

Fundamentos de radar

Parte I: Fundamentos físicos. Determinación de las coordenadas espaciales y la velocidad radial del blanco. Tipos de radares

Nelson Chavez Ferry¹ y Miguel A. Cabrera²

(1) Dpto. de Telecomunicaciones y Telemática, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), La Habana, Cuba.

(2) Laboratorio de Telecomunicaciones, Dpto. de Electricidad, Electrónica y Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Resumen

Este artículo es el primero de una serie de tres publicaciones sobre radar. El propósito principal de estas publicaciones es satisfacer el interés de aquellos estudiantes y profesionales los cuales, sin ser especialistas de radar, se interesen por esta técnica. En el presente artículo, de forma sencilla, se da una definición amplia de radar y se analizan sus fundamentos, los cuales le permiten determinar la posición del blanco iluminado, así como su velocidad radial. La región del espectro electromagnético empleada en radar es expuesta y se presenta una clasificación de los tipos de radar teniendo en cuenta: 1) Por su aplicación (entre las principales); 2) Por la contribución del blanco a la formación de la señal de radar, la cual es portadora de la información deseada con relación a aquél; 3) Por la forma, duración y estructura de las señales de sondeo; y 4) Por la distribución espacial de los puntos transmisores y receptores. El contenido de este artículo sirve de introducción a los siguientes que aparecerán sobre este tema.

Palabras clave: antena, blanco, radar, señales, velocidad.

Radar fundamentals

Part I: Fundamentals of physics. Radial target velocity and spatial coordinates determination.

Radar types

Abstract

This paper is the first of three publications about radar fundamentals. The main purpose of these publications is to satisfy the interest of undergraduate students and professionals concerned with this technique although they are not specialist on radars. In the present paper a broad definition of radar is given together with its fundamentals, which makes it possible to determine the position of the illuminated target and its radial velocity. The region of the electromagnetic spectrum used in radar is presented and a classification of radar types is provided taking into account: 1) its application (among the main ones); 2) the contribution of the target to the formation of the radar signal, which carries the information expected; 3) the form, duration and structure of the sounding signals; 4) the spatial distribution of the transmitter and receiver points. The content of this paper serves as an introduction to future papers on this subject.

Keywords: antenna, target, radar, signals, velocity.

Introducción

Desde su aparición, el radar ha tenido un vertiginoso desarrollo, constituyendo una de las ramas de la Radioelectrónica de mayor impacto por sus aplicaciones, tanto en la esfera civil como en la militar. Hoy en día el término radar es bastante popular y tiende aún, en muchos casos, a ser asociado al armamento y a la técnica militar. Si bien es cierto que su empleo con fines bélicos fue lo que impulsó el desarrollo del radar en sus inicios, pronto su uso se extendió a otros campos de la sociedad con fines pacíficos, tales como, la navegación aérea y marítima, la meteorología, el estudio de la ionósfera, la investigación del espacio exterior, la geodesia y cartografía, etc. El impacto del radar en nuestra vida diaria se hace patente en múltiples aplicaciones del mismo, de las que pueden citarse, el control del tráfico aéreo para la seguridad de los vuelos, donde el radar es un elemento esencial y la detección y estudio de fenómenos meteorológicos, tales como las tormentas eléctricas, los huracanes y los tornados.

La palabra radar es un acrónimo formado a partir de las primeras letras de las palabras inglesas *radio detection and ranging*, que significan: detección y medición de distancia empleando las ondas de radio. Las aplicaciones actuales del radar rebasan el significado del citado acrónimo, ya que esta técnica se emplea también en la determinación de los parámetros del movimiento del objeto que es iluminado por las ondas de radio (velocidad, aceleración y trayectoria), así como de su tamaño, de la forma del mismo, de la naturaleza de los materiales que lo constituyen, etc.

Los objetos que el radar ilumina o de los que recibe las señales emitidas por los mismos se denominan blancos (targets). Como ejemplo de blancos de radar pueden citarse: naves, aeronaves, proyectiles, satélites artificiales, hidrometeoros, la superficie de la mar, la ionósfera, vehículos terrestres, personas, etc.

El sensor radioelectrónico destinado a obtener la información de los blancos se denomina radar. El moderno radar es un sistema complejo, integrado por dispositivos radioelectrónicos, con un alto nivel de automatización, donde el procesamiento digital de las señales y la computadora digital son elementos esenciales.

