基于高压侧相位信号的MOA阻性电流无线测试仪的研制

随着氧化锌避雷器（MOA）在电力系统中的广泛应用，及时获知MOA的运行状态，对MOA进行阻性电流带电测试具有越来越重要的意义。现有的避雷器带电测试仪电压信号方式存在误碰端子，导致运行中的电压互感器短路，以及受电场干扰很大，测量误差无法满足试验要求。设计了一种新型的无线测量电压相位的仪器，该仪器在高压侧获取相位，既避免了TV端子箱接取二次电压误碰端子，又能在技术上消除周围电场的干扰，在降低测量风险的同时大幅提高了测量准确度。

全朝春　陈韦贤／国网株洲供电公司

全朝春／高级工程师

关键词／Keywords
阻性电流·
避雷器带电测试·
电压相位获取装置·
测试准确度·

0　引言

随着氧化锌避雷器（MOA）在电力系统中的广泛应用，检测MOA的运行状态，消除设备隐患，保证系统安全可靠运行变得越来越重要。当前，MOA检测比较有效的主要手段有停电试验、全电流和阻性电流带电测试以及红外热成像测温等方法。由于停电试验涉及到用户停电，影响供电可靠性，对于线路侧避雷器停电也越来越困难，因此采用全电流和阻性电流带电测试获得MOA的状态具有越来越重要的意义[1-2]。

避雷器阻性电流带电测试主要是测试流过避雷器的全电流和阻性分量，全电流比较容易测量，而阻性分量需要知道全电流以及电压和电流的相位才能分离出阻性分量，但是电压信号却很难获得，往往存在测试风险大、测试准确度低等问题，严重影响了测试的结果。现有的避雷器带电测试仪电压量一般有从电压互感器二次侧获取和利用感应板获取两种方式。从电压互感器二次侧获取电压信号会误碰端子，导致运行中的电压互感器短路，引起保护误动作，从而造成大面积停电事故风险；感应板测量方法受电场干扰很大，通常稍微移动位置或者角度就直接导致结果严重超标，测量误差无法满足试验要求[3-5]。

因此，设计了一种新型的无线测量电压相位的仪器，该仪器通过绝缘杆上无线电压相位收发装置在高压侧获取相位，既避免了TV端子箱接取二次电压，又能在技术上消除周围电场的干扰，在降低测量风险的同时，大幅提高了测量准确度。

1　原理阐述

新型无线避雷器阻性电流带电测试仪通过高压一次侧取得电压信号，将电压相位数字信号接收转换为模拟信号，并无线传输给常规的避雷器带电测试仪，完成避雷器阻性电流测试。整套新型避雷器带电测试仪由电压信号发射装置、电压相位获取装置和常规避雷器带电测试仪三部分组成。电压信号发射装置为通用的无线核相仪高压信号发射装置，测量数据分析输出装置为常规避雷器带电测试仪，因此实现该测试的关键是获取避雷器电压相位，并将数万伏特的高压信号转换为仪器需要的低压信号。新型避雷器带电测试仪原理图，如图1所示[6]。

国家电网公司科技项目（5216B0135005）。

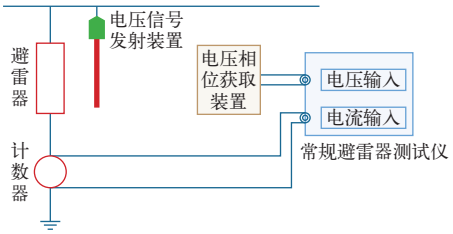

图1　新型避雷器带电测试仪原理图

2　电压相位获取装置总体结构

电压相位装置的结构如图2所示，主要包括电源模块、无线通信模块、单片机核心、负压产生模块、DAC模块以及整形放大模块等部分。其基本原理：+12 V电压经过电源模块后变成稳定纯净的+5 V电压，用于给整个系统供电，同时经过负压模块变成−10 V电压，作为放大器的负电源电压。无线通信模块的数据引脚接在单片机的中断引脚上，当无线通信模块接收到数据时触发单片机的中断，单片机立即通过控制DAC模块输出相应的正弦波，但此正弦波含有较大的直流分量，而且带负载的能力较弱，因此在经过整形放大模块后得到相应的有效值约为72 V的交流正弦波；整形放大模块主要由运算放大器和升压变压器构成；相位调节模块用于调节产生的正弦波相位；控制输出模块由单片机控制，只有在单片机确定收到由无线模块发出的信号后才控制波形输出电路的接通。

