

Ramon Vieira Canales

**PROCESSAMENTO DE SINAIS PARA
INSPEÇÃO DE CORROSÃO EM DUTOS
POR PIG ULTRASSÔNICO USANDO
FILTRO CASADO**

São Paulo
Março de 2010

Ramon Vieira Canales

**PROCESSAMENTO DE SINAIS PARA
INSPEÇÃO DE CORROSÃO EM DUTOS
POR PIG ULTRASSÔNICO USANDO
FILTRO CASADO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

São Paulo
Março de 2010

Ramon Vieira Canales

**PROCESSAMENTO DE SINAIS PARA
INSPEÇÃO DE CORROSÃO EM DUTOS
POR PIG ULTRASSÔNICO USANDO
FILTRO CASADO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração:
Engenharia de Controle e Automação Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Celso Massatoshi Furukawa

São Paulo
Março de 2010

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 24 de maio de 2010.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Canales, Ramon Vieira

Processamento de sinais para inspeção de corrosão em dutos por PIG ultrassônico usando filtro casado / R.V. Canales. -- ed.rev. -- São Paulo, 2010.

144 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos.

1. Ensaaios não destrutivos 2. Processamento de sinais acústicos 3. Corrosão 4. Dutos 5. Tempo-real I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos II. t.

*Dedico este trabalho à todos aqueles que lutam pela preservação do planeta e da vida
(pelo menos a vida que merece ser preservada)*

Agradecimentos

Não posso deixar de começar estes agradecimentos pela pessoa responsável pela minha criação, por me dar a possibilidade de trilhar os caminhos que eu quis escolher, por sempre ter me apoiado, e por ter me ensinado tudo que foi preciso para caminhar sozinho, minha mãe. Também agradeço à todos os meus familiares, ao menos os que sabem que fiz mestrado.

Agradeço à minha companheira (espero que para vida inteira), Marcela Fanti, que me dá forças quando preciso, que me atura e que compartilha os bons e maus momentos da vida.

Seguindo, agradeço ao meu orientador, Celso Furukawa, que me guiou desde o começo da faculdade, compartilhando seu conhecimento e experiência, e que possibilitou que hoje eu me tornasse um mestre em Engenharia.

Agradeço às instituições que possibilitaram este trabalho: ao CNPQ (pela bolsa de estudo, sem a qual eu não teria sobrevivido estes anos), ao CENPES/Petrobras e Pipeway (pelo apoio técnico) e à FINEP (pelo apoio financeiro, convênio *n*º 01.05.0823.00).

Agradeço a todos os meus amigos, que de uma forma ou de outra estiveram presentes durante este trabalho.

E lógico, agradeço à você, que investiu tempo lendo estas palavras, e que provavelmente investirá muito mais lendo o restante deste trabalho!

Por último, muito obrigado a Deus, Poseidon, Thor, Baco, Amon-RÁ, Tupã, O Segredo, ou seja lá como quiserem chamar!

Resumo

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um algoritmo para avaliar o grau de corrosão em paredes de oleodutos, através de ultrassom. O algoritmo desenvolvido será implementado em um circuito digital, fazendo parte de um sistema que poderá ser embarcado em pigs ultrassônicos para inspeção de dutos à procura de corrosão. O modelo matemático conhecido como filtro casado é usado como base do algoritmo, além de um método de detecção de picos para localização dos sinais de eco de ultrassom, provenientes das reflexões do sinal nas paredes dos dutos. Um dos problemas é a definição do sinal (e do filtro) que será utilizado, mas por meio de sinais sintetizados (*signal design*) uma grande gama de alternativas foi analisada e apenas algumas foram selecionadas para testes em experimentos. Por último os melhores sinais foram utilizados na inspeção de um corpo de prova feito à partir de um duto corroído, e os resultados são analisados. A detecção da primeira parede do oleoduto apresenta resultados promissores em comparação com a medição tridimensional das mesmas paredes. O sistema foi capaz de reconstruir o perfil da parede interna do duto com elevada verossimilhança, mesmo em regiões severamente corroídas. A detecção da segunda parede apresenta resultados satisfatórios para baixos níveis de corrosão, porém alguns problemas foram encontrados para níveis mais altos de corrosão, prejudicando a medição direta da espessura da parede nestas condições.

