

Monopolos cargados inductivamente

Cuando se trabaja en bajas frecuencias, frecuentemente es muy dificultoso disponer de dipolos horizontales a suficiente altura en longitudes de onda para que su rendimiento sea aceptable, así que la técnica más empleada ha sido disponer de radiadores verticales, sobre un plano de tierra y en muchas ocasiones, de longitud menor que la necesaria para que trabaje en resonancia.

Cuando la longitud de un radiador monopolo resulta corta ($< \lambda/4$) para la frecuencia de trabajo, presenta en sus terminales de entrada una reactancia capacitiva, cuyo valor se puede determinar según hemos visto en los apartados 3.10 y 3.11.

Ahora bien. Considerando a la antena como una línea de transmisión con extremo abierto (recurso que simplifica bastante los cálculos en determinadas condiciones) y de longitud H menor de $\lambda/4$, la reactancia que presenta en la entrada, es

$$X_e = -j \frac{Z_0}{\text{Tg}(\beta H)}$$

la cual, tiene carácter capacitivo.

Esto hará que en la entrada, la antena presente una impedancia de valor complejo compuesta de resistencia y reactancia. Para conseguir la resonancia, habrá que convertir el monopolo en un radiador con una parte física y otra virtual cuyo conjunto alcance la de longitud eléctrica de $\lambda/4$ y no presente reactancia en los terminales de entrada, o simplemente, anular la reactancia y posteriormente adaptar la resistencia. Pero además de la impedancia de entrada, cuando el monopolo está aislado del plano de tierra, hay que tener en cuenta la capacidad que presenta el propio aislador entre los terminales de entrada que puede estar en torno de los 20 picofaradios y que suponen una reactancia capacitiva ($-X_a$) en paralelo, tanto mayor cuanto menor sea la frecuencia de trabajo. La figura 1 muestra el circuito resultante.

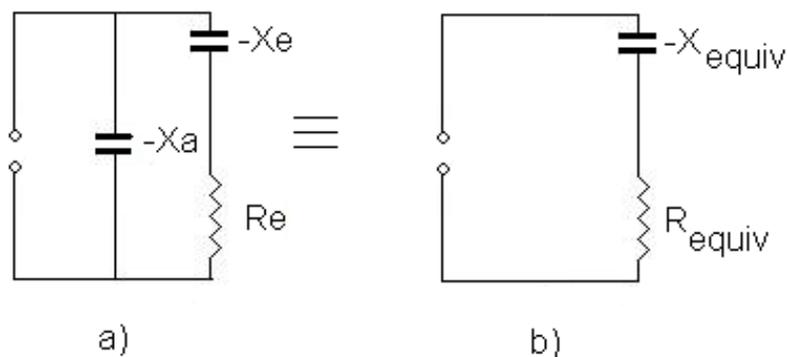


Fig 1

En la figura se muestra gráficamente el circuito visto desde los terminales de la base del monopolo en a) y su equivalente en b) una vez simplificado.

Existen dos métodos para anular la reactancia.

Uno de ellos consiste en compensar la reactancia capacitiva de la entrada, añadiendo en serie una inductancia que presente la misma reactancia pero inductiva, que al tener signo contrario, la anulará por lo que al carecer la entrada del monopolo de reactancia, presentando sólo una resistencia pura, éste, estará en resonancia con la frecuencia de trabajo y por lo tanto, radiará toda la potencia absorbida. Si la resistencia está adaptada a la

impedancia característica del sistema de alimentación, absorberá toda la potencia suministrada con lo que el rendimiento será máximo.

La disposición de la inductancia se indica en la figura 4.5 b) y el circuito a calcular se ve en la figura 2

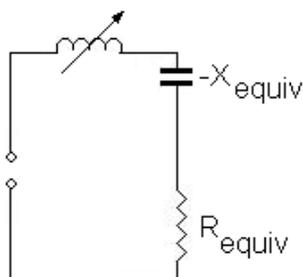


Fig 2

Dado que la inclusión de la bobina no modifica la distribución de corriente (sólo aumenta la intensidad en el punto de alimentación), tampoco se modifica el resto de características como la directividad, la resistencia de radiación, etc.