Por señales de sondeo se entienden aquellas que son

emitidas al espacio por el radar con el fin de encontrar a su paso uno o más blancos en los cuales poder reflejarse. Estas señales de sondeo pueden ser, desde pulsos de radiofrecuencia muy breves, del orden de varios nanosegundos, como es el caso de las señales de banda ultra ancha, hasta señales de onda continua; desde las más sencillas, como pudiera ser el caso de una señal monocromática de onda continua, hasta señales constituidas por pulsos de banda ancha obtenidas mediante la modulación adecuada de la frecuencia de la portadora o la manipulación de su fase o de su frecuencia.

Las frecuencias en que operan los radares actualmente ocupan la región del espectro electromagnético comprendida desde aproximadamente 2 MHz (=150m) hasta 3000 GHz (=0,1mm). La banda de frecuencia empleada por un radar depende de la misión o fin para el cual ha sido diseñado. El empleo de las frecuencias más altas dentro de esta región permite lograr, utilizando antenas de pequeñas dimensiones, exactitudes y poderes resolutivos elevados. Por otra parte, la utilización de las frecuencias más bajas dentro de la citada región facilita obtener mayores potencias de transmisión a la vez que pueden extenderse los alcances de localización más allá del límite establecido por el horizonte de radio. Claro está, no son sólo estas las causas del empleo de unas u otras frecuencias en radar; existen otras, tales como el efecto de la difracción y la emisión (irradiación) secundaria al tener en cuenta las características reflectoras de los blancos, la obtención de patrones de radiación específicos teniendo en cuenta la influencia de la superficie de la tierra, la absorción de la energía electromagnética por los gases presentes en la atmósfera, etc. La tabla 1 muestra la región del espectro electromagnético ocupada por el radar, la nomenclatura empleada para designar las diferentes bandas de frecuencias utilizadas por el mismo y la aplicación específica de cada una de ellas.



Tabla I: Bandas de frecuencias empleadas en radar y utilización de las mismas.

Banda	Rango de frecuencia	Utilización en radar
HF	3-30 MHz	Exploración de muy largo alcance
VHF	30-300 MHz	Exploración de mediano y largo alcance
UHF	300 – 1 GHz	Exploración de mediano y largo alcance
L	1-2 GHz	Exploración de largo alcance
S	2-4 GHz	Exploración de mediano alcance
C	4-8 GHz	Seguimiento de largo alcance
X	8-12 GHz	Seguimiento de corto alcance, Guiado de misiles, Radares de navegación marítima y aérea, control de tiro de la Artillería Antiaérea.
K _u	12-18 GHz	Cartografía de alta resolución, Satélites.
K	18-27 GHz	Muy poco empleado, debido a la gran absorción por vapor de agua.
K _a	27-40 GHz	Cartografía de muy alta resolución
Milimétrica	40-300 GHz	Experimental

En las partes II y III de este tutorial, que aparecerán en sucesivas publicaciones, se expondrán: la estructura y el funcionamiento del radar de pulsos, se ampliará el concepto de blanco de radar y sus propiedades dispersoras de las ondas de radio, así como los fundamentos de la detección de las señales de radar en presencia de ruido y de interferencia en general.

Resulta adecuado señalar que existen otras técnicas, como el lidar (light detection and ranging) y el sonar (sound navigation and ranging), que son empleadas también para fines semejantes a los del radar, pero que se basan en el empleo de las ondas electromagnéticas en el visible o en el infrarrojo (caso del lidar) o en la emisión de ultrasonido (caso del sonar). Los fundamentos físicos de estas dos técnicas son muy parecidos a los del radar, pero difieren mucho en las tecnologías empleadas para lograr la síntesis del dispositivo o equipo ejecutor.

Fundamentos físicos del radar

Como es sabido, las ondas electromagnéticas al propagarse en un medio homogéneo lo hacen con velocidad constante y en línea recta; el valor del módulo v del vector que representa a esta velocidad y que universalmente se simboliza por la letra c , está dado

