

Procesamiento de tramas aplicado a banco de ensayo de dispositivos de identificación animal por radiofrecuencia

Fernando Beunza
Departamento de Microelectrónica Aplicada
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Buenos Aires, Argentina
fbeunza@inti.gob.ar

Gustavo Alessandrini
Departamento de Microelectrónica Aplicada
Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Buenos Aires, Argentina
galessandrini@inti.gob.ar

Resumen—El banco de ensayo para dispositivos de identificación animal por radiofrecuencia requiere un procesamiento preciso de señales para extraer la información almacenada en los dispositivos, considerando diversos ambientes de prueba. Este procesamiento debe cumplir con normas específicas establecidas para garantizar la validez de los resultados. En este trabajo se presenta la solución desarrollada e implementada en el banco de ensayo para satisfacer dichos requisitos.

Palabras clave—procesamiento, señal, identificación por radiofrecuencia, rfid

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de implementar el banco de medición para dispositivos de identificación animal por radiofrecuencia surgió del requerimiento del *Servicio Nacional de Sanidad Animal y Calidad Agroalimentaria* (SENASA), de la República Argentina, a través de su Resolución 1698/19[1]. Dicha resolución exige el cumplimiento de las normas internacionales que regulan los dispositivos para los sistemas de identificación electrónica de animales ISO 11784[2] e ISO 11785[3], además de las recomendaciones del *International Committee for Animal Recording* (ICAR)[4].

La normativa establece dos tipos de sistemas de identificación que deben coexistir. La diferencia radica en el sistema de modulación adoptado por cada uno. Un dispositivo HDX (Half Duplex) responde luego de recibir un estímulo radioeléctrico. En el otro sistema, FDX (Full Duplex), el dispositivo responde durante la presencia del estímulo radioeléctrico. Ambos sistemas tienen en común la necesidad de recibir una señal radioeléctrica para ser energizados y poder generar la respuesta. Difieren en la respuesta: HDX trabaja con modulación en frecuencia mientras que FDX utiliza modulación en amplitud (ver tabla I).

TABLA I. CARACTERÍSTICAS SISTEMAS FDX Y HDX

Parámetros	FDX	HDX
Frecuencia activación	134,2 kHz	134,2 kHz
Modulación	AM-PSK	FSK
Frecuencia recepción	129,0-133,2 kHz 135,2-139,4 kHz	124,2 kHz "1" 134,2 kHz "0"
Codificación	AM DBP modificado	NRZ
Velocidad transmisión	4194 bit/s	7.762,5 bit/s "1" 8.387,5 bit/s "0"

Los dispositivos de identificación bajo ensayo son sometidos a diferentes pruebas de conformidad y rendimiento conforme a las normas:

- ISO 24631-1 conformance RFID transponders
- ISO 24631-3 performance RFID transponders

Cada una de las anteriores, establecen una serie de pruebas para comprobar el cumplimiento de distintas características que van a concluir si los dispositivos bajo ensayo tienen el desempeño esperado.

El banco de ensayo utilizado fue construido a partir de los requerimientos de automatización sugeridos por las normas y los instrumentos disponibles en el laboratorio[5]. Esta configuración permite estimular cada dispositivo bajo prueba a diferentes niveles de intensidad de campo y verificar la respuesta válida, entre otros parámetros bajo estudio.

II. OBJETIVO

La función principal del banco de ensayo es el procesamiento de la señal recibida del dispositivo bajo ensayo, ante un estímulo radioeléctrico de intensidad controlado, con el fin de obtener la trama de datos con la información almacenada en la memoria interna del dispositivo bajo prueba. Para esta tarea, según requerimientos de la norma, no alcanza con la implementación de un demodulador ASK/FSK tradicional, debido a que además de exigir la validación de la trama de datos, también se requiere la medición de otros parámetros característicos.

Como no se exigen resultados en tiempo real, la propuesta consta de un algoritmo de procesamiento de señal tipo offline, una vez capturada toda la señal de respuesta, se somete a una serie de etapas de procesamiento hasta obtener la trama de datos a validar y la medición de parámetros exigidos por la norma. Debido a que existen dos sistemas (HDX y FDX), se debió implementar dos secuencias de procesamiento diferentes, una para cada sistema.

III. REQUERIMIENTOS

El ensayo de cada dispositivo de identificación bajo prueba consta de dos partes: la primera, obtención de la intensidad de campo magnético (campo H) mínimo de activación, en donde se varía la intensidad de corriente eléctrica de la señal de estímulo hasta obtener el mínimo valor de campo H al cual el dispositivo bajo ensayo responde con una trama válida; y la segunda, conociendo dicha intensidad mínima de campo, se hace un barrido de diferentes niveles de intensidad preestablecido por la norma, verificando que la respuesta sea

una trama válida. La primera parte obedece a la conformidad, mientras que la segunda al rendimiento.

