

# 电网中常用变压器零序阻抗计算方法及实例

王莉<sup>1</sup>, 刘明予<sup>1</sup>, 张予鄂<sup>2</sup>, 李立杰<sup>3</sup>

(1. 河南省郑州供电公司, 河南 郑州 450006; 2. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052;  
3. 河南电力物资公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 电网中运行的变压器为保证电网零序网络的稳定性, 一般规定 220 kV 及以上电压等级的大接地系统中运行的变压器中性点直接接地。在保护配置上, 220 kV 及以上电压等级的变压器配有反应系统不对称故障的零序电流保护或接地距离保护。因此在保护设备参数的计算上, 220 kV 及以上电压等级的变压器不仅要计算变压器的正序电抗值, 还要计算零序电抗值。将对大接地系统中不同接线型式的变压器零序电抗标么值的计算进行总结。

**关键词:** 变压器; 等值电路; 试验值; 零序电抗; 标么值

## Method of calculating zero sequence impedance of transformer in power grid and its application

WANG Li<sup>1</sup>, LIU Ming-yu<sup>1</sup>, ZHANG Yu-e<sup>2</sup>, LI Li-jie<sup>3</sup>

(1. Henan Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450006, China; 2. Henna Electric Power Corporation, Zhengzhou 450052, China; 3. Henan Electric Power Material Co., Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:** To ensure the stability of the zero sequence networks in power grid it is stipulated that the neutral point of transformer should be earthed directly in all the 220kV and higher voltage systems. In protection design the reaction system of transformer zero sequence current protection or earthing distance protection is arranged in 220kV and higher voltage systems. When deciding the parameters of protection equipments not only the positive sequence impedance but also the zero sequence impedance of a transformer in 220kV or above systems should be calculated. This paper surveys the zero sequence impedance calculation of transformers in different types of earthing system in reference value.

**Key words:** transformer; equivalent circuit; test result; zero-sequence impedance; reference value

中图分类号: TM744 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)24-0118-03

## 0 引言

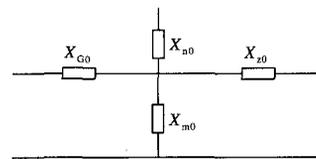
但凡从事继电保护装置计算的人员, 对电网设备正序参数的标么值计算都不陌生, 但对 220 kV 及以上电压等级的变压器零序参数的计算, 方法不尽相同, 很多地方仍采用近似正序参数的取值方法, 这给保护的整定计算带来一定的取值误差。现将常用接线的变压器零序阻抗的计算方法及计算实例归类如下。

## 1 电网中常用变压器的接线型式与等值电路

目前电网中 220 kV 变压器接线型式主要有 Y<sub>n</sub>, d11 双绕组变压器和 Y<sub>n</sub>, y<sub>no</sub>, d11 三绕组变压器, 近年来又出现 Y<sub>n</sub>, y<sub>no</sub>, y<sub>no</sub>, +d 加平衡线圈的三绕组变压器, 现对以上三种变压器零序阻抗的实测计算方法进行总结, 并配以实例进行说明。

变压器的零序等值电路可以用 T 型电路来表

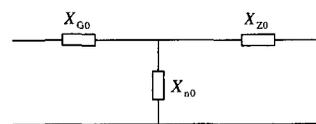
示, 如图 1。当低压绕组为三角形时, 三角形绕组



注:  $X_{G0}$  为高压零序电抗;  $X_{Z0}$  为中压零序电抗;  $X_{n0}$  为低压零序电抗;  $X_{n0}$  为变压器的零序励磁电抗

图 1 变压器零序等值电路

Fig.1 Zero-sequence equivalent circuit of transformer



注:  $X_{G0}$  为高压零序电抗;  $X_{Z0}$  为中压零序电抗;  $X_{n0}$  为低压零序电抗

图 2 变压器零序等值电路

Fig.2 Zero-sequence equivalent circuit of transformer

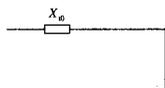
漏抗与励磁绕组电抗并联, 不管何种铁芯结构的变压器, 一般励磁电抗总比漏抗大得多, 即  $X_{m0}$  远远大于  $X_{n0}$ 。因此在短路计算中, 当变压器有三角形接法绕组时, 都可以近似地取  $X_{m0} = \infty$ , 此时等值电路如图 2。

