

基于虚拟仪器的电网过电压 在线监测系统

刘 斌¹,任 力¹,徐兴华¹,杨文虎²,徐 阳³

(1.威海供电公司,山东 威海 264200;

2.西安交大科技园博源电气有限责任公司,陕西 西安 710054;

3.西安交通大学 电力设备电气绝缘国家重点实验室,陕西 西安 710045)

摘要: 结合输电网内外过电压的各自特点,设计了阻容分压器作为信号获取装置,基于虚拟仪器技术开发了一套电网过电压在线监测系统。信号调理单元对分压器捕获到的电压信号进行预处理,采用预触发技术在过电压到来时能有效触发采集。软件基于虚拟仪器技术,配合高速采集板卡,可方便调用、分析处理数据并进行图形化显示;采用数据压缩和网络技术,实现对现场过电压的远程访问。高压实验室模拟试验及应用结果表明系统工作稳定、测量准确,测试数据及过电压波形能真实反映电网过电压情况。

关键词: 过电压; 在线监测; 虚拟仪器; 分压器

中图分类号: TM 86

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)02-0097-04

过电压在线监测技术一直是电网研究的重点^[1]。通常的过电压录波仪采样频率不高,采样长度短,只能监测过电压的幅值和次数而不能对波形进行分析。采用美国 NI 公司的 LabVIEW 软件作为开发平台,可实现电力系统内、外过电压的采集。

1 过电压类型及信号获取方式

1.1 过电压类型

电力系统运行中,由于雷击、故障、谐振、操作等原因引起的电气设备电压高于额定工作电压的现象称为过电压。根据产生的原因分为外部过电压和内部过电压 2 大类^[2]。外部过电压即雷电过电压或大气过电压;内部过电压包括操作过电压、工频过电压、谐振过电压。

由于内部开关操作、断线、接地等原因而产生的高于额定工作电压的情况称为内部过电压。内部过电压由于产生的原因不同,表现出的特征也不同,如操作过电压具有高幅值、高频率、持续时间短的特点;工频过电压则是频率接近工频;而谐振过电压的特点是持续时间长、波形周期重复等。其中以操作过电压最为严重。内部过电压常用的限制措施是在系统中安装消弧线圈、并联电抗器或静止补偿器、避雷器、采用带有并联电阻的断路器和采用良导体接地线等^[3]。

大气放电可以形成作用于电力系统的过电压,这种过电压称作雷电过电压。雷电放电所产生的雷电流高达数十、甚至数百千安培,是造成电力系统绝缘故障和停电事故的主要原因之一。雷电过电压又

分为直接雷击过电压和感应雷击过电压。

1.2 信号获取方式

电力系统中常用的获取信号的方法有:电压互感器法、电流传感器法和阻容分压器法^[4]。

电压互感器法使用专用的电磁式电压互感器获取电压信号。现有的电压互感器大部分采用铁磁材料作为铁芯,其工作频率不高,很难捕捉到高频过电压信号。而用软磁铁氧体虽然工作频率很高、铁损也小,但在工频下的磁导率却很低,不能反映电网常态下的电压值。加上漏感、分布电容、磁饱和等因素的影响,也很难保证频率分量丰富的过电压信号不失真。因此,通过电压互感器获取信号不适合于过电压信号的获取。

电流传感器方法由电流传感器获取过电压的电流信号,电流传感器通常采用罗高夫斯基线圈的结构,适用于测量幅值较大而快速变化的脉冲电流。但该方法难以兼顾工频和脉冲,对于频带在几十到几千赫兹的内部过电压,其灵敏度很低。它虽然可以与电压互感器联合使用以弥补频带的不足,但是电流传感器所监测的雷电流波形容易失真,即使雷电流的波形相同,但不同的网络和设备可能出现的雷电过电压是不一样的,需要根据不同情况具体分析。

阻容分压器方式是通过设计一个专用的分压器获取过电压的信号。这种方法简单直观,而且精度高,通过三相分压器直接并联在电网中就可以了。但由于分压器需要长期并联在电网中运行,需要考虑分压器本身的安全性,而且测量回路和一次设备直接有电的联系,对于测量设备和人员的安全也必须考虑到。

