

INFORME 889-2*

EVALUACIÓN DEL CANAL EN TIEMPO REAL PARA CIRCUITOS RADIOELÉCTRICOS
IONOSFÉRICOS EN LA BANDA DE ONDAS DECAMÉTRICAS

(Programa de Estudios 27B/6)

(1982-1986-1990)

ÍNDICE

1. Introducción
 - 1.1 Predicción a largo plazo
 - 1.2 Predicción a corto plazo
 - 1.3 Evaluación de los Canales en Tiempo Real (ECTR)
2. Factores que influyen en la calidad del canal
 - 2.1 Dispersión en tiempo y en frecuencia
 - 2.1.1 Dispersión en tiempo
 - 2.1.2 Dispersión en frecuencia
 - 2.2 Ruido externo e interferencia
 - 2.3 Parámetros que indican la calidad de los canales
3. Métodos para medir la calidad de los canales
 - 3.1 Sondeo ionosférico de frecuencia de barrido
 - 3.1.1 Sondeo de incidencia oblicua
 - 3.1.2 Sondeo de incidencia vertical
 - 3.1.3 Sondeo por retrodispersión
 - 3.1.4 Sondeo transionosférico
 - 3.2 Evaluación del canal pasivo
 - 3.2.1 Comprobación de la frecuencia
 - 3.2.2 Comprobación de ruido y la interferencia
 - 3.3 Sondeo en el canal
 - 3.3.1 Comprobación de la intensidad de campo
 - 3.3.2 Comprobación de la relación señal/ruido
 - 3.3.3 Medida de la proporción de errores
 - 3.3.4 Cuenta de pseudoerrores
 - 3.3.5 Medida de los errores de fase
 - 3.3.6 Ensanchamiento espectral de tonos de corriente continua
 - 3.3.7 Forma del impulso
 - 3.3.8 Repetición automática (ARQ)
 - 3.3.9 Estimación y ecualización del canal
4. Tendencias actuales
5. Conclusiones
6. Referencias bibliográficas

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 3 y 8.

1. Introducción

Con el fin de aprovechar plenamente las posibilidades para las radiocomunicaciones en ondas decamétricas que ofrece la ionosfera y superar su inherente variabilidad, debería realizarse una gestión de las frecuencias en tres fases, a saber, predicción a largo plazo, predicción a corto plazo y evaluación de los canales en tiempo real (ECTR).

1.1 Predicción a largo plazo

La predicción a largo plazo de parámetros mensuales medianos es el método tradicional de gestión de frecuencias y diseño de sistemas. Las predicciones de la planificación de frecuencias basadas sobre datos históricos de la ionosfera, se realizan utilizando métodos como los descritos en los Informes 252 y 894. Se seleccionan frecuencias con el objetivo de lograr al menos un 90% de fiabilidad para las comunicaciones en todos los momentos del día durante cualquier estación y en todas las partes del ciclo solar. En esta fase se toman también las decisiones de ingeniería tales como la potencia del transmisor y las antenas adecuadas.

Se deducen para cada hora del día las Frecuencias Óptimas de Trabajo (FOT) para un circuito determinado, generalmente una vez al mes, basándose en algoritmos deducidos empíricamente. La utilización de las predicciones en esta forma permite proporcionar comunicaciones aceptables aunque no necesariamente de gran calidad, para todo tipo de aplicaciones tanto telefónicas como telegráficas.

Las dificultades asociadas con la utilización de la predicción a largo plazo incluyen:

- a) Las frecuencias óptimas de trabajo pueden suministrar comunicaciones durante únicamente el 90% de los días del mes.
- b) Las predicciones no toman en cuenta las influencias de las tormentas ionosféricas ni otros cambios a corto plazo de la ionosfera.
- c) Las estimaciones de señal y ruido no son siempre exactas y la relación señal/ruido no es necesariamente un criterio suficiente para elegir las frecuencias en ciertos tipos de comunicación.
- d) No se dispone de predicciones fiables a largo plazo de la capa E esporádica.
- e) No se toma en cuenta la interferencia producida por otros usuarios.
- f) Las divergencias entre los valores observados de foF2 y los que figuran en los mapas del CCIR (véase el Informe 430), conducen a error en la predicción de los modos de propagación y de las Frecuencias Máximas Utilizables (MUF).

1.2 Predicciones a corto plazo

El siguiente paso en la sofisticación de la planificación de las comunicaciones consiste en especificar cuál de las frecuencias asignadas está realmente disponible en un momento determinado, teniendo en cuenta las variaciones a corto plazo de la ionosfera. En los Informes 727 y 888 se describen ciertas técnicas basadas en observaciones del Sol en tiempo real, de la ionosfera y de las frecuencias realmente utilizadas en un determinado circuito. Pueden superarse los inconvenientes mencionados en a) y b) anteriores observando la ionosfera en tiempo real y realizando previsiones sobre una escala de tiempo de minutos a días. Las técnicas de predicción a corto plazo para la banda de ondas decamétricas no han sido completamente probadas debido a la ausencia de sistemas de observación solar adecuados. Rothmuller [1978] determinó, en pruebas operacionales con datos solares provenientes del satélite Solrad HI, que las interrupciones en ondas decamétricas debidas a la propagación se reducían en 15% y que la duración de las interrupciones era del 15 al 20% menor.

Estas técnicas, sin embargo, no indican cual de las frecuencias asignadas que se propagan en un determinado momento sería preferible utilizar para una determinada modalidad de comunicación. Ni tampoco resulta absolutamente exacta la gama de frecuencias prevista debido a los errores inevitables en las técnicas de previsión.

1.3 Evaluación de los canales en tiempo real (ECTR)

La ECTR es un proceso que consiste en medir el tiempo real de los parámetros pertinentes de un conjunto de canales y en emplear los datos así obtenidos para describir de forma cuantitativa los estados de estos canales y por consiguiente sus capacidades relativas para cursar una determinada clase, o clases, de tráfico de comunicación.

La ECTR es capaz de suministrar comunicaciones de alta calidad en la banda de ondas decamétricas incluso en las condiciones de propagación más adversas. En esta fase se examinan en tiempo real todas las frecuencias asignadas que son potencialmente útiles a fin de determinar la más adecuada para unos fines concretos de comunicación.

El usuario no necesita saber qué principios físicos fundamentales y precisos crean las distorsiones impuestas por el medio ionosférico sobre una determinada señal, si bien dicho usuario, o las partes de gestión automática del sistema radioeléctrico, deberían tener acceso a los valores de los parámetros de un modelo en tiempo real adecuado que describa convenientemente el comportamiento del trayecto. Una vez obtenidos, puede utilizarse el modelo para adaptar de forma óptima el formato y los algoritmos de proceso de la señal para el enlace en cuestión.

La ECTR puede utilizarse para superar los problemas c), d), e) y f) enumerados en el § 1.1. Los sistemas de ECTR no necesitan basarse en modelos sinópticos del ruido atmosférico y ruido artificial, puesto que los sistemas pueden medir en tiempo real el ruido a la frecuencia de trabajo. Como alternativa, el sistema puede medir los parámetros más importantes para el tipo de modulación de señal utilizado. Pueden aprovechar también los modos de propagación por la capa E esporádica que frecuentemente permiten la propagación a frecuencias por encima de la MUF básica de la capa F y proporciona unas proporciones de errores muy bajas. En los sistemas de ECTR se toma en cuenta directamente la interferencia. Dada su capacidad para seleccionar las frecuencias por encima de la MUF básica predicha, ello permite la utilización de frecuencias superiores que tienden a soportar niveles inferiores de interferencia.

