

残流增量法在调匝式消弧线圈接地系统中的可行性分析

姜铁卫, 杨锐, 夏磊

(国电南瑞科技股份有限公司, 江苏南京 211106)

摘要:通过分析调匝式消弧线圈运行中任意两档之间的级差电压变化特征,对采用残流增量法接地故障选线原理的可行性进行分析论证。首先在低压模拟环境中对比理论计算和实际测试数据,验证采用理论方法计算级差电压的可行性,最后以实际工程应用为例,分析其级差电压变化情况,为该方法实际应用提供理论和实践依据。

关键词:残流增量法;调匝式消弧线圈;故障选线

中图分类号:TM76

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2016)04-0064-03

随着城镇化的大力推进,城镇配电网规模越来越大,发生单相接地时接地电容电流较大,熄弧困难,弧光过电压造成的危害越来越严重^[1],为了提高供电可靠性,其中性点接地方式也逐步改为消弧线圈接地方式。根据国家电网公司设备招标情况,目前以调匝式消弧线圈应用最为广泛,占比达90%以上^[2]。对于消弧线圈接地的电网,其选线保护完全不同于不接地电网,其难度更大。文献[3,4]中总结了当前应用于谐振接地系统的各种选线原理,以注入法应用效果较好,其中残流增量法通过故障时动态调节消弧消弧线圈的补偿度,为故障选线提供明显的突变量,保证了选线的准确可靠。调匝式消弧线圈补偿度的调节需要依靠有载分接开关调档来实现,但其通常只在电网正常运行时进行动作,完成电容电流的调谐计算功能,发生接地故障后一般不允许调档动作^[5],因此应用残流增量法实现消弧线圈接地系统的故障选线功能,首先必须对故障情况下调档的可行性进行分析和验证。

1 残流增量法介绍

残流增量法是一种基于自动跟踪补偿消弧线圈的单相接地故障选线方法^[3]。其基本原理是在发生接地故障后,微调消弧线圈的补偿度,引起接地点残流发生变化,而该残流只反映在故障线路的零序电流中,因此通过比较各条线路零序电流在调节前后的变化就可确定故障线路。目前实际应用中的自动跟踪补偿消弧线圈以调匝式消弧线圈为主,调匝式消弧线圈微调补偿度的方法通过有载分接开关改变消弧线圈的抽头实现的,而有载分接开关通常按照正常运行的电网状态设计,因此在发生接地故障后,需要分析有载分接开关调节的限制因素。