Para ambas partes se emplea el mismo instrumental:

- Generador de señales Agilent 33521A, para estimular dispositivo bajo ensayo
- Osciloscopio digital Tektronix MSO 2014, para captura de respuesta del dispositivo bajo ensayo
- Computadora personal, para configuración de estímulo radioeléctrico, y recepción de señal de respuesta y posterior procesamiento
- Antena Helmholtz
- Amplificador Amplifier Research 75A250
- Atenuador 20 dB

El ensayo total requiere por norma que se tome un lote de 100 muestras, a las cuales se le debe realizar los pasos enumerados con anterioridad.

A. Ensayo de conformidad

Este ensayo consiste en obtener la intensidad de campo mínima de respuesta válida del dispositivo. El proceso es controlado por software donde éste configura el generador de señal para estimular al dispositivo bajo ensayo, captura la señal de respuesta con el osciloscopio, y posteriormente se procesa la señal capturada para obtener la trama de datos. Si ésta trama respeta el formato establecido por la normativa se considera lectura válida. Se repite la secuencia variando la intensidad de la señal estímulo hasta determinar la intensidad de campo mínimo al cual del dispositivo bajo prueba responde correctamente.

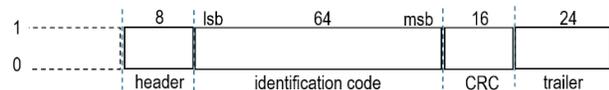


Fig. 1. Formato de trama HDX[6].

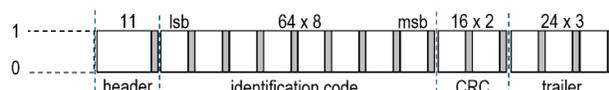


Fig. 2. Formato de trama FDX[7].

El ensayo es el mismo tanto para dispositivos HDX, como FDX; difieren en el proceso de demodulación de señal y formato de trama (figuras 1 y 2), pero finalmente en ambos se deben determinar la validez de la trama para dar por aceptada o no la muestra bajo ensayo.

B. Ensayo de rendimiento

Luego de superada la etapa de conformidad, los dispositivos de identificación bajo ensayo son sometidos a la evaluación de su rendimiento, lo que consiste en verificar la validez de la respuesta a una serie preestablecida de niveles de intensidad de campo. Dichas intensidades de campo comprenden los rangos de: 0,1 A/m a 0,9 A/m (incrementándose de 0,1 A/m); 1 A/m a 9 A/m (incrementándose de 1 A/m); y 10 A/m a 40 A/m (incrementándose de 10 A/m).

Se comienza desde el valor de intensidad de campo mínimo, siguiendo los valores anteriormente descriptos. Para cada intensidad se captura, procesa la señal y verifica que el

formato de la trama sea válido, de forma similar a lo realizado en el ensayo de conformidad, con el agregado de la medición de los siguientes parámetros:

- Amplitud de modulación (HDX)[8]
- Amplitud de modulación (FDX)[9]
- Estabilidad de frecuencia (HDX)[10]
- Estabilidad de longitud de bits (FDX)[11]

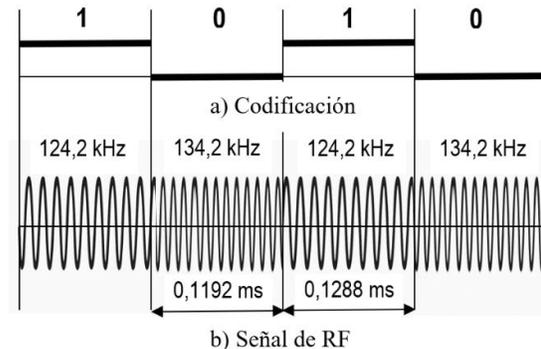


Fig. 3. Estructura de señal HDX[6].

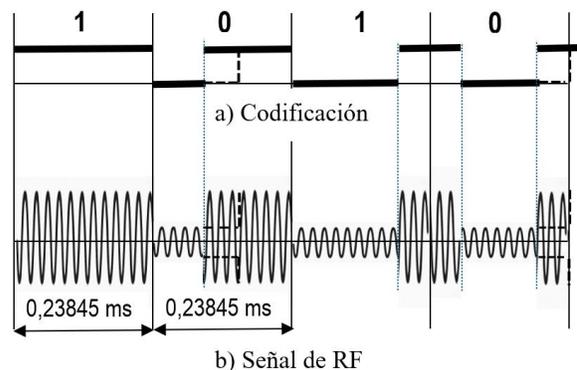


Fig. 4. Estructura de señal FDX[7].