La figura 3 lo explica gráficamente

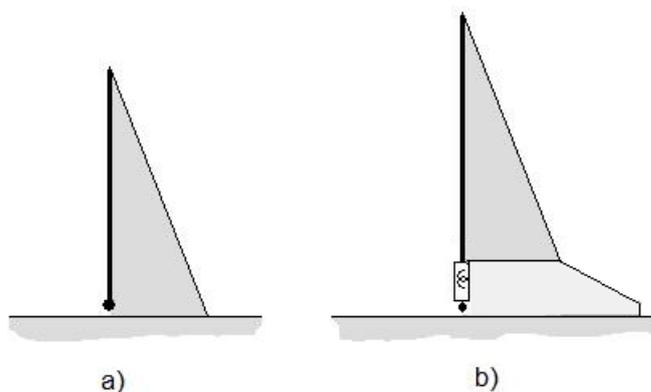


Fig. 3

En este punto, conviene hacer un inciso para marcar unos principios que nos hará comprender de una forma fácil como se distribuye la corriente en un radiador en cualquier circunstancia.

El patrón será el radiador lineal de $\frac{1}{4}$ de onda. El $\frac{1}{4}$ de onda equivale a una longitud angular de 90° (ó $\frac{\pi}{2}$ radianes).

En él, la corriente siempre vale cero en el tope y crece de forma senoidal hacia la base en la que alcanza su valor máximo ($\text{seno } 90^\circ = 1$). Por eso este valor es el normalizado y le llamaremos I_0 . Al contrario, el valor de la corriente en la base, decrece de forma cosenoidal hasta llegar a cero en el tope ($\text{coseno } 90^\circ = 0$).

El valor de la corriente normalizada en cualquier punto del radiador, siempre será el seno del ángulo que separa el punto del tope y por reciprocidad, el coseno del ángulo que lo separa de la base, si la corriente en ella es I_0 . Si la corriente de la base I_b es menor que I_0 , el coseno hallado se multiplicará por I_b .

Con estas premisas, podemos seguir con la inclusión de la bobina en la base del monopolo.

La presencia de la bobina significa la aparición de otra resistencia de pérdidas introducida por el efecto piel del conductor y que habrá que sumar al resto de resistencias de pérdidas y afectará por lo tanto al rendimiento del sistema.

Si la bobina se inserta en serie con el radiador tal como se ve en la Figura 4.5 b), como hemos dicho antes, ésta se limita a cancelar la reactancia capacitiva, quedando una resistencia de entrada que en la mayoría de los casos habrá que adaptar a la Z_0 de la alimentación mediante algún dispositivo externo..

Otra alternativa, consiste en insertar una bobina entre los terminales de entrada del monopolo que estará en paralelo con X_{equiv} y R_{equiv} .

Para calcular el valor de la inductancia a insertar hay que considerar el circuito en su versión paralelo y para ello se aplicarán las fórmulas de conversión para esta disposición

$$X_p = \frac{X_s^2 + R_s^2}{X_s}; \quad R_p = \frac{X_s^2 + R_s^2}{R_s}$$

Aquí, $R_p = R_{equiv}$ y $X_p = X_{equiv}$

La operación inversa convierte un circuito paralelo en otro serie,

$$R_s = \frac{R_p X_p^2}{R_p^2 + X_p^2}; \quad X_s = \frac{X_p R_p^2}{R_p^2 + X_p^2}$$

El circuito quedaría como en la figura 4

La bobina insertada debe llevar al circuito a ser resonante paralelo, por lo que XL_p debe ser igual a Xc_p y los terminales presentarán una alta impedancia puramente resistiva (R_p), que podrá ser adaptada a la alimentación, escogiendo la porción de espiras adecuada en la propia bobina.

