文章编号:1000 - 582X(2004)12 - 0024 - 04

多通道高精度时间继电器检定仪*

罗　钧,苏吉文,程　杰
(重庆大学 光电技术及系统国家教育部重点实验室,重庆　400030)

摘　要:在实际应用中,由于磨损和老化时间继电器的精度和可靠性会逐渐降低,因此必须进行定期检定。为此研究开发的多通道、高精度时间继电器检定仪,其硬件部分以 AT89C52 单片机为核心控制器件、采用精度达 5×10^{-6} 的温补晶振为基准源、双向可控硅控制时间继电器电源、高速光耦隔离时间继电器输入;其软件部分采用比较巧妙的设计来保证其精度,通过 RS232 接口可以在 PC 上输出测试报告、简化校准证书和校准证书等。实验分析和在工厂测试应用的结果证明该检定仪具有较小的测量不确定度、较高的工作效率。

关键词:时间继电器;温补晶振;不确定度;双向可控硅
中图分类号:TP368　　**文献标识码**:B

在工业生产和制造业中常用的时间继电器如:JS11S、JS14S 和 JS48S 等系列都有瞬动和延时两种类型的触点。瞬动触点可以用来同步整个操作,延时触点可以用来定时。无论是那种触点随着使用中的磨损和老化,它的定时精度和可靠性都会降低。为了能够提前知道时间继电器的定时准确度,从而进行校正、修理或者在定时的时候把误差考虑进去,就需要定期的对时间继电器进行检定。在以往,时间继电器的检定装置主要是用电秒表。但是有几个方面的原因限制了它的发展:一是有些电秒表使用的时间基准就是使用市电的 50HZ 作为时间基准,它的精度不高。二是它最多只有两个通道,效率不高,无法使用于大批量检定。三是它的操作不便,没有配套的 PC 软件,证书报表必须另外输入打印,无法实现测量的自动化。

为此,作者设计了一个基于单片机的多通道、高精度的时间继电器检定仪系统,并有配套的 PC 软件,可以实现时间继电器的自动测量,数据记录和报表证书打印等功能。下面将从构成本系统的硬件系统和软件系统来介绍,并叙述降低不确定度的方法和手段,最后给出本系统的不确定度分析。

1　系统硬件设计

整个硬件系统可以大致的分为以下几个部分(如图 1):

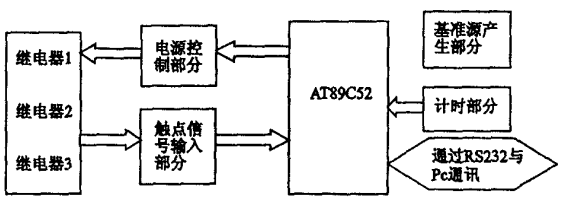


图 1　检定仪硬件系统方框图

在系统中核心控制器件——单片机采用 ATMEL 公司的 AT89C52。这是一个 8 位微处理器,内部含有 8K 的 Flash 和 256 字节的 RAM,且具有加密保护功能。采用的检定原理是比较法,由系统控制时间继电器通电,并同时开始计时,当时间继电器定时时间到的时候,触点状态发生变化,系统检测到这个变化立即停止计时。由此可以知道,影响本系统精度的主要因素就是基准源、系统控制时间继电器通电到时间继电器真正通电之间的时间长短以及时间继电器定时结束到系统检测到触点变化之间的时间长短。

1.1　基准源

对于检定仪来说,要想实现整个系统高精度,必须要有高精度、高稳定的时间基准为参考。普通的石英晶体振荡器具有很高的品质因数,可以达到 10^{-4}～

* 收稿日期:2004 - 09 - 10
基金项目:本论文属于合作项目"时间继电器检定仪"
作者简介:罗钧(1963 -),重庆人,重庆大学副教授,主要从事测试计量仪器及系统和数码产品的研究。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

10^{-6},但它的振荡频率会随着元件温度的升高而变化,无法达到比 5×10^{-5}至少高 1 个数量级的要求。为了消除温度对于检定装置的影响[1],系统采用了温度补偿晶体振荡器(TCXO),它的标称频率为 10MHz、输出信号为 TTL 电平,频率准确度可以达到 5×10^{-6}。用 SS7201 型通用智能计数器(频率准确度:3.2×10^{-7})进行频率准确度测试结果表明(采样时间 10 s),在系统开机 5 min 后晶振频率准确度可以达到 2.6×10^{-6},能够满足《时间继电器检定仪校准技术规范》的要求。

