



## Radares meteorológicos alimentados por vías alternativas

Milagros Diez  
Orlando L. Rodríguez  
Albio Barreiras

Recibido: Octubre del 2007  
Aprobado: Diciembre del 2007

### Resumen / Abstract

La red de radares meteorológicos de Cuba está compuesta por siete radares antiguos (cuatro rusos y tres japoneses), los cuales son mantenidos y operados por el Instituto de Meteorología de Cuba. En 1997 el Instituto de Meteorología decidió modernizar todos sus radares, tarea que tomó diez años para su ejecución. Los sistemas de accionamiento eléctrico de las antenas también fueron sometidos a la modernización, pero junto a los requerimientos impuestos por el nuevo sistema de adquisición, los sistemas de accionamiento debieron cumplir con las exigencias energéticas para ser alimentados de baterías. Este artículo describe las soluciones técnicas implementadas en el nuevo sistema de accionamiento eléctrico de las antenas.

Palabras clave: Radares, energía alternativa, eficiencia energética

Weather radar network in Cuba is composed by seven old-fashioned radars (four Russian and three Japanese) and they are maintained and operated by Cuban Meteorological Institute. In 1997 Cuban Meteorological Institute decided to modernize all those radars, and this task was accomplished along ten years. Antenna motor drives were also a matter of modernization, but along with restrictions imposed by data acquisition, drives needed to complain energy restrictions in order to be used with a battery supply. This paper describes technical solutions implemented in newly designed antenna motor drives.

Key words: Weather radar network, alternative energy

### INTRODUCCIÓN

La red de radares meteorológicos de Cuba consta de ocho radares, los cuales cubren de manera efectiva toda el área del territorio nacional. De ellos, cuatro son de fabricación rusa, modelo MRL-5, tres son de fabricación japonesa, modelo RC-32B de la firma Mitsubishi Electric Corporation, y el más reciente es un moderno radar modelo METEOR 1500S, producido en Alemania en el 2005. La tecnología de los modelos rusos y japoneses, fue desarrollada en los años 70, los japoneses la introdujeron en Cuba en 1973, y los rusos en la década de los 80.<sup>1</sup>

A mediados de los 90 del siglo pasado, los viejos radares (rusos y japoneses) estaban tecnológicamente atrasados, presentaban frecuentes roturas y eran

económicamente insostenibles, pues la mayor parte de las piezas de repuesto o bien ya no se producían por los fabricantes originales, o no era posible adquirirlas por problemas del bloqueo estadounidense o por la desintegración de la Unión Soviética. Esto originó que el Instituto de Meteorología decidiera financiar el proyecto de modernización de estos radares como única posibilidad de hacerlos sustentables, pues el precio de un radar moderno está cercano a los 3 millones de USD, este proceso se desarrolló durante diez años de la forma en que se muestra en la figura 1.

El proceso de modernización de los radares meteorológicos, que conforman la red cubana, se realizó teniendo en cuenta que la adquisición y el

procesamiento de la información meteorológica se efectuaría sin la intervención directa del hombre, es decir, en modo completamente automático, por lo que el funcionamiento de las partes insustituibles del radar (entiéndase, transmisor, receptor y antena) debió ajustarse a las nuevas condiciones impuestas por el sistema de procesamiento.

El proceso de modernización permitió eliminar la mayoría de los circuitos que intervenían en el funcionamiento del sistema y utilizar en su defecto, circuitos de nueva generación y de muy poco consumo. Las fuentes de alimentación de estos circuitos también pasaron por dicho proceso de modernización, de ahí que solo quedara como alto consumidor de energía el sistema de accionamiento eléctrico que movía la antena del radar, constituido, en los radares viejos, por elementos electromecánicos muy poco eficientes, que además no garantizaban la precisión y rapidez necesarias al nuevo sistema de procesamiento.



Red de radares del Instituto de Meteorología con la cronología de su modernización.

