

交流高压接地开关开合感应电流问题的探讨

郭贤珊

(华中电网有限公司, 湖北 武汉 430077)

Questions of HV Earthing Switch Switching Induced Current

GUO Xian-shan

(Central China Grid Company, Wuhan 430077, China)

摘要: 概括了接地开关开合感应电流的运行工况及同杆双回线路电磁感应与静电感应的产生机理; 还对相关的国际、国内标准中对接地开关切合感应电流的试验方法和参数进行了归纳; 介绍了中国接地开关开合感应电流的应用现状和产品情况; 提出了应重视接地开关开合感应电流的必要性, 并按计算结果合理地选择接地开关。

关键词: 接地开关; 感应电流; 开合

中图分类号: TM564.1

文献标识码: B

Abstract: The questions of earthing switch switching induced current are discussed in this paper, and the operating mode is summarized. Feature of static and electromagnetism induction of common-tower double-circuit lines is presented. According to the relevant international and domestic standards, the testing method and parameter of ES switching induced current have been summed up, and the application situation of ES switching induced current and products situation in China are recommended. Suggestion of paying great attention to the question of ES switching induced current is proposed, and choosing the ES based on calculating result is also put forward.

Key words: earthing witch(ES); induced current; switching

1 前言

随着电力建设的发展, 电网在不断扩大, 容量也在不断增加, 为了减少输电走廊占地, 同塔双回路平行架空高压输电线路日渐增多, 在这种输电线路中使用的高压接地开关要求具有开合感应电流的能力。随着同杆双回线的普及和电压等级的升高, 对接地开关开合感应电流的能力的要求也越来越高, 开合感应电流成为接地开关的一种特殊工况。

具有这种运行工况的接地开关可以是在 GIS 中, 也可以是常规的敞开式产品, 特别是 GIS 中的接地开关使用多次后, 电弧会烧损触头, 产生金属碎屑

并积累在 GIS 内, 使绝缘性能下降, 出现故障, 因此, 研究 GIS 开合感应电流的工况对 GIS 接地开关的制造和使用无疑是重要的。

2 接地开关开合感应电流的运行工况

在两条或多条共塔或邻近平行布置的架空输电线路中, 当某一回或几回线路停电后, 由于它与相邻带电线路之间产生电磁感应和静电感应, 在停电的回路上将产生感应电压及感应电流。因此, 用于这些线路的接地开关, 能满足下述 3 种工况下的运行条件: ①当停电线路的一端开路, 在线路另一端的接地开关分、合操作时, 接地开关能开断和关合容性电流, 见图 1(a); ②当停电线路的一端接地, 在线路另一端的接地开关分、合操作时, 接地开关能开断和关合感性电流, 见图 1(b); ③接地开关需持续承载容性和感性电流。

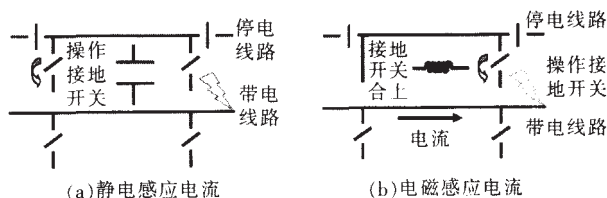


图 1 接地开关开合感应电流原理示意图

3 同杆双回线的静电感应和电磁感应

在双回线同杆情况下, 其中任一回路停电接地, 另一带电回路仍继续运行, 其间存在相互的静电和电磁耦合关系, 若两回线均不换位, 运行线三相相对于检修线每一相的几何位置不同, 其间的互感系数和线间电容则不同, 运行线三相电源对检修线的影响不能相互抵消。若两回线均匀换位, 运行线三相电源对检修线的影响仍不能完全相互抵消。只有当一回线路换位, 另一回线路不换位时, 这种影响才可能

