



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

波的折射和反射

主讲：卞建鹏

# 目录

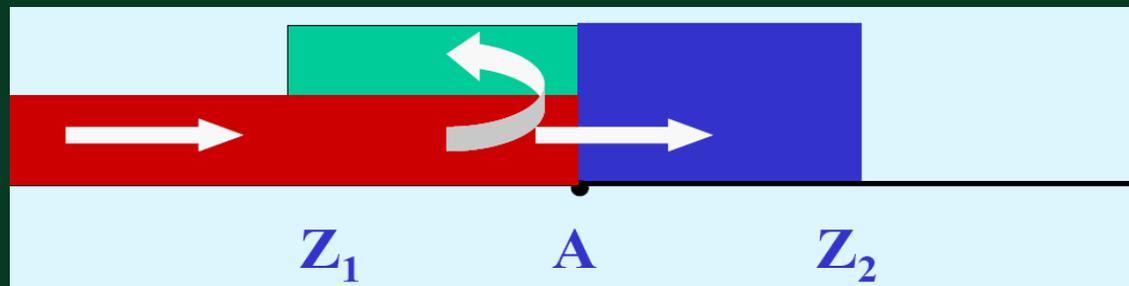


在线开放课程

1. 折射系数和反射系数
2. 几种特殊条件下的波过程
3. 彼得逊法则

# 1、折射系数和反射系数

- ◆ 无穷长直角波通过节点A
- ◆ 在节点A前后都必须保持电场能与磁场能相等，但由于线路 $Z_1$ 、 $Z_2$ 不同，因此当入射波到达A点时必然发生电压、电流变化，即发生行波的折射与反射。



# 1、折射系数和反射系数

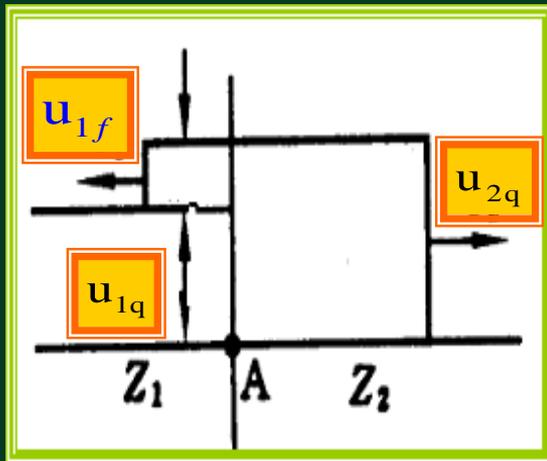
连接点A处只能有一个电压电流值

必然有

$$\begin{cases} u_{1q} + u_{1f} = u_{2q} \\ i_{1q} + i_{1f} = i_{2q} \end{cases}$$

其中

$$i_{1q} = \frac{u_{1q}}{Z_1} \quad i_{1f} = -\frac{u_{1f}}{Z_1} \quad i_{2q} = \frac{u_{2q}}{Z_2}$$



电压的折反射  
( $Z_1 < Z_2$ )

# 1、折射系数和反射系数

解得

$$\begin{cases} u_{2q} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} u_{1q} = \alpha u_{1q} \\ u_{1f} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} u_{1q} = \beta u_{1q} \end{cases}$$

电压折  
射系数

$$\alpha = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \begin{array}{l} \text{同极性} \\ 0 \leq \alpha \leq 2 \end{array}$$

电压反  
射系数

$$\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad \begin{array}{l} \text{可正可负} \\ -1 \leq \beta \leq 1 \end{array}$$

