

## 任务三：短路故障和短路电流计算

教案头：

项目	项目六 智能供电系统的方案设计		
任务	任务 3 短路故障和短路电流计算	学时	2
教学目标	知识目标	技能目标	素质目标
	①理解短路的原因、后果及形式。 ②了解无限大容量电力系统三相短路电流的分析方法。	①能画出供配电系统的等值电路。 ②能计算短路电流。	①培养严谨认真的工作作风。 ②具有良好的团队协作精神，主动适应团队工作要求。 ③基本职业素养的培养。
工作任务	①画等值电路 ②三相短路电流的计算 ③两相和单相短路电流的计算		
教学重点	重点：三相短路电流的计算		
教学难点	难点：两相和单相短路电流的计算		
教学策略	“教、学、练、做”一体化		
教学条件	多媒体设备、电气设计手册。		
作 业	①为企业的供配电系统进行短路电流的计算 ② 做课后练习题		
备 注			

教学内容：

### (1) 任务概述

供配电系统在设计和运行中，不仅要考虑系统的正常运行状态，还要考虑系统不正常和存在故障时的情况，短路是最严重的故障。短路电流计算的目的是用来选择电气设备，并对继电保护进行整定计算。本次任务就是学习计算三相短路电流、两相和单相短路电流的计算方法，从而为后面供配电系统的设计奠定基础。要求：

- 1) 短路电流计算的步骤清晰；
- 2) 短路电流计算的过程规范；
- 3) 短路电流计算的数据可靠；
- 4) 短路电流计算的结果统计在表格中。

### (2) 知识准备

## 1) 短路的原因、后果及其形式

①短路：短路是指不同电位的导体之间的电气短接。

- 电气绝缘损坏。
- 误操作。
- 鸟兽害。

②短路的后果：

- 短路电流的电动效应和热效应。
- 电压骤降。
- 造成停电事故。
- 影响系统稳定。
- 产生电磁干扰。

③短路的形式：

- 三相短路  $k^{(3)}$ ——对称性短路
  - 两相短路  $k^{(2)}$
  - 单相短路  $k^{(1)}$
  - 两相接地短路  $k^{(1,1)}$
- } 非对称性短路

