

高精度金属氧化物避雷器测试仪标准装置的研制

李 豹, 舒乃秋, 李自品, 彭 辉

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 为了保证电力系统的安全可靠运行, 笔者研制了一种基于 DSP 和 CPLD 技术的高精度金属氧化物避雷器测试仪标准装置, 产生标准的电压和电流信号, 模拟金属氧化物避雷器的运行状态, 对金属氧化物避雷器测试仪进行检定。该标准装置采用高分辨率全数字移相技术和反馈控制技术, 有效地提高了装置输出精度。送中南国家计量测试中心测试, 测试结果表明该装置的输出电压电流的精度达到 0.1%, 电压与电流之间相位的控制精度达到 0.04° , 满足对金属氧化物避雷器测试仪检定的要求。

关键词: 金属氧化物避雷器; 测试仪; 标准装置

中图分类号: TM862

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)01-0095-03

Development of High-precision Standard Device for ZnO Arrestor Testing Instrument

LI Bao, SHU Nai-qiu, LI Zi-pin, PENG Hui

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A high-precision standard device for metal-oxide surge arrester testing instrument based on DSP and CPLD was developed to verify the testing instrument. This device can generate standard voltage and current to simulate metal-oxide surge arrester. The high spatial resolution digital phase-shifting technology and feedback control technology were utilized in design of the device to improve its precision. The device was tested by mid-south national center of metrology, and the results show that it can meet the requirements for verifying metal-oxide surge arrester testing instrument with 0.1% output amplitude error of voltage and current signals and 0.04° phase error between voltage and current signals.

Key words: metal-oxide surge arrester; testing instrument; standard device

0 引言

随着金属氧化物避雷器的广泛应用, 电力系统的安全性得到了极大的提高。对金属氧化物避雷器运行状态进行监测, 及时发现故障并且采取有效的措施来防止事故发生, 以保证电力系统的安全可靠运行是十分必要的。目前投入实用的金属氧化物避雷器测试仪型号多种多样, 测量方法也不尽相同, 测量精度参差不齐, 可能会对金属氧化物避雷器的运行工况做出误判断, 从而导致事故的发生, 严重威胁电力系统的安全运行。目前, 尚无国家标准和标准装置对金属氧化物避雷器测试仪进行检定^[1,2]。因此, 笔者研制了一种专门用于检定金属氧化物避雷器测试仪的标准装置, 为金属氧化物避雷器测试仪的检定提供了一种新的方法。

1 标准装置的工作原理

1.1 基本原理

金属氧化物避雷器在运行中的泄漏电流特别是阻性泄漏电流的增大, 会引起热崩溃并发生爆炸。目前投入使用的金属氧化物避雷器测试仪主要是测量其阻性泄漏电流, 并与出厂值进行对比, 从而判断金属氧化物避雷器的运行状况^[3-5]。泄漏电流含容性泄漏电流和阻性泄漏电流, 以电网电压作为参考相量, 则阻性泄漏电流为

$$I_R = I_X \cos \Phi \quad (1)$$

式(1)中, Φ 为电网电压与泄漏电流之间的夹角, I_X 为泄漏电流, I_R 为阻性泄漏电流。

依据这一原理, 金属氧化物避雷器测试仪标准装置实际上就是一个电压、电流(含谐波)幅值以及相角可控的标准电源, 可用于精确模拟金属氧化物避雷器的运行状态。

收稿日期: 2008-03-30; 修回日期: 2008-09-27

作者简介: 李 豹(1983-), 男, 湖北洪湖人, 硕士研究生, 研究方向为电力设备在线监测与故障诊断。

1.2 标准装置组成及工作原理

金属氧化物避雷器标准装置的原理框图见图 1。该装置主要由控制单元、电压信号发生单元、电流信号发生单元(含谐波)、自校正单元组成。控制单元负责接收输入参数,并计算电压波形、电流波形(含谐波)的时间序列值,存储到 RAM 中。然后由 CPLD 产生相应的地址信号、控制信号,将 RAM 中的数据依次送入电压 D/A 和电流 D/A 进行转换,D/A 输出信号经滤波放大之后,经升压变压器升压后输出电压信号,经电压/电流变换电路后输出电流信号。输出的电压、电流信号经采样保持电路送至 A/D 进行模数转换,并由 DSP 计算输出电压电流值,与设定值进行比较,若在误差范围内,则直接输出。若超出误差范围,则需要校正后重新输出。重复上述过程,直至电压、电流的精度符合要求。

