

10kV 系统对地电容电流的测试

郑南雁, 楚方求, 程友发

(华中理工大学电力技术研究所, 湖北 武汉 430074)

摘要: 介绍了一种测试 10kV 系统电容电流的简便方法。只需稍微改动即可应用于 35kV 系统电容电流的测试。依照本文测量方法再智能化, 即可成为一个电容电流测试仪的产品设计。

关键词: 电容电流; 单相接地; 消弧线圈

中图分类号: TP206⁺.1; TM835

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)09-0056-03

1 问题的提出

10kV 系统由于单相接地时, 引起的弧光过电压, 发展成为三相短路, 造成供电中断, 甚至危及人身安全, 这些事故在电力系统中, 是屡见不鲜的, 因此要求, 10kV 系统电容电流超过 20A, 应装消弧线圈, 但电容电流是按线的长度估算, 往往不准确, 还有的用户, 为保护设备, 10kV 每相对地还并联高压电容, 这种情况, 便更难估算准确了。10kV 系统电容电流的测试, 不如 35kV 系统那么简单方便, 而采用单相接地又不安全, 为此有必要对 10kV 系统电容电流的测试方法进行探讨。

2 测试电容电流的接线

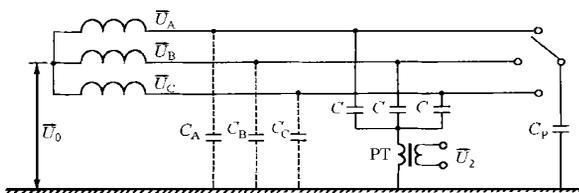


图 1

U_A, U_B, U_C —— 10kV 系统三相相电压。

C_A, C_B, C_C —— 10kV 系统三相对地电容量。

U_0 —— 采用对地电容的不平衡星形接线, 是为了引出 10kV 系统中性点位移电压。

C —— 专供测量用的电容星形接线, 目的是引出 10kV 中性点, 要求每相电容值的相对误差值要小于 0.2%~0.4%, 每相电容的绝缘水平能承受 1.5 × 10kV 工频耐压。

C_P —— 并入测量相的对地电容, 能承受 1.5 × 10kV 的工频耐压。

U_{0A}, U_{0B}, U_{0C} —— 当 C_P 按顺序并入 A、B、C 时,

所测得的中性点位移电压有效值。

PT —— 测试用 6000/100 的电压互感器。

3 测试方法

由于 10kV 系统从中性点引出, 不能直接测试中性点的位移电压, 为此需由等值电容 C 组成的星形结线, 引出中性点, 做为 10kV 系统中性点位移电压的测量。

10kV 电源虽然是对称的, 但由于三相对地电容的不对称, 致使 10kV 中性点对地出现电压, 名为位移电压 \dot{U}_0 , 由电容组 C 中性点所测得电压, 即为 \dot{U}_0 的有效值 U_0 。

在上图中, 按基尔霍夫第一定律 $\sum I = 0$, 取 0 点有:

$$I_{0(a)} + I_{0(b)} + I_{0(c)} = 0$$

$$\text{即: } (U_A - U_0) j C_A + (U_B - U_0) j C_B + (U_C - U_0) j C_C = 0$$

$$U_A C_A + U_B C_B + U_C C_C = U_0 (C_A + C_B + C_C)$$

各相电压以 U_A 为基准, 则: $U_B = \sqrt{2} U_A$, $U_C = U_A$

$$\text{其中: } \sqrt{2} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad \sqrt{2} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2},$$

$$1 + \sqrt{2} + \sqrt{2} = 0$$

代入后可得:

$$U_A C_A + \sqrt{2} U_A C_B + U_A C_C = U_0 (C_A + C_B + C_C)$$

$$\text{即: } U_A (C_A + \sqrt{2} C_B + C_C) = U_0 (C_A + C_B + C_C)$$

$$\text{即: } \frac{U_0}{U_A} (C_A + C_B + C_C) = C_A + \sqrt{2} C_B + C_C \quad (1)$$

由(1)式可知, 如果 $C_A = C_B = C_C$, 即三相对地电容对称, 则中性点的位移电压 $U_0 = 0$, 实际上, 三

相对地电容的不对称度并不大,所以 U_0 很小。

如将测试电容 C_P 并入 A 相,致使三相对地电容更不对称,又出现新的位移电压 U_{0A} ,由电容组 C 中性点测得的电压,即为 U_{0A} 的有效值 U_{0A} 。

