
Tema 7. Propagación por onda de superficie

1	Introducción.....	2
1.1	Características de la propagación	2
2	Antena monopolo corto	2
2.1	Ganancia respecto a la antena isótropa y al dipolo	3
2.2	Campo radiado a 1 kilómetro.....	3
2.3	Campo radiado sobre la superficie de la tierra	4
3	Modelos de propagación por onda de superficie.....	4
3.1	Alcance de la onda de superficie	5
4	Cartas de propagación por onda de superficie	5
5	Trayectos mixtos	6
5.1	Método de Millintong	7

1 INTRODUCCIÓN

En las bandas de LF, MF y HF (30 kHz – 30 MHz) la propagación de ondas de radio depende de los mecanismos de onda de superficie y onda ionosférica. Posee características relativamente diferentes a las estudiadas para los enlaces de frecuencias más elevadas de los capítulos anteriores. El cálculo de los diagramas de radiación de las antenas en estas bandas también es ligeramente distinto. La propagación en espacio libre no puede emplearse para caracterizar este tipo de enlaces.

1.1 Características de la propagación

La propagación por onda de superficie opera principalmente en las bandas de LF y HF (30 kHz a 3 MHz). A estas frecuencias las antenas no están eléctricamente elevadas y generalmente no existe visión directa. El campo responsable de la comunicación es el radiado por la antena en presencia de la tierra.

Se trata de un mecanismo de propagación relativamente pobre. Una parte de la energía viaja por el interior de la tierra, por tanto, sus características dependen de las propiedades eléctricas de la tierra.

Características de la propagación por onda de superficie:

- ⇒ Propagación a ras de tierra
- ⇒ Modo de propagación dominante para frecuencias menores de 30 MHz
- ⇒ Largo alcance. Se emplea en telegrafía y radiodifusión.
- ⇒ Relativamente estable ante perturbaciones.
- ⇒ Ancho de banda reducido.
- ⇒ Las antenas no están eléctricamente elevadas. La tierra equivale a un plano conductor que modifica las características de radiación.
- ⇒ Se emplean antenas monopolo para la transmisión.
- ⇒ Las potencias radiadas son muy elevadas, del orden de kw hasta Mw.

2 ANTENA MONOPOLO CORTO

Se trata de una antena vertical de altura inferior a la décima parte de la longitud de onda alimentada entre su extremo y el plano conductor. Esta es la antena de referencia en las comunicaciones por onda de superficie.

El campo eléctrico producido por esta antena es:

$$E_{AVC}(V/m) = 9,4868 \frac{\sqrt{P_T}}{d}$$

$$E_{AVC}(mV/m) = \frac{300 \sqrt{P_T(kW)}}{d(km)}$$

Por tanto, el campo radiado por cualquier antena monopolo a la que se entrega potencia se calcula como:

$$E_{AVC}(mV/m) = \frac{300 \sqrt{P_T(kW)G_{AVC}}}{d(km)}$$

Donde G_{AVC} es la ganancia de la antena con respecto a la antena vertical corta. Al producto $P_T \cdot G_{AVC}$ se le conoce como potencia radiada aparente de la antena vertical corta PRAVC:

$$PRAVC = P_T \cdot G_{AVC}$$

2.1 Ganancia respecto a la antena isótropa y al dipolo

Para obtener la ganancia de la antena vertical corta con respecto a las antenas referencia utilizadas hasta ahora basta considerar la relación entre los campos radiados por una y otras:

$$G_{AVC/ISO} = \frac{E_{AVC}}{E_{ISO}} = \frac{300 \sqrt{P_T}/d}{173 \sqrt{P_T}/d} = 1,73 \equiv 4,78 dB$$

$$G_{AVC/DI/2} = \frac{E_{AVC}}{E_D} = \frac{300 \sqrt{P_T}/d}{222 \sqrt{P_T}/d} = 1,35 \equiv 2,62 dB$$

Obviamente se cumple que:

$$G_{AVC/ISO} = G_{AVC/DI} + G_{DI/ISO} = 2,62 + 2,15 = 4,78$$

2.2 Campo radiado a 1 kilómetro

El campo radiado a la distancia de 1 kilómetro por una antena monopolo alimentada con 1 kw de potencia es:

$$E_{AVG} = 300 \quad mV/m \equiv 109,54 \quad dBmV$$

2.3 Campo radiado sobre la superficie de la tierra

El campo radiado sobre la superficie de la tierra de conductividad finita es proporcional al campo radiado sobre un plano conductor perfecto por un valor a , inferior a la unidad, función de la frecuencia y de las características eléctricas del terreno

a : Factor de atenuación de la onda de superficie.