2 故障调档限制因素分析

目前应用中的消弧线圈成套设备包含消弧线圈本体、阻尼电阻、有载分接开关、调谐控制器以及相关附

件,如图1所示。正常运行时调谐控制器通过有载分接开关实现消弧线圈抽头的选择,进而实现电容电流测算功能。

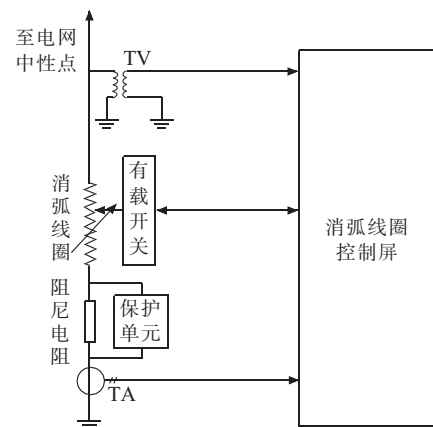


图1 消弧线圈成套设备

2.1 有载开关调档原理

通常消弧线圈与有载开关大多采用中部调压方式,消弧线圈绕组分为上下2个分别带有抽头的2个绕组,其对应抽头通过有载分接开关实现档位的选择^[6],如图2所示。

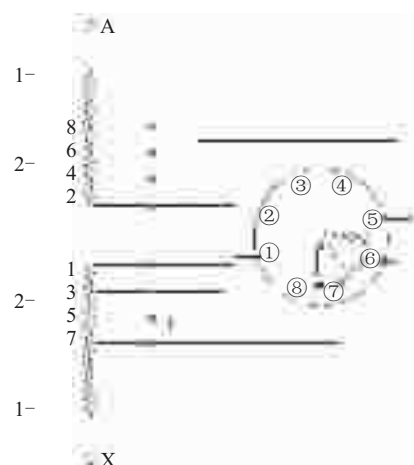


图2 中部调压方式示意图

为了减少档位切换过程中由于不同抽头间的压差导致触头产生电弧,影响触头寿命,首先通过一过渡电阻与将要切换的档位连接,同时对操作弹簧进行储能,

然后依靠弹簧快速将触头从原档位切换至目的档位。

2.2 故障调档限制因素

有载开关调档主要受限于级差电压和最大电流调节范围,电网正常运行中性点只有很小的不平衡电压,因此消弧线圈输出的电流也很小,一般都在有载开关的设计参数范围内。电网发生接地故障后图1中的阻尼电阻迅速被切除,理论上消弧线圈两端的电压为系统相电压,此时级差电压和消弧线圈输出电流与正常运行时相比有较大变化,由于有载开关最大调节电流按照消弧线圈最大输出电流设计,因此电流肯定满足。但是故障时级差电压是否满足有载分接开关的设计参数需要进行分析验证,这也是决定残流增量法选线原理是否能够应用的关键。

3 故障调档级差电压分析

如前所述,调匝式消弧线圈实际为带抽头的电抗器,这里假设共有 N 档,那么根据电磁感应定律,当消弧线圈处于 n 档时,第 n 档和第 $n-1$ 档的级差电压 ΔU_{n-1} 为:

$$\Delta U_{n-1} = U_n \times \left(\frac{N_{n-1}}{N_n} - 1 \right) \quad (1)$$

第 n 档和第 $n+1$ 档的级差电压 ΔU_{n+1} 为:

$$\Delta U_{n+1} = U_n \times \left(1 - \frac{N_{n+1}}{N_n} \right) \quad (2)$$

式(1,2)中: U_n 为消弧线圈处于第 n 档时消弧线圈两端电压; N_n 为消弧线圈第 n 档的消弧线圈匝数; N_{n-1} 为消弧线圈第 $n-1$ 档的消弧线圈匝数; N_{n+1} 为消弧线圈第 $n+1$ 档的消弧线圈匝数。

由于实际消弧线圈铭牌上的参数为额定电压下每一档的电流值,所以对于式(1)和式(2)需要转为电流形式,设第 n 档的电流值为 I_n ,则:

$$I_n = \frac{U_N}{\omega L_n} \quad (3)$$

式(3)中: U_N 为消弧线圈额定电压; L_n 为第 n 档的电感值; ω 为角频率。

式(3)中 L_n 为:

$$L_n = \frac{N_n^2 \mu s}{l} \quad (4)$$

式(4)中: μ 为磁芯磁导率; s 为磁芯截面积; l 为磁芯磁路长度。

对于特定的消弧线圈均为常数,那么整理式(1—4)可得:

$$\Delta U_{n-1} = U_n \times \left(\sqrt{\frac{I_n}{I_{n-1}}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$\Delta U_{n+1} = U_n \times \left(1 - \sqrt{\frac{I_n}{I_{n+1}}} \right) \quad (6)$$

式(5)和式(6)即为第 n 档与相邻2个档位的级差电压,实际应用中需要计算每一档与相邻两档之间的级差电压,验证其最大级差电压是否满足有载分接开关的级差电压。

4 故障调档级差电压验证

4.1 验证方法说明

为了验证上文所述级差电压分析的正确,可以按照如下步骤进行验证:

(1) 首先根据消弧线圈的参数,应用式(5)和式(6)中的方法计算级差电压值;

(2) 然后实测试验数据,且在每一个档位下模拟金属性接地故障,测量运行档位与前、后档位的级差电压值;

(3) 对比分析上面步骤(1)和步骤(2)的2组数据,验证第2节所述理论分析方法是否可行。

由于实际运行中电网一般不可能进行步骤(2)的操作,因此本文通过搭建低压模拟环境进行分析验证。

4.2 低压模拟验证

在220V低压条件搭建测试环境,其消弧线圈15档,额定电压为220V,补偿电流1.78~15.64A,有载分接开关级差电压为300V,通过理论计算和实际测试记录各档位级差电压,如表1所示。

表1 级差电压实测与理论计算值

档位	补偿电流/A	与后一档级差电压/V		与前一档级差电压/V	
		实测值	计算值	实测值	计算值
1	1.78	39.41	39.66	—	—
2	2.72	29	28.40	47.8	48.77
3	3.53	23.13	26.50	33.07	32.62
4	4.5	18.68	18.19	26.45	31.17
5	5.45	16.77	15.87	20.2	19.77
6	6.26	13.86	13.95	17.74	16.81
7	7.24	12.28	13.43	14.58	14.86
8	8.37	10.6	7.99	12.92	14.35
9	8.96	10.5	13.83	11.54	8.25
10	10.16	9.44	9.72	10.96	14.77
11	11.49	7.91	10.60	9.66	10.05
12	12.06	8.32	10.12	8.36	11.43
13	13.41	6.22	10.80	8.57	10.57
14	15.22	6.79	6.45	6.76	11.37
15	15.64	—	—	6.95	6.65

