DESENVOLVIMENTO DE UM ANEMÔMETRO DIGITAL ULTRA-SÔNICO

M. R. S. Ribeiro[1], R. Bergamasco[1], M. G. Ribeiro[1], S. V. Aredes[2], L. F. W. Barbosa[3],

[1]Engenharia Elétrica - UNIVAP/FEAU
[2]INPE/LIT/MEQ, Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja, São José dos Campos – SP - Brasil
svagner.aredes@lit.inpe.br
[3]UNIVAP/FEAU, Av. Shishima Hifumi, 2911 - Urbanova, São José dos Campos – SP - Brasil
wiltgen@univap.br

Resumo - Este trabalho descreve o projeto, a construção e os testes de um anemômetro digital ultra-sônico microcontrolado. Este anemômetro deve ser capaz de medir a velocidade do vento e sua direção por meio de pares de transdutores piezoelétricos posicionados ao longo de dois eixos ortogonais. O princípio de medição é baseado na relação linear entre a diferença de tempo de trânsito do ultra-som (40kHz) e a velocidade do ar. A distância que o ultra-som percorre é conhecida e a temperatura será compensada por meio da medição inversa do tempo de transito. O anemômetro foi projetado para trabalhar em uma faixa de temperatura positiva entre 10 e 60^{o}C, podendo medir deslocamentos de ar de até 10m/s.

Palavras-chave: Anemômetro, transdutor, microcontrolador.
Área do Conhecimento: III - Engenharias

Introdução

A necessidade de se conhecer a velocidade de deslocamento do ar ocorre nos mais diferenciados locais.

Como exemplos pode se citar: O monitoramento do fluxo de ar numa mina de gás subterrânea (TAYLOR et al., 2004) com o objetivo de manter os níveis de metano abaixo do limite de concentração explosiva, tornando o ambiente seguro para os trabalhadores. Em estudos de formação ou deslocamento de dunas devido a ventos (WALKER et al., 2004). Em ventilação interna de edifícios (TANG et al., 2003), onde é importante saber a velocidade do ar nos dutos e nas saídas dos difusores. Na caracterização dos ventos em um local que será implantado uma central eólica (NUTEMA, 2003) para produção de energia elétrica. Além da aplicação típica de análise atmosférica por uma estação meteorológica (QUARANTA et al., 1985).

O equipamento destinado para a medida da velocidade de deslocamento do ar denomina-se anemômetro. Apresenta características peculiares a cada processo de medição, e para cada tipo de aplicação.

O anemômetro de copo (CYLIAX, 2006) é o mais tradicional. É construído geralmente com quatro copos fixos em dois eixos que giram radialmente e proporcionalmente à velocidade do vento que é indicado por um tacômetro. Uma derivação deste método é a utilização de uma pequena turbina, que em sua configuração mais simples é uma hélice circundada por uma seção de duto. Este tipo de anemômetro possui a vantagem de ter baixo custo, porém possui a desvantagem de ter peças móveis, que impossibilitam medidas instantâneas devido à inércia física, e os desgastes mecânicos.

O anemômetro de fio quente (QUARANTA et al., 1985), o anemômetro a laser (LDA) (QUARANTA et al., 1985) e o anemômetro ultra-sônico (UA), são exemplos de anemômetros sem peças móveis. O anemômetro de fio quente mede a velocidade do ar pela detecção da temperatura dissipada por um fio aquecido sob o efeito do impacto do ar. O desempenho do anemômetro de fio quente é afetado pelas impurezas e sujeiras acumulados no fio aquecido.

Os LDAs utilizam o efeito Doppler, ou o efeito de interferência óptica para medir a velocidade do ar. São anemômetros caros e utilizados em aplicações específicas. O anemômetro ultra-sônico mede a velocidade do ar por meio da medida da velocidade do som no ar.

A motivação para projetar, construir e testar um anemômetro digital ultra-sônico baseado em um microcontrolador foi devido às várias possibilidades de aplicação deste tipo de equipamento, além de sua eficiência com relação ao custo, ou o que é chamado de custo-desempenho. Este tipo de equipamento possui ainda, grande faixa dinâmica, baixo erro de linearidade (TANG et al., 2003) e outras configurações mecânicas que podem minimizar os efeitos de umidade e temperatura nas medidas (QUARANTA et al., 1985).

A aplicação do microcontrolador no circuito tem a finalidade de manipular os dados obtidos pelos transdutores que estão montados em forma de quadrantes (vetores), e transformá-los em velocidade e direção do ar, ou seja, o

microcontrolador transforma as coordenadas retangulares obtidas da configuração mecânica, em coordenadas polares. Outro fator importante no uso do microcontrolador está relacionado à quantidade de componentes eletrônicos necessários no circuito, o que ajuda a aumentar a robustez e diminuir o custo final do equipamento.

