

Diseño e implementación de un radar sensor de impulsos UWB para aplicaciones de detección no destructiva NDT.

El radar de impulsos UWB se llama así porque se utiliza una señal de tipo impulsión para la transmisión y la recepción de señales con objetivo de detectar objetivos. El radar de impulsos se distingue de un radar convencional, porque su señal de impulsión tiene un ancho de banda instantáneo muy amplio, que son mucho más grandes que el radar convencional de CW (onda continua); por lo que se clasifica como un radar ultra-wideband (UWB)

Los radares sensores de impulsos UWB están contruidos, además de la parte de tratamiento de señal, de un emisor de impulsos, un receptor para la detección de ondas reflejadas, y, por último, de dos antenas UWB en el caso *bi-static* [1],[2][3].

Este tipo de radares-sensores tienen, hasta hoy en día, unos dominios típicos de aplicación entre los que destacamos: la medida de distancia de objetos enterrados bajo tierra (GPR), la medida del nivel de agua en los tanques (en la Industria), etc...

De otra parte, las técnicas de control y monitorización de procesos industriales por microondas están basadas, especialmente, en los métodos de cavidad, o bien en los métodos que utilizan líneas de transmisión, como las guías de ondas y los cables coaxiales. Estas técnicas tienen la ventaja de dar buenos resultados, pero su inconveniente está en que no son compatibles con otras aplicaciones, sobre todo a las muestras que no pueden ser fácilmente accesorios, o bien en los procesos de alta temperatura.

Nuestra tesis doctoral propone una gran solución a este problemática, ya que queremos diseñar e implementar un circuito de un generador de pulsos UWB para radar sensor para aplicaciones NDT, capaz de monitorizar y controlar las variaciones de un material dieléctrico (propiedades dieléctricas y espesor de hasta dos muestras) dentro de un proceso industrial.

Uno de los trabajos pioneros que existen hasta ahora en el desarrollo de un radar de impulso de los perfiles del subsuelo fue hecho por Daniel [4],[5]. Después, Avezedo y McEwan han desarrollado un sensor radar de impulsos de tamaño compacto y con bajo consumo de energía, el llamado "Radar de impulso de micropotencia" [6]. Duzdar y Kompa también han introducido un sensor radar de impulsos con un ancho de banda de 6GHZ, que se puede implementar a bajo costo y se usa en aplicaciones de alta resolución [7]. Yarovoy et al. han desarrollado un radar de impulso de penetración de suelo a 3 GHz y demostrado su capacidad para la detección de objetos pequeños y enterrados con poca profundidad [8]-[9]. Lee también ha desarrollado un sistema de radar de impulsos para aplicaciones de radar de penetración subterránea y mostró el potencial de su aplicación a la evaluación del pavimento [10].

J. Sach en 2007 [11] ha aplicado un nuevo método que se llama M-secuencias que aplica códigos pseudo-aleatorios para estimular los objetos de prueba. Y él mismo, con su equipo, ha aprovechado las ventajas que ofrece el radar sensor UWB para aplicarlo en medicina en vez de las técnicas de catéter o de rayos X [12]

La parte más importante de los radares sensores de impulso UWB es el generador de impulsos [13][14]. Este generador emite pulsos de una duración corta con una frecuencia de repetición (PRF) de unos pocos KHz. Muchos enfoques han sido publicados para el diseño de los generadores de pulsos para aplicaciones de radar sensor tales como: los elementos clásicos GUUN [15]-[16], y los transistores BJT en modo avalancha. La generación de pulsos con los transistores en modo avalancha están basados en el bien conocido fenómeno de avalancha [17]-[20], que ocurre en la unión bipolar del transistor (BJT) cuando el transistor experimenta "*Breakdown*", después de que se les aplica un gran voltaje de polarización

A fin de lograr un emisor de pulsos con un tiempo de subida muy corto (sub-nanosegundos), se usan componentes de semiconductores especiales como afiladores de pulsos, por ejemplo los diodos túnel [21] y diodos de recuperación de paso (SRD) [22],[23][24][25]. Los diodos túnel ofrecen un tiempo de transición más rápida (en el rango de sub-picosegundos) a niveles de potencia muy bajos (en el rango de mW) [26]. Los SRD son una alternativa comprometida para estos dispositivos. Estos diodos ofrecen un tiempo de transición ultracorto (típicamente en el rango de decenas de picosegundos a unos cientos de picosegundos) a niveles de potencia moderados (que van desde unos cientos de mW a decenas de vatios) [23]. Por lo tanto estos diodos son muy apropiados para ser utilizados como afiladores [26].

