



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

变压器绕组中的波过程

主讲：卞建鹏

# 目录

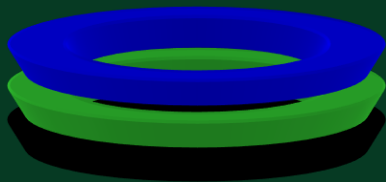


在线开放课程

1. 绕组的初始电压分布
2. 绕组的稳态电压分布
3. 绕组中的振荡过程
4. 改善绕组中电位分布的措施

# 1、绕组的初始电压分布

- ◆ 在雷电冲击和操作冲击电压作用下，变压器绕组内部将出现复杂的电磁暂态过程，使其**主绝缘**（绕组对地、绕组之间）和**纵绝缘**（绕组的匝间、层间或线饼间）可能受到很高的过电压而损坏。

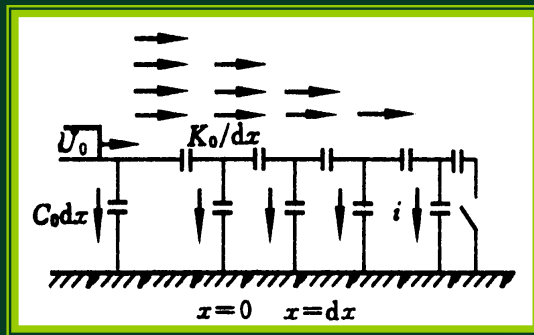
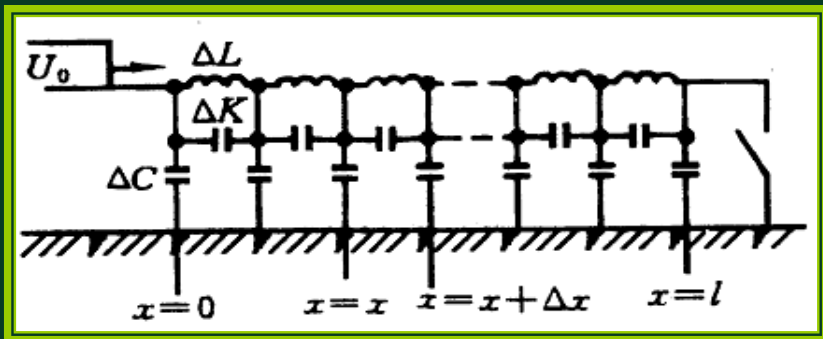


饼式结构

# 1、绕组的初始电压分布

当无限长直角波作用于绕组时

$t=0$ 时，电感电流不能突变，电感中的电流为零，相当于电感开路，等值电路只包含电容链并决定起始电压分布。



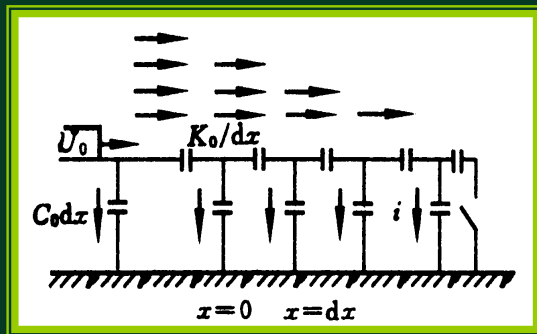
略去线匝互感与绕组损耗的绕组简化等值电路

# 1、绕组的初始电压分布

末端开路和短路时，其初始电位分布：

$$u(x) = U_0 e^{-\alpha x} = U_0 e^{-\alpha l \frac{x}{l}}$$

变压器绕组的  
空间系数  $\alpha = \sqrt{\frac{C_0}{K_0}}$

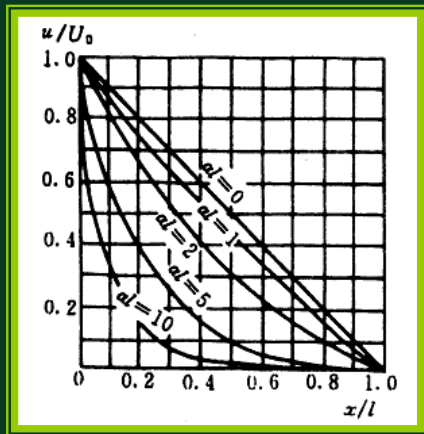


◆初始电压分布不均匀的原因是对地电容 $C_0 dx$ 的存在。

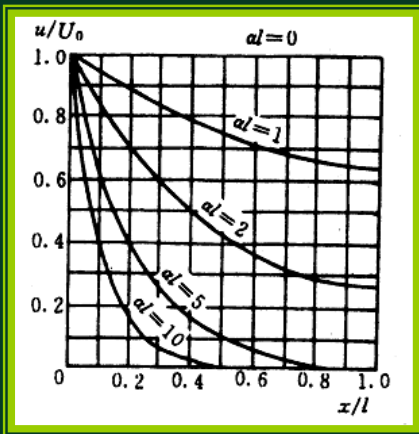
# 1、绕组的初始电压分布

$$u(x) = U_0 e^{-\alpha l \frac{x}{l}}$$

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{x=0} \approx -\frac{U_0}{l} \alpha l$$



