

# 同基准 16 路电流型测温电路设计与应用

敖振浪, 吕雪芹, 雷卫延

(广东省气象探测数据中心, 广州 510080)

**摘要:** 在许多实际的应用系统中, 需要同时测量多点温度, 为了解决多支路测温需要相同参考标准的问题, 保证各路参数具有可比性; 巧妙地设计同基准 A/D 转换电路, 运用低导通电阻模拟开关构建矩阵开关进行分时切换各支路, 有效地解决了多支路同基准测量问题; 结合实际应用确定 A/D 转换器输入电路滤波电容大小与开关切换延时的关系; 利用台阶电阻使 A/D 转换器的输入端的“零”电平得到抬升, 偏离 A/D 转换器非线性段, 解决了微小信号输入的测量精度; 对于温度测量普遍使用的铂电阻传感器, 利用模拟开关实现了铂电阻传感器静态下预热电流与测量状态下工作电流的电路转换, 保证电路的信号稳定起到很好作用; 在实际的应用系统中, 检定数据和使用效果表明, 同基准 16 路电流型测温电路具有高稳定度、高精度特点, 适用于各种相参测量系统中使用。

**关键词:** 温度测量; 十六通道; 电流型负载; 相同参考基准; 数模转换电路设计

## A Design and Application of 16-way Current-type Temperature Measuring Circuit with the Same Reference

Ao Zhenlang, LüXueqin, Lei Weiyan

(Guangdong Meteorological Observation and Data Center, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** In many practical applications, it is necessary to measure the temperature at the same time, in order to solve the problem of the same reference standard for multi branch temperature measurement, and ensure that the parameters are comparable. Design the same reference A/D conversion circuit, the use of low resistance analog switch matrix switch of each branch switch construction points, effectively solve the multi branch with reference measurement problems; combined with the practical application to determine the relationship between the A/D converter input circuit filter capacitance and switching delay; using step resistor A/D converter input the "zero" level is uplifted, deviate from the A/D converter to solve the nonlinear range measurement precision of small signal input; platinum resistance sensor for temperature measurement in common use, the circuit current platinum resistance sensor static and preheating current measurement of the conversion of analog switch, ensure stable signal circuits play a very good effect. In the actual application system, show that the test data and the effect of using the same reference, 16 current type temperature measuring circuit has the characteristics of high stability, high precision, applicable to all kinds of coherent measurement system using.

**Keywords:** temperature measurement; sixteen channel; current mode load; same reference datum; digital to analog conversion circuit design

### 0 引言

温度是一个自然界常用的物理量, 是气象、军事、环境、航天、工业、农业等领域最常见的测量参数, 涉及到日常生活每个角落。空气温度测量是气象预报和气象科学研究中不可缺少的重要参数, 测量值的准确度和可靠性至关重要, 尤其是研究全球气候变化的重要参考依据。过去温度测量基本方法是使用温度计直接读取温度, 例如, 水银玻璃温度计、酒精温度计、热电偶或热电阻温度计等。当今科技发展迅猛, 利用单片机和铂电阻温度传感器构成的电子式智能温度测量系统已经能够自动测量温度, 得到温度的数字值并加以显示, 非常简单, 直观准确。不同的用途其测量温度的方法也有所不同, 有的单点测量, 有的多点独立测量, 有的侧重于精度有的侧重于快速测量等等, 五花八门。文献 [1] 针对温度单点测量稳定性问题, 提出了一种自校正技术的 4 电阻测量法, 通过比较 4 组测量信号的相对大小来求得被测热电阻的电阻值, 进而计算出温