完全抵消。若两回线换位不均匀,检修线上的感应电压和电流数值就离散,越不均匀,则离散度越大。实际线路沿线塔型、挡距、地电阻率均不同,这样检修线受运行线三相电源的影响不能完全抵消,但这些因素对检修线上电压和电流的影响处于次要地位。

根据检修线所处的 4 种不同状态,检修线上共有 4 类不同的感应参数^[1-4]。

(1) 静电感应电压

两端接地开关均不接地,由运行线对检修线,检修线对大地的电容分压产生。在打开的接地开关断口间的容性电压取决于带电线路上的电压及与带电线路的耦合系数。

(2) 电磁感应电流

两端接地开关均接地,由运行线电流在检修线上感应的电势引起的环流。两端接地的不带电线路中的感性电流取决于带电路中的电流以及与带电线路的耦合系数(由杆塔上的线路布置情况决定)。完全同杆架设不换位线路一回线运行,另一回线停电检修时,流过接地开关的电磁感应电流与运行线路传输的功率呈正比,与线路长度的关系不大。

(3) 静电感应电流(电容性电流)

一端接地开关接地,从运行线与检修线间的电容经检修线流入大地的电流。一端接地的不带电线路中的容性电流取决于带电线路上的电压、与带电线路的耦合系数(由杆塔上的线路布置情况确定),以及不带电线路的接地端和开路端之间的距离。完全同杆架设不换位的线路一回线带电运行,另一回线停电检修时,流过接地开关的静电感应电流与运行线路传输的功率无关,与线路的长度呈正比例关系,在同杆架设线路中还有非同杆架设线路时,静电感应电流比原同杆架设线路的静电感应电流大,一般而言,同杆架设线路长度超过 15 km 后,静电感应电流就大于 1.6 A。

(4) 电磁感应电压

一端接地开关接地,运行线电流在检修线上感应的电势。同杆架设的线路,在打开的接地开关断口间的感性电压取决于带电线路的电流、与带电线路的耦合系数以及与带电线路邻近的那部分接地线路的长度。

对部分同杆架设的线路,在同杆架设线路长度和输送功率一定的情况下,随着非同杆架设线路长度的增加,电磁感应电流降低,静电感应电流有少量的增加,在一定的负荷条件下,电磁感应电流的大小与非同杆架设线路长度和同杆架设线路长度的比值有关,在设计中应根据典型参数及线路的实际长度计算选用。

4 接地开关开合感应电流的标准要求

1992 年,我国依据 IEC60129-1984 编制了机械

行业标准 JB/T6461-1992《交流高压接地开关开合感应电流试验》,2000 年我国电力行业修订 DL/T 486《交流高压隔离开关和接地开关订货技术条件》时,也依据 IEC60129-1984,在附录中包含了“接地开关开合感应电流的试验”。随后,我国根据 IEC 62271-102 2001(第 1 版)重新修订了 GB1985-2004《高压交流隔离开关和接地开关》国家标准。在该标准中将“接地开关开合感应电流”项目以“规范性附录 C”纳入,代替 JB/T6461-1992。

国标规定,对于 40.5 kV 及以上的接地开关有可能要求开合感应电流和电压的能力,主要通过额定感应电流和额定感应电压参数来确定。额定感应电流是指接地开关在额定感应电压下能开合的最大感性电流;额定感应电压是指接地开关在开合额定感应电流后能承受的最大工频电压。接地开关一般可分为 A 类和 B 类,额定值按表 1 给定。

表 1 接地开关开、合感应电流的额定参数

额定电压 U_n	电磁感性				静电感性			
	额定感性电流 (有效值) / A		额定感性电压 (有效值) / kV		额定容性电流 (有效值) / A		额定容性电压 (有效值) / kV	
	A 类	B 类	A 类	B 类	A 类	B 类	A 类	B 类
40.5	50	100	0.5	4	0.40	2	3	6
72.5	50	100	0.5	4	0.40	2	3	6
126.0	50	100	0.5	6	0.40	5	3	6
252.0	80	160	1.4	15	1.25	10	5	15
363.0	80	200	2.0	22	1.25	18	5	22
550.0	80	200	2.0	25	1.60	25; 50	8	25; 50

