

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Departament d'Enginyeria Electrònica

**CONTRIBUCIÓN A LA MEJORA DE
RESOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE
OBTENCIÓN DE IMÁGENES POR
ULTRASONIDOS**

Autor: Jordi Salazar Soler
Director: Miguel J. García Hernández

Diciembre de 1997

Agradecimientos

Deseo reconocer mi agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado conmigo en la realización de esta Tesis Doctoral.

En primer lugar debo confesar que este trabajo no hubiese sido posible de no ser por el Grupo Sistemas Sensores del Departament d'Enginyeria Electrònica, grupo del que es para mi un orgullo formar parte. En concreto deseo agradecer expresamente la colaboración de Juan Antonio Chávez Domínguez y Antonio Turó Peroy, con quienes más estrechamente he colaborado durante estos años, conjuntamente con Miguel Jesús García Hernández, mi Director de Tesis y a quien dedico una mención especial.

Quiero hacer extensivo mi agradecimiento a toda la gente del Departament d'Enginyeria Electrònica al cual pertenezco y que nunca me han negado ayuda de ningún tipo, en especial a Santiago Silvestre Berges. También a aquellos profesores y amigos que en un momento de su vida formaron parte del Departament: Daniel Carles Prat, Xavier Ferrás y Xavier Domingo.

No he de olvidar la colaboración de los estudiantes que han realizado conmigo su proyecto final de carrera: Carlos Yáñez Vázquez y Xavier Tormo Blanca. Ambos han realizado excelentes trabajos.

Por último quisiera agradecer la comprensión mostrada por mis compañeros y compañeras de "liada" y al equipo de fútbol del Departament en aquellos momentos de máximo trabajo que me obligaban a excusar mi asistencia.

Resumen

El objetivo principal de esta Tesis se centra en la mejora de la resolución axial de los sistemas de ultrasonidos basados en la medida del tiempo de vuelo y/o la recepción de ecos, utilizando soluciones de bajo coste. Se propone como excitación del transductor el uso de formas de onda simples cuyos parámetros básicos han sido obtenidos a partir del análisis de las características presentadas por uno de los pulsos acústicos emitido y recibido por el propio transductor. Esta técnica se muestra particularmente eficaz al aplicarla a transductores muy poco amortiguados, es decir, con un factor Q alto, lo que hace que sea muy adecuada para utilizarla con transductores de aire, cuyos pulsos presentan una respuesta transitoria de duración excesiva en forma de "colas de emisión".

Tras la introducción del principio de funcionamiento en que se basa la técnica de cancelación por pulso, se desarrollada la teoría necesaria para poder determinar los parámetros básicos del pulso de cancelación, tanto en el dominio temporal como en el frecuencial. Previamente se han justificado los requisitos que debe cumplir la envolvente del pulso que se desea cancelar parte de él.

Se ha desarrollado un procedimiento de simulación basado en el software HSPIICE para poder evaluar a priori la mejora introducida por la técnica de cancelación de pulsos. Se evita así el tener que realizar medidas experimentales para determinar las características de la excitación necesaria. Los resultados obtenidos con simulación fueron contrastados con medidas experimentales viendo que existía una estrecha correlación entre ellos.

Se hace también un estudio de la excitación específica que requiere uno de los transductores utilizados en este trabajo. El objetivo de este estudio será la comparación entre los resultados apartados por la técnica de cancelación de pulsos y por la técnica de excitación basada en la inversa de la respuesta impulsional del transductor. Los pulsos acústicos emitidos con esta última técnica son analizados atendiendo a criterios energéticos. Se propone una nueva manera para determinar con precisión la respuesta impulsional de un sistema, que se ha aplicado a la caracterización de transductores de ultrasonidos.

Se ha realizado un estudio sobre las mejoras introducidas en diversos sistemas de medida por ultrasonidos cuando a ellas se aplica la técnica de cancelación de pulsos. El resultado es que se mejora notablemente la resolución de la medida y las prestaciones de los equipos de medida sin que ello signifique un coste adicional para el equipo.