2 系统结构设计及工作原理

系统的整体设计必须满足如下几个要求:

- 接入监测系统运行不能改变和影响电网的正常安全运行;
- 能够连续监测多路过电压,并记录和处理数据,进行简单的过电压类型判断;
- 具有良好的脉冲响应和准确的分压比,能够真实反映过电压波形;
- 系统运行稳定、安全可靠,易于管理和维护,能长期自动运行^{[5-6]①}。

考虑采用专门设计的分压器进行过电压的获取,并研制了一套过电压在线监测系统,系统整体结构如图 1 所示。

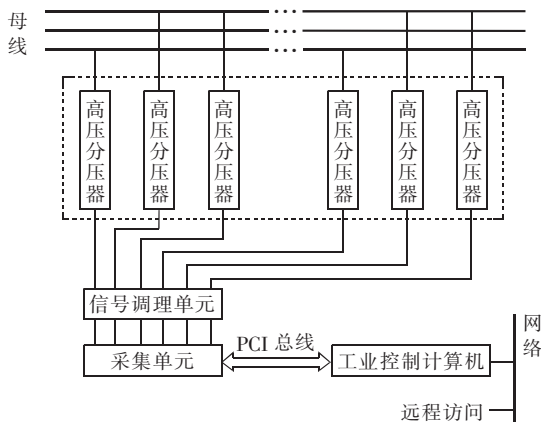


图 1 系统总体结构

Fig.1 Overall structure of system

监测系统在变电站三相母线上每相分别安装 1 只分压器,从分压器低压臂得到的电压信号通过同轴电缆传输到信号处理单元。信号处理单元的主要功能是把分压器来的信号进行二次分压,并产生触发信号。然后,二次分压后的信号和触发高电平信号同时输入到采集单元(即高速采集卡),采集卡接收到触发信号后进行模数转换和存储,最后通过工控机的 PC 总线将数据读入工控机进行存储和处理。

3 主要硬件模块的研制

系统主要监测电网上出现的内、外过电压,包括:操作过电压、谐振过电压、雷电过电压,其中雷电过电压波头陡、幅值大,要求分压器必须能够承受上百千伏的冲击电压且要有良好的冲击电压响应能力;数据采集模块输入的电压频带较宽且要求采样速率较高;而对于操作过电压变化相对较慢,但持续时间较长,因此,在采样速率一定的情况下要采集到一个完整的过电压信号,系统必须要有较高的存储速率。分压器的绝缘特性及响应特性、对过电压信号的捕捉能力、高速率的数据采集模块和大容量数据的吞吐能力是决定本系统性能的主要因素。

目前,对冲击电压的测量一般都采用冲击电压

分压器加高压脉冲示波器或其他后端仪器进行测量。冲击电压分压器有电阻分压器和电容分压器 2 种基本形式,对于电阻分压器随着电压的增高,由于电阻的发热分压器高压臂电阻对地杂散电容 C_g 增大,所以分压器误差将增大;对于电容分压器,当信号电压频率较高时由于低压臂对地残余电感的存在使分压器误差增大。为了改善分压器的性能,近年来研发出了并联阻容分压器和串联阻容分压器。

本系统分压器采用

串联式阻容分压器,其等效电路见图 2。 U_0 为高压臂输入电压, U_1 为低压臂出线端电压。当

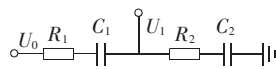


图 2 分压器原理图

Fig.2 Principle of primary voltage divider

用它测量一个波尾较长的冲击波时,波头高频部分电压变化很快,分压比取决于 $(C_1 + C_2)/C_1$;波尾低频部分电压变化较慢,分压比取决于 $(R_1 + R_2)/R_2$ 。为对不同频率分量的电压分压比都保持不变,因此要求:

$$\frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}, \quad \frac{U_0}{U_i} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