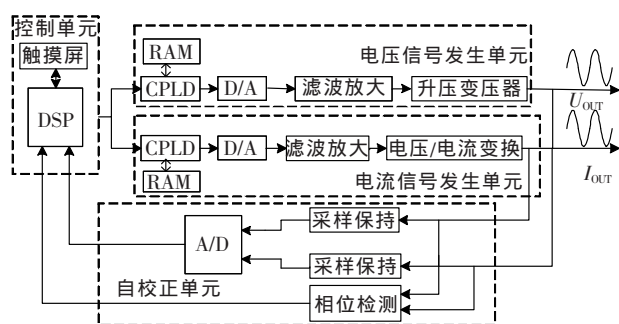


图 1 标准装置原理框图

2 主要单元电路及功能

金属氧化物避雷器标准装置的主要单元电路及功能如下。

2.1 信号波形发生单元

电压电流信号发生单元是标准装置的核心部分,其作用是同时发出两路频率相同且相位可控的信号波形,其中一路信号作为电压输出信号,另一路作为电流输出信号(含谐波)。为了实现这一目的,设计了基于 DSP 与 CPLD 技术的信号波形发生单元,结构见图 2。

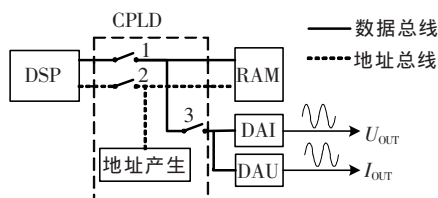


图 2 波形发生单元结构图

首先 DSP 响应用户的控制命令并接收所设定的电压、电流以及相位角等参数,根据参数计算电压、电流波形的时间序列值,将其分别存储在 RAM 划分的电压信号、电流信号区所设定的地址单元中,此时 DSP 与 RAM 之间的总线直接相连,即总线开

关 1 和 2 处于闭合状态,总线开关 3 处于断开状态, RAM 由 DSP 控制写入数据。数据存储完毕之后断开总线开关 1 和 2,闭合总线开关 3,DSP 将控制权交给 CPLD。CPLD 中地址产生单元自动产生所需要送出数据的地址,将存储在 RAM 中的数据传送到电压数模转换(DAU)和电流数模转换(DAI)的数据缓冲寄存器中,之后同时启动电压、电流模数转换,如此循环即可产生与所设定参数对应的信号波形。

标准装置采用了全数字移相技术,即通过调节两路波形输出初始值的间隔点数来精确地控制电压与电流输出的相位差。数字移相的分辨率取决于周波数据的点数 N ,即 $\Delta\phi = \frac{360^\circ}{N}$ 。由该式可知,若要提高数字移相的分辨率,则需要尽可能增加每周期发送数据的点数 N 。综合考虑 DSP 的计算速度、外部 RAM 的容量和 D/A 的转换时间等因素,确定标准装置每个周期发送的数据为 3×10^4 点,对应的最小移相范围可达 0.012° 。

2.2 信号调理

DAU 和 DAI 输出的波形是呈阶梯状的正弦波,含有大量的高次谐波,且幅值和负载能力不能满足要求,因此需要对信号进行调理。D/A 输出的电压信号经低通滤波器(LPF)、精密放大器(AMP)以及功率放大器(Power AMP)进行处理,由专用变压器升压至 30~100 V 并输出;电流通道输出的电压信号经 LPF 以 AMP 进行处理,由电压/电流变换器(V/I)变换为 0.1~10 mA 电流输出,电压和电流信号调理电路原理框图见图 3。