电力系统中发生单相短路的可能性最大，但三相短路的短路电流值最大，因此作为选择校验电气设备依据的短路电流应取三相短路电流。

## 2) 无限大容量系统发生三相短路时的暂态过程和物理量

①无限大容量电力系统：容量相对于用户内部供配电系统容量大得多的电力系统，以至用户的负荷不论如何变动甚至发生短路时，电力系统变电所馈电母线的电压能基本维持不变。

②无限大容量电力系统三相短路的暂态过程

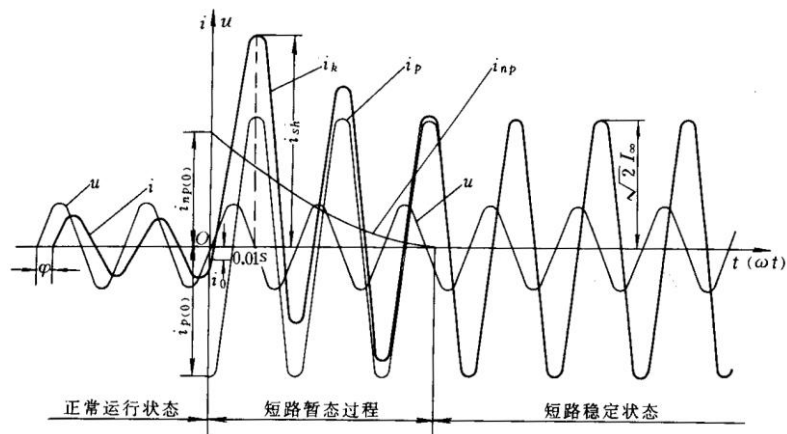


图 3.14.1 无限大容量系统中发生三相短路前后的电压电流曲线

③有关短路的物理量：

$i$  短路电流周期分量  $i_p$

是按欧姆定律由短路电路的电压和阻抗所决定的一个短路电流。 $t=0$  时发生

短路,  $u=0$ ,  $i_0$  为负值。短路电路可看作一纯电感电路。

$$i_{p(0)} = I_m'' = \sqrt{2}I''$$

$I''$ —短路次暂态电流有效值, 是短路后第一个周期的短路电流周期分量有效值。

在无限大容量系统中, 短路电流周期分量有效值  $I_K$  在短路的全过程中维持不变, 即  $I'' = I_K = I_\infty$

ii 短路电流非周期分量  $i_{np}$

是按楞次定律, 由于电路存在着电感, 而在突然短路时出现自感电动势所产生的一个短路电流。

$$i_{np} \text{ 是按指数函数衰减的, } i_{np} = i_{np(0)}e^{-\frac{t}{\tau}} = (I_m'' - i_0)e^{-\frac{t}{\tau}} = \sqrt{2}I''e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\tau = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{X_\Sigma}{314R_\Sigma}$$

$\tau$ —短路电路时间常数,  $R_\Sigma \uparrow, L_\Sigma \downarrow, \tau \downarrow$ , 衰减越快。

iii 短路全电流

$$i_K = i_p + i_{np}$$

某一瞬间  $t$  的短路全电流有效值  $I_{K(t)}$ , 是以时间  $t$  为中点的一个周期内的  $i_p$  有效值  $I_{p(t)}$  和  $i_{np}$  在  $t$  的瞬时值  $i_{np(t)}$  的方均根值。

$$I_{K(t)} = \sqrt{I_{p(t)}^2 + i_{np(t)}^2}$$

iv 短路冲击电流

短路后经过半个周期 (即  $t=0.01s$ ), 短路电流瞬时值达到最大值, 这一最大短路电流瞬时值称为短路冲击电流  $i_{sh}$ 。

$$i_{sh} = i_{p(0.01)} + i_{np(0.01)} \approx \sqrt{2}I''(1 + e^{-\frac{0.01}{\tau}}) = K_{sh}\sqrt{2}I''$$

$$K_{sh} \text{—短路电流冲击系数, } K_{sh} = 1 + e^{-\frac{0.01}{\tau}} = 1 + e^{-\frac{0.01R_\Sigma}{L_\Sigma}}, K_{sh}=1 \sim 2。$$

短路冲击电流有效值:

$$I_{sh} = \sqrt{i_{p(0.01)}^2 + i_{np(0.01)}^2} \approx \sqrt{I''^2 + (\sqrt{2}I''e^{-\frac{0.01}{\tau}})^2} = \sqrt{1 + 2(K_{sh} - 1)^2}I''$$

在高压电路发生  $k^{(3)}$  时, 取  $K_{sh}=1.8$ ,  $\therefore i_{sh} = 2.55I''$ ,  $I_{sh} = 1.51I''$ 。

在低压电路和 1000kVA 及以下变压器二次侧发生  $K^{(3)}$  时, 取  $K_{sh}=1.3$ ,

$$\therefore i_{sh} = 1.84I'', I_{sh} = 1.09I''。$$

v 短路稳态电流:

是短路电流非周期分量衰减完毕后的短路全电流，其有效值用  $I_\infty$  表示。

在无限大容量系统中， $I'' = I_K = I_\infty$ 。

### 3) 无限大容量电力系统中的短路电流计算

#### ① 短路电流计算概述

i 计算短路电流的目的：

◆ 正确选择电气设备，使其具有足够的动、热稳定性，在通过可能最大的短路电流时不致损坏。

◆ 选择通断短路故障的开关电器、整定短路保护的继电保护和选择限制短路电流的元件（如电抗器）。

ii 短路电流计算步骤：

- ◆ 绘计算电路图。
- ◆ 按短路计算点绘出等效电路图。
- ◆ 化简等效电路，求出其等效总阻抗。
- ◆ 计算短路电流和短路容量。

计算短路电流的方法：欧姆法，标么制法

② 采用欧姆法进行三相短路的计算：

i 欧姆法短路计算的有关公式：

在无限大容量系统中发生三相短路时，其三相短路电流周期分量有效值为：

$$I_K^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}|Z_\Sigma|} = \frac{U_c}{\sqrt{3}\sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}}$$