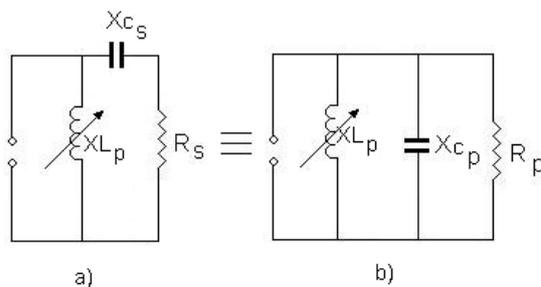


Fig. 4

El circuito real será como en a) de la figura 4, en el que al añadir XL_p , en realidad hemos construido una red de adaptación en "L" (como veremos en el capítulo 7, formada por Xc_s en serie e integrada en la antena, con XL_p , en paralelo, añadida entre los terminales de antena. Dicha red se utiliza para adaptar dos resistencias cuando $R1 < R2$. ($R1 = Z_0$ de la alimentación y $R2 = R_p$).

Si la bobina se inserta en un punto del monopolo diferente de la entrada, el monopolo variará sus características de radiación ya que se va a modificar la distribución de corriente en él.

Analicemos la figura 5 con un ejemplo

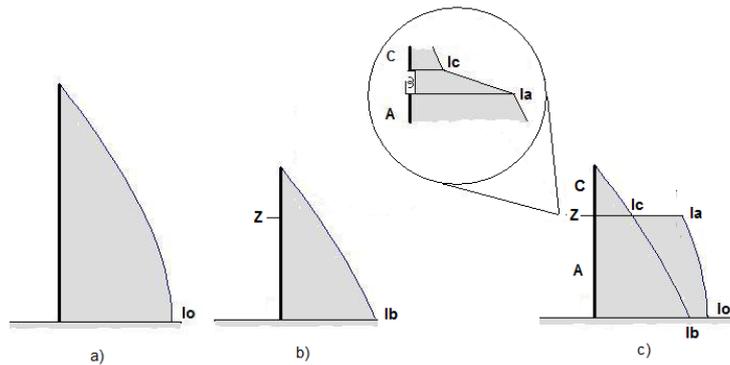


Fig. 5

En a) vemos un monopolo de altura $\lambda/4$ que es resonante y nos servirá de referencia. La intensidad en la base será la máxima y la normalizaremos al valor 1 Amperio ya que $\lambda/4 = 90^\circ$ y $\text{sen}90^\circ = 1$.

En b) tenemos un monopolo corto de 60° de altura. La intensidad en la base valdrá.

$$I_b = \text{sen}60^\circ = 0'866 \text{ Amperios,}$$

lo que quiere decir que I_b es el 86'6% de I_0 .

Para llevar este monopolo a resonancia elegimos insertar una inducción en el punto Z distante del tope 20° . En ese punto, la corriente I_c valdrá

$$I_c = \text{sen}20^\circ = 0'342 \text{ Amperios}$$

En estas condiciones, desde el punto de vista eléctrico, consideraremos tres sectores en el radiador.

El tramo A, entre la entrada y la base de la bobina

El tramo B, longitud equivalente de radiador, introducida por la bobina, y

El tramo C, resto de radiador, por encima de la bobina.

La figura 6 ilustra lo expuesto.

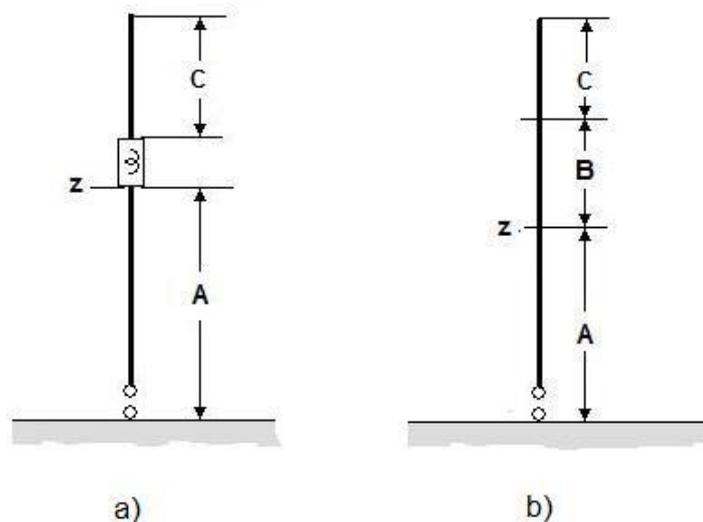


Fig. 6

En a) vemos el radiador seccionado en dos tramos (A y C) para insertar la bobina en el punto "z"

En b) vemos el equivalente eléctrico del sistema con los tres tramos mencionados anteriormente.