3 MODELOS DE PROPAGACIÓN POR ONDA DE SUPERFICIE

En función de la distancia del trayecto y de la altura de las antenas, el rayo directo y el rayo reflejado pueden verse total o parcialmente atenuados. En una situación general, al campo recibido será la suma de tres contribuciones:

$$E_{RX} = E_0 + E_0 \cdot R \cdot e^{j\Delta} + E_0 \cdot (1 - R) \cdot a \cdot e^{j\Delta}$$

Donde R es el coeficiente de reflexión de la onda, dependiente del ángulo de incidencia y las características del terreno, a es el factor de atenuación de la onda de superficie y Δ el desfase provocado por la diferencia de caminos entre el rayo directo y el rayo reflejado o la onda de superficie.

Cuando la distancia es grande (del orden del horizonte radioeléctrico, d_T), el ángulo de incidencia del rayo reflejado tiende a cero. En esta circunstancia, el coeficiente de reflexión tiende a -1 y el desfase a 0 grados. Por tanto, los rayos directo y reflejado se cancelan entre sí y el campo recibido se debe únicamente a la onda de superficie.

$$E_{RX} \Big|_{d > d_T} = E_0 \cdot 2 \cdot a = E_0 \cdot A$$

La onda de superficie solamente presenta alcances útiles cuando la polarización de la onda es vertical, ya que toda componente horizontal es rápidamente absorbida por el suelo.

La evaluación de A es compleja. En la práctica se emplean curvas normalizadas por la UIT-R en función de la frecuencia y de las características eléctricas del terreno (conductividad y permitividad). Estas curvas se encuentran en la recomendación 368 y en el informe 717 y proporcionan la intensidad de campo en función de la distancia.

3.1 Alcance de la onda de superficie

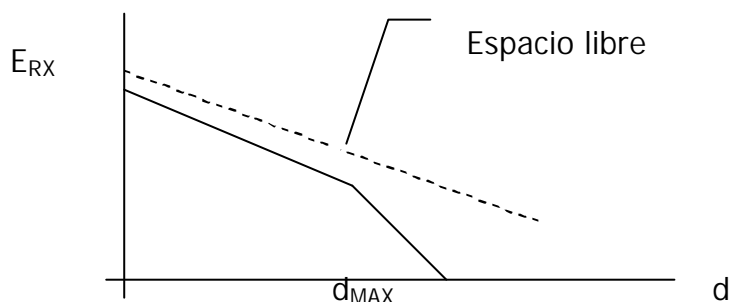
El valor del factor A depende de la distancia. Para valores pequeños es aproximadamente constante y por tanto el campo recibido será proporcional al campo en espacio libre. Es decir, el valor del campo recibido es inversamente proporcional a la distancia. Sin embargo, para valores mayores el factor A es inversamente proporcional a la distancia con lo que el valor del campo recibido es proporcional a la inversa de la distancia al cuadrado.

Para estimar el alcance de la onda de superficie se considera la distancia a partir de la cual el campo empieza a decrecer según la distancia al cuadrado.

Este valor está dado en función de la frecuencia:

$$d_{MÁX} = 100 \cdot f^{-1/3}$$

La siguiente figura recoge lo expuesto anteriormente:



Por tanto, la gran ventaja de la onda de superficie es la existencia de propagación en condiciones similares a las del espacio libre aún en ausencia de visión directa entre las antenas.