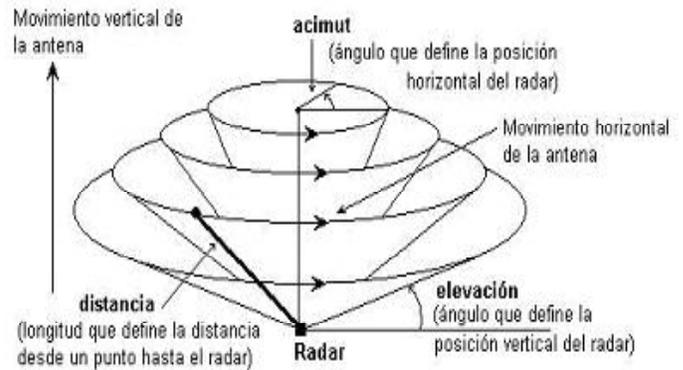
1

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sistema de accionamiento eléctrico en los radares antiguos

Los radares meteorológicos usan antenas parabólicas que forman un haz estrecho en el espacio. Para poder explorar toda la atmósfera en el radio de alcance del radar, la misma debe rotarse en el plano horizontal (acimutal) y elevarse paulatinamente en el plano vertical (elevación) como se muestra en la figura 2, ejecutando una revolución completa en cada ángulo de elevación hasta cubrir todo el espacio. En los radares modernos, al sistema de accionamiento se le exige: Alta estabilidad de giro en el plano acimutal para garantizar la homogeneidad del dato adquirido, y alta precisión y rapidez en el posicionamiento en la vertical.

En los radares japoneses, las antenas son accionadas en los dos planos (acimut y elevación) por motores de corriente directa, alimentados por rectificadores controlados de onda completa, muy ineficientes desde el punto de vista energético. El sistema es muy poco preciso, pues como sensores de posición usaban selsynes.



### Modo de exploración de los radares de forma automática.

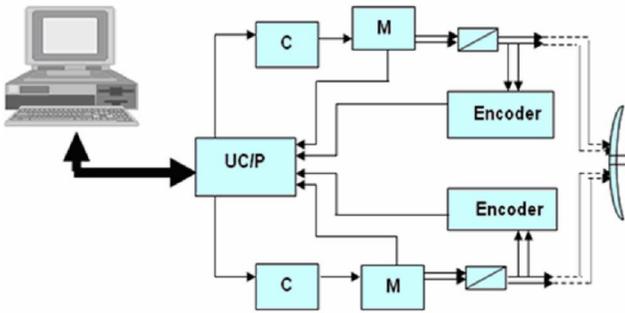
2

En los radares rusos las antenas también son accionadas por motores de corriente directa, pero en este caso la alimentación de los mismos es con amplidinas (amplificadores rotatorios electromecánicos), altamente ineficientes desde el punto de vista energético, y muy engorrosos para el mantenimiento. El sistema general de posicionamiento es también poco preciso pues como sensores de la posición de la antena usaban sincrosolvers.

### Nuevo sistema de accionamiento eléctrico para los radares modernizados

Una vez analizados los requerimientos del procesamiento de la información, y después de un detallado estudio de los sistemas originales, incluyendo la descripción teórica de la mecánica de las antenas,<sup>2</sup> se decidió sustituir el sistema de accionamiento eléctrico de todos los radares, rusos y japoneses, por un sistema unificado convertidor-motor (C-M) con ayuda de un troceador clase E, que opera en los cuatro cuadrantes de trabajo. Este tipo de convertidor garantiza características mecánicas de explotación completamente rígidas, por lo que el paso de un régimen a otro se efectuaría de manera suave y con devolución de energía eléctrica al sistema durante los regímenes de frenado y desaceleración. El algoritmo de control del sistema de accionamiento eléctrico se implementó en la computadora y forma parte del programa general del mando de la estación. El diagrama de bloques del sistema obtenido se puede ver en la figura 3.