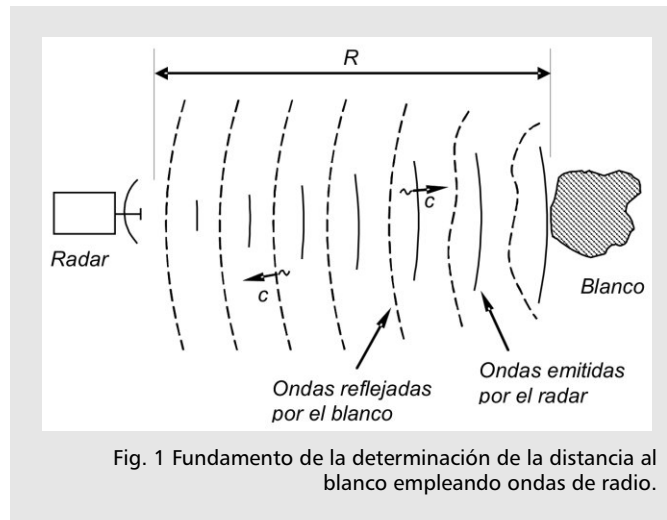
por la siguiente expresión:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_m \epsilon_m}} \tag{1}$$

donde ϵ_m y μ_m son, respectivamente, la permitividad y la permeabilidad magnética absolutas del medio en el cual tiene lugar la propagación. Como es conocido la velocidad de propagación c de la radiación electromagnética en el aire tiene un valor que es prácticamente igual al del vacío, por lo que $v = c = 3 \times 10^8$ m/s.

Medición de la distancia entre el radar y el blanco

Sea R la distancia entre el radar y el blanco, como se muestra en la figura 1. Al incidir las ondas de radio transmitidas por el radar en el blanco, éste se convierte en una fuente de emisión secundaria, produciéndose ondas de radio que se propagan, en todas direcciones, alejándose del mismo.



Parte de la energía contenida en la radiación secundaria llega al radar después de haber transcurrido un intervalo de tiempo que simbolizaremos por $t_{R.P.}$. Si el radar es del tipo primario utilizará estas ondas de radio que llegan del blanco en forma de ecos para extraer de ellas la información deseada. Si el radar es del tipo secundario, en el propio blanco, al que se le puede denominar "blanco cooperativo", por ejemplo, una aeronave, se encontrará instalado un transceptor sintonizado a la frecuencia emitida por el radar, el cual al recibir las señales de sondeo emitirá, en una frecuencia determinada, señales de respuesta que llegarán al

radar al cabo de un intervalo de tiempo $t_{RS} > t_{RP}$ de las cuales éste extraerá la información necesaria. Por lo tanto, resulta evidente que la distancia R que separa el radar del blanco estará dada por:

$$R = \frac{ct_R}{2} \tag{2}$$

donde, t_R puede ser t_{RP} o t_{RS} en dependencia del tipo de radar de que se trate. Se puede entender que el radar secundario sólo tiene capacidad de detectar blancos "cooperativos".

Medición de las coordenadas angulares

La medición de las coordenadas angulares tiene su fundamento en la posibilidad de determinar, empleando un sistema de antena adecuado, la dirección en las que arriban los frentes de ondas procedentes del blanco. La determinación de esta dirección de arribo depende de la demora en la que los diferentes puntos del frente de onda van llegando a la abertura de la antena y por lo tanto de las correspondientes diferencias de fase que se generan en los mismos.

Veamos dos ejemplos que dan solución a este problema, uno mediante la medición de la diferencia de fase y otro mediante el control de esta diferencia.

Supongamos, como primer ejemplo, que la medición de la dirección de arribo del frente de onda, que consideraremos plano, se efectúa, como se muestra en la figura 2, mediante un orden o disposición lineal de elementos, $i = 1, \dots, n$. Consideremos dos elementos sucesivos, $i, i + 1$ de este sistema de antena separados una distancia b . Sean $\Delta\varphi$ la diferencia entre las fases de las señales recibidas simultáneamente en estos dos puntos, f_0 la frecuencia de las ondas de radio incidentes y λ la correspondiente longitud de onda. Como es sabido de la teoría del campo electromagnético la diferencia $\Delta\varphi$ de fase entre i e $i + 1$ será:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} l = \frac{2\pi}{c} f_0 b \cos \theta \tag{3}$$

donde, l es la diferencia de recorrido de los rayos que llegan a A y B y b la distancia entre dos elementos consecutivos del sistema de antena.

