

35 kV 电网单相接地故障电弧自灭特性模拟试验研究

吴盛刚,李玉春,杨海芳,李 炜
(中国电力科学研究院,北京 100192)

摘要:提出了一种在网络试验站模拟 35 kV 电网单相接地故障电弧自灭特性的试验线路。采用了中性点绝缘和中性点经消弧线圈接地 2 种接线方式,其自灭电流分别为容性和感性,经过 100 多次的研究试验,取得了较满意的效果,为 35 kV 电网的正常可靠运行提供了有实用价值的数据库。

关键词:接地故障;自灭电流;消弧线圈;中性点

中图分类号:TM743

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)03-0045-03

为了研究 35 kV 架空线路在安装防雷间隙的情况遭受雷击等原因所产生的单相接地故障电弧的自灭特性,在中国电科院大功率试验站建立了等价的模拟试验线路,并开展了研究试验。众所周知,6~35 kV 配电网通常都属于中性点非有效接地系统,在遭受雷击等原因所产生的单相接地故障,其接地电流较大时,很难自灭或自灭时间很长,因此我国 35 kV 电网运行规程规定,接地电流应不超过 10 A,但随着电网规模的扩大以及电容电流的增大,中性点不接地运行电网的瞬时性接地故障不能自动消除,断续性电弧接地使系统承受危害绝缘的过电压。通常采用中性点经消弧线圈接地的方式来解决这一问题,这样就使发生单相接地故障的接地点的电容电流得到消弧线圈电感电流的补偿,因此残余电流较小,电弧就容易熄灭^[1-3]。

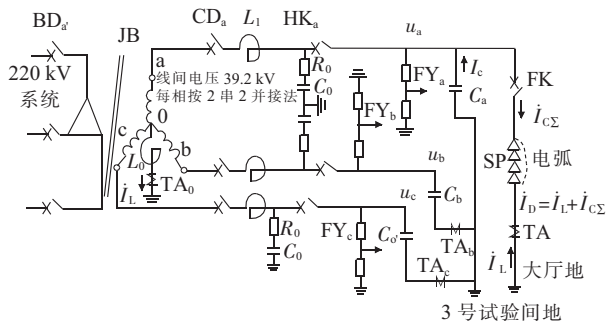
1 试验目的和模拟试验线路

1.1 试验目的

试验目的是通过试验确定安装防雷间隙后,35 kV 线路单相遭雷击击穿后所产生的接地电弧能自行熄灭的最大电流,并且与未装防雷间隙的自灭电流相比有无明显差异。中性点绝缘时为容性电流,经消弧线圈接地时为感性电流(采用过补偿方式)。

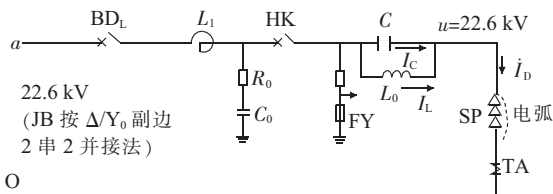
1.2 模拟试验线路

在中国电科院大功率试验站建立了专门的 35 kV 网络模拟试验线路,如图 1 和图 2 所示。对地分布电容由集中电容模拟,分三相对称布置,调节电容值的大小可方便地改变电容电流,在绝缘子串(被试品)连接细金属丝,通过辅助开关 FK 选相合闸,接通电流后细丝熔断起弧,观察拍照电弧自灭情况,并测量自灭电流波形和自灭持续时间以及起弧时的电源电压(接地相)相位角。图 2 试验方案中考虑的等值线路,实际未采用。



3 号试验间地
 $C_a=C_b=C_c$ 为相对地等值电容;TA 为电流互感器;FY 为测 u_a, u_b, u_c 的分压器; R_0 和 C_0 为调频电阻及电容;FK 为模拟接地故障用辅助开关; L_0 为消弧线圈;JB 为降压变压器;HK 为合闸开关;CD 为操作断路器;BD 为保护断路器;FY 为测量分压器;SP 为试品

图 1 三相模拟试验回路



C 为单相等值电容(其值为 $C_a+C_b+C_c$); L_0 为电感线圈;其余符号与图 1 相同

图 2 等值单相模拟试验回路

1.3 试验参数的选取及回路参数的计算

1.3.1 试验电压

选取本试验站短路变压器最接近要求值的一种接线方式,即 Δ/Y 接法,副边有中性点的星形接线,实际电压为 $u_a=39.2/\sqrt{3}=22.6$ kV。

1.3.2 试验电流

参照 35 kV 电网不同的运行工况,电容电流 I_C 逐次增大,从 10 A→15 A→20 A→25 A→30 A→40 A→50 A。直到不能自灭熄弧。

前一轮试验于 2007 年 6 月进行,采用中性点绝缘的运行方式,接地电流为容性, I_C 从 10 A 开始。

后一轮试验于 2008 年 3 月进行,采用中性点接入消弧线圈的过补偿运行方式,自灭电流从 $I_C=15$ A,

$I_L=25\text{ A}$ 开始 (消弧线圈分接开关采用 A_2-A_3 接法)。

1.3.3 电源回路

本课题模拟试验采用的电源回路阻抗选择是使回路短路电流不超过 30% 的额定短路开断电流,即 $12 \times 0.3 = 3.6\text{ kA}$ 。

电源回路电感:

$$L_1 = \frac{u}{\sqrt{3} \omega I} = \frac{39.2}{\sqrt{3} \times 314 \times 3.6} = 20\text{ mH}$$

