

MARCO EXPERIMENTAL PARA RECONFIGURACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXCITACIÓN - CONMUTACIÓN PULSADA EN SISTEMAS ULTRASÓNICOS DE END

REFERENCIA PACS: 43.35.c

P.T. Sanz, M. Cegarra, A. Ramos, y J.L. San Emeterio
Instituto de Acústica, CSIC.

Serrano 144
28006 MADRID
Tel: 34 915 618 806
E-mail: iacss17@fresno.csic.es

ABSTRACT

In industrial NDT ultrasonic applications, highly attenuating and dispersive explored media are frequently encountered. A high efficiency and a high signal to noise ratio are usually required in order to cover the necessary dynamic range. In order to attain these requirements, the electrical matching/tuning between the high-voltage electronic generator and the piezoelectric emitter transducer, as well as the coupling between the piezoelectric receiver and the specific reception electronics have to be optimised. In this paper, a modular experimental "testing-bench", designed and developed for the optimization of the different subsystems involved in the generation and reception of pulsed ultrasonic signals, is presented. The main functional modules, characteristics and operating options are described. Some computed and experimental examples, for the assessment of NDT-pulser responses using the experimental mark, are included.

INTRODUCCIÓN

En muchas aplicaciones industriales de ensayo no destructivo (END) por ultrasonidos de alta frecuencia, la inspección en modo pulso-eco de determinados productos tropieza con problemas derivados de la elevada atenuación producida en las señales acústicas pulsadas con las que se realiza la exploración. Esto puede estar originado por el tipo de material o la estructura interna bajo ensayo, y exige un amplio rango dinámico para la relación señal-ruido (incluso de hasta 100 dB) lo que implica un diseño cuidadoso de todas las etapas que componen la cadena electromecánica [1]. En particular puede ser crítica la optimización de la banda de paso global en emisión-recepción de dicha cadena [2]. Esta banda de paso viene determinada en gran parte por el medio a inspeccionar y por el tipo de transductor [3,4], pero también depende en buena medida del sistema electrónico de excitación, incluyendo la red de adaptación eléctrica [5,6], y posibles elementos de conmutación como parte de dicho sistema [7].

Como resultado de la experiencia acumulada por nuestro grupo sobre aspectos de excitación y control de transductores piezoeléctricos en banda ancha para sistemas ultrasónicos de END e imagen acústica, surgió la necesidad de disponer de un sistema flexible de laboratorio para excitación y conmutación de transductores piezoeléctricos, que fuese adaptable a un gran número de condiciones reales de trabajo. Para cubrir esa necesidad hemos diseñado y desarrollado un marco experimental de configuración flexible que resulta de utilidad para el análisis de las características y condiciones de excitación-recepción electrónica en los sistemas ultrasónicos utilizados para ensayos no destructivos. Dicho marco permite evaluar el comportamiento de múltiples



configuraciones y la influencia de cada una de las etapas del sistema electrónico de excitación sobre la amplitud, ancho de banda y factor de rizado del espectro de frecuencia de la banda de paso global, lo que a su vez se traducirá en las correspondientes características temporales y frecuenciales de los ecos recibidos.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DESARROLLADO

En la figura 1 representamos un diagrama de bloques del sistema electrónico reconfigurable, desarrollado específicamente para el marco experimental. En dicho diagrama se pueden observar los distintos módulos que lo constituyen. Dada la flexibilidad de interconexión de módulos que tiene el sistema, los enlaces entre bloques que aparecen en la figura no se corresponden necesariamente con el orden secuencial en el que pueden estar realmente conectados para una configuración concreta.