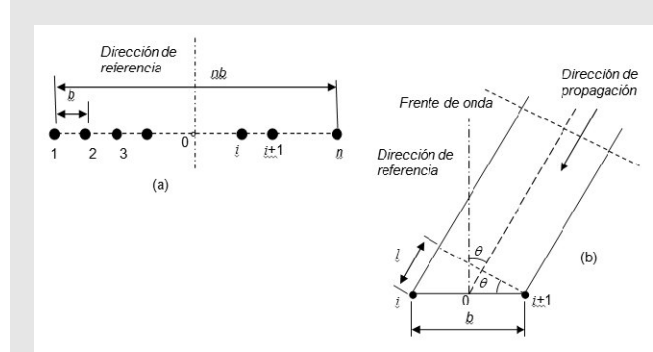


Fig. 2 (a) Sistema de antena formado por un arreglo lineal de elementos; (b) Iluminación de dos elementos consecutivos del sistema de antena por un frente de onda plano proveniente de un blanco.

De (3) resultará que el ángulo θ , según el cual se mide la dirección de llegada del frente de onda, quedará expresado por:

$$\theta = \arccos \frac{c}{2\pi f_0 b} \Delta\varphi \tag{4}$$

Podemos ver de (4) que, si suponemos que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es igual a la constante c y que además f y b son parámetros, la magnitud angular θ es función de la diferencia de fase $\Delta\varphi$ y puede ser obtenida midiendo ésta. Un método muy generalizado para determinar la coordenada angular consiste en girar el arreglo de los puntos receptores, como el mostrado en la figura 2, alrededor de un punto 0, de forma tal que la diferencia de recorrido l y por lo tanto $\Delta\varphi$ sean iguales a cero, con lo cual el ángulo girado, como puede verse fácilmente, coincide con la dirección de arribo del frente de onda y por lo tanto con la coordenada angular del blanco. En este caso, el máximo del patrón de radiación se encontrará en la dirección del blanco, como se muestra en la figura 3, donde se ha supuesto, de forma esquemática, una antena del tipo parabólica. El patrón de radiación está formado por el lóbulo principal y por los parásitos o laterales que tienen un nivel muy por debajo del principal. En este caso la coordenada angular es medida cuando al receptor llega el valor máximo de la señal reflejada.

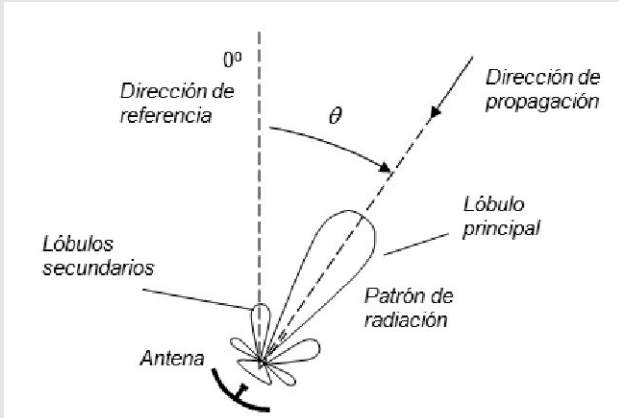


Fig. 3 Medición de la coordenada angular por el máximo del patrón de radiación de la antena.

Medición de la velocidad radial del blanco

La señal reflejada por un blanco es portadora de la información correspondiente a la velocidad del mismo con relación al sistema de coordenadas de referencia que se elija. En este epígrafe se tratará de la componente radial de esta velocidad, que se representará por v_R cuando esta velocidad no es relativista ($v_R \ll c$) puede expresarse por:

$$v_R = \frac{c}{2f_0} f_D \quad (5)$$

donde, f_D es la frecuencia Doppler (diferencia entre las frecuencias transmitida y recibida por el radar, debido a la velocidad radial relativa entre éste y el blanco).

Clasificación de los radares

Existe una variedad apreciable de criterios para la clasificación de los radares en tipos. Es por ello que los autores del presente tutorial estimaron conveniente dar primero una clasificación basada en las aplicaciones del radar y después otras tres, estas últimas con los criterios de: participación del blanco en la formación de la señal de radar; ubicación espacial de los puntos transmisores y receptores; y estructura de la señal de sondeo. Estos criterios de clasificación permitirán, al que se inicia en el campo del radar o al que desea adquirir cierta cultura sobre el mismo, asimilar el contenido de este tutorial, teniendo una base del amplio campo de acción de esta técnica.

