



Measurement and Signal Processing using Labview

Alexandre Cândido Moreira
PEQ/EEEC/UFG
amoreira@dsce.fee.unicamp.br

Luiz Roberto Lisita
PEQ/EEEC/UFG
lisita@eee.ufg.br

José Wilson L. Nerys
PEQ/EEEC/UFG
jwilson@eee.ufg.br

Adalberto J. Batista
PEQ/EEEC/UFG
batista@eee.ufg.br

Abstract —This work presents the development of a measurement system that uses the graphic programming language LabVIEW. The implemented system may be applied for measurement and signal treatment in single-phase, three-phase with three conductors, three-phase with four conductors or continuous current power systems. The implemented system consists in voltage and current transducers connected to a block connector and a data acquisition board inserted in a computer. It finds applicability in measurement systems, digital signal processing, *rms* values, *THD* and harmonic spectrum of voltages and currents, in real time. The program allows to the user to visualize, save and generate graphics and reports of the measured variables.

Index Terms — Electric measurement, signal processing, measurement in power system, LabVIEW

I. INTRODUÇÃO

O advento do computador digital, a exemplo do que ocorreu em outras áreas, alavancou importantes técnicas na área de medição. As mudanças foram introduzidas em praticamente todos os níveis: da construção de medidores à metodologia de medição, do planejamento das medições à análise dos dados, da organização dos resultados à sua divulgação, pratica-mente nada escapou às mudanças. Com o contínuo surgimento de novas tecnologias, a área continua a evoluir, incorporando importantes avanços em outras áreas como redes de computadores e processamento digital de sinais. O aumento da capacidade de processamento aliada à melhoria dos sistemas operacionais e linguagens de programação propiciou o surgimento de uma grande variedade de programas capazes de trabalhar com a matemática avançada.

A aquisição engloba de métodos e dispositivos capazes de transformar informações do mundo real, preponderantemente analógicos, para o formato digital, com o qual os computadores trabalham. Um sistema de aquisição de dados é composto por um ou mais dispositivos de entrada gerando dados para um computador (ou uma rede de computadores), capaz de interpretá-los como grandezas físicas, requerendo para isto, o software adequado. Existe uma gama considerável de opções de sistemas de aquisição de dados. A escolha do sistema adequado depende essencialmente do tipo de grandeza a ser medida e do objetivo da medida.

II. DIGITALIZAÇÃO DE UM SINAL ANALÓGICO

Para digitalizar um sinal analógico, são necessárias no mínimo quatro etapas: filtragem *anti-aliasing*, amostragem do sinal, quantização e codificação.

Na prática a amostragem, a quantificação e a codificação podem ser feitas por um único circuito eletrônico e, não necessariamente nesta ordem ou até mesmo simultaneamente.

A. Filtragem Anti-Aliasing

De acordo com o Teorema de *Nyquist*, a quantidade de amostras por unidade de tempo de um sinal, chamada taxa ou frequência de amostragem, deve ser maior que o dobro da maior frequência contida no sinal a ser amostrado, para que possa ser reproduzido integralmente sem erro de *aliasing*. A metade da frequência de amostragem é chamada frequência de *Nyquist* e corresponde ao limite máximo de frequência do sinal que pode ser reproduzido. Como não é possível garantir que o sinal não contenha sinais acima deste limite (distorções, interferências, ruídos, etc...), é necessário filtrar o sinal com um filtro passa baixo com frequência de corte igual (ou menor) a frequência de *Nyquist*, ou filtro *anti-aliasing*.

B. Amostragem do Sinal

Como o sinal analógico é contínuo no tempo, este contém então, uma infinidade de valores e, como o meio de comunicação tem banda limitada, apenas é transmitida uma certa quantidade de amostras deste sinal, como enunciado anteriormente no Teorema de *Nyquist*. É obvio que quanto maior a frequência de amostragem, mais fácil será reproduzir o sinal, mas haverá desperdício de banda ocupada sem nenhuma melhoria na qualidade. A Fig. 1 ilustra o principio da amostragem.