Características do Equipamento

A Figura 1 mostra o diagrama esquemático da disposição ortogonal dos transdutores nos dois eixos de medição. O trem de pulso é emitido alternadamente em cada um dos quatro transdutores o qual é recebido pelo transdutor, que fica posicionado imediatamente em frente ao emissor.

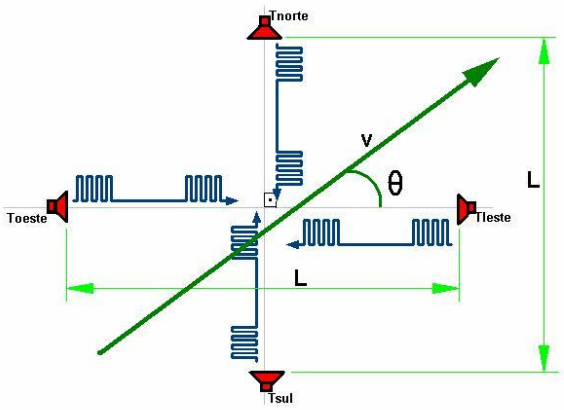

Figura 1- Diagrama esquemático da posição dos transdutores.

Pode-se observar na Figura 1, que para cada par de transdutores, é possível calcular a velocidade do vento desde que à distância entre os dois transdutores seja fixa e conhecida (*L*).

O tempo que o sinal de ultra-som utiliza para percorrer de um transdutor ao outro é medido por um contador. Esse tempo (*t*) também é conhecido como tempo de vôo (time of fly-TOF). Como o ultra-som gasta um tempo t_o para percorrer esta distância, mesmo que não haja vento, t_o tem que ser compensado. A compensação de t_o é feita por meio de c_o que é a velocidade do som nas condições de temperatura e umidade que se está medindo o tempo *t*.

Sabendo que θ é um provável ângulo entre o vetor da velocidade do vento com o eixo em que está disposto os transdutores, tem-se:

$$1 / t = (c_o + v \cos \theta) / L \qquad (01)$$

$$v \cos \theta = (L / t) - c_o \qquad (02)$$

A Figura 2 mostra o diagrama de blocos funcional simplificado do anemômetro que ilustra basicamente a comunicação do microcontrolador PIC do tipo 16F877 com os periféricos de interface humana e chave analógica.

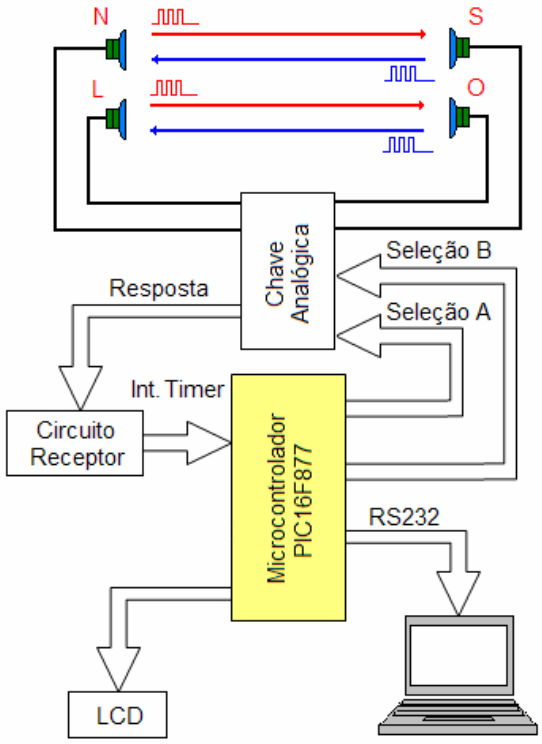

Figura 2- Esquema de funcionamento do anemômetro digital ultra-sônico.

Quando um ciclo de medição anemométrico é realizado, que se caracteriza quando cada um dos quatro transdutores enviou e recebeu o trem de pulso, os tempos nos dois eixos foram medidos nos sentidos direto e inverso. Assim, é medido o tempo que o trem de pulso percorreu de norte para sul e de sul para norte, e de leste para oeste e vise versa.

Utilizou-se como transdutor, o modelo disponível pelo fabricante Murata com freqüência de ressonância em 40kHz. Portanto os pulsos do trem de pulso foram gerados nesta freqüência, que foi escolhida por apresentar baixa perda por atenuação, boa diretividade e baixo custo dos transdutores.

