

29 时变电磁场的应用-均匀传输线 (1)

-无损耗均匀传输线的方程

邹建龙

主要内容

- 常用的传输线类型
- 无损耗均匀传输线的定义
- 无损耗均匀传输线电磁波的特点
- 无损耗均匀传输线的电磁波基本方程
- 为什么要讲均匀传输线？
- 无损耗均匀传输线的电报方程
- 无损耗均匀传输线与理想介质平面电磁波方程比较
- 无损耗均匀传输线的分布参数电路模型

无损耗均匀传输线

传输线

狭义

两平行导体，导体长度与电磁波波长可以比拟，间距远小于波长

广义

只要能引导电磁波的就是传输线

无损耗传输线

均匀传输线

导体是理想导体

线间介质是理想介质

电磁波基本方程

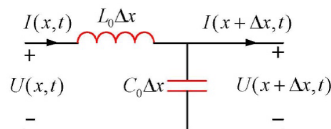
传输的是TEM波，与理想介质中平面电磁波基本方程相同

电报方程

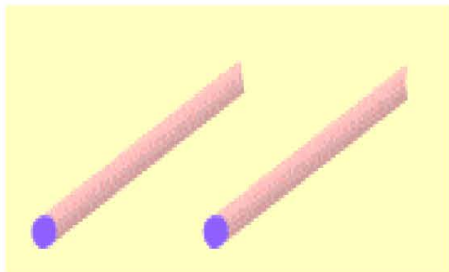
$$\frac{\partial I}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial U}{\partial t} \quad \frac{\partial U}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial I}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

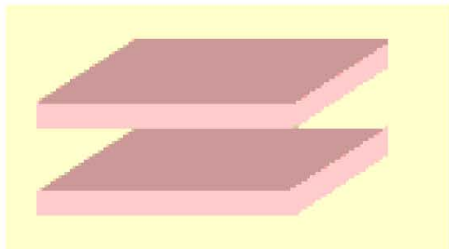
等效电路模型



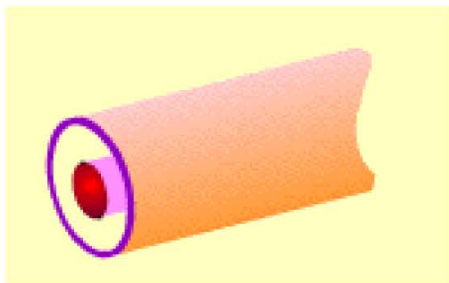
常用的传输线类型



两平行传输线



两平行板传输线（微带传输线）



同轴电缆传输线

无损耗传输线的定义

传输线：引导电磁波以达到高效率地把能量或信息定向地从一点传输到另一点的系统。

狭义传输线：两平行导体。导体长度与电磁波波长可以比拟，间距远小于波长（本章内容仅限于狭义传输线）

广义传输线：只要能引导电磁波就是传输线。

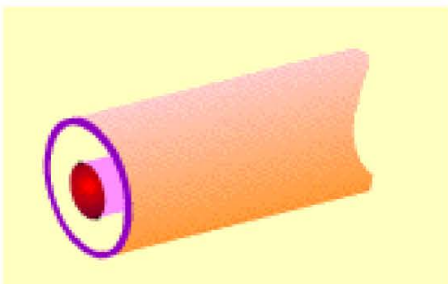
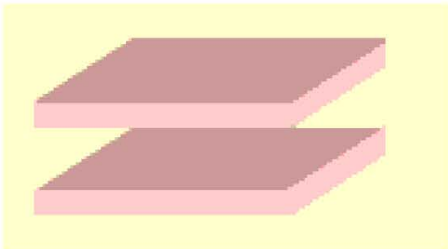
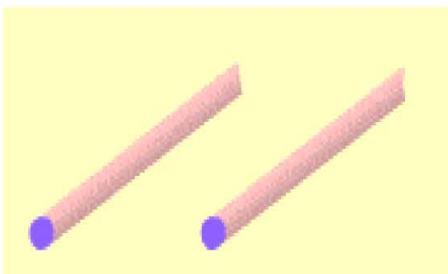
集总、非集总

