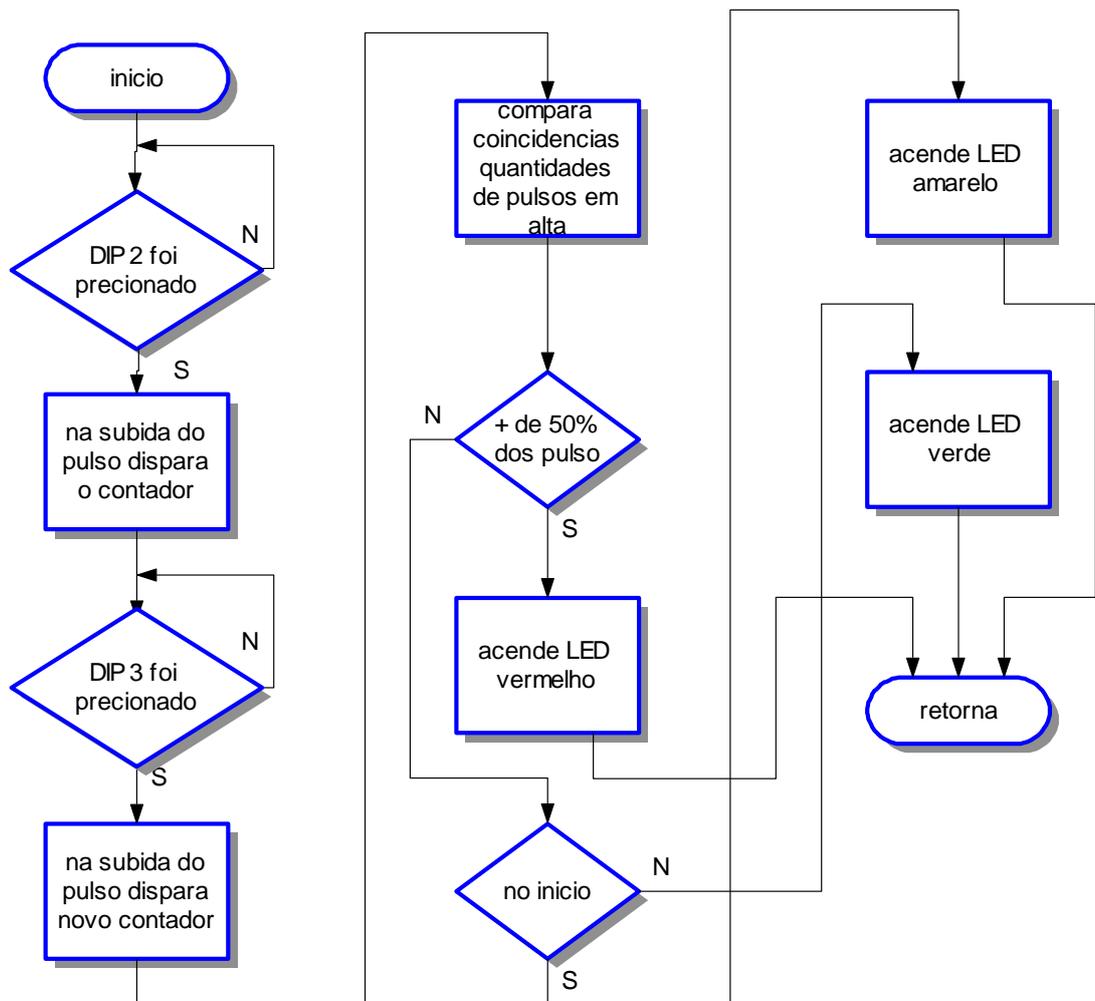


Ilustração 3-12 – Fluxograma do software

Este contador foi implementado de forma que gere uma frequência de 60 Hz, isto foi feito a partir da contagem de pulsos da capacidade máxima do cristal instalado de 12MHz, cada pulso do *clock* tem uma duração de 0.3 microssegundos como um ciclo da rede elétrica tem 16 milissegundos foi feita uma contagem de 50.000 pulsos para cada ciclo completo atingindo assim uma frequência de 60 Hz.

