

特性阻抗

1. 射频同轴电缆的分布电路分析(电路模型)

电磁场分析描述电磁场的空间情况，而分布电路则可计算电压、电流、阻抗和电路网络理论中用到的其它物理量。

所有传输线都可用二端口网络的等效电路来描述，如图 3。基本参数都沿电路连续分布，主要有四个：

L =单位长度电感，H/Km

R =单位长度电阻， Ω /Km

G =单位长度电导，S/KM

C =单位长度电容，F/Km

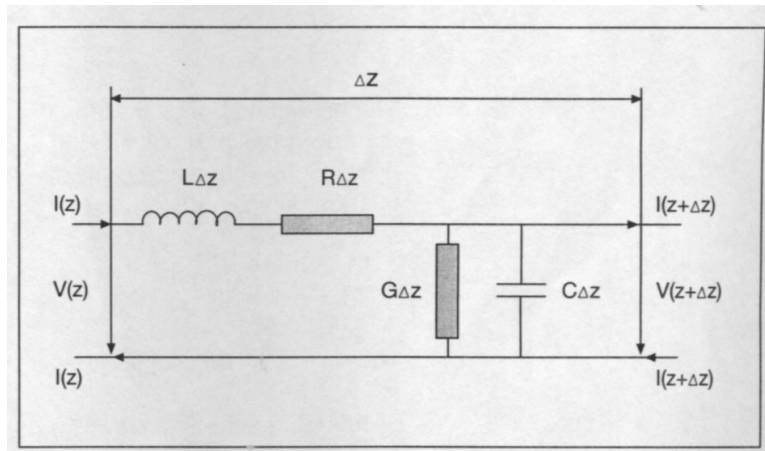
另外，还有四个二次参数：

Z =特性阻抗， Ω

α =单位长度衰减常数，dB/Km

β =单位长度相位常数，rad/Km

γ =传输常数



微长度传输线的等效电路

电路输入端的电压 $V(z)$ ，输出端 $V(z+\Delta z)$ ，对应的电流 $I(z)$ 和 $I(z+\Delta z)$ 。可以看出，输出电压不等于输入电压，这是由于有电感和电阻的串联；同样，输出电流不等于输入电流，这是由于有电导和电容的并联。但是，均匀传输线任意一点的电压和电流比值为常数。

$$Z = \frac{V}{I}$$

根据下面的公式可以看出 Z 取决于 L, R, G 和 C 这几个基本参数：

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

j =复数的虚部

$\omega = 2\pi f$, f 是频率

另一个重要的传输参数是传播系数，可用下面公式表示：

$$\gamma = \alpha + j\beta = (R + j\omega L)(G + j\omega C)$$

衰减系数的自然单位是 Np/m (奈培/米)，但在实际工程中用另一单位 dB 代替 Np。下面的公式表示它们之间的关系：

$$1 \text{ dB} = 0.115 \text{ Np} \quad 1 \text{ Np} = 8.686 \text{ dB}$$

在高频下 ($f > 1 \text{ MHz}$)， $R \ll \omega L$ ， $G \ll \omega C$ ，则有以下公式近似成立：

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\alpha = \frac{R}{2Z} + \frac{GZ}{2}$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC}$$

特征阻抗、衰减常数及相位常数是表示传输线特性的三个最重要的物理量。然而上面相关的数学表达式在电缆设计和应用中并无实用价值。在下面的章节中，将从同轴电缆工程应用出发以更实用形式来表示这些有关特性的物理量。

2.特性阻抗有关公式.

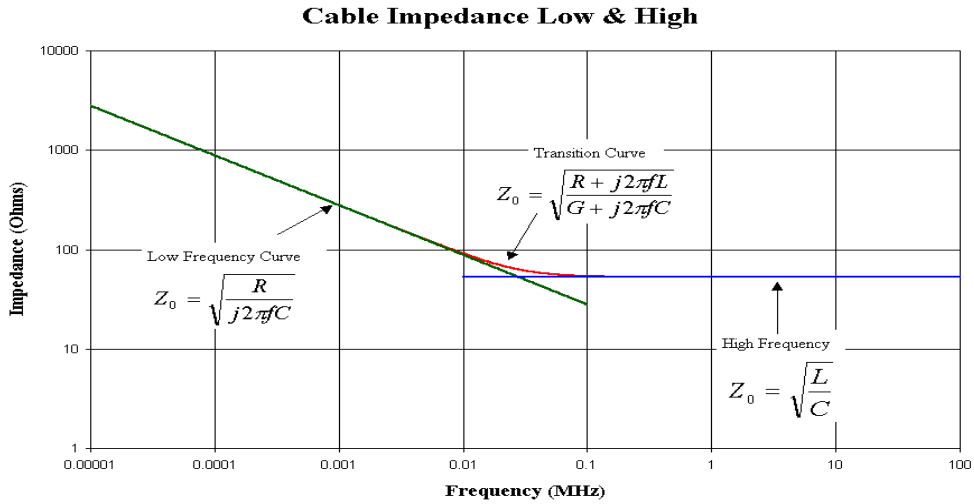
特性阻抗是同轴电缆的一个很重要的性能。从电气意义上说，它表示导体之间的电势差与流过该导体间的电流比值。在均匀同轴电缆中，特性阻抗在电缆整个长度方向上是一常数。电缆终端负载应与其特征阻抗匹配，因此有必要对电缆的特征阻抗进行重点阐述。在无线通信中，最常用的特性阻抗是 50 欧姆，象 75 欧姆等其它值也在其它领域用到，如有线电视系统等。