1) Por su aplicación (entre las principales)

- Control del tráfico aéreo
 - Radares primarios.
 - Radares secundarios.
 - Radares de aterrizaje.
 - Radares para el control del movimiento en tierra de las aeronaves.
- Navegación aérea.
- Vigilancia costera y control del tráfico marítimo.
- Detección y seguimiento de satélites artificiales de la tierra.
- Detección de blancos aéreos y conducción de la aviación de caza.
- Dirección de la artillería antiaérea y guiado de misiles.
- Detección más allá del horizonte de blancos a baja altura y lanzamientos de misiles.
- Detección y seguimiento de blancos terrestres.
- Meteorología
 - Detección y seguimiento de tormentas eléctricas, tornados y huracanes.
 - Estudio de la atmósfera (hidrometeoros y aire claro).
- Estudio de la Ionósfera.
- Navegación marítima y fluvial.
- Sistemas de anticolidión (aéreos, navales y terrestres).
- Cartografía.
- Observación de alta resolución de la superficie de la tierra, planetas y otros cuerpos del sistema solar.
- Cosmonáutica (descenso suave en la superficie de planetas y otros cuerpos celestes, acoplamiento entre naves espaciales, etc.).

2) Por la participación del blanco en la formación de la señal de radar

Cuando la señal emitida por un radar, denominada generalmente señal de sondeo, encuentra en su recorrido un objeto, tiene lugar la formación de la señal la cual es la portadora de la información buscada respecto al blanco en cuestión. Durante este proceso el blanco puede desempeñar un papel pasivo o intervenir activamente en el mismo, pudiéndose clasificar, en este caso, a los radares en tres tipos, a saber:

Radar primario: La señal portadora de la información deseada del blanco es producto de la dispersión por éste de la señal de sondeo, en realidad de la retrodispersión de la misma, lo que equivale a decir, es un eco proveniente del blanco en cuestión, ver figura 4. El ejemplo mostrado es el más común y supone un radar de pulsos que emplea una sola antena. El conmutador de antena (CA) o duplexor impide el paso al receptor durante la transmisión a la vez que cierra el paso hacia el transmisor durante la recepción.

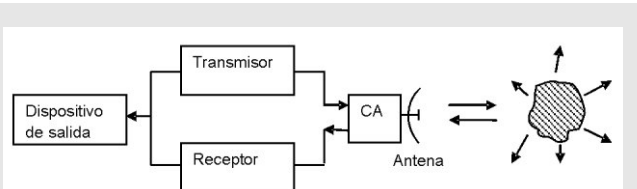


Fig. 4 Diagrama de bloques, simplificado de un radar primario operando en el régimen de pulsos.

Radar secundario: La información del blanco llega al radar bajo la forma de una señal de radio frecuencia (RF) emitida por un transmisor instalado en el propio blanco, ver figura 5. Este tipo de radar es extensamente empleado, por ejemplo, en el control del tráfico aéreo y en la identificación de aeronaves militares y vigilancia territorial. El ejemplo mostrado en la figura 5 es una variante de este tipo de radar en la cual la propia señal de sondeo del radar primario es captada por el receptor a bordo del blanco, que pudiera ser una aeronave, procesada y en correspondencia con la misma se elabora una señal de respuesta que es emitida por el transmisor de a bordo, en una frecuencia diferente a la de la señal de sondeo que fue emitida por el radar interrogador. La señal de respuesta es portadora de información referente al blanco que es interrogado, por ejemplo: pertenencia (aerolínea, amigo o no identificado), altura de vuelo, cantidad de combustible sin consumir, etc. La señal de respuesta debe ser diferente

a la de interrogación con el fin de que la misma no excite los respondedores a bordo de otros blancos, lo que produciría, evidentemente, confusión con las consiguientes consecuencias indeseables. Existen otras variantes en las que los radares primario y secundario se encuentran separados en diferentes equipos.

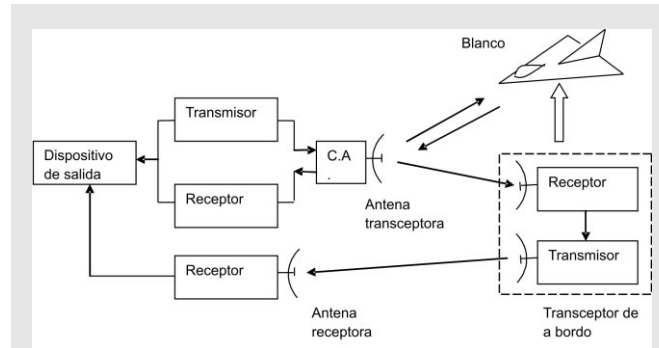


Fig. 5 Radar secundario. En la variante mostrada el radar secundario se encuentra integrado con el radar primario en un mismo equipo.