由基准源输出的信号为 10M 的标准 TTL 电平信号,由于其频率比较高,有较大的吉布斯震荡,不利于直接记数,在实际中先分频,把基准源信号变为 1M 的脉冲信号,然后通过 8 254 进行记数。8 254 可以通过专门的寄存器来读出他的当前记数值、控制方便。在系统中为了减少计算量,对 8 254 采用了 10 进制记数的方式,减少了单片机的计算量,节省了单片机的资源开销。

1.2　电源控制部分

本系统可以同时检测 4 个通道,并且 4 个通道的工作电压值可以彼此都不相同,可以是直流也可以是交流。由于直流电压和交流电压的类型以及强度都不同,其控制原理也有相应的改变,下面将分别考虑这两种情况。

1.2.1　交流电压

对于交流电压的情况,采用的是双向可控硅(MAC97A6)和过零触发双硅输出光耦(MOC3061)相结合的方式如图 2。当 P1.7 输出为高电平时,由于 MOC3061 发光二极管之间的压降不到 1.4 V,因此发光管不发光,时间继电器的电源被截止、不工作;否则时间继电器通电开始工作。

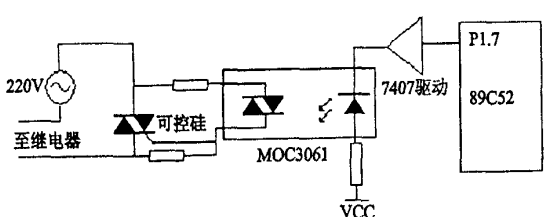


图 2　交流电压控制原理图

在室温条件下(也是本系统的工作环境温度),MOC3061 的主要性能参数:①可靠触发电流 I_{ft} 5 - 15 mA:为此在本系统中采用 74LS07 驱动 CONTROL 信号。通过外接电阻 74LS07 的驱动能力可以达到 40 mA。②重复冲击电流峰值 1 A:可以保证可靠的关断。③额定电压上升率 dV/ dt 可以达到 100 V/μs,因此即便是 380 V 的电压也只需要不到 4 个 μs 的时间。

1.2.2　直流电压

对于直流电源的情况和交流有点不同。在系统中直流电源主要通过场效应管 IRFZ48N 来控制,IRFZ48N 的控制端也是用 P1 口来控制,通过三极管 9013 来驱动,同时为了加快关闭的时间,采用大功率的 75 451 来拉三极管的电流以便三极管可以快速的截止(75 451 可以达到 300 mA 的拉电流能力),经过实验证明通过 75 451 可以使得从控制端到 IRFZ48N 做出反应的时间降低一个数量级。

1.3　触点信号输入部分

时间继电器定时时间到的时候触点的状态将会发生变化,但这个变化不能直接引入单片机[2]。为了可以快速的检测到触点的变化,提高系统精度和可靠性,采用了 6N137 光藕隔离输入的方式(如图 3)。

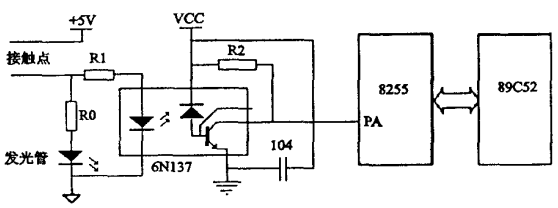


图 3　继电器触点信号输入原理图

如图 3 所示:时间继电器的触点的相当于一个开关。当触点闭合的时候,+ 5V 的电源通过继电器的触点加到 R0、R1 的一端使得发光管和 6N137 左端的发光管都发光;其中发光管是用来指示用的,可以直观的看出触点闭合与否,而 6N137 的发光管使右端的三极管导通,输出 OUT 将呈现低电平;否则发光管不发光,从而使右端的三极管截止,输出 OUT 将呈现高电平,单片机通过检测 OUT 是否变化来判断时间是否到。使用 6N137 可以达到两个效果:①两边不共地,可以防止时间继电器的强电串入系统,干扰系统工作,降低系统可靠性。②6N137 是一种高速光藕,它的延迟时间 t_{pd}只有 75 ns,利于提高系统精度。

