

# 分支及流经变压器中性点的单相短路电流计算方法

何永德

(四川省电力设计院, 四川 成都 610072)

**摘要:**通过典型算例详细直观地介绍了分支单相短路电流及流经变压器中性点短路电流的计算方法,供工程设计参考,对其他种类的不对称短路,可参照此思路和方法进行计算。

**关键词:**各序网络;分支短路电流;中性点电流;入地电流

**Abstract:** The calculation methods for branch single-phase short-circuit current and short-circuit current via the neutral point of transformer are introduced in detail through the typical cases which gives a reference for engineering design. And for other kinds of asymmetrical short circuit it can also be calculated using the proposed idea and calculation method as a reference.

**Key words:** sequential impedance network; branch short-circuit current; neutral point current; grounding current

**中图分类号:** TM744 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)06-0051-04

## 0 概述

根据目前所掌握的设计资料,对短路点总的不对称短路电流有明确的计算方法,在工程设计和分析电力系统故障时,不仅需要计算短路点的电流和电压,而且还要算出流过电网中某些支路的电流和某些节点的电压以及流回变压器中性点的电流。例如:流经每套保护装置的电流和各保护装置安装处母线上的电压;主变压器零序电流电压保护的整定和灵敏度校验;在变电所设计中,特别是山区地方,由于布置紧凑、占地面积小、土壤电阻率高,接地电阻普遍达不到要求,为此需要计算发生不对称短路时,短路点的总电流和流经变压器中性点的电流,才能计算入地电流,以便计算接地电阻要求值或验算接触电势和跨步电势。下面将针对单相短路的情况,通过典型算例,提出分支和流经变压器中性点的短路电流计算方法,

供工程设计人员参考,对其他种类的不对称短路,可参照此思路和方法进行计算。为了让读者对概念的认识更加清晰,在算例中,加入了部分验证公式,以证明算法的正确性,实际计算中,步骤可简化。

## 1 算例

图 1 所示的某变电所接线示意图中,主变压器高、中压侧中性点直接接地,高、中压侧系统按无穷大

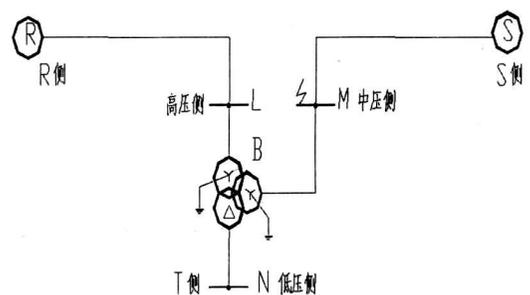


图 1 接线示意图

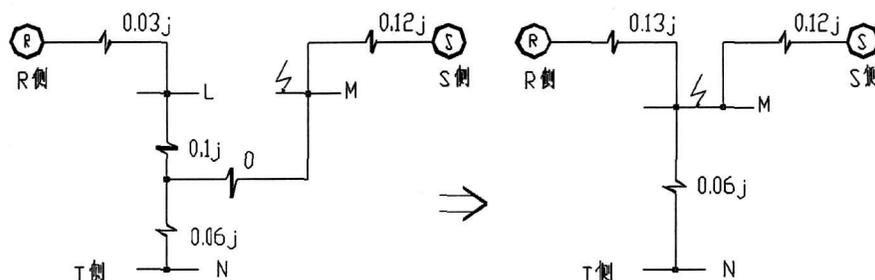


图 2 正序 (负序) 阻抗图

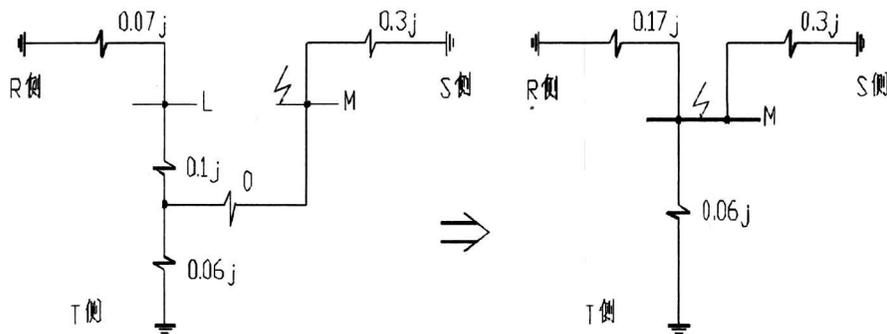


图 3 零序阻抗图

电源考虑, 低压侧无电源, 图 2—图 3 为各序阻抗图, 假定在主变压器中压侧母线上发生 A 相金属性接地短路, 求 R 侧和 S 侧分支单相短路电流、流经变压器中性点短路电流和入地电流。计算中未标明单位者均为标么值。

