

INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA VIABILIZAR O USO PRÁTICO DA “LÍNGUA ELETRÔNICA”.

Bruno Barreto Bergamo, José Alberto Giacometti, Flávio Cabral Pandur, Antônio Riul Junior. – Física – Ciência da Computação - Departamento de Física Química e Biologia – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus de Presidente Prudente.

Introdução

Uma “*língua eletrônica*” foi desenvolvida no Brasil através de colaboradores nossos e foi internacionalmente patenteada pela EMBRAPA. São utilizados filmes finos de polímeros condutores e misturas desses com lipídios, sendo que as medidas são baseadas na espectroscopia de impedância elétrica [1]. Esse sistema tem sido capaz de reconhecer os padrões de paladar abaixo do limite de detecção biológico e ainda avaliar de maneira rápida e barata a qualidade de diversos tipos de bebidas, selecionando-as em diferentes categorias, referentes ao seu paladar, permitindo sua quantificação. Para o processo de detecção de sabores usando a “*língua eletrônica*”, atualmente se usa a medida da capacitância elétrica de cada dispositivo medida em 1 kHz [2]. A separação dos sabores é feita analisando-se estatisticamente os valores das capacitâncias dos sensores para os diferentes líquidos através da Análise da Componente Principal (PCA) .

Metodologia

O sistema de medidas de impedância é composto de um gerador de sinais, um circuito de condicionamento de sinais e interface para os sensores, um multiplexador, uma placa de aquisição de dados (DAQ) e um microcomputador. O gerador de sinais fornece a tensão (senoidal) que será aplicado aos sensores. Tem-se também um sistema de multiplexação que permite aplicar a tensão alternada a cada sensor da língua eletrônica. A placa de aquisição de dados DAQ está inserida no microcomputador e sua função é converter o sinal analógico aplicado aos sensores (V_{IN}) e o sinal de resposta do sensor (V_{OUT}) em valores digitais. Além disso, a placa DAQ também efetua o controle do multiplexador através da saída digital. A partir dos valores digitalizados das amplitudes dos sinais da tensão aplicada e a corrente elétrica através do sensor e a diferença de fase desses sinais determina-se a impedância complexa de cada sensor.

Neste trabalho foi utilizada a placa de aquisição de dados DAQ modelo NI6036E[3], fabricado pela National. Ela é uma placa de barramento PCI, de fácil instalação e apresenta: 16 entradas analógicas, com 16 bits de resolução; 2 saídas analógicas de 16 bits de resolução e permite até 200.000 amostragens por segundo (200 “*Ksamples/seg*”)

Procurando um melhor desempenho do algoritmo de nosso software, a solução encontrada foi de realizar primeiramente a leitura dos canais analógicos em um único vetor e após isto, separá-los em vetores diferentes, calculando o valor real do sinal, deduzindo o respectivo ganho de amplificação. Após esta etapa, pode-se aplicar a DFT(Trasnformada Discreta de Fourier) e corrigir a defasagem provocada pela aquisição entrelaçada dos dois canais. Essas etapas são realizadas entre 10 e 15 vezes, a fim de tirar a média aritmética para uma melhor precisão.

A partir dos valores corrigidos pode-se calcular a impedância, a capacitância e a parte dissipativa do sensor. Para as medidas com os vários sensores da língua, o escritor de tarefa digital é acionado, multiplexando o sensor e então é realizada novamente toda etapa descrita anteriormente.

Esta “varredura” entre os sensores é repetida de acordo com a entrada do usuário para a quantidade de conjuntos de pontos, com ou sem tempo de intervalo entre as aquisições. Por ultimo. O software determina a gravação dos dados em arquivos que poderão ser exportados para o Excel ou para o MathLab.

Existem três formas de realizar a transferência de dados nesta placa: DMA, interrupção e via programação. Neste trabalho foi utilizada a aquisição via DMA. Embora todas as formas são rápidas para realizar as aquisições, esta última permite desocupar o processador do computador, assim deixando-o livre para tratar de outros processos do sistema.