针对 35 kV 系统研制的分压器的主要性能参数其耐压水平 45 kV 90 min、60 kV 30 min 均无闪络、无击穿,冲击电压特性为 200 kV (1.2/50 μ s) 无闪络、无击穿,频率响应 10 Hz~3 MHz 分压比变化小于 1%,冲击电压测量误差小于 1%,在额定电压下局部放电小于 10 pC,介损在常温工频下小于 2%。

信号经一次高压分压器分压后,进入信号处理单元。信号处理单元含有二级分压电路和触发电路,其基本框架如图 3 所示。

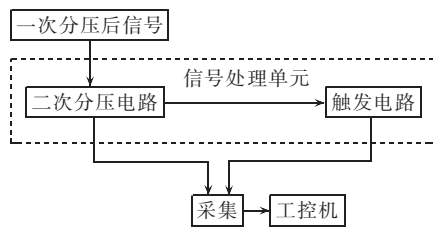


图 3 信号调理单元基本原理图

Fig.3 Principle of signal conditioning unit

在信号处理单元中,每路信号首先经过二次分压,其电路简图如图 4 所示。然后一路信号与采集卡的信号输入通道

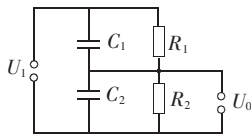


图 4 二次分压电路原理图

Fig.4 Principle of secondary voltage divider

相连,另一路信号则进入触发电路。触发电路产生触发信号控制采集卡采集。触发电路为双门限比较电路。当输入触发电路的信号电压绝对值大于启动录波电压时,触发电路输出高电平,即触发电路动作产生触发信号触发采集卡采集数据;否则输出低电平,采集卡不被触发。一般将触发电压设为 1.5 倍的额定电压。

① National Instruments. LabVIEW User Manual. January 2005 Edition.

在实际测量中,触发代表着一个事件的开始。但是,某过电压信号达到某一幅值触发时,该过电压信号在这之前已被采集卡采集储存,所以只要采集卡收到信号处理单元的触发信号,便执行一个事件,将内存中的信号存入工控机,因此,在本系统中实现了采集的预触发功能,以保证采到完整的过电压波形。

系统采集模块采用 NI 公司高速数据采集卡,3 块采集卡通过 PCI 总线同步触发。由于发生雷电过电压时电压频率较高,而发生操作过电压时持续时间相对较长,所以系统必须同时具有较高的采样速率和采样长度,而这样必然造成过电压数据量大,本系统采用并行技术并合理运用计算机缓存配置,以本系统独特的数据压缩方法,有效地解决了过电压海量数据的吞吐问题。

4 软件系统

根据对系统功能的要求,用 LabVIEW 平台编写了一套过电压采集存储程序^[7]。软件可分为数据采集、数据调用 2 大部分。

过电压在线监测软件结构如图 5 所示,程序流程如图 6 所示。其中,数据采集部分主要是完成对数据采集卡的设置,譬如采样速率、采样长度、触发选择以及采集卡量程等。

对于本检测装置,采样速率在 20×10^6 次/s 内可调,触发选择为外部触发,采集卡量程根据信号的

大小在 100 mV~10 V 之间可调。

采集软件根据设定的采集卡参数进行数据采集,并将采集到的数据自动送到数字滤波和数据压缩软件进行处理。

5 系统试验及现场测试

5.1 实验室对标准雷电过电压监测

为了验证系统的工作情况,在西安交通大学国家绝缘重点实验室的高压大厅内对典型雷电过电压进行了模拟实验,结构示意图如图 7 所示(图中 G 为 SJT μ 1200 型冲击电压发生器, C_1 为高压电容器, C_2 为低压电容器,L 为高压引线, E' 为垂直接地引线,E 为接地回路, R_1 为阻尼电阻,R 为匹配电阻,Z 为电缆波阻抗)。实验设备包括:冲击电压发生器、TDS-3052B 示波器、信号处理单元、工控机、采集卡、光滑铜杆高压引线、同轴传输线等^[8-11]。