度值, 改进温度测量精度; 文献 [2] 以 MSP430F149 混合信号处理器为采集控制核心, 运用模拟信号采集和数字信号处理技术, 设计多通道温度信号采集电路, 利用单片机内部 12 位 A/D 完成, 可以满足一般用途; 文献 [3] 从温度控制性能方面针对单片机温度控制系统采用传统控制方法容易出现响应速度慢、振荡剧烈、控制精度低等问题, 基于以 AT89C51 单片机为核心运用 DS18B20 温度传感器的温度控制系统, 提出了变论域模糊 PID 控制算法, 提高了控制精度, 加快了系统的响应速度。实际上, 不管仪器单点测量精度多高, 由于仪器性能差异和环境因素影响, 独立仪器进行多点测量可能存在系统误差, 因为独立仪器或者独立通道没有基于同一参考基准, 所以对于要求可比性高的场合, 必须使用统一基准进行测量, 保证所测量的温度值具有可比性和一致性, 比如气象观测中空气梯度温度测量和多层地温测量<sup>[4]</sup>, 要求使用同一参考基准, 而且要求同时测量的要素和测量点比较多。目前气象部门使用的自动气象站就是要求至少具有 16 通道以上的温度测量能力, 用于气温、草温、地温等, 而且要求是基于同一测量参考基准。因此, 迫切需要设计同基准十六通道温度测量电路以满足业务观测的需要。

收稿日期: 2017-02-13; 修回日期: 2017-03-03。

**作者简介:** 敖振浪 (1962-), 男, 广东省阳江市人, 教授级高级工程师 (三级), 硕士生导师, 主要从事气象探测仪器设备研发、设备防雷技术研究、嵌入式软件硬件开发方向的研究。

### 1 硬件电路设计

目前测温主流传感器是铂电阻, 金属铂 (Pt) 的电阻值随温度变化而变化, 并且具有很好的重现性和稳定性<sup>[5]</sup>。以电阻特性用于测量电路中, 实际上是给它通过一定电流来获取它的两端电压降来反映温度变化。为了实现同一参考基准和同一 A/D, 简化电路, 采用开关切换方法逐个接入各支路分时采集, 电子开关采用导通电阻较小的集成电路模拟开关, A/D 转换器采用三线数字接口数模转换 IC。

#### 1.1 矩阵开关电路

目前的温度测量几乎都是使用铂电阻传感器 (Pt100 或者 Pt1000), 铂电阻阻值随着温度升高而增大, 测量精度高, 比较容易适应各种场合。测量原理是铂电阻传感器串联在 2.5 mA 电流以内的标准测量电路中, 如图 4 中的 R424、R426 及后端被测传感器支路。当一定电流流过标准器 R426 和后面的铂电阻传感器, 在标准器和被测铂电阻就会产生压降, 分别测量出电压值再进行比较, 通过算法就能够计算出对应的温度值<sup>[6-7]</sup>。

如果简单地采用 2 个 1 转 8 单刀单掷 (SPST) 开关简单地把各支路分时接入测量电路, 那么在转换过程中被测信号电压会产生较大跳跃, 影响稳态过程而影响测量精度。因此, 本设计的关键技术是矩阵开关使标准器和被测铂电阻传感器平常保持固定的电流, 比如 2.5 mA, 这样的话, 等待转换到被测通道时被测电压才不至于产生较大跳跃。鉴于这样的测量要求, 矩阵开关电路主要由图 1 所示接口端子和图 2 所示 4 片 (U426、U427, 其中 U428、U429 未画出) 具有 4 个独立可选的单刀双掷开关 (模拟开关 ADG1634), 以及图 3 所示 2 片 ADG1607 双刀双掷 (DPDT) 模拟开关 (U422、U423) 组成。