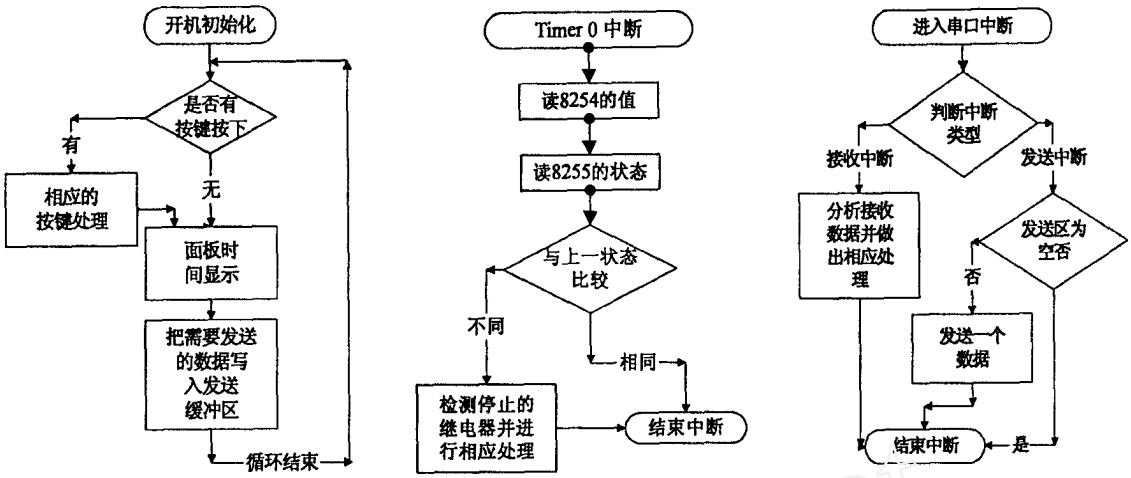
2　系统软件设计

系统的软件包括单片机软件和 PC 机软件两大部分。其中单片机软件使用 Keil C51 编写,Keil C51 适合于单片机软件的快速开发,经过优化后的代码效率基本上可以达到汇编的水平。使用 Keil C51 进行软件仿真和调试都很方便,同时还具有计算代码执行时间等功能。

2.1　软件流程图

单片机软件主要分为主程序如图 4(a)、定时器 0 中断如图 4(b)和串口中断如图 4(c)3 个部分。

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) 主程序流程图 (b) 定时器 0 中断图 (c) 串口中断流程图

图 4 软件流程图

2.2 Timer 0 中断

该软件的中断只使用了串口中断和定时器中断 0(定时器中断 1 用于串口波特率的产生),而其他的中断都没有利用,这样表面上看来无法实现系统的高精度要求,实际上却不然。

本系统检定的方法是:系统的基准时间源一直在运行,只是在时间继电器通电和触点跳变的时候才记录一下时间值,两者相减便可以得到时间继电器的实际值。为此从硬件资源、精度和性价比 3 个方面综合考虑,决定不直接采用单片机的中断。整个程序的主体就是在做一些查询和发送数据以及相关计算和处理,只在定时器 0 的 1 ms 中断里读出所有触点的状态,和前一状态比较,如果有任何一个不同,则记录下时间值,否则退出此中断。在这里使用单片机内部 RAM 记录触点的状态、采用位指令比较,所耗时间极短。这样只把一些简单比较和时间记录放在中断里,而把一些耗时比较长的计算和发送处理放在主体的循环中,这样即使上一触点的数据还没有处理完,但是通过中断,还是把每次触点变化的时间值都记录了下来,达到的精度为 1 ms。此精度如果再要提高的话就有点困难了,如果减小定时时间,就有可能使得单片机在中断上耗费过多的时间,而在主体里就没有足够时间去做处理了,最终导致整个系统的崩溃。下面是采用 8 254的门控信号和单片机的中断方式的一些比较(单片机采用的晶振频率为 22.1184 MHZ)如下表 1。

表 1 方案性能比较表

比较项目	方案		
	我们的方案	8254 门控方案	单片机中断方案
所需要的 8 254 个数	1	12	1
触点跳变到检测到跳变的最大时差	1 ms	1 us	6 ms
所需要的单片机内部资源	1 个中断 96 个字节的内部 RAM	不需要中断 24 个字节的内部 RAM	1 个中断,但极可能有中断嵌套,使堆栈溢出造成精度降低或死机;至少 96B RAM
硬件复杂程度	低	高(包括 8 254 的个数和常开常闭触点的控制逻辑)	低