La otra parte importante de los radares sensor de impulso UWB es el circuito receptor que debe tener una baja pérdida de conversión, y un ancho de banda muy amplio para cubrir toda la banda de frecuencias de la señal transmitida. Desafortunadamente y con la restricción de tiempo, en nuestra tesis, no centramos en el diseño del generador de pulso, dejando la parte del receptor como tendencia o futuro trabajo para desarrollarse

El transmisor y el receptor del radar sensor de impulsos se diseñan e implementan como circuito integrado de microondas (MIC).

Con el desarrollo de la tecnología de semiconductores, los diseños UWB se centran cada vez más en la tecnología CMOS RFIC debido a su bajo coste, bajo consumo de energía y fácil de integración con otros componentes, tales como circuitos digitales y antenas planas.

Pero a pesar de que hay varios circuitos microondas que fueron desarrollados, o están disponibles comercialmente, siempre hay nuevos circuitos transmisores y receptores que se diseñan de acuerdo con las siguientes nuevas motivaciones y requisitos:

- Todo circuito diseñado tiene que ser lo más compacto posible en tamaño para tener en cuenta su integración con una antena.
- Los circuitos deben ser fabricados con facilidad y con bajo coste.
- El circuito de transmisor tiene que ser diseñado de modo que genere impulsos con una duración mínima, y con una potencia relativamente alta.

La razón principal de la utilización del radar sensor de impulsos UWB en nuestra tesis se debe al ser una técnica eficaz precisa y de bajo coste para la caracterización no destructiva de la superficie y sub-superficie en diversas aplicaciones, y también se debe a la extremadamente banda ancha de la señal. Dicha señal de banda ancha incluye componentes tanto de baja como de alta frecuencia.

Mientras tanto, las características de rendimiento deseables de radar sensor de impulsos UWB son la de detección de largo alcance y una resolución de alta gama. La señal UWB es adecuada para lograr estas características, porque muchos componentes de baja frecuencia de la señal UWB permiten la detección de largo alcance y los componentes de frecuencia suficientes permiten alta resolución en distancia.

Además del ancho de banda, en general y en comparación con el radar CW (radares de onda continua) el radar sensor de impulsos tiene algunas ventajas generales; de la siguiente manera.

- 1º: Puede implementarse con un circuito más compacto.
- 2º: Es posible conseguir mayor potencia de transmisión con una estructura de circuito simple.
- 3º: El coste del procesamiento de señales requerido para la detección de la señal es más bajo, ya que no requiere ningún procesamiento de conversión de datos desde el dominio de frecuencia al dominio de tiempo, como en el radar de modulación de frecuencia.

Estos aspectos tan atractivos del radar sensor de impulso, en términos de estructura y coste del sistema, han hecho que sea dominante en varias aplicaciones de radar UWB.

Este trabajo de investigación se centra en el diseño de un radar sensor de banda ultra ancha (UWB) para aplicaciones no destructivas (END). Los detalles de diseño incluyen el diseño de un generador de pulsos ultracorto, de alta potencia con un timbre mínimo. El radar desarrollado fue construido con una configuración biestática.

El objetivo de este trabajo es medir el rango de distancia y las propiedades eléctricas de un objetivo, por ejemplo, metales y materiales dieléctricos, como el cloruro de polivinilo (PVC). Para lograr este objetivo, se ha desarrollado un novedoso generador de pulsos de alta potencia ultra-corto (pulsador de radar). El nuevo generador de pulsos consiste en un transistor que funciona en modo de avalancha y un circuito de afilado de pulsos que utiliza un nuevo modelo de diodo de recuperación de paso (SRD). Para convertir el pulso gaussiano en un monociclo, se ha añadido una red de formación de monociclo (MFN). El generador de impulsos desarrollado produce un impulso eléctrico con una amplitud de 12 V, un tiempo de subida de 112 ps y un ancho de pulso (FWHM) de 155 ps.