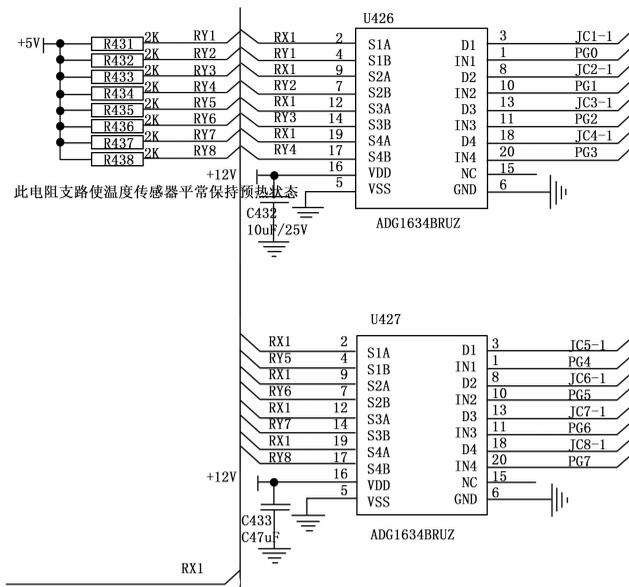


图 2 通道选择开关

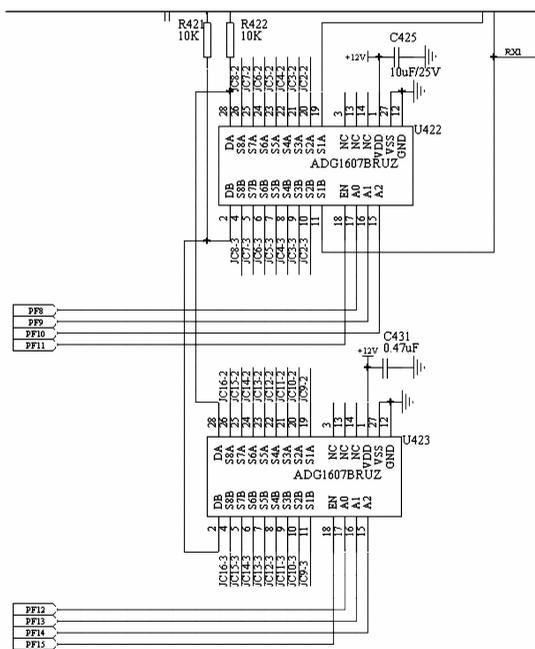


图 3 差分信号选择开关

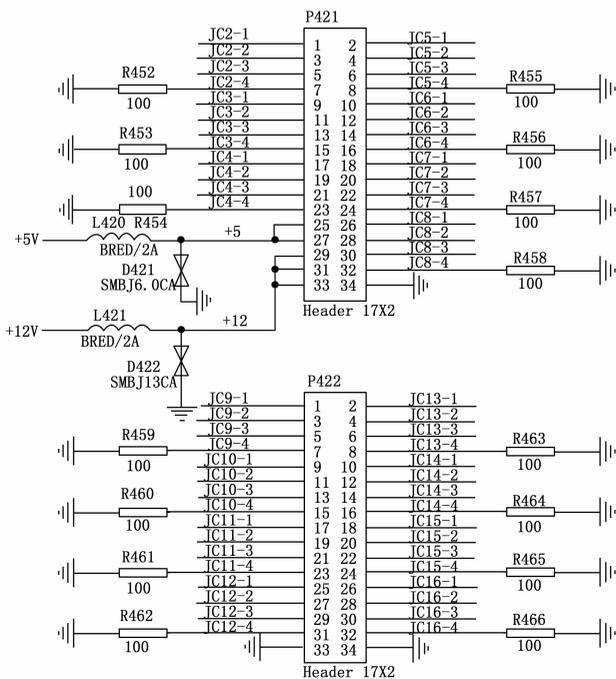


图 1 接口端子

从图 1 是铂电阻传感器接入的接口端子, 传感器采用 4 线制接法, 比如第二支传感器四线接入 JC2-1、JC2-2、JC2-3 和 JC2-4, JC2-1 和 JC2-4 是电流通路, JC2-2 和 JC2-3 是电压信号输出端。