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

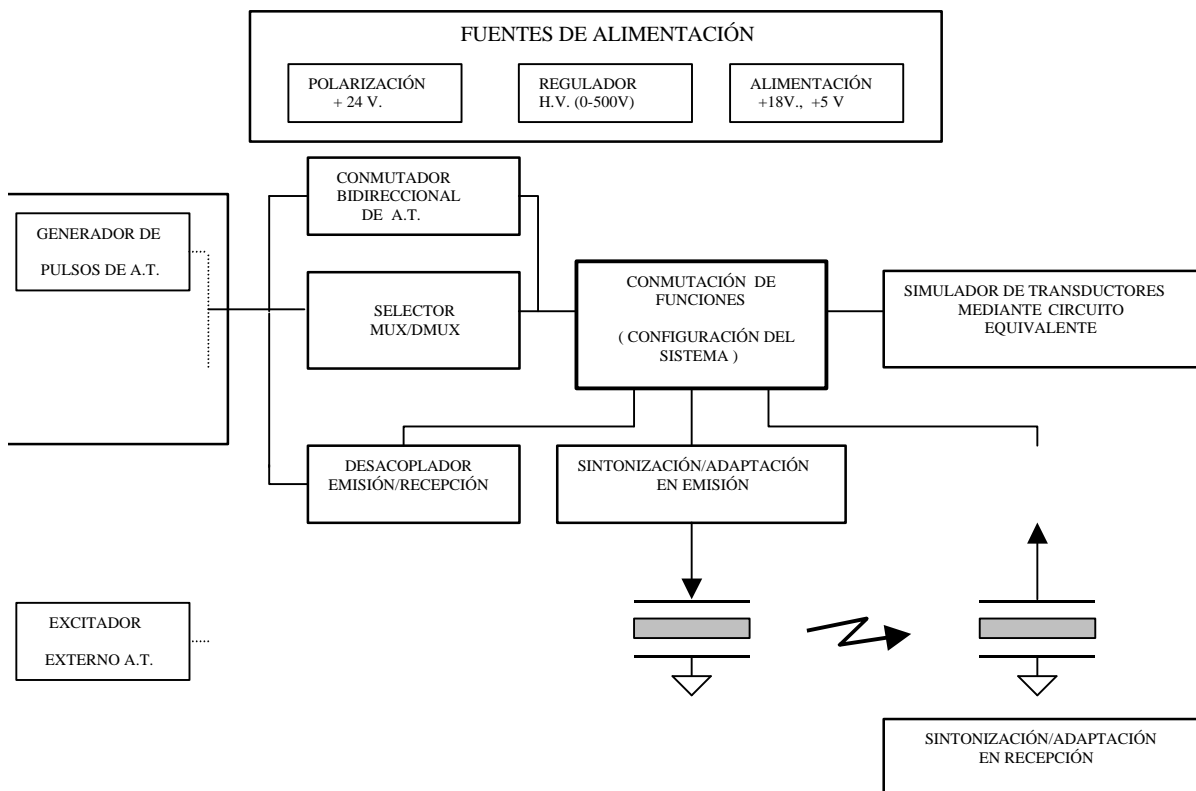


Figura 1.

El conjunto de funciones interrelacionadas en la figura se debe interpretar como una muestra de las posibilidades de conexión que existen entre los bloques funcionales, pudiendo ser muy variada la configuración resultante. En la figura 2 reproducimos una imagen fotográfica de la placa base del sistema. En ella se pueden apreciar, delimitados físicamente, los distintos bloques funcionales y las múltiples posibilidades de interconexión y reconfiguración entre ellos a través puentes, conexiones fijas y/o conexiones enchufables. El sistema lo componen los siguientes módulos:



Excitador A.T. para Transductores Ultrasónicos en Banda Ancha

Está basado en la descarga rápida de un condensador cargado con alta tensión, a través de un transistor MosFet de potencia [8,9]. El módulo incorpora un circuito "driver" especialmente diseñado para facilitar la conmutación rápida del citado transistor. Este subsistema se gobierna mediante una señal TTL externa cuya frecuencia de repetición puede variar desde unos pocos hercios hasta los 12 KHz. El módulo admite su alimentación mediante una fuente de A.T. externa de hasta 500V. Es de destacar la accesibilidad, y por tanto la capacidad de modificación de los elementos esenciales del excitador, como son el condensador de descarga y la resistencia a través de la cual se carga, la red semiconductor de amortiguamiento selectivo [10] etc.. Esto hace que el módulo sea un útil instrumento tanto desde el punto de vista didáctico como de análisis. El sistema admite la posibilidad de utilizar, alternativamente, un excitador externo (comercial) con el fin de comparar los comportamientos de distintos excitadores bajo idénticas condiciones de carga externa.

Conmutador Bidireccional de Pulsos de A.T.