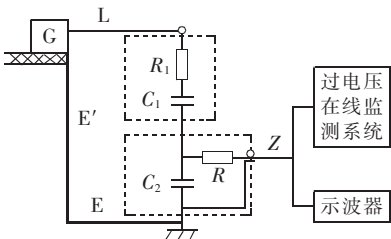


图 7 试验原理图
Fig.7 Principle of lab test

利用冲击电压发生器产生标准的 1.2/50 μ s 的雷电冲击电压信号^[5],通过过电压在线监测系统和示波器同时采集模拟雷电波形,以比较它们之间的差异,如信号幅值、上升沿时间、高频振荡等特性。

以 35 kV 系统为例,示波器显示的冲击电压发生器波形如图 8(a)所示,清楚地显示了雷电冲击电压的特征,其上升沿时间约为 1.2 μ s,下降沿时间约为 60 μ s,由于标准冲击电压器上为标准 1 000:1 的分压器,示波器上显示的幅值为 72 V,因此,此次冲击电压峰值(绝对值)约为 72 kV。将经过分压器的信号输入到过电压在线监测系统 6 路信号中的 2 路,监测系统所测波形见图 8(b),其上升沿时间约为 1.2 μ s,下降沿时间约为 60 μ s,峰值为 71.82 kV,其测试误差在 1% 以内,波形无明显的高频振荡,各路信号间基本没有串扰。

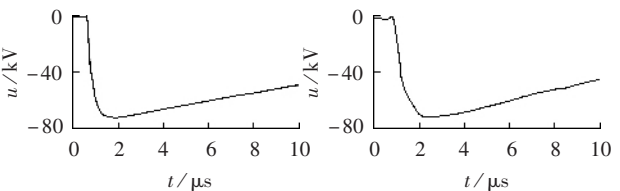


图 8 冲击发生器与系统波形对比
Fig.8 Recorded waveform comparison between oscilloscope and on-line monitoring system

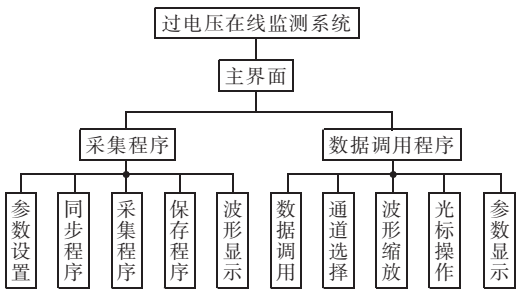


图 5 软件结构图
Fig.5 Software structure

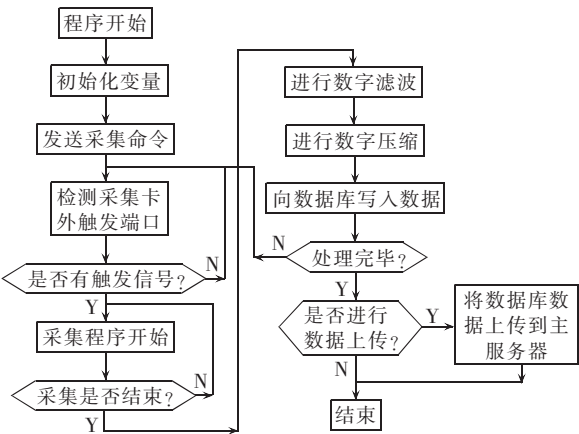


图 6 程序流程图
Fig.6 Flowchart of program

经过多次试验,可以得出测量系统的上升沿时间参数 t 误差在 $\pm 5\%$ 以内;当雷电波峰值在 $10\sim 200\text{ kV}$ 范围内,电压误差在 1% 以内。2个系统的对比结果在 200 kV 以内基本一致。

5.2 现场应用

在威海供电公司涝台变电站 35 kV 系统的316号开关柜和325号开关柜高压出线处各相母线上安装了分压器。6路并行监测通道由主控室后端系统统一控制自动运行,过电压发生时自动触发采集,系统通过局域网将数据上传至信息中心服务器,通过Web发布系统实现客户端远程访问。