Foram programadas 500 aquisições para cada canal e optou-se em realizar a leitura de 50 pontos por ciclo resultando então em um total de 10 ciclos lidos. Quando trabalhando com um sinal de 1 KHz, isto representa uma aquisição a cada 20 μ s, que corresponde a 50 “*Ksamples/segundo*”. Esse valor é para cada canal e como são realizadas aquisições para 2 canais, tem-se uma taxa de aquisição

de 100 “Ksamples/segundo”. A placa NI6036E tem capacidade de operar em até 200 “KSamples/segundo”, portanto utiliza-se metade da sua capacidade de taxa de aquisição.

A placa de aquisição de dados um conjunto de bibliotecas para facilitar sua programação. Elas são basicamente divididas em criação, manipulação e exclusão de tarefas. As tarefas são configurações pré-definidas de operações que a placa pode realizar. Em nosso caso, utilizaremos apenas a criação de uma tarefa analógica, para a aquisição do sinal no canal Vout e Vin, e de uma tarefa digital para o gerenciamento do multiplexador do sensor. O programa computacional foi desenvolvido utilizando o Integrated Development Environment (IDE) Borland C++ Builder.

Medidas

O modelo de língua eletrônica utilizado tem como base a determinação de variações de impedância (e consequentemente da capacitância) que os sensores apresentam em diferentes substâncias. Em trabalho anterior foi considerada que a faixa confiável de capacitância, que pode ser determinada pelo sistema, situa-se entre 700 pF a 180 nF e para a impedância, de 1 KΩ a 200 KΩ.

A Tabela 1 apresenta os valores de capacitância e impedância obtidos pelo sistema, C_{SIS} e Z_{SIS} respectivamente e os resultados obtidos pelo equipamento Solartron, C_{SOL} e Z_{SOL} , sendo todas as medidas efetuadas à frequência de 1 KHz, com amplitude do sinal aplicado de 100 mV. Para cada valor determinado pelo sistema, foi calculado qual o desvio percentual em relação ao resultado da capacitância obtida no equipamento Solartron. Esses desvios também são apresentados na Tabela 1, sendo calculados como segue da expressão (1). Neste caso, é exemplificado o cálculo do desvio da capacitância, ou seja, qual a diferença percentual de C_{SIS} em relação a C_{SOL} . Cálculo idêntico foi realizado para os valores de impedância (Z_{SIS} em relação a Z_{SOL}).

$$DESvio\% = \left| 100 \frac{(C_{sis} - C_{sol})}{C_{sol}} \right| \quad (1)$$

CAPACITOR	MEDIDAS DE CAPACITÂNCIA (F)			MEDIDAS DE IMPEDÂNCIA (Ω)		
	SISTEMA (C_{SIS}) F	SOLARTRON (C_{SOL}) F	DESvio %	SISTEMA (Z_{SIS}) KΩ	SOLARTRON (Z_{SOL}) KΩ	DESvio %
710 pF	709,9 p	700,7 p	1,3	222,46	225,37	1,3
2,2 nF	22,40 n	22,2 n	0,9	70,9	71,68	1,1
10 nF	10,62 n	10,64 n	0,2	14,97	14,94	0,2
47 nF	4868 n	48,75 n	0,1	3,27	3,26	0,3
100 nF	101,45 n	101,54 n	0,09	1,57	1,56	0,6
180 nF	161,4 n	163,9 n	1,4	984,5	971,0	1,4

Tabela 1 – Medidas de capacitância e impedância de capacitores comerciais.

Com os limites de medidas pré-estabelecidos, passou-se à determinação da reprodutibilidade do sistema. Foram efetuadas medidas com os capacitores de 710 pF, 180 nF e o capacitor de 10 nF, cujos valores situam-se dentro da faixa ótima de medidas do sistema.