如上同理,在 O 点,根据 $\sum I = 0$ 的原理,同样可得:

$$\frac{U_{0A}}{U_A} (C_A + C_B + C_C + C_P) = C_A + C_P + \sqrt{2} C_B + C_C \quad (2)$$

由上式可知,因 $C_A + \sqrt{2} C_B + C_C$ 很小,如取 C_P 为每相对地电容的平均值,则: $U_{0A} = U_P/4$ 。

架空线路电容电流可按下式估算

$$I_C = (2.7 \sim 3.3) U_N \times L \times 10^{-3} \text{ (A)}$$

$$\text{或 } I_C = \frac{U_N \times L}{350} \text{ (A)}$$

式中: U_N : 线路额定线电压 (kV)

L : 线路长度, (km)

系数 2.7 适用于无避雷线的线路, 3.3 适用于有避雷线的电线电缆线路, 电容电流可按下式估算。

电缆线路电容电流可按下式估算:

$$I_C = \frac{U_N \times L}{10} \text{ (A)}$$

由上可知,测试中的中性点位移电压值,最小只有几十伏,最大可接近 1500 伏左右,测试时,如出现单相接地,则位移电压为 $I_C = 10\text{kV}/\sqrt{3}$,由于电压变化幅度大,从安全出发,测试电压时采用 6000/100PT,还可使电容组 C 的中性点对地阻抗,不致由于测量仪表的接入,而过分下降,带来测量误差。

同样,把 C_P 依次接入 B 相, C 相有:

$$\frac{U_{0B}}{U_A} (C_A + C_B + C_C + C_P) = C_A + \sqrt{2} (C_B + C_P) + C_C \quad (3)$$

$$\frac{U_{0C}}{U_A} (C_A + C_B + C_C + C_P) = C_A + \sqrt{2} C_B + (C_C + C_P) \quad (4)$$

将 $U_0 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$, $U_0^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ 代入(1)式有:

$$\frac{U_0}{U_A} (C_A + C_B + C_C) = C_A + (-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}) C_B +$$

$$(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}) C_C$$

上式两边的模值应相等:

$$\frac{U_0}{U_A} (C_A + C_B + C_C) =$$

$$\sqrt{(C_A - \frac{1}{2} C_B - \frac{1}{2} C_C)^2 + (-\frac{\sqrt{3}}{2} C_B + \frac{\sqrt{3}}{2} C_C)^2}$$

$$\text{即: } \frac{U_0}{U_A} (C_A + C_B + C_C) =$$

$$\sqrt{C_A^2 + C_B^2 + C_C^2 - C_A C_B - C_B C_C - C_A C_C}$$

将两边平方可得:

$$\frac{U_0^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C)^2 = C_A^2 + C_B^2 + C_C^2 - C_A C_B -$$

$$C_B C_C - C_A C_C \quad (5)$$

按照上述推理,将 $U_0 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$, $U_0^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ 值代入(2)、(3)、(4)三式中可得:

$$\frac{U_{0A}^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C + C_P)^2 = C_A^2 + C_B^2 + C_C^2 + C_P^2 - C_A C_B - C_B C_C - C_A C_C + 2 C_A C_P - C_B C_P - C_C C_P \quad (6)$$

$$\frac{U_{0B}^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C + C_P)^2 = C_A^2 + C_B^2 + C_C^2 + C_P^2 - C_A C_B - C_B C_C - C_A C_C + 2 C_B C_P - C_A C_P - C_C C_P \quad (7)$$

$$\frac{U_{0C}^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C + C_P)^2 = C_A^2 + C_B^2 + C_C^2 + C_P^2 - C_A C_B - C_B C_C - C_A C_C + 2 C_C C_P - C_A C_P - C_B C_P \quad (8)$$

将(5)分别代入(6)、(7)、(8)三式可得:

$$\frac{U_{0A}^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C + C_P)^2 = \frac{U_0^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C)^2 + C_P^2 + 2 C_A C_P - C_B C_P - C_C C_P \quad (9)$$

$$\frac{U_{0B}^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C + C_P)^2 = \frac{U_0^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C)^2 + C_P^2 + 2 C_B C_P - C_A C_P - C_C C_P \quad (10)$$

$$\frac{U_{0C}^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C + C_P)^2 = \frac{U_0^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C)^2 + C_P^2 + 2 C_C C_P - C_A C_P - C_B C_P \quad (11)$$