O circuito que permite amostrar o sinal é uma simples chave que se fecha por um brevíssimo instante, na cadencia da frequência de amostragem. Por exemplo, se a frequência de amostragem for de 8 kHz, isto significa que a chave se fecha 8000 vezes por segundo, ou seja, a cada 125 micro segundos. Como a chave se fecha por um tempo extremamente curto, apresenta-se na saída um sinal em forma de pulsos estreitos, com amplitude igual ao valor instantâneo do sinal, chamados pulsos *PAM* (pulsos modulados em amplitude). Para que o sinal *PAM* seja perfeitamente reproduzido no sinal analógico original o sinal *PAM* deve passar por um filtro passa-baixa, com frequência de corte exatamente igual à frequência de *Nyquist*, que é igual à metade da frequência de

amostragem. Caso contrário tem-se interferência intersimbólica IIS.

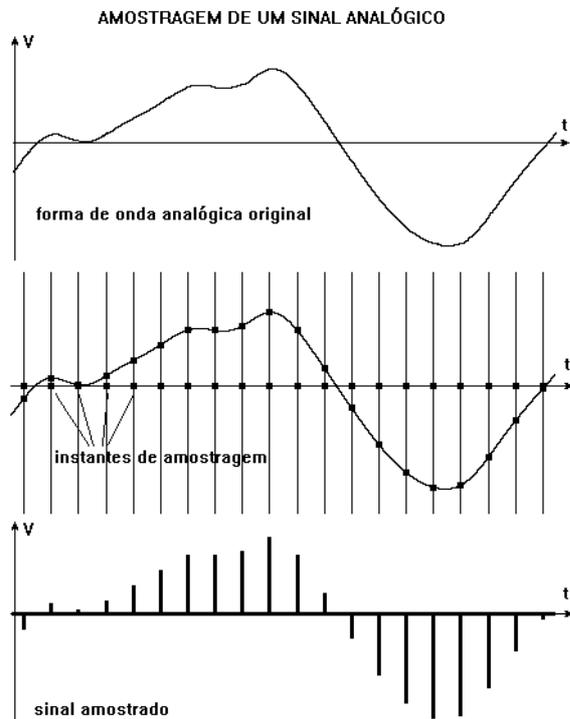


Fig. 1. Amostragem de um sinal analógico.

C. Codificação

Os valores quantizados precisam ser codificados em seqüências de bits, pois um sinal digital binário só pode ter dois valores diferentes "0" ou "1".

Em binário puro, a codificação seria como representado na Fig. 2.

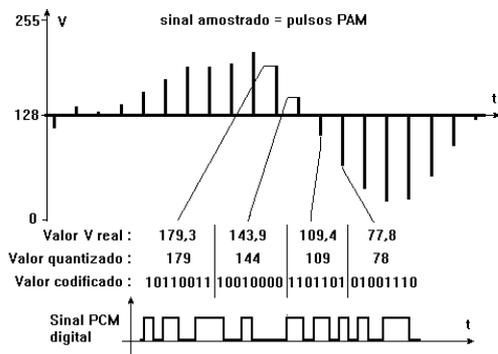


Fig. 2. Seqüência de bits de cada pulso PAM

III. SISTEMA DE MEDIÇÃO IMPLEMENTADO

O sistema de medição implementado é composto por quatro partes básicas, conforme Fig. 3.

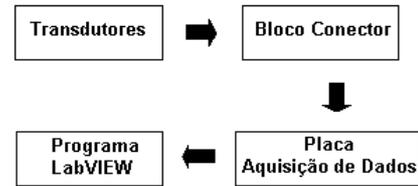


Fig. 3. Sistema de medição implementado

Transdutores são dispositivos que detectam fenômenos físicos e produzem sinais elétricos para o sistema de medidas DAQ. Alguns transdutores são por exemplos dos tipos: termoacopladores, detectores de temperatura de resistência, termistores e sensores que convertem a temperatura de um sinal analógico de tal forma que um conversor analógico – digital (*ADC*) possa medir. Em cada caso, os sinais elétricos produzidos são proporcionais aos parâmetros físicos monitorados. Os sinais elétricos gerados pelos transdutores devem ser otimizados para o limite de entrada do dispositivo DAQ.

Para este trabalho foram utilizados transdutores de malha fechada do tipo C, 500V/10V para os transdutores de tensões e 50 A/5V para os transdutores de correntes.

Os transdutores de tensão possuem uma largura de faixa ampla, da ordem de 0 a 300 kHz, enquanto que os transdutores de correntes a largura de faixa é de 0 a 500 kHz.

A. Bloco Conector

Após sair dos transdutores, o sinal passa por um Bloco conector blindado de 68 pinos SCB – 68 (68 – Pin Shielded Connector Block).

