

# 一种遥测电压互感器的研究

阳斌<sup>1</sup> 方陟亨<sup>1</sup> 王统祥<sup>2</sup>

1. 国网湖南省电力有限公司娄底供电分公司; 2. 山东泰开电力电器有限公司

**摘要:** 为了满足变电站停电改造期间线路电压监测的需求, 解决现有电磁式电压互感器存在的诸多问题, 研制一种新型的遥测电压互感器, 实现对线路电压和零序电压的测量。新型产品一次电压测量采用电容分压原理, 产品体积小、重量轻、无谐振风险。二次数据采集和传输在现有配一二次融合断路器的基础上简化, 保留电压测量和数据远程传输单元, 实现了电压信号的无线传输, 避免了线路施工。

**关键词:** 变电站; 电压; 互感器; 监测

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.07.240

## 引言

随着配电网升级改造的不断推进, 10kV变电站高压室推倒重建项目逐渐增多, 以湖南省公司为例, 仅2022年有20余个此类型项目。在高压室推倒重建期间, 所有10kV线路必须在站外过渡, 在改造过程中, 放置在高压室内的10kV线路电压互感器将退出运行, 10kV线路的运行状态无法监测, 在线路发生单相接地等事故时有造成事故扩大的风险。为解决此类问题, 一种安装方便、施工简单的10kV电压临时测量装置需求迫切。

## 一、电压测量设计

在目前投入运行的诸多电压互感器中, 电磁式电压互感器的使用最为普遍, 此类电压互感器采用电磁感应原理制成, 其一次绕组并联接在电力系统的线路中, 二次绕组接有测量仪器、仪表、继电器等设备, 这些设备就是电压互感器的二次负荷。一次绕组与二次绕组绕制在同一个铁芯上, 一次绕组绕制 $N_1$ 匝, 二次绕组绕制 $N_2$ 匝, 通过两者不同的匝数比, 将一次系统的高电压 $U_1$ 转换为二次的低电压 $U_2$ 。当电力系统的电压发生变化时, 电压互感器即将此变化的信息按照比例传递给其二次绕组所接的负荷。图1为电磁式电压互感器的工作原理图。

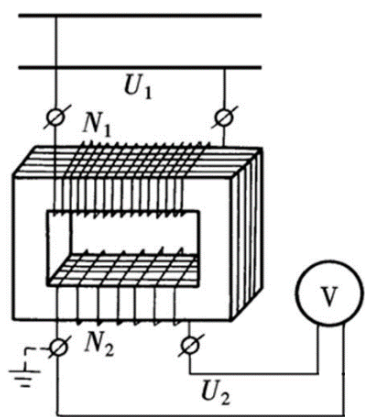


图1 电磁式电压互感器工作原理图

为满足三相电力系统广泛采用的单相接地故障保护, 快速发现单相接地故障, 电磁式电压互感器需要制成单相三绕组结构。所谓“三绕组”即互感器除了有一次绕组和二次绕组外, 还有一个剩余电压绕组。使用时三台单相电压互感器接成三相组, 二次绕组成星形, 剩余绕组接成开口三角。正常运行时, 开口三角端电压接近零, 当系统发生单相接地故障时, 开口三角两端产生一零序电压, 使继电保护装置发出信号。

此类互感器的一次绕组为星形接线, 中性点直接接地, 相当于非线性电感, 其与各相母线对地电容构成谐振回路。当互感器正常工作时铁芯处于非饱和状态, 而当电网发生扰动时, 例如单相接地故障或开关突然合闸等, 可能导致铁芯励磁电流增大, 进而引起铁芯饱和, 励磁电感迅速减小, 中性点发生偏移, 发生谐振现象。谐振会增大电压互感器一次绕组和二次绕组内的电压和电流, 损坏电气设备的绝缘性能。长时间的过电流会引起线圈的温度快速上升, 进而导致电压互感器烧毁。由谐振引起的互感器炸裂事故在10kV配电系统中时有发生, 为此, 国内外学者对于如何抑制或消除互感器铁磁谐振故障做了大量研究。一些消谐措施已经在实际运行中被广泛采用, 主要包括: 采用励磁特性较好的互感器、减少并联互感器数目、用电容式电压互感器代替电磁式电压互感器、在三相互感器中性点接入单相互感器、中性点经消弧线圈接地、一次侧中性点接非线性电阻、开口三角形处接阻尼电阻等。以上方法均是从破坏谐振条件或消耗谐振能量的角度出发来抑制铁磁谐振, 但在实际应用中表现出的消谐效果并不理想, 甚至还会带来附加问题。随着电力系统结构、规模的扩大, 传统的消谐措施已经无法适应越来越复杂的电力系统结构, 急需新的措施来应对复杂环境下的铁磁谐振故障, 目前市场上的各种新型的消谐措施大都处在理论阶段, 缺少实际运行的验证。而且增加额外的消谐措施, 会导致安装复杂, 不利于临时监控线路电压时的安装需求。