均匀传输线：若传输线的导体材料、横截面形状和尺寸、相对位置及周围介质沿线都无变化，称之为均匀传输线。

无损耗均匀传输线：若均匀传输线的导体是理想导体、线间介质是理想介质，称之为无损耗均匀传输线。

导行电磁波：通过传输线系统传播的电磁波。

无损耗均匀传输线的电磁波基本方程



无损耗传输线传输的是**TEM波**，满足的基本方程与理想介质中的平面电磁波基本方程相同

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t} \quad \frac{\partial H_z}{\partial x} = -\varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} \quad \frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}$$

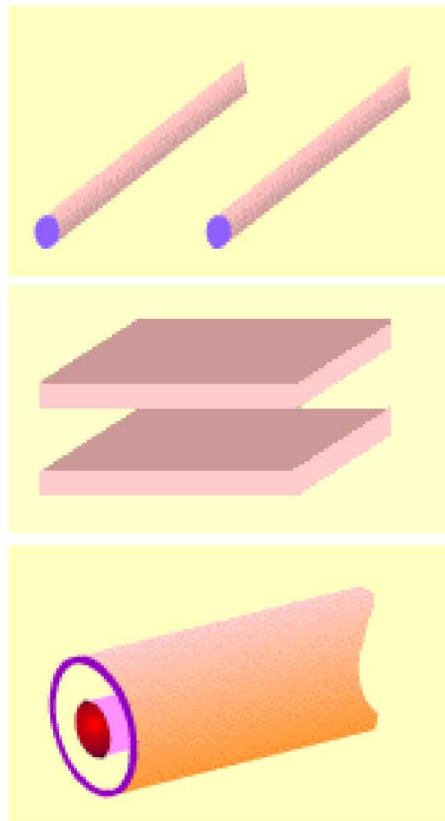
本章从理论上来说与平面电磁波一章完全相同

完全无理论新内容，理论上**完全照搬**即可，无需赘言！

那么，为什么还要讲这一章的内容呢？

为什么要讲均匀传输线？

- 它存在
- 它有用
- 它神奇



无损耗均匀传输线的电报方程

传输线有电压电流，

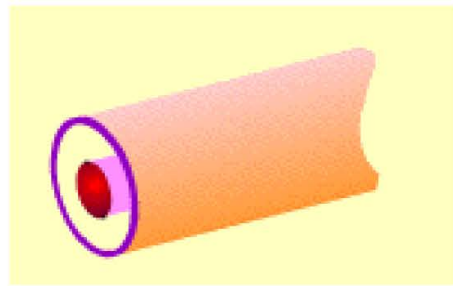
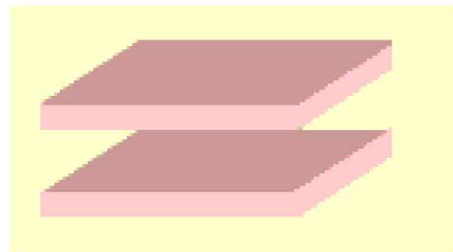
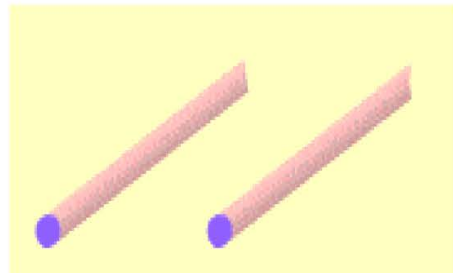
这一点不同于平面电磁波。