2. Factores que influyen en la calidad del canal

2.1 *Dispersión en tiempo y en frecuencia*

En general existen dos fuentes básicas de distorsión de la señal asociadas con los trayectos en ondas decamétricas – la dispersión en el tiempo y la dispersión en la frecuencia. La influencia de estos fenómenos se representa convenientemente mediante «la función de propagación del canal»; en la fig. 1 se incluye un ejemplo ilustrativo de este procedimiento. Esta es una función compuesta que muestra los efectos dispersivos del trayecto sobre un impulso ideal en el dominio del tiempo y sobre un tono único sin modular en el dominio de la frecuencia.

En el ejemplo se muestran tres modos de propagación: éstos pueden deberse a reflexiones procedentes de diferentes capas ionosféricas y reflexiones múltiples en la misma capa. En la práctica es probable que se superponga la dispersión en el tiempo y la dispersión en frecuencia de los diferentes modos, en particular, cuando hay propagación por dispersión en la capa F, si los rayos presentan ángulos elevados o bajos o si aparece difusión magnetoiónica. Cualquier función de propagación dada es una descripción válida del comportamiento del trayecto únicamente para una frecuencia portadora de RF especificada, y sólo durante el periodo en el que las características de la ionosfera permanecen esencialmente constantes. También es función de las directividades y de las ganancias combinadas de las antenas transmisora y receptora. A más largo plazo, las variaciones en el tiempo de los parámetros del trayecto provocarán cambios en el número de modos, en las amplitudes y retardo de los mismos y en la forma de las funciones de distribución asociadas con cada uno de ellos.

La mayoría de los trayectos empleados en los sistemas de ECTR están relacionados con la función de propagación y tienden a caer en la categoría correspondiente al dominio del tiempo o de la frecuencia, según la naturaleza de las señales a transmitir sobre el correspondiente enlace de comunicaciones.

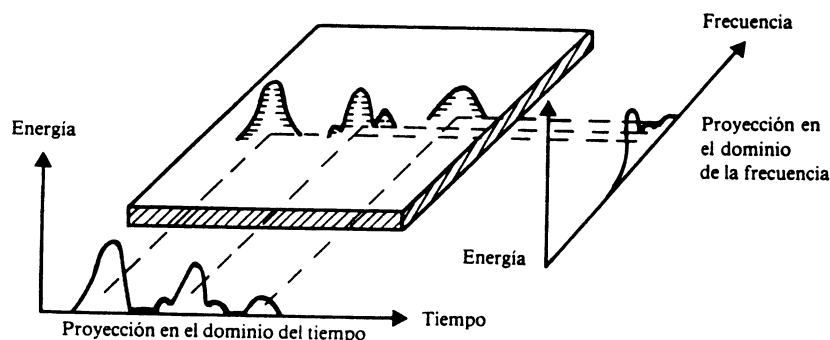


FIGURA 1 – *Función típica de propagación del canal*
[Darnell, 1975]

2.1.1 Dispersión en tiempo

La proyección en el dominio del tiempo de la función de propagación proporciona la amplitud de los modos y los retardos relativos de la propagación de modos múltiples. Está ampliamente reconocido que tal propagación es la principal fuente de errores en las transmisiones de datos digitales mediante Modulación por Desplazamiento de Fase (MDP) y se manifiesta generalmente como una proporción de errores irreducible que no mejora al aumentar la relación señal/ruido. Este efecto, denominado interferencia entre símbolos, aparece cuando el ensanchamiento de los retardos de propagación resulta comparable con la duración del periodo de trama de los datos digitales.

2.1.2 Dispersión en frecuencia

Las consecuencias de la dispersión en frecuencia son menos conocidas. Esta acompaña casi invariablemente a la dispersión en el tiempo pero lo inverso no es necesariamente cierto -la dispersión en frecuencia puede existir en ausencia de una dispersión en el tiempo significativa [Clarke y Tibble, 1978]. La dispersión en frecuencia surge porque los componentes de una onda ionosférica pasan a través de diferentes regiones de la ionosfera y, por tanto, sufren diferentes desplazamientos de frecuencia por efecto Doppler. El campo resultante sufre un desvanecimiento a una velocidad que depende del ensanchamiento de frecuencia por efecto Doppler. Un análisis de una transmisión MDP-D por tonos paralelos a 75 baudios entre Townsville y Sydney mostró una pronunciada correlación positiva entre la proporción de bits erróneos y el ensanchamiento de frecuencia por efecto Doppler de un tono de onda continua dentro de la banda de paso de 3 kHz de la señal de datos [Clarke, 1979].

2.2 Ruido externo e interferencia

Además de la influencia que tienen la variabilidad ionosférica y la función de propagación del canal sobre la calidad del canal de onda ionosférica en la banda de ondas decamétricas, también hay que tener en cuenta el ruido externo y la interferencia procedente de otros usuarios del espectro radioeléctrico. La interferencia es el problema más importante en el funcionamiento normal de un sistema radioeléctrico planificado adecuadamente. Las características de las señales interferentes dependen de los servicios que suministren. Las señales de radiodifusión de gran intensidad son relativamente predecibles en cuanto a su comportamiento, mientras que la gran multitud de señales precedentes de transmisiones de datos en banda estrecha de corta duración son individualmente imprevisibles. Uno de los objetivos fundamentales de las técnicas de ECTR en los sistemas radioeléctricos modernos consiste en adaptar la transmisión de la señal y los algoritmos de procesamiento de tal forma que la interferencia se reduzca al mínimo, manteniendo a la vez el canal ionosférico necesario.

Se dispone de información cuantitativa sobre el carácter de la interferencia en la banda de ondas decamétricas en diversos sitios del Reino Unido [Gott y otros, 1982; Gibson y Arnett, 1988].

2.3 Parámetros que indican la calidad de los canales

Existen muchas modalidades diferentes de sistemas ECTR y muchos parámetros diferentes medibles sobre los que puede basarse un esquema particular de ECTR. Algunos ejemplos de parámetros dependientes del tiempo y de la frecuencia que podrían medirse en el receptor de ECTR son:

- modo ionosférico de propagación;

- ensanchamiento del tiempo de propagación de la señal;
- amplitud de la señal;
- intensidad de ruido de fondo;
- intensidad de interferencia de fondo;
- relación señal/ruido;
- estabilidad de fase de la señal;
- dispersión de frecuencia por efecto Doppler;
- forma del impulso de la señal;
- calidad de la señal recibida; por ejemplo, inteligibilidad de la conversación, proporción de bits erróneos.

En los puntos siguientes se describen estas medidas, así como otras técnicas de evaluación de canales potencialmente útiles.

3. Métodos para medir la calidad del canal

Se han ensayado diversos métodos para resolver el problema de la evaluación de canal. Algunos de los métodos primitivos hacían uso de sondas ionosféricas con barrido de frecuencia, técnica que en la actualidad aún se emplea con bastante frecuencia. Más recientemente los sistemas ECTR se han integrado totalmente en el tráfico cursado por el sistema radioeléctrico, de tal manera que es posible efectuar evaluaciones más detalladas en frecuencias asignadas específicas. En consecuencia, está cambiando el papel que debe desempeñar el operador ya que, en los sistemas radioeléctricos completamente adaptativos, éste no necesita ocuparse de los asuntos de gestión de frecuencias.