De esta forma, se determina el cumplimiento de la normativa, y se mide la calidad de los dispositivos ensayados. Se consideran dispositivos de mayor calidad a los que a más baja intensidad de campo de excitación responden con mejor forma de onda de respuesta, porque resulta en una mayor facilidad de lectura de la información almacenada por parte de los lectores.

Dicha determinación de calidad requiere de un demodulador diferente al tradicionalmente utilizado en los lectores, que no solo obtenga la información contenida en el dispositivo, sino que permita evaluar también la estructura de la señal de respuesta (figuras 3 y 4) midiendo los parámetros antes mencionados.

IV. SOLUCIÓN PROPUESTA

El software implementado, además de su función principal de procesamiento de señales y decodificación de trama de datos, requiere de componentes anexos necesarios para el funcionamiento del conjunto. Se trata de un sistema retroalimentado dado que se genera un estímulo, se captura la respuesta a ese estímulo, y en base a esto último se reconfigura el estímulo, hasta obtener el resultado del ensayo requerido.

Uno de los componentes de más bajo nivel, es el relacionado con la comunicación con el instrumental utilizando protocolo GPIB, en el cual las distintas acciones a llevar a cabo durante el ensayo se traducen a comandos que son interpretados por los distintos instrumentos que conforman el banco. Por encima de esto, se encuentra implementada la lógica del procedimiento a seguir para realizar los distintos ensayos: determinación intensidad de campo mínimo (conformidad) y respuesta a distintas intensidades de campo (rendimiento). Esta lógica está asistida por el procesamiento de señal –con distintos módulos para HDX y FDX–, el cual se encarga de demodular la señal de respuesta capturada y obtener la trama de datos, con el fin de verificar el formato y extraer la información almacenada en el dispositivo bajo ensayo.

A. Comunicación con instrumental

Este componente es el encargado de brindar la abstracción de la generación de la señal estímulo y la captura de la respuesta a dicho estímulo por parte del dispositivo de identificación bajo ensayo. El instrumento utilizado para la generación de la señal de estímulo es el generador de señales (figura 5 al centro), al cual se le envían los comandos para configurar la forma de onda, frecuencia y amplitud, así como también la duración de la señal y disparo, conforme al nivel de intensidad de campo que se desea ensayar y al tipo de dispositivo de identificación bajo ensayo (HDX o FDX).

El generador es asistido por una etapa de potencia proporcionada por el amplificador, encargado de amplificar la señal generada y alimentar la antena Helmholtz para excitar al dispositivo bajo prueba (figura 5 a la derecha).

Antenas adyacentes a la antena Helmholtz reciben la señal de radiofrecuencia emitida por el dispositivo bajo prueba y la señal resultante es recibida y almacenada en el osciloscopio digital (figura 5 a la izquierda). Este instrumento requiere ser configurado para tener retroalimentación de la señal estímulo, capturar señal de respuesta para dispositivos HDX o FDX. Para ello el software brinda la abstracción de estas tres funciones enviando los correspondientes comandos para configurar el osciloscopio en cada caso.



Fig. 5. Banco de ensayo utilizado.

B. Lógica de procedimiento de ensayo

Esta lógica es la encargada de ejecutar los distintos pasos, haciendo uso de la abstracción del instrumental (tratado en el punto A). Existe una secuencia para la primera parte de conformidad, determinación de intensidad de campo mínimo de respuesta; y la segunda parte de rendimiento, evaluando la respuesta ante distintos niveles de intensidad de campo.

Para la etapa de conformidad, la secuencia comienza estableciendo un estímulo de la menor intensidad de campo posible (para el banco construido es de 0,1 A/m), y se programa el osciloscopio esperando una respuesta HDX o FDX, alternadamente (porque no se conoce el tipo de

respuesta, hasta obtener una primera respuesta válida). La señal capturada se procesa por el demodulador HDX o FDX, según lo que se esté esperando del dispositivo bajo prueba. Cuando se detecta una respuesta válida (uno de los demoduladores respondió con una trama válida y con la información almacenada), se comienza a trabajar solamente con el sistema detectado (HDX o FDX). Ante cada lectura fallida se incrementa la intensidad de campo hasta lograr una lectura válida. A partir de este momento, se comienza a disminuir o aumentar (siguiendo una lógica de búsqueda binaria) la intensidad de campo hasta encontrar el valor de mínimo de dicha intensidad. A su vez, en cada reintento de lectura, se captura el valor de tensión RMS de la señal estímulo a modo de realimentación para ajustar la intensidad del estímulo ofrecido al dispositivo bajo ensayo.