由于电压电流大家最熟悉，

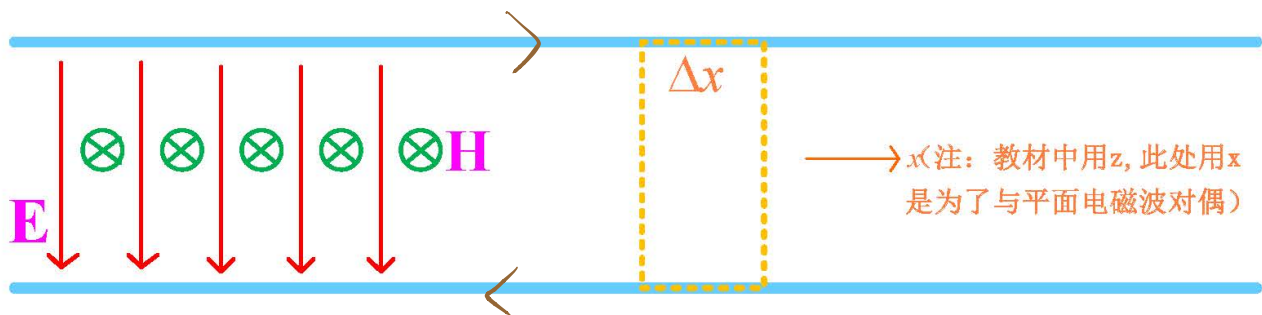
所以，我们尝试建立以电压电流为变量的方程，

这就是电报方程的由来。

U和I比E和H来得亲切。



无损耗均匀传输线的电报方程



$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \int_s \nabla \times \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \int_s -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S}$$

导线长度与电磁波波长可比拟时。

传输线上的电流与电压是 x 的函数

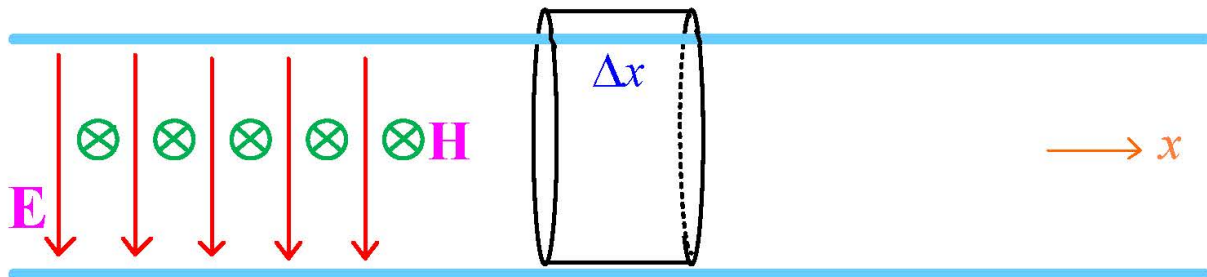
$$\oint_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -L \frac{\partial I}{\partial t} = -L_0 \Delta x \frac{\partial I}{\partial t}$$

$$\frac{U(x + \Delta x) - U(x)}{\Delta x} = -L_0 \frac{\partial I}{\partial t} \quad \leftarrow \quad U(x + \Delta x) - U(x) = -L_0 \Delta x \frac{\partial I}{\partial t}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial I}{\partial t}$$

电压 $\rightarrow I = \oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S}$ 变 $\rightarrow U$ 变
且两导线间有位移电流

无损耗均匀传输线的电报方程

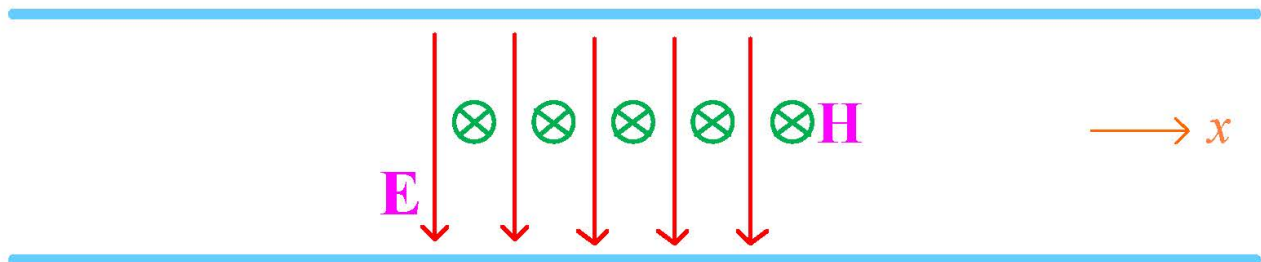


kcl 不满足, 但电荷守恒满足

$$I(x + \Delta x) - I(x) = -\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{\partial (C_0 \Delta x U)}{\partial t} = -C_0 \Delta x \frac{\partial U}{\partial t}$$

$$\frac{\partial I}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial U}{\partial t} \quad \leftarrow \quad \frac{I(x + \Delta x) - I(x)}{\Delta x} = -C_0 \frac{\partial U}{\partial t}$$