## 2 不同接线的变压器零序阻抗标幺值的计算方法

约定: 以下计算取基准容量  $S_B = 100 \text{ MVA}$ ,  
220 kV 侧基准电压为平均电压  $U_B = 230 \text{ kV}$   
110 kV 侧基准电压为平均电压  $U_B = 115 \text{ kV}$   
故 220 kV 基准阻抗  $Z_B = 529 \ \Omega$   
110 kV 基准阻抗  $Z_B = 132.25 \ \Omega$

### 2.1 Yn, d11 双绕组变压器

Yn, d11 双绕组变压器只有一个中性点接地, 实测时只从高压侧加电压进行试验。变压器零序阻抗图如图 3。



注:  $X_0$  为变压器的零序电抗

图 3 变压器零序等值电路

Fig.3 Zero-sequence equivalent circuit of transformer

鹏飞变压器试验报告: (鹏飞变 额定电压: 220/10.5 kV)

分接	供电端子	电流/A	电压/V	$Z_0 / (\Omega/\text{相})$
9B	ABC-O	55.21	1864	101.3

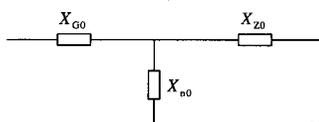
依据试验报告得到变压器的零序阻抗的标幺值:

$$X_{10}^* = Z_0 / Z_B = 101.3 / 529 = 0.1915$$

变压器零序阻抗与正序阻抗值比较结果是, 零序阻抗值接近并略小于正序阻抗值。一般为正序阻抗的 0.8~1.0 倍。

### 2.2 Yn, yno, d11 三绕组变压器

Yn, yno, d11 三绕组变压器高、中压各有一个中性点引出线。实测时分别从高、中压两侧加电压进行试验。变压器零序阻抗图如图 4。



注:  $X_{G0}$  为高压零序电抗;  $X_{Z0}$  为中压零序电抗;  
 $X_{n0}$  为低压零序电抗

图 4 变压器零序等值电路

Fig.4 Zero-sequence equivalent circuit of transformer

高压侧加零序电压, 中压侧开路, (低压侧开路) 得:

$$X_{g0} + X_{n0} = A \quad (1)$$

中压侧加零序电压, 高压侧开路, (低压侧开路) 得:

$$X_{z0} + X_{n0} = B \quad (2)$$

高压侧加零序电压, 中压侧三相对中性线短路, (低压侧开路) 得:

$$X_{g0} + X_{z0} // X_{n0} = C \quad (3)$$

中压侧加零序电压, 高压侧三相对中性线短路, (低压侧开路) 得:

$$X_{z0} + X_{g0} // X_{n0} = D \quad (4)$$

对方程(1)、(2)、(3)求解得:

$$\text{低压侧零序电抗: } X_{n0} = \sqrt{B(A-C)}$$

$$\text{高压侧零序电抗: } X_{g0} = A - X_{n0}$$

$$\text{中压侧零序电抗: } X_{z0} = B - X_{n0}$$

最后以  $D = X_{z0} + X_{g0} // X_{n0}$  计算值与实测值校核其正确性。

环翠变压器试验报告: (额定电压: 230 ± 8 × 1.25 % / 121 / 10.5 kV)

供电端子	开路端子	短路端子	电流 /A	电压 /V	阻抗 / ( $\Omega/\text{相}$ )
ABC, 0	AmBm Cm, 0		21.5	496	69.2
ABC, 0		AmBm Cm, 0	26.3	334	38.1
AmBmCm, 0	ABC, 0		35	67.5	5.79
AmBmCm, 0		ABC, 0	30	36.3	3.63

依据试验报告得到变压器的零序阻抗的标幺值:

$$A = X_{g0} + X_{n0} = 69.2/529 = 0.1308$$

$$B = X_{z0} + X_{n0} = 5.79/132.25 = 0.072$$

$$C = X_{g0} + X_{z0} // X_{n0} = 38.1/529 = 0.0438$$

$$D = X_{z0} + X_{g0} // X_{n0} = 3.63/132.25 = 0.0274$$

根据上述实验值得变压器高、中、低压侧零序电抗的标幺值分别为:

$$X_{g0} = A - X_{n0} = 0.0517$$

$$X_{z0} = B - X_{n0} = -0.0071$$

$$X_{n0} = \sqrt{B(A-C)} = 0.0791$$

$$D = X_{z0} + X_{n0} // X_{g0} = -0.0071 + 0.0517 // 0.0791 = 0.0241$$

变压器各侧零序阻抗与正序阻抗值比较结果是, 零序阻抗值接近并略小于正序阻抗值。

### 2.3 Yn, yno, yno, +d 加平衡线圈的三绕组变压器

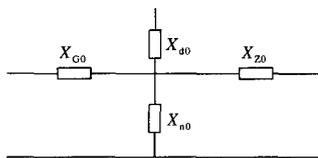
近年来, 又新出现 Yn, yno, yno, +d 加平衡线圈接线方式的三绕组变压器, 一般用于额定电压为