Este módulo corresponde a uno de los canales de un sistema demultiplexor/multiplexor (DMUX/MUX). La incorporación de este módulo está indicada en aquellas inspecciones multicanal en las que por exigencias tecnológicas o por razones de economía de costes se pueda utilizar un solo excitador electrónico y un solo receptor, que secuencialmente controlan "n" canales de inspección. Para estos casos el sistema prevé la posibilidad de analizar su influencia en las cadenas ultrasónicas de inspección que lo incorporen. Este procedimiento de conmutación bidireccional de pulsos de alta tensión, diseñado y desarrollado en nuestro Instituto, está protegido por patentes de invención en USA [7] y Europa y ha sido incorporado en diversos sistemas industriales de inspección automatizada mediante las correspondientes transferencias de tecnología concedidas por el CSIC [11].

Módulo de Sintonización/Adaptación en Emisión/Recepción

Permite analizar la influencia ejercida sobre un sistema de excitación/recepción en modo pulso-eco, por la red adaptadora y de "tuning", y por tanto contrastar experimentalmente resultados parciales en proceso de optimización de esta influencia. Esta etapa es de importancia capital en cualquier sistema ultrasónico de inspección donde, por las dificultades de la misma, (gran atenuación, medios muy dispersivos, presencia de ruido EM, ruido estructural, etc.), es preciso optimizar la transferencia de potencia entre el excitador

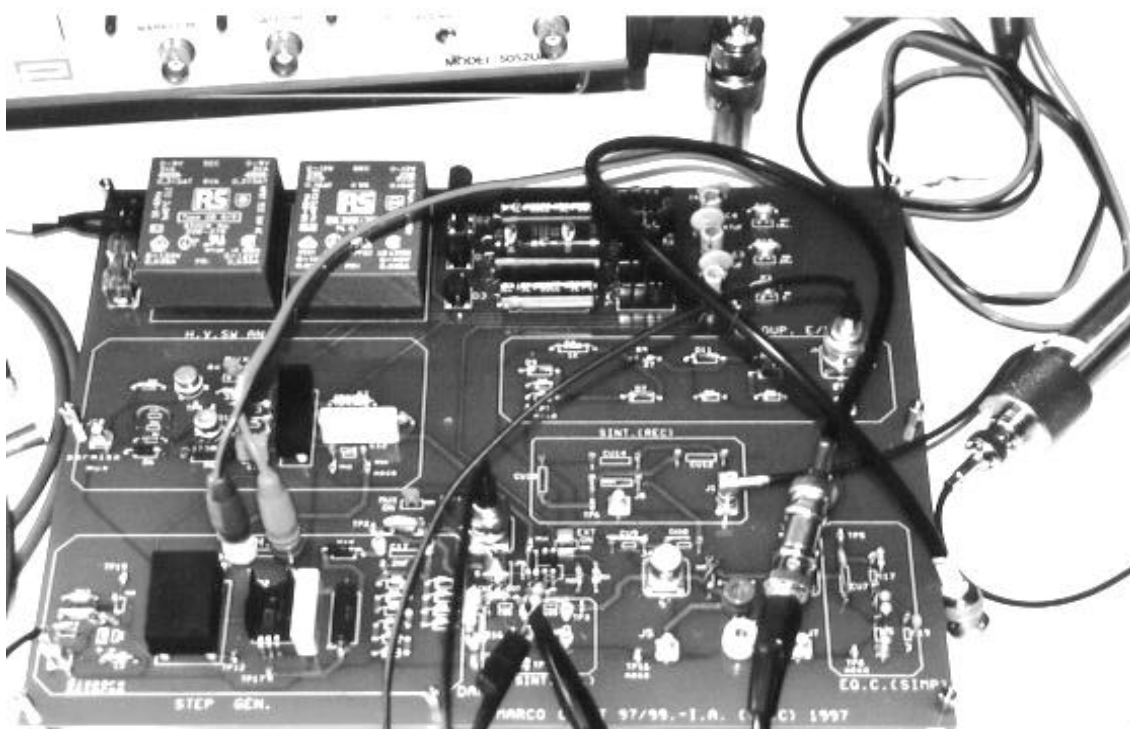


Figura 2.

electrónico y el transductor. Esta unidad de sintonización/adaptación influye a la vez de dos formas distintas sobre el proceso de transducción: por una parte adapta la impedancia del transductor al excitador a una cierta frecuencia, y por otra parte también modifica la respuesta impulsiva de éste [2,10]. En el proceso de optimización, ambos aspectos deben ser analizados tanto en la emisión como en la recepción. Esta red adaptadora/sintonizadora influye, por tanto, decisivamente en la banda de paso global (emisión/recepción) del sistema ultrasónico.