3.1 Sondeo ionosférico con barrido de frecuencia

3.1.1 Sondeo de incidencia oblicua

Una modalidad ampliamente utilizada de ECTR es el sondeo de incidencia oblicua, del que existen diversos tipos. El modelo más sencillo es una sonda de impulsos que emplea transmisión y recepción sincronizadas en tiempo y frecuencia [Darnell, 1978] (Informe 249). Otra forma de ionosonda de incidencia oblicua es la sonda de "chirrido" o de Onda Continua Modulada en Frecuencia (OCMF) [Barry y Fenwick, 1975]. Puede utilizarse el ionograma completo de incidencia oblicua representado en la Figura 2 para evitar las bandas de interferencia y seleccionar las gamas de frecuencia donde existe propagación en modo único. Como alternativa, si no existen regiones con propagación en modo único, podría deducirse un criterio de calidad para un canal determinado considerando las potencias relativas de los modos de propagación individuales a esta frecuencia. Este método de evaluación de los canales se basa en la premisa de que una propagación de modo único proporcionará el mejor canal de comunicaciones puesto que limita el tiempo total de dispersión para el trayecto y de esta forma limita la interferencia entre símbolos [Darnell, 1978].



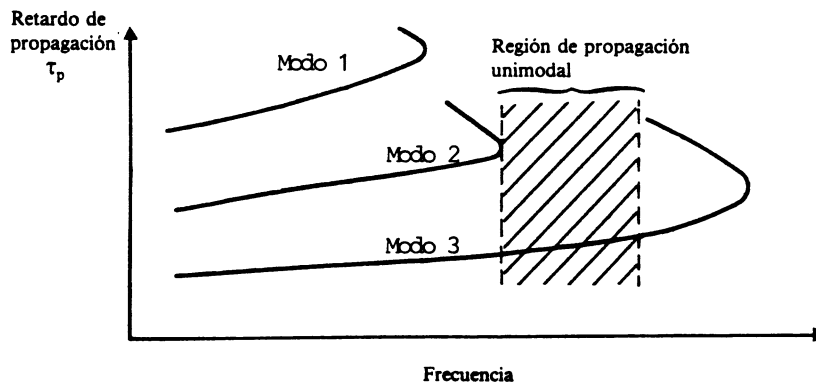


FIGURA 2 - Ionograma oblicuo idealizado que muestra la gama de frecuencias que permiten únicamente un modo de propagación [Darnell, 1978]

En Japón funciona una red de cinco ionosondas con tiempos de iniciación coordinados que ofrece una evaluación del canal en tiempo real a los usuarios de un sistema común en un lugar distante mediante recepción sincronizada [Kuriki y Takeuchi, 1986]. Este sistema es similar al concepto desarrollado en Estados Unidos de América sobre sistema colectivo de sondeos radioeléctricos (CURTS) [Probst, 1968].

Mediante ionogramas de incidencia oblicua se pueden identificar los modos de propagación, medir la Frecuencia Máxima Observada (MOF) y determinar la gama de frecuencias sobre la cual se puede transmitir un modo de propagación. Se pueden entonces seleccionar antenas y canales de frecuencia adecuados a las condiciones predominantes [Barry y Fenwick, 1975]. Los datos de la relación señal/ruido pueden utilizarse también si están disponibles.

Las transmisiones de datos mediante Kineplex entre Townsville y Sydney mostraron, sin embargo, que el número de modos de propagación presentes a una determinada frecuencia no es un buen indicador de la calidad del circuito asociado [Clarke, 1979]. La mejor recepción se obtuvo durante los meses de verano, cuando la propagación se realiza a través de la capa E esporádica a frecuencias por encima de la frecuencia máxima observada de la capa F. Durante los meses de invierno y los equinoccios, cuando generalmente no existe la capa E esporádica, y la propagación se realiza a través de la capa F, no se encontró una correlación total entre la calidad de los datos y el número de modos, aunque en ocasiones aisladas la proporción de errores se redujo en dos órdenes de magnitud cambiando de una propagación en la capa F multimodal a una unimodal. Los errores en los datos tendían a aparecer en ráfagas que coincidían con desvanecimientos de amplitud superiores a aproximadamente 20 dB [Clarke, 1979]. Sin embargo, esto no se aplica a los sistemas modernos con un adecuado entrelazado de bits y un margen dinámico en el receptor.

La ausencia de una correlación global entre la calidad de los datos y el número de modos resultaba presumiblemente del hecho de que incluso cuando varios modos están presentes, el orden inferior es típicamente al menos 10 dB más fuerte que los restantes modos a la misma frecuencia. La propagación es, pues, efectivamente unimodal aunque el ionograma muestre la presencia de varios modos.

Aun cuando un ionograma indique una propagación unimodal en la capa F, la propagación de hecho puede incluir componentes de trayectos múltiples cuya resolución no es posible en el ionograma. Estas pueden ser componentes magnetoiónicas, el resultado de la curvatura ionosférica provocada por las perturbaciones ionosféricas en movimiento o incluso por las irregularidades de menos escala como la difusión de la capa F [Clarke y Tibble, 1978]. Estos efectos, en particular la difusión de la capa F, pueden provocar desvanecimientos serios de amplitud y una consiguiente reducción en la calidad de los datos aunque el ionograma de incidencia oblicua indique que la propagación es unimodal [Clarke, 1979].

En determinadas circunstancias, puede ocurrir que algunos parámetros de propagación (ejemplo desvanecimiento) en un circuito punto a punto no sean recíprocos [Jull y Pettersen, 1964; Budden y Jull, 1964].

Otro problema asociado con la utilización de una ionosonda de incidencia oblicua para ECTR es que la interpretación de los ionogramas requiere una utilización máxima del instrumento, mientras que el sistema ideal de ECTR debería ser automático. Se están elaborando algoritmos eficientes que permitan la interpretación automática de los ionogramas, pero ésta es una importante tarea que entraña técnicas complejas de reconocimiento del diagrama. Otra dificultad potencial que puede surgir con sondeo de incidencia oblicua es cualquier diferencia que pueda existir entre la sensibilidad del sistema de sondeo y las características de la antena, y las características del sistema principal de comunicaciones.

Una consideración importante que cabe hacer cuando se utilicen sondeos de incidencia oblicua para determinar las condiciones en un trayecto distinto o en instantes diferentes, es la correlación espacial y temporal de los parámetros de ECTR elegidos. Goodman y Daehler [1988] examinan estos factores para medir la MOF.

3.1.2 Sondeo de incidencia vertical

Una sonda de incidencia vertical emite una señal de sondeo, que puede adoptar cualquiera de las formas anteriormente descritas para el sondeo oblicuo. Las señales reflejadas se procesan mediante un receptor de sondeo sincronizado para obtener un ionograma de incidencia vertical. Uno de los avances más importantes de los últimos años, que influye en la evaluación del canal en tiempo real, es la ionosonda digital [Bibl y Reinisch, 1978; Wright y Pitteway, 1979a, b] y la proporcionalización automatizada de ionogramas que permite [Reinisch y Huang, 1982a].

