

消弧线圈接入后一次系统不平衡加剧原因分析

刘清凡

(辽阳供电公司继电保护所, 辽宁 沈阳 111000)

摘要: 通过对西辽阳 10 kV 消弧线圈投运测试数据的分析, 结合消弧线圈的工作原理, 从理论上分析出 10 kV 系统不平衡加剧的原因, 查找 10 kV 消谐装置影响的因素, 并根据规程规定, 选择消弧线圈的最佳运行档位。

关键词: 数据; 消弧线圈; 不平衡

中图分类号: TM712 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)03-0079-04

1 消弧线圈测试接线图及测试数据

1.1 消弧线圈测试接线图

2003年11月20日, 西辽阳 10 kV 消弧线圈接入 10 kV 南段母线后, 10 kV 北段 PT 接地刀闸在合位时, 10 kV 系统电压正常, 相电压为 6.0 kV; 合上 10 kV 南段 PT 接地刀闸, 10 kV 北段接地刀闸后, 10 kV 系统电压出现偏差 (10 kV 南段 PT 带消谐装置)。数据如表 1 (南段 PT 接地刀闸在合位)。

表 1 消弧线圈接入后 10 kV 系统电压

Tab 1 Voltage of 10 kV system after the arc-suppression coil connected

	A/kV	B/kV	C/kV	LN/kV
南段 PT	5.7	6.4	6.1	10.2
北段 PT	6.3	5.6	6.3	10.2

10 kV 消弧线圈未接入前, 10 kV 系统电压数据如表 2 (南段 PT 接地刀闸在合位)。

表 2 消弧线圈接入前 10 kV 系统电压

Tab 2 Voltage of 10 kV system before the arc-suppression coil connected

	A/kV	B/kV	C/kV	LN/kV
南段 PT	6.0	5.9	6.2	10.2
北段 PT	6.3	5.6	6.3	10.2

针对此种现象, 制定了周密的测试方案, 决定对西辽阳 10 kV 消弧线圈接入系统的各种状况进行测试, 从中找出 10 kV 系统不平衡加剧的原因, 并根据 10 kV 系统不平衡的规程允许值, 决定 10 kV 消弧线圈测控装置的运行定值。11月26日进行了测试, 消弧线圈投运的系统图如图 1 所示。测试接线图如图 2 所示。

1.2 消弧线圈测试数据

测试数据如下: 10 kV 南段 PT 带消谐装置时的测量值 (见表 3); 10 kV 南段 PT 消谐装置拆除时的测量值见表 4。

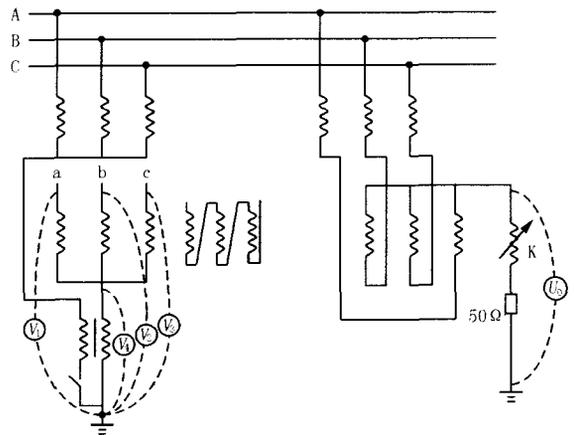


图 1 消弧线圈投运系统图

Fig 1 Diagram of arc-suppression coil operating system

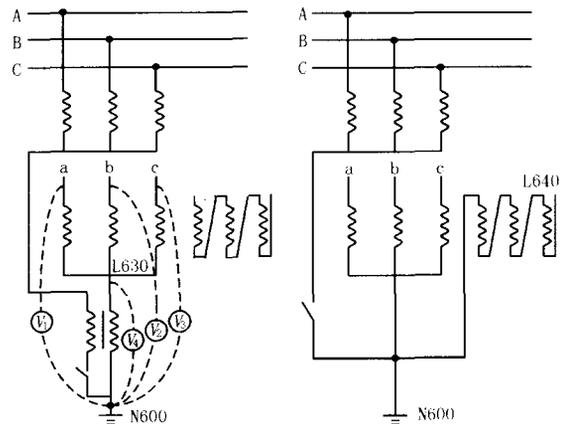


图 2 测试接线图

Fig 2 Diagram of testing connection

1.3 数据分析

通过表 3、表 4 数据可以看出如下几点。

- 1) 西辽阳 10 kV 系统在正常运行方式下, 已经不平衡。
- 2) 西辽阳 10 kV 消谐装置对 10 kV 系统有影

响:

a 10 kV南段 PT带消谐装置,接地刀闸不合时,中性点对地为 17 V。

b 10 kV南段 PT消谐装置拆除,接地刀闸不合时,中性点对地为 6.8 V。

c 10 kV南段 PT带消谐装置,接地刀闸在合位时,中性点对地为 8 V。

d 10 kV南段 PT消谐装置拆除,接地刀闸在合位时,中性点对地为 2 V。

表 3 10 kV南段 PT带消谐装置时的测量值

Tab 3 Measured numbers of the southern of 10 kV PT with resonance absorption equipment

序号	A相		B相		C相		N相		档位	位移 残流	电压	中性点 接地	备注	
	检测仪表 /V	指示仪表 /kV	检测仪表 /V	指示仪表 /kV	检测仪表 /V	指示仪表 /kV	检测仪表 /V	指示仪表 /kV						
1		6.01		6.00		6.03		0					两段 PT运行, 南母电压	
2		5.94		5.98		6.09		0.21				北	两段 PT运行, 北母电压	
3		5.92		6.23		6.01		0.11				母	南母 PT停电时, 仪表电压	
4	61.5		58		65		20					PT	南母 PT空载,二 次铅丝在断位	
5	61		65.5		55		18						南北母 PT并列	
6	61	6.61	59.5	5.72	63.5	6.26	17	0					解列后, 南母电压	
7	63	5.87	63.5	6.23	58	6.15	8	0						
8	60	6.0	64	6.31	57	5.96	8	0	6	7.39		南	测量的 南母 电压	
9	56	6.01	70	6.83	57.5	5.58	13	0	2	1.36	11.16	母		
10	58	6.08	66	6.45	58	5.85	10	0	3	8.73		PT		
11		6.26		5.98		6.39		2.17						档位在 2时的 北母仪表电压

表 4 10 kV南段 PT不带消谐装置时的测量值

Tab 3 Measured numbers of the southern of 10 kV PT without resonance absorption equipment

序号	A相		B相		C相		N相		档位	位移 残流	电压	中性点 接地	备注
	检测仪表 /V	指示仪表 /kV	检测仪表 /V	指示仪表 /kV	检测仪表 /V	指示仪表 /kV	检测仪表 /V	指示仪表 /kV					
1	60		62		59.5		4.4				4.15		南母 PT空载, 二次铅丝在断位
2	63	5.79	64	6.27	54	6.20	0.65				1.6	北	南北母 PT并列, 南母电压
3		5.81		6.23		6.20		0.19				母	南北母 PT并列, 北母电压
4	61.5	6.34	61	5.91	59	6.08	6.8				7.8	PT	解列, 南母电压
5		5.62		6.35		6.27		0.46					解列, 北母电压
6	62	6.12	62	6.00	57	6.14	2				1.5		南母电压
7		6.02		5.96		6.51		2.13					北母电压
8	60.5	6.03	63.5	6.12	56.5	6.07	0.2		6	0.8		南	南母电压
9		6.06		6.01		6.45						母	北母电压
10	61	5.78	66	6.36	54	6.03	5		2	2.85	5.74	PT	南母电压
11		6.05		5.97		6.41		2					北母电压
12	60		64		56		2		3	2.3			档位调整 3时 测量电压

3) 10 kV消弧线圈投运对 10 kV系统的影响:

a 10 kV南段 PT带消谐装置时, 10 kV消弧线圈投运使 10 kV系统的不平衡加剧, A相由 63 V变为 56 V、B相由 63.5 V变为 70 V、C相由 58 V变为 57.5 V、中性点由 8 V变为 13 V。

b 10 kV南段 PT拆除消谐装置时, 10 kV消弧线圈投运使 10 kV系统的不平衡加剧, A相由 62 V变为 61 V、B相由 62 V变为 66 V、C相由 57 V变为 54 V。中性点由 2 V变为 5 V。