Depois de sincronizada a contagem com a frequência, recoloca-se o *plug* para a situação que se quer identificar, o software irá captar este novo valor que será comparado com o valor da frequência gerada.

O software irá fazer uma comparação entre esta nova leitura e o contador interno, para isso foi implementada uma rotina que espera a passagem de zero para cinco volts da nova leitura, se houver coincidências em nível alto iniciará um contador.

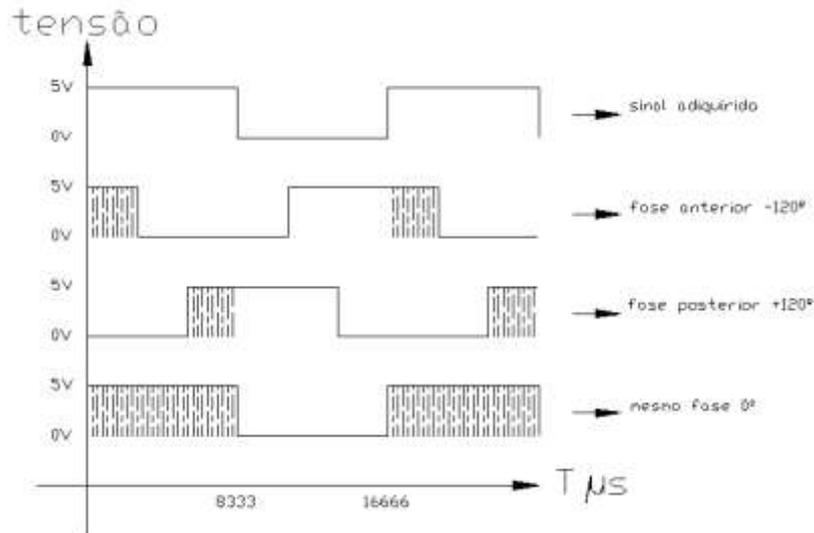


Ilustração 3-13 – Comparação feita pelo software

A parte que contém a hachura na ilustração 3-13 identifica o período em que as fases deverão estar em coincidência com o contador do sistema. Se a coincidência for maior que 50% do tempo de contagem será o fase de interesse e acenderá o *display* vermelho conforme ilustração abaixo, se a coincidência for menor e estiver no começo da contagem será o fase anterior -120 graus e acenderá o *display* amarelo senão, por eliminação será o fase adiantado + 120 graus e acenderá o *display* verde.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para testar o sistema foram feitos testes nos dois tipos circuito, analógico e digital. No circuito analógico, foi testada a resposta das retificações, observando a onda gerada e sua isolação. No circuito digital foram desenvolvidas rotinas de software para testar as aquisições e envios de sinais.

4.1 *Teste no circuito analógico.*

Como o objetivo é capturar e interpretar as formas de onda das fases do sistema trifásico, os testes feitos no hardware da parte analógica, tinham como objetivo verificar a onda quadrada gerada.

Para observar se o sistema estava recebendo uma onda quadrada de zero a cinco volts foi utilizado um osciloscópio, que é a melhor maneira de observar o comportamento no tempo de uma onda. Os primeiros dados coletados foram os da planta de testes, pode-se observar conforme a ilustração 4-1 a onda quadrada gerada pelo circuito analógico