Para regular la velocidad del motor en ambas direcciones de giro se escogió un convertidor CD/CD tipo E,<sup>3</sup> que trabaja a 20 kHz con regulación por modulación de ancho de pulso (PWM).<sup>4</sup> Entre las ventajas de la utilización de este sistema está la rapidez, las excelentes características dinámicas del accionamiento, y las posibilidades que este brinda de implementar frenado dinámico para casos de emergencia.



Sistema de accionamiento eléctrico de las antenas en los radares automatizados.

3

El sistema de regulación automática de la posición se diseñó basado en el principio de compensación serie con subordinación de coordenadas con reguladores de corriente, velocidad y posición. Los reguladores de posición se implementaron directamente en la computadora y los otros en el propio convertidor. La salida de los reguladores en forma de código, se aplica a través de conversores D/A al circuito de mando del convertidor que se emplea para alimentar los motores. La posición de la antena se sensa por medio de encoders de 12 bits. Con este sistema se obtiene una precisión en la lectura de la posición de  $0,08^\circ$ .

El sistema implementado permite mejorar la precisión en el posicionamiento de la antena de  $\pm 1,0^\circ$  en el sistema original a  $\pm 0,1^\circ$  en el sistema modernizado, mejorando además los tiempos de respuesta y las características dinámicas del accionamiento, con lo que se da cumplimiento objetivo a las exigencias de la adquisición y el procesamiento, característicos de los radares modernos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

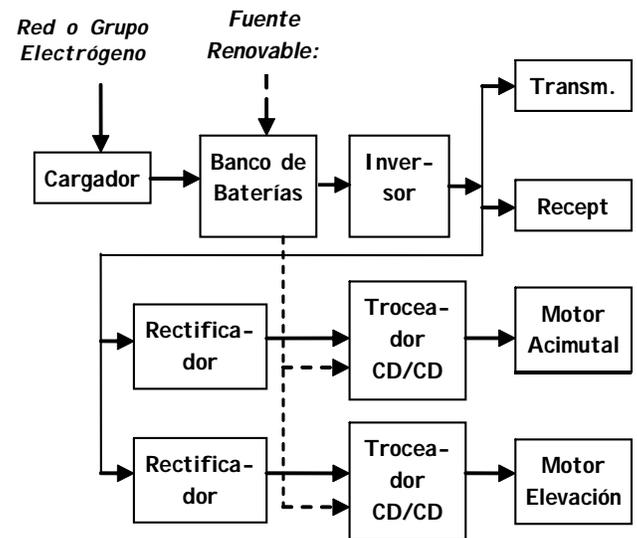
### Motivación a la reducción del consumo

Excluyendo al radar de Casablanca, en la Ciudad de La Habana, todos los demás se encuentran situados lejos de los centros urbanos, por lo que el suministro de energía eléctrica a estas estaciones de radar se garantiza, en ocasiones, a partir de grupos electrógenos. De los siete radares antiguos, solo cuatro están conectados al Sistema Electro-Energético Nacional (SEN), por lo que en el resto, el suministro es permanentemente a partir de grupos electrógenos locales. Esto origina las consabidas dificultades de suministro de combustible en zonas de difícil acceso, unido al gasto de piezas de repuesto que trae el funcionamiento continuo de los grupos electrógenos, más la contaminación medioambiental que se deriva de su explotación.

Cuando se desarrollaba (año 2000) el prototipo de radar modernizado cubano, que se aplicaría con posterioridad al resto de los radares, la ONG Cubasolar, anunció la posibilidad de financiar un proyecto para la modernización del radar de Punta del Este, orientado a la alimentación eléctrica del radar a partir de fuentes renovables. Esto hizo que además de las exigencias impuestas por el procesamiento, el sistema debiera cumplir con determinadas exigencias que permitieran la alimentación a partir de energías renovables.