无损耗均匀传输线的电报方程



$$\frac{\partial I}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial U}{\partial t}$$

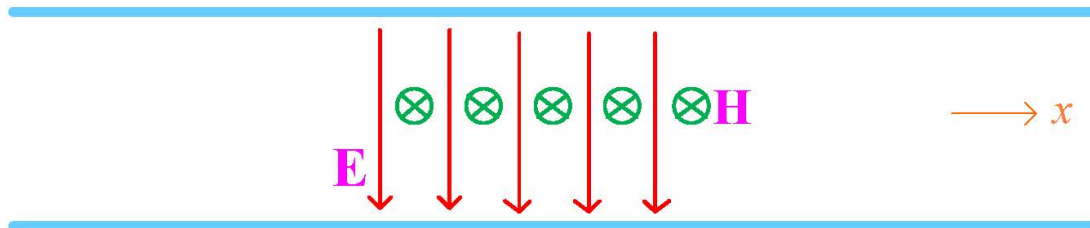
$$\frac{\partial U}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial I}{\partial t}$$

无损耗均匀传输线的电报方程

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}$$

无损耗均匀传输线与理想介质平面电磁波比较



$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = -\epsilon \frac{\partial E_y}{\partial t}$$

$$H_z \leftrightarrow I$$

$$\frac{\partial I}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial U}{\partial t}$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} = -\mu \frac{\partial H_z}{\partial t}$$

$$E_y \leftrightarrow U$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial I}{\partial t}$$

$$\epsilon \leftrightarrow C_0$$

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2}$$

$$\mu \leftrightarrow L_0$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 I}{\partial t^2}$$



对偶原理

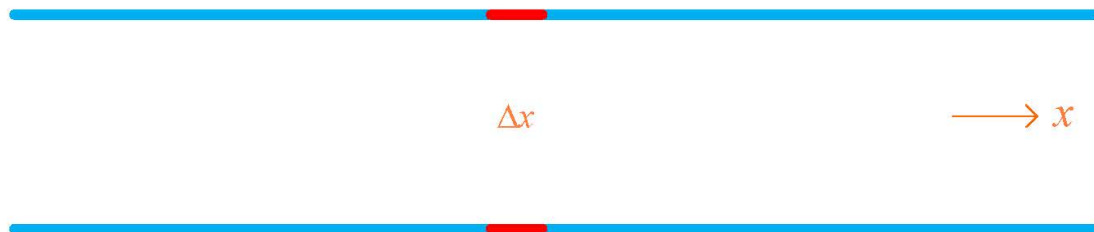
$$\frac{\partial^2 E_y}{\partial x^2} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L_0 C_0 \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

理想介质平面电磁波的方程

无损耗均匀传输线的方程

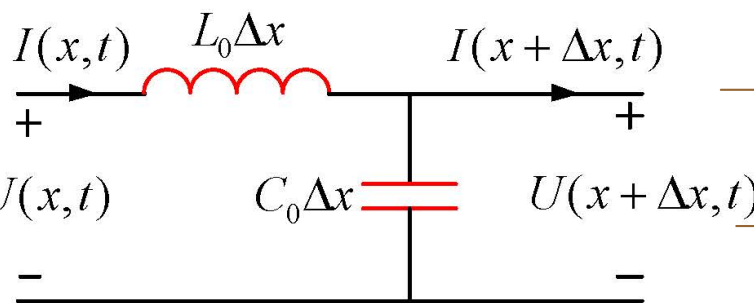
无损耗均匀传输线的分布参数电路模型



取无穷小的一段。

满足集总条件。此

时 KCL、KVL 成立



产生磁通 → 电感。

→ 电容

KCL 不满足是因为存在

漏电流。存在位移电流

$$\frac{\partial I}{\partial x} = -C_0 \frac{\partial U}{\partial t}$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} = -L_0 \frac{\partial I}{\partial t}$$

作业二十七

1. 谈谈你对无损传输线与均匀平面电磁波对偶的认识和理解
2. 写出无损传输线的电报方程，绘制其等效电路模型。