

Impedancia de un Cable Coaxial: $\epsilon =$ constante dieléctrica

$$Z_c = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{D}{d} \quad \text{donde: } D = \text{Diámetro externo}$$

 $d =$ diámetro internop.e.: si $D/d = 3.54$ y $\epsilon = 2.3 \Rightarrow Z_0 = 50\Omega$ Velocidad de propagación en una línea de transmisión de radiofrecuencia:En el vacío: $\lambda = c/f = 300/f_{(\text{MHz})}$ en metros, con $\epsilon = 1$

Si ahora tenemos una L.T. con dieléctrico de constante ϵ_1 , la capacitancia distribuida a lo largo de la línea aumentara haciendo que la velocidad de propagación de ese medio caiga en $1/\sqrt{\epsilon}$.

$$v_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \Rightarrow I_c = \frac{v_p}{f} = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon}} = \frac{I}{\sqrt{\epsilon}}, \text{ la } v_p \text{ también se expresa en \%}$$

Ejemplo: Si la v_p de un cable es 0.66 ¿Cuánto vale ϵ ?

$$v_p = 0.66 \times 300 = 198 \Rightarrow v_p = \frac{300}{\sqrt{\epsilon}} \Rightarrow \sqrt{\epsilon} = \frac{300}{198} \Rightarrow \epsilon = 2.3$$

¿Cuánto medirá un cable de $\lambda/2$ para una frecuencia de 500 MHz, si la $v_p = 0.82$?

Solución:

$$V_p = 0.82 \times 300 = 246 \quad \text{como } \epsilon = \left(\frac{c}{v_p}\right)^2 = \left(\frac{300}{246}\right)^2 = 1.48 \quad \text{y } I = \frac{300}{500} = 0.6$$

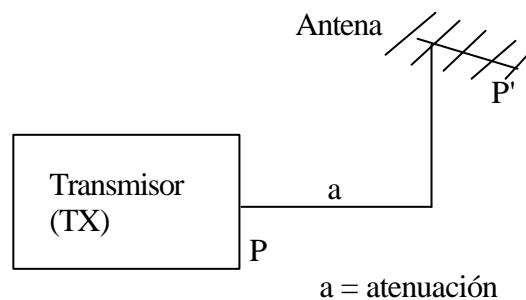
$$I_c = \frac{I}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{0.6}{1.22} = 0.492 \text{ metros} \quad \therefore \frac{I_c}{2} = 0.246 \text{ metros}$$

Porcentaje de energía de Radio Frecuencia (RF) entregado a una carga:

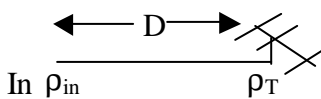
$$P' = \frac{1}{10^{a/10}} 100\%$$

p.e.: Sí $a = 0.03\text{dB}$ y $P = 100\text{W}$

$$P' = \frac{100\%}{10^{0.003}} = 99.3\%$$

 \therefore Se disipa $100 - 99.3 = 0.7\text{W}$ en la L.T.

Coefficiente de Reflexión: $r = \frac{E^-}{E^+} = \frac{I^-}{I^+}$



$$r_T = \frac{Z_T - Z_C}{Z_T + Z_C}$$

p.e.: $Z_T = 60$ y $Z_C = 50$

$$r_T = \frac{60 - 50}{60 + 50} = 0.09$$

$$\rho_{\text{POT}} = \rho_T^2 = 0.81$$

VSWR y atenuación en una L.T. que acopla TX a la antena:

$$r_{in} = r_T e^{-2\alpha d} \quad \text{donde: } \{ \rho_{in}: \text{Coef. Reflexión a la entrada de la L.T.}$$

ρ_T : Coef. Reflexión en el punto de alimentación de la antena
 $e=2.71828$,

α : atenuación característica de la línea en neper,
 $1\text{Neper}=8.686\text{dB}$

d : distancia entre el transmisor y la antena }

p.e.: $d=30\text{m}$, $a=13.1\text{dB}/100\text{m}$, $VSWR_{ANT}$ de 3:1, $r_T = \frac{3-1}{3+1} = 0.5$

$$r_{in} : \left. \begin{array}{l} 1\text{Neper} \text{ — } 8.686 \text{ dB} \\ x \text{ — } (13.1/100)\text{dB} * 30 \end{array} \right\} x=0.452$$

$$r_{in} = 0.5 * e^{-2*0.452} = 0.202 \quad \text{luego: } VSWR_{in} = \frac{1+r_{in}}{1-r_{in}} = \frac{1+0.202}{1-0.202} = 1.5$$