Dos técnicas útiles han sido propuestas en este trabajo de tesis para mejorar la forma de onda de salida, una es la propuesta de un nuevo modelo del componente clave (SRD), y el segundo es disminuir la ruta de descarga del transistor lo más posible. Con estas dos técnicas, el pulso de salida se ha mejorado mucho en términos de amplitud y en el timbre.

Con el fin de aumentar la amplitud de los pulsos, se han propuesto dos técnicas útiles en este trabajo. El primero consiste en agregar dos generadores en paralelo, en este diseño propuesto se tuvo en cuenta alguna especificación para hacer que este circuito funcione.

Sin embargo, la segunda técnica adoptada en este trabajo consiste en dos etapas de generadores, ambas técnicas dan lugar a un buen rendimiento; en lugar de un solo módulo de un generador de impulsos, las técnicas propuestas en este trabajo aumentan la amplitud en torno al doble. Ambas técnicas han sido investigadas en detalle.

Para transmitir y recibir los impulsos ultracortos generados, se utilizaron dos tipos diferentes de antenas UWB. En primer lugar, una antena Vivaldi con un ancho de banda de unos 5,5 GHz de 600 MHz a 6 GHz. La segunda es una antena Vivaldi con un ancho de banda de 6 GHz de 400 MHz a 6,2 GHz. Utilizando el sensor de radar de banda ultra ancha desarrollado, se realizaron mediciones de prueba. Esto incluye las propiedades eléctricas, así como la medición de la distancia a las placas de metal, madera y PVC. La incertidumbre del sensor de radar es de 14 mm (datos medidos asustados a + 14 mm para un blanco fijo).

El diseño y la implementación real que conduce a lograr un excelente prototipo de rendimiento para una aplicación no destructiva.

La mayor parte de la tesis ha sido desarrollada y elaborada dentro del laboratorio DIMAS del instituto ITACA que es un grupo de excelencia dedicado a la investigación científica y aplicada, a las iniciativas tanto de transferencia como de desarrollo tecnológico en el campo de la ingeniería microondas. y que ofrece también servicios de consultoría, medidas a altas frecuencias y estudios de viabilidad en proyectos de desarrollo tecnológico en el sector del electromagnetismo aplicado, sensores para detección no-destructiva por microondas y calentamiento por microondas.

4. Bibliografía:

- [1] M.I. Skolnik, AN introduction to impulse radar, *Naval Research Laboratory, Washington, DC, NRL Memorandum Report 6755.Nov .1999.*
- [2] J.D.Taylor, Introduction to ultra-wideband Radar Systems, *Boca Raton, FL; CRC Press, 1995.*
- [3] J.D.Taylor, Ultra-Wideband Radar Technology, *Boca Raton, FL: CRC Press, 2001.*
- [4] D.J Daniels, Surface Penetrating Radar. *London, U.k. IEE Press, 1996*
- [5] D.J Daniels, D.J, Gunton, and H.F .Scoot, Introduction to subsurface radar, *IEE Proc , Vol.135 .no.4,pp.278-320, Aug 1988.*
- [6] S.Azevedo and T.E.McEwan, Micropower impulse radar, *Science & Tech Review,pp.17-29,Ja./Feb.1996.*
- [7] A.Duzhar and G.Kompa, Applications using a low-cost baseband pulsed microwave radar sensor, *in Proc, 18 th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conf., 2001,pp.239-243.*
- [8] A.Yarovoy and L.Ligthart, Full-Polarimetric video impulse radar for landmine detection: Experimental verification of main design ideas, *in Proc. 2 nd Int Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar 2003, p-p.148-155.*
- [9] L.Ligthart and A.Yarovoy, STW Project: Advanced relocatable multi-sensor system for buried landmine detection, *in Proc, 2 nd Int. workshop on advanced ground penetrating radar 2003 pp 5-8.*
- [10] J.S.Lee,C. Nguyen, and T.Scullion, Impulse ground penetrating radar for nondestructive evaluation of pavement, *in 2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest,2002,pp.1361-1363.*
- [11] J. Sachs, P. Peyerl, S. Wöckel, M. Kmec, R. Herrmann, R. Zetik, Liquid and moisture sensing by ultra-wideband pseudo-noise sequence signals, *Meas. Sci. Technol., vol. 18, pp. 1074-1088, 2007.*
- [12] F. Thiel, M. Helbig, U. Schwarz, C. Geyer, G. Rimkus, W. A. Kaiser, I. Hilger, M. Hein, J. Sachs, F. Seifert Implementation of ultra-wideband sensors for biomedical applications *Frequenz, Journal of RF-Engineering and Telecommunications, vol. 63, no. 9-10, pp.221-224, (2009).*