Radar pasivo: Este tipo de radar opera solamente en el régimen de recepción, es decir, no emite señales de sondeo al espacio, ver figura 6, encontrándose integrado solamente por receptores distribuidos espacialmente, en el caso de la figura acabada de citar, en los puntos A y B, denominándose base del sistema a la distancia d entre estos dos puntos. La determinación de la ubicación del blanco se basa, en el caso de la técnica de radar, de señales de radio emitidas por el propio blanco o dispersadas por este al ser iluminado por ondas de radio procedentes de fuentes ajenas al mismo. La aplicación militar de este tipo de radar es evidente, pues al no emitir señal alguna al espacio disminuye apreciablemente la probabilidad de que pueda ser determinada su ubicación.

En el ejemplo mostrado en la figura 6, las coordenadas del blanco pueden ser determinadas midiendo desde uno de los puntos de recepción, el A, por ejemplo, dos ángulos, β_1 y ϵ_1 , mientras que desde el otro punto receptor, el B, un solo ángulo, β_2 o ϵ_2 .

Publicación registrada en

latindex

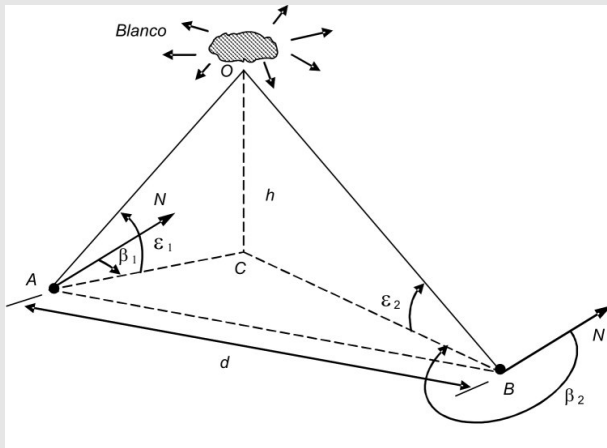


Fig. 6 Sistema de radar pasivo formado por dos puntos receptores, A y B.

3) Por la ubicación relativa entre el transmisor y los receptores

Radar monoestático: El transmisor y los receptores se encuentran ubicados en un mismo sitio; de forma más general, las distancias entre el transmisor y los receptores son despreciables comparadas con la distancia a la que se encuentra el blanco. El radar primario mostrado en la figura 4 es a su vez un radar monoestático, pues el transmisor y el receptor con la antena transceptora se encuentran ubicados en un mismo equipo.

Radar multiestático: El transmisor y los receptores se encuentran ubicados a distancias apreciables entre sí. Ver figura 7. Este tipo de radar, desde el punto de vista de la obtención de información de las señales dispersadas por el blanco, presenta la ventaja que recibe las señales emitidas desde diferentes ángulos de observación del blanco (ángulos de aspecto), lo que posibilita un reconocimiento o identificación del blanco más eficaz. La variante mostrada en la figura 7 consta de un transmisor y varios receptores, pero pueden emplearse diferentes combinaciones de transmisores y receptores.

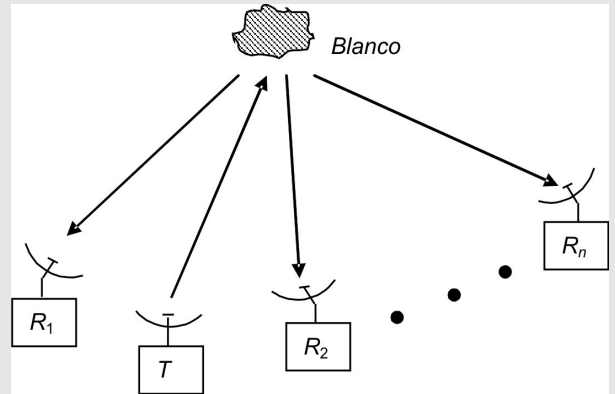


Fig. 7 Variante de radar multiestático.

4) Por la duración de la señal de sondeo

Radar de onda continua: La señal de RF con la cual se ilumina el blanco es ininterrumpida en el tiempo. Ver figura 8 (a). Un ejemplo de este tipo de señal de sondeo es la utilizada en los radio altímetros de las aeronaves para medir la altura de la mismas con relación al terreno. En este tipo de señal la portadora se modula en frecuencia, por una ley determinada, durante un intervalo de tiempo T_m , denominado período de modulación, al final del cual se repite de nuevo la modulación empleada, de forma tal que al comparar en el tiempo las frecuencias de la señal de sondeo y la reflejada por el terreno, se obtiene una diferencia entre las mismas, la cual contiene la información de la altura.