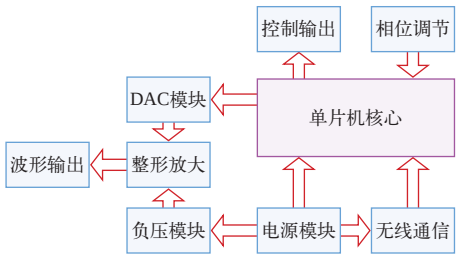

图2　电压相位获取装置原理框图

2.1　电源模块

整个系统由12 V直流电供电，但单片机以及无线通信模块均不能在此电压下工作，因此要通过电压转换得到相应的工作电压，在此选用三端线性稳压集成电路LM7805作为电源芯片，12 V直流电输入到LM7805后再经过滤波得到稳定平滑的+5 V直流电，用于给单片机、无线通信模块以及其他部分供电。由于无线通信模块对电源电压的波动非常敏感，因此采用两个LM7805供电：一个给单片机及其他部分供电；一个单独给无线通信模块供电，以避免单片机以及系统中的数字电路工作时引起电压波动，从而给无线通信模块带来干扰[7]。

2.2　无线通信模块、相位调节模块

无线通信模块采用RXB8模块，接收电路采用超再生接收电路，两个接收模块分别用来接收315 MHz和433 MHz频率的信号，两个接收电路基本相同，仅个别元件参数不同，接收模块电路图如图3所示。

超再生检波电路实际上是一个受间歇振荡控制的高频振荡器，这个高频振荡器采用电容三点式振荡器，振荡频率和发射器的发射频率相一

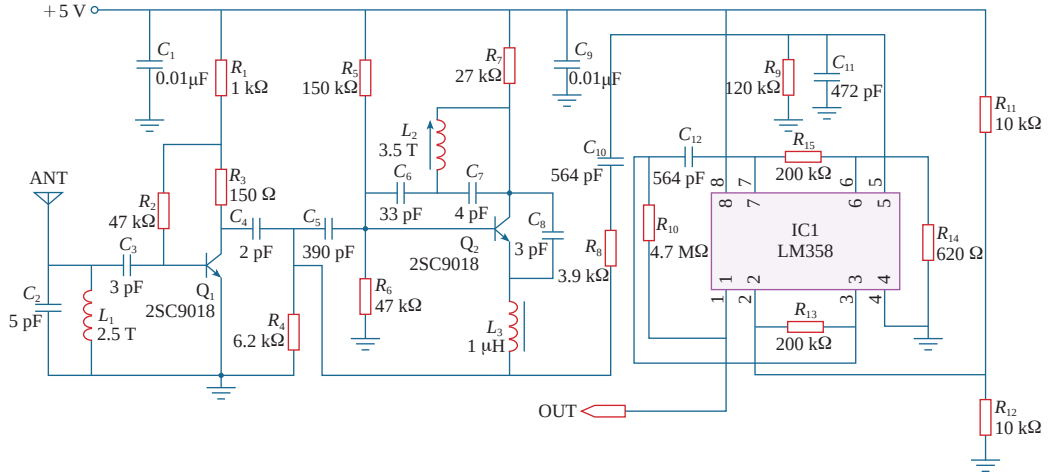

图3　接收模块电路图

致。而间歇振荡（又称淬装饰振荡）是在高频振荡的过程中产生的，反过来又控制着高频振荡器的振荡和间歇。当有控制信号到来时，电路谐振，超噪声被抑制，高频振荡器开始产生振荡。而振荡过程建立的快慢和间歇时间的长短，受接收信号的振幅控制。接收信号振幅大时，起始电平高，振荡过程建立快，每次振荡间歇时间短，得到的控制电压高；反之，当接收到的信号振幅小时，得到的控制电压低。因此，在电路的负载上便得到了与控制信号一致的低频电压，此电压便是电路状态的另一种控制电压[8]。

相位调节模块用于调节波形电路产生的正弦波相位，它由一个多圈电位器及开关构成。开关用于选择是超前调整还是滞后调整，旋动多圈电位器，可调节波形开始的相位。+5 V电压经过R_{11}和R_a分压到单片机的A－D采样端，当旋转多圈电位器时，其电阻发生变化，且其两端的电压也发生变化，单片机通过采样电压变化的范围计算应调整相位的角度。

