

JAULA DE FARADAY

Ing J.C. Olalde; Arq. Carlos A. Picardo

Resumen

En el diseño de un recinto, capaz de atenuar energía electromagnética, se deben considerar tres tipos de campos que actúan en forma diferente, dependiendo de la naturaleza del material del blindaje del recinto. Los blindajes magnéticos por debajo de 100 KHz son difíciles de lograr, y requieren la utilización de chapas ferrosas de mucho espesor o materiales de alta permeabilidad. El blindaje del campo eléctrico es relativamente fácil de lograr por medio de una barrera metálica de espesor pequeña. Por último se debe considerar el blindaje de la onda plana o campo lejano. Los orificios, puertas y ventanas deben ser diseñadas cuidadosamente para mantener los requerimientos del recinto.

Consideraciones

El recinto que se trata aquí se utilizará en el Laboratorio de Electrónica de un Observatorio Radioastronómico, por lo tanto se tratará de compatibilizar las características del recinto con las necesidades del lugar y el costo, como así también la factibilidad de la construcción.

La frecuencia de operación del recinto se fija en 4.4 GHz por detalles de las aberturas (ventanas, puertas, etc). Dicha frecuencia podría ser aumentada modificando los elementos de ventilación y sellos de la puerta.

Características del recinto

La mínima temperatura de antena que un radiotelescopio puede detectar está limitada por fluctuaciones en la salida del receptor causada por la naturaleza estadística del ruido. Éste es proporcional a la temperatura del sistema T_{sist} del radiotelescopio, que puede ser dividida en dos partes principales: la contribución de la antena T_A y la contribución del receptor T_R .

La sensibilidad ó mínima temperatura detectable de un radiotelescopio es igual al valor eficaz de la temperatura de ruido del sistema dado por la expresión:

$$\Delta t_{\text{min}} = \frac{K T_{\text{sist}}}{\sqrt{B \tau}}$$

donde

K: constante que depende del tipo de receptor. Para un receptor de potencia total, $K=1$.

B: ancho de banda de predetección

τ : constante de tiempo de posdetección

Si adoptamos $K=1$; $T_{sist} = 60K$; $\tau = 1s$,

$$\Delta t_{min} = 19 \text{ mK}$$

Por lo tanto la potencia mínima será:

$$P_{min} = K \Delta t_{min} B = 0.026 \times 10^{-16} \text{ w}$$

Donde

K: constante de Boltzmann

Expresado en dBm:

$$P_{min} = -145 \text{ dBm}$$

La atenuación del medio a una frecuencia de 1420 MHz, considerando que el recinto es un radiador isotrópico se puede estimar en alrededor de 90 dB.

Admitiendo en el recinto una fuente de 10 w (40 dBm), se requiere una atenuación del orden de 90 dB para cumplir con el requerimiento de potencia mínima en la entrada del receptor.

Se fija una atenuación de 100 dB para el recinto, valor compatible con la solución constructiva adoptada.

Descripción General

La atenuación que produce un blindaje de RF puede ser considerado según tres mecanismos:

1) La energía incidente es reflejada por la superficie del blindaje debido a la desadaptación entre el medio y la vecindad del metal.

2) La energía que cruza la superficie del blindaje se atenúa al pasar a través del blindaje.

3) La energía que alcanza la cara opuesta del blindaje encuentra otra desadaptación de impedancias entre el blindaje y el medio, y por lo tanto es reflejado nuevamente dentro del blindaje. En la Figura 1 se observan los 3 mecanismos mencionados.

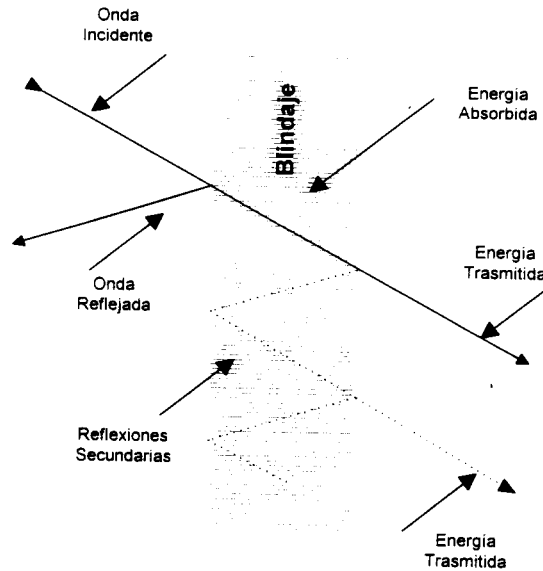


Figura 1

La primera reflexión define el factor **R** de pérdidas de reflexión simple. La absorción a través del blindaje define el factor **A**, y las reflexiones internas del blindaje resultan en un término de corrección **B**. Este último es significativo solo si **A** es menor o igual que 15 dB.