因低压侧无电源, 故总正序 (负序) 阻抗为  $X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} = 0.12j / 0.13j = 0.0624j$ ; 总零序阻抗为  $X_{0\Sigma} = 0.17j / 0.3j / 0.06j = 0.03864j$

### 1.1 短路点总的短路电流计算

$$\text{短路点边界条件为 } \dot{U}_A = 0 \quad \dot{I}_B = \dot{I}_C = 0 \quad (1)$$

$$\dot{I}_{DA1} = \dot{I}_{DA2} = \dot{I}_{DA0} = \frac{\dot{E}}{2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma}} = \frac{j}{2 \times 0.0624j + 0.03864j} = 6.11845 \quad (2)$$

$$\dot{I}_{DA} = 3 \dot{I}_{DA1} = 3 \times 6.11845 = 18.3554 \quad (3)$$

### 1.2 短路点各序电压计算

$$\dot{U}_{DA1} = \dot{I}_{DA1} (X_{2\Sigma} + X_{0\Sigma}) = 6.11845 (0.0624 + 0.03864)j = 0.6182j \quad (4)$$

$$\text{或 } \dot{U}_{DA1} = \dot{E} - \dot{I}_{DA1} X_{1\Sigma} = j - 6.11845 \times 0.0624j = 0.6182j \quad (5)$$

$$\dot{U}_{DA2} = \dot{I}_{DA1} X_{2\Sigma} = -6.11845 \times 0.0624j = -0.3818j \quad (6)$$

$$\dot{U}_{DA0} = -\dot{I}_{DA1} X_{0\Sigma} = -6.11845 \times 0.03864j = -0.2364j \quad (7)$$

$$\dot{U}_{DA} = \dot{U}_{DA1} + \dot{U}_{DA2} + \dot{U}_{DA0} = 0.6182j - 0.3818j - 0.2364j = 0 \quad (8)$$

与短路点边界条件吻合。

### 1.3 分支短路电流计算

以 A 相为基准作出各序网络图, 分别计算出各分支正序、负序、零序电流分量, 然后进行叠加, 得出各分支短路电流。

#### 1.3.1 正序网络

$$\dot{I}_{RDA1} = \frac{\dot{E}_R - \dot{U}_{DA1}}{X_{R1\Sigma}} = \frac{j - 0.6182j}{0.13j} = 2.9369 \quad (9)$$

$$\dot{I}_{SDA1} = \frac{\dot{E}_S - \dot{U}_{DA1}}{X_{S1\Sigma}} = \frac{j - 0.6182j}{0.12j} = 3.1817 \quad (10)$$

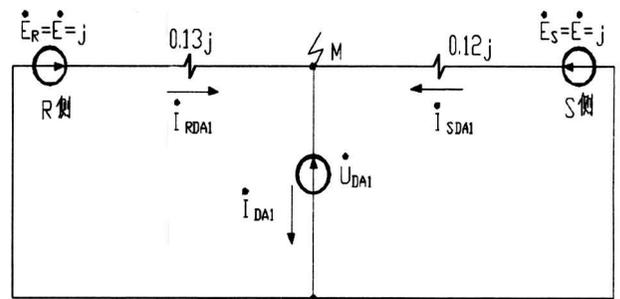


图 4 正序网络图

$$\dot{I}_{DA1} = \dot{I}_{RDA1} + \dot{I}_{SDA1} = 2.9369 + 3.1817 = 6.1186 \quad (11)$$

