



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

线路和绕组中的波过程

总结与习题

主讲：卞建鹏

总结

1. 电压的**折射系数**，**反射系数**，二者之间的关系；
2. 线路末端**开路**、**短路**时，电压波与电流波变化情况；
3. 波通过**串联电感**和**并联电容**，电压波与电流波变化情况；
4. **彼得逊等值电路**（重点）、适用范围。
5. 平行多导线、变压器绕组中的波过程。

一、选择题

(0801) 1. 下列表述中，对波阻抗描述不正确的是(C)。

- A. 波阻抗是前行波电压与前行波电流之比
- B. 对于电源来说波阻抗与电阻是等效的
- C. 线路越长，则波阻抗越大
- D. 波阻抗的大小与线路的几何尺寸有关

$$u_q / i_q = Z$$

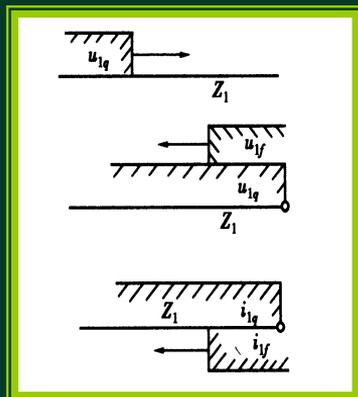
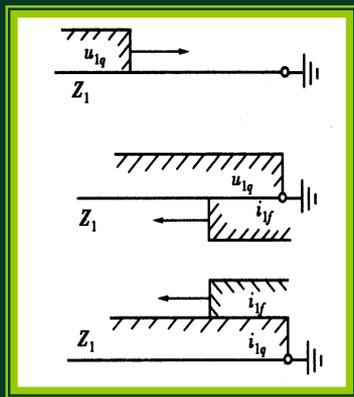
$$u_f / i_f = -Z$$

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$

(0802) 2. 波在线路上传播，当末端短路时，以下关于反射描述正确的是 (B)。

(0802) 3. 波在线路上传播，当末端开路时，以下关于反射描述正确的是 (A)。

- A. 电流为0，电压增大一倍 B. 电压为0，电流增大一倍
 C. 电流不变，电压增大一倍 D. 电压不变，电流增大一倍



二、填空题

(0801) 1. 传输线路的波阻抗与 线路单位长度的电感 和 电容 有关，与线路长度无关。

(0801) 2. 减少绝缘介质的介电常数可以 提高 电缆中电磁波的传播速度。

(0801) 3. 电磁波沿架空线路的传播速度为 3×10^8 m/s。

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad v = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

μ_r — 相对磁导率 ϵ_r — 相对介电常数

◆ 架空线： $\mu_r = 1$ 、 $\epsilon_r = 1$ ，则 $v = 3 \times 10^8$ m/s

◆ 电缆： $\mu_r = 1$ 、 $\epsilon_r = 4$ ，则 $v = 1.5 \times 10^8$ m/s

(0802) 4. 在末端开路的情况下，波发生反射后，导线上的电压会 提高一倍。

(0802) 5. 波阻抗为 Z 的线路末端接负载电阻 R ，且 $R=Z$ ，当入射波 U_0 入侵到末端时，反射系数 $\alpha=1$ 。

(0802) 6. Z_1 、 Z_2 两不同波阻抗的长线相连于A点，行波在A点将发生反射，反射系数 β 的取值范围为 $-1 \leq \beta \leq 1$ 。

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad 0 \leq \alpha \leq 2$$

$$\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad -1 \leq \beta \leq 1$$

(0804) 7. 当导线受到雷击出现冲击电晕以后, 它与其它导线间的耦合系数将 **增大**。

- ◆ 导线出现冲击电晕后, 在导线周围积聚起空间电荷, 相当于增大了导线的半径;

自波阻抗 $Z_{kk} = 60 \ln \frac{2h_k}{r_k} (\Omega)$

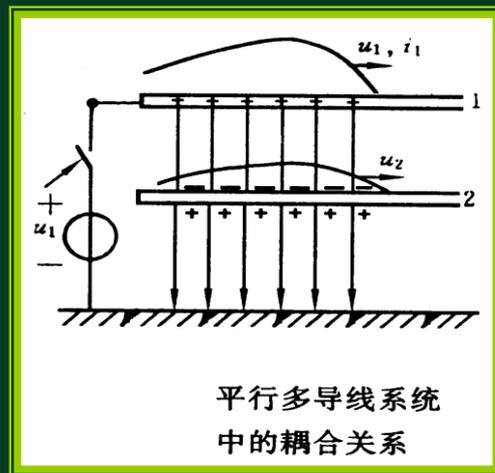
耦合系数 $k = \frac{Z_{12}}{Z_{11}}$

三、判断题

(0804) 1. 对于输电线间的耦合系数 K_{12} 与 K_{21} 是相等的。 (×)