$U_c$ —短路计算点的短路计算电压  $U_c = 1.05U_N$

$|Z_\Sigma|$ 、 $R_\Sigma$ 、 $X_\Sigma$ —短路电路的总阻抗[模]、总电阻和总电抗

三相短路电流周期分量有效值为： $I_k^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}X_\Sigma}$

三相短路容量为： $S_k^{(3)} = \sqrt{3}U_c I_k^{(3)}$

ii 短路电路的阻抗计算：

◆ 电力系统的阻抗计算：

$$X_S = \frac{U_c^2}{S_{oc}}$$

$U_c$ —高压馈电线的短路计算电压，可直接采用短路计算点的短路计算电压。

$S_{oc}$ —电力系统出口断路器的断流容量。

◆ 电力变压器的阻抗计算：

$$\Delta P_K \approx 3I_N^2 R_T = 3 \times \left( \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \right)^2 R_T \approx \left( \frac{S_N}{U_c} \right)^2 R_T$$

$$R_T \approx \Delta P_K \left( \frac{U_c}{S_N} \right)^2$$

$$U_Z \% \approx \frac{\sqrt{3} I_N X_T}{U_c} \times 100 \approx \frac{S_N X_T}{U_c^2} \times 100$$

$$X_T \approx \frac{U_Z \% U_c^2}{100 S_N}$$

◆ 电力线路的阻抗计算：

$$R_{WL} = R_0 l, \quad X_{WL} = X_0 l$$

③ 欧姆法短路计算的步骤：

- 绘短路计算电路图，并根据短路计算目的确定短路计算点。
- 针对短路计算点绘出短路电路的等效电路图，此图只需表示出计及阻抗的元件，并且分子标明元件序号，分母用来标明其阻抗。
- 按照短路计算点的  $U_c$  计算各元件阻抗，将计算结果标注在等效电路图上。
- 按照网络化简方法求等效电路的总阻抗。
- 计算短路点的  $I_K^{(3)}$ 、 $I''^{(3)}$ 、 $I_\infty^{(3)}$ 、 $i_{sh}^{(3)}$ 、 $I_{sh}^{(3)}$  及  $S_k^{(3)}$ 。

④ 采用标幺制法进行三相短路的计算：

标幺制法，因短路计算中的有关物理量是采用标幺值而得名，又称相对单位制法。

i 标幺值的定义及其基准

某一物理量的标幺值，为该物理量的实际值与所选定的基准值的比值。

$$A_d^* = \frac{A}{A_d}$$

基准容量  $S_d = 100 \text{MVA}$

基准电压  $U_d = U_c = 1.05 U_N$

$$I_d = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_d} = \frac{S_d}{\sqrt{3} U_c}$$

$$X_d = \frac{U_d}{\sqrt{3} I_d} = \frac{U_c^2}{S_d}$$

ii 标幺制法短路计算的有关公式：

供配电系统中各主要元件的电抗标幺值的计算

电力系统的电抗标幺值：

$$X_S^* = \frac{X_S}{X_d} = \frac{U_c^2}{S_{oc}} \bigg/ \frac{U_c^2}{S_d} = \frac{S_d}{S_{oc}}$$

电力变压器的电抗标幺值：

$$X_T^* = \frac{X_T}{X_d} = \frac{U_z \% U_c^2}{100 S_N} \bigg/ \frac{U_c^2}{S_d} = \frac{U_z \% S_d}{100 S_N}$$