Los datos de la incidencia vertical pueden utilizarse directamente en la formulación de un modelo de propagación para trayectos ionosféricos de corta distancia, por ejemplo hasta unos 300 km. Para trayectos más largos pueden aplicarse factores geométricos a los datos de ionograma para calcular las propiedades de la incidencia oblicua. El valor de tales cálculos depende de lo estrechamente que se correspondan la ionosfera en el punto de reflexión del circuito y la ionosfera en la estación de la sonda. Rush [1976], McNamara y Wilkinson [1986] y Milsom [1986] han examinado en qué medida una observación realizada en un punto puede utilizarse para deducir las condiciones ionosféricas en otro.

3.1.3 Sondeo por retrodispersión

El sondeo por retrodispersión puede llevarse a cabo en un emplazamiento único, radiando oblicuamente la energía transmitida. La señal recibida se debe a la energía que se ha propagado a través de la ionosfera y la que se ha dispersado en el suelo, o directamente en la ionosfera, hacia la sonda siguiendo un trayecto ionosférico similar.

La atenuación en tal sistema es alta debido a las altas pérdidas en el suelo y se requieren potencias de transmisión superiores a las requeridas para las ionosondas de incidencia vertical u oblicua. La definición en el ionograma de retrodispersión es también inferior a la de los ionogramas de incidencia oblicua o vertical. Sin embargo, los sondeos por retrodispersión proporcionan un buen indicador de las gamas de frecuencia utilizables para los trayectos con un solo salto. El caso de saltos múltiples tiende a producir unas pérdidas excesivas en el trayecto. Las modalidades de modulación utilizadas para las sondas de incidencia oblicua pueden emplearse en los sistemas de retrodispersión, Croft [1972] examinó el sondeo de retrodispersión y en el Informe 726 se contempla también brevemente este tema. Puede realizarse tanto a una frecuencia fija como con un barrido de frecuencias y se realiza generalmente con disposiciones de antena altamente directivas para mejorar las relaciones señal/ruido recibidas y limitar las zonas de vigilancia.

Los sondeos por retrodispersión se han utilizado operacionalmente en los campos de la radiodifusión en ondas decamétricas y del radar en ondas decamétricas. En el caso de radiodifusión se realiza mediante la adición de una modulación virtualmente inaudible a las radiodifusiones y la consiguiente recepción mediante retrodispersión de la energía modulada. Tales sondeos podrían ayudar al personal del emisor a determinar la banda óptima de radiodifusión y la antena de transmisión para cada zona deseada de cobertura. Este proceso es más exacto si se utilizan transpondedores en la zona de cobertura, de tal forma que pueda efectuarse una calibración de la gama de suelos.

En la práctica la frecuencia de transmisión no suele modificarse a corto plazo y cualquier cambio operativo en tiempo real tendría por objeto utilizar una disposición de antena transmisora alternativa, con características de elevación del haz más adecuadas. Se dirige entonces el volumen de la energía reflejada en la ionosfera hacia el blanco, superando las variaciones día a día de la geometría del circuito debido a las correspondientes variaciones de la ionosfera.

Headrick y Skolnik [1974] han descrito la importancia del sondeo de retrodispersión en relación con el radar en ondas decamétricas. David y otros [1976] han estudiado un procedimiento que permite cerciorarse de que son adecuadas las condiciones de recepción de un canal radioeléctrico previamente elegido según un programa de explotación adecuado. Earl y Ward [1986] han descrito un sistema de sondeo por retrodispersión utilizado conjuntamente con un radar en ondas decamétricas. Este sistema proporciona estimaciones en tiempo real de los niveles de potencia calibrados por retrodispersión y estimaciones simultáneas de las intensidades de ruido en ondas decamétricas.

El sondeo por retrodispersión puede también utilizarse para comprobaciones de propagación mediante la capa E esporádica en un circuito, puesto que los ecos de retrodispersión tienen una signatura característica [Croft, 1972]. Los modos de propagación de la capa E esporádica proporcionan frecuentemente proporciones de errores excesivamente bajas. Sin embargo, la interpretación de los ecos de retrodispersión es un problema muy complejo y requiere el concurso de un operador, mientras que los sistemas de comprobación de frecuencia pueden detectar los modos de la capa E esporádica de forma más sencilla en virtud de su desplazamiento Doppler prácticamente nulo (véase el § 3.2.1).

3.1.4 Sondeo transionosférico

El sondeo transionosférico se basa en la medición de los retardos de grupo en frecuencias próximas a la frecuencia crítica [Avdyushin S.I. y otros, 1983]. Las observaciones con los satélites Intercosmos-19 y Cosmos-1809 han puesto de relieve las siguientes posibilidades:

- medición desde abajo de los perfiles de densidad electrónica;
- determinación de la MUF;
- medición de los gradientes horizontales de densidad electrónica;
- medición de la presencia, situación y concentraciones de las inhomogeneidades ionosféricas.

Este método complementa las posibilidades de los sondeos de incidencia vertical e incidencia oblicua con base en tierra y de los sondeos desde arriba con satélites [Danilkin, 1985]. Puede medirse un gran volumen de la ionosfera utilizando el movimiento del satélite junto con mediciones simultáneas desde varias estaciones en el suelo. Las medidas pueden realizarse para complementar las sondas convencionales o en un modo aislado.

3.2 Evaluación pasiva del canal

Puede obtenerse información sobre el comportamiento de la ionosfera y la interferencia que aparece en los canales radioeléctricos asignados utilizando transmisores ocasionales y métodos de comprobación técnica con receptores pasivos. También pueden registrarse los canales inutilizables a causa de sus altos niveles de ruido e interferencia.

3.2.1 Comprobación de la frecuencia

La modalidad original de ECTR de emplazamiento único, es aquella en que la banda de frecuencias se explora de forma manual con un receptor para evaluar qué transmisiones identificables se propagan desde determinado emplazamiento, junto con sus calidades relativas. La suposición de reciprocidad permite una estimación aproximada de la frecuencia que debería utilizarse para una transmisión hacia un lugar especificado. Este procedimiento podría realizarse actualmente de forma más completa mediante la utilización de disposiciones de antenas de recepción adaptativas u orientables que permitiría conseguir la orientación del haz concentrado tanto en acimut como en elevación. Tal procedimiento permitiría incluir transmisiones no identificables en los procesos pasivos de ECTR puesto que sus posiciones podrían calcularse de forma aproximada mediante mediciones de los ángulos acimutales y verticales de llegada.

Darnell y otros [1988] proponen un sistema global de usuario común, en el que los organismos equipados con equipos receptores adecuados puedan obtener información ECTR de diversos grados de complejidad.

3.2.2 Comprobación del ruido y la interferencia

Cottrell [1979] recopiló estadísticas de ruido que indican que un canal de 3 kHz entre diez es adecuada para un sistema que funciona durante el día. Sin embargo, para el funcionamiento durante la noche, cuando la ocupación del canal en ondas decamétricas es elevada o es probable que se necesite poder elegir entre más canales candidatos, para asegurar que pueda utilizarse al menos un canal. El canal óptimo no variará significativamente durante un periodo de tiempo de un minuto.