2 消弧线圈的作用

我国的电力系统分为大电流接地系统和小电流接地系统。小电流接地系统在发生单相接地时, 电网可带故障运行, 这就大大降低了成本, 提高了供电系统的可靠性, 但这种供电方式在单相接地电流较大时容易产生弧光过电压和相间短路, 给供、用电设备造成极大的危害。防止这种危害的方法之一就是中性点和地之间串联一个电抗器, 这个电抗器就是通常所说的消弧线圈。它能有效减少接地点的电容电流, 从而达到自动熄弧的目的。

2.1 消弧线圈的调谐方法

主要分为以下几种: 人工调匝式; 调气隙式; 自动调匝式; 调容式; 自动磁式; 它励磁式。

2.2 消弧线圈的工作原理

电容电流是指中性点不接地供电系统的单相接地电流, 由于其主要成分是容性无功分量, 所以又称单相接地电容电流。

电容电流的危害:

1) 发生间歇性电弧接地时, 伴随相对地电容上的电荷积累, 会产生高幅值的过电压, 一般为相电压的 2~3.5 倍。

2) 在单相接地的暂态过程中, 会产生较大的接地电流, 这会使接地点的相间绝缘热破坏, 造成相间短路。

3) 单相接地电弧引起电压互感器励磁电流激增是引起电压互感器破坏的一个原因。

在中性点不接地电网中, 治理单相接地电容电流过大造成的危害的方法之一是在中性点加装消弧线圈, 消弧线圈的作用是当电网发生单相接地故障后, 提供一个电感电流 I_L 补偿接地电容电流 I_C , 使接地电流减小, 也使得故障相接地电弧两端的恢复电压速度降低, 达到自动熄灭电弧的目的。当消弧线圈正确调谐时, 不仅可以有效地减少产生弧光接地

的几率, 同时也最大限度地减少了故障点热破坏作用及接地过电压等。

对补偿系统的要求如下:

1) 在发生单相接地故障时, 补偿装置使流经故障点的残流减小, 尽可能只有主接地电流的有功分量和不能被补偿的高次谐波电流。

2) 在电网正常和故障情况下, 因中性点位移引起的相对地电压升高值不得危害电网的正常绝缘。

要达到第 1) 条的要求, 还必须实现对电网电容电流的自动跟踪问题, 而 1) 和 2) 两条又是矛盾的, 本装置采用动态补偿方法解决了这一矛盾。

2.3 消弧线圈接地系统的中性点位移

2.3.1 正常运行时的中性点电压位移

消弧线圈接地系统等效电路如图 3 所示。其中 L 是消弧线圈的电感, r_0 代表消弧线圈有功损耗的等效电阻。设三相电源电压完全平衡, 其值为 U_ϕ , 各相漏电阻相等 $r_a = r_b = r_c = r$ 且以 U_A 作为参考向量。

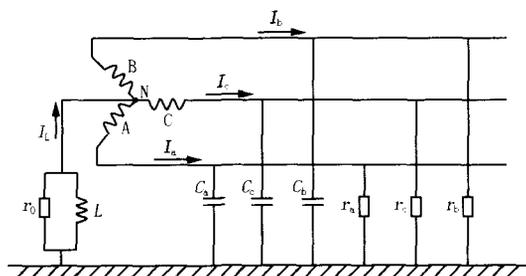


图 3 消弧线圈正常运行时的等值图

Fig 3 Equivalent digaram of arc-suppression coil in normal operation

$$U_N = - \frac{j(C_a + {}^2C_b + C_c)}{j(C_a + C_b + C_c) - j(1/L) + 1/r_0 + 3/r} \cdot U_a = - \frac{C_a + {}^2C_b + C_c}{C_a + C_b + C_c} U_\phi = \frac{(C_a + C_b + C_c) - 1/L}{(C_a + C_b + C_c)} - j1/R (C_a + C_b + C_c) - K U_\phi / (v - jd)$$

式中: 电网不对称度 $K = (C_a + {}^2C_b + C_c) / (C_a + C_b + C_c)$;

电网阻尼率 $d = 1/R (C_a + C_b + C_c)$;

电网脱谐度 $v = \frac{j(C_a + C_b + C_c) - j/L}{j(C_a + C_b + C_c)} =$

$$\frac{I_c - I_L}{I_c};$$

$$1/R = 3/r + 1/r_0$$

中性点位移电压的大小

$$U_N = \frac{K U_\phi}{\sqrt{v^2 + d^2}} = \frac{U_0}{\sqrt{v^2 + d^2}} \quad (1)$$