### Sistema orientado a la alimentación a partir de fuentes renovables

Teniendo en cuenta esta solicitud, se decidió que el sistema en todos los radares tuviera la característica de poderse alimentar a partir de fuentes renovables. En la figura 4 se muestra un diagrama en bloques de cómo se resolvió esta exigencia.



Configuración actual de la alimentación del sistema.

4

Normalmente todo el sistema se alimenta de una UPS on-line que consta de un cargador, un banco de baterías y un inversor, la UPS a su vez está alimentada de la red industrial (en los radares en los que esto es posible) o del grupo electrógeno local. En caso de que finalmente se logre implementar un sistema de alimentación a partir de fuentes alternativas (eólica o solar, o ambas combinadas), este sistema se encargará de cargar las baterías, y los troceadores se alimentarán directamente de estas, para minimizar las pérdidas (líneas discontinuas en la figura 4).

### Análisis del consumo de potencia

Con la introducción del nuevo sistema completamente automatizado de accionamiento de la antena, se logró

un aumento sustancial de la fiabilidad del radar y se disminuyó la potencia consumida en el accionamiento de las antenas. Según los cálculos realizados, el consumo del radar disminuyó de 20 kW en su variante original, a 4 kW en su variante modernizada, gracias a las nuevas técnicas implementadas.

Una vez implementado el nuevo sistema de accionamiento eléctrico en el mando general de la estación de radar y realizadas las mediciones, se constató que el consumo de potencia de las estaciones de radar después de modernizadas era menos de 3 kW.

#### Análisis del consumo de energía

La automatización de los radares no solo disminuye el consumo de potencia, sino que además permite un sustancial ahorro de energía, basado fundamentalmente en el hecho de que para realizar una observación en los antiguos radares por el método convencional, se requería que la antena estuviera en movimiento todo el tiempo, para que el operador pudiese captar la situación meteorológica basándose en la remanencia en la pantalla de los indicadores. Sin embargo, en los radares modernos, una observación completa de toda la atmósfera en el radio de cobertura del radar se ejecuta en apenas 6 min, y toda la información queda registrada en la computadora, pudiéndose analizar la misma con posterioridad en la computadora sin consumo energético por parte del radar. Solamente hablando de la ejecución de las observaciones trihorarias (que era el régimen establecido hasta el año 2005), el ahorro neto de energía en un año es de más de 26 kWh al año, sin tener en cuenta la calidad de las observaciones que es mucho mayor, y sin considerar que las observaciones quedan registradas para análisis posteriores.

En la operación de un radar se gasta energía eléctrica en el radar en sí mismo; pero también en la infraestructura logística asociada (acondicionadores de aire, cocinas, aparatos de radio y TV, equipos de comunicaciones, calentadores de agua, etcétera).

De los cuatro radares conectados al SEN solo Camagüey y Gran Piedra pagan la electricidad por consumo real del metrocontador, Pílon y Pico San Juan pagan una tarifa fija, y al de Casablanca no se le contabiliza nada por estar incluido en la sede. El de Gran Piedra se alimenta de una planta local que pertenece a la OBE pero no está enlazada con el SEN,

y esta es bastante inestable, por lo que su consumo no es típico ya que gran parte del tiempo emplea su propio grupo electrógeno. Por tanto, para evaluar el aspecto energético se tomará el caso del radar de Camagüey, para el cual se dispone de todos los detalles del consumo, así como de la cantidad de observaciones realizadas en el 2005.

Los radares automatizados consumen, como promedio, 4 kW de potencia. Cada observación dura aproximadamente 6 min por tanto el radar gasta 0,4 kWh de energía en la ejecución de una observación.

En el 2005 el radar de Camagüey ejecutó 12 096 observaciones (7 158 horarias, 441 cada 30 min, 1 352 cada 15 min, y 3 145 cada 5 min, estas últimas durante el experimento de lluvia provocada). Esto revela que el radar como equipo consumió 4 838,4 kWh. Obviamente este consumo depende de la cantidad de observaciones.