Para la etapa de rendimiento, ya son conocidos los valores de intensidad de campo mínimo de estímulo, el sistema que utiliza el dispositivo bajo ensayo, y la información almacenada en dicho dispositivo. Entonces se comienza a incrementar la intensidad de campo (a partir del valor mínimo obtenido anteriormente) y siguiendo la secuencia preestablecida (descrita en Requerimientos – Ensayo de Rendimiento). Se sigue con la lógica de estímulo-respuesta-procesamiento, y para cada valor de intensidad de campo se valida el correcto formato de la trama de datos y se obtienen los parámetros de amplitud de modulación (HDX y FDX), estabilidad en frecuencia (HDX) y longitud de bits (FDX).

C. Procesamiento de señal

A partir del procesamiento de la señal se extrae la información almacenada en el dispositivo bajo ensayo en base a la señal de respuesta de este último. También tiene la funcionalidad adicional de obtener valores de parámetros característicos de la señal de respuesta. Si bien el procesamiento para HDX y para FDX son distintos, las distintas etapas se pueden agrupar en tres bloques principales:

- Obtención de trama de bits, implementa el demodulador de señal. Existen dos tipos: uno para HDX y otro para FDX.
- Obtención de telegrama (mensaje de respuesta), a partir de la trama de bits, y verificación del formato de mensaje conforme a lo establecido por normativa, que varía dependiendo si es HDX[6] o FDX[7].
- Cálculo de parámetros de señal, devuelve parámetros de amplitud de modulación (para HDX y FDX), estabilidad de frecuencia (sólo HDX) y estabilidad de longitud de bit (sólo FDX).

La obtención de la trama de bits para el sistema HDX, consta de un demodulador FSK, que debe distinguir entre las frecuencias de 124,2 y 134,2 kHz, que codifican los bits de valor 1 y 0, respectivamente. En esta etapa de preprocesamiento, se debe conformar la señal de entrada eliminando cualquier variación de amplitud considerada como ruido. La detección de ciclos de portadora se realiza por medio de la detección de cruces por cero, sabiendo que cada bit se codifica con 16 ciclos de portadora se determina la frecuencia (y valor de bit) por la duración de cada bit (y a partir de la duración se obtiene la frecuencia por bit). La norma exige un intervalo de frecuencias para la codificación de los bits: [122,2;126,2] kHz (para 1) y [132,7;135,7] kHz (para 0).

La trama de bits se obtiene discriminando los valores de frecuencias obtenidos para cada bit.

Para el sistema FDX la obtención de la trama de bits, a diferencia del anterior, consiste en un demodulador ASK, donde se deben discriminar dos niveles distintos de amplitud de la señal portadora de 134,2 kHz. Cada bit se codifica con 32 ciclos de portadora. La codificación empleada es DBP (codificación bifásica diferencial) modificada.

Para determinar el valor del bit se cuenta la cantidad de ciclos de nivel de amplitud alto y nivel de amplitud bajo (los ciclos de detectan por cruce por cero). Un bit de valor 0 se determina con 8-16 ciclos de portadora de nivel de amplitud bajo, sino el valor de bit es 1.

El telegrama o mensaje para el sistema HDX (figura 1) se compone de un encabezado de 8 bits, el código de identificación (64 bits), un código de redundancia cíclica (CRC) de 16 bits, y 24 bits de cola o trailer. Obtenida la trama de bits, luego del proceso de demodulación FSK, se debe detectar la presencia del patrón de 8 bits perteneciente al encabezado (01111110). Localizado el encabezado, se puede obtener a continuación el código de identificación, y validar el mensaje utilizando el código CRC.

Para el sistema FDX (figura 2), el formato definido se compone de un encabezado de 11 bits, el código de identificación de 64 bits, el código CRC de 16 bits y un trailer de 24 bits. Si bien la información es la misma que en HDX (código de identificación y CRC), la estructura del mensaje es diferente: debido a la codificación empleada, se debe insertar un bit de relleno (stuff) cada 8 bits. La obtención de mensaje comienza con detección del patrón de encabezado (0000000001), luego siguen 8 bloques (8 bits + 1 bit de stuff) para el código de identificación, 2 bloques (8 bits + 1 bit de stuff) para el CRC, y 3 bloques (8 bits + 1 bit de stuff) para el trailer. Finalizada la decodificación, la verificación de validez se realiza de igual modo que con HDX, verificando contra el código CRC.