注:①A 类:用于耦合关系较弱或较短的平行线段;B 类:用于耦合关系较强或长的平行线段。

②有时候,平行线段很长,或相邻带电线路电流很大,或带电线路的额定电压高于接地线段的额定电压,这些情况下的感应电流参数将高于表中所列之值。这时候应由制造与用户双方共同协商试验条件。

③该表所列数值系指“线-地”的数值,对单相和三相都一样。

5 我国接地开关开合感应电流的情况

随着电力建设的发展,500 kV 系统已成为我国电力系统的主干网,500 kV 输电走廊越来越紧张,采用同杆架设双回输电线路已成为必然的选择。同杆架设双回输电线路一回带电运行,一回停运接地检修时,运行线路将在停运线路上产生较大的电容性和电感性感应电流,线路接地开关需有能力切断这些感应电流。

目前,很多 550 kV 变电工程建设中,停电接地线路很长、带电线路负荷很大,其感应电流和感应电压都高于国家标准规定的 B 类接地开关标准值。如,湖南省云田 550 kV 变电站至湘潭电厂间隔的回、回出线,其静电感应电压就远远超过了国家标准的规定值而高达 35 kV。又如,500 kV 彭水(重庆)-恩施(湖北)-水布垭(湖北)输变电工程水布垭开关站的电磁耦合和静电感应计算为:电容电压 65 kV、

电容电流 25 A、电感电压 10 kV、电感电流 120 A；恩施变电站侧的电磁耦合和静电感应为：电容电压 45 kV、电容电流 10 A、电感电压 5 kV、电感电流 120 A，这些计算值已经大大高于国家标准规定的接地开关的感应电流最大开合能力。为了配合系统的要求，应尽快研制具备更高感应开合能力的接地开关，并制定新的国家和行业标准。表 2 为近年来华中电网部分 500 kV 同杆双回线的感应电压、电流仿真计算结果情况。

表 2 华中电网部分 500 kV 输变电工程对
接地开关开合感应电流(有效值)的要求

工程名称	电磁感应		静电感应	
	感性 电流 /A	感性 电压 /kV	容性 电流 /A	容性 电压 /kV
湖南湘潭变电站	142.97	1.54	3.51	33.71
湖南云田变电站	146.56	1.65	3.52	33.85
湖北水布垭变电站	120	10	25	65
湖北恩施变电站	120	5	10	45
河南三门峡电厂	114.28	4.62	7.51	62.28
河南牡丹变电站	114.61	4.73	7.35	62.18
江西新余变电站	120.56	4.49	8.20	13.90
江西萍乡变电站	121.47	4.53	8.08	13.67
江西黄金埠电厂	171.93	0.54	0.83	28.18
江西鹰潭变电站	172.03	3.07	5.63	28.35
江西乐平变电站	156.82	3.10	5.53	27.77
河南沁北电厂	140.8	4.62	1.26	31.89
河南获嘉变电站	141.55	4.67	10.27	30.69
江西丰城电厂	109.35	3.22	6.55	27.54
江西昌南变电站	109.35	2.25	3.32	27.14
江西南昌变电站	105.01	3.29	3.31	26.98

江苏电力试验研究院对 500 kV 扬江同杆双回线路进行了计算和实测^[5]，结果见表 3，从计算和实测结果来看，仿真计算结果与实际值相差并不大。湖南电力试验研究所对湖南省云田 500 kV 变电站至湘潭电厂间隔的 回、 回出线的感应电压进行了实际测量，接地开关为 JW - 550(W)/63 型户外交流高压接地开关，配用额定电压为 35 kV 的真空灭弧室作为开合感应电流的专用灭弧装置，开合正常。测量结果表明，湘云 I 线空载带电，湘云 II 线最大感应电压出现在 A 相，云田侧最高感应电压为 25.80 kV，湘潭电厂侧最高感应电压为 26.20 kV。湘云 II 线空载带电，湘云 I 线最大感应电压出现在 B 相，云田侧最高感应电压为 26.30 kV，湘潭电厂侧最高感应电压为 26.80 kV。这比仿真计算最大静电感应电压计算值 33.71 kV 稍小一些，但是仍然很高。

表 3 500 kV 扬江同杆双回线路感应
电压的计算和实测结果

		kV		
		A 相	B 相	C 相
型模型	首端	10.569	28.364	10.792
间隔地线	末端	10.559	28.393	10.806
实测值		9.295	25.605	6.905

以上分析表明，根据仿真计算结果来选取接地开关的开合感应能力是科学的，必要的。

6 具备开合感应电流能力的接地开关介绍

早期，我国电网对具有开合感应电流能力的接地开关需求很少。随着电网的发展，同杆双回线路越来越多，对接地开关开合感应电流的能力要求越来越高，这种需求也越来越普遍。在早期并未引起国内制造企业的重视，国内制造企业生产的常规的接地开关，没有装设开合感应电流的相应机构。其开合感应电流的性能很难保证。因此华东、广东、东北等地区的一些 550 kV 变电工程建设早期都采用国外进口产品。下面简要介绍国内外具有感应电流开合能力的接地开关的研制情况。

AREVA 生产的型号为 STB+CK 的接地开关，在我国华东地区上海、江苏、浙江的诸多 550 kV 变电站中使用。其主要技术参数为：额定电压 145 ~ 800 kV；短时耐受电流 63 kA；开合感应电流能力：容性电流 25 A，容性电压 70 kV；感性电流 200 A，感性电压 70 kV。

STB- 550/63+CK 型接地开关是在常规 STB 型接地开关的基础上，增设了开合感应电流的装置，之是由附装在接地开关上的具有弹性的辅助触杆以及安装在底座上的 SF₆ 或真空灭弧室组成，两者通过柔性杆连接起来，见图 2，图 3。合闸时，接地开关与辅助触杆一起从水平位置向上摆，在接近合闸位置时，辅助触杆先接触，感应电流在灭弧室中接通，然后接地开关主开关合闸，持续感应电流由主开关承载。接地开关分闸时，主开关先分开将感应电流转移到辅助回路中，由灭弧室将感应电流切断，然后辅助触杆分开，并与主开关一起下摆运动到水平位置。



图 2 AREVA STB+CK 型接地
开关配用的 SF₆ 灭弧室

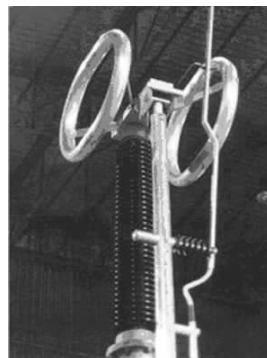


图 3 AREVA STB+CK 型
接地开关辅助触杆

2003 年底，沈阳新泰高压电气有限公司(原沈阳高压开关有限责任公司东厂)根据市场需要，在该公司技术成熟的 JW4- 550 型接地开关的基础上，开发出的 JW8B- 550 型接地开关，(下转第 219 页)

从图 6 的相频特性曲线可以知道, 相频特性曲线是频率的单调递减函数。使用改进的模拟积分器的空心电流互感器用于计量时, 在额定频率变化范围内, 积分器输出信号的相角波动不超过 0.24 (49.5 Hz 时为 90.170°, 50.5 Hz 时为 90.166°); 用于保护时, 在额定频率变化范围内, 积分器输出信号的相角波动不超过 0.67 (48 Hz 时为 90.176°, 51 Hz 时为 90.164°)。由此可见改进积分器输出信号的相位随被测电流基波频率波动的变化可以满足标准规定的 0.2 级的要求。

模数转换电路采用同步型低功耗电压/频率转换器 AD7740。该芯片是单通道单端同步型 V/FC, 体积小, 节省空间, 不需要外接外部电阻和外部电容来确定转换频率, 其输出频率由外部晶振决定, 而晶体振荡器是可以做到非常稳定的, 故转换电路可以做到在较宽的温度范围内保证准确度不变。

低压侧电路将信号解调成与被测一次电流成比例的模拟电压输出。低压侧信号解调电路也分为计量与保护部分, 与高压侧计量和保护电路相对应。

2.3 激光供能部分

激光供能部分的作用是将低压侧激光器发出的光能用光纤传至高压侧再转换成电能信号供给高压侧电路工作。其中值得注意的有两点: ①为了给高压

侧提供可靠的工作电源, 光能在高压侧转换成电能后需经过一级 DC-DC 变换, 将光电转换器输出的电能进行稳压。②低压侧的大功率激光器工作时发热严重, 为了提高工作的可靠性和延长其寿命, 需对激光器的工作环境进行控温。

3 结语

光供电式空心电流互感器采用光纤在高、低压侧间传送测量信号及其高压侧所需要的能量, 绝缘结构相对简单, 可将空心电流互感器组合在断路器中, 以减小设备占地面积和体积, 是今后电力系统设备的发展方向。

致谢:

对北京华东森源电气有限责任公司对该研究工作的支持表示感谢。

参考文献:

- [1] Kojovic L. Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1997, 9(7): 47-52.
- [2] Kojovic L. PCB Rogowski Coils Benefit Relay Protection[J]. IEEE Computer Applications in Power, 2002, 15(7): 50-53.
- [3] IEC60044-8. Electronic Current Transformers[S]. 2002.

(上接第 216 页)

开合感应通过附装在接地开关上具有弹性的辅助触杆及安装在底座上的真空负荷开关, 来实现感应电流开合。该产品在沈阳高压电器产品质量监测试验站顺利通过了开合 B 类电磁感应电流和静电感应电流试验。

2004 年, 西安高压开关有限责任公司也开发出了具有开合感应电流能力的接地开关, 并顺利通过了开合 B 类电磁感应电流和静电感应电流的型式试验。该产品采用额定电压为 35 kV 的真空灭弧室作为开合感应电流的专用灭弧装置。

2005 年 3 月, 长沙高压开关有限公司开发出的 JW - 550(W)/63 型户外交流高压接地开关, 也配有额定电压为 35 kV 的真空灭弧室作用于开合感应电流, 其动作原理与 STB-550/63+CK 型接地开关相同; 该产品依据国家标准 (GB1985) 及国际标准 (IEC1129) 进行了相关型式试验, 试验参数为: 电磁感应电压 35 kV、电磁感应电流 300 A; 静电感应电压 35 kV、静电感应电流 50 A, 开断次数 100 次, 动作时间小于 10 s。

7 结语

(1) 随着电网的发展, 同杆双回线路越来越普遍, 接地开关开合感应电流的能力, 应引起运行部门和制造企业的高度重视。

(2) 开合感应电流能力是接地开关的重要参数, 应该按照仿真计算结果选择合适的接地开关。

(3) 现有的接地开关国家和行业标准已不能满足电力系统发展的需要, 应加快相关技术标准的修订工作。

参考文献:

- [1] 丁桂芬. 500 kV 出线间隔接地开关开、合感应电流能力的探讨 [J]. 吉林电力技术, 1993(3): 10-12.
- [2] 庞圣海. ZFW-500 型 GIS 中接地开关开合感应电流试验 [J]. 高压电器, 1992, 28(2): 37-42.
- [3] 庞圣海. 高压交流接地开关开合感应电流试验 [J]. 高压电器, 1992, 28(2): 22-24.
- [4] 李 斌. 关于同杆双回线检修回路中接地开关开断工况的研究 [J]. 电网技术, 1995, 19(1): 42-46.
- [5] 李长益. 同杆架设或部分同杆架设 500 kV 双回线路接地开关的选择 [J]. 高压电器, 2004, 40(2): 150-152.