Para a geração do sinal (trem de pulso), medição do tempo de vôo, controle do ciclo de medição, conversão do vetor de retangular para polar e comunicação com o computador através do PIC 16F877 configurado com oscilador externo a cristal de 10MHz para permitir estabilidade e resolução nas medidas. A seguir serão definidos alguns parâmetros utilizados no desenvolvimento deste equipamento:

Trem de Pulso: O trem de pulso gerado pode ter a quantidade de pulso alterado no programa inserido no PIC. O pulso tem 12,5µs de duração.

O tempo entre cada seqüência de pulsos é de no mínimo a soma do tempo que o som necessita para percorrer a distância entre os dois transdutores e o tempo computacional para o tratamento dos dados, que é da ordem de 0,8ms.

Medição do Tempo de Vôo: O tempo que o ultra-som leva para percorrer a distância entre os transdutores. Este tempo é medido pelo contador interno do PIC, tendo como início de contagem o momento que o último pulso é produzido para transmissão. A contagem de tempo é finalizada quando o PIC tem seu pino de interrupção acionado. Isto ocorre quando o sinal é recebido e amplificado.

Controle do Ciclo de Medição: Uma chave analógica é utilizada como um multiplexador pelo microcontrolador para que seja determinado qual transdutor atua como transmissor e qual atua como receptor. Em seguida o microcontrolador, via chave analógica, inverte as funções de transmissão e recepção para os mesmos transdutores. A chave analógica então repete as funções de transmissão e recepção entre os transdutores do outro eixo para que o ciclo de medição seja finalizado.

Circuito de Recepção: Um circuito integrado LM 358, que possui dois amplificadores operacionais no mesmo encapsulamento, é responsável pelos dois estágios de amplificação do sinal. No primeiro estágio o ganho é de -100 e no segundo o ganho é ajustável entre -0,5 a -100. A impedância de entrada do primeiro estágio permite o casamento de sinais com o transdutor, e a saída do segundo estágio é conectada ao sinal de interrupção do PIC via um transistor BC 549.

Conversão do Vetor de Retangular para Polar: Uma vez realizado um ciclo de medição, o PIC tem em seus registradores valores correspondentes a um vetor em sua forma retangular. A conversão para a forma polar é necessária, pois o interesse é apresentar o resultado na forma de uma rosa dos ventos.

Comunicação com o Computador: O computador é conectado ao microcontrolador serialmente via circuito integrado MAX 232 para se compatibilizar os níveis de tensão. A comunicação serial foi escolhida porque poucos bytes de dados são transmitidos em tempos irregulares.

A Figura 3 mostra o programa de aquisição e visualização dos dados que apresenta o resultado colhido pelo do anemômetro. Na tela, a velocidade do vento instantânea é apresentada nos ponteiros e nas linhas imediatamente abaixo aos indicadores. Em outros campos são apresentados a média, a visualização gráfica e os dados armazenados em um arquivo de texto que poderá ser utilizado para análises posteriores.

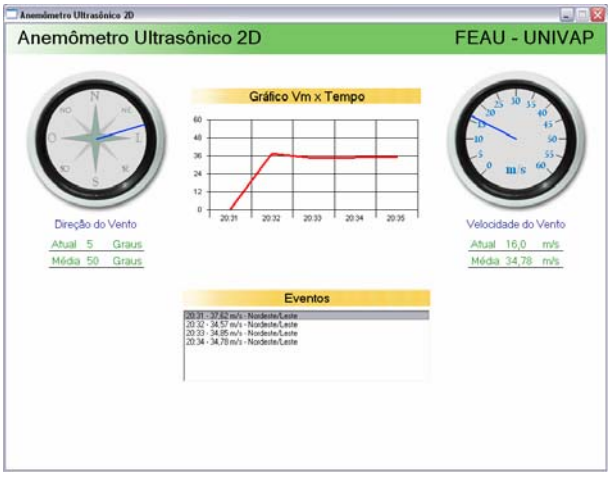

Figura 3- Programa de aquisição e apresentação de dados em tempo real do Anemômetro Digital Ultra-sônico.

A montagem mecânica dos sensores consistiu na junção de canos de pvc utilizados em tubulações de água, de forma que os transdutores de cada eixo ficassem a uma distância de 0,3 metros um do outro.

Resultados Experimentais

A montagem experimental pode ser observada na Figura 4, que apresenta também, um detalhe (canto superior direito), a tela do osciloscópio.