$$\begin{cases} u_1 = Z_{11}i_1 + Z_{12}i_2 \\ u_2 = Z_{21}i_1 + Z_{22}i_2 \end{cases} \xrightarrow{i_2=0} u_2 = \frac{Z_{21}}{Z_{11}}u_1 = k_{21}u_1$$

$$\xrightarrow{i_1=0} u_1 = \frac{Z_{12}}{Z_{22}}u_2 = k_{12}u_2$$



四、简答题

(0801) 1. 分布参数回路的波阻抗与集中参数回路中的电阻区别? 在线开放课程

(1) **波阻抗**表示**同一方向的电压波和电流波大小的比值**，前行波电压与前行波电流之比取正号，反行波电压与反行波电流之比取负号，若导线上既有前行波，又有反行波时，导线上总的电压与总的电流之比不等于波阻抗。而**电阻**等于其上**总的电压与总的电流之比**。

(2) 电磁波通过波阻抗为 Z 的导线时，**能量以电磁能的形式储存在周围介质中**，而不是被消耗掉。

(3) 波阻抗的数值只和导线**单位长度的电感、电容**有关，而与线路长度无关。

$$u_q / i_q = Z$$

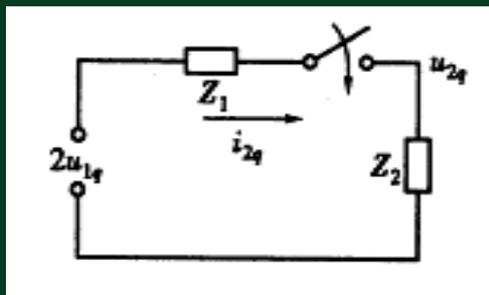
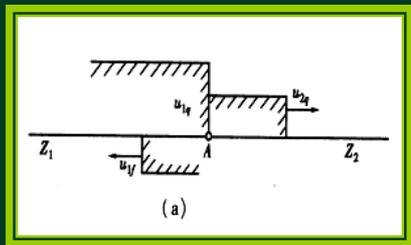
$$u_f / i_f = -Z$$

$$\frac{u}{i} = \frac{u_q + u_f}{i_q + i_f} = Z \frac{u_q + u_f}{u_q - u_f} \neq Z$$

(0802) 2. 简述彼得逊法则的内容、应用和需注意的地方。

在计算线路节点的折射电压波时，可以将分布电路等值为集中参数电路：线路的波阻抗用数值相等的电阻来代替，把入射波的2倍作为等值电压源。

利用这一法则，可以把分布参数电路中波过程的许多问题简化成一些集中参数电路的暂态计算。但必须注意，如果 Z_1, Z_2 是有限长度线路的波阻抗，则上述等值电路只适用于在 Z_1, Z_2 端部的反射波尚未回到节点以前的时间内。



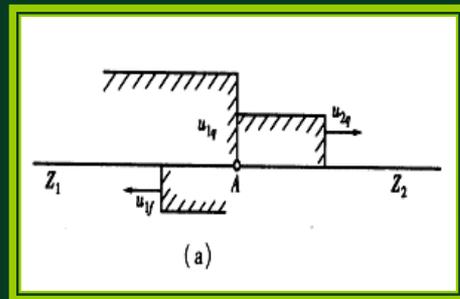
五、计算题

(0801) 1. 已知某输电线路的波阻抗 $Z = 400\Omega$ ，测得该线路上 **A 点的电压** $U_A = 900kV$ ，**电流** $I_A = 1kA$ 。试求该点的前行波电压 u_b 和反行波电压 u_f ？