2.3 单片机核心

单片机采用AVR系列的ATmega8单片机，AVR单片机的核心是将32个工作寄存器和丰富的指令集连接在一起，所有的工作寄存器都与算术逻辑单元（ALU）直接相连，实现了在一个时钟周期内执行的一条指令同时访问（读写）两个独立寄存器的操作。

单片机接收到无线通信模块的信号后，立即输出存储在单片机内部的正弦波数据，一个完整周期的正弦波数据由800个点构成，由于单片机只能处理数字信号，因此这800个点的幅值由数字编码成10位二进制数，这些值输出到10位DAC芯片TLC5615中，经过内部的低通滤波器得到平滑的正弦波输出，同时单片机通过判定相位调整旋钮以及相位调整开关的位置来改变最初输出到DAC芯片的值，即可改变波形开始的相位。DAC芯片输出的正弦波是含有较大直流分量的正弦波，且幅值较低，负载能力有限，因此必须通过整形放大电路后才能得到交流的正弦波。

2.4 负压模块、DAC模块和整形放大模块

负压模块采用MC34063芯片，芯片本身包含DC/DC变换器所需要的主要功能的单片控制电路。由具有温度自动补偿功能的基准电压发生器、比较器、占空比可控的振荡器、R－S触发器和大电流输出开关电路等组成。该器件可用于升压变换器、降压变换器和反向器的控制核心。负压产生电路如图4所示。

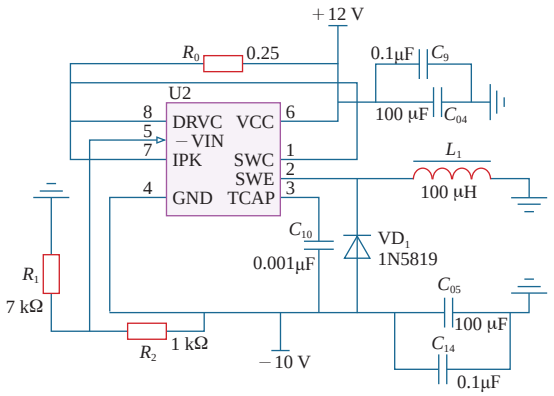

图4 负压产生电路

DAC模块采用10位DAC芯片TLC5615，TLC5615为美国德州仪器公司1999年推出的产品，是具有串行接口的数模转换器，其输出为电压型，最大输出电压是基准电压值的两倍。由于DAC转换芯片TLC5615输出的正弦波带有较大的直流分量，且幅值低、负载能力弱，因此需进行整形放大。整形放大部分主要由运算放大器LM358、功率放大器TDA2030以及升压变压器组成。LM358以及TDA2030部分电路如图5所示。

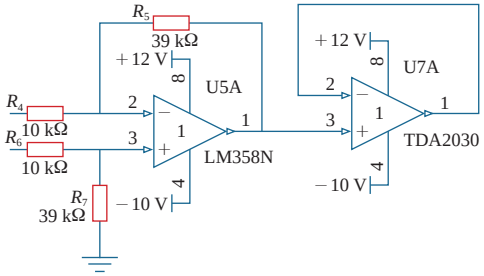

图5 部分放大电路

2.5 控制输出部分

由于单片机只有在无线通信模块接收到信号的情况下才输出正弦电压，而在平常无线通信模块没有接收到信号时单片机没有输出，此时，

DAC转换芯片TLC5615输出0 V电压，经过整形放大后得到[(0－2.495)×3.9] V＝－9.73 V的直流电压，如果这个直流电压直接加在升压变压器上，势必会引起短路。因此，为避免这种情况的发生，在TDA2030的输出端到升压变压器之间加入继电器，只有在无线通信模块接收到信号时，单片机控制波形产生电路正弦电压才接通继电器，否则不接通继电器，从而有效地避免了在无线通信模块未接收到信号时引发的短路。如图6所示，单片机通过晶体管控制继电器的通合，进而控制变压器的接入与退出。