#### 1.3.2 负序网络

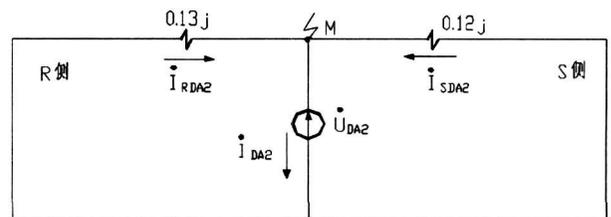


图 5 负序网络图

由于各分支正序、负序阻抗完全相同, 故各分支正序、负序电流分量相等, 验算如下。

$$\dot{I}_{RDA2} = \frac{\dot{U}_{DA2}}{X_{R2\Sigma}} = \frac{-0.3818j}{0.13j} = 2.9369 \quad (12)$$

$$\dot{I}_{SDA2} = \frac{\dot{U}_{DA2}}{X_{S2\Sigma}} = \frac{-0.3818j}{0.12j} = 3.1817 \quad (13)$$

$$\dot{I}_{DA2} = \dot{I}_{RDA2} + \dot{I}_{SDA2} = 2.9369 + 3.1817 = 6.1186 \quad (14)$$

#### 1.3.3 零序网络

$$\dot{I}_{RDA0} = \frac{\dot{U}_{DA0}}{X_{R0\Sigma}} = \frac{-0.2364j}{0.07j + 0.1j} = 1.3906 \quad (15)$$

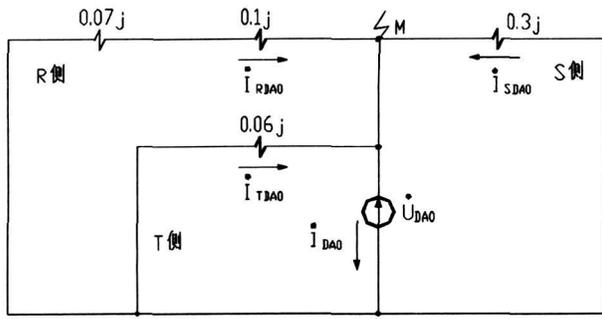


图 6 零序网络图

$$\dot{I}_{SDA0} = \frac{\dot{U}_{DA0}}{X_{S0\Sigma}} = \frac{-0.2364j}{0.3j} = 0.788 \quad (16)$$

$$\dot{I}_{TDA0} = \frac{\dot{U}_{DA0}}{X_{T0\Sigma}} = \frac{-0.2364j}{0.06j} = 3.94 \quad (17)$$

$$\dot{I}_{DA0} = \dot{I}_{RDA0} + \dot{I}_{SDA0} + \dot{I}_{TDA0} = 1.3906 + 0.788 + 3.94 = 6.1186 \quad (18)$$

式 (11)、(14)、(18) 与式 (2) 的计算结果相同。

### 1.3.4 分支单相短路电流及流经变压器中性点短路电流计算

① R 侧支路 (相当于变压器高压侧绕组) 各相电流及流经变压器高压侧中性点的电流为

$$\dot{I}_{RDA} = \dot{I}_{RDA1} + \dot{I}_{RDA2} + \dot{I}_{RDA0} = 2.9369 + 2.9369 + 1.3906 = 7.2644 \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{RDB} &= a^2 \dot{I}_{RDA1} + a \dot{I}_{RDA2} + \dot{I}_{RDA0} = \left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j\right) \\ &\times 2.9369 + \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j\right) \times 2.9369 + 1.3906 \\ &= -1.5463 \quad (20) \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{RDC} = a \dot{I}_{RDA1} + a^2 \dot{I}_{RDA2} + \dot{I}_{RDA0} = -1.5463 \quad (21)$$

流经变压器高压侧中性点 (或 R 侧系统中性点) 的电流为

$$\dot{I}_{RDZ} = \dot{I}_{RDA} + \dot{I}_{RDB} + \dot{I}_{RDC} = 7.2644 - 1.5463$$

$$= -1.5463 = 4.1718 \quad (22)$$

$$\text{或 } \dot{I}_{RDZ} = 3 \dot{I}_{RDA0} = 3 \times 1.3906 = 4.1718 \quad (23)$$