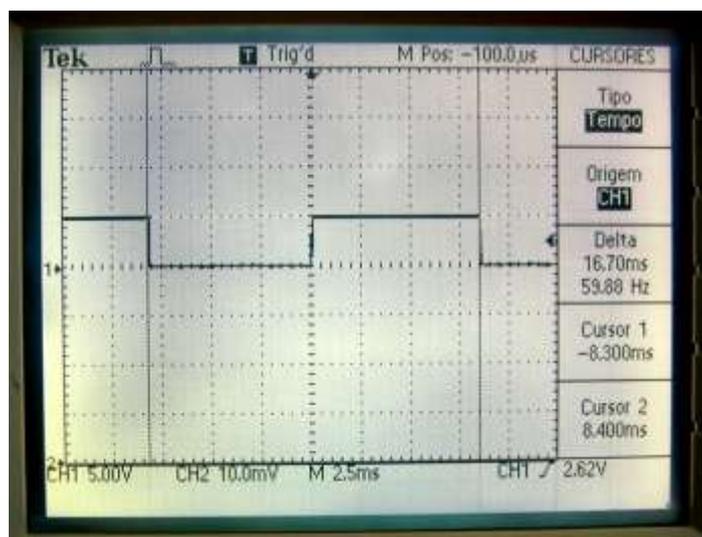


Ilustração 4 -1 – Onda gerada através da rede elétrica

O segundo teste foi com a mesma planta porém com um sinal simulando a rede, criado por um gerador de funções de ondas senoidais e uma fonte externa. A onda gerada na saída teve a mesma qualidade da coletada direto na rede porém aqui foi difícil gerar uma onda em 60 Hz por causa da precisão do gerador de função.

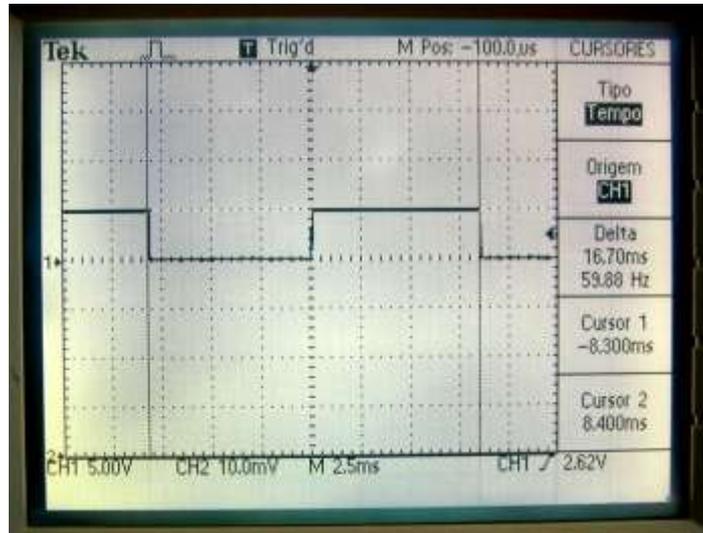


Ilustração 4-2 – Onda gerada através do gerador de função.

Através da comparação entre estas ondas da ilustração 4-1 e ilustração 4-2 observa-se que o gerador de função não forneceu uma onda mais precisa que a onda gerada pela rede elétrica, a variação da frequência teve a mesma instabilidade que a rede convencional. Portanto optou-se em trabalhar diretamente com os dados da rede, e tentar ajustar dentro do possível, as aquisições e comparações em situação real.

A partir destes dados foram colocados na mesma planta o hardware digital e o circuito analógico, fazendo as devidas conexões.