Radar de pulsos: Las señales de sondeo son pulsos de RF de duración breve o relativamente breve. Estos pulsos pueden ser, por ejemplo, el resultado de modular una portadora de RF, en amplitud, ver figura 8 (b), en amplitud y frecuencia, ver figura 8 (c) o en amplitud y fase, ver figura 8 (d). Este tipo de radar es el más extensamente utilizado, para diversos fines; en la parte II, de este tutorial se abordará con la adecuada profundidad la fundamentación y estructura del mismo, así como se hará un análisis de sus parámetros principales.

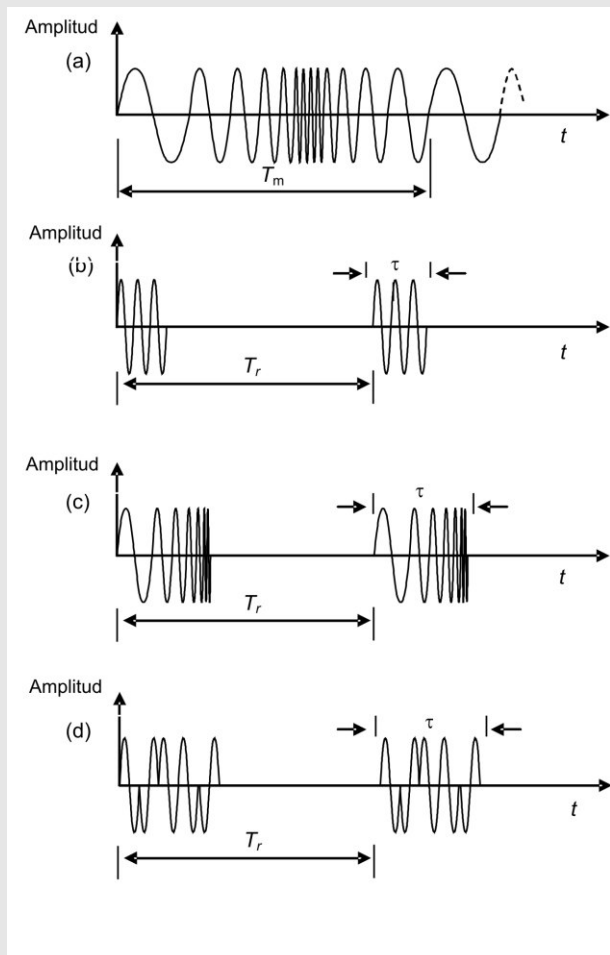


Fig. 8 Principales tipos de las señales de sondeo empleadas en radar atendiendo a su duración: (a) Señal de onda continua, (b) Pulsos de banda estrecha, (c) Pulsos modulados en frecuencia, (d) Pulsos modulados en fase.

Conclusiones

El objetivo primario, no el único, del radar es determinar la posición y los parámetros del movimiento (coordenadas espaciales y sus derivadas) de aquellos objetos (blancos) que reflejan o emiten las ondas de radio. Este objetivo es cumplido de acuerdo a lo que establecen las leyes de propagación de las ondas electromagnéticas, en particular en nuestro caso de las ondas de radio, y de la interacción entre las mismas y los obstáculos encontrados a su paso, lo que da lugar a la emisión secundaria. Este conjunto de fenómenos quedan rigurosamente explicados por la Electrodinámica y en particular por las ecuaciones de Maxwell. Teniendo en cuenta lo breve, pero a la vez, en opinión

de los autores, lo suficientemente explicativo del material, cuyo contenido son los fundamentos de la técnica de radar, que se desea hacer llegar a un lector que no es especialista de radar, la atención principal, en las próximas artículos, se concentrará en el radar de pulsos por ser el más extensamente empleado para diferentes fines, haciéndose el análisis de su funcionamiento y características fundamentales a tener en cuenta en el diseño de un radar de este tipo, en dependencia de la aplicación a la que esté destinado.

cet
REVISTA DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERIA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN
facet
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍA

Publicación registrada en
latindex

www.herrera.unt.edu.ar/revistacet

Bibliografía

- Kraus, J. D. and Fleisch, D. A.** (2006) Electromagnetismo con aplicaciones, Ed. Mc Graw-Hill, EEUU.
- Long, M. W.** (1992) Airborne Early Warning System Concepts, Cap. 4, Ed. Artech House, EEUU.
- Nathanson, F. E., Reilly, J.P., and Cohen, M. N.** (1999) Radar Design Principles, Ed. SciTech Publishing PY, EEUU.
- Barton, D. K. and Leonov, S. A.** (1998) Radar Technology Encyclopedia, Ed. Artech House, EEUU.
- Skolnik, M.** (1999) Introduction to Radar Systems, Edition by Merrill Skolnik, EEUU.