式中： U_0 为中性点未加消弧线圈时电网的自然不平衡电压。

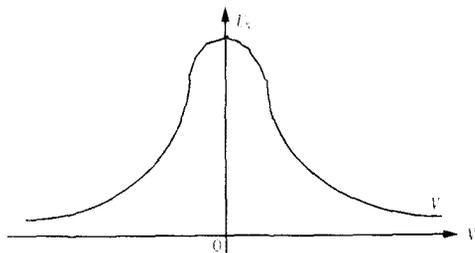


图 4 谐振曲线

Fig 4 Resonance curve

从式(1)可见,补偿系统中性点位移电压随着脱谐度变化而变化,其变化曲线即谐振曲线如图4所示。可见脱谐度越趋于零,中性点电压愈高。当 $v=0$ 即全补偿时,其值为 U_0/d 。所以加装消弧线圈后,对中性点位移电压起到了放大作用。脱谐度愈小,放大作用愈强,放大倍数约为 $10 \sim 40$ 倍。

2.3.2 故障时的中性点位移电压

当电网中出现单相断线,非全相合闸故障时, U_0 增大, U_N 将可能超过限值。另外,电网中出现非同期合闸或大型异步电动机投切操作都可能产生过电压,只有一点补偿电网同未补偿电网是相同的,即发生单相金属性接地时,中性点位移电压都是 U_0 。

2.3.3 向量图分析

由向量图分析同样可以得到相同的结论。如图5所示。

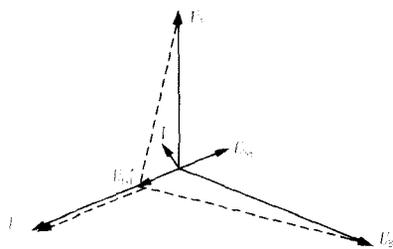


图 5 向量分析图

Fig 5 Diagram of vector analysis

假设在消弧线圈投运前系统已经不平衡,不平衡电压为 U_{bd} ,投入消弧线圈后,其不平衡电压为 U_{bd} 。由向量图可以看出,消弧线圈的投运加剧了系统的不平衡,原来电压偏大的更加大,电压偏小的更加小。

2.3.4 小结

1) 在电网正常运行情况下,正确调谐的消弧线圈对电网安全运行有利无害,为了满足正常中性点位移电压不超过某一限值的要求而不得不将消弧线圈的脱谐度整定在较大的数值,使接地残流加大,补偿效果降低。

2) 在电网发生断线故障,断路器非周期合闸事故或大型异步电机投切操作时,小脱谐度的消弧线圈使中性点电压位移比无功补偿电网严重得多,将出现危险的过电压。

3) 消弧线圈发挥有利作用是在电网出现单相接地后,并且脱谐度越小效果越好,最好实现全补偿。

可见 1)、2)和 3)条是矛盾的,如何解决这种矛盾呢?一种方法是增大电网阻尼率 d ,如采用消弧线圈并联或串联电阻接地方案,这种方案在生产实践中发挥了有益的作用,但是 d 增大必然造成接地残流增大。另外,附加大容量的电阻从设计到制造安装维护都有一定的困难。由于现代微电子科学和电力电子技术的发展,完全可以实现动态补偿方案,即在电网正常运行时,消弧线圈工作在远离谐振点位置,出现单相接地后,瞬间调整消弧线圈实施全补偿。

3 结论

由理论上可以分析出,10 kV消弧线圈投运时,西辽阳10 kV系统不平衡加剧是正常现象,只要不超出规程规定的15%即可。因此西辽阳10 kV消弧线圈可以运行在2档,残流为1.36 A,中性点二次电压13 V。为改善西辽阳10 kV系统的不平衡状况,在安装二次消谐装置后,拆除一次消谐装置。此时的残流为2.85 A,中性点二次电压为5 V。

参考文献:

- [1] 解广润. 过电压及保护 [M]. 北京: 电力工业出版社, 1980.
XIE Guang-run Over-voltage and Its Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1980.