② W 侧支路 (相当于变压器中压侧绕组) 各相电流及流经变压器中压侧中性点的电流, 参照图 6、图 7 可知, W 侧支路各序电流分量为

$$\dot{I}_{WDA0} = \dot{I}_{RDA0} + \dot{I}_{TDA0} = 1.3906 + 3.94 = 5.3306 \quad (24)$$

$$\dot{I}_{WDA1} = \dot{I}_{RDA1} = 2.9369 \quad (25)$$

$$\dot{I}_{WDA2} = \dot{I}_{RDA2} = 2.9369 \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{WDA} &= \dot{I}_{WDA1} + \dot{I}_{WDA2} + \dot{I}_{WDA0} = 2.9369 \\ &+ 2.9369 + 5.3306 = 11.2044 \quad (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{WDB} &= a^2 \dot{I}_{WDA1} + a \dot{I}_{WDA2} + \dot{I}_{WDA0} = \left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j\right) \\ &\times 2.9369 + \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j\right) \times 2.9369 + 5.3306 \\ &= 2.3937 \quad (28) \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{WDC} = a \dot{I}_{WDA1} + a^2 \dot{I}_{WDA2} + \dot{I}_{WDA0} = 2.3937 \quad (29)$$

流经变压器中压侧中性点的电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_{WDZ} &= \dot{I}_{WDA} + \dot{I}_{WDB} + \dot{I}_{WDC} = 11.2044 \\ &+ 2.3937 + 2.3937 = 15.9918 \quad (30) \end{aligned}$$

$$\text{或 } \dot{I}_{WDZ} = 3 \dot{I}_{WDA0} = 3 \times 5.3306 = 15.9918 \quad (31)$$

③ S 侧支路各相电流为

$$\begin{aligned} \dot{I}_{SDA} &= \dot{I}_{SDA1} + \dot{I}_{SDA2} + \dot{I}_{SDA0} = 3.1817 + 3.1817 \\ &+ 0.788 = 7.1514 \quad (32) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{SDB} &= a^2 \dot{I}_{SDA1} + a \dot{I}_{SDA2} + \dot{I}_{SDA0} = \left(-\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j\right) \\ &\times 3.1817 + \left(-\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j\right) \times 3.1817 + 0.788 \\ &= -2.3937 \quad (33) \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{SDC} = a \dot{I}_{SDA1} + a^2 \dot{I}_{SDA2} + \dot{I}_{SDA0} = -2.3937 \quad (34)$$

流经 S 侧系统中性点的电流为

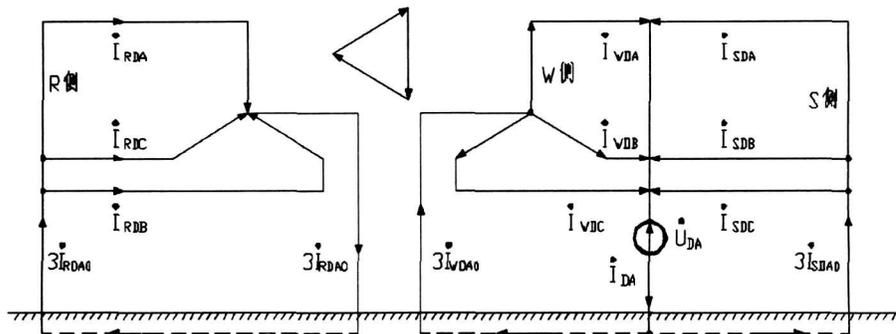


图 7 单相短路三相电流路径图

$$\begin{aligned} \dot{I}_{SDZ} &= \dot{I}_{SDA} + \dot{I}_{SDB} + \dot{I}_{SDC} = 7.151 - 2.3937 \\ &\quad - 2.3937 = 2.364 \end{aligned} \quad (35)$$

$$\text{或 } \dot{I}_{SDZ} = 3 \dot{I}_{SDA0} = 3 \times 0.788 = 2.364 \quad (36)$$

### 1.4 验证短路点总的短路电流

$$\dot{I}_{DA} = \dot{I}_{WDA} + \dot{I}_{SDA} = 11.2044 + 7.1514 = 18.3558 \quad (37)$$

$$\dot{I}_{DB} = \dot{I}_{WDB} + \dot{I}_{SDB} = 2.3937 - 2.3937 = 0 \quad (38)$$

$$\dot{I}_{DC} = \dot{I}_{WDC} + \dot{I}_{SDC} = 2.3937 - 2.3937 = 0 \quad (39)$$