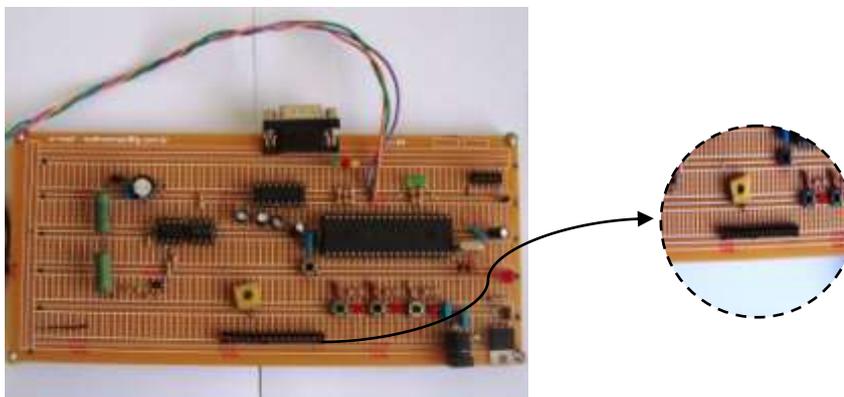


Ilustração 4-3 – Conectores para acompanhamento

4.2 Testes no circuito digital

Para testar o circuito digital foi implementada uma rotina de software. O sistema possui uma conexão serial com o PC display e os DIPs, para poder observar o valor das contagem e o caminho do programa, foi implementada a rotina do apêndice B, que tem a função de testar a saída dos displays, a saída da onda gerada pelo sistema e a comunicação com o PC. Depois de testadas todas as etapas que serão utilizadas pelo sistema, iniciaram os testes de sincronismo, que é o processo de aquisição.

O sistema na etapa analógica, converteu a onda senoidal em onda quadrada conforme a ilustração 4-4, a onda A é a da rede elétrica, a onda Asinc é a onda após dois segundos de ser sincronizada pelo sistema.

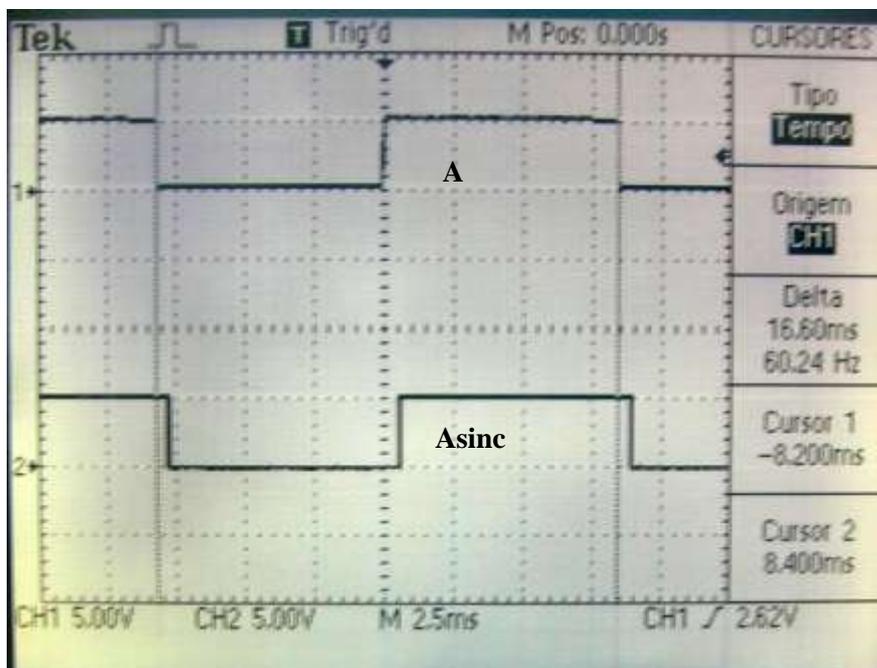


Ilustração 4-4 – Onda da rede Vs gerada pelo sistema

Nesta leitura houve um escorregamento da onda gerada de 4% para a esquerda da fase de interesse neste período de dois segundos.

A ilustração 4-5 possui a onda de Asinc como a de referência sincronizada com a fase A da figura 4, e as onda B é o fase com atraso de 120°. Também é observado um escorregamento da onda por causa da frequência menor da ultima regulagem da frequência do sistema, que por a frequência instantânea da última leitura se ajustou à frequência para equiparar a frequência existente e não necessariamente 60 Hz.