$$\alpha = 1 + \beta$$

## 2、几种特殊条件下的波过程

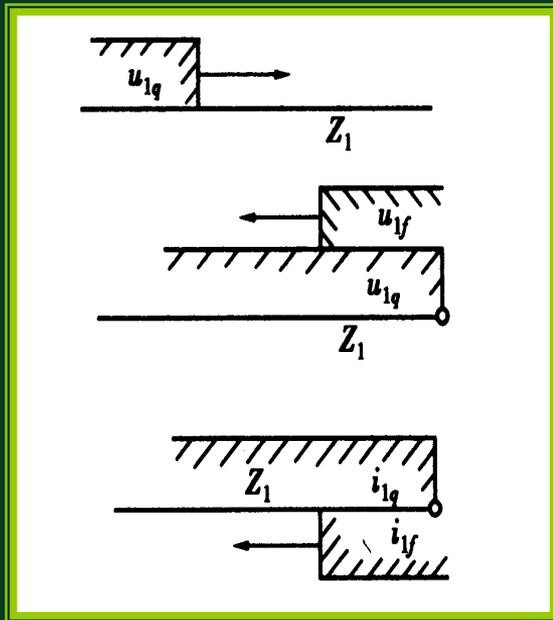
### 1) 线路末端开路

$$Z_2 = \infty, \alpha = 2, \beta = 1$$

$$\text{得 } u_{1f} = u_{1q}$$

$$i_{1f} = -\frac{u_{1f}}{Z_1} = -\frac{u_{1q}}{Z_1} = -i_{1q}$$

$$i_{2q} = i_{1q} + i_{1f} = 0$$



- ◆ 在线路末端电压波发生正的全反射，导线上的电压比电压入射波提高1倍，电流下降到零；磁场能量转化为电场能量。

## 2、几种特殊条件下的波过程

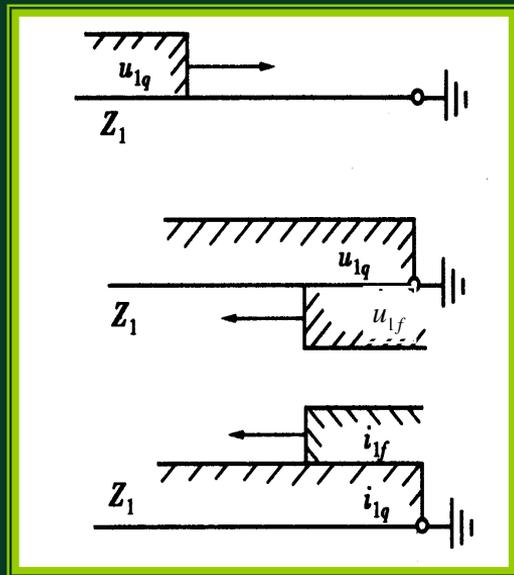
### 2) 线路末端短路（接地）

$$Z_2 = 0, \alpha = 0, \beta = -1$$

$$u_{1f} = -u_{1q}$$

$$i_{1f} = -\frac{u_{1f}}{Z_1} = \frac{u_{1q}}{Z_1} = i_{1q}$$

$$i_{2q} = i_{1q} + i_{1f} = 2i_{1q}$$



- ◆ 线路末端短路接地时，**电流波发生正的全反射**，加倍；电压波发生负的全反射，降为0；线路全部能量转换成磁场能。

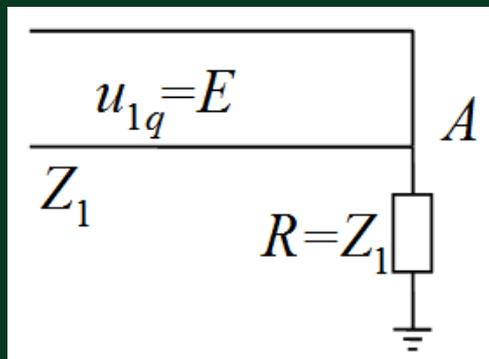
## 2、几种特殊条件下的波过程

### 3) 线路末端接负载电阻 $R=Z_1$

$$\alpha = 1, \beta = 0 \quad u_{2q} = u_{1q}, u_{1f} = 0$$

$$i_{1f} = -u_{1f} / Z_1 = 0$$

$$i_{2q} = i_{1q} + i_{1f} = i_{1q}$$

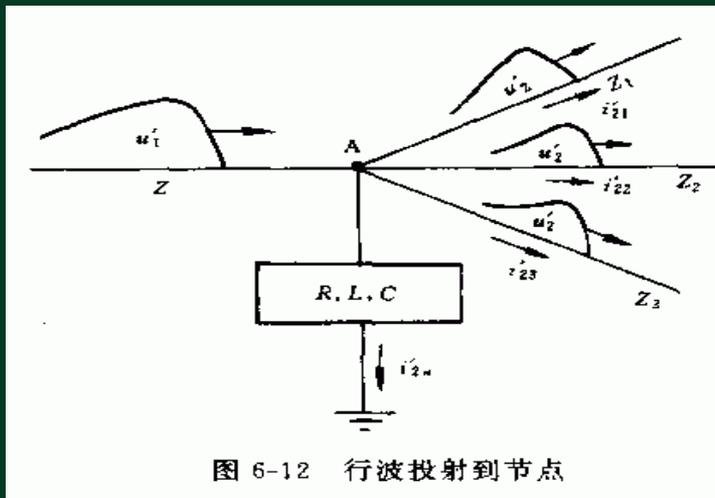


- ◆ 波到达节点无反射，没有畸变，电磁能量消耗在R中；
- ◆ 在高压测量中，常在信号末端接与电缆波阻抗相等的匹配电阻，以消除被测信号在电缆末端的折、反射所引起的误差。