Módulo de Sintonización/Adaptación para Recepción Independiente

El sistema contempla también la posibilidad de configurar una cadena ultrasónica de inspección por transmisión con etapas emisora y receptora independientes. En este caso es posible introducir una red sintonizadora y/o adaptadora en recepción distinta de la de emisión. La función de este módulo es similar a la del módulo de adaptación en emisión pero limitada a la etapa receptora. En el “modo por transmisión” es más fácil la optimización de la cadena ultrasónica global porque disponemos de más parámetros independientes para ello. La banda de paso en emisión es, en este caso, independiente de la banda de paso en recepción. Un criterio de optimización inicial consiste en maximizar el producto ganancia –anchura de banda de la composición de ambas bandas de paso. Los aspectos de rizado en la parte alta de la banda de paso también deben ser considerados.

Se ha previsto que este módulo, por la posición que ocupa dentro de la cadena ultrasónica y por su topología circuital, pueda desempeñar, además, otras funciones en configuraciones específicas, como atenuador, filtro analógico, etc.

Módulo para la Simulación Analógica de Transductores Piezoeléctricos Mediante Circuito Equivalente

De utilidad para analizar la adaptación al transductor de la etapa excitadora mediante la sustitución del transductor por la carga que representa su circuito equivalente simplificado. También se puede utilizar para el análisis comparativo de dichos modelos circuitales y los propios transductores considerados.

Módulo de Desacoplo Emisión/Recepción

Esta función resulta necesaria en cualquier sistema ultrasónico pulso-eco, y puede ser implementada mediante un circuito de tipo recortador clásico o bien con alternativas más elaboradas. Este circuito tiene también la misión de acondicionar la señal recibida a la impedancia de las primeras etapas receptoras.

Además de los módulos descritos, el marco experimental incluye cuatro fuentes de alimentación para la polarización de los distintos subsistemas.

OPCIONES DISPONIBLES

El sistema desarrollado permite combinar todos o parte de los módulos y configurar cada uno de ellos con el objetivo de optimizar la cadena ultrasónica global en cada aplicación concreta. Admite también la posibilidad de añadir secciones de líneas de transmisión que simulen los cableados existentes en un sistema ultrasónico real, para analizar sus efectos. Es posible también incorporar módulos comerciales (fundamentalmente excitadores y receptores) lo cual facilita la comparación entre distintos nuevos diseños y la referencia comercial existente en cada momento. Desde ese punto de vista, este sistema proporciona al diseñador la posibilidad de variar con comodidad, prácticamente todos los parámetros relevantes que intervienen en las cadenas ultrasónicas de ensayos no destructivos más usuales, analizar los efectos de cada uno de ellos y optimizar los resultados bajo



condiciones próximas a las reales.

Nuestra experiencia nos indica que un diseño optimizado de cadenas ultrasónicas, puede mejorar el rango dinámico del sistema entre 3 y 10 dB [1], e incrementar hasta un 100% el ancho de banda global. Esta herramienta permite validar la bondad de diseños teóricos previos.

A continuación se muestran en las figuras 3, 4, 5 y 6, algunos ejemplos representativos de distintas opciones en la configuración adoptada, todas ellas con el regulador HV ajustado a baja tensión y reduciendo cableados para minimizar algunos efectos no ideales que se presentan en las situaciones prácticas de END [10], y así resaltar las opciones mostradas.

La figura 3 representa medidas hechas en el marco de experimentación sin transductor para dos selecciones distintas en los parámetros de la red de adaptación-sintonización. Dichas curvas reflejan distintas respuestas del generador de pulsos de excitación en función de las cargas resistivas que “vea” con un mismo “tuning” L_0 de 6.8 μH .