电力线路的电抗标么值:

$$X_{WL}^* = \frac{X_{WL}}{X_d} = \frac{X_0 l}{U_c^2 / S_d} = X_0 l \frac{S_d}{U_c^2}$$

无限大容量系统三相短路电流周期分量有效值的标么值为:

$$I_K^{(3)*} = \frac{I_K^{(3)}}{I_d} = \frac{U_c}{\sqrt{3} X_\Sigma} \bigg/ \frac{S_d}{\sqrt{3} U_c} = \frac{U_c^2}{S_d X_\Sigma} = \frac{1}{X_\Sigma^*}$$

三相短路电流周期分量有效值为:

$$I_K^{(3)} = I_K^{(3)*} I_d = \frac{I_d}{X_\Sigma^*}$$

三相短路容量为:

$$S_K^{(3)} = \sqrt{3} U_c I_K^{(3)} = \sqrt{3} U_c \frac{I_d}{X_\Sigma^*} = \frac{S_d}{X_\Sigma^*}$$

iii 标么制法短路计算的步骤

- ◆ 绘短路计算电路图, 并根据短路计算目的确定短路计算点。
- ◆ 选定标么值的基准,  $S_d=100\text{MVA}$ ,  $U_d=U_c$ , 并求出所有短路计算点电压下的  $I_d$ 。
- ◆ 计算短路电路中所有主要元件的电抗标么值。
- ◆ 绘出短路电路的等效电路图。用分子标明元件序号, 分母标明电抗标么值, 且标出所有短路计算点。
- ◆ 针对各短路计算点分别简化电路, 求出其总电抗标么值, 然后按有关公式计算所有的短路电流和短路容量。

#### (4) 任务实施

1) 作计算电路图

- ①以电气主接线为基础: 只作 G, T, WL, L 的符号, 其连接顺序不变
- ②标示各元件文字符号, 计算编号, 有关参数
- ③根据计算目的, 标出计算短路点

2) 作初始等值电路

①作出短路回路。从电源到计算短路点的全部网络, 中间流过短路电流的回路。

- ②每一计算短路点对应唯一短路回路
- ③各元件用电抗符号表示: 有源元件包括电势和电抗

3) 等值电路图的简化

将初始等值电路图逐步进行等值变换, 直到只有一个总电源经一个总电抗至

短路点的最简等值电路图

①串联等值电抗： $X=X_1+X_2+\dots+X_n$

②并联等值电抗： $X = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$

③  $\Delta \rightarrow Y$ ： $X = \frac{\text{相邻两边乘积}}{\text{三边之和}}$

$$X_1 = \frac{X_{12} X_{13}}{X_{12} + X_{23} + X_{13}}$$

$$X_2 = \frac{X_{12} X_{23}}{X_{12} + X_{23} + X_{13}}$$

$$X_3 = \frac{X_{23} X_{13}}{X_{12} + X_{23} + X_{13}}$$

④  $Y \rightarrow \Delta$ ： $X = \text{相邻两边之和} + \frac{\text{相邻两边之积}}{\text{第三边}}$

⑤  $\Sigma Y$ 法： $\Sigma Y = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n} + \frac{1}{X}$

短路回路总电抗  $X_{\Sigma n}$ ：只有一个总电源经一个总电抗至短路点的最简电路

4) 列短路电流成果表

表 6-1 短路电流成果表

1	短路点		$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$
2	平均额定电压	KV				
3	基准电流	KA				
4	短路回路总电抗					
5	短路电流标么值					
6	短路电流有名值	KA				
7	冲击短路电流	KA				
8	短路功率	MVA				

(4) 检查与评价

---

计算完成后，学生分组检查短路计算结果，然后由教师评定成绩。

#### **(5) 总结**

通过本次任务的实施，使学生理解了短路电流的概念，短路电流产生的原因，掌握了短路电流的计算步骤。