将(9)、(10)、(11)三式相加可得:

$$\frac{(U_{0A}^2 + U_{0B}^2 + U_{0C}^2) (C_A + C_B + C_C + C_P)^2}{U_A^2} = \frac{U_0^2}{U_A^2} (C_A + C_B + C_C)^2 + 3 C_P^2 \quad (12)$$

为了书写方便,再做如下假设:

$$U_{\Sigma} = U_{0A}^2 + U_{0B}^2 + U_{0C}^2, C_{\Sigma} = C_A + C_B + C_C$$

由此可将(12)式简写为:

$$\frac{U_{\Sigma}(C_{\Sigma} + C_P)^2}{U_A^2} = \frac{U_0^2}{U_A^2} C_{\Sigma}^2 + 3 C_P^2 \quad (13)$$

解(13)式此二元一次方程可得:

$$C_{\Sigma} = \frac{\sqrt{\beta(U_0^2 + U_A^2)(U_{0A}^2 + U_{0B}^2 + U_{0C}^2) + 9U_0^2 U_A^2} - U_{0A}^2 - U_{0B}^2 - U_{0C}^2}{U_{0A}^2 + U_{0B}^2 + U_{0C}^2 - 3U_0^2} \cdot C_P \quad (14)$$

式中的 $U_0, U_{0A}, U_{0B}, U_{0C}, U_A$ 都是已测得的电压有效值,代入(14)式即可算出 C_{Σ} ,由此可计算出该 10kV 电网的电容电流:

$$I_C = 2 f C_{\Sigma} U_A$$

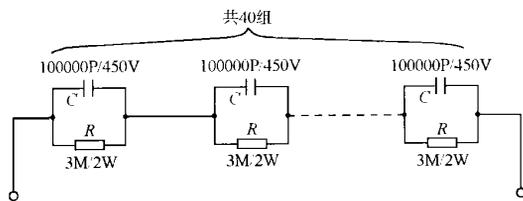


图 2

4 注意事项

4.1 为使测量所得的 U_{0A}, U_{0B}, U_{0C} 值大一些,以减少测量误差,在测试时最好按线路长度将对地电容

算一下,取 C_P 约为每相对地电容值,则中性点的位移电压接近 $U_A/4$ 。

4.2 为保证测试结果的准确性,测试中的关键问题是电容组 C 三相电容值相对不平衡度不大于 0.4%,否则电容器组 C 的不平衡所引起的 10kV 电网中性点位移叠加在原有的位移电压上,测试结果就不准确 (0.1μF/450V, 3M/2W)。

5 结束语

以上测试方法简便可行,当 10kV 电网正常运行时,即可进行测试并不影响安全供电,即便在测试过程中 10kV 系统发生单相接地,中性点位移电压升到 $U = 10 / \sqrt{3}$ kV,由于在电容组 C 的中性点与地之间接入 6000/100 的 PT 缘故,也不会危及人身安全。测试参数只取有效值,电压表尽量采用内阻稍高的普通表计即可。

收稿日期: 2000-03-15

作者简介: 郑南雁(1964-),男,硕士,总工程师,从事电力系统自动化及继电保护的研究; 楚方求(1966-),硕士,从事电力系统自动化及继电保护的研究; 程友发(1965-),男,硕士,高级工程师,从事电力系统自动化及继电保护的研究。

Measuring of ground capacitive current of 10kV system

ZHENG Nan-yan, CHU Fang-qiu, CHENG You-fa

(The Institute of Electrical Engineering of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: This paper presents a simple method of measuring ground capacitive current of 10kV system, which may be applied to 35kV system without much modification. It may as well be applied to the design of ground capacitive current measuring equipment.

Key words: capacitive current; single phase ground; arc-suppression coil

(上接第 55 页)

Analysis of the protection overreaching mal-operation caused by CT saturation

SUN Jian-hua, KUANG Hua

(Yunnan Diantong Power Bureau, Qujing 655000, China)

Abstract: The mal-operation of the protection caused by CT saturation is analyzed in this paper, and its solving way is proposed.

Key words: CT saturation; mal-operation of the protection; analysis