绕组末端接地



绕组末端开路

◆在 $t=0+$ 时，绕组首端的电位梯度是平均梯度的 $\alpha l$ 倍，因此对绕组首端绝缘应采取保护措施。

◆ $\alpha l(5\sim 15)$ 愈大，电压起始分布曲线下降愈快；

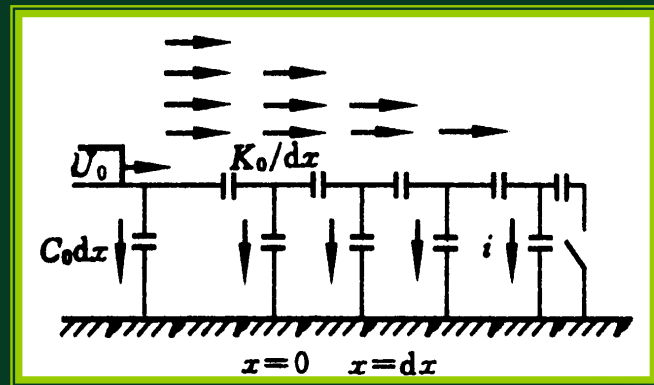
# 1、绕组的初始电压分布

变压器对波过程的影响可用**入口电容**来等值：

$$C_T = \frac{Q_{x=0}}{U_0} = U_0 K_0 \left( \frac{du}{dx} \right)_{x=0} = K_0 \alpha = \sqrt{C_0 K_0} = \sqrt{C_0 l \frac{K_0}{l}} = \sqrt{KC}$$

◆ 变压器绕组入口电容是绕组总的对地电容和总的纵向电容的几何平均值。

◆ 变压器绕组入口电容与其结构有关，约为**500-5000pF**。



## 2、绕组的稳态电压分布

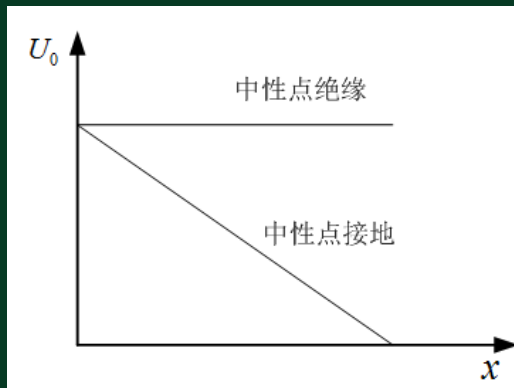
**稳态时**：电感短路，电容开路。波长等值频率很低，等值电路由**绕组电阻**决定稳态电压分布。

◆末端接地的绕组：各点根据电阻而形成均匀的稳态电压分布

$$u_{\infty}(x) = U_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

◆对于末端不接地的绕组：各点的稳态电位均为

$$u_{\infty}(x) = U_0$$





# 3、绕组中的振荡过程

变压器绕组的起始电位分布  $\neq$  稳态电位分布



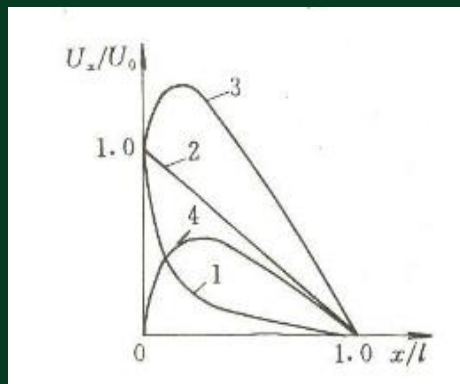
◆ 由于绕组电感和电容之间能量的转换，过渡过程具有振荡性质。振荡的激烈程度与起始分布和稳态分布的差值相关。

◆ 过渡过程中绕组各点的最大对地电压为：

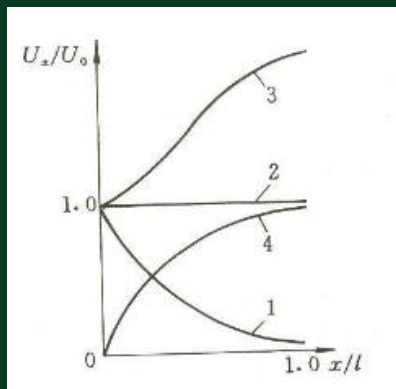
$$u_{\max} = (u_{\infty} - u_0) + u_{\infty} = 2u_{\infty} - u_0$$