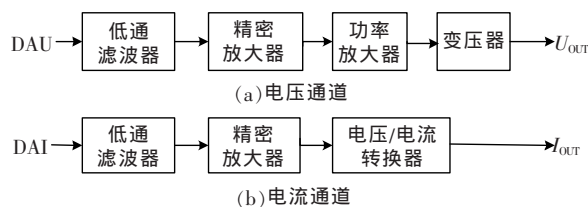


图 3 信号调理原理框图

电压信号和电流信号通道的增益固定,电压电流输出的范围由 DSP 控制,实现自动调节。

2.3 自校正单元

为了使标准装置在各种不同环境场合和长时间的使用过程中能保持较高的输出精度,该标准装置设置了自校正单元。自校正主要是对标准装置输出的电压、电流幅值以及相位角进行校正,以保证标准装置的输出精度。

2.3.1 幅值校正

将输出电压、电流采样并经 A/D 转换后送至 DSP,DSP 依次对采样值进行计算处理,若输出误差在允许范围,则不校正。若误差超出允许范围,则对相应的时间序列值进行修正计算,将修正后的时间序列值重新装入 RAM,并产生新的波形输出,直至

输出电压、电流的幅值误差在允许范围内。

2.3.2 相位校正

将输出的电压、电流信号送入相位检测电路,由相位检测电路检测电压与电流之间的时间差,之后由DSP转换为相位差。若相位差在允许误差范围,则不校正。若相位差超出允许误差范围,则由DSP将电流时间序列值的起始点进行前移或后移,产生数字移相修正后的电流波形输出,直至校正到输出电压与电流之间的相位差在允许范围内即停止校正。

3 软件设计

标准装置工作流程见图4。系统上电后初始化,并显示欢迎界面,大约10s后进入参数设置界面。该装置通过触摸屏设定参数。设定参数时,DSP中断响应触摸屏输入,获取电压信号和电流信号的幅值和两者间相位差等参数,根据输入的参数计算需要输出的电压波形和电流波形的时间序列值并存储在RAM中,之后DSP交出总线控制权,由CPLD构成的DMA通道,直接读取RAM中预先存放的电压和电流信号的时间序列值,按一定的控制时序发送数据至D/A芯片,产生所设定的电压和电流信号波形。

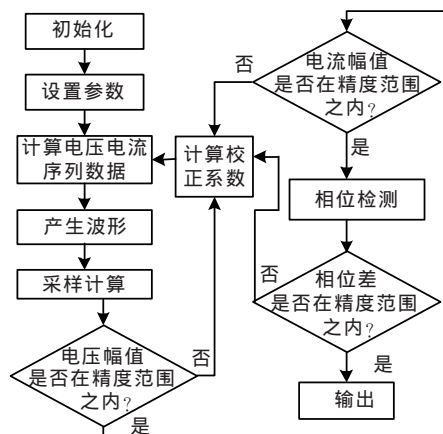


图4 工作流程图

产生的电压和电流信号波形需要依次经过电压校正、电流校正、相位差校正,控制精度在一定范围内才能输出。具体过程为:电压电流实际输出幅值通过A/D周期采样后由DSP计算得出,如果实际输出均在精度范围之内,则继续进行相位校正。如果不在精度范围之内,则根据实际值和设定值计算出校正系数,重新计算时间序列值后输出,如此循环,直到精度达到要求。电压校正和电流校正完后进行相位差校正,相位差校正首先通过相位检测单元得出实际的相位差,和设定值对比看是否在精度范围之内,如果在精度范围之内则可以输出进行测试。如果不在精度范围之内,则根据相位差的实际值和设定值计算需要移位的点数,此时不用重新计算时间序列值,直接通过数字移相将相位差控制在精度范围之