Ahora bien, el consumo por el metrocontador del radar de Camagüey en el año 2005 fue de 38 519 kWh, eso quiere decir que el consumo del radar como equipo fue solo del 12,6 % del total del consumo de energía.

Si el radar hubiese estado en régimen de observaciones cada 15 min durante todo el año sin interrupción, habría hecho un total de 35 040 observaciones en el año, lo que equivaldría a un consumo de 14 016 kWh, del radar como equipo, y entonces el consumo total anual sería de 42 848,2 kWh, por lo que el consumo del equipo representaría ahora un 32,7 % del total. Es decir, mejora la relación  $\text{energía\_en\_trabajo\_útil} / \text{energía\_total}$ .

Dicho de otro modo: Se habría incrementado el número de observaciones en un 189,7 %, en tanto que el consumo total solamente se incrementaría en 23,8 % (porque los gastos en la logística se mantienen fijos). Por tanto, la eficiencia en el uso de la energía se vería notablemente incrementada.

Tomando los datos anteriores, se tiene que el gasto de energía en el régimen que operaba en el 2005 en el radar de Camagüey fue de 3,18 kWh por observación. Pero si se hubiera trabajado en régimen de observaciones continuas cada 15 min, entonces el gasto hubiese sido reducido a 1,22 kWh por observación.

## CONCLUSIONES

El control computarizado reduce considerablemente el número de circuitos, con lo que aumenta la fiabilidad del sistema, las facilidades de ajuste y reparación. También permite cambiar el algoritmo de control para perfeccionarlo cuantas veces se desee.

La modernización del sistema de accionamiento eléctrico del radar permite la subsiguiente modernización del sistema de alimentación general, que minimiza el consumo de potencia y de energía. El sistema está preparado para asimilar la alimentación del banco de baterías a partir de fuentes renovables.

El principal problema a resolver consiste en la reducción del consumo no del radar como tal, sino de la estación en sí misma, para que pueda ser llevado a un nivel tal que permita una solución económica de alimentación a partir de fuentes renovables de energía.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las diferentes instituciones, que de una manera u otra, colaboraron con la culminación de este trabajo y a las que hicieron posible el prestigio y el nivel de reconocimiento nacional e internacional que hoy posee, especialmente a la organización Cubasolar, pionera en cofinanciar el proyecto de automatización del radar de Punta del Este, a los directivos del Instituto de Meteorología, especialmente al doctor José Rubiera, Director del Centro Nacional de Pronósticos, y al doctor Tomás Gutiérrez, Director General del INSMET, y a toda la dirección del CITMA por confiar en la investigación y brindar todo su apoyo.

## REFERENCIAS

1. Mitsubishi Electric Corp Descripción Técnica del Radar RC-32B, 1972.
2. Diez, M.: "Sistema de accionamiento para radar MRL-5", Tesis de Doctorado, Departamento Ingeniería Eléctrica, Universidad de Camagüey, 1998.
3. Muhammad H., Rashid: Electrónica de potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones, Edición Revolucionaria, Cuba, 2000.
4. Maestro. High Performance DC PWM Servo Drive: Descripción Técnica del Convertidor CD/CD, 1998.

## AUTORES

**Milagros Diez Rodríguez**, Ingeniera Electricista, Doctora en Ciencias Técnicas, Profesora Titular,

Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba  
e-mail: milagros.diez@reduc.edu.cu

### **Orlando L. Rodríguez González**

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar, Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey, Cuba  
e-mail: orlando@cmw.insmet.cu

### **Albio Barreiras García**

Ingeniero en Telecomunicaciones, Investigador Agregado, Centro Meteorológico de Camagüey, Camagüey, Cuba  
e-mail: albio@cmw.insmet.cu

## REVISTAS CIENTÍFICAS DE LA CUJAE EN FORMATO ELECTRÓNICO ¡VISÍTENOS!



• <http://intranet/ediciones/>