O SCB-68 é uma placa blindada com 68-pinos da National Instruments. Quando tem-se disponível o SCB – 68 com placas Series AT – MIO – 16X ou MIO – 16E, pode-se usar os 16 terminais para conectar sinais para as 16 entradas analógicas[5].

B. Placa de Aquisição de Dados

Após passar pelo Bloco conector, o sinal vai para uma placa de aquisição de dados (Hardware DAQ – PCI-MIO-16E-1), conforme Fig 4, através de um cabo blindado.

No sistema de aquisição de dados desenvolvido neste trabalho o hardware DAQ utilizado pertence à série de equipamentos PCI-E da National Instruments, modelo PCI-MIO-16E-1. Os equipamentos desta série possuem um conversor Analógico-Digital (*ADCs*) de 12 bits com 16 entradas analógicas e um conversor Digital-Analógico (*DACs*) com 12 bits [2].

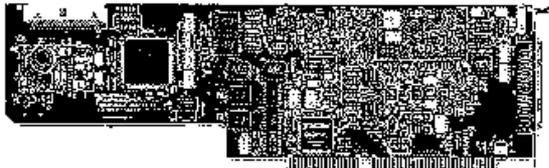


Fig. 4. Placa de Aquisição de Dados PCI-MIO-16-E1

TABELA 1
ESPECIFICAÇÕES DO HARDWARE DAQ PCI-MIO-16E-1

Numero de canais:	16 single-ended ou 8 diferenciais
Resolução:	12 bits
Taxa de amostragem máxima:	1.25 MS/s

C. LabVIEW

O software transforma o PC e o hardware DAQ em um completo sistema de aquisição de dados, análise e exibição. Um hardware DAQ sem o software não tem utilidade e um hardware DAQ com o software pobre é quase inútil. A maioria das aplicações DAQ utilizam driver software. Um driver software é a parte do software que programa diretamente os registros do hardware DAQ, gerenciando a operação e a integração com os recursos do computador, como interrupções do processador, DMA e memória. Um driver software oculta os níveis baixos e detalhes complicados de programação do hardware, munindo o usuário com uma interface fácil de entender.

O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica que usa ícones no lugar de linhas de texto para criar aplicações. Em contraste com as linguagens baseadas em texto, onde as instruções determinam a execução do programa, o LabVIEW usa uma programação tipo fluxo de dados, onde este fluxo determina a execução. O software integra os transdutores, bloco conector, DAQ hardware em um completo e funcional sistema de aquisição de dados.

IV. MODELAGEM

As grandezas calculadas pelo software deste trabalho e mostradas ao usuário no painel frontal partem do seguinte modelo matemático.

A. Sistema de Potência Monofásico

O sistema de potência monofásico é aquele em que o conjunto de alimentação é um sistema de apenas uma fase, conforme Fig. 5.

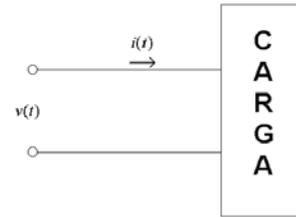


Fig. 5. Sistema de potência tipo monofásico

A potência ativa é calculada a partir do valor médio da potência instantânea [1], conforme equação (1).

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

Para este trabalho utilizou-se como período sessenta ciclos, ou seja, a integral irá de zero a um, para uma maior precisão dos cálculos. O cálculo do valor eficaz de tensão é dada pela expressão (2).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) \cdot dt} \quad (2)$$

O valor eficaz da corrente é dada pela equação (3).

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) \cdot dt} \quad (3)$$

A potência aparente é descrita através da equação (4), onde V_{rms} é o valor eficaz da tensão e I_{rms} o valor eficaz da corrente.

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (4)$$

O fator de potência (Fp) é definido como a razão entre a potência média pela potência aparente [1], conforme equação (5).

$$Fp = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Dos valores das potências ativa e aparente calcula-se a potência reativa [1] conforme equação (6). Este cálculo nada mais é que a representação do triângulo de potências entre P , Q e S .

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

A distorção harmônica total, é definida como uma medida da proximidade da forma entre a forma de onda e sua componente fundamental, a distorção harmônica total de tensão é definida conforme equação (7).

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + \dots}}{V_1} \quad (7)$$

A distorção harmônica total de corrente é definida conforme equação (8).

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots}}{I_1} \quad (8)$$

As amplitudes harmônicas para os sinais de tensão e correntes são dadas pelo espectro de amplitudes para cada ordem harmônica, conforme a definição sobre Série de Fourier equação (9).

$$f(t) = a_o + \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cdot \cos(n \cdot \omega_o \cdot t + \theta_n) \quad (9)$$

Neste trabalho o limite para a ordem harmônica é 50^{th} .

