

# 计量用互感器在线监测系统的研制\*

张蓬鹤 邓泽官 王龙华 吴巍

(国网电力科学研究院监测技术研究所, 武汉 430074)

**摘要:** 在分析计量准确性的重要性和目前实验室离线检测存在不足的基础上, 研制了按照分布式系统设计的计量用互感器在线监测系统, 并介绍了 PT 二次负荷、压降、误差和 CT 二次负荷、压降在线监测的原理和硬件电路设计方案。该监测系统采用分布同步测量方案, 具有三层体系框架结构, 考虑了在线监测长期运行的问题, 对于测量系统和供电电源进行了可靠性设计。目前该系统已经在变电站挂网运行, 测量数据准确、可靠, 具有实用性。  
**关键词:** 计量用互感器; 在线监测; 误差; 同步测量

中图分类号: TM452

文献标识码: B

文章编号: 1001-1390(2009)07-0041-04

## The Development of the Metric Transformer Online Monitoring System

ZHANG Peng-he, DENG Ze-guan, WANG Long-hua, WU Wei

(State Grid Electric Power Research Institute monitor the Technology Research Institute, Wuhan 430074, China.)

**Abstract:** On the base of the importance of the metric accurateness and the inadequacy of laboratory outline test, the system of the metric transformer online monitoring is designed according to the system design of distribution. The measurement principle of the hardware design about PT secondary load, secondary potential, error and CT secondary load error are introduced in detail. The system adopts the synchronous measurement of distribution and includes three layers configurations. Considering the long-range run problem, the measurement system and power are designed using the dependability design. At the present, the system has run in the substation, the measurement data is accurate, credible and practical.

**Key words:** metric transformer, online, error, synchronous measurement

### 0 引言

现代工农业生产和人民生活都离不开电。发电厂与变电站的高压电能计量装置, 关系到发电、输电和配电三方利益。现场高压计量装置由 CT、PT、二次回路和表计四部分组成<sup>[1]</sup>。在计量过程中, 互感器把高电压和大电流按比例送到电能表电压线圈和电流线圈上, 通过电能表计算出二次侧的电能后, 再乘以比例系数得出一次侧的电能数值。为了保证计量准确, 必须按照 SD109-83《电能计量装置检验规程》和 DL/T448-2000《电能计量装置技术管理规程》进行检验。但在目前计量检定的实际工作中还存在如下问题<sup>[2-3]</sup>: 已经检定的互感器存在误差变化的情况; 电力系统要求尽可能的缩短检验时间, 实验室与现场检验结果相差很大(两者负载不同、环境不同), 离线检测工作量大、实时性差。由此可见, 离线的实验室互感器误差校验

难以满足电力系统迅速发展的需求。为及时准确地监测电能计量装置的误差情况, 迫切需要采取新的切实可行的检测电能计量装置误差的方法, 计量用互感器在线监测系统应运而生<sup>[4-6]</sup>。目前, 国内外对计量在线检测研究较少, 国外有澳大利亚红相电力公司有类似在线检测的产品, 不过监测的对象较少, 只对电能表和 PT、CT 的二次进行监测, 监测软件的功能较少。该计量用互感器在线监测系统应用和吸收了计算机、传感器、通信和网络、数字信号处理以及智能诊断等技术的最新成果, 可以促进计量设备检定工作从传统方法向优化决策方向转变, 实现计量设备的状态监测和基于状态的优化检修方案, 减少停电试验工作量和维护费用, 提高系统供电可靠性, 提高设备维护效率。采用互感器在线监测技术还可以及时发现设备故障, 减少突发性事故损失等。互感器在线监测应是今后计量检定工作的发展方向之一。

\* 国家电网公司科学技术资助项目(SGKJ[2007]247)