对于 35 kV 系统的线电压,其对地的相电压有效值是 $35\,000/1.732=20\,207.9(\text{V})$,其对地峰值约为 $20\,207.9\times 1.414=28\,574(\text{V})$,系统记录下的波形,其电压峰值为 28.55 kV ,与实际电压几乎一致。

6 结论

本系统应用虚拟仪器技术实现对电网内、外过电压的在线监测,采样速率可达 20 MS/s ,实现多路同步采集,解决了雷电波形采集的技术难题。通过对过电压采集方式的比较,设计了获取过电压信号的阻容分压器,其频带较宽、响应迅速,满足了对内、外过电压采集时要求分压器具有较宽频带的技术要求。所研发的触发单元能对过电压进行准确触发,结合虚拟仪器开发平台,实现了对脉冲信号的预触发功能。同时,在软件上使用了数据压缩等技术,实现了瞬时大容量数据的采集和存储。经实验室试验及现场应用表明,系统能准确触发、实时采集,有效捕捉电网系统内、外过电压,并可实现远程访问。

参考文献:

- [1] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京:水利电力出版社,1983.
- [2] 吴维韩,张芳榴. 电力系统过电压的数值计算[M]. 北京:科学出版社,1988.
- [3] 陈维贤. 内部过电压基础[M]. 北京:电力工业出版社,1981.
- [4] 平丽英. 变电站瞬时过电压在线监测系统的研制[D]. 北京:华北电力大学,2001.
- PING Li-ying. Study on an on-line monitoring device for transient overvoltage on substations [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2001.
- [5] YOKOYAMA S, ASAKAWA A. Experimental study of response of power distribution lines to direct lightning hits[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 14(4): 2242 - 2248.
- [6] 邱昌容,曹晓珑. 电气绝缘测试技术[M]. 3版. 北京:机械工业出版社,2002.
- [7] BISHOP R H. LabVIEW 6i 实用教程[M]. 乔瑞萍,林欣,译. 北京:电子工业出版社,2003.
- [8] 陈维贤. 电网过电压教程[M]. 北京:中国电力出版社,1996.
- [9] 刘强,张元芳,张晓冬. 过电压在线监测数据采集的研究[J]. 高压电器,2002, 38(6): 43 - 44.
- LIU Qiang, ZHANG Yuan - fang, ZHANG Xiao - dong. Research on the data acquisition for overvoltage on-line monitoring[J]. High Voltage Apparatus, 2002, 38(6): 43 - 44.
- [10] 严璋. 电气绝缘在线监测技术[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [11] 张纬钺,何金良,高玉明. 过电压防护与绝缘配合[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

刘斌(1965-),男,山东威海人,高级工程师,硕士,从事输变电技术及生产管理工作;

任力(1965-),男,山东威海人,高级工程师,从事输变电技术及生产管理工作;

徐兴华(1971-),男,山东威海人,高级工程师,从事科技管理及开发工作。

On-line over-voltage monitoring system based on virtual instrument

LIU Bin¹, REN Li¹, XU Xing-hua¹, YANG Wen-hu², XU Yang³

(1. Weihai Power Supply Company, Weihai 264200, China;

2. XJTUSP Boyuan Electric Corporation, Xi'an 710054, China;

3. XJTU State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an 710045, China)

Abstract: According to characters of internal and external over-voltage in transmission network, an on-line over-voltage monitoring system based on virtual instrument is designed, which takes the resistance-capacitance voltage divider as the signal acquiring equipment. The signal conditioning unit processes the signal from voltage divider. The trig-in-advance technology is used to effectively start signal acquisition when over-voltage comes. The system software is based on virtual instrumentation technology. Cooperated with high-speed digitizer, it calls and analyzes data, and displays them in graphics. Data compression technology and network technology are applied for remote accessing to field over-voltage. The simulative test in high-voltage lab and the site operation show that, the system is stable and accurate, and the tested data and recorded waveform reflect the power line over-voltage truly.

Key words: over-voltage; on-line monitoring; virtual instrument; voltage divider