式 (37) 与式 (3) 的计算结果相同, 式 (38)、(39)

与 1.1 节的边界条件吻合。

### 1.5 流经变压器中性点短路电流和入地电流计算

假设变压器高压侧电压为 220 kV (基准电流  $I_{220} = 0.251 \text{ kA}$ ), 中压侧电压为 110 kV (基准电流  $I_{110} = 0.502 \text{ kA}$ ), 从图 7 可以看出, 流经变压器中性点的短路电流有两部分, 分别经过变压器高压侧和中压侧绕组的中性点, 两者方向相反。计算时需注意, 由于两中性点侧电压不同, 不能先用标么值相减后换算成有名值, 而应该用两者的有名值相减。

(1) 短路点总的短路电流为

$$I_b = I_{DA} I_{110} = 18.3554 \times 0.502 = 9.2144 \text{ kA} \quad (40)$$

(2) 流经变压器中性点的短路电流为

$$\begin{aligned} I_z &= I_{WDZ} I_{110} - I_{RDZ} I_{220} = 15.9918 \times 0.502 \\ &\quad - 4.1718 \times 0.251 = 6.9808 \text{ kA} \end{aligned} \quad (41)$$

(3) 入地电流为

① 短路发生在接地网内时 ( $K_d$  取 0.5):

$$\begin{aligned} I &= (I_b - I_z)(1 - K_d) = (9.2144 - 6.9808) \\ &\quad \times (1 - 0.5) = 1.1168 \text{ kA} \end{aligned} \quad (42)$$

② 短路发生在接地网外时 ( $K_e$  取 0.1):

$$I = I_z(1 - K_e) = 6.9808 \times (1 - 0.1) = 6.28272 \text{ kA} \quad (43)$$

$K_d$ 、 $K_e$  分别为所内、所外短路时, 避雷线的工频分流系数。

## 2 总结

通过以上计算并结合理论知识可得下列结论。

### 2.1 三相序网基本概念

正序网络中, 经过系统中性点的电流为 0, 离故

障点愈近正序电压愈低; 负序网络中, 不存在电源电动势, 经过系统中性点的电流为 0, 离故障点愈近负序电压愈高; 零序网络中, 不存在电源电动势, 经过系统中性点的电流等于线路三相电流之和, 即等于线路零序电流分量的 3 倍, 离故障点愈近零序电压愈高。

### 2.2 对单相接地短路, 短路点边界条件

A 相电压、B 相和 C 相电流等于 0, 故障点三序电流分量大小相等方向相同, 不能由此认为各分支线上的 B 相和 C 相电流也等于 0 以及三序电流分量也大小相等方向相同。

### 2.3 分支及流经变压器中性点的单相短路电流计算方法

(1) 根据故障点位置画出三序网络图。

(2) 通过对三序网络图的简化, 求出故障点的正序电流分量和总的单相短路电流。

(3) 求出故障点的各序电压分量。

(4) 通过三序网络图求出各分支的三序电流分量, 然后进行叠加可得各分支的短路电流, 流经分支线上接地中性点的电流等于该分支零序电流分量的 3 倍。

(5) 画出单相短路三相电流路径图, 可求出流经变压器中性点的短路电流。

① 流经变压器各绕组接地中性点的短路电流等于对应绕组中零序电流分量的 3 倍。

② 如果仅算流经变压器接地中性点的短路电流, 则在步骤 (3) 中只需要零序电压分量, 在步骤 (4) 中只需要零序网络图即可。

### 参考文献

[1] 许建安. 电力系统继电保护 [M]. 水利电力出版社, 2005.

[2] 王显平主编. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 电力出版社, 2010.

[3] 卓乐友主编. 电力工程电气设计手册 [M]. 水力电力出版社.

### 作者简介:

何永德 (1964), 男, 高级工程师, 四川省电力设计院总工程师, 长期从事火力发电厂和变电站设计和技术管理工作。

(收稿日期: 2010-08-24)

# 欢迎投稿 欢迎订阅