230±8×1.25 % / 121 / 10.5 kV 电压等级中,加三角形平衡线圈的目的是为了消除三次谐波,使零序电流有流通回路。

高、中、低压各有一个中性点引出线,由于第三绕组一般用于不接地系统,该侧中性点不接地运行,对外不构成零序回路,故低压侧零序回路相当于开路,取低压侧零序阻抗  $X_{d0}=\infty$ 。

平衡绕组为三角形接线,等值电路中,三角形绕组漏抗与励磁绕组电抗并联,一般励磁电抗总比漏抗大得多,即  $X_{m0}$  远远大于  $X_{n0}$ 。因此在短路计算中,当变压器有三角形接法绕组时,都可以近似地取  $X_{m0}=\infty$ ,此时等值电路如图 5。简化后如图 6。

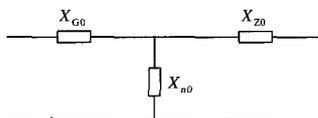
实测时只需在带有中性点的高、中压侧进行,低压侧开路。



注:  $X_{G0}$  为高压零序电抗;  $X_{Z0}$  为中压零序电抗;  
 $X_{n0}$  为平衡绕组零序电抗;  $X_{d0}$  为低压零序电抗

图 5 变压器零序等值电路

Fig.5 Zero-sequence equivalent circuit of transformer



注:  $X_{G0}$  为高压零序电抗;  $X_{Z0}$  为中压零序电抗;  
 $X_{n0}$  为平衡绕组零序电抗

图 6 变压器零序等值电路

Fig.6 Zero-sequence equivalent circuit of transformer

谢庄变压器试验报告:(额定电压:230±8×1.25 % / 121 / 10.5 kV)

供电端子	开路端子	短路端子	电流 /A	电压 /V	阻抗 / (Ω/相)
ABC, 0	AmBmCm, 0		36.64	1120.1	91.71
ABC, 0	abc, 0	AmBmCm, 0	44.99	723.7	48.26
AmBmCm, 0	ABC, 0		85.52	332.27	11.66
AmBmCm, 0	abc, 0	ABC, 0	75.16	154.26	6.16

依据试验报告得到变压器的零序阻抗的标么值:

$$A = X_{g0} + X_{n0} = 91.71 / 529 = 0.1734$$

$$B = X_{z0} + X_{n0} = 11.66 / 132.25 = 0.0882$$

$$C = X_{g0} + X_{z0} // X_{n0} = 48.26 / 529 = 0.0912$$

$$D = X_{z0} + X_{g0} // X_{n0} = 6.16 / 132.25 = 0.0466$$

根据上述实验值得变压器高、中、低压侧零序电抗的标么值分别为:

$$X_{g0} = A - X_{n0} = 0.0851$$

$$X_{z0} = B - X_{n0} = 0.0031$$

$$X_{n0} = \sqrt{B(A - C)} = 0.0851$$

$$D = X_{z0} + X_{n0} // X_{g0} = 0.0463$$

计算方法同 2.2,只是此时计算的  $X_{n0}$  为变压器平衡绕组的零序阻抗,而非变压器的低压侧零序阻抗,此值不能与变压器低压侧正序阻抗作比较。

### 3 小结

变压器的零序电抗作为继电保护整定计算的重要参数,是保证电网继电保护及安全自动装置正确动作的重要依据,它与变压器组的接线组别和铁芯结构等各种因素有关,一般建议取实测值。

### 参考文献

- [1] 戈东方. 电力工程电气设计手册,电气一册.北京:中国电力出版社,1989.  
GE Dong-fang. Electric Design Manual of Power Engineering.Beijing: China Electricity Press,1989.
- [2] 袁凌. 变压器零序阻抗的实测及计算[J]. 河北电力技术,2002,(03):18-21.  
YUAN Ling. Actual Measurement and Calculation of Zero-sequence Impedance of Transformer[J]. Hebei Electric Power, 2002,(3): 18-21.

收稿日期:2008-09-24; 修回日期:2008-10-31

作者简介:

王莉(1967-),女,高级工程师,长期从事电力系统继电保护研究及计算工作; E-mail:wangli6710@126.com

刘明予(1966-),男,工程师,长期从事电力系统调度及继电保护管理工作;

张予鄂(1963-),女,高级工程师,长期从事电力系统继电保护研究及计算工作。