Este trabajo fue elaborado durante el primer semestre del año 2012, entre el Instituto Superior Politécnico, J. A. Echeverría (Habana, Rep. de Cuba) y el Laboratorio de Telecomunicaciones perteneciente al Dpto. de Electricidad, Electrónica y Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán; instituciones a las que pertenecen los autores.

Nelson Chávez Ferry

Ingeniero Electricista, especialidad: Telecomunicaciones, egresado de la Facultad de Tecnología de la Universidad de la Habana, en 1966. Obtuvo el grado científico de Candidato en Ciencias Técnicas (equi-valente al Ph.D.) en la Academia de la Marina de Guerra de la antigua Unión Soviética, en 1978, con la tesis, Efectividad de la Indicación de Radar para Maniobras Aleatorias del Blanco, homologado en Cuba al de Doctor en Ciencias Técnicas, en 1981 y el de Doctor en Ciencias (doctor de nivel superior) en el Instituto Técnico Militar "José Martí", Cuba, en el 2002, con la tesis, Detección y Alcance de Radar: La Alerta Temprana de Blancos en Fondos Enmascarantes y Una Solución al Problema. Recibió la categoría docente de Profesor Titular, en 1981. Ejerce la docencia de nivel universitario desde 1968. Desempeñó, en el Instituto Técnico Militar "José Martí", los cargos de jefe de la Cátedra de Radar, jefe de un laboratorio de investigaciones y Profesor Consultante, desde 1968 hasta el 2009. En la actualidad es Profesor Titular del Departamento de Telecomunicaciones y Telemática del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), siendo el líder científico del Grupo de Radar de este departamento. Ha sido y en la actualidad es, tutor de tesis doctorales y de maestría. Ha escrito un número apreciable de artículos e informes científicos sobre radar, la mayoría en publicaciones locales restringidas. Tiene a su haber la publicación, en ediciones locales, de textos sobre radar para la enseñanza superior. Ha presentado, como ponente, trabajos de su autoría sobre radar, en eventos nacionales e internacionales. Es miembro del Consejo Científico de la Facultad de Ingeniería Eléctrica del ISPJAE y del Tribunal Nacional Permanente de Electrónica y Telecomunicaciones de la República de Cuba, para la defensa de grados científicos. Ha recibido en varias ocasiones distinciones por su actividad científica, entre ellas la de mayor nivel que otorga la República de Cuba en la esfera de la Ciencia. Su interés actual, como investigador, es la detección y reconocimiento de blancos de radar, así como la aplicación del radar a la Ciencia Espacial, en particular en lo relativo al estudio del clima.

Miguel A. Cabrera

Ing. Electricista (OE), egresado en 1986 de la FACET-UNT, obtuvo el título de Dr. en Física de la Atmósfera (UNT, 2003). Actualmente se desempeña como Profesor Asociado de Electromagnetismo I y II, ambas materias dependientes del DEEC (FACET-UNT). Desde el Laboratorio de Telecomunicaciones (DEEC-FACET-UNT), dirige proyectos de investigación financiados por el CIUNT (UNT), FONCYT (MINCYT), PIDDEF-ARA (MINDEF), en el área de la alta atmósfera terrestre vinculados a Telecomunicaciones y Sensado Remoto por Ondas de Radio y es investigador integrante de Proyectos financiados por el CONICET. Ha publicado resultados de trabajos de investigación en revistas internacionales de la especialidad y ha dictado conferencias nacionales e internacionales. Ha sido Investigador visitante en centros de investigación, nacionales y del exterior, como: ICTP (Italia), INGV (Italia), CASLEO (Arg.), Arecibo National Observatory (Puerto Rico), Dpto. de Ciencias Físicas-Universidad Complutense de Madrid (España), Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA) (Cuba), UFA (Rep. Checa), INPE (Brasil). En el año 2009, fue designado por Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de la República Argentina, para asesorar al IGA sobre desarrollo de radares para prospección de alta atmósfera terrestre.