

**DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE
ÂNGULO DE ATAQUE PARA AERONAVES DE
PEQUENO PORTE**

João Francsico Alves Borges

João Francisco Alves Borges

**DESENVOLVIMENTO DE UM MEDIDOR DE ÂNGULO DE
ATAQUE PARA AERONAVES DE PEQUENO PORTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós
Graduação em Engenharia Mecânica da
Escola de Engenharia da UFMG, como
requisito parcial à obtenção do título de
Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Luiz Utsch
de Freitas Pinto

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
Departamento de Engenharia Mecânica
Setembro de 2008

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo Luiz Utsch de Freitas Pinto pela flexibilidade e liberdade conferida ao meu trabalho e às minhas opiniões.

Ao Prof. Dr. Paulo Henriques Iscold Andrade de Oliveira por me permitir utilizar livremente a estrutura do CEA e por me fornecer os programas de CFD aos quais empreguei generosamente neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rogério Pinto Ribeiro por permitir que o auxiliasse como parte do requisito do programa de mestrado da UFMG, me rendendo uma publicação.

Ao meu amigo Luciano Augusto Kruku por me auxiliar na parte eletrônica de minha tese, seja fornecendo livros, fornecendo ensinamentos ou discutindo sobre a viabilidade ou não do funcionamento dos protótipos.

Aos meus pais e meus irmãos, que mesmo longe me auxiliaram com apoio.

Aos meus amigos Guilherme Santana, Quintino Romagna e ao pessoal do Aerodesign e tantos outros que me receberam de braços abertos na UFMG e aonde passei dois anos e meio trabalhosos porém felizes.

RESUMO

Este trabalho é uma primeira tentativa de se obter um medidor de ângulo de ataque operacional com vistas à instalação em aeronaves de pequeno porte não tripuladas. Estuda-se um sensor de ângulo de ataque por diferencial de pressão em túnel de vento como elemento sensível para o dispositivo proposto. Desenvolve-se um sensor de pressão capacitivo e sua eletrônica de leitura como meio de tornar o sistema um dispositivo eletro-mecânico para maior flexibilidade de uso. Os resultados incluem curvas de desempenho de ambos os sensores assim como uma abordagem para a compressão das múltiplas curvas de desempenho do sensor de ângulo de ataque em apenas uma única curva. Ao término do trabalho obteve-se um sensor de ângulo de ataque linear no intervalo de -10 graus a +10 graus.

ABSTRACT

This work is the first try to attain an operational angle of attack measurement equipment to be installed in small sized unmanned aircraft. It is studied a pressure differential angle of attack sensor in a wind tunnel as sensible element for the proposed device. It is developed a capacitive pressure sensor and its reading electronics as means of turning the proposed device into an electro-mechanical device allowing greater flexibility for use. Among the results there are many performance curves of both sensors and one approach to compress the multiple performance curves of the angle of attack sensor into a single curve. At the end of the work, it is reached an angle of attack sensor which is linear at the -10 to +10 degrees interval.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE GRÁFICOS	x
NOMENCLATURA	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE ATAQUE	3
2.1 INTRODUÇÃO.....	3
2.2 MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE ATAQUE POR ALINHADORES PIVOTADOS.....	3
2.3 MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE ATAQUE POR DIFERENCIAL DE PRESSÃO	8
2.4 MEDIÇÃO DE ÂNGULO DE ATAQUE ATRAVÉS DE DISPOSITIVOS PERSEGUIDORES DE DIFERENCIAL DE PRESSÃO NULA	13
2.5 NOTAS EM DETECÇÃO DE ESTOL COM MEDIDORES DE ÂNGULO DE ATAQUE	15
2.6 O ESTADO DA ARTE EM SENSORES DE ÂNGULO DE ATAQUE	15
3. TÉCNICAS DE MEDIÇÃO USANDO SENSORES ELETRÔNICOS	18
3.1 INTRODUÇÃO.....	18
3.2 SENSOR ELETRÔNICO DE PRESSÃO.....	19
3.2.1 MEDIÇÃO POR EXTENSÔMETROS	21
3.2.2 MEDIÇÃO POR INTERFEROMETRIA LASER.....	25
3.2.3 MEDIÇÃO POR CAPACITÂNCIA OU RELUTÂNCIA VARIÁVEL	27