Las medidas de interferencia con una resolución de 3 kHz pueden ser un criterio útil para la selección de canales. La evaluación de disponibilidad por medio de predicciones a largo plazo y previsiones a corto plazo puede formar parte también del procedimiento de selección. Las señales de prueba en el circuito real en cuestión, constituyen un medio fiable de deducir las condiciones ionosféricas predominantes y ofrece la posibilidad de llevar la información sobre condiciones de interferencia a los emplazamientos más periféricos de la red.

Gott y otros [1983] han señalado la existencia de importantes componentes de interferencia en una anchura de banda de 3 kHz. Para evitar o suprimir dicha interferencia, es muy conveniente realizar su comprobación en la citada anchura de banda.

Las observaciones anteriores demuestran claramente las ventajas de la comprobación pasiva del ruido y la interferencia en la ECTR.

3.3 Sondeo en el canal

3.3.1 Comprobación de la intensidad de señal

La medida de la intensidad de señal disponible en un canal ionosférico no es, por sí misma, una buena indicación de la calidad del enlace. Las pruebas realizadas con módems de alta velocidad y de 75 baudios han demostrado que el empleo de esta característica de canal no constituye un método idóneo para medir la calidad del canal.

3.3.2 Comprobación de la relación señal/ruido

En algunos sistemas anteriores, se utilizaba la relación señal/ruido (incluida la interferencia) como medida de la calidad del enlace. (Probst [1968]; Stevens [1968]). En todos los casos se demostraron las ventajas de añadir esta característica. Esta opción parece ser un criterio válido de ECTR para sistemas destinados a cursar tráfico de datos a baja velocidad, como puede ser el caso de un enlace monocanal para intercambio de tonos de 75 baudios. Probablemente, para enlaces de velocidad media o de alta velocidad, la medida únicamente de la relación señal/ruido no es adecuada. En esas circunstancias, la dispersión en el tiempo, en forma de trayectos múltiples discretos, desempeñará un papel crítico en la determinación de la calidad del canal.

Humphreys y Shearman [1985] han realizado una de las comparaciones más completas de las distintas posibilidades de medida de la calidad del enlace, demostrando que la relación señal/ruido es una buena elección para los enlaces de datos de baja velocidad. Esto es especialmente válido en condiciones de proporción de errores elevada.

Si bien el nivel de la señal promediado en el tiempo para las frecuencias comprendidas en una anchura de banda de 3 kHz no variará de forma significativa, no cabe decir lo mismo con respecto a la interferencia de fondo, que se hará presente a menudo. Debe tenerse especial cuidado con respecto a la anchura de banda en las que se mide la parte de ruido de esta relación. Si se evalúa en primer lugar los canales potencialmente útiles en una anchura de banda de 3 kHz, descartándose aquellos que presenten una relación señal/ruido baja, pueden investigarse los restantes para determinar los emplazamientos de tono óptimos con una resolución más elevada. De esta forma puede reducirse al mínimo el tiempo de búsqueda de un canal adecuado.

Se han desarrollado diversos dispositivos [Darbyshire y Gott, 1986] para eliminar la interferencia de banda estrecha en un canal telefónico normal de 3 kHz; también se han examinado ampliamente los beneficios de la agilidad de tono en la banda [Darnell, 1978, 1979; Gott y Hillam, 1979; Sloggett, 1979].

Un sistema de ECTR práctico, desarrollado en Canadá, es el denominado ECLL (Evaluación del Canal y Llamada) [Stevens, 1968]. Este es un sistema de sondeo "en el canal", es decir que realiza el sondeo en los canales de frecuencia asignados realmente al usuario. En cada uno de los canales, de los que existe un número relativamente pequeño, el transmisor de base de ECLL emite una señal de varios segundos de duración codificada con un código de llamada selectiva, datos sobre el nivel de interferencia en la estación de base de este canal y una parte en onda continua. En el receptor distante especificado por la llamada selectiva, se decodifica el nivel de interferencia de la estación de base en cada uno de los diferentes canales y se realiza una medición de la intensidad de la señal utilizando la parte en onda continua de la transmisión. Suponiendo que existe reciprocidad, un procesador situado en la estación distante calcula el canal óptimo para realizar la transmisión a la estación de base utilizando el criterio de la relación señal/ruido predicha en esa estación, debida al transmisor distante. La técnica de ECLL proporciona una mejora significativa de la disponibilidad del canal.

El sistema original de ECLL ya no se encuentra en funcionamiento. Se ha construido un sistema de este tipo controlado por microprocesador [Chow y otros, 1981; McLarnon, 1982], denominado RACE (Radiotelephone with Automatic Channel Evaluation - radioteléfono con evaluación automática del canal).

3.3.3 Medida de la proporción de errores

La técnica de contabilización de errores examinada por Darnell [1978] emplea una señal de prueba con esencialmente los mismos parámetros que la señal de tráfico. La señal de prueba ocupa cada vez uno de los canales asignados y establece la proporción de bits erróneos para cada canal. Esta técnica tiene la ventaja obvia de que se realiza una medida directa de la calidad de los datos digitales. Con algunas modalidades de tráfico, es posible deducir los datos de ECTR a partir del sistema normal en funcionamiento, es decir, puede evaluarse un canal mientras está realmente cursando tráfico. Darnell [1978] ha descrito los resultados de las pruebas de un sistema ECTR, basado en las técnicas de contabilización de errores, que utilizaba diez canales posibles que cursaban dos tipos de tráfico por dos trayectos europeos.

La calidad de un circuito que utiliza dos frecuencias seleccionadas mediante las técnicas tradicionales de predicción de frecuencias se comparó con la obtenida utilizando la selección de frecuencias basada en datos de ECTR. La primera técnica se limitaba a la utilización de una frecuencia de día y una frecuencia de noche. Los resultados de las pruebas indicaban, sin excepción, que para los dos tipos de tráfico considerados, se podía conseguir un incremento porcentual sustancial en la calidad del circuito, como media en torno al 45%, utilizando la ECTR en vez de las técnicas de selección de dos frecuencias.

3.3.4 Cuenta de pseudoerrores

Se ha ideado una técnica destinada a acelerar la acumulación de la cuenta de errores, que se denomina cuenta de "pseudoerrores". En vez de utilizar un circuito de detección normal del sistema, se degrada el funcionamiento de forma tal que la cuenta final de los errores sea más sensible a las imperfecciones en la calidad del canal [Leon, 1973].

Puede establecerse un método de generación de pseudoerrores disminuyendo el valor de los umbrales de detección para la identificación de los "ceros" y "unos" digitales. Otra posibilidad consiste en utilizar los márgenes de "decisiones programadas", lo que puede considerarse como otra forma de aceleración de la proporción de errores [Darnell, 1978; Chase, 1973; Humphreys y Shearman, 1985]. McLarnon [1982] describe la aplicación de la comprobación de la proporción de pseudoerrores en el diseño de un sistema de radiotelefonía automática en la banda de ondas decamétricas.

3.3.5 Medida de los errores de fase

La calidad del circuito para los enlaces de intercambio de tonos puede evaluarse muestreando la estabilidad de fase de un tono piloto transmitido con el tráfico de comunicaciones. Normalmente el tono piloto se encuentra entre las frecuencias de la "marca" y el "espacio". La fase del tono piloto se muestrea a una frecuencia sincrona de aproximadamente 100 Hz. La frecuencia con que la diferencia de fase entre muestras consecutivas supera un valor umbral predeterminado, puede utilizarse como medida de la integridad del canal [Darnell, 1978; Betts y Darnell, 1975].