En resumen, como contribución fundamental de este trabajo de Tesis se ha formalizado la técnica de cancelación de pulsos aportando la teoría necesaria para la obtención de los parámetros básicos característicos del pulso de cancelación.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Introducción	1
1.2 Motivación, objetivos y contribuciones	3
1.3 Desarrollo de la Tesis.....	5
1.4 Publicaciones relacionadas con la Tesis.....	6
Capítulo 2. Propuestas y alternativas	9
2.1 Introducción	9
2.2 Antecedentes	10
2.3 Métodos mecánicos.....	13
2.3.1 Utilización del <i>backing</i> y capas de adaptación a $\lambda/4$	13
2.3.2 Transductores compuestos (<i>composite transducers</i>).....	16
2.4 Métodos eléctricos	18
2.4.1 Técnica de cancelación por pulso	18
2.4.1.1 Principio de funcionamiento de la técnica de cancelación por pulso	18
2.4.1.2 Mejora del ancho de banda del transductor.....	23
2.4.2 Compresión de pulsos	28
2.4.3 Excitación con la respuesta impulsional inversa del transductor	30
2.5 Métodos de post-procesado.....	32

2.5.1	El filtro WLS	33
2.5.2	Propiedades y parámetros del filtro WLS.....	37
2.6	Conclusiones.....	38
Capítulo 3.	Técnica de cancelación por pulso	41
3.1	Introducción.....	41
3.2	Modelos eléctricos utilizados para el transductor de ultrasonidos.....	43
3.2.1	Modelo SPICE del transductor piezoeléctrico en modo espesor	44
3.2.2	Modelo RLC del transductor de ultrasonidos	48
3.3	Excitación eléctrica del transductor con un segundo pulso	49
3.4	Optimización HSPICE de los parámetros T_d y α del segundo pulso	51
3.5	Verificación experimental	58
3.5.1	Caso de estudio 1.....	58
3.5.2	Caso de estudio 2.....	60
3.5.3	Caso de estudio 3.....	64
3.6	Elección del parámetro T_d	69
3.7	Factores de mérito	71
3.8	Conclusiones.....	77
Capítulo 4.	Excitación específica de transductores	79
4.1	Introducción.....	79
4.2	Determinación de la respuesta impulsional de un sistema.....	80
4.3	Obtención de la respuesta impulsional del transductor.....	83
4.4	Variación de la respuesta impulsional con la distancia.....	88
4.5	Caracterización de un nuevo transductor.....	90
4.6	La función inversa	92
4.6.1	Obtención de la función inversa	92
4.6.2	Aplicación de la función inversa como excitación	94
4.6.3	Adaptación de impedancias entre el generador y el transductor	95
4.6.4	Excitación con la función inversa empleando la red de adaptación.....	96
4.6.5	Respuesta impulsional del conjunto transformador-transductor	97
4.6.6	Obtención de la función inversa del conjunto transformador-transductor	98
4.7	Comportamiento con la distancia al transductor de la función inversa.....	100

4.7.1	Comportamiento de la función inversa obtenida en campo lejano	100
4.7.2	Comportamiento de la función inversa obtenida en campo próximo	102
4.8	Valoración de los resultados obtenidos	108
4.9	Comparación de resultados con la técnica de cancelación por pulso	111
4.10	Conclusiones	115
Capítulo 5.	Aplicación a métodos de medida por ultrasonidos	117
5.1	Introducción	117
5.2	Dependencia de la velocidad de la onda de ultrasonidos con los parámetros del medio de propagación	118
5.3	Métodos de medida	120
5.4	Métodos pulsados de medida	120
5.4.1	Principio de medida	120
5.4.1.1	Determinación del instante de llegada del pulso de ultrasonidos	122
5.4.1.2	Efecto de las colas de emisión en la determinación del instante de llegada del pulso de ultrasonidos	125
5.4.2	Medida de distancias y de nivel	127
5.4.3	Medida de espesores	129
5.4.4	Medida de velocidad del viento y de caudal	131
5.5	Conclusiones	134
Capítulo 6.	Conclusiones	137
Apéndice A.	Caracterización de transductores mediante un circuito RLC	A1
A.1	Introducción	A1
A.2	Circuito equivalente	A2
A.3	Extracción de los parámetros C_0 , C_1 , L_1 y R_1	A4
A.4	Circuitos equivalentes de emisión y recepción	A5
A.5	Resultado del ajuste realizado para varios transductores	A7
A.5.1	Transductores de disco a flexión	A7
A.5.1.1	Transductor utilizado en emisión	A7

A.5.1.2	Transductor utilizado en recepción	A9
A.5.2	Transductores piezoeléctricos en modo espesor.....	A10
Apéndice B.	Circuito generador del pulso de cancelación.....	B1
B.1	Introducción.....	B1
B.2	Circuito retardador de pulsos.....	B2
B.3	Circuito excitador de transductores con un segundo pulso.....	B6
Apéndice C.	Entorno de medida.....	C1
C.1	Introducción.....	C1
C.2	Descripción del equipo utilizado	C2
C.3	Disposición del equipo	C6
C.3.1	Medidas en agua.....	C6
C.3.2	Medidas en aire	C8
Referencias		R1