作者的经验表明, A/D 转换电路往往在低电压输入端线性不好, 微小信号转换严重失真, 造成误差<sup>[5]</sup>, 必须尽量把差分输入 AIN1 (+) 和 AIN1 (-) 抬升至线性段上, 因此, 测量通道中加入台阶电阻 R452-R466, 把台阶电压抬升到 0.25 V 左右, 尽量离开非线性段, 如图 1 所示。

图 2 中的 ADG1634 是单芯片工业 CMOS 模拟开关<sup>[8]</sup>, 分别内置 4 个独立可选的单刀双掷 (SPDT) 开关。具有超低导通电阻和导通电阻平坦度, 典型导通电阻为 4.5 Ω。利用 4 片 ADG1634 组成 16 路二选一开关电路。这里需要特别注意, 作者实践经验证明, 铂电阻需要处于预热状态有利于测量的稳定性, 平常不测量时各支路传感器通过 R431-R447 (2 K) 接到 +5 V, 为传感器通电流 2.5 mA, 传感器处于预热状态。

图 3 选用 ADG1607 模拟开关，它是单芯片模拟多路复用器，内置 8 个差分通道。ADG1607 根据 3 位二进制地址线 (A0、A1 和 A2) 所确定的地址，将 8 路差分输入之一切换至公共差分输出。EN 输入是使能脚，禁用时，所有通道均关断；使能时，各通道在两个方向的导电性能相同，输入信号范围可扩展至电源电压范围。8 路开关具有超低导通电阻和导通电阻平坦度，典型值导通电阻为 4.5 Ω，可以双电源供电，亦可以单电源供电，在本设计方案中采用了单电源+12 V 供电。

利用 2 片 ADG1607 模拟开关实现十六路信号的接入，两片 ADG1607 (U422、U423) 的输出脚 DA 和 DB (第 28 脚和第 2 脚) 相对应并连在一起，构成了 16 路差分通道，如图 4 所示。某个时刻只有一路差分信号接入，即是以分时方式接入同一个 A/D 转换电路，分时测量出各路温度值。

### 1.2 A/D 电路

为了实现 16 通道以相同基准进行测量，那么就必须要采用同一个 A/D 转换器完成。根据实际应用的测量基本要求，可以采用 16 位 AD7793 或者 24 位 AD7793，除了分辨率不同以外，两者的使用方法几乎完全一样。均为适合高精度测量应用的低功耗、低噪声、完整模拟前端，内置一个低噪声 16 位/24 位  $\Sigma-\Delta$  型 ADC，其中含有 3 个差分模拟输入，还集成了片内低噪声仪表放大器。两款器件均内置一个精密低噪声、低漂移内部带隙基准电压源，而且也可采用一个外部差分基准电压。

在自动气象站应用中，16 位分辨率就可以满足测量精度要求<sup>[9]</sup>，考虑一些应用的高精度需要，因此 A/D 转换电路主要由数模转换器 AD7793 和 5 V 基准电压源 IC (ADR395) 以及外围器件组成，如图 4 所示。5 V 基准电压连接 A/D 转换器的基准输入第 9 脚和第 10 脚。这里使用 5 V 基准主要考虑了有些输入共模电压范围比较大，可能超过 2.5 V。对于温度测量，一般使用铂电阻温度传感器，考虑铂电阻传感器自热因素，它的电流范围一般取 1~2.5 mA。因为 AD7793 自带 1 mA 恒流源输出，所以正好可用于铂电阻的工作电流。如果考虑抗干扰能力和自热因素，可以适当加大铂电阻工作电流<sup>[10]</sup>，本方案中采用了 2.5 mA 工作电流，实践证明，自热可以忽略，不会造成测量误差。通过选择 R425 和 R424 来灵活选择多少工作电流。R426 是 100 Ω、精度为 0.01% 的标准电阻，它串联于被测铂电阻通路上，作为每一路温度测量参考标准器。恒定且相同的电流同时流过被测铂电阻传感器和参考标准器，分别获取在两者产生电压降，再进行算法转化成所测温度值，实现电流型测量方法<sup>[11]</sup>。