Betts y Darnell [1975] han descrito un experimento para verificar las relaciones deducidas teóricamente entre la proporción de errores de fase del tono piloto y la proporción de datos erróneos en el caso de utilizar Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (MDF). Se realizó un conjunto de tres ensayos, para circuitos cuyas longitudes eran de 850, 1.700 y 9.800 km.

Los resultados de todos los ensayos han confirmado las relaciones predichas entre la proporción de datos erróneos con MDF y la proporción de errores de fase del tono piloto. Las desviaciones significativas aparecían durante menos del 1% de la duración total de los datos registrados. Estas desviaciones eran atribuibles a dos causas principales: un desvanecimiento muy rápido (superior a 1 desvanecimiento/s), y una interferencia de origen industrial muy intensa con carácter inhabitual.

A partir de análisis teóricos, simulaciones en laboratorio y pruebas reales, Betts y Suleiman [1979] han sugerido que puede utilizarse la información sobre errores de fase para sustentar cualquier forma de modulación digital; estos autores también han descrito una segunda generación de la técnica del tono piloto, en la que se establece la diferencia de retardo debido a la propagación multitrayecto entre las señales de un circuito multitrayecto de dos trayectos. El método hace uso de más de un tono piloto y establece una técnica de correlación para determinar la estructura del desvanecimiento selectivo en frecuencia.

Un inconveniente del método de los errores de fase consiste en el largo periodo necesario para evaluar un canal.

3.3.6 Ensanchamiento espectral de tonos de onda continua

Clarke [1980] ha descrito un esquema de ECTR que se aplica a un formato de modulación Kineplex de 2 400 bits/s. Los experimentos llevados a cabo han demostrado que la proporción de errores de los circuitos muestra una correlación positiva muy pronunciada con el ensanchamiento de las componentes espectrales de la señal de datos. En la actualidad se está considerando una técnica de gestión de frecuencias basada en la anchura espectral de tonos de onda continua para cada frecuencia atribuida. Se ha adoptado un procedimiento híbrido en el que los canales se clasifican según las medidas de la relación señal/ruido; las estadísticas de desvanecimiento y la anchura del tono. Según Clarke, pueden evaluarse 10 canales cada 5 a 10 minutos.

3.3.7 Forma del impulso

Gott y Dutta [1979] han descrito un combinador de diversidad que adapta su método de combinación de acuerdo con la calidad de cada trayecto de propagación, donde la calidad del circuito es analizada según la regularidad de las transiciones de la señal MDF (fluctuaciones de fase). Puede adoptarse un método similar para llevar a cabo una selección de frecuencia en vez de la selección de rama de diversidad. Shaw y otros [1988] han presentado una evaluación teórica de la ECTR con filtro de paso por cero. Esta técnica tiene la ventaja de que la evaluación del canal se realiza durante la transmisión del tráfico ordinario.

Humphreys y Shearman [1985] comparan los diversos métodos de medida de calidad del circuito para enlaces de datos de baja velocidad en la banda de ondas decamétricas y consideran que la distorsión telegráfica es un parámetro útil pero no tan importante como la relación señal/ruido.

3.3.8 Repetición automática en caso de error (ARQ)

Muchos sistemas de ondas decamétricas utilizan la técnica de control de errores denominada ARQ. Este método tiene gran aceptación y diversos autores han sugerido que la frecuencia a la que se solicitan las repeticiones puede servir de índice para evaluar la calidad del canal durante el curso normal del tráfico [Darnell, 1978; Elvy, 1985; Borgmann, 1988]. Otros autores [por ejemplo Reed y Hopkinson, 1988] hacen uso de la información obtenida a partir de la frecuencia de corrección del código de control de errores para evaluar la calidad de enlace.

3.3.9 Estimación y ecualización del canal

El método convencional de transmisión de datos a velocidades del orden de 2 400 bit/s consiste en multiplexar los datos en varios canales separados en el dominio de la frecuencia, cursando cada uno de ellos tráfico de datos a baja velocidad. George y Halligan [1985] han descrito un "sondeo práctico de calidad del canal" para utilizar en dichos circuitos de datos a velocidades de 2 400 a 4 800 bit/s. Están apareciendo nuevas técnicas de transmisión en la banda de ondas decamétricas que permiten transmitir datos a alta velocidad mediante un solo tono modulado. Currie y Weale [1985] han descrito un módem que utiliza esa técnica, pero existen otros. Hay diversas opiniones en cuanto al método más adecuado de procesamiento de la señal; los dos métodos generales se llaman "estimación de canal" [Clarke, 1981] y "ecualización de canal". Ambos exigen que el procesador de la señal recibida retenga gran cantidad de información sobre la respuesta impulsiva del canal, o su inversa. En estas circunstancias, hay un evidente potencial para realizar análisis detallados de la calidad del circuito, basados por ejemplo en la dispersión global en el tiempo; la proporción de energía en el modo ionosférico predominante; el desvanecimiento medido en los modos individuales; la medida de la estabilidad de fase; las medidas estadísticas de la "confianza" en el modelo de canal. Pennington [1983] analiza la ECTR para este tipo de módem.

4. Tendencias actuales

Desde hace unos años, los microcomputadores y los procesadores de señales complejas se van convirtiendo en parte integrante de los sistemas de radiocomunicaciones, donde se utilizan con el objeto de aprovechar o mitigar los efectos de la propagación electromagnética, mejorando así la calidad de funcionamiento de dichos sistemas [Agard, 1989]. La ECTR evita los problemas planteados, por las técnicas de sondeo de incidencia oblicua (véase el punto 3.1.1). Estos nuevos sistemas se están integrando totalmente en los equipos radioeléctricos que cursan el tráfico y ello ofrece ventajas considerables desde el punto de vista económico en comparación con los sistemas independientes.

Debido al uso cada vez mayor de la ECTR, es preciso que exista compatibilidad entre los equipos de los diversos fabricantes. Dicho requisito supone la normalización de protocolos para el proceso de sondeo y el posterior establecimiento de la comunicación. Probablemente, tales protocolos deberán normalizarse para cada aplicación (cabe suponer que los protocolos de los enlaces punto a punto serán distintos de los protocolos de las redes tácticas).

5. Conclusiones

Teniendo en cuenta las incertidumbres que supone toda previsión, puede considerarse que la ECTR es la mejor técnica que existe para elegir una frecuencia de funcionamiento para comunicaciones en la banda de ondas decamétricas. Las frecuencias atribuidas se comprueban en tiempo real, se elige la "mejor" y, de acuerdo con ello, se modifica el enlace de comunicación. En principio puede ajustarse cualquiera de los parámetros del enlace, pero hoy en día los esquemas prácticos de ECTR se refieren casi exclusivamente a la elección de la frecuencia de funcionamiento.