Una vez obtenido un telegrama o mensaje válido, a partir de la trama de bits y las correspondientes muestras de la señal de entrada que dio origen al mensaje, se pueden realizar los cálculos de amplitud de modulación, estabilidad en frecuencia y estabilidad de longitud de bits.

Para el cálculo de amplitud de modulación (sistema HDX) se siguen las recomendaciones de la norma[8], que básicamente es un promedio de la amplitud de la señal de los distintos ciclos de esta que conforman los bits del mensaje. Para el cálculo de la amplitud de modulación (sistema FDX), siguiendo las recomendaciones de la norma[9], la forma de operar es similar que en HDX, pero al existir dos niveles de amplitud se realizan los promedios para el nivel bajo y el nivel alto, y la amplitud de modulación queda determinada por la diferencia de los anteriores promedios.

La estabilidad en frecuencia (sólo sistema HDX), se calcula aplicando la fórmula de cálculo planteada por la norma[10], donde básicamente se promedia el valor de frecuencia utilizado para codificar los bits valor 0 y valor 1 del mensaje recibido, obteniéndose un valor de estabilidad en frecuencia para bits 1 y otros para bits 0. Por último, la estabilidad de longitud de bit (sólo FDX), consiste en obtener un valor promedio del período de tiempo de todos los bits que

conforman el mensaje recibido, utilizando el procedimiento especificado en la norma[11].

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El banco de ensayo en su conjunto se contrastó utilizando dispositivos de identificación de referencia y lectores, provistos por fabricantes de dispositivos. También se tomaron ensayos realizados en otros laboratorios como guía para implementar el banco y analizar los resultados obtenidos.

Los distintos ensayos realizados (más de 50) y el número de dispositivos ensayados (100 por ensayo), han permitido recolectar gran cantidad de resultados observando una estabilidad en el comportamiento del banco construido, pudiendo realizar estadísticas sobre campo mínimo de activación de las diferentes marcas y modelos de dispositivos de identificación, así como también otros parámetros como amplitud de modulación, estabilidad de frecuencia y estabilidad de longitud de bits.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer la colaboración de los profesionales y técnicos del Departamento de Comunicaciones del Instituto Nacional de Tecnología Industrial que aportaron sus conocimientos para el armado del banco de ensayo, y uso del instrumental involucrado para realizar las mediciones requeridas.

REFERENCIAS

- [1] Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), "Resolución 1698/2019", <https://www.boletinoficial.gob.ar/#!DetalleNorma/223673/20191211>, 2019
- [2] ISO11784:1996(E), "Radio-frequency identification of animals – Code structure", ISO Standard, 1996.
- [3] ISO11785:1996(E), "Radio-frequency identification of animals – Technical concept", ISO Standard, 1996.
- [4] ICAR Recording Guidelines. <https://www.icar.org/>, 2007.
- [5] Alessandrini G., Beunza F., Escudero G., "Banco de Mediciones para Ensayos de Aprobación de Modelo de Dispositivos para Identificación Animal por Radiofrecuencia", Tecno INTI Edición 2017, https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/RIINTI_6a048afbc1dc3e06328d5bed48d8442b, 2017.
- [6] ISO11785:1996(E), "Radio-frequency identification of animals – Technical concept", ISO Standard, sección 6.2, pp. 4-6, 1996.
- [7] ISO11785:1996(E), "Radio-frequency identification of animals – Technical concept", ISO Standard, sección 6.1, pp. 3-4, 1996.
- [8] ISO24631-3:2009(E), "Radiofrequency identification of animals – Part3: Evaluation of performance of RFID transponders conforming with ISO 11784 and ISO 11785", ISO Standard, sección 7.6.7, pp. 18-20, 2009.
- [9] ISO24631-3:2009(E), "Radiofrequency identification of animals – Part3: Evaluation of performance of RFID transponders conforming with ISO 11784 and ISO 11785", ISO Standard, sección 7.6.6, pp. 16-18, 2009.
- [10] ISO24631-3:2009(E), "Radiofrequency identification of animals – Part3: Evaluation of performance of RFID transponders conforming with ISO 11784 and ISO 11785", ISO Standard, sección 7.6.9, pp. 22-25, 2009.
- [11] ISO24631-3:2009(E), "Radiofrequency identification of animals – Part3: Evaluation of performance of RFID transponders conforming with ISO 11784 and ISO 11785", ISO Standard, sección 7.6.8, pp. 20-22, 2009.