内即可。校正结束后显示输出波形、电压信号幅值、电流信号幅值(基波)、电流各次谐波幅值、电压和电流信号之间的相位差以及阻性电流值等参数。

DSP软件在CCS环境下开发,整体构架采用C语言编程,核心算法部分通过嵌入汇编语言来提高运算速度,并通过调用FLASH API函数实现了汉字库在DSP片内RAM的存储。CPLD在Quartus II 6.1的环境下采用原理图输入方式直接编程^[8],通过波形仿真验证结果的正确与否。

4 影响因素及措施

金属氧化物避雷器测试仪标准装置输出电压、电流以及相位差的精度是极为重要的,它直接关系到能否精确可靠地模拟金属氧化物避雷器的实际工况。为了保证输出的稳定性和精度,标准装置针对主要影响因素,如温度和噪声等,采取了以下措施:

(1)电压与电流输出通道在环节和参数设置上尽量保持一致,由此降低温度漂移对电压与电流之间相位的影响;

(2)在信号输出通道和反馈通道各个环节的设计上充分考虑温度的影响,并采取相应的措施降低温度引起的误差;

(3)选择低漂移运算放大器构成精密放大器和低通滤波器,且外围器件均采用精密器件,如放大、滤波、电压/电流转换、电流/电压转换以及采样环节的电阻均采用温度系数为 $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的精密电阻等;

(4)在电路原理设计、PCB板设计和元器件布局、通风散热以及制造工艺上,均采取了相应的措施,以降低噪声对装置的影响。

5 测试结果

所研制的金属氧化物避雷器测试仪标准装置由中南国家计量测试中心进行了测试,测试参照HJ/QC 24021-2004《电力分析仪校准方法》,所使用计量仪器均可溯源到国家基准。标准装置输出电压、电流以及电压与电流之间的相位测试结果和误差分别见表1、2。

由表1、2的测试结果可见,金属氧化物避雷器

表1 金属氧化物避雷器测试仪标准装置电压、电流测试结果

设定值		输出实际值		相对误差/(%)	
电压/V	电流/mA	电压/V	电流/mA	电压	电流
100	10.0	99.976	9.993 8	+0.02	+0.06
90	5.0	89.953	5.003 4	+0.05	-0.07
80	1.0	79.984	1.000 3	+0.02	-0.03
70	0.5	69.997	0.499 8	0.00	+0.04
60	0.2	59.976	0.200 37	+0.04	-0.08
50	0.1	49.989	0.099 95	+0.02	+0.05
40		40.017		-0.04	
30		29.992		+0.03	

(下转第100页)

G00 G40 X-3.715 Y-12.910 Z0

G90 G00 Z200.000

D0 M5

M30

(2)某 126 kV GIS(小型化)异形结构导体螺纹部分的加工。该异形导体(见图 3)外侧带有螺纹结构,形状特殊,螺纹轴线与导体上部轴线延伸相交,在车床上难以找到其回转中心。因此采用传统的加工方法难度大,需制作专用夹具或工装,且在加工时要避免零件与刀具部分干涉也非常困难,使得加工

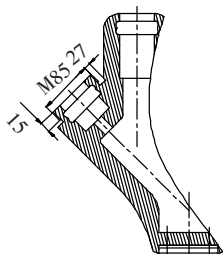


图3 异形导体

难以完成。经过分析验证,决定对此部位的螺纹采用铣削加工。加工准备工作如下:导体材料:铸铝合金 ZL101,螺纹:M85x2,有效长度 15;刀具:OSG 机夹式螺纹铣刀,刀杆直径 $\Phi 26$;机床控制系统:西门子 840D;加工方式:顺铣。

CNC 加工程序如下:

G90 G00 G57 X58.481 Y₀-23.804

D10 Z₀ M3 S637

G90 G00 X58.481 Y-23.804 Z-15.123

G90 G00 G42 D10 X40.273 Y-16.393

G91 G03 X1.000 Y16.393 Z0.123 CR=134.858 F26 (沿圆弧切入螺纹)

