



Coaxiales con dieléctrico de espuma



José Luis Giordano, CA4GIO
Radio Club de Chile, CE3AA

Dentro de la gran variedad existente de líneas de transmisión coaxiales, hay un grupo denominado "de bajas pérdidas" (Low Loss Coax) al que pertenecen coaxiales cuyo dieléctrico es PE(F), espuma de polietileno. Aquí se explica la razón por la cual se utiliza este material y cuál es la principal característica que debe observarse cuando se busca un coaxial de bajas pérdidas.

En varias ocasiones he escuchado que los coaxiales que usan PE(F) tienen menos pérdidas porque el aire en las burbujas es mejor aislante eléctrico que el polietileno sólido (PE). Si bien es cierto que debido a las burbujas la resistividad es un poco mayor, no es eso lo que relaciona a los dieléctricos de espuma con los coaxiales de bajas pérdidas.

El efecto pelicular en una línea coaxial hace que la corriente fluya en un sentido por una capa superficial del conductor central, y en el sentido contrario en una capa superficial interior del conductor del blindaje (que está en contacto con el dieléctrico). El espesor atravesado por la corriente se vuelve más delgado conforme aumenta la frecuencia f de operación, disminuyendo la sección transversal efectiva. Por lo tanto, debido al efecto pelicular, las pérdidas aumentan con la frecuencia. No obstante, como el diámetro d del conductor central es unas 3 tres veces menor que el diámetro interior D del blindaje, aproximadamente el 75 % de las pérdidas producidas por el efecto pelicular se generan en el conductor central.

Para justificar esta afirmación, supongamos que el conductor central y el blindaje están compuestos por el mismo material conductor (cobre o aluminio) de conductividad eléctrica σ_c y permeabilidad magnética $\mu_c = \mu_0$ (siendo μ_0 la permeabilidad en vacío, una constante universal). Entonces, teniendo en cuenta que según las especificaciones

$$D \approx 3d$$

la expresión de la resistencia específica (en Ω/m) para una línea de transmisión coaxial [1]

$$R' = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \sqrt{\frac{\pi f \mu_c}{\sigma_c}}$$

nos dice que prácticamente $\frac{3}{4}$ de R' (y por lo tanto, el 75 % de las pérdidas debidas al efecto pelicular) se generan en

el conductor central. Los cables coaxiales de bajas pérdidas como el LMR-400 por ejemplo, logran tener menos pérdidas que cables como el RG8 o el RG213, gracias al aumento del diámetro del conductor central (Ver dimensiones en la Tabla donde se comparan coaxiales de 50 Ω). Por lo mismo, los coaxiales con pérdidas menores, en general tienen un diámetro exterior \emptyset mayor, que les permite tener un conductor central también mayor (como los LMR-600 y LDF4-50) (ver tabla).

Sin embargo, para ser considerado como "reemplazo" de mejor calidad en cuanto a las pérdidas, el coaxial debe mantener un diámetro exterior total \emptyset similar, y sobre todo la misma impedancia característica Z_0 (50 o 75 Ω , por ejemplo). Para ver la relación entre las dimensiones y el dieléctrico, consideramos la expresión

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

de la impedancia característica en un coaxial donde las pérdidas se puedan despreciar, [1] siendo la autoinductancia específica (en H/m):

$$L' = \mu \frac{\ln(D/d)}{2\pi}$$

y la capacitancia específica (en F/m):

$$C' = \varepsilon \frac{2\pi}{\ln(D/d)}$$

En estas expresiones μ y ε son respectivamente la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica del dieléctrico. Como los polímeros no son magnéticos, es $\mu = \mu_0$, y además $\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$, donde ε_r es la constante dieléctrica del dieléctrico y ε_0 es la permitividad en vacío (otra constante universal). Luego, reemplazando y arreglando los términos se obtiene

$$Z_0 = \frac{\eta_0}{2\pi} \times \ln\left(\frac{D}{d}\right) \times V_F$$

donde la constante η_0 es la impedancia intrínseca en el vacío:

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \approx 376.73 \Omega$$

y donde V_F es el factor de velocidad de la línea de transmisión:

$$V_F = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

Consecuentemente, se ve que para mantener el valor de Z_0 , debe ser

$$\ln(D/d) \times V_F \approx \text{constante}$$

En efecto, al aumentar el diáme-

■ Aproximadamente el 75 % de las pérdidas producidas por el efecto pelicular se generan en el conductor central.