1.3.4 电源回路瞬态恢复电压(TRV)特性

选取不超过相当于短路试验方式 T100 的 TRV 特性。即按 $f_0=2.9\text{ kHz}$, $K_0=1.4$ 来计算电源侧调频参数 R_0, C_0 , 则有:

$$C_0 = \omega I / (2\pi f_0)^2 u_p = 314 \times 3.6 / (2\pi \times 2.9)^2 \times 22.6 = 0.15\ \mu\text{F}$$

$$R_0 = -4L_1 f_0 \ln(K_0 - 1) = -4 \times 20 \times 2.9 \times (-0.916) = 212\ \Omega$$

1.3.5 电容回路参数的计算值及实接值

(1) 适用于三相模拟试验的电容回路参数及实接值,如表 1 所示。

表 1 三相模拟试验的电容回路参数计算及实接值

容性电流 /A	5	10	15	20	25
每相电容计算值 / μF	0.235	0.47	0.70	0.94	1.17
每相电容实接值 / μF	0.20	0.40	0.69	0.95	1.13
容性电流 /A	30	35	40	45	50
每相电容计算值 / μF	1.41	1.65	1.88	2.12	2.12
每相电容实接值 / μF	1.38	1.64	1.80	2.00	2.25

(2) 适用于等值单相模拟试验的电容回路参数及实接值,如表 2 所示。

表 2 单相模拟试验的电容回路参数计算及实接值

容性电流 /A	5	10	15	20	25
每相电容计算值 / μF	0.71	1.41	2.12	2.82	3.53
每相电容实接值 / μF	0.75	1.38	2.25	2.77	3.60
容性电流 /A	30	35	40(42.5)	45	50
每相电容计算值 / μF	4.23	4.94	5.64	6.35	7.05
每相电容实接值 / μF	4.50	5.14	(6.00)		7.20

1.4 试验程序及测量参数

1.4.1 操作程序

试验前:BD,CD 合闸;HK,FK 分闸。

试验时:由程控器控制 HK 合闸 0.1 s ,FK 选相合闸 $0.5 \sim 1\text{ s}$,FK 分闸 0.1 s ,HK 分闸。

试验结束后,通过测量分压器 FY ($30\text{ M}\Omega$) 放电,经过约 4 个时间常数充分放电后,再用接地棒挂接安全放电,之后方可接触试品。

1.4.2 试验方式及次数

每档电流(容性或感性)下做 20 次,用 FK 选相合闸,从 A 相电源电压的相位 0° 开始,至 360° ,每次变化 18° ,允差 $\pm 9^\circ$ 。

每次试验均通过小熔丝 (0.2 mm 镍铬丝 2 股) 引燃电弧,观察、拍照及测量电弧自灭工况。出现自灭时间较长 ($>0.5\text{ s}$ 以上) 及不能自灭熄弧的点(相位)上,视需要可重复 2 到 3 次。

1.4.3 主要测量参数

- (1) 电源回路试验电压 u_a, u_b, u_c ;
- (2) SP 两端的工频电压及 TRV;
- (3) 变压器副边中性点对地电压 u_0 ;
- (4) SP 自灭电流及通过消弧线圈的电流;
- (5) 监视 B 相及 C 相的容性电流;
- (6) SP 的燃弧时间(含熔化时间)。

2 模拟试验回路工况分析^[3,4]

(1) 无补偿措施时,从矢量图上可以看出,当发生单相接地故障时(或某相电容器组发生极间击穿时),试验回路各相中流过的电流值和相位均发生了变化,但仍为容性电流,只是故障相(A 相)电流为无故障时的 3 倍,非故障相的电流为无故障时的 $\sqrt{3}$ 倍,其电容器将承受线电压。

(2) 采用电感性元件进行补偿时,如在中性点接入一定数值的小电抗,等于在相间接入了电感性元件(电感电流),它正好与相间分布性电容电路形成补偿。这一方面降低了流过试品的电弧电流,同时也改变了恢复电压波形,降低它的数值,因而能有效地加速其自灭,缩短自灭时间。

(3) 当全补偿时,即 $I_L = I_{C\Sigma}$ 会引起串联谐振,导致中性点对地电压升高及系统过电压。当欠补偿时,即 $I_L < I_{C\Sigma}$,分 2 种情况,但故障相的接地电流不但大小变化,且方向是不固定的,当运行方式改变时,也有出现串联谐振的可能,故这种补偿方式很少采用。当过补偿时,即 $I_L > I_{C\Sigma}$,这种补偿方式没有发生过电压的危险,因而得到广泛应用。