由表1可见,理论值与实测值的变化趋势一致,多数档位下2者的数值差别不大,因此理论计算值具有参考意义,可以作为实际运行中的方案论证依据。

4.3 实际工程应用分析

以实际工程为例,对其故障调档的可行性进行理论分析。上海松江某 35 kV 变电站相关参数如表 2、表 3 所示。

表 2 消弧线圈参数

设备	型号	额定电压 /kV	容量 /kV·A	档位	调节范围 /A
消弧线圈	XDZ1-500/10-14	10	500	14	20~80

表 3 有载分接开关参数

设备	型号	额定电压 /kV	档位	级差电压 /V
有载分接开关	DYJZ II-10/100-14	10	14	600

根据第 3 节中的理论计算方法,结合该工程的实际参数,计算相关级差电压,如表 4 所示。

表 4 级差电压理论计算

档位	补偿电流 /A	与后一档级差电压 /V	与前一档级差电压 /V
1	20	567.76	—
2	24.6	474.28	629.68
3	29.2	407.27	516.72
4	33.8	363.91	438.18
5	38.5	316.82	388.38
6	43.1	285.47	335.21
7	47.7	259.77	300.32
8	52.3	238.31	272.00
9	56.9	220.13	248.57
10	61.5	208.74	228.86
11	66.2	190.72	216.57
12	70.8	182.61	197.24
13	75.5	164.74	188.57
14	80	—	169.58

由表 4 可见,级差电压的变化范围为 164.74~629.68 V,最小值为 164.74 V(从 13 档调至 14 档的情况下),最大值为 629.68 V(从第 2 档调至第 1 档的情况下),该工程中有载开关的级差电压要求不大于 600 V,因此除了第 1 档与第 2 档之间的级差电压超出范

围外,其余各档均满足该参数的要求。实际应用时可以根据理论计算结果闭锁不满足故障调档的档位,保证设备的安全运行。

5 结束语

本文对基于调匝式消弧线圈的残流增量法故障选线原理实际可行性进行了论证分析。首先分析了在故障情况下消弧线圈动作的限制因素,即消弧线圈任意两档间的级差电压需要满足有载分接开关的设计要求,其次分析消弧运行中任意两档之间的级差电压变化与相应档位输出电流之间的关系,并在低压模拟环境中对比理论计算和实际测试数据,验证理论分析级差电压方法的可行性,为该方法实际应用提供理论和实践依据,最后以实际工程为例,分析了其级差电压变化情况,在级差电压不满足的档位可以闭锁故障调档功能。

参考文献:

- [1] 颜建国,平少勋. 弧光接地过电压的分析方法探讨[J]. 江苏电机工程,2012,31(2):62-64.
- [2] 国家电网公司. 国家电网公司变电项目 2015 年第六批货物集中招标—消弧线圈[EB/OL].(2015-11-16)http://ecp.sgcc.com.cn/html/project/014001001/899000000000073019.html.
- [3] 程路,陈乔. 小电流接地系统单相接地选线技术综述[J]. 电网技术,2009,33(18):219-224.
- [4] 张明,刘建政,梅红明,等. 谐振型电网单相接地故障消弧及选线研究[J]. 电网技术,2011,30(1):36-40.
- [5] 国家电网公司. 10~66 kV 消弧线圈管理规范[M]. 北京:中国电力出版社,2006:4-6.

作者简介:

- 姜铁卫(1987),男,陕西富平人,工程师,研究方向为配电网故障检测研究与设备研发;
杨锐(1984),男,江苏扬州人,工程师,研究方向为配电网接地系统及故障识别技术;
夏磊(1988),男,江苏扬州人,工程师,研究方向为配电网接地系统及故障识别技术。

Feasibility Analysis of Residual Current Increment for Fault line Detecting in Multi-tap Arc-suppression Coil Grounding System

JIANG Tiewei, YANG Rui, XIA Lei

(NARI Technology Co. Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: This paper studies the feasibility of residual current increment for fault line detecting by analyzing the differential voltage between two stalls of multi-tap arc-suppression coil. Firstly, the differential voltages in the low voltage simulation model of theoretical calculating and from the practical measuring are compared to verify the feasibility of theoretical arithmetic for differential voltage calculation. Then, taking an actual engineering as an example, the change of differential voltage is analyzed, which provides a theoretical and practical basis for practical application of residual current increment.

Key words: residual current increment; multi-tap arc-suppression coil; fault line detecting