AD7793 的差分输入信号连接到 U421 的第 5 和第 6 脚，这里需要特别注意，从测量传感器外围送来的差分输入信号，有时候可能存在共模电压，输入负端 (第 6 脚) 不一定是零 (地) 电平，所以需要输入加入电阻 R421 和 R422；考虑输入滤波因素，加入电容 C422、C423 和 C424，这里关键是这几个电容的取值必须恰当，因为 16 个通道中每个通道的测量都是分时完成，每个通道的信号电压高低可能不一样，如果从很高切换到很低或者相反的话，那么滤波电容的电荷积累可能造成误差。应该根据被测量信号特点和分时测量通道转换快慢来综合考虑而决定，太小了抗干扰能力差，太大了充放电不彻底反而影响测量精度！在自动气象站的实际应用中，C422、C423 和 C424 取值都是 470 pF，效果很满意。

本设计方案中只有一片 AD7793，故片选信号第 3 脚直接接地；通过三线式串行接口 SCLK、DIN、DOUT 三根线设置

参数和读写数据。DIN、DOUT 信号需要 10K 上拉电阻 R427 和 R428 上拉至 +3.3 V 电源<sup>[12]</sup>。

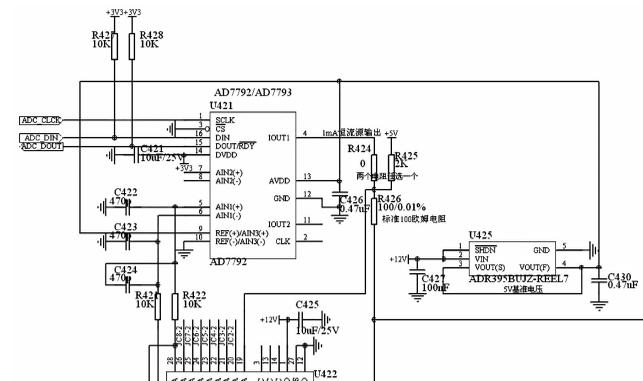


图 4 A/D 转换电路

### 1.3 工作流程

为了减少电流流过传感器引线形成压降，任意一支铂电阻 (Pt100) 温度传感器一般都是采取 4 线制接法<sup>[13]</sup>，以第二支为例说明连接方法，其中电源和地两根线分别接入图 1 接口端子的 JC2-1 和 JC2-4，另外两根差分信号线分别接入 JC2-2 和 JC2-3。JC2-4 不是直接接地，而是通过台阶电阻 R452 (100Ω) 接地，使 JC2-3 电平抬升大约 0.25 V 接入后端的 A/D 转换电路，其它通道如此类推。为什么需要设计台阶电阻？作者经验证明，这是因为 A/D 转换器一般在接近地电平的线性不太好，故通过台阶电阻抬高有效的差分电压置于线性段，确保转换准确度。U426 的第 10 脚连接地址控制线 PG1，当 PG1 为低电平时，开关 D2 接到 S2B 脚，即通过电阻 R432 接到 +5 V，作为预热加热。当 PG1 为高电平时，开关 D2 接到 S2A 脚，即接入测量通道 RX1，如图 2 所示。当第二支路处于测量状态下，那么测量通道的电流流程是 U421 第 4 脚→R424→R426→标号 RX1→U426 第 9 脚→U426 第 8 脚→第二支传感器 JC2-1→JC2-4→R452→地。每一支路的参考基准电压  $V_0$  都是从 R426 上获得，送到 U422 的第 19 脚 (S1A) 和第 11 脚 (S1B)，通过 PF8-PF15 地址选择线分别接通 U422 的第 28 脚 (DA) 和第 2 脚 (DB)，再送到 A/D 转换器；同样，在下一时刻，从铂电阻传感器获取的被测电压  $V_x$  送到 U422 的第 20 脚 (JC2-2) 和第 10 脚 (JC2-3)，并转送到 A/D 转换器。必须注意的是  $V_0$  和  $V_x$  都是有共模电压成分的，差模电压和共模电压之和不能超过 A/D 转换器输入允许范围。