B. Sistema de Potência Trifásico a Três Condutores

O sistema de potência trifásico é aquele em que o conjunto de alimentação é um sistema composto de três fases, conforme Fig. 6.

Este método é aplicável para os circuitos trifásicos a três fios, equilibrados ou não, sendo todos os três condutores de fases.

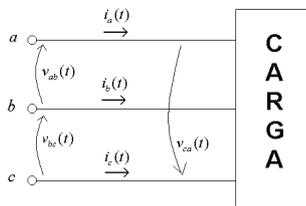


Fig. 6. Sistema de potência tipo trifásico a três condutores

A potência ativa total [1] para este tipo de sistema pode ser expressa pela equação (10).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (v_{ac}(t) \cdot i_a(t) + v_{bc}(t) \cdot i_b(t)) dt \quad (10)$$

A potência aparente [1] é calculada através dos valores eficazes da tensão e corrente de linha, conforme equação (11).

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (11)$$

Onde a tensão e corrente eficaz são calculadas para cada fase conforme equações (2) e (3), adotando-se um período de 60 ciclos. Para o cálculo da potência aparente (11), o valor eficaz de tensão e corrente é dado pelas equações (12) e (13), respectivamente.

$$V_{rms} = \frac{V_{rms-ab} + V_{rms-bc} + V_{rms-ca}}{3} \quad (12)$$

$$I_{rms} = \frac{I_{rms-a} + I_{rms-b} + I_{rms-c}}{3} \quad (13)$$

O cálculo da Distorção Harmônica Total de tensão e corrente é calculada para cada fase no sistema de medição trifásico a três condutores, conforme equações (7) e (8). As equações (14) e (15), representam os valores médios de THD_v e THD_i .

$$THD_v = \frac{THD_{v-a} + THD_{v-b} + THD_{v-c}}{3} \quad (14)$$

$$THD_i = \frac{THD_{i-a} + THD_{i-b} + THD_{i-c}}{3} \quad (15)$$

C. Sistema de Potência Trifásico a Quatro Condutores

O sistema de potência do tipo trifásico a quatro condutores é composto por três fases e um neutro, conforme Fig 7.

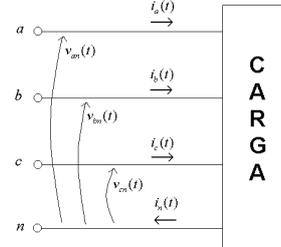


Fig. 7. Sistema de potência tipo trifásico a quatro condutores

A potência ativa total [1] para este sistema pode ser dada pela equação (16).

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (v_{an}(t) \cdot i_a(t) + v_{bn}(t) \cdot i_b(t) + v_{cn}(t) \cdot i_c(t)) dt \quad (16)$$

A potência aparente [1] é calculada através dos valores rms da tensão e corrente de linha, descrita pela equação (17).

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{rms} \cdot I_{rms} \quad (17)$$

Onde os valores eficazes de tensão e corrente para o cálculo da potência aparente é dado conforme equações (12) e (13).

O cálculo da Distorção Harmônica Total de tensão e corrente é calculada para cada fase no sistema de medição trifásico a quatro condutores, conforme equações (7) e (8).

As equações (14) e (15), representam os valores médios de THD_v e THD_i , para este sistema de medição.

D. Sistema de Potência em Corrente Contínua

Um retificador é um circuito que converte um sinal ca em um sinal unidirecional, fornecendo tensões cc com uma quantidade mínima de conteúdo harmônico. A Fig. 8 representa o sistema de potência em corrente contínua.

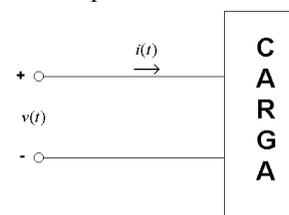


Fig. 8. Sistema de potência tipo corrente contínua

A tensão de saída cc é composta de duas componentes, uma cc e outra ca (ripple) [6]. O valor médio da tensão (V_{CC}) é dada pela equação (18).

$$V_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad (18)$$

O valor médio da corrente (I_{CC}) é descrito conforme equação (19).

$$I_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (19)$$

De posse dos valores de tensão e corrente médios calcula-se o valor da potência média em corrente contínua [6], conforme equação (20).