# 1 整体方案设计与工作原理

## 1.1 整体设计方案

计量用互感器在线监测系统按分布式系统设计,采用积木式结构,具有很强的可扩充性。其基本框架按三层体系结构设计,包括:局方计量监测系统监测主站系统、站方计量监测系统子站系统和系列变电站设备计量监测终端装置和系列传感器设备。站方计量监测系统监测终端装置包括:PT 二次压降在线测试、PT 二次负荷在线测试、CT 二次负荷在线测试、电压互感器误差在线测试、电流互感器误差在线测试和互感器绝缘在线监测(主要功能为:模拟量采集功能、完成就近监测设备的信号采集、数据处理功能;对采集的信号进行相应的数据处理和计算、数据通信功能。上传采集信号,接受下传参数及控制命令;软硬件看门狗功能);环境监测单元扩展接口。目前国内在线监测系统的同步测量技术有集中同步控制测量和分布同步控制测量两种,从成本和施工难易程度两方面考虑(集中同步需要多铺设一根触发脉冲方波信号),故本测量系统采用分布同步测量方案。

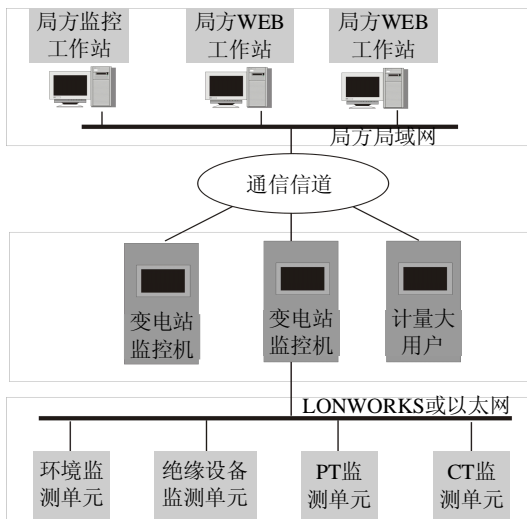


图 1 计量用互感器在线监测系统设计图

Fig.1 System design diagram of the metric transformer online monitoring

## 1.2 工作原理

### 1.2.1 PT二次压降、负荷和误差测量原理

电能计量装置的 PT 二次回路,有三相三线制和三相四线制两种接线型式。其中某一相电压回路,可用式(1)计算二次压降,即:

$$\Delta U = U_{pt} - U_{in} = I(R_r + R + jX) \quad (1)$$

式中  $U_{pt}$  为 PT 侧电压(相量);  $U_{in}$  为仪表侧电压(相量);  $R_r$  为各种接触电阻(可变);  $R$  为线路直流电阻;  $X$  为线路电感;  $I$  为线路电流。由于  $R_r$  的可变性和仪

表侧负载也常常在一定范围内变化,最终导致电压降也随着在一定范围内变化。

PT 的误差与二次负荷的关系称为负荷特性。负荷误差是由于负荷电流在一次及二次线圈电阻和漏电抗上的电压降产生的。如果 PT 空载下的比值差  $f_0$ 、相位差  $\delta_0$  已测定,再测量它在额定负荷  $Z_N, \cos\varphi = 1$  时的比值差  $f_e$  和相位差  $\delta_e$ ,就可以通过计算得到任意负载  $Z_b$  下的比值差  $f$  和相位差  $\delta$ 。PT 二次压降的测量原理如图 2 所示,PT 二次负荷测量原理如图 3 所示。