- [13] J. W. Han and C. Nguyen, On the development of a compact sub-nanosecond tunable monocycle pulse transmitter for UWB applications, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 1, pp. 285-293, January 2006.
- [14] J. S. Lee and C. Nguyen, Novel low-cost ultra-wideband, ultra-short-pulse transmitter with MESFET impulse-shaping circuitry for reduced distortion and improved pulse repetition rate, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters.*, vol. 11, no. 5, pp. 208-210, May 2001.
- [15] G.Kompa, "sensoren im MHI-Bereich-Eantwicklungsstand und trens," *VDI-Z.* vol 130, 1988, pp 42-54.
- [16] Y. Tao, J. Nin, and G. Deliste, "Ka-Band Solid-state Pulsed Gunn Oscillator ans Power Combiner," *International journal of infrared and millimeter waves*, vol, 16, 1995, pp,1769-1772.
- [17] R.J.Baker, "High Voltage Pulse Generation Using Current Mode Second Breakdown in a Bipolar Junction Transistor." *Review of scientific instruments.* Vol. 62, april 1991, pp. 1031-1036.
- [18] A. Kipela, *Pulsed Time-of-Flight Laser Range Finder Techniques for Fast, High Precision Measurement Applications*, Doctoral Thesis, University of Oulu, Finland, January 2004.
- [19] Rao, T.; Dutta, A.; Singh, S.G.; De, A.; Sahoo, B.D. A Tuneable CMOS Pulse Generator for Detecting the Cracks in Concrete Walls, *VLSI (ISVLSI), 2012 IEEE Computer Society Annual Symposium on*
- [20] Muhr, E.; Vauche, R.; Bourdel, S.; Gaubert, J.; Sparrow, O.R.; Dehaese, N.; Benamor, I.; Barthelemy, H. High output dynamic UWB pulse generator for BPSK modulations, *Ultra-Wideband (ICUWB), 2013 IEEE International Conference on.*
- [21] E. K. Miller, Time-domain measurements in electromagnetics, *New York, NY, Van Nostrand Reinhold Company, 1986.*
- [22] A. Ruengwaree, R. yowuno, and Gkompa Ultra-fast Pulse Transmitter for UWB Microwave Radar *European microwave conference proceedings Septembers 2006, pp 1833-1836.*
- [23]A, Ameri,G, Kompa, and A Bangert, Balanced pulse generator for UWB radar application *European microwave conference proccking, octobre 2011 pp 198-2011.*
- [24] Issa, H.H. , Eisa, S.M. ; Shehata, K.A. ; Ragai, H.F. Srd-based pulse generator for UWB wireless network applications *Computer Applications Technology (ICCAT), 2013 International Conference on January. 2013 p-p 1 – 4.*
- [25] Yu Xinfeng; Gao Min; Li Wenzhao Computer Simulation Design of a UWB Proximity Fuze Impulser Based on SRD, *Computer Science and Information Engineering, 2009 WRI World Congress on, On page(s): 141 - 143 Volume: 2, March 31 2009-April 2 2009.*
- [26] P. Protiva, J. Mrkvica, and J. Machac, "A Compact step Recovery Diode Subnanosecond Pulse Generator," *Microwave and optical Technology Letters, Feburary 2010, pp. 438-440.*