Foram realizadas medidas com três tipos diferentes (Amostra B, Amostra C, Amostra D) de soluções com concentrações desconhecidas. A solução é proveniente de um coágulo de látex. A Tabela 3 apresenta a média de cinco aquisições realizada pelo sistema (C_{sis}) utilizando cinco sensores, em três dias diferentes, com temperatura ambiente variando entre 21° a 26 ° Celsius. As medidas de capacitâncias foram obtidas após um período de 30 minutos com o sensor imerso na solução, sendo este tempo necessário para estabilização das leituras do sensor.

Dias	Amostras	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6
1° dia	Amostra B	3,32968	14,52948	6,32896	13,568	4,84822	4,15776
2° dia	Amostra B	3,44196	51,7252	5,7964	16,237	4,81896	4,01448
3° dia	Amostra B	3,66328	50,288	5,76174	16,8194	5,10664	4,16598

1º dia	Amostra C	10,576	69,5404	11,5404	12,3362	10,632	8,71922
2º dia	Amostra C	12,6238	49,144	14,361	37,4286	14,2782	12,8038
3º dia	Amostra C	12,9122	48,6818	14,3744	41,5172	14,3914	13,269
1º dia	Amostra D	3,15878	78,191	5,08854	7,50056	4,035	3,87846
2º dia	Amostra D	3,16142	51,4428	4,8804	9,62276	4,11498	3,72834
3º dia	Amostra D	3,00706	50,8786	4,87062	10,00094	4,2626	3,64604

Tabela 3 – Resultados das médias de capacitâncias (em nF) obtidas de aquisições realizadas pelo sistema

Resultados

O sistema de medidas mostrou ter uma reprodutibilidade bastante boa, com baixo índice de variação para uma série de medidas realizadas de um mesmo capacitor. Considerando o desvio padrão, a máxima variação percentual dentro da faixa ótima de trabalho é menor que 0,1 %. Da Tabela 1 pode-se considerar que os números obtidos pelo sistema sendo ótimos, uma vez que o sistema possui um índice de erro semelhante ao Solartron 1260 [4]., quando consideradas as respectivas faixas ótimas de trabalho de cada aparelho.

Para os valores obtidos com os sensores com as soluções foi realizada a análise de valores utilizando Análise de Componentes Principais (PCA), um método estatístico disponível no programa Matlab e que permite determinar a contribuição de cada sensor no resultado geral da medida da substância conseguindo-se distinguir as substâncias analisadas. A Figura 1 mostra os resultados obtidos. Por esta figura, consegue-se identificar que as substâncias foram separadas e que a mesma substância resulta em um aglomerado de medidas, mesmo ocorrendo em dias diferentes.