$$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CC} \quad (20)$$

Com os valores *rms* das componentes alternadas de tensão e corrente calcula-se a potência em corrente alternada [6], conforme equação (21).

$$P_{CA} = V_{CA-rms} \cdot I_{CA-rms} \quad (21)$$

Onde,

$$V_{CA-rms} = \sqrt{V_{rms}^2 - V_{CC}^2} \quad (22)$$

$$I_{CA-rms} = \sqrt{I_{rms}^2 - I_{CC}^2} \quad (23)$$

V. SOFTWARE IMPLEMENTADO

O software implementado foi desenvolvido utilizando-se a linguagem de programação gráfica LabVIEW versão 6.1 e está configurado com uma taxa de amostragem de 20.000 amostras/s, ou seja, a cada 2s o software adquire 40.000 amostras, o que equivale a dizer que, para cada período tem-se 333,3 pontos amostrados. Um período do sinal medido de 60 Hz corresponde a 16,7ms e o tempo entre duas medidas consecutivas é: $(0,0167s)/333,3 = 50\mu s$.

De acordo com critério de Nyquist o período da máxima harmônica amostrada corretamente é $T_h = 50.3 = 150 \mu s$. Desta forma, a máxima frequência harmônica é calculada por: $f_h = 6666 \text{ Hz}$ ou $6666/60 = 111^{th}$, que é a ordem harmônica máxima.

A medição e tratamento de sinais em sistemas de potência compreende quatro etapas. A primeira refere-se ao sistema monofásico em corrente alternada. A segunda etapa corresponde ao sistema trifásico a três condutores. A terceira etapa trata-se do sistema de medição a quatro condutores. E, a quarta e última etapa refere-se a medição e tratamento de sinais em corrente contínua.

Ao abrir o programa o usuário depara-se com uma janela principal, que lhe fornecerá quatro opções conforme o tipo de sistema a ser medido, a Fig. 9 representa esta tela.



Fig. 9. Janela principal do software implementado

A. Sistema de Medição Monofásico

Para o sistema de medição do tipo monofásico o programa utiliza dois canais da placa de aquisição de dados, um para tensão e outro para corrente.

A Fig. 10 exibe a janela do sistema de medição do tipo monofásico, para um exemplo de medição com carga não-linear. O programa apresenta as formas de ondas da tensão e corrente de fase e também, calcula a potência instantânea em tempo real. No canto esquerdo inferior são exibidas as grandezas calculadas. Na coluna central tem-se as amplitudes das componentes harmônicas da tensão e corrente. Na terceira coluna apresenta-se quatro botões. O primeiro "Salvar Dados", fornece a opção de salvar as grandezas calculadas em uma planilha do Excel. O segundo "Salvar Espectro", também permite salvar o espectro harmônico em uma planilha do Excel. O terceiro "Salvar Ondas", salva as formas de ondas em um arquivo *.html*. O último botão "Sair", termina a aplicação, retornando para a janela principal, conforme Fig. 9.

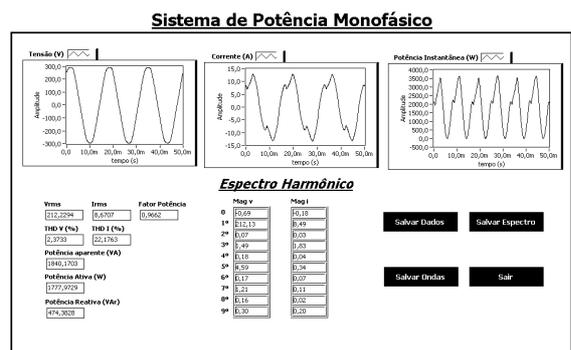


Fig. 10. Janela Sistema de Potência Monofásico

B. Sistema de Medição a Três Condutores

Para o sistema de medição do tipo trifásico a três condutores o programa utiliza quatro canais da placa de aquisição de dados, dois para tensões e outros dois para correntes.

Para o sistema de medição trifásico a três fios, conforme

Fig. 11, o programa apresenta na tela as tensões e correntes de linha e também a potência instantânea.