La figura 4 representa las distintas respuestas del generador cargado ya con un transductor de 1 MHz., en función de distintas configuraciones. En este caso se varió la inductancia de sintonización. En la curva (a), no existe L_0 ; en (b) $L_0=56 \mu\text{H}$ y en (c) $L_0=4.7 \mu\text{H}$. Es de destacar el notable efecto de la sintonización en la forma del pulso, especialmente en el caso (c) con una fuerte oscilación en torno a los 2 MHz.

La figura 5 representa el módulo de las transformadas FFT de las curvas anteriores donde se enfatiza el hecho de la muy distinta respuesta del generador, lo que se traduce a su vez en distintas respuestas temporales de señales acústicas, cuya optimización es lo que se persigue en todos los casos.

La figura 6 compara la medida (a) de la señal de excitación del generador cargado con un transductor de 1 MHz. y la simulación analógica (b) de la misma respuesta utilizando un circuito equivalente del mismo. Esta figura ilustra el hecho de que en la optimización de cadenas ultrasónicas de excitación, la simulación es una herramienta complementaria con frecuencia de gran utilidad.

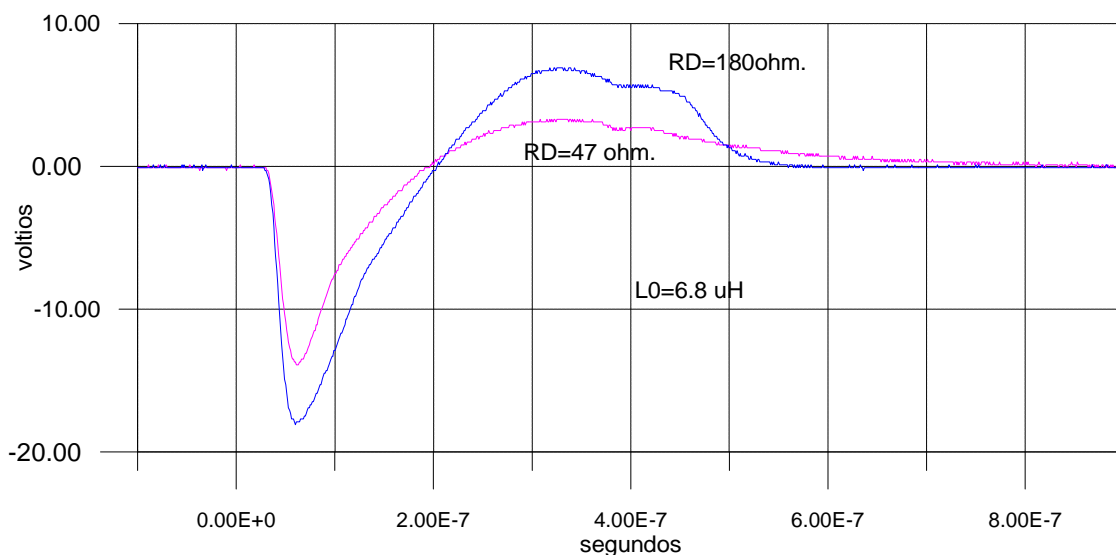


Figura 3 – Excitación para distintas cargas resistivas.