## 2 软件电路设计

测温电路可以使用各种各样 MCU 控制矩阵开关的切换和 A/D 转换，本设计中采用 STM32F207 的 IO 口线控制，对开关的控制就是对 IO 口线的操作<sup>[14]</sup>，矩阵开关的 U426、U427 由 STM32F207 的控制端口线 PG0-PG15 选择不同支路传感器的接入，即开关切换函数 SelectSwitch\_A (unsigned char port) 实现任意一路 port 的自由切换；通过开关分时切换各支路完成 A/D 转换，由 MCU 的控制端口线 PF8-PF15 逻辑位控制模拟开关 U422、U423 实现基准电压和不同支路差分输入电压的选择，其开关函数是 SelectSwitch\_B (unsigned char port)；对应于某个支路 port，由开关 A 和开关 B 函数完成，两个函数同时调用，协调工作。

```

void SelectSwitch_A(unsigned char port)//开关 A
{
    // port=0,1,2,3,4.....15
    uint16_t PortAC_Ctrl;
    PortAC_Ctrl = (1<<(uint16_t)(port)); //控制线使用 PG 端口
    GPIO_ResetBits(GPIOD, GPIO_Pin_All); // 置低电平=0
    GPIO_SetBits(GPIOD, PortAC_Ctrl); //设置对应控制线=1
}
void SelectSwitch_B(unsigned char port)//开关 B
{
    // port=0,1,2,3,4.....15 //控制线使用 PF 端口
    GPIO_ResetBits(GPIOF, GPIO_Pin_8 | GPIO_Pin_9 | GPIO_Pin_
10 | GPIO_Pin_11 | GPIO_Pin_12 | GPIO_Pin_13 | GPIO_Pin_14 | GPIO
_Pin_15); //全部控制线置低电平
    if(port==0){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11);} //控制字
=0x08
    else if(port==1){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_8); }
    else if(port==2){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_9); }
    else if(port==3){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_8 | GPIO_Pin_9); }
    else if(port==4){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_10); }
    else if(port==5){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_10 | GPIO_Pin_8); }
    else if(port==6){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_10 | GPIO_Pin_9); }
    else if(port==7){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_11 | GPIO_
Pin_10 | GPIO_Pin_9 | GPIO_Pin_8); }
    else if(port==8){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15); } //控
制字 =0x08
    else if(port==9){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_12); }
    else if(port==10){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_13); }
    else if(port==11){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_13 | GPIO_Pin_12); }
    else if(port==12){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_14); }
    else if(port==13){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_14 | GPIO_Pin_12); }
    else if(port==14){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_14 | GPIO_Pin_13); }
    else if(port==15){GPIO_SetBits(GPIOF, GPIO_Pin_15 | GPIO_
Pin_14 | GPIO_Pin_13 | GPIO_Pin_12); }
}

```

在实际应用中,每一支路的输入信号幅度大小不同,需要对 A/D 转换器 AD7793 的增益进行设置以满足信号幅度要求,增益可能不一样,所以有不同的增益参数 gain。基准支路由函数 Set\_TT\_Base(char port, unsigned char gain) 完成设置,是对应固定的 PORT1 位置;后者相类似,对 port 支路增益参数为 gain 进行设置,由函数 Set\_TT\_Real(char port, unsigned char gain) 完成。在开关切换过程中必须注意 AD7793 差分输入端滤波电容的影响,切换过程中需要稳定时间,故需要插入延时函数 Delay\_1 ms(50) 完成 50 ms 的延时,在本设计中测试结果表明 50 ms 延时比较合适。

```

void Set_TT_Base(char port, unsigned char gain)
{
    SelectSwitch_A(port);