近年来,国内外利用光学传感技术、光通信技术、电子技术等大力发展电子式电压互感器的研发和制造,光电式互感器利用Pockels效应制成,产品成本较高,目前主要应用在特高压直流领域。而基于电容分压原理制作的电压传感器在10kV配电网领域正在批量应用,其根据需求电压的不同,串联两个到多个电容进行分压,通过低压取信号电容反映一次电压的信号。它的优点是可靠性高、价格便宜、个头小、重量轻、电场强度裕度大。但是电子式电压互感器在高低压之间缺少电磁单元隔离,电容击穿后在高低压之间形成直接通道,容易导致接地事故扩大化。同时采用电容串联分压,只能输出一路信号,无法同时满足线路电压测量和零序电压测量的目的。

作为电容分压型传感器的核心零部件,在电容的选择过程中需要考虑电容值的大小、温变特性、绝缘特性等要求。特别是温度特性,在不同的运行工况下,如果高压电容和低压电容的温度系数相差较大,会导致分压比在温度变化上不准确,最终使得测量出的电压值与实际值存在偏差。为了避免此类问题的发生,高低压电容采用统一材料、同一工艺制造,最大限度的控制两个电容温度系数变化导致的测量误差。在实际生产中,我们采用电容量大、稳定性好、耐电压电流能力更优异的薄膜电容作为高低压电容

为了满足10kV互感器能够耐受电压42kV,1分钟和通过75kV正负极性雷电冲击的需要,电容生产完成后外部还要用绝缘材料灌封。为了降低制造成本,有的制造商内部使用普通户内树脂浇注户外用互感器,然后进行二次浇注,外侧覆盖一层户外树脂或硅橡胶外套。这种复合式浇注互感器,内外两层材料没有化学上的铰链,一个使用周期后,产品由于热胀冷缩会使两种材料间形成气隙夹层,导致绝缘水平下降,引起很多绝缘事故的发生。为避免以上情况,本产品电容装配固定到模具中,然后采用液态硅橡胶一体封装、硫化成型,产品一体设计,防止了进水的风险,适应户外运行环境的要求。为防止硅橡胶高温硫化过程中对电容产生直接影响,电容外面包裹有隔热保护层,固定在模具整个芯柱的中心位置,电场均匀。

为了通过一组电容同时实现线电压测量和零序电压测量的目的,同时在一次和二次之间构筑电气隔离防护,项目综合上述两种电压互感器的优点,采用电容分压原理进行高电压转换,同时在低压电容侧增加隔离变压器,保持了电子式电压互感器体积小、重量轻、安装方便的同时,实现了高低压电气隔离,实现了线电压和零序电压的同时输出,其原理如图2所示。