4 CARTAS DE PROPAGACIÓN POR ONDA DE SUPERFICIE

La UIT recoge en su recomendación 368 una serie de familias de curvas para el cálculo de la intensidad de campo recibida por onda de superficie. Cada familia de curvas está dada para un tipo de terreno particular (tierra seca, tierra húmeda, agua dulce, agua salada...). El valor del campo eléctrico recibido se obtiene, una vez ajustado el tipo de terreno, seleccionando la curva

correspondiente a la frecuencia de trabajo, a partir de la distancia total del enlace.

Las curvas toman como referencia una antena vertical cuyo campo radiado a 1 kilómetro es de 300 mV/m o de manera equivalente 109,54 dB μ V/m. Por tanto, si la antena transmisora es distinta del monopolo corto, el valor del campo recibido será:

$$E_{RX}(dB\mu V/m) = E_{GRAF}(dB\mu V/m) + 10\log(PRAV(kw))$$

Las gráficas son válidas siempre que la altura de las antenas cumpla la siguiente condición:

$$h \leq 12\sqrt{s}l^{\frac{3}{2}}$$

Las siguientes figuras representan el valor del campo recibido para los casos de agua salada de conductividad 4000 mS/m y constante dieléctrica relativa de 70 y de tierra húmeda de conductividad 10 mS/m y constante dieléctrica relativa 30.

5 TRAYECTOS MIXTOS

Estas cartas permiten calcular el campo cuando las condiciones del terreno son homogéneas entre el transmisor y receptor. Sin embargo, no resultan válidas cuando existen distintos tipos de terreno. El método más exacto para el cálculo de la intensidad de campo recibida se debe a Millintong.

La variación del tipo de terreno no resulta sustancialmente importante si las características de cada tipo no son muy dispares. Esto facilita el cálculo de los trayectos sobre tierra, permitiendo el cálculo de manera aproximada. Sin embargo, esta aproximación no puede hacerse en el caso de trayectos mixtos de tierra y mar.

La potencia recibida depende del sentido de la transmisión. Para el sentido tierra-mar, al alcanzar el agua la onda de superficie tiene un efecto de recuperación debido al paso de un medio peor conductor a otro mejor conductor. Por el contrario, en el sentido de mar hacia tierra, se produce una pérdida extra al alcanzar la costa debido al paso de un medio mejor conductor a otro de menor conductividad.

Millintong propone calcular el campo recibido como la semisuma de los campos en los dos sentidos de la comunicación.

Para obtener los valores numéricos de los incrementos en las interfaces tierra-agua se puede recurrir a la familia de curvas de propagación por onda de superficie recogidas en el informe 717 de la UIT-R. Esta familia de curvas está dada para una frecuencia fija y en función de las características del terreno.

5.1 Método de Millintong

Para obtener el valor del campo recibido se siguen los siguientes pasos:

Obtención del campo recibido en el sentido transmisor receptor (sentido directo):

Suponiendo que el trayecto es homogéneo durante la distancia total del enlace y de características eléctricas iguales a las del terreno existente en el receptor.

En cada discontinuidad sumar el campo que se recibiría a la distancia del transmisor a la que se encuentra la discontinuidad y en un terreno homogéneo con características eléctricas iguales a las del terreno por el cual llega la onda a la discontinuidad y restar el campo que se recibiría a esa distancia en un terreno de características homogéneas con características eléctricas iguales a las del terreno que se encuentra después de la discontinuidad.

Intercambiando las posiciones del transmisor y receptor (sentido inverso) repetir los pasos 1.1 y 1.2.

El campo recibido es igual a la semisuma de los campos recibidos en sentido inverso y directo.

Por ejemplo, para el siguiente trayecto con tres tipos de terreno:

d_1	d_2	d_3
ϵ_{R1}, σ_1	ϵ_{R2}, σ_2	ϵ_{R3}, σ_3

$$E_{\text{DIRECTO}} = E_3(d_1 + d_2 + d_3) + E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2)$$

$$E_{\text{INVERSO}} = E_1(d_1 + d_2 + d_3) + E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_2 + d_3) - E_1(d_2 + d_3)$$

$$E_{RX} = \frac{E_{\text{DIRECTO}} + E_{\text{INVERSO}}}{2}$$