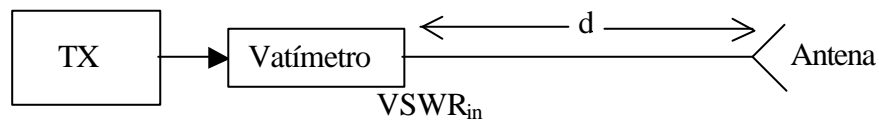
Concluimos con: $VSWR_{in} < VSWR_{ANT}$
 $1.5:1 < 3:1$

Podemos resolver el ejemplo anterior trabajando con logaritmos decimales usando estas expresiones:

$$VSWR_{in} = \frac{1+Pr_T}{1-Pr_T} \quad \text{donde: } P = \frac{1}{10^{\alpha/10}} \quad \text{y} \quad r_T = \frac{VSWR_{ANT}-1}{VSWR_{ANT}+1}, \quad \text{para el ejemplo:}$$

$$P = \frac{1}{10^{3.93/10}} = 0.404, \quad VSWR_{in} = \frac{1+0.404*0.5}{1-0.404*0.5} = 1.5 \quad \text{y} \quad r_T = \frac{3-1}{3+1} = 0.5$$

En la práctica siempre es posible conocer $VSWR_{ANT}$, se puede conocer el $VSWR_{in}$ siempre que se disponga de un vatímetro direccional)



$$VSWR_{ANT} = \frac{A+B}{A-B} \quad \text{donde: } A = \frac{VSWR_{in}+1}{VSWR_{in}-1} \quad \text{y} \quad B = 10^{\alpha/10}$$

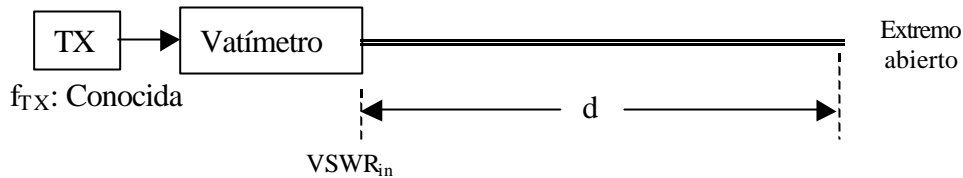
$$VSWR_{in} = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}} \quad \text{donde: } P_r: \text{Potencia Reflejada y } P_i: \text{Potencia Incidente}$$

Ejemplo: Calcular la $VSWR_{ANT}$ si se tienen los siguientes datos: 25m de cable coaxial RG-213 con atenuación de 4.62dB en 25m (Dato del fabricante), la frecuencia es de 524 MHz y se mide con un vatímetro $P_i=40\text{W}$ y $P_r=0.9\text{W}$

$$VSWR_{in} = \frac{1 + \sqrt{\frac{0.9}{40}}}{1 - \sqrt{\frac{0.9}{40}}} = 1.35 \quad A = \frac{1.35 + 1}{1.35 - 1} = 6.7 \quad \text{y} \quad B = 10^{4.62/10} = 2.9, \text{ luego}$$

$$VSWR_{ANT} = \frac{6.27 + 2.9}{6.27 - 2.9} = 2.53, \quad VSWR_{in} < VSWR_{ANT}$$

Cálculo de la atenuación de un cable coaxial a partir de la VSWR:



Para el esquema propuesto, como ejemplo: $P_i=20W$, $P_r=2.9W$, $d=25m$ y $f=524MHz$ (Mitad de banda de Canal 22 UHF).

$$VSWR_{in} = \frac{1 + \sqrt{\frac{2.9}{20}}}{1 - \sqrt{\frac{2.9}{20}}} = 2.23 \quad a_{dB} = -10 \log \left(\frac{VSWR_{in} - 1}{VSWR_{in} + 1} \right) = 4.2dB$$

Nota: Para realizar este procedimiento hay que asegurarse que el nivel de potencia que entregue el transmisor sea reducido, de manera que de evitar que la potencia reflejada sea muy alta.