Darnell [1975, 1986] resume las ventajas potenciales que surgen de la utilización de las técnicas de ECTR:

- la influencia del ruido y la interferencia de origen industrial pueden medirse y especificarse de forma cuantitativa [Darnell, 1979];
- la posibilidad de realizar mediciones en línea de la propagación y de la interferencia en tiempo real, permite la utilización de modos de propagación relativamente transitorios por ejemplo propagación a través de la capa E esporádica;
- la ECTR permite una utilización más eficaz del espectro de frecuencias tendiendo a seleccionar canales de frecuencia superiores a los que se elegirían mediante técnicas de predicción. De esta forma se reduce la congestión del espectro;
- la ECTR proporcionará un medio para seleccionar automáticamente la mejor frecuencia y simultáneamente indicar los canales de reserva preferidos;
- puede minimizarse la potencia del transmisor, siempre que se garantice una calidad aceptable del tráfico recibido;
- los datos de ECTR pueden utilizarse para adaptar otros parámetros de un sistema de telecomunicación, además de la frecuencia, de forma óptima para las condiciones dominantes del trayecto; por ejemplo, anchura de banda, velocidad de datos, hora de comienzo y duración de la transmisión, algoritmo de procesamiento de señales en el receptor, ángulos de elevación para los haces de antenas, tipo de diversidad y ecualización adaptativa;
- puede suprimirse la provisión de los requisitos de análisis de propagación fuera de línea para las operaciones de enlace fijo; no obstante, éstos seguirán siendo importantes en la planificación de sistemas.

La elección de las frecuencias que deben evaluarse debería realizarse en base a predicciones a largo plazo actualizadas por las previsiones a corto plazo. También, con una red de comunicaciones, debería parcelarse la gama total de frecuencias asignadas de acuerdo con cierto plan general, con el fin de evitar interferencias innecesarias entre los miembros de la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARD [1989] - Operational aids for exploiting or mitigating electromagnetic propagation effects - Conference Proceedings No. 453

AVDYUSHIN, S.I., DANILKIN, N.P., IVANOV, I.I., IPATOV, E.B., KUSHNEREVSKY, YU.V., LUKIN, D.S. y MIGULIN, V.V. [1983] - "Transionosfernoe zondirovanie na granitse radioprozrachnosti ionosfery ("Transionospheric sounding at the limit of ionospheric transparency") - Geomagnetizm i Aeronomiya, Vol. 23, No. 4, págs. 567-572

BARRY, G. y FENWICK, R. B. [1975] Techniques for real-time HF channel measurement and optimum data transmission. AGARD Conf. Proc. No. 173, *Radio Systems and the Ionosphere*. Ed. W. T. Blackband. NASA Accession No. N77-20302. National Technical Information Service, Springfield, VA 22161, Estados Unidos de América.

BELLO, P. A. [1965] Some techniques for the instantaneous real-time measurement of multipath and Doppler spread. *IEEE Trans. Comm. Tech.*, Vol. 13, 3, 285-292.

BETTS, J. A. y DARNELL, M. [1975] Real-time HF channel estimation by phase measurements on low-level pilot tones. AGARD Conf. Proc. No. 173, *Radio Systems and the Ionosphere*, artículo 18. Ed. W. T. Blackband. NASA Accession No. N77-20302. National Technical Information Service, Springfield, VA 22161, Estados Unidos de América.

Betts, J.A. y Suleiman, Z.A. [1979], "Real-Time Channel Estimation of Data Circuits", IEE Coll Dig. 1979/48. Recent Advances in HF Communications Systems and Techniques, Febrero.

BIBL, K. y REINISCH, B. W. [1978] The universal digital ionosonde. *Radio Sci.*, Vol. 13, 519-530.

Borgmann, D. [1988], "An HF Radio Link Processor with Adaptive Frequency Management", IEE Conf. Pub. No. 284, pp. 81-85. Fourth International Conference on HF Radio Systems and Techniques, 11-14 Abril, (Londres, Reino Unido)

BUDDEN, K.G. y JULL, G.W. [1964] - Reciprocity and non-reciprocity with magnetoionic rays. *Can. J. Phys.*, No. 42, pp. 113-130.

Clark, A.P. [1981], "Channel Estimation for an HF Radio Link", *Proc. IEE*, Vol. 128, Part F, No. 1, Febrero, págs. 33-42

CLARKE, R. H. [1979] Influence of ionospheric irregularities on HF skywave communications. Documento presentado al Sydney Ionospheric Propagation Conference del 14-17 de mayo. Resumen publicado en IPS-X10, Ionospheric Prediction Service, Sydney, Australia.

Clarke, R.H. [1980], "A Frequency Management Technique for HF Sky-Wave Communications Based on CWV Soundings", Australian DOD Rpt. ERL-0138-tr, Mayo.

CLARKE, R. H. [1985] A real-time channel evaluation technique for medium-speed digital sky-wave communications. Proc. URSI-IPS Conference on the Ionosphere and Radio Wave Propagation. Eds. D. G. Cole y L. F. McNamara. Technical Report TR-85-04. Ionospheric Prediction Service, Sydney, Australia.

CLARKE, R. H. y TIBBLE, D. V. [1978] Measurement of the elevation angles of multicomponent HF skywaves. *Proc. IEE*, Vol. 125, 1, 17-24.

Cottrell, R.A. [1979], "An Automatic HF Channel Monitoring System", IEE Colloquium Digest 1979/48. Recent Advances in HF Communications Systems and Techniques, Febrero.

CROFT, T. [1972] Sky-wave backscatter: A means of observing our environment at great distances *Rev. Geophys. Space Phys.*, Vol. 10, 1, 73-156.

Currie, J.C. y Weale, J.R. [1985], "Studies of Inverse Filtering and Channel Estimation Techniques for HF Serial Modems", IEE Conf. Pub. No. 245, pp. 151-155, Third International conference on HF Communications Systems and Techniques, Febrero, (Londres, Reino Unido).