从比较可以看出,所采用的方案是最适合于本系统的,在精度和复杂程度允许的情况下可以达到最高的性价比。

3 不确定度分析

根据 Q/JD 928—2003 通电延时型时间继电器校准技术规范,在检定条件下(温度 20 ℃±10 ℃;相对湿度小于 80 %),采用本装置 3 次读数的平均值作为测量结果。其数学模型为:$t_x = \bar{t}_n$。其中:t_x ——时间继电器输出触点动作时间,$\bar{t}_n$ ——本装置 3 次读数平均值[3]。

3.1 不确定度来源和评定

由检定原理和数学模型可以得出,时间继电器输出触点动作时间的测量不确定度主要源于以下 5 个方

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

面：频标频率不准引起的标准不确定度分量 u_1、测量重复性引起的标准不确定度分量 u_2、计数的 ±1 个字误差引起的标准不确定度分量 u_3、触发误差引起的标准不确定度分量 u_4 和显示分辨力引起的标准不确定度分量 u_5[4]。下面将对主要的因素进行分析(其中前 4 项采用 B 类方法评定，第 5 项采用 A 类方法评定)：

3.1.1　u_1 的评定

装置内部频标频率准确度 A，经实验证明在 5×10^{-6} 以内。由于频率准确度以相对形式表示，则半宽度与测量时间长短有关，在以下时段半宽度为：

100s：$a=100\times5\times10^{-6}=5\times10^{-4}$(s)

100min：$a=100\times60\times5\times10^{-6}=3\times10^{-2}$(s)

8h：$a=8\times60\times60\times5\times10^{-6}=1.44\times10^{-1}$(s)

按均匀分布估计，取包含因子 $k=\sqrt{3}$，根据 $u_1=a/k$ 可以计算出在 100s 时段、100min 时段和 8h 时段内 u_1 分别为 2.89×10^{-4}s、1.73×10^{-2}s 和 8.31×10^{-2}s。估计 $\Delta u_1/u_1=0.10$，则自由度 $v_1=50$。

3.1.2　其他不确定度分量($u_2\sim u_5$)的评定

①测量重复性引起的标准不确定度分量 u_2。选用二台时间继电器作为被测对象，对二对延时输出触点动作时间在 100s 连续测量 10 次，共得到 4 组测量列。由计算可以得到样本偏差：$s_p=6.71\times10^{-2}$(s)，$u_2=s_p/\sqrt{3}=3.88\times10^{-2}$s，自由度 $v_2=4\times(10-1)=36$。②计数的 ±1 误差，可能导致多计或少计一个时基信号。他相对来说影响比较小，这里只给出结果：5.77×10^{-7}(s)，估计 = 0.10，自由度 $v_3=50$。③触发误差主要由启动信号和停止信号触发时产生，根据经验，一般不超过 10ms，则：$a=1\times10^{-2}$(s) 按均匀分布估计，取包含因子 $k=\sqrt{3}$，$u_4=a/k=5.77\times10^{-3}$(s) 估计 $\Delta u_4/u_4=0.10$，自由度 $v_4=50$。④本装置分辨力为0.01s，则：$a=5\times10^{-3}$ s 按均匀分布估计，取包含因子 $k=\sqrt{3}$，$u_5=a/k=2.89\times10^{-3}$(s)，估计 $\Delta u_5=u_5=0.10$，自由度 $v_5=50$[5]。

3.1.3　合成标准不确定度

由于以上各标准不确定度分量独立不相关，合成标准不确定度 u_c 及其有效自由度 $v_{\rm eff}$ 可由下式得到[6]：

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2+u_5^2} \qquad (1)$$

$$v_{\rm eff}=(u_c^4)/\left(\sum_i^5[(c_iu_i)^4]/v_i\right) \qquad (2)$$

由公式 1 和 2 可以得到 100s、100min 和 8h 时段：u_c 为 3.93×10^{-2}s、$u_c=4.30\times10^{-2}$s 和 9.19×10^{-2}s；$v_{\rm eff}$ 约为 35、50 和 70。

3.1.4　扩展不确定度

扩展不确定度 $U_{95}=k_pu_c$，其中 $k_p=t_{95}(v_{eff})$。取置信概率 $p=95\%$，查 t 分布表：$t_{95}(35)=2.03$，$t_{95}(50)=2.01$，$t_{95}(70)=1.99$。则 100s、100min 和 8h 时段的扩展不确定度 U_{95} 分别为 0.08s、0.09s、0.18s。U_{95} 和 4.1.3 中的合成标准不确定度的有效自由度 v_{eff} 就是我们的分析结果[5-6]。