G91 G03 X₀ Y₀ Z2.000 I-41.273 J0 F86(切削螺纹)

G91 G03 X-1.000 Y16.393 Z0.123 CR=134.858(沿圆弧切出螺纹)

G90 G00 G40 X58.481 Y58.481

G90 G00 Z200.000

D0 M5

M30

通过使用螺纹铣削加工,该部分螺纹可以方便地加工出来,且能很好地确保该部位螺纹的加工质量。这不仅解决了生产难题,也为今后组合电器零件螺纹部位的加工方式增添了一种新的选择。

4 结语

螺纹铣刀在组合电器异形结构件螺纹部分的加工表明,螺纹铣削加工方式可以提高螺纹加工的生产效率,确保螺纹的加工质量,可以达到较高的加工精度,适合各种类型、任意螺距的螺纹加工。特别是在加工空间有一定限制的特殊加工场合,螺纹铣削加工方式更能显示出它的优势,即使是能允许其它加工方式使用的场合,螺纹铣削加工也是一种可选方案,而且由于螺纹铣刀自身加工方式的原因,其磨损小、寿命长、刀具成本低,具有很好的推广价值,在组合电器产品零件加工中的应用前景十分广阔。

参考文献:

- [1] 李刚. 大型内螺纹的数控铣削加工[J]. 长沙:长沙航空职业技术学院学报, 2006(3): 63-65.
- [2] 尹如海. 在数控机床上用同一螺纹铣刀加工多种规格的螺孔[J]. 工具技术, 2006, 40(10): 64-65.
- [3] 赵翔宇. 数控镗床的螺纹加工[J]. 机械工人, 2007(3): 77-80.
- [4] 鲁殿军. 200EMU 构架 M36 螺纹铣削加工工艺的应用[J]. 四机科技, 2007(1): 14, 15.
- [5] 梁海. 螺纹铣刀在数控加工中心上的应用[J]. 现代制造工程, 2006(10): 35, 36.
- [6] 王玉娣. 螺纹铣刀在加工中心上的应用[J]. 机械工人, 2006(11): 39.

(上接第 97 页)

表 2 金属氧化物避雷器测试仪标准装置相位测试结果

设定值/(°)	输出实际值/(°)	相对误差/(°)
90	90.034	-0.03
80	79.997	0.00
70	69.983	+0.02
60	59.993	+0.01
50	49.986	+0.01
40	39.965	+0.04

测试仪标准装置的输出电压、电流的精度均优于 0.1%, 电压与电流之间相位的控制精度达到 0.04°, 完全满足对金属氧化物避雷器测试仪检定的要求。

6 结语

所研制的金属氧化物避雷器测试仪标准装置采用 DSP 与 CPLD 技术,较好地解决了电压波形、电流波形的精度以及电压与电流之间相位的控制精度等关键技术问题,在温度和噪声对标注装置精度的影响方面也采取了有效措施,并采用自校正方式,使

得所研制的金属氧化物避雷器测试仪标准装置具有很高的精度。

此外,标准装置采用触摸屏进行参数输入、大屏幕液晶显示输出以及中文菜单,具有操作简便等优点,为检定金属氧化物避雷器测试仪提供了一种新的方法。

参考文献:

- [1] GB 11032-2000. 全国避雷器标准化技术委员会. 交流无间隙金属氧化物避雷器[S].
- [2] DL/T 987-2005. 全国高电压试验技术标准化分技术委员会. 金属氧化物避雷器阻性电流测试仪通用技术条件[S].
- [3] 颜湘莲. 电力系统中金属氧化物避雷器的监测与诊断[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(2): 79-82.
- [4] 殷雄开, 邵涛, 高翔, 等. 金属氧化物避雷器检测方法的现状与发展[J]. 高电压技术, 2002, 28(6): 34-36.
- [5] 刘兵, 毛慧明. 金属氧化物避雷器带电检测方法综述[J]. 高电压技术, 2000, 26(3): 15, 18.