

GIS 变电站中互感器的误差试验方法

徐家恒¹, 李东², 丁宪勤³, 赵吉福¹, 郑磊¹, 韩涛²

(1. 山东电力研究院, 山东 济南 250002; 2. 济宁供电公司, 山东 济宁 272123; 3. 枣庄供电公司, 山东 枣庄 277102)

摘要: 针对全封闭组合电器(GIS)中电流、电压互感器计量误差测试困难的问题,根据不同GIS的结构特点,提出了不同的现场试验方法,多年的实践经验证明,采用的方法较好地解决了GIS中的互感器误差试验难题。同时介绍了在误差试验时,所需要的电器开关的操作配合。

关键词: 全封闭组合电器; 互感器; 计量误差

中图分类号: TM45

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)06-0128-04

Error Test Methods for Transformers in GIS Substation

XU Jia-heng¹, LI Dong², DING Xian-qin³, ZHAO Ji-fu¹, ZHEN Lei¹, HAN Tao²

(1. Shandong Electric Power Research Academy, Jinan 250002, China; 2. Jining Power Supply Company, Jining 272123, China; 3. Zaozhuang Power Supply Company, Zaozhuang 277102, China)

Abstract: To solve the problems in error tests of current and voltage transformers in GIS substation, some field error test methods were proposed according to different GIS structures. Practical applications have verified these methods for many years. In addition, coordinated operations of the switches in applying these methods are discussed.

Key words: GIS; transformer; error

0 引言

高压互感器的现场误差试验开始于1997年左右,主要原因是由于关口计量点由发电机的出口侧更改至变电站的高压侧以及缺少适用于现场的误差测量装置。从那时起,国内电测专业的技术人员逐渐开始进行互感器的现场误差试验,当时主要的方法是依据JJG 313-94和JJG 314-94中规定的测试线路,和实验室进行的互感器误差检定相比,主要的差别是现场试验设备的容量、体积和重量均增大,同时出现了适用于现场的高压发生装置,但对于被试品来说,除了电压相对高了,体积和重量大了以外,由于每只都是独立的,试验时与相邻的开关和断路器没有任何关系,和实验室检定方法基本上没有差别。进入21世纪开始,随着我国的经济进一步发展和改革开放的深入,全封闭组合电器(简称GIS)逐渐在我国推广开来,由于其全封闭的特点,给其内部的互感器试验带来了一定的困难,目前山东省的220 kV电压等级的新建变电站,几乎全部是GIS,对GIS中

的互感器该如何进行现场试验,一直也没有一个统一的说法,各个地方都是自己摸索着进行,笔者通过近十年GIS中互感器的现场误差试验经验,总结出了一套行之有效的办法,希望借此文能给国内同行提供一些借鉴和帮助。

1 变电站一次系统图简介

由于从事互感器现场误差试验的人员大部分都是电测(计量中心)专业的技术人员,平时接触一次系统的机会较少,在此有必要对变电站一次系统图作一简单的介绍。图1是某一电压等级的局部一次系统图,图中E表示为隔离开关,D表示为接地开关,F表示为断路器。两条电压互感器线路中隔离开关分别用 Y_{21A} 和 Y_{22A} 表示,接地开关用带有字母AD的编号表示。接触的大部分110 kV、220 kV电压等级的一次系统基本上如此,330 kV、500 kV电压等级的互感器误差试验也可参照图1来分析,该系统共有4条出线(分别为甲I线、甲II线、乙I线、乙II线)、1台主变(1号主变)、1条母联、2条母线PT(1号母线PT、2号母线PT),每条出线或主变的断

收稿日期:2009-07-29

作者简介:徐家恒(1969),男,高级工程师,一直从事高压互感器现场和实验室的误差测量和检定工作。

路器两侧一般共装有 6~8 个电流互感器线包,在此假设为 8 个($CT_1 \sim CT_8$)线包,而且一般 CT_8 为 0.2S 级、 CT_1 为 0.5S 级(500 kV 站中一般为 0.2S 级),其余的 6 个为保护级(500 kV 中至少有一个为 0.5S 级)。笔者的目的就是要现场检验电能计量用电流

互感器(0.2S 级)和电压互感器(0.2 级)。

2 电流互感器现场误差试验

对于敞开式变电站中的电流互感器,其现场试验接线图见图 2^[1]。由于每只互感器内包含有 8 个

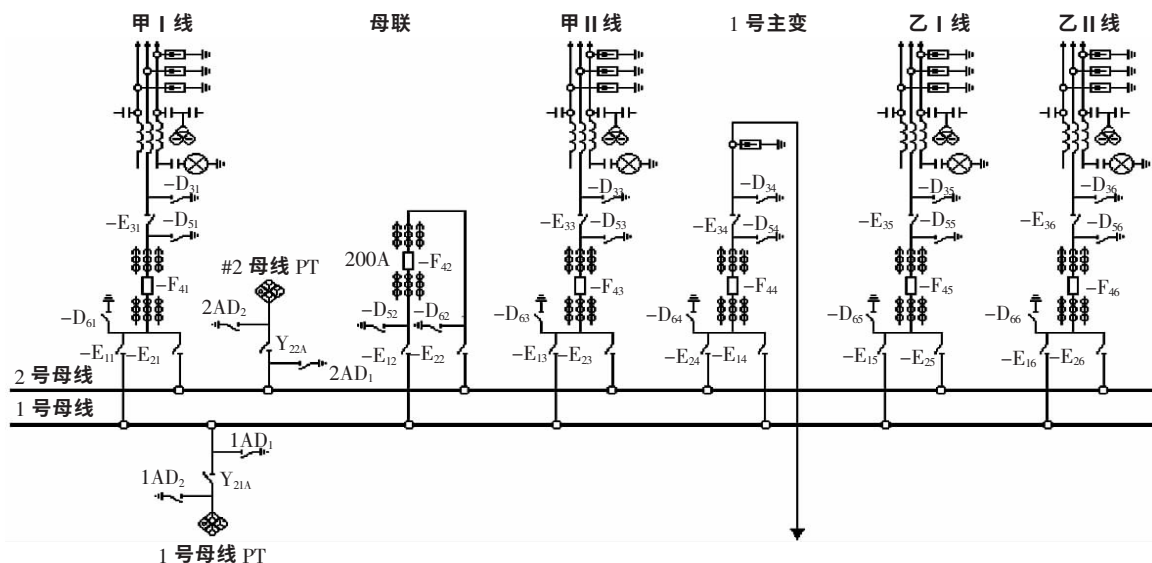


图 1 变电站某一电压等级一次系统图

(假设的个数)线包,和实验室的量值传递及低压电流互感器的检定方法略有不同,就是 $CT_1 \sim CT_7$ 需要短接并接地。而对 GIS 中电流互感器的误差试验,早期提出的观点是将 CT 所在间隔的一个接地开关的接地连片打开,从该处将大的一次电流串入测量回路^[2]。但具体拆哪个连片较好,且该方法是否普遍适用等,文献^[1]中均没有说明。由于不同厂家产品的结构不同,采用的测量回路的路径也不相同等,这些文献^[1]中也没有提及。由于 GIS 中互感器的误差试验的难度主要在如何构成一次回路,而标准器、二次回路以及测试设备部分相关规程和文献资料中均有较详细的规定和说明,在此将主要阐述一次回路的构成。

对于大部分国内 GIS 生产厂家(西安西开高压电气股份有限公司、山东鲁能恩翼帕瓦电机有限公司、新东北电气高压开关有限公司、现代重工电气有限公司、ABB、河南平高东芝高压开关有限公司等)以及国外原装进口的产品,在每一相的接地开关与接地点(外壳)间均有一个独立且可拆卸的接地连片,将此连片拆除,即可将试验用的大电流送入被试品回路。

以乙 I 线中 0.2S 级电流互感器(CT_8)的误差试验为例,见图 1,由于在该间隔中共有 D_{35} 、 D_{55} 、 D_{65} 三个接地开关,也就有三个接地连片,理论上说拆哪一个都可以,分析如下:①由于 D_{35} 直接和高压套管的出线相连,它们之间没有隔离开关,如果拆此连片作

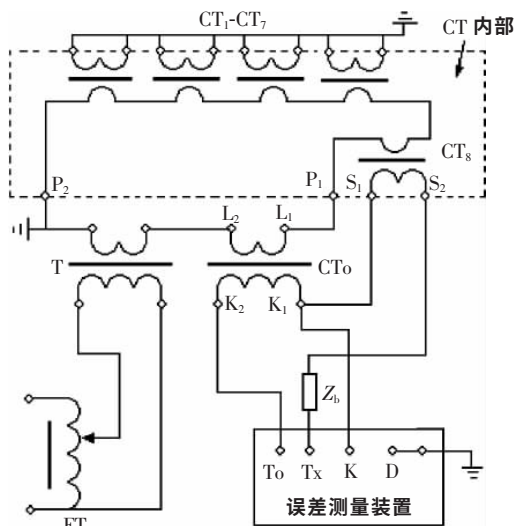


图 2 敞开式变电站多铁芯电流互感器误差试验线路图

为接入点,则需要将高压套管的出线拆除,一次信号需经过 D_{35} 、 E_{35} 、 F_{45} 和 D_{65} 等 4 个开关方可构成回路。②如以 D_{55} 的接地连片位置作为接入点,则可将 E_{35} 分开,这样就不用考虑高压套管拆不拆线的问题了,同时一次回路的构成只需闭合 D_{55} 、 F_{45} 和 D_{65} 三个开关,从 GIS 内部来看是最近的一条回路。③由②条的分析可看出, D_{65} 同样具备 D_{55} 的所有优势,同时 D_{65} 还是靠近母线最近的一个,这就意味着这个点离地面最近,所以考虑到一次回路构成的长短,试验接线的方便程度等,一般都选择 D_{65} 的接地连片位置作为一次电流信号的接入点,这种方案(简称方法一)需要

做的技术和安全措施(以下称为措施)是:短接该间隔 $CT_1 \sim CT_7$ 的二次绕组并接地, 分开 E_{15} 、 E_{25} 、 E_{35} 开关, 闭合 D_{55} 、 F_{45} 和 D_{65} 开关。操作措施完成后形成的试验线路见图 3, 这里选择 D_{65} 作为接入点还有一个优点, 后面介绍。这种方法适用于图 1 中每一个间隔中的电流互感器误差试验。

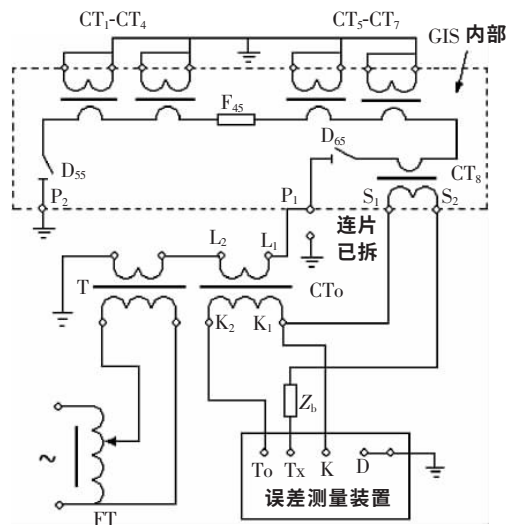


图 3 GIS 变电站中用方法一进行电流互感器误差试验线路图

再看乙 II 线中 0.2S 级电流互感器 (CT_8) 的现场试验, 可以采用上面提到的方法, 但还可以采用另一种较为简便的方法, 假设试验设备仍然位于乙 I 线间隔, 选择的接入点仍然为 D_{65} 开关, 可以通过开关的操作直接进行乙 II 线中 0.2S 级电流互感器 (CT_8) 的现场试验, 具体的措施(方法二)是: 短接乙 II 线间隔 $CT_1 \sim CT_7$ 的二次绕组并接地, 分开 F_{45} 、 D_{65} 、 E_{36} 开关, 同时要保证母线不能通过所有其他无关的间隔接地, 闭合 D_{65} 、 E_{25} 、 E_{26} 、 F_{46} 和 D_{56} 开关。

可见, 在乙 I 线试验时, 选择 D_{65} 而不选择 D_{55} 作为接入点的另一个优点是: 在对乙 II 线进行试验时, 不需要同时短接乙 I 线的 $CT_1 \sim CT_8$ 的二次绕组。用该方法可大大提高工作效率, 减少劳动强度。但有个前提, 电流互感器的额定变比不能太大, 由于该法是通过母线将一次电流送到相邻的间隔, 其回路长度和面积均相应增大, 如果额定变比太大, 将会需要更大的试验设备容量。根据现场经验, 一般用 25~30 kV·A 的调压和升流设备, 可进行 1 200 A/5 A 及以下变比的试验, 用此方法可一次做出 3~5 个间隔的互感器误差。如果试验设备的容量再大些或采取比较恰当的无功补偿措施, 额定一次电流还可以提高。需要注意的是: ①一次信号的接入间隔选择要恰当。首先要选择中间的间隔做两边的间隔, 如图 1 中如果选择 1 号主变间隔作为接入间隔, 就可以分别做出母联、甲 II 线、乙 I 线、乙 II 线和 1 号主变等 5 个间隔的互感器的误差; 其次选择接入间隔的额定一

次电流最好不要小于邻近间隔的数值。当然由于升流的过程持续的时间也就 30~40 s, 如果小于邻近间隔的数值, 只要相差不大, 也是没问题的。②选择 1 号主变间隔作为接入间隔, 当做完邻近的甲 II 线, 在做乙 I 线之前, 需确保母线不能通过甲 II 线接地, 否则会造成一次回路有分流。

有一些国内 GIS 生产厂家, 如河南平高电气股份有限公司、山东泰开互感器有限公司、北京高压开关有限公司等, 这些生产厂家的产品, 其每一相的接地开关与接地点(外壳)间不是通过一个独立且可拆卸的接地连片, 对河南平高和山东泰开的产品而言, 是通过在不同部分壳体连接处的连接螺丝(此处的螺丝仅起着紧固的作用, 对两边的壳体都是绝缘的)两端跨接短接片达到接地的目的, 一般每一相的每一个接地开关与地(外壳)间有 4~6 个跨接连片, 最初也是用拆连片的方法进行试验, 由于连片较多, 拆起来费时又费力, 更重要的是, 用此方法试验时经常会发生校验设备莫名其妙地报警, 在这个问题上, 也曾查找了较长时间, 最后发现由于绝缘的连接螺丝常与外壳间绝缘不良, 造成一次电流回路发生了分流。对北京高压开关有限公司的产品, 只在 2003 年接触过一次, 设备的安装位置是平度唐田 220 kV 站内的 110 kV 站。110 kV 站建在室内的二楼, 厂家表明, 该厂生产的 GIS 接地开关在内部就和外壳相连了, 外部就没有接地连片。由于没有单独的接地连片, 这个试验当时就没有做。

对这类电流互感器的现场试验, 通过这些年的经验, 一般是直接从一次高压套管加载一次电流信号, 具体还是以乙 I 线的试验为例, 从高压套管接入的前提是拆除一次高压的引出线, 用高压套管的高端作为输入的一端, 用套管支架下方的接地端子(一般都有)作为另一端。具体的措施(方法三, 见图 4)为: 短接该间隔 $CT_1 \sim CT_7$ 的二次绕组并接地, 分开 E_{15} 、 E_{25} 、 D_{35} 、 D_{55} 开关, 闭合 E_{35} 、 F_{45} 和 D_{65} 开关, 这个一次回路的方案应该是所能采用的最短路径了。对于一次电流较大的间隔, 一般每一间隔均采用方法三进行试验。方法三比较大的弊端在于每一只电流互感器的试验都得有人上高压套管进行拆接一次导线, 劳动强度大, 效率较低。如果一次电流相对较小, 比如 1 200 A 及以下, 也可以采用类似方法二的办法, 以提高效率, 仍然选择在乙 I 线间隔对乙 II 线间隔电流互感器进行试验, 具体的措施(方法四)是: 短接乙 I 线间隔的电流互感器 $CT_1 \sim CT_8$ 的二次绕组并接地, 短接乙 II 线间隔 $CT_1 \sim CT_7$ 的二次绕组并接地, 分开 D_{35} 、 D_{55} 、 D_{65} 、 D_{66} 、 E_{36} 开关, 同时要保证母线不能通过所有其他无关的间隔接地, 闭合 E_{35} 、 F_{45} 、 E_{25} 、 E_{26} 、 F_{46} 、 D_{56} 开关。方法四在选择时需要考虑的因素和注意事项可参照方法二, 由于与方法二的回路

有些不同,这里特别要注意,在对相邻的间隔进行试验时,一定要将乙 I 线间隔的电流互感器 $CT_1 \sim CT_8$ 的二次绕组并接地。方法四特别适合 110 kV GIS 变电站中的互感器试验,因为 110 kV 站中的一次电流大部分都不大于 1 200 A,且 110 kV A、B、C 三相的出线套管底部均连在了 GIS 的出线壳体(三相共桶),只要爬一次套管,就可以做出 3~5 组互感器的误差,其工作效率不低于方法二。

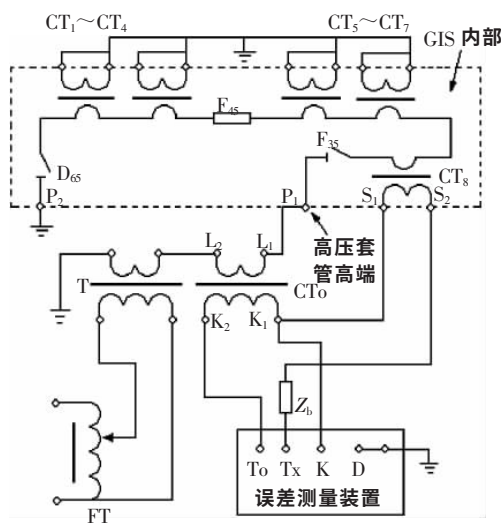


图4 GIS变电站中用方法三进行电流互感器误差试验线路图

需要说明的是,以上针对GIS中电流互感器的4种试验方法前提是均需要通过接地开关作为闭合回路的一部分。也就是说,要求接地开关具有短时(10~20 s)能承受额定一次电流的能力。如果离开了接地开关的辅助,就目前国内的现场试验设备的配置,是很难完成试验的。因为只能通过相邻间隔的相同相别的两个高压套管的高端依靠母线构成一次电流回路,这种方案不仅要求一次电流导线足够长,而且由于一次回路的面积很大,一般至少有30 m²,这样就会给试验设备带来了很大的无功分量,若想把一次电流升到额定值是相当困难的。

3 电压互感器的现场误差试验

在敞开式变电站进行电压互感器的误差试验接线图见图5^[3]。图5中的升压装置采用了串联谐振的方式,LZ₁~LZ₃为可调式谐振电抗器,C₁、C₂为谐振电容。为了运输和使用方便,220 kV及以上电压等级的互感器,均采用了这种升压方式。该方式的另一个好处是当被试品是电容式电压互感器(CVT)时,可用CVT的前级电容替代C₁、C₂。而对110 kV及以下的电磁式电压互感器,由于重量相对较轻,一般采用电磁式升压器直接升压。对GIS中的电压互

感器,由于存在分布电容,220 kV及以上电压等级,利用其电感可调的特点,用此升压装置进行升压相当容易。对110 kV及以下的电磁式电压互感器,由于分布电容较小,也采用电磁式升压器对其直接升压,用二次电压为100 kV、电流为0.1 A的升压器就足以满足升压的要求。

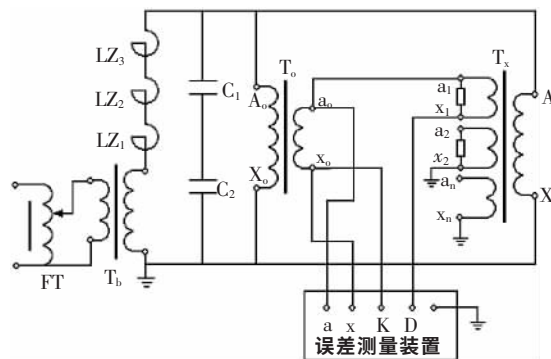


图5 敞开式变电站电压互感器误差试验接线图

由于被试品封闭在壳体内,而不像敞开式变电站的电压互感器可直接将其高压一次端和标准器相并联,一般采取从高压套管送入高电压信号,通过母线将信号加载到被试的电压互感器一次高端,以满足标准电压互感器和被试品相并联的目的。

分析图1可知,除了母联以外,4条出线线和1条主变共5个间隔均可利用他们的高压套管将高压信号送到母线,考虑到变电站的结构,一般会选择将主变侧作为一次信号的送入点。因为主变间隔和出线间隔基本上都是分布在母线的两侧,由于出线侧往往还安装有避雷器、滤波器等设备,空间相对狭小,有的站甚至连路都没有,不论从试验设备的运输、放置还是一次试验导线的连接,均不方便。主变侧由于直接和变压器相连,考虑到变压器运输的方便,主变侧套管和变压器之间总有条路,这是选择主变套管作为一次信号送入点的主要原因。

为此,通过1号主变间隔和母线对PT进行误差试验需要做的技术和安全措施是:拆开高压套管高端和母线的连接导线(如果母线已连接),将主变间隔的CT₁~CT₈二次绕组短路并接地,断开D₃₄、D₅₄、D₆₄、2AD₁、2AD₂、1AD₁、1AD₂,断开电压互感器二次计量绕组、二次测量绕组及二次保护绕组的开关,闭合E₃₄、F₄₄、E₁₄、Y_{21A}、Y_{22A}。操作措施完成后,形成的试验线路见图6。同时其他无关的间隔必须从母线断开并可靠接地,具体到图1,所做的操作为:断开E₁₁、E₂₁、E₁₂、E₂₂、E₁₃、E₂₃、E₁₅、E₂₅、E₁₆、E₂₆,闭合D₆₁、D₅₂、D₆₂、D₆₃、D₆₅、D₆₆,这里只是针对给1号母线PT加压所做的操作,为了减少劳动强度,提高效率,一般来回切
(下转第135页)

特点:

(1) 所有标准模块两条母线都为 750 mm+750 mm, 总长 1 500 mm, 符合解体运输要求和标准间距要求;

(2) 所有标准模块两条母线的槽面都为左面右槽, 能够满足任意两间隔对接的要求, 避免槽面设计错误;

(3) 规定两条母线仪表都在左侧, 规范了仪表位置;

(4) 对于标准间距 1 500 mm, 规定两条母线波纹管都在左侧 [(300+450)+750] mm 的结构, 保证了标准模块为左面右槽和 750 mm+750 mm 的规则, 两条母线波纹管对齐后, 母线更美观;

(5) 对于标准间距 1 500 mm, 规定气隔绝缘子在间隔右侧 [750+(700+50)] mm 的结构, 保证了标准模块为左面右槽和 750 mm+750 mm 的规则, 同时增加了盆子凸侧朝向 700 mm、盆子随本间隔运输的要求;

(6) 零部件种类相对减少, 翻边外壳零件共有 3 种, 焊接后共有毛坯 5 种, 根据槽面、充气口的要求共有外壳 10 种, 这有利于组织生产, 缩短生产周期。

4 第 3 次主母线装配优化设计所解决的问题

(1) 标准模块直接挂入间隔中, 主母线按间隔投

产成为可能, 便于单间隔或几个间隔的出产, 充分利用生产场地, 加快成套及出厂的进度;

(2) 规范母线仪表、波纹管的布置设计, 规范外壳密封槽面, 减少设计错误;

(3) 规范安装运输解体方法, 避免遗漏现场必需的导体和屏蔽罩;

(4) 规范非标准、长间距的主母线设计, 过渡母线尽量选用最长长度, 降低成本, 减少现场工作量和难度;

(5) 规范换相设计方法, 避免相序设计错误和装配错误。

5 结语

ZF7-126、ZF7A-126 GIS 产品主母线的设计均经历了不断的设计→制造→运行→优化设计→制造→运行的考验。大大提高了设计效率及标准化生产程度, 使 GIS 工程设计、生产周期明显缩短, 同时产品质量显著提高, 取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 罗学琛.SF₆ 气体绝缘金属封闭开关设备[M].北京:中国电力出版社,
- [2] 黎 斌.SF₆ 高压电器设计[M].北京:机械工业出版社,

(上接第 131 页)

换 E₁₄、E₂₄, 做到接一遍一次线, 检两只 PT。举例来说, 假设目前做的是 1 号母线 PT 的 A 相, 做完后, 断开 E₁₄, 闭合 E₂₄, 更换相应的二次线后, 就可以做 2 号母线 PT 的 A 相, 接着再做 2 号母线 B 相。断开 E₂₄, 闭合 E₁₄, 做 1 号母线 PT 的 B 相, 接着再做 1 号母线 C 相, 断开 E₁₄, 闭合 E₂₄, 最后做 2 号母线 C 相。由于 Y_{21A}、Y_{22A} 在做最初的操作时已经闭合, 整个过程只需来回切换 E₁₄、E₂₄ 即可。

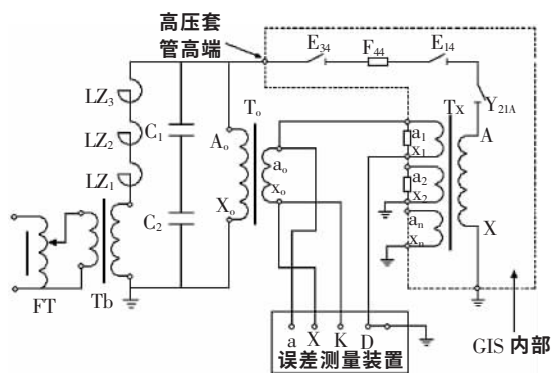


图 6 GIS 变电站中电压互感器误差试验线路图

需要注意的是, 由于电压互感器的二次负载是并接在各二次绕组上的, 为了避免负载电流在二次

导线上形成的压降被当做误差测量, 电压互感器的二次信号的采集应在 PT 端子盒根部, 而不能在 PT 二次端子箱处采集。

4 结语

GIS 中的互感器误差试验是 GB 50150-2006《电气装置安装工程电气设备交接试验标准》规定的必须要做的特殊试验项目^[4]。由于 GIS 中互感器误差试验的特殊性, 有些地方不能开展这个项目的试验, 从而会给电能计量带来很大的隐患。从另一个角度来说, GIS 中的互感器误差试验, 不仅能保证电能计量用互感器的误差要求, 还能发现很多涉及到电网安全的重大隐患, 希望能给广大从事电能计量的专业人员提供一些有益的帮助。

参考文献:

- [1] JJG 313-94 测量用电流互感器检定规程[S].
- [2] 徐家恒.126 kV GIS 中互感器的误差试验[J].高压电器, 2003(2):56-58.
- [3] 电能计量装置现场检验作业指导书[S].
- [4] GB 50150-2006 电气装置安装工程电气设备交接试验标准[S].