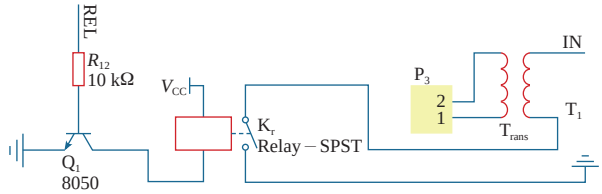

图6　控制输出电路

3　程序设计

使用单片机INT0中断接收无线通信模块的信号；使用定时器T_1对无线通信模块进行判定，若不符合条件，则不产生波形；使用定时器T_0定时向TLC5615输出相应的正弦电压的10位二进制数字值。由于对无线通信模块接收信号的判断以及输出数字信号到ADC转换器主要在中断中进行，因此在主程序中主要进行A－D转换，采集相位调整旋钮的微变量，进而计算得到相位调整的角度，其流程如图7所示。

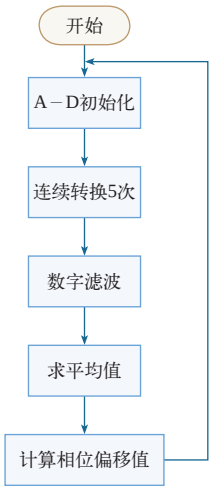

图7　主程序流程图

在外部中断0中对无线通信模块接收的信号进行判断，若符合条件，则输出正弦波形的数字信号，并接通继电器；若不符合条件，则进入等待状态。在进入中断后，首先启动定时器1，然后判断是否接收到连续50 Hz的信号，若是，则初始化定时器0，置标志位，取相位的偏移量，接通继电器，连续输出正弦电压的数字量；若不是，则关定时器，清标志位，关继电器，不输出正弦电压的数字量。其流程如图8所示。

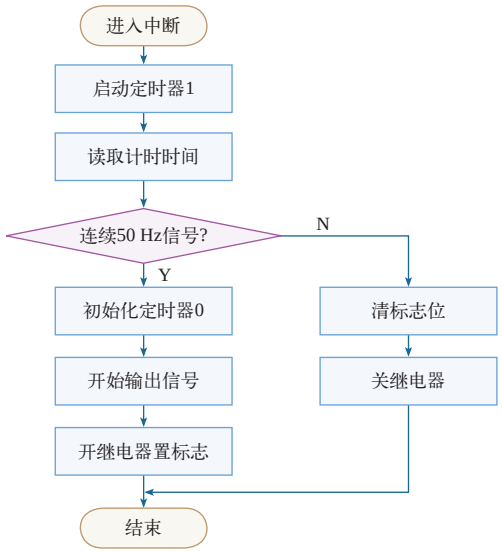

图8　外部中断程序流程

当定时器1溢出中断时，则表明后面没有再进入外部中断INT0，即无线通信模块没有持续有效的信号，此时单片机清标志位、清缓存，关定时器、关继电器，进入等待状态，直至无线通信模块再次接收到信号。

4　电压相位获取装置原理图

将各个模块整合，采用Protel DXP绘制实现电路的原理图，如图9所示。

5　新型避雷器带电测试仪现场试验比对

利用新型避雷器带电测试装置（简称新型法）和TV取信号法带电测试仪（简称信号法）对某变电站502、504避雷器阻性电流进行了现场比对测试，测试结果对照如下表所示。

表　测试结果对照

（单位：mA）

测试仪	502 A相	502 B相	502 C相	504 A相	504 B相	504 C相
信号法	0.56	0.52	0.58	0.57	0.51	0.53
新型法	0.55	0.52	0.56	0.55	0.50	0.49