Coaxial	\emptyset (mm)	Diel.	d (mm)	D (mm)	V_F (%)	$\ln(D/d) V_F$ (adim.)	dB/100m @ 150 MHz
RG58C/U	4.95	PE	0.91	2.95	65.9	0.78	20.10 [2]
PE-C240 (RG8X)	6.10	PE(F)	1.42	3.94	84.0	0.86	11.15
RG8A/U	10.29	PE	2.16	7.24	66.0	0.80	8.07 [2]
RG213/U	10.29	PE	2.29	7.24	66.0	0.76	8.77
LMR-400	10.29	PE(F)	2.74	7.24	84.0	0.82	5.00
LMR-600	14.99	PE(F)	4.47	11.56	85.0	0.81	3.20
LDF4-50 Heliax®	16.00	PE(F)	4.83	12.95	88.0	0.87	2.67

tro d del conductor central sin cambiar demasiado el diámetro D (para que el diámetro exterior \varnothing sea similar), disminuirá $\ln(D/d)$ y entonces habrá que aumentar V_f , es decir hay que disminuir la constante dieléctrica ϵ_r . Como para el PE es $\epsilon_r \approx 2.3$, [3] una forma de disminuir ϵ_r es usar el mismo material, pero con burbujas de aire (es decir, mezclarlo con $\epsilon_r = 1$). De este modo, el valor medio de la constante dieléctrica puede ser $\epsilon_r \approx 1.5$ o menor. Por esta razón, muchos cables coaxiales de bajas pérdidas tienen un conductor central de mayor diámetro rodeado por un dieléctrico de espuma de PE (lo cual hace que el factor de velocidad sea 0.82 o mayor). Esas son dos de las características de los coaxiales con pocas pérdidas, pero el rol de la espuma no

es disminuir las pérdidas sino mantener el valor Z_0 . Dentro de los cables mayores como los *Heliax*®, hay algunos cuyo blindaje es un tubo de cobre corrugado que tiene cavidades con aire para disminuir la constante dieléctrica media y así permitir un conductor central con diámetro mayor. Existen otros métodos para incorporar aire en el dieléctrico, pero son menos comunes en los cables usados por radioaficionados.

En la tabla se compara primero el cable RG58C/U (*Datasheet* de Pasternack) con el "Low Loss Flexible RG8X Type" PE-C240 (Pasternack). Luego se comparan el RG8A/U y el RG213/U (Pasternack) con el LMR-400 "Flexible Low Loss Communications Coax" (Times MS). Como referencia, al final

se incluyen 2 cables de bajas pérdidas: LMR-600 (Times MS) y LDF4-50A, *Heliax*® (Commscope). La última columna muestra la atenuación en dB para 100 m de cable a 150 MHz.●

Referencias

- [1] FAWWAZ T. *Ulabi and Umberto Ravaioli. Fundamentals of Applied Electromagnetics*, 8th Ed., Global Ed. Pearson: Essex, 2023.
- [2] Valores de atenuación extrapolados con el método, publicado por el autor en el artículo «Atenuación de un cable coaxial a una frecuencia diferente», *Radioaficionados*, julio de 2023, pág. 16.
- [3] La constante dieléctrica se obtiene del factor de velocidad publicado en las hojas de especificaciones de los coaxiales



PRO.SIS.TEL.
1992 2017
Produzione Sistemi Telecomunicazioni

Antenas

www.prosistelshop.com
Email: prosistel@prosistel.it

WEBCLUSTER