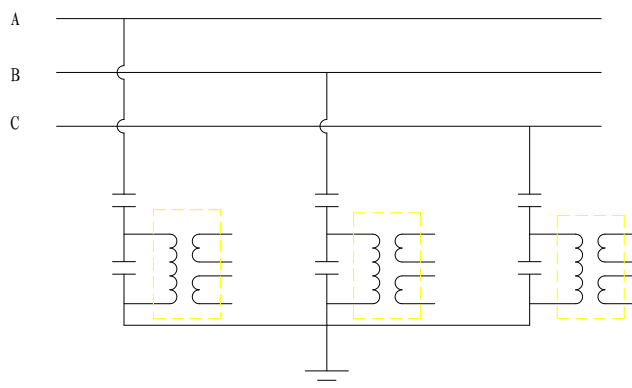


图2 产品原理图

## 二、数据采集与传输设计

根据本文需求的应用场景,电压互感器需要安装在被改造变电站旁边的线杆上,采用传统的二次电缆或者光纤传输,需要考虑在各种情况下的布线和防护问题,施工难度大、施工成本高。随着我国智能电网建设水平的不断提升,很多供电设施都朝着智能化、自动化、信息化的方向发展,不仅提高了配电网的运行效率,保证其质量,而且在很大程度上提高了供电服务质量与客户满意度。在这种背景之下诞生了一二次融合技术。

一二次融合柱上断路器二次信号采用的配电自动化终端(FTU)具备状态量监测、短路故障检测及处理、电能计量等功能,而且设备相关信息可以通过无线通讯网络的方式上传至主站。随着一二次融合柱上断路器在配电网中的广泛采用,FTU结构成熟、运行可靠。在现有FTU的基础上,结合项目实际需求,对FTU结构进行简化,仅保留电压测量、传输、报警等相关单元,将电流测量、断路器动作等结构去除,这样还进一步降低了产品的生产制造成本,便于推广应用。

本文设计的电压互感器二次输出信号采用与现行一二次融合柱上断路器一致的小电压信号,其中线电压为 $3.25/\sqrt{3}V$ ,零序电压为 $6.5/3V$ ,电压信号通过集成的二次电缆与FTU设备连接。二次电缆采用带有屏蔽的双绞线传输电压信号,增强设备抗干扰能力。二次信号处理部分在现有FTU基础上进行大幅度的简化,借用成熟的电压信号转换和通讯模块,实现电压信息的采集和传输。同时保留内置蓄电池,以保证在失压状态下的数据传输可靠性。

## 三、样机生产及测试

按照本文所述的设计方案,由山东泰开电力电器公司生产了高压测量部分的传感器。产品实测10公斤,不足普通电磁式电压互感器重量的1/10,如图3所示。按照国家标准的要求,产品顺利通过了42kV,1min的工频耐压试验和75kV的雷电冲击试验。



图3 高压测量部分

同时设备制造过程中还对一次端的结构进行了优化，可以使用安装支架固定在电线杆上，也可以将一次部分与高压带电作业线夹连接，实现带电安装。使用支架安装时，三相电压传感器与取能电源固定在不锈钢一体折弯而成的安装板上，停电安装时单人、单手即可轻松将产品提升至线路位置进行连接。

数据采集单元采用现在一二次融合柱上断路器使用的标准FTU设备，电压信号可以通过GPRS通讯模块实现无线传输，避免了在信号回路的施工，大大减轻了现场安装时的工作量。在一次端施加三相电压，模拟实际运行状态，后台电压数据读取正常，如图4所示。



图4 后台数据读取

#### 四、结语

本文所研发的遥测电压互感器体积小、安装方便，产品重量不到普通电磁式电压互感器的1/10，在变电站改造失压时临时安装方便，采用高压带电作业线夹时还能实现带电安装。一次部分采用电容分压原理，没有谐振风险；二次电压信号采用GPRS无线传输，避免了引线施工，大大降低了安装和施工成本，保证了传输可靠性，符合变电站改造失压期间临时监控线路的电压的需求具有更广阔的应用前景。

#### 参考文献

[1]刘胜男,张永敏,杨艳等.电磁式电压互感器常见故障及应对措施综述[J].西华大学学报(自然科学

版),2023,42(03):47-58.

[2]丁建平.基于电容分压的10kV电子式电压互感器[J].湖州师范学院学报,2017,39(S1):52-54.

[3]王均梅,吴春风,王晓琪.我国电力互感器的发展概况及应用现状[J].电力设备,2007(01):5-10.

[4]项林.配电网一二次融合关键技术及应用[J].中国新技术新产品,2021(16):66-68.

论文是由群创项目遥测电压互感器,项目编码5216k0220005资助。