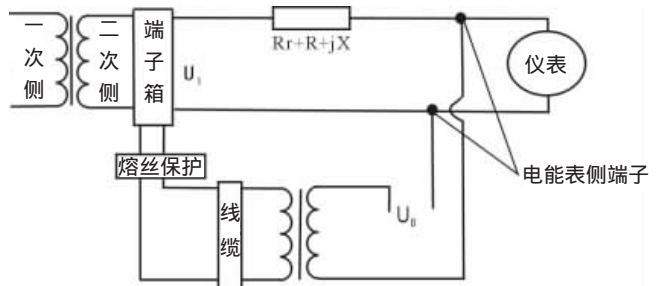


图 2 PT 二次压降测量原理图

Fig.2 Diagram of PT secondary voltage drop

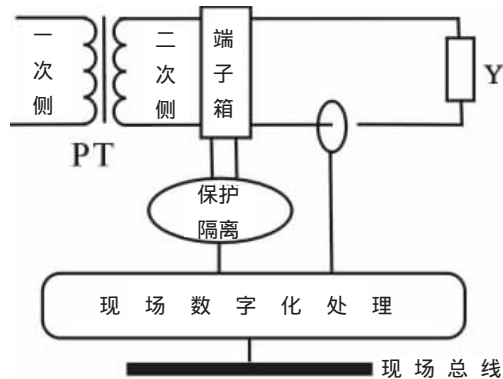


图 3 PT 二次负荷测量原理图

Fig.3 Diagram of PT secondary voltage load

### 1.2.2 CT二次负荷和误差测量原理

CT 的误差与二次负荷的关系称为负荷特性,随着二次负荷的增加(表示实际二次电流与额定二次电流百分比)增加  $I_p / I_N\%$  电流互感器的比差向负方向变化,角差向正方向变化。当二次负荷的功率因数减少时,CT 的比差和角差都向负方向变化。CT 的复数误差由式(2)得出,即:

$$\varepsilon = -(Z_2 + Z) \times Y + \Delta f \quad (2)$$

式中  $Z_2$  是二次绕组内阻抗;  $Z$  是二次负荷阻抗;  $Y$  是二次励磁导纳;  $\Delta f$  是比值差补偿值。

将该 CT 当成一个等变比的电压互感器来看待,则它的空载误差由式(3)得出,即:

$$\varepsilon_k = -Z_2 Y + \Delta f \quad (3)$$

在两个不同电压值下分别测空载误差  $\varepsilon_g$ 、 $\varepsilon_s$  和  $Y_g$ 、 $Y_s$  根据式(4)可算得  $Z_2$  即：

$$Z_2 = -(\varepsilon_g - \varepsilon_s) / (Y_g - Y_s) \quad (4)$$

当额定负荷和下限负荷已知时,在 CT 断电情况下,测出其在额定负荷和下限负荷下对应电流百分比下的励磁导纳。依据式(2),在 CT 的二次加励磁电压,在特定负荷的百分表下(如额定负荷 100%下)可求出固定的匝比误差  $\Delta f$ 。测出 CT 在实际运行情况下的二次负荷值  $Z_b$  和实际运行电流,已知 CT 的励磁导纳  $Y_b$ ,则可求出 CT 实际运行情况下的误差。CT 二次负荷测试原理见图 4。

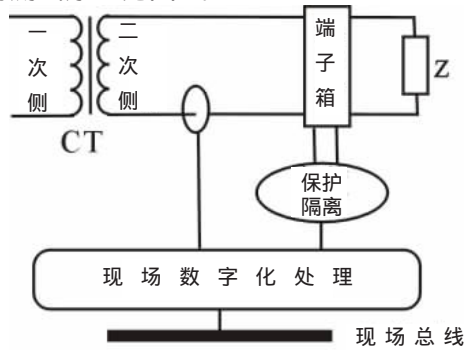


图 4 CT 二次负荷测量原理图

Fig.4 Diagram of CT secondary voltage load

## 2 系统硬件设计

### 2.1 PT 二次压降监测单元

PT 二次压降测量单元硬件设计如图 5 所示。从 PT 二次侧放线到电能表侧接入 PT 二次压降监测单元,电能表侧电压端子接入 PT 二次压降监测单元,通过 PT 二次压降监测单元测量后可得出该条线路 PT 二次压降值。该装置安装在监控屏机柜内,PT 侧放线后引入监测单元接线,电能表侧电压信号引入监测单元接线,PT 侧和电能表侧电压信号输出出线端加保护装置。误差测量部分是采用测差式线路,差值信号经过取样、放大和滤波之后进入 A/D 采样,标准信号使用相同的电路,另外增加了  $0^\circ$  和  $90^\circ$  鉴相电路,提供了 A/D 采样的基准时间。

