



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



## 5.6 屏蔽的平面波模型



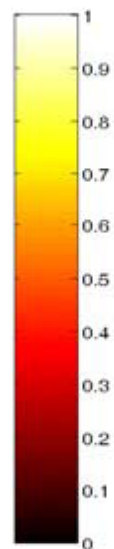
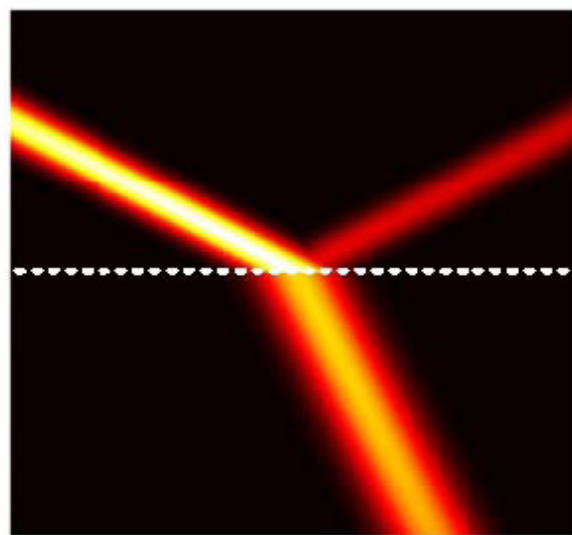
对于屏蔽的一种有效分析模型是平面波模型（Plane wave models of shielding）或传输线模型（Transmission line models of shielding）。这种模型于1938年，由Schelkunoff系统提出。其较好的适用于屏蔽结构的尺寸远大与骚扰场的波长（电大）且骚扰源到屏蔽体之间的距离相对较大（远场）。



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



## 材料界面上的典型电磁特性





## ■ 单层屏蔽体的有效传递系数

不计分界面对电磁波的多次反射，对于TEM波垂直入射单层屏蔽体，可以定义整个单层屏蔽体的有效传递系数：

$$T_{eff} = \frac{E_3(L)}{E_1(0)}$$

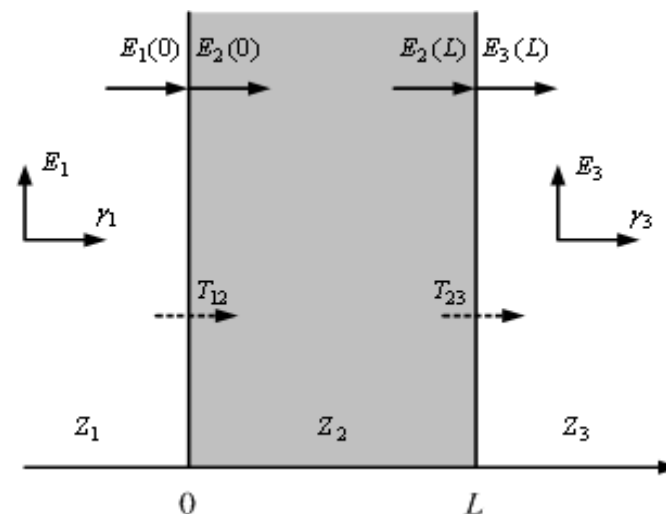
考虑波的入射过程，则有

$$E_2(0) = E_1(0)T_{12}$$

$$E_2(L) = E_2(0)e^{-\gamma_2 L} \longrightarrow$$

$$E_3(L) = E_2(L)T_{23}$$

$$T_{eff} = T_{12}T_{23}e^{-\gamma_2 L}$$
$$T_{12} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$
$$T_{23} = \frac{2Z_3}{Z_2 + Z_3}$$