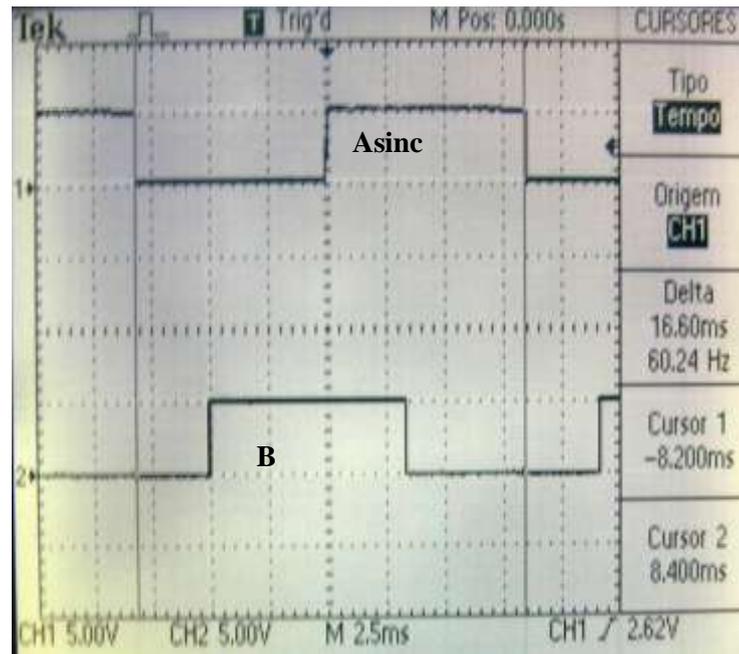


Ilustração 4-5 – Onda gerada pelo sistema Vs onda da rede

A ilustração 4-6 possui a onda de Asinc como a de referência sincronizada com a fase A da figura 4, e as onda C que é o fase com adianto de fase em 120° .

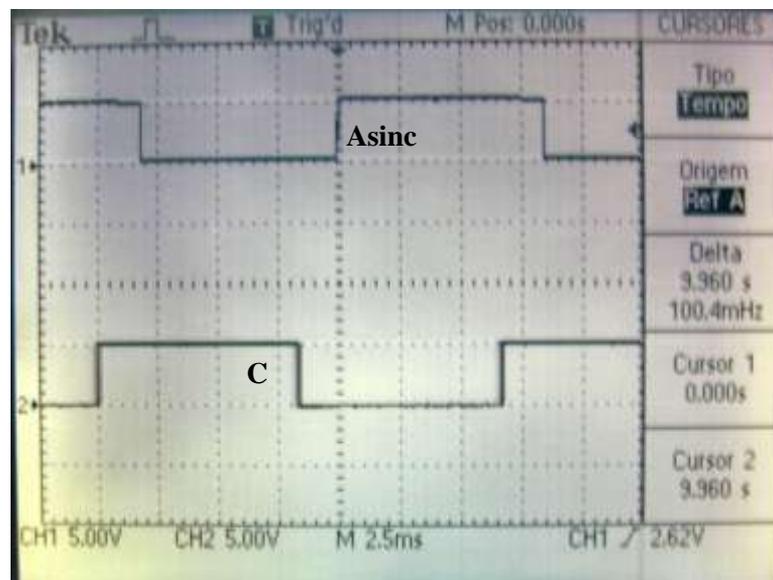


Ilustração 4-6 – Onda gerada pelo sistema Vs onda da rede

Conforme o tempo de sincronia que era coletado através das ondas do osciloscópio montou-se uma tabela com os tempos de duração de um quarto de ciclo o que é necessário para identificar pelo menos 1 fio fase