3.3 SENSOR ELETRÔNICO DE DESLOCAMENTO.....	30
3.3.1 MEDIÇÃO POR POTENCIÔMETRO	31
3.3.2 MEDIÇÃO POR LVDT	32
3.3.3 MEDIÇÃO POR CODIFICADOR	33
3.4 SENSORES DISPONÍVEIS NO MERCADO	35
4. SISTEMA MEDIDOR DE ÂNGULO DE ATAQUE.....	38
4.1 INTRODUÇÃO.....	38
4.2 SISTEMAS MEDIDORES DE ÂNGULO DE ATAQUE.....	38
4.2.1 SISTEMAS MECÂNICOS	39
4.2.2 SISTEMAS ELETRO-MECÂNICOS.....	40
4.3 SISTEMA PROPOSTO.....	42
4.3.1 PROPÓSITO	42
4.3.2 TOPOLOGIA ESCOLHIDA.....	43
4.4 RESTRIÇÕES DE PROJETO.....	47
4.4.1 CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS.....	47
4.4.2 CONDIÇÕES DE VÔO DA AERONAVE.....	48
4.4.3 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO SENSOR ELETRO-MECÂNICO DE PRESSÃO	49
5. SENSOR DE PRESSÃO DESENVOLVIDO.....	50
5.1 INTRODUÇÃO	50
5.2 PROJETO	50
5.3 ELETRÔNICA PARA MEDIÇÃO DE CAPACITÂNCIA.....	51
5.4 MANÔMETROS EM U CAPACITIVOS	55
5.4.1 BANCADA DE TESTES.....	55
5.4.2 SENSOR C0	58

5.4.3 SENSOR C1	60
5.5 CONVERSÃO DE VARIAÇÃO EM FREQUÊNCIA PARA VARIAÇÃO DE TENSÃO	62
5.5.1 MALHA DE CAPTURA DE FASE	63
5.5.2 PROJETO DO CONVERSOR DE FREQUÊNCIA PARA TENSÃO	64
5.6 PROJETO C2	66
5.7 SENSOR A	74
6. DESENVOLVIMENTO DA FORMA DO SENSOR DE ÂNGULO DE ATAQUE	77
6.1 INTRODUÇÃO	77
6.2 MÉTODO PARA A CRIAÇÃO DO SENSOR DE ÂNGULO DE ATAQUE	78
6.3 ANÁLISE DOS DADOS CONTIDOS NA REFERÊNCIA.....	80
6.4 ANÁLISE DE SONDAS UTILIZANDO CÓDIGO COMPUTACIONAL	81
6.4.1 INTRODUÇÃO.....	81
6.4.2 ALGORITMO DE CÁLCULO SELECIONADO	82
6.4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS NUMÉRICOS E OS DADOS EXTRAÍDOS DA REFERÊNCIA	84
6.4.4 DEFINIÇÃO DE SONDAS PARA ENSAIO NO CFD	93
6.4.5 SELEÇÃO DE SONDAS PARA A CONSTRUÇÃO	96
6.5 CONSTRUÇÃO DA SONDA DE ÂNGULO DE ATAQUE.....	99
6.6 ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO DO SENSOR DE ÂNGULO DE ATAQUE	103
6.6.1 O TÚNEL DE VENTO DO CEA.....	103
6.6.2 ESPECIFICAÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS NO TÚNEL DE VENTO	112

6.6.3 DADOS COLETADOS DOS ENSAIOS.....	117
7. PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS	119
7.1 INTRODUÇÃO.....	119
7.2 PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS BRUTOS	120
7.3 COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO DO CÁLCULO NUMÉRICO E OS DADOS OBTIDOS EM TÚNEL	126
7.4 INVESTIGAÇÃO DA INTERFERÊNCIA ENTRE PLANOS DAS TOMADAS DE PRESSÃO NA SONDA	127
7.5 REDUÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NO TÚNEL.....	128
8. CONCLUSÃO.....	134
8.1 COMENTÁRIOS FINAIS	134
8.2 CONCLUSÕES	137
8.3 SUGESTÕES.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
APÊNDICE A – GRÁFICOS	141
A.1 GRÁFICOS CONSTRUÍDOS COM DADOS DAS REFERÊNCIAS.....	141
A.2 CURVAS DE DESEMPENHO DO TÚNEL.....	146
A.3 RESULTADOS NÃO PROCESSADOS DA CALIBRAÇÃO EM TÚNEL DE VENTO	147
A.4 DADOS AMBIENTAIS DOS ENSAIOS EM TÚNEL DE VENTO	149
A.5 RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO EM TÚNEL DE VENTO COM HISTERESE COMPENSADA	153
A.6 RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO EM TÚNEL DE VENTO LINEARIZADOS.....	155
A.7 RESULTADOS EM TÚNEL DE VENTO COM HISTERESE	

COMPENSADA REORGANIZADO.....	157
A.8 RESULTADO DA CALIBRAÇÃO EM TÚNEL DE VENTO DO	
ELEMENTO SENSOR	160

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