Por lo tanto la efectividad del blindaje **EB** se define como:

$$EB = R + A + B \quad [\text{dB}]$$

Donde,

EB = efectividad del blindaje [dB]

R = factor de reflexión

A = factor de absorción

B = factor de corrección que tiene en cuenta las reflexiones internas sucesivas

Los metales tienen una impedancia superficial cuyo valor es comparable a los niveles de impedancias de una onda de campo magnético. Por lo tanto, en

blindajes contra campos magnéticos, la efectividad del blindaje debe ser obtenida en gran medida a través de la atenuación **A**.

Por otro lado, los metales tienen una impedancia superficial mucho menor que la de los campos eléctricos de alta impedancia, y funcionan bien como blindaje contra ellos. Por lo tanto, el factor **R** alcanza valores grandes, y no se requieren espesores de chapa excesivamente grandes para obtener valores elevados de **A**.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El recinto blindado tradicional se fabrica con placas de aluminio, cobre o acero. El material más común es el acero galvanizado, calibre 24. En nuestro caso, considerando las características de efectividad del blindaje, costo y factibilidad de construcción, se decide construir el recinto con placas de acero galvanizado calibre 25 (0.5 mm de espesor) pegadas a ambos lados de un bastidor de madera compensado fenólico de 18 mm de espesor, formando una doble pared metálica aislada eléctricamente y conectada a tierra en un punto. Esta solución está también íntimamente ligada a los requerimientos de rigidez arquitectónica y consideraciones constructivas que deben considerarse para la realización del recinto.

Por medio de gráficos que permiten calcular la efectividad del blindaje de una chapa simple (ref 1), se puede evaluar el comportamiento de una pantalla de hierro ($\sigma_r = 1000$; $\mu_r = 0.17$) de 0.5 mm de espesor.

Para distancias de aproximadamente 30 cm a cada lado de la placa para el campo eléctrico y magnético, y para distancias de aproximadamente 180 cm para la onda plana, la efectividad del blindaje es:

Campo magnético a 10 kHz: **EB \cong 120 dB** aumentando con la frecuencia.

Campo eléctrico a 100 Hz: **EB \cong 2 – 40 dB** aumentando con la frecuencia.

Para onda plana y en distancias de 1 Km del metal a la fuente: **EB > 280 dB**.

Estos valores están dados para distancias entre emisor, receptor y pantalla fijos, pero dan idea de que una chapa de hierro galvanizado de 0.5 mm es más que suficiente para la construcción de un recinto de propósitos generales.

Como regla general, para lograr efectividades de blindaje mayores que 100 dB se requieren aislaciones dobles o recintos soldados.

DEGRADACION DEL RENDIMIENTO DEL RECINTO

Lo expuesto hasta aquí supone que el material aislante es homogéneo y lo suficientemente grande para desprestigiar fugas y efectos de borde.

En realidad, los recintos tienen fugas debido a las penetraciones y costuras.

La efectividad del blindaje, se redefine entonces como:

$$EB = R + A + B - \text{efectos de fuga} - \text{efectos de onda estacionaria}$$

Los efectos de fuga se deben a la presencia de costuras entre chapas, tornillos, puerta, ventanas, filtros de línea, y cualquier otro tipo de perforación.

La degradación debida a ondas estacionarias considera efectos de resonancia a las frecuencias más altas, donde los recintos actúan como cavidades de microondas.

El control de todos los elementos capaces de producir fugas de energía del recinto se considera de vital importancia. En el diseño del recinto aquí descrito se utiliza el método de unión de chapas tipo "sandwich" consistente en cubrir la unión con una faja metálica por arriba y otra por debajo de la unión y atornilladas a la placa fenólica. Éste método ha sido usado con éxito en recintos simples y en nuestro caso se adaptó a un recinto doble.