# 3、绕组中的振荡过程

若不计损耗，作定性分析  $u_{\max} = 2u_{\infty} - u_0$



中性点接地



中性点绝缘

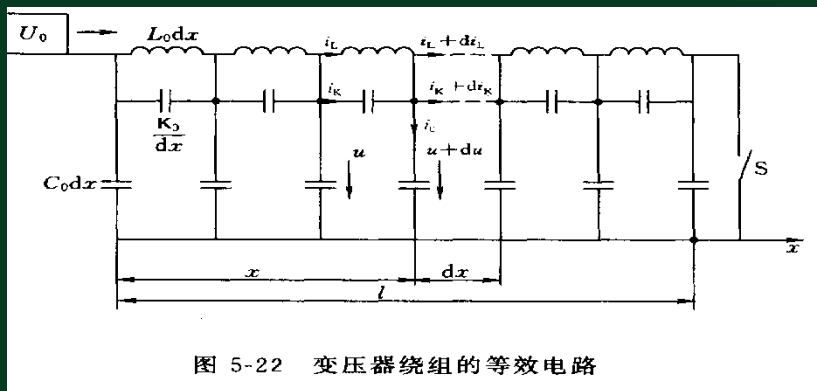
- 1-初始电压分布；
- 2-稳态电压分布；
- 3-曲线4叠加到曲线2；
- 4-曲线1与曲线2差值；

# 4、改善绕组中电位分布的措施

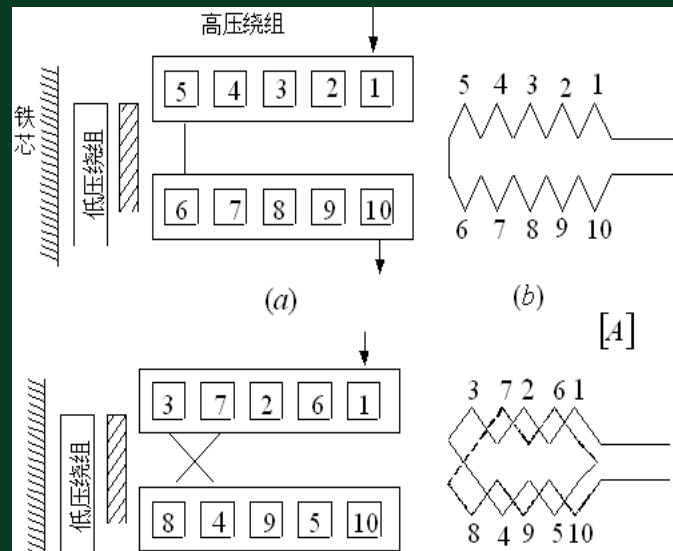
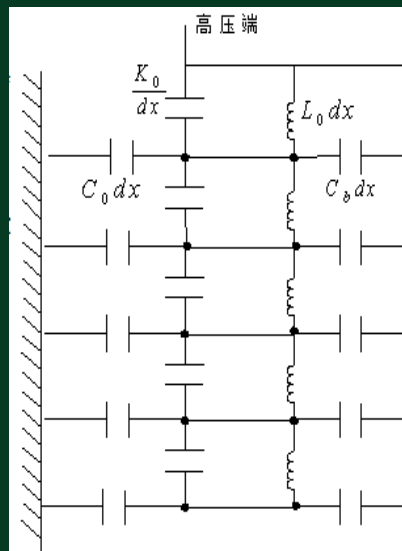
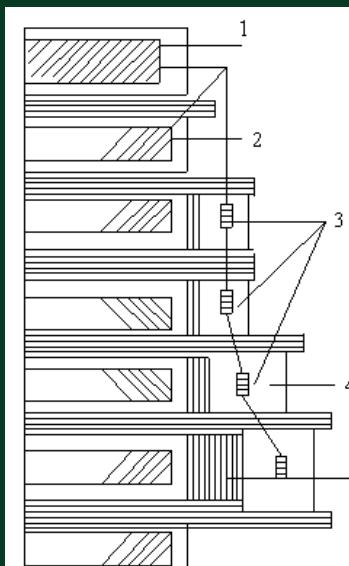
- ◆造成振荡的原因：**对地电容的分流**；
- ◆使起始电位分布尽量接近于稳态电位分布。

$$\left. \frac{du}{dx} \right|_{x=0} \approx -U_0 \sqrt{\frac{C_0}{K_0}}$$

- ◆**补偿对地电容**——在绕组首端部位加一些电容环和电容匝补偿对地电容；
- ◆**增大纵向电容**——纠结式绕组。



# 4、改善绕组中电位分布的措施



纠结式绕组

- 1—静电环高压端
- 2—绕组的线饼
- 3—静电匝

# 小结

1. 变压器对波过程的影响可用**入口电容**来等值，即在 $t=0$ 时刻，变压器等值为一个电容。
2. 改善绕组中电位分布的措施