(4) 等价性的问题。模拟试验回路产生的电压和容性电流与 35 kV 电网工况是等价的,但是用集中电容代替分布电容,流过试品的是正序电流而非零序电流,因电源中性点绝缘,且对地分布电容极小,可认为容抗为无穷大。这是对无补偿措施的工况而言的。

3 试验结果及分析

2007 年 6 月,采用本试验站所建立的三相模拟试验回路,在中性点绝缘、未接消弧线圈的工况下,对被试品进行了模拟单相接地故障电弧的容性电流

自灭特性研究试验,共做了近百次试验, I_c 从10 A开始,基本上(占90%以上次数)都能自灭。后将 I_c 增大到约18 A,则出现了相当大的不能自灭机率,并发现了一些规律,就是能否成功自灭(<1 s)与起弧瞬间电源电压的相位角有很大关系。试验表明在合闸相角的 180 ± 30 电度区间内电弧不易自灭,这是把自灭时间限制在 <0.5 s的条件下得出的,如果放宽至1 s,则自灭几率会增加。

2008年3月,采用了如图1所示的模拟试验回路,在中性点接入消弧线圈进行过补偿的方式,做了近20次试验,用FK按步长 18° 选相合闸, $I_D = I_L - I_C$,大约为10 A感性电流。试验进行非常顺利,全部次数均能够成功自灭,电弧持续时间在几个ms至0.7 s。因现在中压配电系统中都采用消弧线圈自动调谐的运行方式^[2,5],能保证接地电流 I_D 不会偏离10 A太多。

4 结束语

试验结果验证了35 kV电网运行规程规定接地电流应小于10 A的合理性和可靠性(这个规定值是引用原苏联相应电网的数据,我国并未严格进行过

这方面的验证研究)。因此,该试验研究结果对我国35 kV电网的正常安全运行,有一定现实意义。

参考文献:

- [1] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 上海:上海交通大学出版社,1995.
- [2] 张松,孙伟,陈文针. 消弧线圈自动调谐的研究[J]. 高压电器,1999,35(2),3-7.
- [3] 王章启,顾霓鸿. 配电自动化开关设备[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [4] 钱家骊,张节容,徐国政,等. 高压开关开合电容电流和小电感电流[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [5] 周行星,李福寿. 单相接地电容电流全状态自动补偿[J]. 高电压技术,1995,21(2),47-50.

作者简介:

吴盛刚(1939-),男,重庆人,高级工程师,从事高压电器试验回路研究及检测工作;

李玉春(1972-),男,辽宁人,高级工程师,从事高压开关试验研究及检测工作;

杨海芳(1974-),女,山西运城人,高级工程师,从事高压开关试验研究及检测工作;

李炜(1976-),男,河北保定人,工程师,从事高压开关试验研究及检测工作。

Research on the Simulation Experiment of the Character of Extinguishing in Single-Phase Earth Fault of 35 kV Power Network

WU Sheng-gang, LI Yu-chun, YANG Hai-fang, LI Wei

(China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: This paper proposes the run-lines to simulate the fault of single-phase earth of 35 kV power network in network test station. There are two connection modes, including neutral insulation and neutral earth with an arc suppression coil. The auto-reclosing current is capacitive and inductive separately. Some desired results are achieved through more than 100 research trials, which can provide practical value data for the normal and reliable operation of 35 kV power network.

Key words: earth fault; auto-closing current; arc suppression coil; neutral point

(上接第44页)

The Practical Application of 10 kV Power Cable Upgraded to 20 kV System

WEI Ming-qi, XU Jin-long, CHEN Hui, HAN Zhi-jian, JI Yu-wen

(Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215021, China)

Abstract: This paper briefly introduces the running situations of 10 kV power cable upgraded to 20kV, interprets the projects of status assessment before boosting, and describes the marks of the assessment. The detection and requirement of the testing items before boosting are introduced; the testing items, requirement, and experimental results after boosting are also presented. This work provides practical application experiences for the operation of 10 kV power cable upgraded to 20 kV.

Key words: 10 kV cable; boost; the operation under 20 kV; the practical application experiences

看创新、看环保

国家电网公司拥有多项电力建设方面的“世界第一”,而这次世博会的展馆设计,更是充分展示了多项吸引眼球的新技术、新材料。依靠一个叫做“向日葵”的12镜太阳光导入系统,展馆能轻松地地为地下室和VIP接待区提供照明。此外,太阳能光伏发电系统、光导照明系统也将“可持续发展”的城市电网发展理念阐述得淋漓尽致。设计者甚至详细计算了世博会期间上海的风向、日照,因此场馆内的生态设计就在充分考虑了日照、日影和风矢量的变化后,为市民预设了一个没有日晒、采光充足、空气流通的惬意游览空间。而整个场馆内部的通道,更是巧妙地利用了上海的夏季风向,形成了一条能“捕捉”夏风的S形节能清凉走廊。站在中间,真能体会到清风徐来的妙趣。