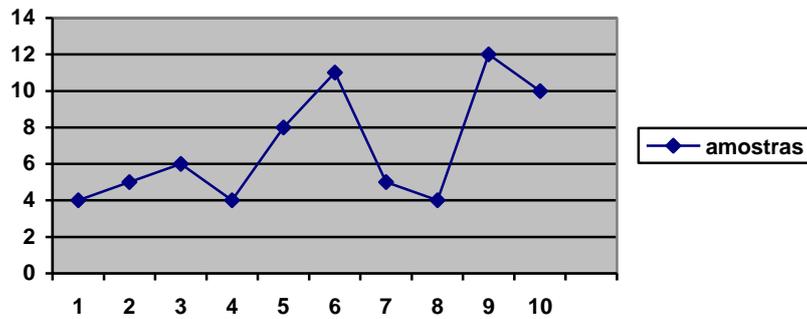


Ilustração 4-7 – Amostragem da precisão

O gráfico acima mostra a grande variação do tempo de duração das coincidências entre a frequência da rede em relação à frequência do sistema. O histórico dos dados mostra que os tempos são menores quando há uma continua diferença entre a frequência tanto a mais quanto para menos. O melhor tempo de sincronia foi de 12 segundos, quando a onda da rede oscilou em relação à onda do sistema com frequência variando entre 59.88Hz e 60.33Hz, a média desta variação não ultrapassou um quarto de ciclo portanto não alterando a precisão do sistema.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema elétrico trifásico no Brasil por ser interligado possui uma precisão da frequência de 60Hz com variações na média por hora de 0,016%, mas possui uma variação da frequência de até 0,2%, de precisão entre dois ciclos. Um equipamento que sincroniza a frequência gerada com a frequência da rede tem sua precisão diretamente ligada à estabilidade instantânea da frequência da rede(2).

A onda gerada mostrou-se com uma precisão de 0,002% para uma onda ideal de 60 Hz, uma vez que foi escolhido um cristal de 12 MHz, que é múltiplo da frequência da rede, como o timer interno do sistema utiliza este oscilador como base de tempo, a onda criada pelo sistema, para depois sincronizar com a rede, tem a precisão do próprio cristal.

O que fez diminuir o tempo de sincronismo com a rede, tempo que garante a identificação do fio fase, foi à variação instantânea da frequência baixando a precisão estimada de 13,9 minutos de uma rede com frequência ideal para 4 segundos com a rede real. Havendo um escorregamento de 25% de um ciclo da onda da rede neste período em relação à onda gerada pelo microprocessador o que causa um erro de identificação.

A pretensão que se tinha no trabalho, era além de identificar o fio fase também identificar a sequência de fase, já que o processo era semelhante, e tínhamos todos os meios para isso. Porém nem sequer foi citado os resultados obtidos de tempos de duração da precisão de identificação da sequência de fase, pelo fato de que estes tempos forma inferior a 1 segundo.

Para trabalhos futuros a sugestão é trabalhar com um processador com capacidade de processamento mais rápidos, e também ao invés de fazer a medida de um pulso, tirar uma média de vários ciclos para depois comparar, porque a frequência mostrou-se mais confiável na média, mas é preciso descobrir quanto.



6 REFERÊNCIAS

- (1) Peter O'Shea *Royal Melbourne Institute of Technology*, 1999 by CRC Press LLC
- (2) Projeto de pesquisa, FNDCT/CT-ENERG/FINEP 01.02.0039.00
- (3) SOUZA, David José. *Conectando o PIC* – 1ª. Ed.- São Paulo: Editora J.J. CAROL,2002



OBRAS CONSULTADAS

SOUZA, David José. *Conectando o PIC* – 1ª. Ed.- São Paulo: Editora J.J. CAROL,2002

PEREIRA, Fabio. *Microcontroladores PIC* – 5ª. Ed. – São Paulo:Editora Erica Ltda, 2003

“datasheets” disponível em [HTTP://www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com) – acessado em 30março 2009

COCIAN, Luis Fernando Espinosa. *Manual da linguagem C*. Canoas: Ulbra, 2004.

