



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

平行多导线系统中的波过程

主讲：卞建鹏

目录



在线开放课程

1. 无损平行多导线的耦合系数
2. 单芯电缆芯线与外皮的耦合关系
3. 波在有损耗线路上的传播
4. 冲击电晕的影响

1、无损平行多导线的耦合系数

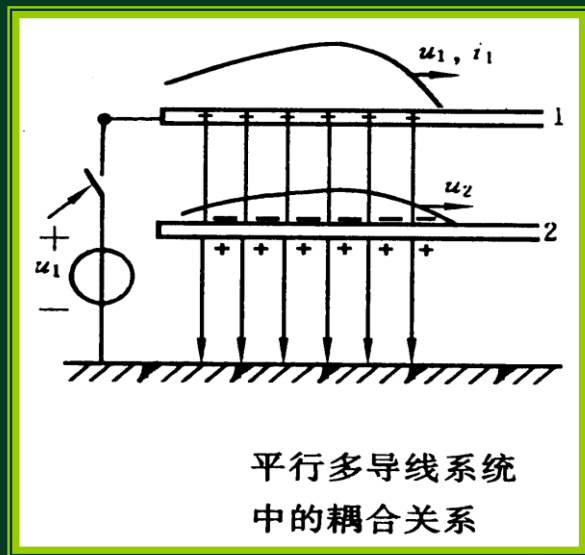
多导线系统中的波过程仍可近似看成是平面电磁波的沿线传播。

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

$$\longrightarrow u_2 = \frac{Z_{12}}{Z_{11}} u_1 = k u_1$$

k为导线1、2的耦合系数

约为0.2-0.3。



1、无损平行多导线的耦合系数

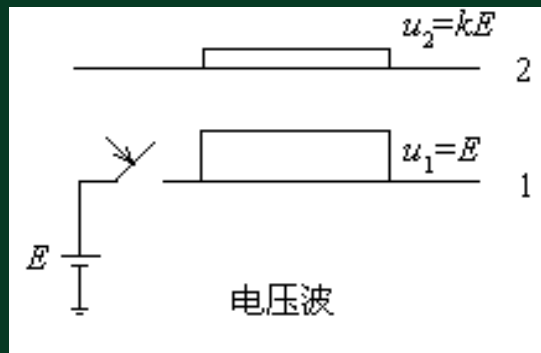
- ① 耦合系数随导线之间距离的减小而增大

$$k = Z_{12} / Z_{11}$$

- ② 当导线1上有电压波作用时，导线1、2之间的电位差小于E

$$u_1 - u_2 = (1 - k)E < E$$

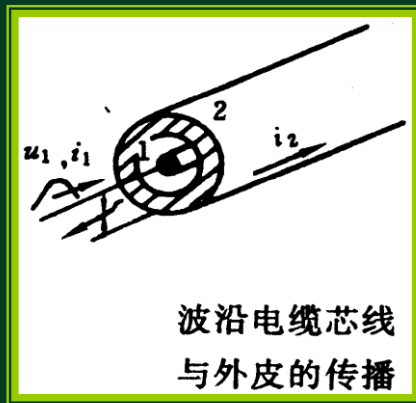
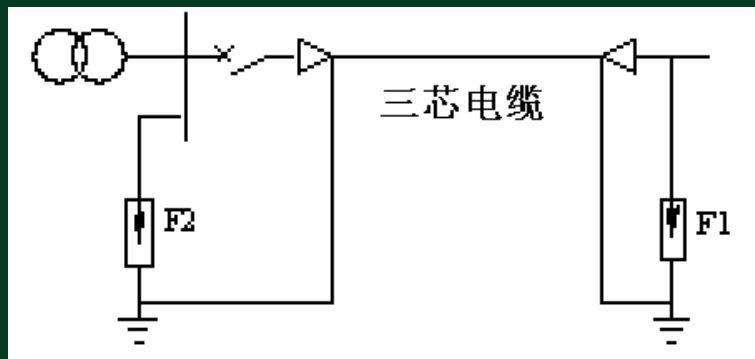
- ③ 导线之间的耦合系数越大，其电位差越小，这对线路防雷是有利的。



2、单芯电缆芯线与外皮的耦合关系

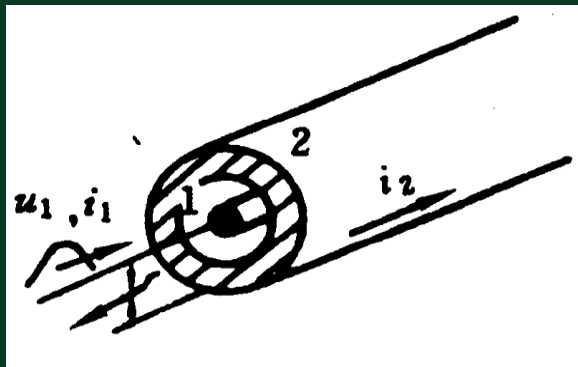
当行波电压 u 到达**电缆的始端**时，可能引起接在此处的保护间隙或管式避雷器动作，这就使**缆芯和缆皮在始端连在一起**，变成两条并联支路。

$$u_1 = u_2$$



2、单芯电缆芯线与外皮的耦合关系

- ◆ 由于 i_2 所产生的磁通全部与缆芯相交链，缆皮的自波阻抗 Z_{22} 等于缆芯与缆皮间的互波阻抗 Z_{12} ；即 $Z_{22}=Z_{12}$ ；
- ◆ 而缆芯电流 i_1 所产生的磁通中只有一部分与缆皮相交链，所以缆芯的自波阻抗 Z_{11} 大于缆芯与缆皮的互波阻抗，即 $Z_{11} > Z_{12}$ 。