4　结束语

系统所实现的多通道高精度时间继电器检定仪，能够同时检定 4 个时间继电器，既有时间继电器插座提高其检定方面性，又有扩展接头保证其适应性，所用的接插件可以消除高电压对人体的伤害，不存在任何危险性。高精度、高稳定的恒温晶振以及巧妙的软件结构保证了整个系统的高精度。双向可控硅 MAC97A6、高速光耦 MOC3061 将系统的主板和时间继电器的强电隔离开来，消除了外部电源对主板的影响，提高了系统的可靠性。同时具有较高的自动化程度，既可以通过 PC 软件也可以通过检定仪本身的启动按扭启动系统进行测量，合理的数据库设计记录了常用的输入信息，尽量的减少人的输入，提高整个过程的效率。周到的容错设计，避免了由于操作不当或误操作可能带来的破坏。在实际的现场测试中也体现了整体操作的方便性、高效性，整个系统的高精度也可以得到很好的保证。

参考文献：

[1] 刘子芳，杨忠祥. 检定装置的温度控制[M]. 北京：北京中国计量出版社，1988.

[2] 朱立奇，周坚. 单片机在数显时间继电器质量检测中的应用[J]. 计算机应用，1996，16(3)：42-44.

[3] 张建平. 时间继电器延迟时间的高准确度测量[J]. 宇航计测技术，2003，23(1)：12-16.

[4] 检定与测试中的数据处理[M]. 北京：北京中国计量科学研究院情，1980.

[5] 刘智敏. 不确定度原理[M]. 北京：北京中国计量出版社，1993.

[6] Fluke Corporation 著. 校准——理论与实践[M]. 汪铁华译. 北京：北京中国计量出版社，2000.

(下转第 31 页)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

值可由 LOWTRANT 软件求出),将其折算到光学系统的光透过率中,即用大气透射比乘上光学系统的光透过率,其它参数不变。

参考文献:

[1] 刘念东. 桥梁健康监测中激光挠度/位移测量[D]. 重庆: 重庆大学,2001.
[2] 徐亚立. 桥梁挠度测量方法的探讨[J]. 铁道建筑,1996,(6):32 - 33.
[3] 王庆友. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社,2002.
[4] 侯雨石,何玉青. 数码相机 CMOS 图像传感器的特性参数与选择[J]. 光学技术,2003,29(2):174 - 176.
[5] 张敬贤,李玉丹,金伟其. 微光与红外成像技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社,2001.
[6] 张以谟. 应用光学[M]. 北京:机械工业出版社,1983.

Analysis on the Illumination and Contrast of Imaging Deflection Measuring System

LU Jin, XIA Zhe, ZHU Yong
(College of Opto-electronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The principle of photoelectric imaging deflection measurement system are presented. The calculation of the image plane's illuminance and contrast are discussed. The relationship among the system's parameters are analyzed. The feasibility of high reflectivital material replacing the system's source are also discussed when illuminance on the ground is high. The result contributes to selecting the parameters of photoelectric imaging deflection measurement system and achieves the long online of deflection.

Key words: deflection; the method of photoelectric imaging; illuminance; contrast

(编辑　张小强)

(上接第 27 页)

Multi-channel and High Precise Time Relay Verification Instrument

LUO Jun, SU Ji-wen, CHENG Jie
(OTES Laboratory, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstracts: As time goes on, the time relay becoms less precise and reliable gradually as a result of abrasion and aging. Thus, it is necessary to verify it periodically. The multi-channel and high-precise time relay verification instrument which developed for this is grounded on MCU AT89C52. In hardware, it adopts the high precise Temperature Compensated Crystal Oscillator (5×10^{-6}) as benchmark, employs the Silicon Bi-directional Thyristors to control the power of the time relay and utilizes the high speed response photo-coupler to separate the input signals of the time relay. As for software, certain skills are introduced to guarantee the precision of the system. And it is possible to communicate with the PC by the RS232 interface, which led to further functions like printing the test report, the simple verification certificate, the verification certificate and so forth. The analysis and application show that the instrument has less uncertainty, higher precise and reliability, and it is more efficient and convenient in operation.

Key words: time relay; TCXO; uncertainty; silicon bidirectional thyristors

(编辑　成孝义)

© 1994-2006 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net