El principio de la doble aislación

La construcción doble aislada eléctricamente está reconocida como uno de los factores más importantes para maximizar la efectividad del recinto. En el presente diseño se utiliza el mencionado principio. Se construyen dos recintos metálicos separados por la placa fenólica para prevenir de ésta forma caminos de acoplamiento y conductivos entre las dos placas conductoras.

Para un recinto doble, con placas de hierro calibre 24, los valores típicos de atenuación son los siguientes (ref 1):

Campo magnético

60 Hz -----14 dB

15 KHz -----80 dB

Campo eléctrico

14 KHz-----100-120 dB

Onda plana

450 MHz -----100-110 dB

1 GHz-----100-110dB

Microondas

10 GHz-----90-110 dB

En nuestro caso, utilizamos chapa calibre 25, por lo que cabe esperar valores un poco menores a los mencionados. De todos modos, la efectividad del blindaje

está altamente definida por las aberturas del recinto (puertas, ventanas de ventilación, orificios para entrada de cables, etc), especialmente en el rango de microondas.

En un recinto de doble aislación la mejora del blindaje depende de la distancia entre las placas metálicas(a mayor distancia, mayor mejora). En general, por problemas constructivos se adopta la placa de madera compensada de 3/4 de pulgada, y chapas calibre 24 ó 26(ref 1). En el mercado local se consiguen chapas calibre 25 y placas de madera de 18 mm.

Ventanas de ventilación

Suponiendo que el recinto se utilice a una frecuencia de 4,4 GHz, un arreglo de 200 agujeros de 4 mm de diámetro sobre una placa de 16 mm de espesor posee una efectividad de blindaje de 120 dB. El arreglo tiene una superficie equivalente de 60 cm² para la entrada de aire. Por razones de costo y dificultades para construir dicha abertura , se optó por fabricar las mismas con un apilado de chapas perforadas y giradas en el espacio para aproximar la solución. Las dimensiones de la misma se fijan en 25X25 cm. La efectividad del blindaje de dicha ventana se determinará por medida y se modificará el diseño si fuera necesario.

Puerta

Los contactos de la puerta con las placas del recinto se realizarán en bronce fosforoso. La idea es doblar cintas de bronce fosforoso y construir los sellos de las puertas. El rendimiento de los mismos se determinará por medidas.

Filtro de línea

Se recomienda utilizar un filtro de línea comercial para la entrada de la alimentación del recinto.

De acuerdo a información disponible la compañía Lindgren (USA), dispone de un modelo de filtro de línea diseñado para recintos aislados, cuya denominación es: LRE-2030, cuyas características se dan a continuación:

2 conductores

Máximo voltaje: 277 V a tierra; 480 V línea a línea.

Frecuencia: 0-60 Hz

Rango de frecuencia: 150 KHz-10 GHz

Pérdida de Inserción: 100 dB mínimo

Consideraciones de seguridad.

El recinto debe estar conectado a tierra. La alimentación al mismo debe contemplar la utilización de una llave termomagnética y protector diferencial.

Los recintos, en un punto se conectan entre si por medio de un tornillo pasante, y debe existir una conexión a tierra con cable de sección apreciable. Ésta se realiza por medio de una jabalina ó utilizando la tierra existente en el laboratorio de electrónica.

Alimentación del recinto y terminación de las superficies

La entrada de la alimentación al recinto se hace a través del filtro de línea, que está ubicado en la cara metálica exterior del mismo.

En el interior se ubican las mesas y bancos de madera. El piso del recinto se cubrirá con una carpeta de goma para evitar dañar la chapa del piso. Las paredes interiores se cubrirán con goma EVA para proteger las mismas y evitar los reflejos. Los cables irán colocados en cableras de plástico sujetas sobre las mesas de madera distribuyendo la energía a las mismas con cables de sección adecuada. La iluminación interior se logra a través de lámparas tomadas de las mesas. La idea es que no se realice ninguna perforación sobre la placa metálica del recinto. En el caso de requerirse iluminación adicional se deberán construir bastidores de madera para soportar las lámparas .

Referencias

- 1- Architectural Electromagnetic Shielding Handbook. Leland H. Hemming. IEEE Press.