2、单芯电缆芯线与外皮的耦合关系

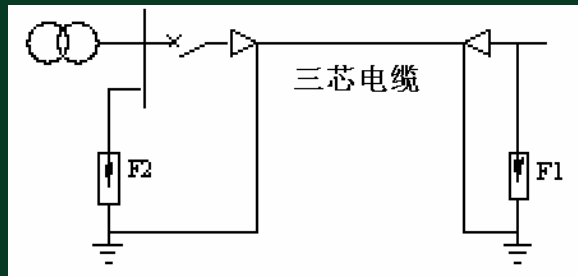
$$\text{已知 } u_1 = u_2 = u \quad z_{12} = z_{21}$$

$$u = Z_{11}i_1 + Z_{12}i_2 = Z_{21}i_1 + Z_{22}i_2$$

$$z_{12} = z_{22}$$

$$z_{11} > z_{21}$$

$$\Rightarrow i_1 = 0$$

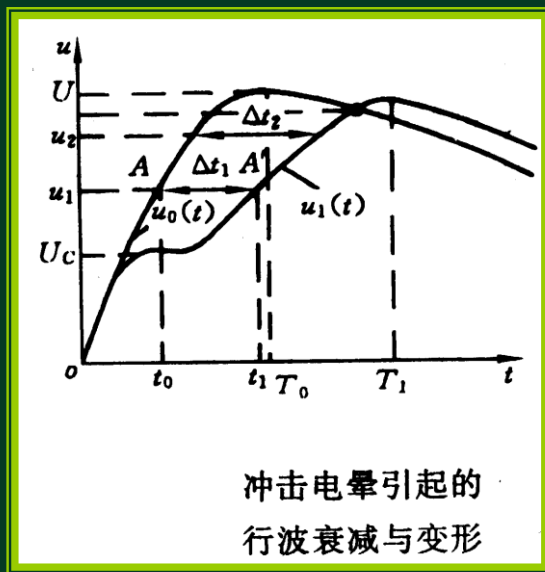


电流不经电缆芯线流动，全部电流都被挤到外皮中，因为电流在外皮上流动时，电缆芯线上会感应出与外皮相等的电压但方向相反，阻止了电缆芯线中电流的流通。

3、波在有损耗线路上的传播

引起能量损耗的因素

- ① 导线电阻（包括集肤效应和邻近效应的影响）；
- ② 大地电阻（包括波形对地中电流分布的影响）；
- ③ 绝缘的泄漏电导与介质损耗（后者只存在于电缆线路中）；
- ④ 冲击电晕（**主要因素**）。



4、冲击电晕的影响

- ◆ 当过电压波的幅值超过了导线电晕起始电压，则会形成冲击电晕，那么波沿线路传播时的衰减和变形；
- ◆ 形成冲击电晕所需的时间极短，与电压的瞬时值相关；
- ◆ 雷击大部分为负极性，因此过电压保护一般只考虑负极性冲击电晕的影响。



4、冲击电晕的影响

1) 使导线间的耦合系数增大

- ◆ 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，从而使导线的自波阻抗减少，因此与其它导线之间的耦合系数增大。

$$\text{自波阻抗 } Z_{kk} = 60 \ln \frac{2h_k}{r_k} (\Omega) \quad \text{耦合系数 } k = \frac{Z_{12}}{Z_{11}}$$

因电晕效应而增大的耦合系数进行校正(K1为校正系数)

$$K = K_0 \cdot K_1$$

4、冲击电晕的影响

2) 使导线的波阻抗和波速减少

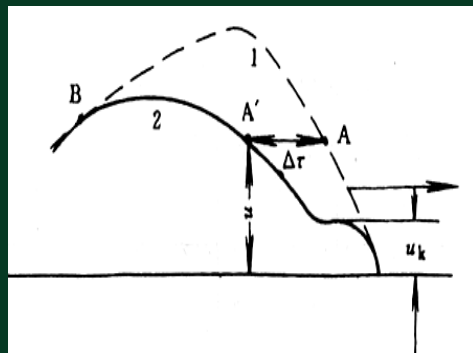
- ◆ 导线出现冲击电晕后，相当于增大了导线的半径，使导线的对地电容增大，因此线路的波阻抗（下降20%–30%）与波速（为光速的75%）都下降。

$$C = \frac{0.0241}{\lg \frac{D_{eq}}{r}} \times 10^{-6} F / km$$
$$Z' = \sqrt{\frac{L_0}{C'_0}} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0 + \Delta C_0}} < Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$$
$$v' = \frac{1}{\sqrt{L_0 C'_0}} = \frac{1}{\sqrt{L_0 (C_0 + \Delta C_0)}} < v (= \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}})$$

4、冲击电晕的影响

3) 使波在传播过程中发生衰减与变形

◆ 电晕要消耗能量，会使**波形发生衰减**。
同时由于消耗能量的大小与电压的瞬时值有关，使行波的**波形发生畸变**。



◆ 衰减——电压波幅值降低；

◆ 变形——电压波上升陡度降低；

◆ 利用冲击电晕使行波衰减与变形的特性，**设置进线保护段**作为变电所防雷的一个重要措施。

小结

1. 当一导线上有电压波传播时，在邻近的平行导线上会感应出一极性和波形相同但幅值较低的电压波。
2. 单芯电缆芯线与外皮的耦合关系。
3. 冲击电晕对波过程的影响：导线波阻抗与波速减少、耦合系数增大、行波的衰减与变形。