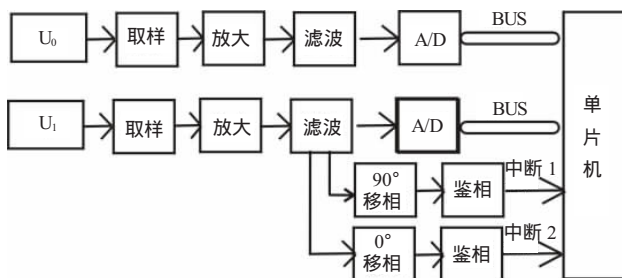


图 5 PT 二次压降硬件测量原理图

Fig.5 Hardware diagram of PT secondary voltage load

### 2.2 PT 二次负荷监测单元

PT 二次负荷测量单元硬件设计如图 6 所示。取 PT 二次出线电压,用穿心电流传感器取 PT 总回路的电流,接入 PT 二次负荷监测单元可求出 PT 二次所带负荷值。图 6 中  $U_1$  为 PT 二次电压  $I_0$  为 PT 二次回路电流。则按照  $Y=I_0/U_1$  可计算出 PT 二次负荷导纳,按照可计算出 PT 二次负荷中的电导分量;按照  $G=(I_0/U_1) \times \cos\varphi$  可计算出 PT 二次负荷中的电纳分量。其中  $\cos\varphi$  为 PT 二次负荷的功率因数  $S_n=U_N^2 \times Y$   $U_N$  为 PT 二次额定电压  $S_n$  为 PT 二次实际负荷值(VA)  $\varphi$  为根据  $\cos\varphi$  算出二次负荷电流与电压之间的角度。

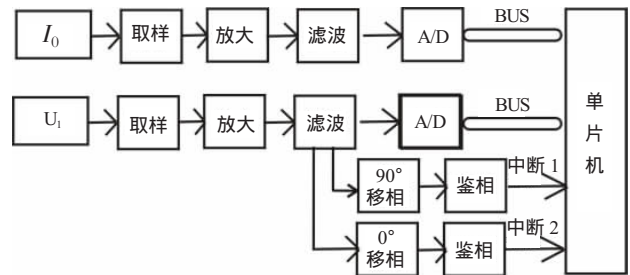


图 6 PT 二次负荷硬件测量原理图

Fig.6 Hardware diagram of CT secondary voltage load

### 2.3 CT 二次负荷监测

用穿心电流传感器取 CT 回路的电流,将 CT 二次电压接入 CT 负荷监测单元可求出 CT 二次所带负荷值。电流传感器及监测单元的安装,将电流传感器安装在 CT 出线端子排侧,相应的 CT 二次负荷监测单元安装在端子箱内,CT 二次电压也从 CT 出线端子排上取。CT 二次负荷的硬件测量原理框图同 PT 二次负荷硬件测量原理图一样,但  $I_0$ 、 $U_1$  表示的意义不一样  $I_0$  为 CT 二次回路电流  $U_1$  为 CT 首端和尾端之间的电压。则按照  $Z=U_1/I_0$  可计算出 CT 二次负荷阻抗;按照  $R=(U_1/I_0) \times \cos\varphi$  可计算出 CT 二次负荷中的电阻分量,按照  $X=(U_1/I_0) \times \sin\varphi$  可计算出 CT 二次负荷中的电感分量。其中  $\cos\varphi$  为 CT 二次负荷的功率因数  $S_n=I_N^2 \times Z$   $I_N$  为 CT 额定二次电流  $S_n$  为 CT 二次实际负荷值(VA)  $\varphi$  为根据  $\cos\varphi$  算出二次负荷电压与电流之间的角度。

### 2.4 测量系统可靠性设计

由于计量用互感器在线监测系统需要长期运行,故采用了特殊的可靠性设计方案。在测量微弱信号时,互感器本体对空间磁场以及互感器二次绕组对杂散电容有相当的敏感度,会直接影响测量的稳定度,为此对传感器采用电场和磁场的双层屏蔽;信号传输线采用双层屏蔽电缆以及抗干扰性极强的无源型 LonWorks 现场总线,从而保证了数据传输的可靠性



及稳定性,电源系统采取了隔离、屏蔽与滤波等抗干扰措施(采用稳定性较好的线性电源,并在前向通道上增加了浪涌吸收器);对传感器系统采用环氧树脂封装,对现场测量终端使用 IP65 级不锈钢机箱。

### 2.5 测量系统误差分析

监测系统的精度对于被监测互感器的评估至关重要,限于篇幅,对于监测系统的误差仅进行简单分析。监测系统的前端采样传感器的精度是检测系统硬件误差的关键,故考虑采用 0.01% 的传感器。另外硬件电路进行信号滤波,去掉干扰,保证硬件电路的精度。软件采取 FFT 算法处理信号。在信号传输过程中采用分布式同步处理方式,可以保证 PT 二次负荷导纳测量准确度为 2%,CT 二次负荷测量准确度为 2%,PT 及 CT 误差测量的比差准确度为 0.1%、角差准确度为 2'。