Projeto de pesquisa, FNDCT/CT-ENERG/FINEP 01.02.0039.00



APÊNDICE A – CODIGO FONTE

```
#include <16F877.h>
#device adc=8
#use delay(clock=12000000)
#fuses HS,NOWDT,NOPUT,NOBROWNOUT,NOLVP,NOPROTECT
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#include <float.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#else
#endif

#BYTE port_b = 0x06
#byte TRISC = 0x86
#byte TRISA = 0x86

int16 cont=0,x;
extern boolean valormem =0;
//int fase=0;

boolean bAqui = false;
boolean bComp = false;
boolean RB0_1;

//----- interrupção de comparação -----

#int_RB
RB_isr()
```



```
{
    byte changes,last_b;
    changes = last_b ^ port_b;
    last_b = port_b;

    if (bit_test(changes,4 )&& !bit_test(last_b,4))
    { //delay_ms (100);
        bComp = true;
    }

//-----interrupção de aquisição -----

    if (bit_test(changes,5)&& !bit_test (last_b,5))
    { //delay_ms (100);
        RB0_1 = input(pin_b0);

        while(RB0_1==1)
        { RB0_1 = input(pin_b0);
        }

        while(RB0_1==0)
        { RB0_1 = input(pin_b0);
        }
        output_low(pin_A0);
        output_high(pin_A1);
        output_low(pin_A2);
        valormem =1;
        set_timer1(40536);
    }
}

//----- gera onda interna no pic -----

#int_timer1
void trata_t1 ()
{ valormem = !valormem; // gera a onda
```



```
    set_timer1(40536 + get_timer1());
    output_bit (pin_c5, valormem);
}

//-----programa principal -----

void main()
{
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(FALSE);
    setup_counters(RTCC_INTERNAL, RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_INTERNAL| T1_DIV_BY_1);
    setup_timer_2(T2_DISABLED, 0, 1);
    enable_interrupts (int_timer1);
    enable_interrupts(INT_RB);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    output_low(pin_A0);
    output_low(pin_A1);
    output_low(pin_A2);
    while(1)
    { if(bComp)
      {
        RB0_1 = input(pin_b0);
        while(RB0_1==1)          //espera borda de descida
        { RB0_1 = input(pin_b0);
        }
        while(RB0_1==0)          //espera borda de subida
        { RB0_1 = input(pin_b0);
        }
      }
    }

//----- compara com sinal alto -----

    cont=0;
    while(valormem ==true)
    { cont++;
    }
}
```



```
    if(cont>=950)
    {   output_high(pin_A0);
        output_low(pin_A2);
        output_bit (pin_c4,cont);
        printf("%ld\n\r",cont);
    }
    else
    { (output_low(pin_A0));
      (output_high(pin_A2));
      //printf(" comp\n\r");
    }
//-----compara com sinal baixo -----
cont=0;
while(valormem ==false)
{   cont++;
    printf("%ld\n\r",cont);
}
if(cont>=4400)
{   output_high(pin_A0);
    output_low(pin_A2);
    // printf("%ld\n\r",cont);
}
else
{ (output_low(pin_A0));
  (output_high(pin_A2));
  //printf(" comp\n\r");
}
}
}
```



APÊNDICE B – CODIGO DE TESTES

```
#include <16F877.h>

#device adc=8

#use delay(clock=12000000)

#fuses HS,NOWDT,NOPUT,NOBROWNOUT,NOLVP,NOPROTECT

#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

#include <float.h>

#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <string.h>

#else

#endif

#BYTE port_b = 0x06

//#byte TRISB = 0x86

#byte TRISC = 0x86

int16 t;

main() {

    while(1)

    { byte changes, last_b;

      changes = last_b ^ port_b;

      last_b = port_b;

      if (bit_test(changes,4)&& !bit_test(last_b,4)){

          bComp = true;

          printf("u\n\r");

      }

    }
```



```
if (bit_test(changes,5)&& !bit_test (last_b,5)){
    bAqui = true;
    printf("k\n\r");
if(input(PIN_B4)){
    for(t=0;t<=1370;t++)
        output_high (PIN_C5);
    printf("t\n\r");
    for(t=0;t<=1370;t++)
        output_low(PIN_C5);
    }
ELSE{
    if(input(PIN_B5),1){
        for(t=0;t<=1370;t++)
            output_high (PIN_C5);
        for(t=0;t<=1370;t++)
            output_low(PIN_C5);
        }
    printf("%ld\n\r",t);
}
}
```