Palavras-chave: *Pig ultrassônico, Inspeção não destrutiva por ultrassom, DSP em tempo-real, Filtro casado, Códigos de Barker, Signal Design*

Abstract

Signal processing for corrosion assessment in pipelines with ultrasound PIG using matched filter

This work describes the development of an algorithm that uses ultrasound to evaluate the degree of corrosion in pipeline walls. The developed algorithm was implemented in a dedicated digital circuit that can be embedded in ultrasonic pigs for pipeline corrosion inspection. The algorithm is based on the mathematic model known as matched filter. It also incorporates a peak detection method for the localization of ultrasound echoes, originated from the signal reflections in the pipeline walls. One of the problems is the determination of the signal (and filter) that should be used, but using a signal design approach, a large number of possibilities could be analyzed so that only a few had to be tested in experiments. Finally, the best signals were used to inspect a sample made of a corroded pipeline section, and the results were analyzed. The detection of the first wall showed promising results when compared to the results of a tridimensional inspection of the same walls. It was possible to reconstruct the profile of the internal wall with good likelihood, even in badly corroded areas. The detection of the second wall showed some satisfactory results on low corrosion levels, but showed some problems with high corrosion levels, compromising the direct measurement of the pipeline wall thickness.

Keywords: *Ultrasonic pig, Ultrasonic non-destructive testing, Real-time DSP, Matched Filter, Barker codes, Signal Design*

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 18 |
| 1.1 | Contextualização e Motivação | 18 |
| 1.2 | Objetivos | 19 |
| 1.3 | Descrição do Trabalho | 20 |
| 2 | Revisão Bibliográfica | 22 |
| 2.1 | Pigs | 22 |
| 2.2 | Tratamento estatístico | 23 |
| 2.3 | Processamento Digital | 24 |
| 2.4 | Filtro Casado e Código de Barker | 26 |
| 3 | Aspectos Teóricos | 29 |
| 3.1 | Ultrassom | 29 |
| 3.1.1 | Os sinais de Ultrassom | 29 |
| 3.1.2 | A reflexão das ondas | 30 |
| 3.1.3 | O TOA (<i>Time of Arrival</i>) e a inspeção por ultrassom | 31 |
| 3.1.4 | Transdutores de Ultrassom | 33 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2 | Processamento digital de sinais | 37 |
| 3.2.1 | Sistema Embarcado - FPGA | 38 |
| 3.2.2 | Processamento Digital | 39 |
| 3.3 | Algoritmos matemáticos | 39 |
| 3.3.1 | Estimação do TOA | 39 |
| 3.3.2 | Filtro Casado | 41 |
| 3.3.3 | Códigos de Barker | 45 |
| 3.3.4 | Comparação do erro entre duas medidas | 49 |
| 3.4 | Os problemas da inspeção por ultrassom | 50 |
| 3.4.1 | Critério | 52 |
| 4 | Metodologia | 53 |
| 4.1 | Cálculo do Tempo de Inspeção | 53 |
| 4.2 | Excitação dos Transdutores | 55 |
| 4.2.1 | Potência enviada | 58 |
| 4.2.2 | Códigos de Barker e número de ciclos | 60 |
| 4.2.3 | Detecção de Picos | 67 |
| 4.3 | Sistema Proposto | 69 |
| 4.3.1 | Placa Pulsadora | 75 |
| 5 | Testes reais | 77 |
| 5.1 | Primeira etapa | 77 |
| 5.1.1 | Corpo de Prova 1 | 78 |
| 5.1.2 | Resultados | 78 |
| 5.2 | Segunda Etapa | 81 |
| 5.2.1 | Corpo de Prova 2 | 82 |

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:

