

# 电子式互感器配置问题探讨

黄 灿<sup>1</sup>, 郑建勇<sup>1</sup>, 苏 麟<sup>2</sup>, 梅 军<sup>1</sup>

(1. 东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096;

2. 江苏省电力设计院, 江苏 南京 210024)

**摘要:** 针对数字化变电站建设中电子式互感器的配置问题, 分析了设备的物理模型、测量品质、功率消耗、抗干扰能力和经济性等因素, 提出 110 kV 及以上电压等级宜选用无源式电子式电流互感器和电容分压型电子式电压互感器, 66 kV 及以下电压等级宜选用有源式电子式电流互感器和电阻分压型电子式电压互感器; 结合传统互感器的配置原则, 论述了电子式互感器按间隔的配置方式并给出参考方案; 鉴于已投运站点中出现的问题, 建议根据不同间隔对电子式互感器选型并考虑一定的冗余配置, 有助于实现数字化变电站的“弱故障化”。

**关键词:** 电子式电流互感器; 电子式电压互感器; 数字化变电站; 配置; IEC61850

**中图分类号:** TM 45

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-6047(2010)03-0137-04

## 0 引言

近年来, 基于 IEC61850 的数字化变电站成为变电站自动化技术的发展新方向, 在我国得到快速发展。电子式互感器作为数字化变电站过程层中的关键设备, 具有传统电磁式互感器所不具备的众多优点<sup>[1-2]</sup>, 如何有效地将其应用于电力系统, 替代传统电磁式互感器并实现相应功能, 避免电气主接线中因互感器的配置问题而影响系统运行安全和扩大事故范围, 成为亟待解决的问题。

## 1 电子式互感器的研究现状

电子式互感器是一大类非常规互感器的总称<sup>[3-4]</sup>, 按其高压侧是否需要电源, 分为有源式电流/电压互感器 ECT/EVT (Electronic Current/Voltage Transformer) 和无源式电流/电压互感器 OCT/OVT (Optical Current/Voltage Transformer), 根据测量原理的不同又可细分为不同类型。其中罗氏线圈型电流互感器 RCT (Rogowski Current Transformer) 和低功率线圈型电流互感器 LPCT (Low Power Current Transformer) 因测量精度不同, 通常采取两者的组合以满足测量、保护对精度的不同要求; 集磁环型 OCT 通常用于小电流测量、故障诊断和故障定位等特殊场合, 在日本应用较多<sup>[5]</sup>, 在我国还处于理论研究阶段。电子式互感器的分类框图如图 1 所示。

## 2 电子式互感器的配置问题

截至目前, 我国已建数字化试点站 80 余座, 其中 500 kV 12 座、330 kV 2 座、220 kV 19 座、110 kV 40 座、10~66 kV 8 座, 另外还有部分尝试 IEC61850

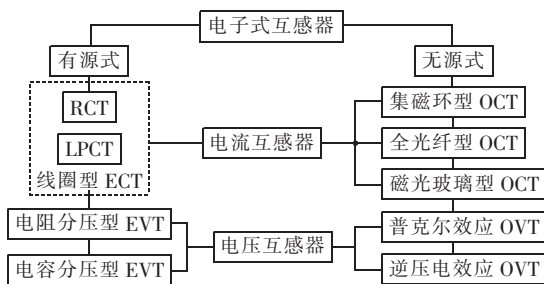


图 1 电子式互感器的分类框图

Fig.1 Block diagram of electronic transformer classification

标准的常规站点。数字化变电站的实现基础体现在数据采集的稳定性、二次系统的冗余性、设备的互操作性和通信的安全性等环节<sup>[6]</sup>。电子式互感器作为电量采集的重要设备, 如何通过合理选型及有效配置以实现以上要求, 是数字化变电站建设中面临的重要问题。

### 2.1 电子式互感器的选择

鉴于无源式 OVT 在国内尚无相关成熟产品, 数字化变电站中主要选用有源式 EVT 实现电压量的采集与传输。出于传感元件性能与绝缘水平等方面的考虑, 电阻分压型 EVT<sup>[7]</sup>具有理想的测量品质和暂态响应, 但消耗功率, 一般应用于 66 kV 及以下的电压等级场合, 而电容分压型 EVT 不存在电磁单元, 主要应用于 110 kV 及以上的电压等级场合。

电子式电流互感器实用化产品种类较多, 各自的原理与性能存在着较大差别, 如表 1 所示。

有源式 ECT 由于技术实现较容易, 产品实用化较早, 投运站点多并积累了一定经验, 长期运行的可靠性成为其一大优势; 无源式 OCT 基于法拉第磁光效应原理, 较有源式 ECT 彻底消除了铁心的影响, 具有更快的响应速度、更宽的响应带宽以及更好的动态测量品质, 绝缘性和抗电磁干扰能力也显著提

表 1 电子式电流互感器的性能对比

Tab.1 Performances of electronic current transformers

| 对比项目  | 线圈型               | 全光纤型             | 磁光玻璃型             |
|-------|-------------------|------------------|-------------------|
| 传感元件  | 罗氏线圈及低功率线圈        | 光纤环              | 磁光玻璃              |
| 传输光纤  | 上传光能×2<br>下传光数据×2 | 上传光能且<br>下传光数据×1 | 上传光能×1<br>下传光数据×2 |
| 线性度   | 较好                | 好                | 好                 |
| 动态范围  | 较大                | 大                | 大                 |
| 测直流分量 | 不可测量              | 可测量              | 可测量               |
| 动态响应  | 较好                | 好                | 好                 |
| 抗电磁干扰 | 一般                | 好                | 好                 |
| 抗振动干扰 | 好                 | 好                | 较好                |
| 抗温度干扰 | 较好                | 一般               | 一般                |
| 传感元件  | 线圈横截面             | 光纤环与             | 磁光玻璃中心            |
| 安装要求  | 与导线垂直             | 导线交叉即可           | 与导线重合             |
| 投运时间  | 2004 年~           | 2008 年~          | 2005 年~           |
| 投运站点  | 多                 | 少                | 较少                |

高。目前工程上从技术性和经济性<sup>[8]</sup>出发,一般推荐 110 kV 及以上电压等级采用无源式 OCT, 66 kV 及以下电压等级采用有源式 ECT。

## 2.2 电子式互感器的配置

数字化变电站中,电子式互感器一方面参照传统互感器的配置原则进行配置,一方面根据“面向间隔实施监控”的思想按间隔配置,每个间隔作为一个独立的保护和监控单元,简化接线,提高保护和监控的可靠性。目前投运的 EVT 与常规电压互感器的结构类似,配置也基本相同;ECT 与常规电流互感器的差别较大,分采集单元与合并单元 2 部分分别配置。

### 2.2.1 传统互感器的配置方式

传统互感器通过配置,在电力系统中实现以下功能:将一次回路的高电压和大电流变为二次回路标准的低电压(100 V)和小电流(5 A 或 1 A),正确反映电气设备的正常运行和故障情况;将二次设备与高压部分隔离,且互感器二次侧接地,保证设备和人身安全。电压互感器的配置比较简单,一般根据应用场合进行配置,电流互感器配置则相对较为复杂、影响因素多。传统互感器的参考配置方式如表 2 所示<sup>[9]</sup>。另外,根据连接二次设备的要求选择不同精度:一般性测量用 0.2、0.5、1 或 3 级,特殊性测

表 2 传统互感器配置方式

Tab.2 Configuration of conventional transformer

| 互感器类型         | 配置方式                                                                                                                        |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 电压互感器<br>(TV) | 发电机侧:2 组 TV (1 级+0.5 级)/侧, Y/Y+V/V 或 Y/Y/Δ 接线,1 组供自动调节励磁装置用,1 组供测量仪表、保护装置和同步用。                                              |
|               | 变压器侧:1 组 TV (0.5 级)/侧, Y/Y/Δ 接线,供测量仪表、保护装置和同步用。                                                                             |
|               | 母线侧:1 组 TV (0.5 级)/侧, Y/Y/Δ 接线,供测量仪表、保护装置、同步和绝缘监测用。                                                                         |
|               | 线路侧:1 台单相 TV (1 级)/35 kV 及以上电压等级且对端有电源的线路侧,用于监视线路有无电压,供同步和重合闸设置用。                                                           |
| 电流互感器<br>(TA) | 一般按“三相每侧”进行配置,每相按 1 台 TA 配置(对于中性点非直接接地系统且负荷对称、保护灵敏度满足要求,则按两相配置;220 kV 及以上电压等级需双重化保护,按 2 台配置,且位置允许时应设在断路器两侧,使断路器处于交叉保护范围之内)。 |

量用 0.2 S 或 0.5 S 级,暂态保护用 TPX、TPY 或 TPZ 级,稳态保护用 5P 或 10P 级。

### 2.2.2 电子式互感器的配置方式

IEC61850-3 提出“故障弱化”要求<sup>[10]</sup>,即当数字化变电站系统中任一通信元件发生故障时,变电站仍是持续可操作的,为此,电子式互感器采用冗余技术保证系统可靠性。

采集单元分为单回路和双回路配置,每一回路包括独立的传感元件、光纤信号通道和光纤电源/光源通道。主变间隔、母线间隔、220 kV 及以上电压等级间隔一般按照保护双重化原则配置双回路采集单元,分别供 2 套保护用;110 kV 及以下电压等级间隔一般配置单回路采集单元。以线圈型 ECT 与磁光玻璃型 OCT 为例,其采集单元双回路配置方式如图 2 所示,后者在无法保证磁光玻璃性能可靠的前提下,也可采取 2 块磁光玻璃通过 4 条光纤的方式实现双回路配置。

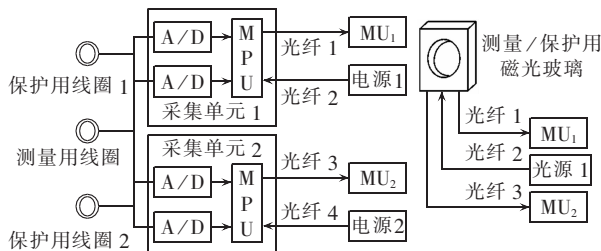


图 2 电子式电流互感器采集单元的配置方式

Fig.2 Sensor allocation of electronic current transformer

常规电流互感器应保护双重化的要求一般采用 2 台独立电流互感器串接的配置方式,而电子式电流互感器采用磁光材料代替以往的电磁绕组作为传感元件,绝缘性能好,便于集成,双回路采集单元可以集中在一根绝缘套管内,简化了互感器的配置,节省了占地空间。

合并单元 MU(Merging Unit)对应采集单元进行配置,双母线接线方式下还应配置专门合并单元实现母线电压并列,经间隔合并单元切换后,供检同期功能使用。220 kV 间隔的合并单元一般置于室内的合并单元屏;110 kV 间隔的合并单元可以置于合并单元屏,也可根据一次设备的选型和运行习惯布置,例如与智能操作箱就地下放到气体绝缘开关设备 GIS(Gas Insulated Switchgear)汇控柜内;35 kV 及以下电压等级在常规站中将保护测控装置下放到开关柜,数字化变电站可延续这一方式。

## 3 电子式互感器的参考配置方案

文献[11]给出了电子式互感器的配置方案,并在实际中得到广泛应用。在此基础上,以双母线接线的 220/110/35 kV 电压等级的数字化变电站为例,表 3 列出了参考配置方案,主变间隔采用数字输出且性能一致的无源式 OCT 以及 OCT 与 EVT 相结合的组合式 CVT;220 kV、110 kV 间隔采用数字输出的 OCT 和 CVT。鉴于 35 kV 保护测控装置已下放到开

表 3 电子式互感器配置方案  
Tab.3 Electronic transformer configurations  
for different cells

| 间隔名称         |                        | 互感器选型<br>(测量精度与数量)       | 采集单元与<br>合并单元配置   |
|--------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 主变<br>间隔     | 220 kV<br>侧进线          | CVT(0.2S/<br>5TPE+0.2)×3 | 双回路+双套            |
|              | 110/35 V<br>侧进线        | OCT(0.2S/<br>5TPE)×3     | 双回路+双套            |
|              | 主变公共绕组                 | OCT(5TPE)×1              | 双回路+双套            |
| 母线<br>间隔     | 220/<br>110 kV 侧       | EVT(0.2)×3               | 双回路+双套            |
|              | 35 kV 侧                | EVT(0.2)×3               | 单回路+单套            |
|              | 220 kV<br>出线           | CVT(0.2S/<br>5TPE+0.2)×3 | 双回路+双套            |
| 110 kV<br>间隔 | 母联                     | OCT(0.2S/<br>5TPE)×3     | 双回路+双套            |
|              | 出线/母联                  | OCT(0.2S/<br>5TPE)×3     | 单回路+单套            |
|              | 35 kV 出线/站用/<br>间隔 电容器 | LPCT/CT<br>(0.2S)×3      | 3 个二次电流<br>线圈无 MU |

注:110 kV 间隔的出线若为有源线,则其 A 相增配 1 台 EVT (0.2,同期用),含 1 路独立输出回路和 1 个采集单元。

关柜,且电子式互感器在精度、绝缘和造价等方面的优势都难以体现,此时互感器按 2 种情况配置:涉及到跨间隔应用(如母线设备间隔),选用模拟输出的 LPCT,其他情况选用常规互感器,并采用常规保护测控一体化装置的配置方案。

图 3 和图 4 描绘了电子式互感器在 220 kV 下的单相配置与 35 kV 下的三相配置情况。母线 EVT 的输出既用于母线保护,又作为线路重合闸检同期元件的电压输入。当线路保护的重合闸采用检同期方式时,需进行电压切换,母线间隔的合并单元(MU<sub>5</sub>,MU<sub>6</sub>)将并列后的电压传送到各间隔合并单元(MU<sub>1</sub>~MU<sub>4</sub>)内,根据线路隔离刀闸的位置在其中完成电压切换,并同时接收本间隔的电流、电压量,最后将所有的采集信息转换成 IEC61850-9-1/2 格式输出至二次设备;当线路保护的重合闸采用不检重合,则不需进行电压切换;另外,对于如变压器保护

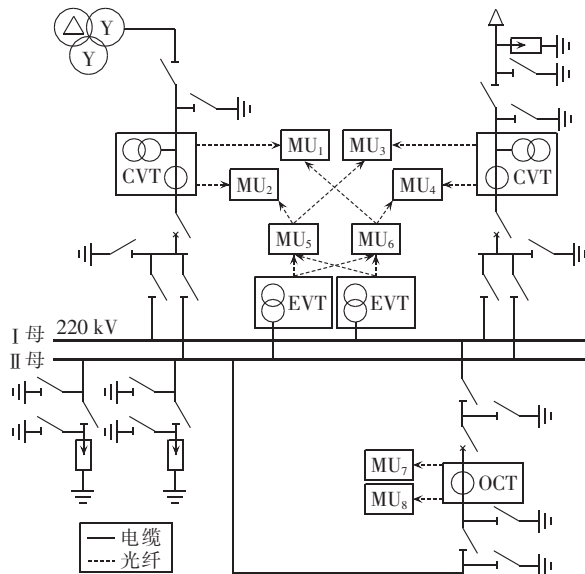


图 3 220 kV 电子式互感器配置方式图

Fig.3 Electronic transformer configuration for 220 kV level

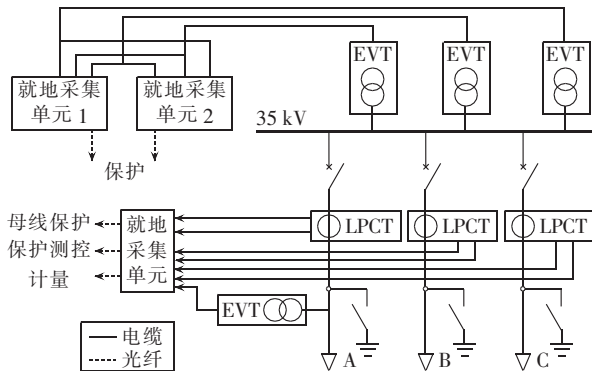


图 4 35 kV 电子式互感器配置方式图

Fig.4 Electronic transformer configuration for 35 kV level

等没有重合闸功能的装置,由于本间隔已有完整的电流、电压量,因而无需进行电压切换<sup>[12-13]</sup>。35 kV 侧的就地采集单元按双重化配置,当某回路异常时,只会影响本间隔,而不影响其他间隔。

## 4 故障案例分析

### 4.1 江陵换流站差动保护动作跳闸事件

江陵换流站在其直流系统以及交流滤波器中大量采用了有源式 ECT,由于使用经验不足,导致在 2004 年至 2005 年试运行期间发生多起交流滤波器差动保护动作跳闸事件<sup>[14]</sup>。原因之一就是有源式 ECT 中使用了大量的电子元器件,电子回路的集成度不高,当某一元件发生故障时会导致整个电路板不能正常工作。

### 4.2 富村站变差动速断保护误动事件

110 kV 富村站一次系统引入了有源式 ECT 和 EVT 代替传统的电磁式互感器。2008 年 4 月,处于冷备用状态的高压侧桥开关,由于 C 相采集单元的采样回路中滤波电路元件虚开或虚短引入高电平而导致 A/D 芯片输入端电位异常,从而错误传输异常信号,导致主变差动速断保护误动作<sup>[15]</sup>。

## 5 结语

电子式互感器的出现给变电站的运行、检修、计量等专业带来了新的理念,不再有以往互感器二次变比、二次值及二次绕组的概念,同时由于其投运时间较短,在可靠性与经济性等方面仍存有不足。对此,建议结合传统互感器的配置原则和电子式互感器的新特点,按不同电压等级对电子式互感器分别选型并考虑一定的冗余配置,有助于实现数字化变电站的“弱故障化”。

### 参考文献:

[1] 贾巍,曹津平,李伟. 数字化变电站中过程层的技术研究[J]. 电力自动化设备,2008,28(10):71-74.  
JIA Wei,CAO Jinping,LI Wei. Process level technology in digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(10):71-74.  
[2] 邸荣光,刘仕兵. 光电式电流互感器技术的研究现状与发展[J].

- 电力自动化设备,2006,26(8):98-100.
- DI Rongguang,LIU Shibing. Research status and development of optical current transducer[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(8):98-100.
- [3] IEC. IEC60044-7 instrument transformers part 7 electronic voltage transformers[S]. Geneva,Swiss Confederation:IEC,1999.
- [4] IEC. IEC60044-8 instrument transformers part 8 electronic current transformers[S]. Geneva,Swiss Confederation:IEC,2002.
- [5] INOUE N,TSUNEKAGE T,SAKAI S. Fault section detection system for 275 kV XLPE-insulated cables with optical sensing technique[J]. IEEE Trans on Power Deilvery,1995,10(3):1148-1155.
- [6] 高翔,张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术,2006,30(23):67-72.
- GAO Xiang,ZHANG Peichao. Main features and key technologies of digital substation[J]. Power System Technology,2006,30(23):67-72.
- [7] 方春恩,李伟,王佳颖,等. 基于电阻分压 10 kV 电子式电压互感器[J]. 电工技术学报,2007,22(5):58-63.
- FANG Chunen,LI Wei,WANG Jiaying,et al. 10 kV electronic voltage transformer based on resistor divider [J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2007,22(5):58-63.
- [8] 赵丽君,席向东. 数字化变电站应用技术[J]. 电力自动化设备,2008,28(5):118-121.
- ZHAO Lijun,XI Xiangdong. Technology of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(5):118-121.
- [9] 熊信银,范锡普. 发电厂电气部分[M]. 北京:中国电力出版社,2004:182-196.
- [10] 王夏霄,张春熹,张朝阳,等. 一种新型全数字闭环光纤电流互感器方案[J]. 电力系统自动化,2006,30(16):77-80.
- WANG Xiaoxiao,ZHANG Chunxi,ZHANG Chaoyang,et al. A new all digital closed-loop fiber optic current transformer[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(16):77-80.
- [11] 李九虎,郑玉平,古世东,等. 电子式互感器在数字化变电站的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(7):94-98.
- LI Jiuhu,ZHENG Yuping,GU Shidong,et al. Application of electric instrument transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems,2007,31(7):94-98.
- [12] 叶罕罕,许平,宗洪良,等. 数字化变电站的电压互感器配置和电压切换[J]. 电力系统自动化,2008,32(24):93-95.
- YE Hanhan,XU Ping,ZONG Hongliang,et al. The configuration and switch over of voltage transformer in digital substation[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(24):93-95.
- [13] 崔和瑞,于立涛,张屹. 220 kV 午山数字化变电站应用研究[J]. 电力自动化设备,2009,29(3):149-152.
- CUI Herui,YU Litao,ZHANG Yi. Introduction of 220 kV Wushan digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(3):149-152.
- [14] 徐兵. 电子式电流互感器在政平换流站的应用与分析[J]. 高压电压技术,2006,32(9):170-172.
- XU Bin. Application of electronic current transformer in Zhengping converter station[J]. High Voltage Engineering,2006,32(9):170-172.
- [15] 韩四化,董祯. 富村 110 kV 数字化变电站[J]. 农村电气化,2009(1):33-34.
- HAN Sihua,DONG Zhen. Introduction of 110 kV Fucun digital substation[J]. Rural Electrification,2009(1):33-34.

(责任编辑:汪仪珍)

#### 作者简介:

黄 灿(1986-),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要研究方向为电气测量、控制和变电站自动化系统(E-mail: wongcan@sina.com);

郑建勇(1966-),男,江苏南京人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为电力电子与电力传动;

苏 麟(1980-),男,四川泸州人,工程师,硕士,主要从事变电站二次、继电保护、远动设计;

梅 军(1971-),男,江苏淮安人,讲师,博士,主要研究方向为电力电子与电力传动。

## Configuration of electronic transformers

HUANG Can<sup>1</sup>,ZHENG Jianyong<sup>1</sup>,SU Lin<sup>2</sup>,MEI Jun<sup>1</sup>

(1. College of Electrical Engineering,Southeast University,Nanjing 210096,China;

2. Jiangsu Electric Power Design Institute,Nanjing 210024,China)

**Abstract:** For the configuration of electronic transformer in digital substation,its influencing factors are analyzed,such as the physical model,measuring quality,power consumption,anti-interference ability,economy, etc. It is advised that,110 kV and higher voltage class should apply the optical current transformer and capacitor-divider electronic voltage transformer,and 66 kV and lower voltage class should apply the electronic current transformer and resistor-divider electronic voltage transformer. Combined with the configuration principles for conventional transformer,the configuration principles for electronic transformer by different bays are presented with a reference scheme. Aiming at the existing problems of operating substations,it is recommended that,to lower the fault rate of digital substation,the electronic transformer should be selected according to bays and configured with a certain redundancy.

**Key words:** electronic current transformer; electronic voltage transformer; digital substation; configuration; IEC61850