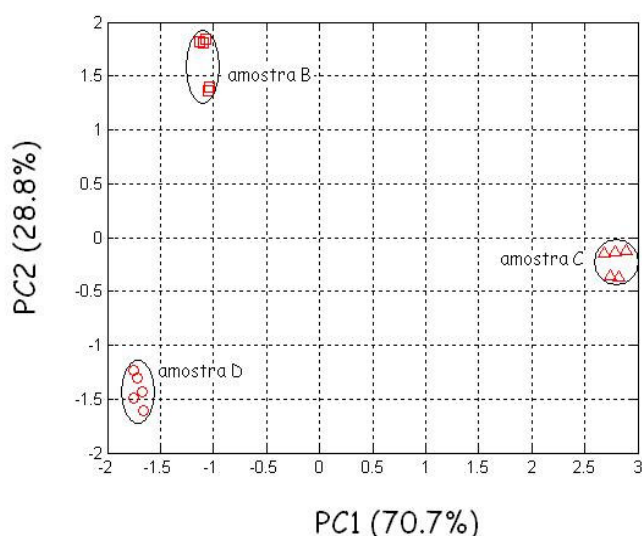


Figura 1 – Resultados da análise PCA obtidos com os sensores

A facilidade de operação do sistema construído é um ponto a se destacar, pois é possível programá-lo para efetuar medidas em até 8 sensores diferentes, além da possibilidade de efetuar uma série contínua de medidas. Um conjunto de 100 medidas de um sensor leva cerca de 20 segundos para ser efetivada e é realizada de forma completamente automatizada, com os parâmetros das medidas definidos pelo usuário. Outros dois pontos a serem destacados são: a) a possibilidade de se programar uma série de medidas com intervalos pré-determinados de tempo entre elas e b) que todos os dados experimentais são salvos em arquivos com uma formatação que permite serem importados diretamente pelos programas Excel ou MatLab. Todas essas características além da amigável interface gráfica mostrada na Figura 2, resultam em um importante diferencial na utilização do sistema como língua eletrônica.



Figura 2 – Interface gráfica principal do programa

Até agora, em medidas com a língua eletrônica é utilizado um medidor de impedância comercial, que obviamente possui algumas vantagens, tais como, ampla faixa de operação de frequência e de impedância. Porém, há limitações importantes a serem consideradas. No equipamento Solartron 1260 não é possível realizar medidas em diversos sensores simultaneamente. As medidas têm de ser realizadas individualmente para cada sensor ou é necessário a construção de multiplexador de sinais que permita programar a escolha do sensor. O nosso sistema apresenta um custo extremamente baixo se comparado com um medidor de impedância comercial. De fato, um equipamento Solartron 1260 tem um custo aproximado de 30 mil dólares.

Conclusão

Podemos considerar os resultados encontrados são satisfatórios, pois os resultados obtidos com os capacitores e sensores foram os esperados. O sistema encontra-se em uso pelo pesquisador Dr. Antonio Riul Junior e por alunos de iniciação científica. Tem-se utilizado o programa Z-Plot para efetuar suas medidas com o equipamento Solarton, porém este é um processo lento. Para as medidas de cada sensor devem-se tratar os dados e criar os arquivos manualmente, para então serem lidos pelos programas Excel e MatLab. A utilização do sistema desenvolvido neste trabalho permite um ganho de produtividade importante nos procedimentos de medidas. Além disto, pode-se destacar que o presente trabalho resultou no desenvolvimento de um sistema de baixo custo, que efetua medidas em 1 KHz que eventualmente poderá ter seu uso estendido para outras frequências.

Os estudos neste trabalho se deram em duas frentes: no nível teórico e prático (implementação), contemplando os principais temas propostos no projeto de pesquisa.

A partir do sistema desenvolvido aqui será integrado aos programas de Análise de Componentes Principais(PCAs) e Redes Neurais Artificiais(RNAs).

Referencia Bibliográfica

- [1] Riul, A. Jr.; Mattoso, L. H. C.; Fonseca, F. J.; D.M. Taylor, S.V. Mello, E.C. Venâncio, *patente nacional (PI 0103502-9) depositada em 2001 no INPI*; E. C. Venâncio, L. H. C. Mattoso, L. Martin Neto, F. J. Fonseca, S. V. Mello e A. Riul Jr, *(PI 02 00 409-7) depositada em 2002 no INPI*.
- [2] BEEBE, K. R.; PEEL, R. J. M.; SEASHOLTZ, B. *Chemometrics: A Pratical Guide*. Wiley, NewYork ,1998.
- [3] *LOW-COST E SERIES MULTIFUNCTION DAQ12 OR 16-BIT, 200 KS/S, 16 ANALOG INPUTS*. Encontrado em http://www.ni.com/pdf/products/us/4daqsc202-204_ETCx2_212_213.pdf, acessado em Dezembro de 2005.
- [4] *1260 IMPEDANCE/GAIN-PHASE ANALYZER.: OPERATING MANUAL*. Solartron Analytical, 2001.

Bolsa : FAPESP