解：

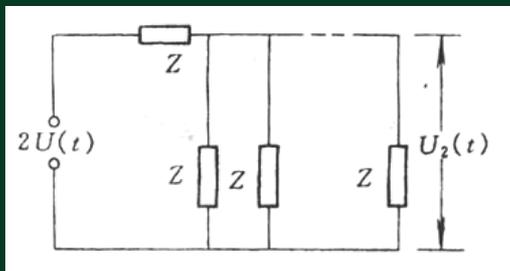
$$\begin{cases} u_b + u_f = 900 \\ I_b + I_f = 1 \\ \frac{u_b}{I_b} = 400 \\ \frac{u_f}{I_f} = -400 \end{cases}$$

$$\begin{cases} u_b = 650kV \\ u_f = 250kV \end{cases}$$



(0801) 2. 如图，一变电所母线上接有 n 条架空线路，每条线路波阻抗为 400Ω ，当一条线路落雷，电压幅值为 400 kV 入侵变电所，求母线上电压。

解：画出等效电路图如图所示



总阻抗

$$Z + \frac{Z}{\frac{n-1}{n-1}} = \frac{n}{n-1} Z$$

母线电压

$$\frac{\frac{Z}{\frac{n-1}{n-1}}}{\frac{n}{n-1} Z} \times 2U = \frac{2}{n} U = \frac{800}{n} \text{ kV}$$

(0802) 3. 入射波 u_1 为 100V，由架空线 ($Z_1 = 500\Omega$) 进入一电缆 ($Z_2 = 50\Omega$)，求折射波 u_2 及反射波 u_f 的数值。

折射波

$$u_2 = \frac{2Z_2 u_1}{Z_1 + Z_2} = \frac{2 \times 50 \times 100}{500 + 50} = 18V$$

反射波

$$u_f = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} u_1 = \frac{50 - 500}{500 + 50} \times 100 = -82V$$

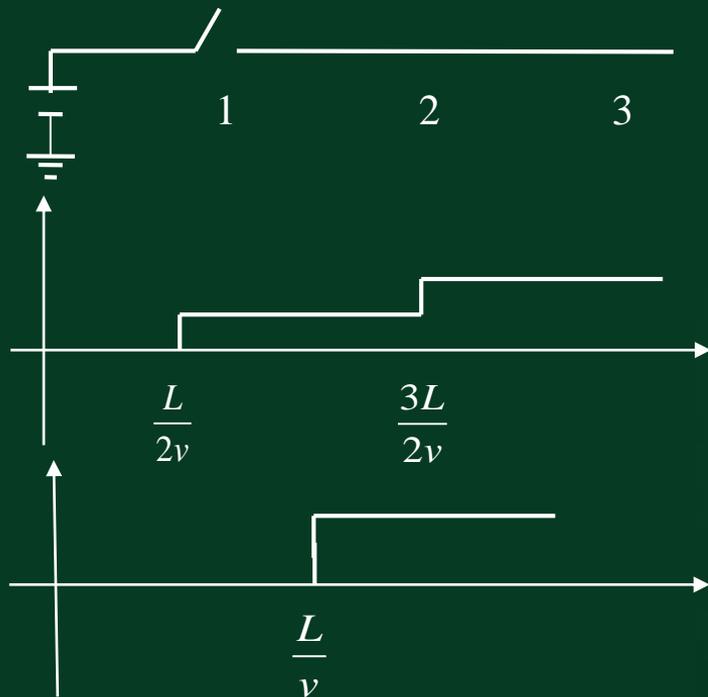
(0802) 4. 直流电源合闸于空载线路的波过程。如下图所示，线路长度为 L ， $t=0$ 时合闸于直流电源 E ，求线路末端电压 U_3 和中点电压 U_2 随时间变化的过程？

波速 $v = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0}}$

$t = \frac{L}{2v}$ $U_2 = E$

$t = \frac{L}{v}$ $U_3 = 2E$

$t = \frac{3L}{2v}$ $U_2 = 2E$



(0805) 5. 有一幅值为200kV的直角波沿波阻抗为50欧的电缆线路侵入发电机绕组（波阻抗为800欧）。绕组每匝长度为3米，匝间绝缘允许承受的电压为600V，绕组中波的传播速度为 6×10^7 m/s，求用电容器来保护匝间绝缘时所需的电容值。

电机允许承受的侵入波最大陡度为 $\left[\frac{du_2}{dx} \right]_{\max} = \frac{600}{3} = 200V/m$

换算成时间波陡度为 $\left[\frac{du_2}{dt} \right]_{\max} = \left[\frac{du_2}{dx} \right]_{\max} \cdot \frac{dx}{dt} = 200 \times 6 \times 10^7 = 12 \times 10^9 V/s$

保护匝间绝缘所需要的电容值为 $C = \frac{2U_0}{Z_1 \left[\frac{du_2}{dt} \right]_{\max}} = \frac{2 \times 2 \times 10^5}{50 \times 12 \times 10^9} = 0.66 \mu F$