- Chase, D. [1973], "A Combined Coding and Modulation Approach to Communications over Dispersive Channels", *IEEE Trans.*, Vol. COM-21, No. 3, Marzo, págs. 159-174.
- CHOW, S.M., IRVINE, G.W., McLARNON, B.D. y KAYE, A.R. [1981] Communications for small communities in developing countries. Proc. Pacific Telecommunications Conference, Pacific Telecommunications Council, Honolulu, Hawaii.
- DANILKIN, N.P. [1985] - "Prosvechivanie ionosfern na granitse diapazona radioprozrachnosti" ("Illumination of the ionosphere at the limit of the radiotransparency range") - *Radiotekhnika*, No. 9, página 3.
- Darbyshire, E.P. y Gott, G.F., [1986], "Robust Data Transmission at HF", IEE Conf., Pub. No. 68, pp. 63-69, Fourth International Conference on Radio Receivers and Associated Systems, 1-4 Julio
- DARNELL, M. [1975] Channel estimation techniques for HF communications. AGARD Conf. Proc. No. 173, *Radio Systems and the Ionosphere*, artículo 16.
- DARNELL, M. [1978] Channel evaluation techniques for dispersive communications paths. *Communications Systems and Random Process Theory*. Ed. J. K. Skwirzynski, Sijthoff and Noordhoff, Paises Bajos, 425-460.
- DARNELL, M. [1979] An HF data modem with in-band frequency agility. IEE Conference on Recent advances in HF communications systems and techniques.
- DARNELL, M. [1986] Embedded Real-Time Channel Evaluation Techniques, AGARD LS-145, 6-1 to 6-16 (ISBN 92-835-1521-5).
- Darnell, M., Hague, J. y Chan, A., [1988], "A Global Common-User System for the Provision of HF Propagation Data", AGARD EPP Symposium, Oct., Paris.
- DAVID, P., GOUTELARD, C. y VAN UFFELEN, J.P. [1976] Procédé de sélection de la fréquence optimale pour une transmission de données sur canal ionosphérique. AGARD Conf. Proc. No. 173, *Radio Systems and the Ionosphere*, Paper 17. Ed. W. T. Blackband. NASA Accession No. N77-20302. National Technical Information Service, Springfield, VA 22161, Estados Unidos de América.
- EARL, G.F. y WARD, B.D. [1986] Frequency management support for remote sea-state sensing using the Jindalee sky-wave radar. *Proc. IEEE*, Special Issue - Oceanic Engineering.
- Elvy, S.J. [1985], "A Design for an Automatic HF Radio System", *Radio Science*, Vol. 20, No. 3, Mayo-Junio págs. 261-268.
- GEORGE, P.L. y HALLIGAN, R.J. [1985] Techniques for real-time HF channel evaluation in aid of optimized data transmission. Proc. URSI-IPS Conference on the Ionosphere and Radio Wave Propagation. Eds. D.G. Cole y L. F. McNamara. Technical Report TR-85-04. Ionospheric Prediction Service, Sydney, Australia.
- Gibson, A.J. y Arnett, L. [1988], "New HF Spectrum Occupancy Measurements in Southern England", IEE Conf. Pub. No. 284, pp. 159-164, Fourth International conference on HF Radio Communications Systems and Techniques, 11-14 Abril, (Londres, Reino Unido)
- Goodman, J.M. y Daehler, M. [1988], "Use of Oblique-Incidence-Sounders in HF Frequency Management", IEE Conf. Pub. No. 284, pp. 66-70. Fourth International conference on HF Radio Communications Systems and Techniques, 11-14 Abril, (Reino Unido)
- Gott, G.F. y Hillam, B. [1979], "The Improvement of Slow Rate FSK by Frequency Agility and Coding", IEE Coll. Dig. 1979/48. Recent Advances in HF Communications Systems and Techniques, Febrero 1979.

Gott, G.F. y Dutta, S. [1979], "Improved diversity Combiner in HF Interference", IEE Coll. Dig. 1979/48. Recent Advances in HF Communications Systems and Techniques, Febrero.

GOTT, G.F., DUTTA, S. y DOANY, B.E. [1983] - Analysis of HF interference with application to digital communications, Proc. IEE, 130 Part F, pág. 452-458.

GOTT, G.F., WONG, N.F. and DUTTA, S. [1982] - "Occupancy Measurements Across the Entire HF Spectrum", AGARD Conf. Proc. No. 332. "Propagation Aspects of Frequency Sharing Interference and System Diversity", Ed. H. Soicher. NASA Accession No. N83-30873. National Technical Information Service, Springfield, VA 22161, Estados Unidos de América.

HEADRICK, J. M. y SKOLNIK, M. I. [1974] Over the horizon radar in the HF band. Proc. IEEE, Vol. 62, 6, 664-673.

Humphreys, J.A. y Shearman, E.D.R. [1985], "Propagation and Performance Assessment on a Working HF Data Link", IEE Conf. Pub. No. 245, pp. 32-36. Third International conference on HF Communications Systems and Techniques, 26-28 Febrero, (Londres, Reino Unido).

JULL, G.W. y PETERSEN, G.W.E. [1964] - Origin of non-reciprocity on high frequency ionospheric paths. Nature, Vol. 201, pp. 483-484.

KURIKI, I. y TAKEUCHI, T. [1986] Vertical/oblique incidence ionospheric sounding. J. Radio Res. Labs. (Japón), Vol. 33.

Leon, B.J. [1973], "Bit Error ratio Amplification", National Telecommunications Conf., Nov. 26-28, Atlanta GA, IEEE p. 4A/1, Vol. 1.

McLARNON, B. D. [1982] Real-time channel evaluation in an automatic HF radio telephone system. Proc. Second IEE Conference on HF Communication Systems and Techniques, Londres, Reino Unido.

McNAMARA, L.F. y WILKINSON, P.J. [1986] - A cautionary note on the use of F2 region correlation coefficients for short-term forecasting purposes. Solar-Terrestrial Predictions: Proceedings of a Workshop at Meudon, France, June 18-22, 1984, 529, Ed. P.A. Simon, G. Heckman and M.A. Shea, published by National Oceanic and Atmospheric Administration, 325 Broadway, Boulder, CO 80303, USA, and Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Bedford, MA 01731, Estados Unidos de América.

MILSON, J.D. [1986] - Towards improving a short-term ionospheric forecasting service. Solar-Terrestrial Predictions: Proceedings of a Workshop at Meudon, France, June 18-22, 1984, 524, Ed. P.A. Simon, G. Heckman and M.A. Shea, published by National Oceanic and Atmospheric Administration, 325 Broadway, Boulder, CO 80303, USA, and Air Force Geophysics Laboratory, Hanscom AFB, Bedford, MA 01731, Estados Unidos de América.

Pennington, J. [1983], "HF Channel Evaluation Measurements for 2.4 kbits/sec Modems", IEEE International Conf. on Communications, pp. 1116-1120, Vol. 2, 19-22 Junio, Boston MA.

PROBST, S.E. [1968] The CURTS concept and current state of development. *Ionospheric Radio Communications*, 370-379. Ed. K. Folkstad, Plenum Press, Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

REINISCH, B.W. y HUANG, X. [1982] - Automatic calculation of electron density profiles from digital ionograms, 1. Automatic O and X trace identification for topside ionograms, pp. 421-434, 3. Processing of bottomside ionograms, pp. 837-844, Radio Sci., Vol. 17.



Reed, A.P.C. y Hopkinson, J.N. [1988], "Adaptive Data Link Protocols: Design and Performance over Automated HF Skywave Links", IEE Conf. Pub. No. 284, pp. 6-11. Fourth International Conference on HF Radio Communications Systems and Techniques, 11-14 Abril, (Londres, Reino Unido).

ROTHMULLER, I. J. [1978] Real-time propagation assessment: initial test results. IES 1978, *Effect of the Ionosphere on Space and Terrestrial Systems*. Ed. J. M. Goodman. US Govt. Printing Office, Washington DC 20402.

RUSH, C. M. [1976] Una red de observaciones ionosféricas para condiciones de propagación a corto plazo. *Boletín de Telecomunicaciones*, Vol. 43, 544-548.

Shaw, M., Honary, B. y Darnell, M. [1988], "An RTCE-assisted ARQ Transmission Scheme: Design and Performance", IEE Conf. Pub. No. 284, pp. 43-50. Fourth International Conference on HF Communications Systems and Techniques, 11-14 Abril.

Sloggett, C.D.R. [1979], "Improving the Reliability of HF Data Transmissions", IEE Coll. Dig. 1979/48. Recent Advances in HF Communications Systems and Techniques, Febrero 1979.

STEVENS, R. W. [1968] The CHEC sounding system. *Ionospheric Radio Communications*. Ed. K. Folkstad, Plenum Press, Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

WRIGHT, J.W. y PITTEWAY, M.L.V. [1979] - Real-time data acquisition and interpretation capabilities of the Dynasonde. 1. Data acquisition and real-time display, pp. 815-825, and 2. Determination of magnetoionic mode and echo-location using a small spaced receiving array, pp. 827-835. *Radio Sci.*, Vol. 14, 5.