Figura 4- Protótipo experimental do anemômetro em teste

A tela do osciloscópio apresenta o sinal enviado ao transdutor funcionando como emissor, e o sinal recebido no transdutor receptor.

Os testes de funcionamento do anemômetro foram realizados colocando um ventilador a uma distância de 1m com alinhamento igual a um dos eixos formados pelos transdutores. Este procedimento foi realizado em ambos eixos do equipamento e nos dois sentido de direção.

O teste foi repetido, modificando a posição do ventilador para 45^o em relação ao primeiro teste. Foi observado que o anemômetro indicou corretamente cada direção do vento nos dois procedimentos de teste.

A verificação de linearidade nas medidas do anemômetro foi realizada posicionando o ventilador à 45^o em relação aos dois eixos de medida de forma que o mesmo ficasse equidistante aos dois transdutores mais próximos. A distãncia do ventilador ao centro dos eixos foi de 1,5m.

Discussão

A resolução das medidas podem ser melhoradas com o aumento da freqüência de operação do microcontrolador, ou então, com o aumento da distância entre os transdutores.

O aumento da distância entre os transdutores demanda um aumento na potência transmitida. Na prática foi observado que uma distância de 0,8m com pulsos de tensão de 9V ao invés de 5V permitiu operar corretamente o equipamento.

Entretanto, esta modificação não melhorou a resolução das medidas. Isto leva a crer que o fator determinante para a melhora da resolução das medidas deve ser o aumento da freqüência de operação do microcontrolador, como era esperado.

A distância mínima entre os transdutores foi definida a partir de uma região no qual a frente de onda produzida pelo transdutor não seja modificada devido a características de interferência. Normalmente o fabricante do transdutor define esta distância mínima.

Outro fenômeno observado, no momento da construção do suporte dos transdutores, foi a atenuação do sinal na recepção devido a materiais próximo da região de tráfego do ultrasom. Portanto na instação do anemômetro devem ser observadas as distâncias definidas pela Elípse de Fresnel. Esta define a altura dos transdutores em relação à base, ou mesmo, a distância entre possíveis protetores de interpéries atmosféricas.

Todas medidas foram obtida em meio a grandes flutuações nas indicações do anemômetro, o que pode explicar a incoerência em algumas medidas de velocidade do vento.

Deve-se observar também, que apesar do programa de aquisição de dados via PC estar pronto, o protótipo do Anemômetro Digital Ultra-sônico, projetado nesta pesquisa, ainda não foi testado com a comunicação serial com o PC.

Conclusão e Perspectivas

O Anemômetro Digital Ultra-sônico foi projetado, construído e testado. O protótipo ainda não está finalizado e apesar das oscilações observadas, funciona relativamente bem para uma faixa de velocidade de vento além da prevista.

Atualmente algumas modificações estão sendo realizadas no protótipo, para conseguir a comunicação com o programa de computador responsável pela aquisição e apresentação em tempo real dos dados coletados pelo equipamento.

Outra melhoria prevista para este equipamento diz respeito ao aumento na estabilidade das medidas anemométricas. Isto tornará o equipamento mais robusto e eficiente.

Referências

-CYLIAX, Ingo. Internet-Connected sonic anemometer. Circuit Cellar Magazine, issue 186, USA, 2006.

-QUARANTA, A Alberigi, et al. A microprocessor based, three axes, ultrasonic anemometer. J. Phys. E: Sci. Instrum., Vol. 18, 1985. Great Britain.

-RIO 3 – WORLD CLIMATE & ENERGY EVENT, 1-5 December 2003, Rio de Janeiro, Brazil. PRO-FAE: FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUXILIO NO PROJETO PRELIMINAR DE FAZENDAS EÓLICAS. NUTEMA – Núcleo Tecnológico de Energia e Meio Ambiente, PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

-TANG, Shan; FEDERSPIEL, Clifford C.; AUSLANDER, David M. Pulsed Type Ultrasonic Anemometer Based on a Double FFT Procedure. University of California, Berkeley, CA, USA, 2003

-TAYLOR, Charles; CHILTON, Chilton; McWILLIAMS, Linda; SENK, Mark. Evaluating Factors Affecting the Performance of Three-Axis Ultrasonic Anemometers. NIOSH, Pittsburgh Research Laboratory, Pittsburgh, PA USA,2004.

-WALKER, Ian J. Walker. Physical and logistical considerations of using ultrasonic anemometers in aeolian sediment transport research. Boundary Layer Airflow and Sediment Transport (BLAST) Research Unit, Department of Geography, University of Victoria, Victoria, British Columbia, Canada, 2004.