若计如分界面对电磁波的多次反射，则在区域1和区域2的界面 $x=0$ 处可以考虑屏蔽层中反射的多次叠加。于是区域2从此处向右传播的所有波的和为

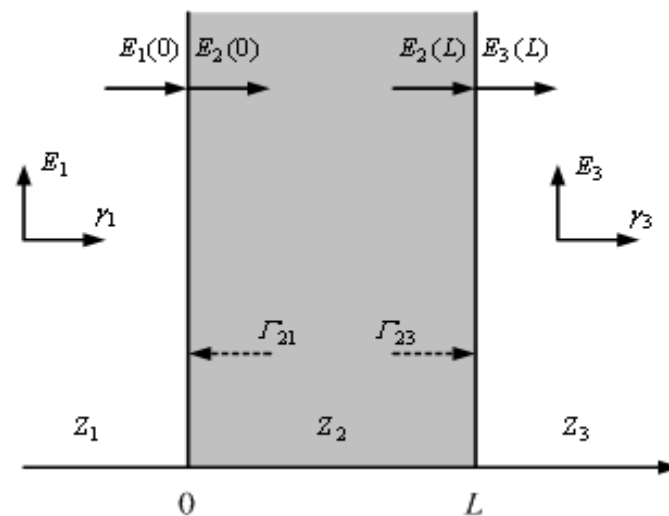
$$E_{total} = E_2(0) \sum_{n=0}^{\infty} (\Gamma_{21} \Gamma_{23} e^{-2\gamma_2 L})^n$$

对于实际有耗情况，则可以进一步得到

$$E_3(L) = T_{23} E_{total} e^{-\gamma_2 L}$$

即可得到相应的传递系数：

$$T_{eff} = \frac{E_3(L)}{E_1(0)}$$





通过推导可以得到具体电场传递系数：

$$T_E = p_E e^{-\gamma_2 L} (1 - q_E e^{-2\gamma_2 L})^{-1}$$

其中

$$p_E = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \cdot \frac{2Z_3}{Z_3 + Z_2} \quad q_E = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2}$$

相类似，也可以得到磁场传递系数：

$$T_H = p_H e^{-\gamma_2 L} (1 - q_H e^{-2\gamma_2 L})^{-1}$$

其中

$$p_H = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad q_H = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{Z_2 - Z_3}{Z_2 + Z_3}$$



**Note:** 一般情况下,  $p_E \neq p_H$ , 则  $T_E \neq T_H$ 。如果区域1和区域3的媒质相同, 即屏蔽层置于同种媒质中, 则有  $p_E = p_H$ , 则  $T_E = T_H$ , 这是传递系数的表示是一致的。

基于以上分析, 就可以方便的对单层乃至多层屏蔽结构进行屏蔽效能分析。



## ■ 成层屏蔽体的屏蔽效能

由屏蔽效能的定义可知，对于单层屏蔽结构，当需要关注 $x=L$ 处的特性时，还需考虑不加屏蔽体时同一位置处的场可以有 $x=0$ 处的场附加上电磁波通过 $L$ 长度的有效传播特性，就可以直接得到单层屏蔽结构的屏蔽效能：

$$SE_E = -20 \lg | p_E e^{-\gamma_2 L} (1 - q_E e^{-2\gamma_2 L})^{-1} e^{\gamma_1 L} | \quad \text{电场}$$

$$SE_H = -20 \lg | p_E e^{-\gamma_2 L} (1 - q_E e^{-2\gamma_2 L})^{-1} e^{\gamma_1 L} | \quad \text{磁场}$$