收稿日期: 2004-06-02; 修回日期: 2004-09-07

作者简介:

刘清凡(1968-),男,工程师,从事继电保护运行管理工作。E-mail: lqf1920@163.com

(下转第 88 页 continued on page 88)

- [J]. Guangdong Electric Power, 2004, 17(1): 14-16
- [34] 陈莉, 牛东晓, 董双武. 电力消费影响因素评价的改进灰色关联分析[J]. 华北电力大学学报, 2003, 30(1): 61-64
CHEN LI, NIU Dong-xiao, DONG Shuang-wu Improved Gray Relevant Analysis of Influencing Factors Evaluation in Electric Power Consumption[J]. Journal of North China Electric Power University, 2003, 30(1): 61-64
- [35] 刘赛, 陈光东. 层次分析法在电力负荷组合预测中的应用[J]. 长沙电力学院学报, 2002, 17(4): 41-43
LU Sai, CHEN Guang-dong Application of AHP on the Electric Power Load Combination Forecasting[J]. Journal of Changsha University of Electric Power, 2002, 17(4): 41-43
- [36] ZHOU Ren-jun, DUAN Xian-zhong Optimal Combined Load Forecast Based on the Improved Analytic Hierarchy Process[J]. Power System Technology, 2002, (2): 1096-1100
- [37] Clarke R R. Validation and Legitimation of an Analytic Hierarchy Approach to Integrated Resource Planning for Electric Utilities[A]. Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. 1997. 2197-2201.
- [38] Clarke R R. Choosing an Integrated Resource Plan for Electric Utilities: An Analytic Hierarchy Approach [A]. Proceedings of the Intersociety Energy Conversion Engineering Conference. 1996. 1592-1597.
- [39] Farghal S A, Kandil M S, Elmitwally A. Quantifying Electric Power Quality via Fuzzy Modelling and Analytic Hierarchy Processing [J]. IEE Proceedings on Gener, Transm and Distrib, 2002, 149: 44-49
- [40] 周任军, 万天林, 杨宇, 等. 基于 AHP 的电网公司综合评价体系的研究 [J]. 中国电力, 2002, 35(9): 39-43
ZHOU Ren-jun, WAN Tian-lin, YANG Yu, et al Evaluation System for Assessment of Integrated Strength in Grid Company Based on AHP [J]. Electric Power, 2002, 35(9): 39-43
- [41] 邹小燕. 电力行业用户满意度指数模型的构建与测算 [J]. 电力需求侧管理, 2003, 5(1): 30-33
ZOU Xiao-yan Constructing and Calculating the Customer Satisfaction Index of Chinese Electricity Industry [J]. Power DSM, 2003, 5(1): 30-33

收稿日期: 2004-06-17; 修回日期: 2004-08-24

作者简介:

赵云飞 (1978 -), 女, 硕士研究生, 主要从事电力系统负荷预测方向的研究; E-mail: zhao_yun_fei@sohu.com

陈金富 (1972 -), 男, 博士后, 主要从事电网规划及运行, FACTS 技术等方向的研究;

郭文利 (1977 -), 男, 助理工程师, 从事电力系统继电保护培训及管理工作。

The analytic hierarchy process and its application in power decision making system

ZHAO Yun-fei¹, CHEN Jin-fu¹, GUO Wen-li²

(1. College of Electric and Electronic Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China;

2. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: Judgement matrix is used to quantify various qualitative influential factors by AHP, and combines quantitative information to synthetically solve problem. This paper introduces principle, characteristic and improvement of AHP, which has developed more than twenty years. To the primary application of AHP in power decision-making system, study and application status are summarized in this paper. It also points out that the proposed method in power system planning, corporation evaluation system in power market environment and load forecasting may have a good prospect in power industry combining with other methods.

Key words: analytic hierarchy process; power system; judgement matrix

(上接第 82 页 continued from page 82)

Analysis of reason for the aggravation of primary system after arc-suppression coil connected

LU Qing-fan

(Institute of Relay Protection, Liaoyang Power Supply Co., Ltd, Shengyang 111000, China)

Abstract: Based on the data analysis of 10kV arc-suppression coil operation in the western of Liaoyang and working principle of arc-suppression coil, the reason for the aggravation of 10kV system's imbalance is analysed in theory. The influences of harmonics filter are found out, and the best operation grade of arc-suppression coil is selected according to the rules of operation.

Key words: data; arc-suppression coil; imbalance