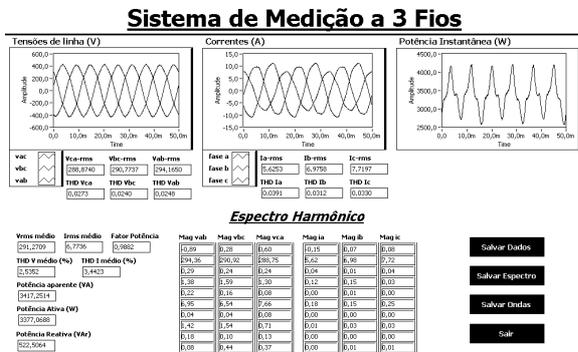


Fig. 11. Janela Sistema de Medição a Três Fios

C. Sistema de Medição a Quatro Condutores

Para o sistema de medição do tipo trifásico a quatro condutores o programa utiliza seis canais da placa de aquisição de dados, três para tensões e outros três para correntes.

A Fig. 12 é a janela apresentada caso a opção escolhida seja a medição trifásica a quatro condutores. Esta opção aplica-se a sistemas trifásicos em Y com condutor de neutro.

O programa mostra as formas de ondas das tensões e correntes de fases, potência instantânea total e corrente de neutro.

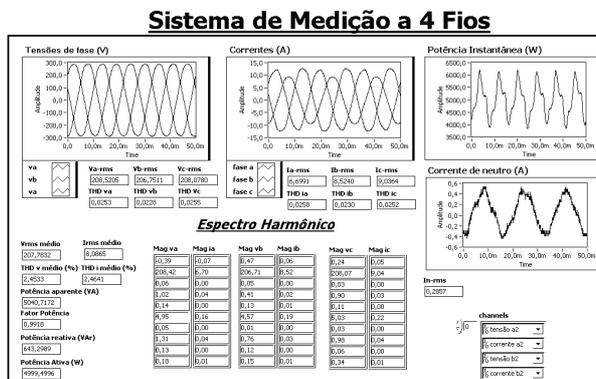


Fig. 12. Janela Sistema de Medição a Quatro Fios

D. Sistema de Medição em Corrente Contínua

No sistema de medição em corrente contínua o programa utiliza dois canais da placa de aquisição de dados, um para tensão e outro para corrente.

A Fig. 13 exibe a janela para o modo de medição em sistema de corrente contínua. O programa mostra ao usuário as formas de ondas da tensão, correntes e potência instantânea em *cc*.

Corrente Contínua

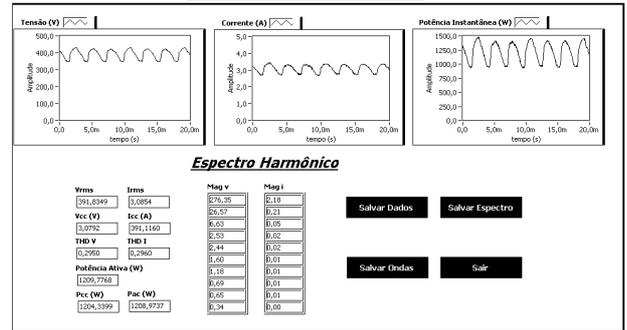


Fig. 13. Janela Sistema de Medição em Corrente Contínua

VI. CONCLUSÃO

O protótipo do sistema desenvolvido para aquisição e tratamento de sinais em sistema de potência em baixa tensão é realizado em tempo real com programação em LabVIEW e utiliza transdutores de tensão e corrente de alta precisão.

As medições dos sinais se aplicam a sistemas de potência monofásico, trifásico a três condutores, trifásico a quatro condutores (neutro) e corrente contínua.

Para todas estas etapas são apresentadas as formas de ondas dos sinais medidos (tensão e corrente) bem como a forma de onda calculada da potência ativa instantânea. São também mostrados no painel os valores médio e *rms* das grandezas.

A Distorsão Harmônica Total de tensão e corrente (THD_v e THD_i) e o espectro harmônica destas variáveis são também apresentadas no painel frontal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Energética de Goiás (CELG) pelo financiamento do projeto e à Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE) pelo gerenciamento administrativo do mesmo.

REFERENCES

- [1] S. F. MEDEIROS, *Medição de Energia Elétrica*. Ed. Universitária, UFPE.
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. DAQ, PCI and Series User Manual. 2002. Disponível em: < <http://www.ni.com> >
- [4] NATIONAL INSTRUMENTS. LabVIEW, User Manual. 2001. Disponível em: < <http://www.ni.com> >
- [5] NATIONAL INSTRUMENTS. SCB-68 Shielded Connector Block, Installation Guide. 2001. Disponível em: < <http://www.ni.com> >.
- [6] M. H Rashid,, "Eletrônica de Potência: Circuitos, Dispositivos e Aplicações"; Editora Makron Books, 1999.