**Note:** 当区域1、3的媒质相同时，则得到一致屏蔽效能表示。





对于多层屏蔽体，基于前面讨论的方法基础，通过数学归纳的形式，可以进一步得到其对应的屏蔽效能。

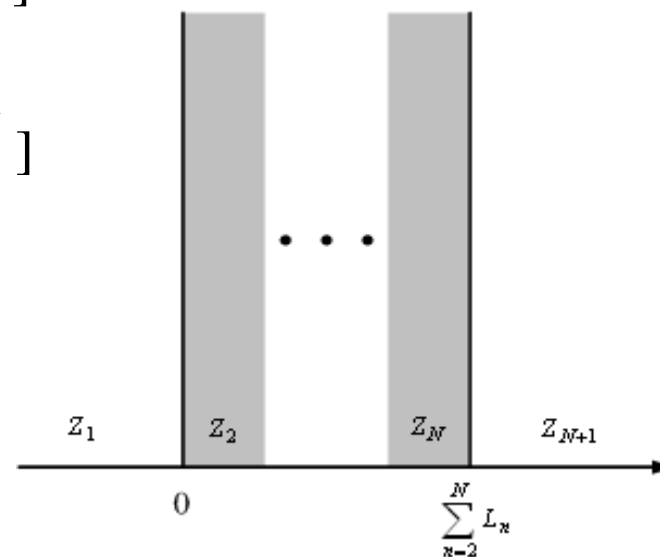
$$SE_E = -20 \log \left[ p_E \prod_{n=2}^N e^{-\gamma_n L_n} (1 - q_n e^{-2\gamma_n L_n})^{-1} e^{\gamma_1 \sum_{n=2}^N L_n} \right]$$

$$SE_H = -20 \log \left[ p_H \prod_{n=2}^N e^{-\gamma_n L_n} (1 - q_n e^{-2\gamma_n L_n})^{-1} e^{\gamma_1 \sum_{n=2}^N L_n} \right]$$

其中：

$$p_E = \prod_{n=1}^N \frac{2Z_{n+1}}{Z_n + Z_{n+1}} \quad p_H = \prod_{n=1}^N \frac{2Z_n}{Z_n + Z_{n+1}}$$

$$q_n = \frac{Z_{n-1} - Z_n}{Z_{n-1} + Z_n} \frac{Z_{n+1} + Z_n}{Z_{n+1} + Z_n}$$



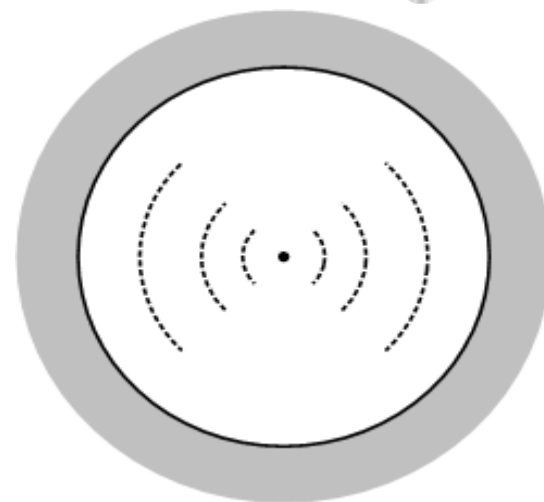


Note: 类似的，当 $Z_1=Z_{n+1}$ 时，电场和磁场的屏蔽效能相同。另外，当媒质无耗时，屏蔽效能中的指数项距离传递积累因子将不起作用。



## ■ 平面波模型推广到非理想屏蔽结构

实际工程中，骚扰场并不一定以平面波的形式投射到屏蔽结构上，为此，平面波模型在预测低频屏蔽效能时往往误差较大。为了进行一定的推广，以便推广，则有如下假设：



- 设屏蔽结构的形状为以球体（等效），骚扰源（电、磁基本振子）位于其中心。
- 投射波离开屏蔽体后，特性要求近似不变，屏蔽厚度要远小于屏蔽半径。
- 球面波进入屏蔽体后，可视为平面波（对于大多数实际情况-导体），屏蔽半径比屏蔽体内的波长大得多。



西安电子科技大学

XIDIAN UNIVERSITY



- 在这一部分中，具体介绍了电磁屏蔽的一般性原理及其相关的一些分析原则。对这些基本知识的掌握将有利于后续电磁屏蔽分析的具体学习和研究。