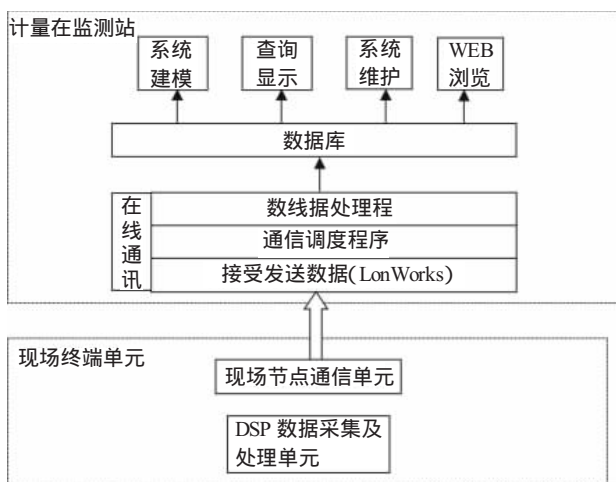


图 7 系统软件设计流程图

Fig.7 Flow chart of system software design

### 3 系统软件设计

计量用互感器在线监测系统软件的运行环境为 WIN2000 SERVER 操作系统,采用 SQL SERVER2000 数据库管理系统,整套应用软件包括计量在线监测管理系统、在线通讯程序和 WEB 服务器软件。软件所实现的功能为:系统建模功能,在线通讯功能(完成与各现场监测单元间的通讯),数据查询功能(实时监测最新的数据,可按小时、天查询历史数据,以及现场检定时数据的显示),系统维护功能(设置不同的用户权限,数据库管理以及查询系统事项等),WEB 浏览功能(WEB 查询功能采用 B/S 结构实现);远程维护功能。在线通讯程序是系统的核心功能,实现利用现场总线定时或实时传输变电站的监测数据,还可将一些重要的信息通过短消息的方式通知用户。软件设计流程略。

### 4 结论

目前该套装置已经安装、运行在武汉局 110kV

鲁巷变电站、天津 110kV 变电站和内蒙古 220kV 变电站等,实现了 PT 二次压降、PT 二次负荷、CT 二次负荷、PT 误差、CT 误差等参数在线监测,测试数据经检定,准确、可靠。本装置在理论分析和现场试验的基础上,吸收了计算机、传感器、通信和网络、数字信号处理以及智能诊断等技术的新成果,实现互感器误差变化趋势在线监测,可及时发现互感器误差异常,保障系统计量准确性,提高互感器维护效率及运行可靠性,为计量管理提供技术支持。计量用互感器在线监测系统的研制解决了目前在变电站、发电厂运行的计量装置不能有效、实时测试计量用互感器二次回路工作状态及精度问题,便于变电站实现现代化数据管理,大大减轻了劳动强度、提高了工作效率。

### 参考文献

- [1] 吴涛.电能计量装置的计量误差分析方法[J].电测与仪表,2002, 39(11):17-10.
- [2] 唐耕,徐振林.提高变电站计量装置准确度分析[J].电测与仪表, 2005, 42(11):27-29.
- [3] 申秀香,郑光明.计量用互感器二次回路实际参数分析[J].河北电力技术, 2008,27(5):20-22.
- [4] 张斌.让电能计量更合理[J].计量与测试技术, 2008,35(8):32-34.
- [5] 刘玉明.提高电能计量准确性的方法研究[D].重庆大学, 2002, 9.
- [6] 霍志鹏.电能计量装置异常状态监测系统的研究[D].华北电力大学(保定),2007,9.

作者简介:  
张蓬鹤(1978-),女,硕士,工程师,主要从事高压仪器仪表的测量和研究工作。Email: zpphh2004@126.com。  
邓泽官(1973-),男,高级工程师,主要从事高压仪器仪表的测量和研究工作。  
王龙华(1976-),男,硕士,工程师,主要从事高压仪器仪表的测量和研究工作。  
吴巍(1977-),男,硕士,工程师,主要从事电力系统测试和控制的研究工作。

收稿日期 2009-02-20  
(田春雨 编发)