En algunos catálogos el VSWR se expresa en términos de "Return Loss" o "Pérdida de Retorno", p.e.: 40dB de Return Loss en términos de VSWR significa

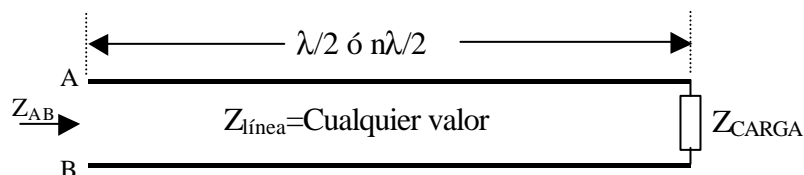
$$\text{Return Loss}(dB) = 20 \log \rho \quad \text{ó} \quad 40dB = 20 \log \rho \Rightarrow \rho = 100$$

$$\text{Y como } VSWR = \frac{1 + r}{1 - r} = 1.02 \text{ en módulo, también } -40dB = 10 \log(P_r/P_i) \Rightarrow P_r/P_i = 10^{-4}$$

Características y Usos de una L.T. para RF:

1. Con dieléctrico \neq aire, la $v_p < c$ (c = velocidad de la luz)
2. Cualquiera Z colocada en uno de los extremos de una L.T. de $\lambda/2$ de longitud o múltiplos cualquiera, reflejará en el otro extremo el mismo valor de Z .

Se le denomina: Transformador de Z 1:1



3. $\lambda/4$ ó $(2n-1)\lambda/4$ de longitud, presenta en uno de sus extremos, exactamente el inverso de la impedancia colocado en el extremo opuesto. Para el cálculo de la Z que resulta de

esta transformación se "normaliza", es decir, se divide el valor considerado por el valor de la impedancia característica de la línea, luego se "desnormaliza".

Ejemplo: Calcular la Z_{OUT} de una línea de $\lambda/4$ cuando conectamos a su entrada una $Z_{in}=25\Omega$ y la $Z_{LT}=50\Omega$

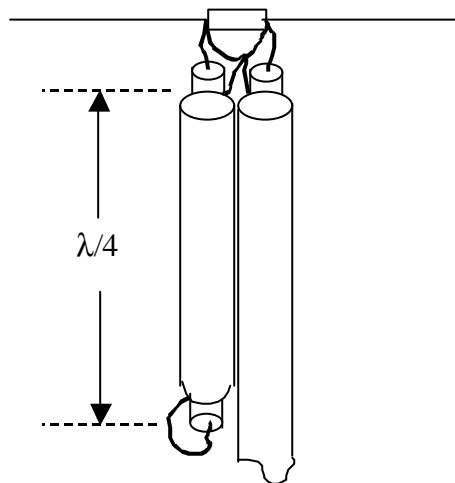
1^{er} Método: a) Normalizando: $25/50=0.5$
 b) $\lambda/4$ invierte la Z : $1/0.5=2$
 c) Desnormalizando: $2*50=100\Omega$ (Valor que será medido al otro extremo de la línea)

2^o Método: Como $Z_{LT} = \sqrt{Z_{in}Z_{OUT}}$ y $Z_{LT} = 50\Omega$, $Z_{in} = 25\Omega$

$$\therefore Z_{OUT} = \frac{Z_{LT}^2}{Z_{in}} = \frac{2500}{25} = 100\Omega$$

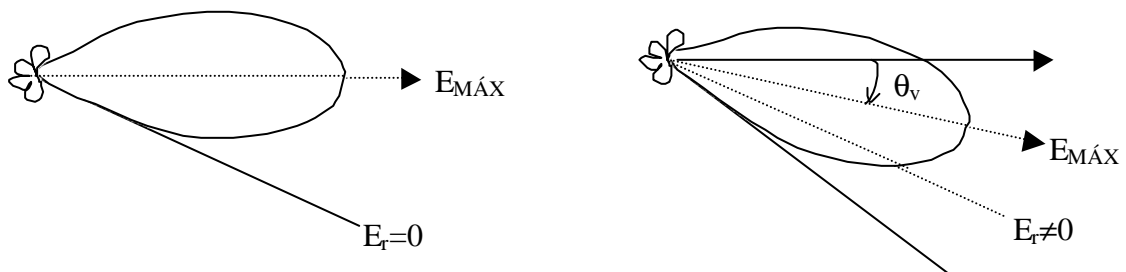
Caso Extremo: Sí ahora cortocircuitamos un extremo de una línea de $\lambda/4$ (es decir $Z_{OUT} = 0$) se tendrá en el otro extremo $Z_{in} = \infty$.