Analicemos esta situación:

El tramo A por analogía con una línea de transmisión se puede considerar un línea menor de $\lambda/4$ con una reactancia capacitiva X_z en su extremo (z) formada por otra línea corta (B+C) a su vez, abierta en su extremo.

La reactancia de entrada será,

$$X_e = Z_0 \frac{Z_0 \tan(\beta A) + X_z}{Z_0 - X_z \tan(\beta A)}$$

En resonancia, objetivo que queremos conseguir con la inclusión de la bobina, X_e debe valer cero y entonces, despejando, podemos determinar la reactancia en el punto "z", X_z .

$$X_z = -jZ_0 \tan(\beta A)$$

que debe ser la misma que presenta en el punto "z", el tramo B+C.

La reactancia presentada por el tramo C, será

$$X_c = -j \frac{Z_0}{\tan(\beta C)}$$

Luego la reactancia de la bobina X_b será la diferencia de X_z y X_c

$$X_b = -jZ_0 \tan(\beta A) + j \frac{Z_0}{\tan(\beta C)}$$

y por lo tanto, el valor de la inductancia será

$$L = 2\pi F(\text{Mhz}) \cdot X_b \text{ } \mu\text{H}$$

Cuanto más cerca del tope se inserte la bobina, menor será la longitud de C y mayor la reactancia que presente (X_c). Por otra parte, aumentará la longitud de A y disminuirá X_z . Aumentará la diferencia entre X_z y X_c lo que significa un aumento de la reactancia de la bobina y por lo tanto su inducción, tamaño, resistencia de pérdidas y la tensión que debe soportar $X_c I_c - X_z I_a$ lo que necesitará especiales cuidados en su construcción y diseño.

La inserción de la bobina en un punto (z) del radiador, como hemos visto y al contrario que cuando la insertamos en la entrada, sí que afecta a los parámetros de la antena ya que modifica la distribución de la corriente por haber alargado eléctricamente el radiador.

Al ser llevado a resonancia, desde la entrada, se ve un radiador de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda (recordemos que lo hemos llevado a resonancia), como en a) de la figura 4.7 y la intensidad de la base aumentará hasta 1 Amperio que es el valor de I_0 y en el tramo A, se distribuirá como corresponde a un radiador resonante en $\lambda/4$, hasta el punto "z"

El valor de la corriente I_a en ese punto, valdrá

$$I_a = \cos 40^\circ = 0.766 \text{ Amperios}$$

En el tramo C, la distribución será la misma de antes y el valor de I_c seguirá valiendo 0'342 Amperios. El aumento de la corriente en el tramo A, supone un aumento de la altura efectiva y la resistencia de radiación. El resto de características no se modifican.

La distribución de la corriente a lo largo de la bobina, disminuirá linealmente desde el valor de $I_a = 0'766$ Amperios hasta $I_c = 0'342$ Amperios como se ve en el detalle de la figura 4.7 c). Esta última aseveración ha implicado cierta controversia entre ingenieros, dado que unos, amparándose en el principio de continuidad de la corriente a través de la bobina, como si de una corriente circulante se tratara, consideran iguales por lo que igualan los valores de I_a e I_c . Esto supone que el área encerrada en el tramo C, sería la del triángulo cuya base es I_a en vez de I_c . Al ser mayor la primera, significa mayor intensidad en tramo C y por lo tanto mayor radiación.

Por otra parte, se ha demostrado experimentalmente, insertando dos amperímetros de RF en los extremos de la bobina, midiendo I_a e I_c , que I_c es menor que I_a , lo que está en discordancia con la afirmación de que la intensidad a través de la bobina, permanece constante.

Armando García

EA5ND