# 3、彼得逊法则

实际系统中，一个节点上接有多条分布参数长线

- ◆ 架空线和电缆相连
- ◆ 一个节点上接有若干集中参数元件

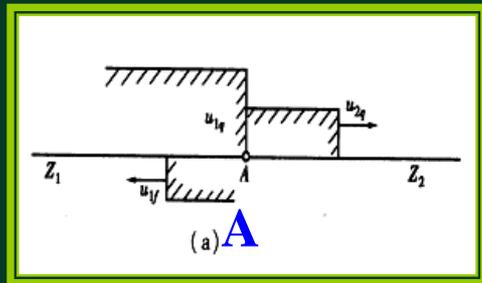


- ◆ “彼得逊法则”能利用一个统一的集中参数等值电路来解决波的折、反射问题。

# 3、彼得逊法则

◆ **彼得逊法则**——把分布参数的电路用集中参数的电路表示，计算折射波的等值电路法。

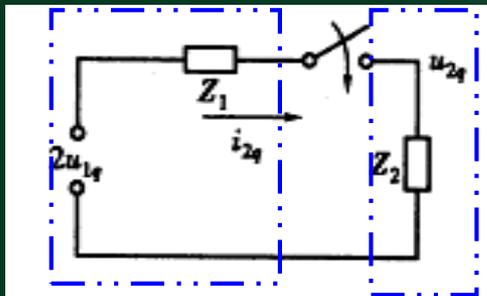
$$u_{2q} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} u_{1q} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} 2u_{1q}$$



线路1等值  
电压源



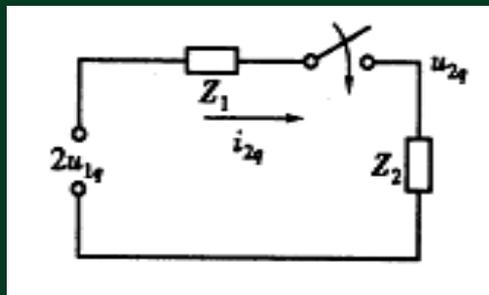
线路2等值  
阻抗



- ◆ 电源电势等价于2倍的入射电压波
- ◆  $Z_1$ 为内阻； $Z_2$ 为负载电阻
- ◆ 负载的电压值即为所求折射波

### 3、彼得逊法则

- ◆ 彼得逊法则将分布参数问题变成集中参数等值电路，简化计算。
- ◆  $u_{1q}$  可以为任意波形， $Z_2$  可以是线路、电阻、电容组成的网络。



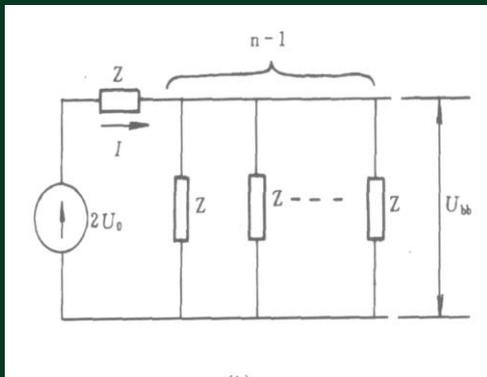
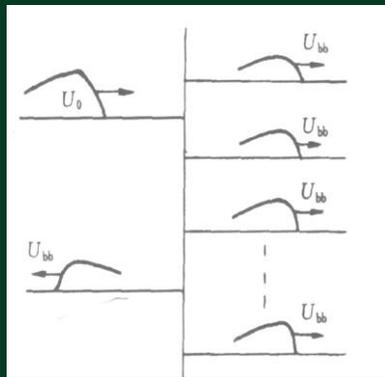
使用彼得逊法则求解节点电压时的先决条件：

- ◆ 入射波是从分布参数线路传来，并且必须是流动波；
- ◆ 线路  $Z_2$  上没有反行波或  $Z_2$  中的反行波尚未到达节点A。

# 3、彼得逊法则

- ◆ 例 设某变电所的母线上共接有 $n$ 条架空线路，当其中某一线路遭受雷击时，即有一过电压波 $U_0$ 沿着该线进入变电所，试求此时的母线电压 $U_{bb}$ 。

解：由于架空线路的波阻抗均大致相等，所以可得等值电路图。

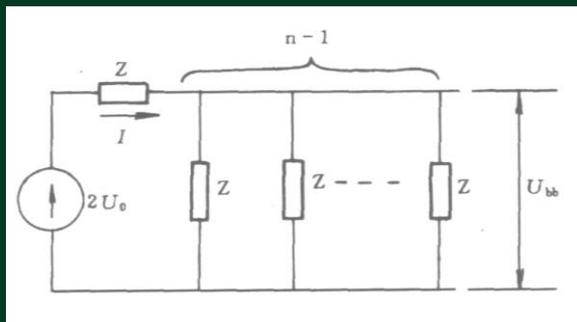


# 3、彼得逊法则

由等值电路得

$$I = \frac{2U_0}{Z + \frac{Z}{n-1}} = \frac{2(n-1)U_0}{nZ}$$

$$U_{bb} = I \frac{Z}{n-1} = \frac{2U_0}{n}$$



- ◆ 结论：连接在母线上的线路越多，母线上的过电压愈低，有利于降低变电所的雷电过电压水平。

# 小结

1. 电压的折射系数，反射系数，二者之间的关系；
2. 线路末端开路时，电压发生正的反射，开路电压加倍，电流变零；
3. 线路末端短路时，电压发生负的全反射，电流加倍，电压为零。
4. 彼得逊等值电路（重点）、适用范围。