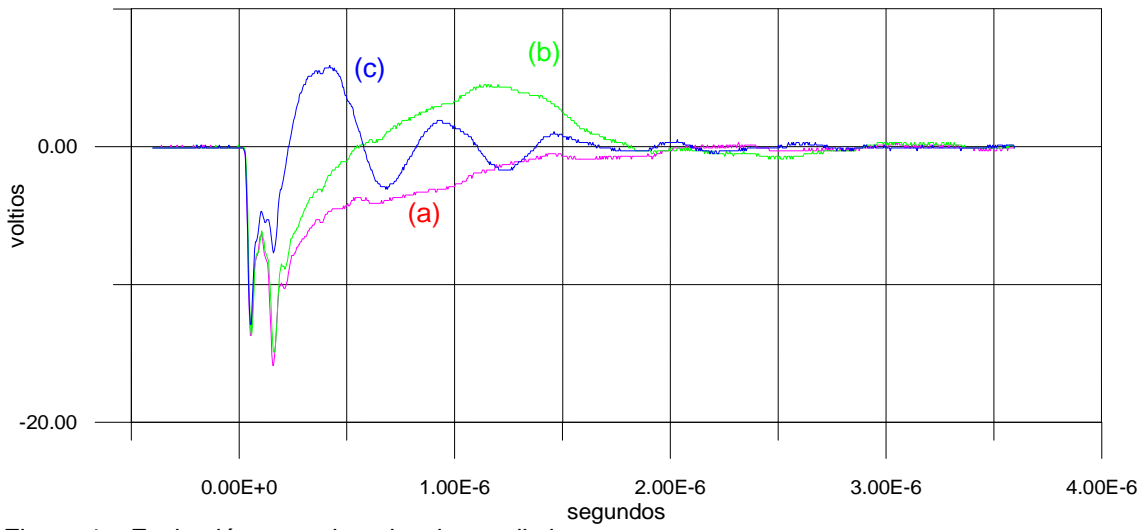


Figura 4 – Excitación para sintonizaciones distintas.

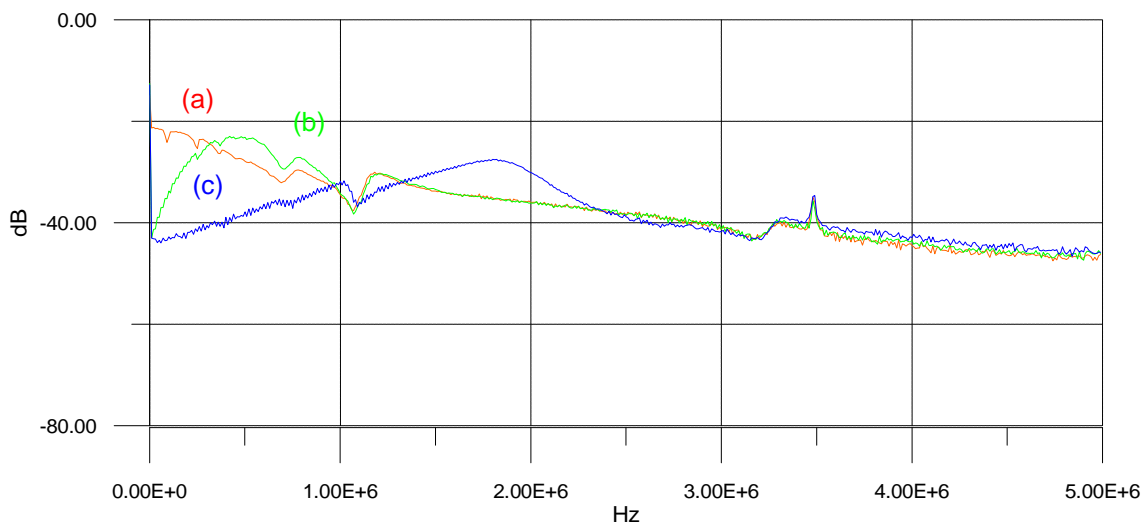


Figura 5 – Espectro de los pulsos de la figura 4.