通过现场测试和比对试验，该新型避雷器带电测试装置的测试准确度和直接在TV二次侧取信

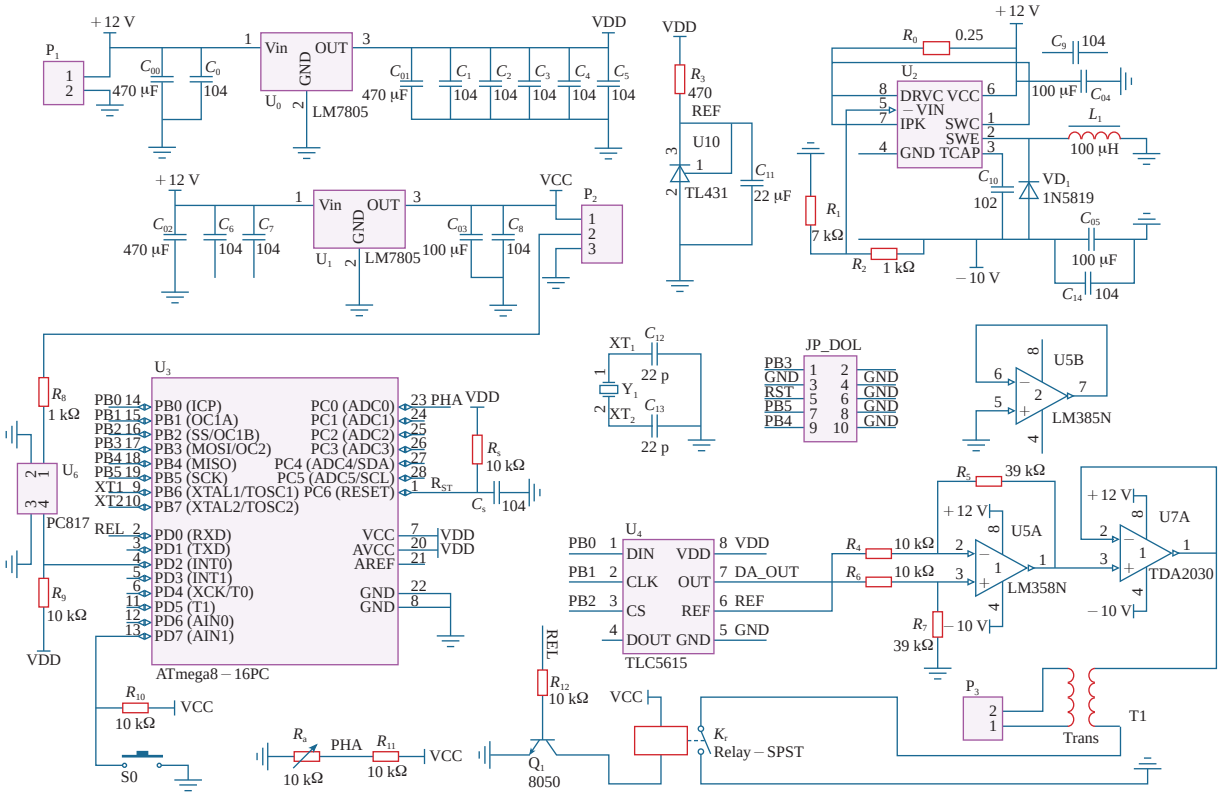

图9 电压相位获取装置原理图

号测试结果接近，同时进行了重复性测试，测试结果表明该仪器重复性较好[9]。

5 结束语

成功制作新型避雷器带电测试仪，并在现场进行了试验，达到预期的效果。新型避雷器带电测试仪同时满足准确度和安全性的要求，降低了避雷器带电测试的难度，提高了准确性。

1）电压信号获取方式新颖，测试准确度和安全性高。新型避雷器带电测试仪直接从高压侧获取电压信号，无线传输至电压相位获取装置保障了测试安全和测试准确度，同时具有安全、简便且准确的优点。

2）新型避雷器带电测试装置简单、实用。能有效利用现有仪器，结构简单，成本低，且国内未见同类产品的研发，具有很好的推广前景。

参考文献

[1] 陈化钢．电力试验预防性试验方法及诊断技术[M]．北京：中国科学技术出版社，2001.

[2] DL/T 393—2010 输变电设备状态检修试验规程[S].

[3] 罗容波，等．带电检测技术在避雷器状态诊断中的成功应用[J]．电瓷避雷器，2011 (6)：53-57.

[4] 朱德恒．高电压绝缘[M]．北京：清华大学出版社，1988.

[5] 李顺尧．金属氧化性避雷器测试方法对比与分析[J]．高压电器，2010，46 (3)：94-97.

[6] 彭倩，黄治平，曹永兴，等．基于无线同步技术的氧化锌避雷器带电检测系统[J]．电瓷避雷器，2014 (6)：99-103.

[7] 刘凡，曾宏，胡灿，等．大电流氧化锌避雷器阻性电流测试仪开发[J]．电力自动化设备，2010 (1)：55-58.

[8] 全晓东．浅谈变电站综合自动化系统抗电磁干扰的措施[J]．现代经济信息，2006 (6)：55-55.

[9] 陈天翔，王寅仲．电气试验[M]．北京：中国电力出版社，1998.

（收稿日期：2016－11－07）EA