BALUM: BALANCED - UMBALANCED.



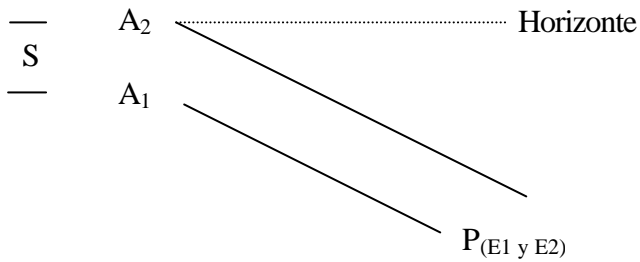
p.e.:
 $f=500\text{MHz}$
 $v_p=0.66$
 $L_B=\lambda/4=(300/500)*(0.66)*(1/4)\approx 10\text{cm}$

BEAM TILT: (Inclinación de Haz)



Formación de un null (Nulo) en el diagrama de radiación de un arreglo de antenas:

Sean dos antenas A_1 y A_2 separadas una distancia S .



E2 llegará a P con un desfase genérico en relación a E1 que representamos por Ψ , tal que el campo resultante podrá ser calculado mediante la expresión:

$$E_r^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\Psi$$

Para $\Psi=0^\circ$ $E_r^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 = (E_1 + E_2)^2$ ó $E_r = E_1 + E_2$

∴ La función pasa por un máximo.

Para $\Psi=180^\circ$ $E_r^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 = (E_1 - E_2)^2$ ó $E_r = E_1 - E_2$

∴ La función pasa por un mínimo, que se anula cuando $E_1=E_2$
Tenemos un null (nulo).

Para evitar que un nulo exista en una zona que queremos servir se hace un Tilt (Inclinación) eléctrico - También es posible hacer un tilt mecánico pero solo es recomendable en ciertos casos tales como quebradas u hondonadas.

Expresando el desfase de A1 en relación a A2 en $^\circ$ tenemos:

$$\alpha^\circ = 360^\circ \frac{S}{l} \text{Sen}q_v$$

, esto se utiliza para dimensionar los cables que alimentan a dichas antenas a partir de un distribuidor de potencia (también conocido como divisor) de 50Ω , con relación 1:2, del tipo simétrico (las salidas son de igual valor).

Problemas Propuestos:

1. Calcule el VSWR de una antena si se tiene un transmisor de 100 W en canal 14 UHF (473 MHz) con vatímetro en serie a la salida se mide: $P_i=100W$ y $P_r=1.8W$, la línea de transmisión es de 25 metros con atenuación de cable de 16.8 dB/100mts a esa frecuencia.
2. Se desea hacer un tilt eléctrico de -3° respecto a la horizontal, para un arreglo de 4 dipolos horizontales a la frecuencia de 250 MHz, dimensionar los cables de alimentación del distribuidor a las antenas, si el divisor es de 1 a 4, de 50Ω simétrico y la $v_p = 0.80$ para los cables, asumir fuentes puntuales, la separación entre las antenas es 1.4 mts y todas son alimentadas en fase con la misma potencia.
3. Encerrar en un círculo la letra de la respuesta que consideren correcta.

Se desea hacer un tilt eléctrico de -4° respecto de la horizontal para un arreglo de 4 dipolos verticales a la frecuencia de 200 MHz, alimentados con una potencia de 100 Vatios, el divisor de potencia es de 1 a 4, de 50Ω simétrico y la velocidad de propagación es de 80% para los cables, asumir fuentes puntuales, la separación de antenas es de 1.8 metros, todas las antenas son alimentadas en fase con la misma potencia

I.- La velocidad de propagación (en m/s) es de:

- a) 3.0 b) 1.8 c) 1.5 d) 1.2 e) N.A.