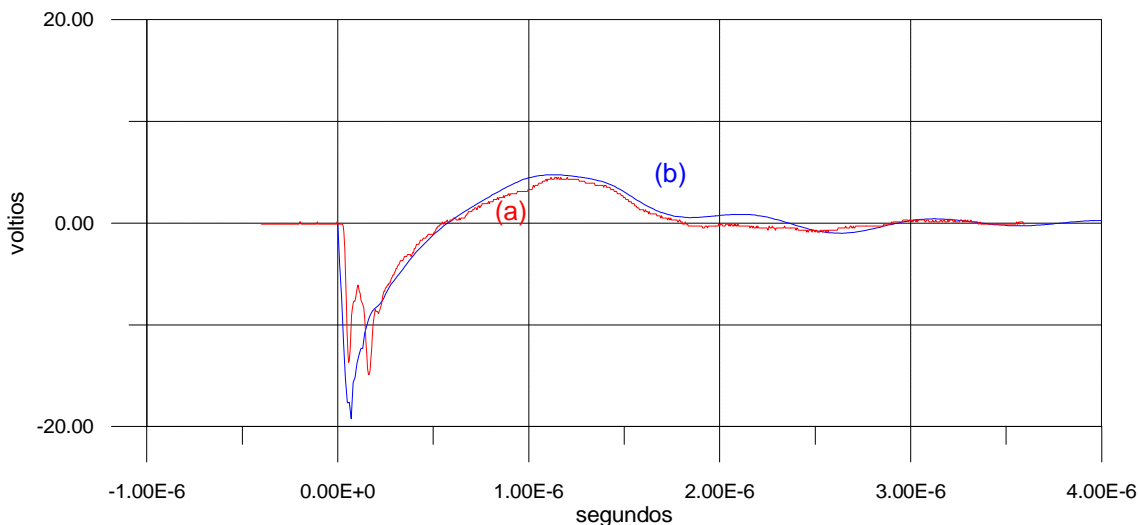


Figura 6 – Medida (a) y Simulación (b) con circuito equivalente, de la señal de excitación.

CONCLUSIONES

El “marco experimental” desarrollado constituye una herramienta de laboratorio muy útil para el análisis, el diseño y la optimización de los subsistemas de excitación-conmutación-recepción en aplicaciones ultrasónicas para ensayos no destructivos o para imagen acústica. En los procesos de optimización resulta muy útil como base experimental para evaluar y contrastar el comportamiento de múltiples configuraciones y su influencia sobre la amplitud, ancho de banda, factor de rizado, etc. de la respuesta en frecuencia global de la cadena ultrasónica.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los Proyectos; CICYT Ref. TAP97-0662-C02-02 y Comunidad Autónoma de Madrid Ref. 07T/0031-97.

REFERENCIAS

- [1] – A. Ramos, J.L. San Emeterio y P.T. Sanz, “Sistema ultrasónico para END de composites laminados con núcleos nomex”, *9º Congreso Nacional END*, Vitoria, Mayo 1999.
- [2] - A. Ramos, J.L. San Emeterio and P.T. Sanz, “Electrical matching effects on the piezoelectric transduction performance of a through transmission pulsed process”, *Ferroelectrics*, Vol. 202, pp.71-80, 1997.
- [3] -G.R. Lockwood, F.S. Foster, “Modelling and Optimization of High-Frequency Ultrasound Transducers”, *IEEE Trans. Ultrasonics Ferroel. Freq. Cont.*, Vol.41, nº 2, pp. 225-230, March, 1994.
- [4] - R. E. McKeigen, “Optimization of Broadband Transducer Designs by Use of Statistical Design of Experiments”, *IEEE Trans.Ultrasonic Ferroel. Freq.Cont.*, vol.43, nº1, pp.63-70, 1996.
- [5] - M.E. Schafer, P.A. Lewin, “The influence of front-end hardware on digital ultrasonic imaging”, *IEEE Trans. Sonics Ultrason.* Vol. SU-31, No. 4, pp. 299-306, July 1984.
- [6] - G. Hayward, “The influence of the pulser parameters on the transmission response of the piezoelectric transducers”, *Ultrasonics*, Vol. 23, pp.103-112, 1985.
- [7] - A. Ramos, P.T. Sanz, “Fast bidirectional analog switching system for HF pulses of high instantaneous power”, *Patente USA Nº 5,592,031*, 1997.
- [8] – A. Ramos, P.T. Sanz, F.R. Montero, E. Riera, “Generación eficiente de impulsos ultrasónicos breves con



Mos-Fet: Análisis temporal del impulso de disparo. Influencia de la carga.” *Rev. Tec. Iberoamericana Mundo Electrónico*, nº168, pp117-124, 1986.

[9] - A. Ramos, P.T. Sanz, F.R. Montero, “Broad band driving of echographic arrays using 10ns-500ns efficient pulse generators”, *Ultrasonics*, Vol 25, pp. 221-228, 1987.

[10] –A. Ramos, J.L. San Emeterio and P.T. Sanz, ”Improvement in transient piezoelectric responses of NDE transceivers using selective damping and tuning networks”, admitido para publicación en *IEEE Trans. Ultrason. Ferroel. Freq. Cont.*, 1999.

[11] – A. Ramos, L.G. Ullate and C. Valdecantos, “Transferencia de Tecnología desde el Consejo Superior de Investigaciones Científicas”, en libro *Cooperación Tecnológica entre Centros Públicos de Investigación y Empresas*, Edit. (Madri +d) - CAM, 1998.