与电缆相连的所有设备或无源元件都应具有相同的特性阻抗。特性阻抗不同，会出现不匹配和反射，从而导致传输失真。同轴电缆的特性阻抗由导体的尺寸及绝缘的相对介电常数决定。从下面的公式可以看出，特性阻抗是一个复数，且与频率有关。

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

j =复数的虚部

$\omega = 2\pi f$, f 是频率



当频率增加，特性阻抗的值会趋近于一个常数（为实数），因此当频率大于 5MHz 时，该值可用下式表示：

$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d}$$

Z = 特征阻抗

ϵ_r = 绝缘相对介电常数

D = 外导体内直径, mm

d = 内导体外直径, mm

从上式看出，可以根据合理选择导体直径和绝缘介电常数来调整特性阻抗的大小。而相对介电常数取决于其材料和其结构，实芯 PE 的相对介电常数为 2.25~2.34，高发泡情况下可以低于 1.25，空气的相对介电常数为 1，PTFE 的相对介电常数为 2.00~2.10。

质量好的电缆，特性阻抗在整个电缆长度上和不同生产批次上都是非常均匀的，且接近一个恒定值，根据不同的规格，通常允许的公差是 $\pm 1 \Omega$ 至 $\pm 3 \Omega$ 。

特性阻抗随频率的下降而增大。某一频率下的阻抗值与很高频率下的特征阻抗标准值的偏差近似为：

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{4}{D\sqrt{f}}$$

3.特性阻抗值的选取.

可以通过选择合适的特性阻抗来优化电缆的某些电气特性，下面就常用的特性阻抗做些分析：

3.1 通过功率最大:

令直径比 $D/d = x$ ，通过功率的公式可表述如下：

$$P = \frac{D^2 E_b^2}{480} \left(\frac{d}{D} \right)^2 \ln \left(\frac{D}{d} \right) = K_1 \frac{\ln x}{x^2}$$

求 P 的极大值, 令

$$\frac{dP}{dx} = K_1 \left(\frac{1}{x^3} - \frac{2 \ln x}{x^3} \right) = 0$$

得到

$$1 - 2 \ln x = 0$$

因此通过功率最大的条件为：

$$x = \frac{D}{d} = \sqrt{e} \approx 1.65$$

由此可见,在固定外导体 D 的条件下, 同轴线获得最大通过功率的最佳直径比 D/d 约为 1.65, 对于空气绝缘的同轴线, 它的特性阻抗为 30 欧姆时, 通过功率最大。

3.2 衰减最小

对于空气绝缘的同轴线, 衰减系数如下:

$$\alpha_c = \frac{R_s}{120\pi D} \frac{1 + \left(\frac{D}{d} \right)}{\ln \left(\frac{D}{d} \right)} = K_2 \frac{1 + x}{\ln x}$$

求 α 最小值。令

$$\frac{d\alpha_c}{dx} = K_2 \left[\frac{1}{\ln x} - \frac{1 + x}{x(\ln x)^2} \right] = 0$$

因此衰减系数最小的条件为

$$x(\ln x - 1) - 1 = 0$$

该超越方程的解为

$$x = \frac{D}{d} \approx 3.59$$

由此可见, 在固定外导体 D 的条件下, 同轴线获得最小衰减系数的最佳直径比 D/d 约为 3.6, 对于空气绝缘的同轴线, 它的特性阻抗为 77 欧姆时, 衰减最小。

4. 结论

目前微波技术中常用的同轴线特性阻抗为 75 和 50 欧姆为标准值, 前者接近于衰减最小的要求, 后者兼顾了大功率与小衰减系数的两个要求。