II.- El Delta de L es:

- a) 0.5 m b) 0.4 m c) 0.3 m d) 0.2 m e) 0.1 m

III.- Si usamos múltiplo impar de media longitud de onda, la longitud del latiguillo más corto será de:

- a) 2.4 m b) 2.7 m c) 3.0 m d) 3.3 m e) N.A.

4.- Calcule la impedancia de entrada de una línea de transmisión de un cuarto de onda de 50 ohmios si conectamos a su salida una impedancia de 100 ohmios

- a) 25 b) 50 c) 75 d) 100 e) N.A.

5.- Calcule la longitud de un balun para una frecuencia de 500 MHz si el cable coaxial tiene una velocidad de propagación de 66%

- a) 0.1 m b) 0.2 m c) 0.3 m d) 0.4 m e) N.A.

6.- Se tiene un transmisor de 100 W en canal 15 TV UHF (476-482) MHz, con un vatímetro en serie con la salida se miden: Potencia incidente = 100 W, Potencia Reflejada = 1.8 W, la longitud de la línea de transmisión es de 25 metros con una atenuación de cable de 16.8 dB/100m

I.- La VSWR de entrada es:

- a) 1.1 b) 1.3 c) 1.6 d) 2.1 e) N.A.

II.- La VSWR de la antena es:

- a) 1.1 b) 1.3 c) 1.6 d) 2.1 e) N.A.

7.- Siempre el VSWR en la antena es menor que el VSWR en la entrada de la línea que alimenta a la antena

- a) Verdadero b) Falso

8.- Una pérdida de retorno de 60 dB en un dispositivo equivale que se atenúa la millonésima parte de la señal que a él ingresa.

- a) Verdadero b) Falso

9.- Para una línea de transmisión de media longitud de onda o sus múltiplos, estos reflejarán en su extremo de salida el inverso de la impedancia de entrada.

- a) Verdadero b) Falso

10.- La relación entre los dBi y dBd es:

- a) $\text{dB}_i = \text{dB}_d + 2.2 \text{ dB}$ b) $\text{dB}_d = \text{dB}_i + 2.2 \text{ dB}$ c) $\text{dB}_i = \text{dB}_d$ d) N.A.

Fórmulas útiles:

$$\mathbf{r}_{in} = \mathbf{r}_T e^{-2\alpha d} \quad \text{donde: } \{\rho_{in}: \text{Coef. Reflexión a la entrada de la L.T.}$$

ρ_T : Coef. Reflexión en el punto de alimentación de la antena
 $e=2.71828$,

α : atenuación característica de la línea en neper,
 $1\text{Neper}=8.686\text{dB}$

d : distancia entre el transmisor y la antena }

$$P' = \frac{1}{10^{a/10}} 100\%$$

$$\mathbf{r}_T = \frac{Z_T - Z_C}{Z_T + Z_C} \quad VSWR_{in} = \frac{1 + P\mathbf{r}_T}{1 - P\mathbf{r}_T} \quad \text{donde: } P = \frac{1}{10^{a/10}} \quad \text{y} \quad \mathbf{r}_T = \frac{VSWR_{ANT} - 1}{VSWR_{ANT} + 1}$$

$$VSWR_{ANT} = \frac{A + B}{A - B} \quad \text{donde: } A = \frac{VSWR_{in} + 1}{VSWR_{in} - 1} \quad \text{y} \quad B = 10^{a/10}$$

$$VSWR_{in} = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_i}}} \quad \text{donde: } P_r: \text{Potencia Reflejada y } P_i: \text{Potencia Incidente}$$

$$\text{Return Loss(dB)} = 20 \log \rho \quad \mathbf{a}^\circ = 360^\circ \frac{S}{l} \text{Sen} \mathbf{q}_v$$

Preguntas Adicionales:

1. Plantee un procedimiento para la medición de la vp de un cable coaxial cualquiera, considerar una frecuencia y longitud determinada, incluir los instrumentos generadores y de medida que utilizaría, haga un diagrama de bloques
2. Plantee un procedimiento para el “null fill” de dos antenas de panel, en ambos planos de radiación. Haga diagramas para explicarlo.

Ing. Marcial López Tafur
 Profesor del Curso
 UNI-2002