```

```

    SelectSwitch_B(PORT1);
    Delay_1ms(50); //50ms 的延时是必须的,太短会造成输入信号
由于开关转换还没有稳定下来而转换数据不准确。
    Select_Channel_Gain(CHANNEL1, gain);
}
void Set_TT_Real(char port, unsigned char gain)
{
    SelectSwitch_A(port);
    SelectSwitch_B(port);
    Delay_1ms(50); //延时是必须的。
    Select_Channel_Gain(CHANNEL1, gain);
}

```

对于任意一支路的数据转换和采集,都经过两个步骤,第一步是参考基准数据的采集,第二步是被测数据的采集,分时实现。对于某一支路,上述开关 A 函数、开关 B 函数、Set\_TT\_Base 函数和 Set\_TT\_Real 函数同时被调用,紧接着分别调用下面函数 Read\_TT\_Base(char port) 和 Read\_TT\_Real(char port) 来完成参考基准数据和被测数据的读入。ReadADC\_16BitValue(unsigned char channel) 函数实现对 AD7793 的转换和读数。

获得了参考基准数据和被测数据,通过算法计算出被测传感器对应的温度值。

```

void Read_TT_Base(char port)
{
    TT_tempbuf[port-1][BASE]=ReadADC_16BitValue(CHAN-
NEL1);
    if(port==1) AD_TT_Current=TT_tempbuf[0][0]*5.0/65535/
8*1000;
}
void Read_TT_Real(char port)
{
    TT_tempbuf[port-1][REAL]=ReadADC_16BitValue(CHAN-
NEL1);
}
unsigned int ReadADC_16BitValue(unsigned char channel)
{
    unsigned int AD16bit;
    unsigned char i, status;
    ADC_DIN1; ADC_CLK1; Delay_1us(10); // begin
    WriteToReg_ADC(0x40); //选择下一步读状态寄存器,当前通道
status=ReadFormReg_ADC(1);
    while((status&0x80)==0x80)
    { //等待转换完成
        WriteToReg_ADC(0x40);
        status=ReadFormReg_ADC(1);
    }
    WriteToReg_ADC(0x58); //选择下一步读数据寄存器,读当前
通道数据
    AD16bit=0x00;
    for(i=0; i<16; i++)
    {
        AD16bit=AD16bit<<1;
        ADC_CLK0; Delay_1us(10);
        if(ADC_DOUT==1)
            AD16bit=AD16bit|0x01;
        ADC_CLK1; Delay_1us(10);
    }
    ADC_CLK1; ADC_DIN1; // end
    return(AD16bit);
}

```

### 3 应用验证

验证分为两个方面,一方面是各支路一致性的检验,检查

各路的固有误差是否一致，另一方面是全程误差检测。依托计量检定机构的温度检定箱进行 0 点检测，设定温度检定箱的温度 20 ℃、湿度 60%RH。用一个固定 100 $\Omega$ 、精度为 0.01% 的标准电阻作为传感器代替铂电阻传感器，相当于铂电阻 Pt100 在 0 ℃ 条件下的被测电阻值，置于检定箱内保持恒温恒湿的环境条件，引线引到箱外便于切换，但是引线尽量短。分别牢靠的接入各个支路，在调试状态下 MCU 直接从 AD7793 读出数据并换算出对应支路的温度值，重复读数 3 次，计算出平均值，保留小数点后 4 位，结果如表 1 所示。

表 1 各支路一致性检测结果

支路	平均值(℃)	备注
0	0.00	基准支路,自我比较
1	0.0097	
2	0.0065	
3	0.0096	
4	0.0102	
5	0.0079	
6	0.0099	
7	0.0094	
8	0.0088	
9	0.0103	
10	0.0108	
11	0.0090	
12	0.0099	
13	0.0101	
14	0.0073	
15	0.0093	

从表 1 的测检结果可以看出，各支路读数的平均值最大是第 10 支路为 0.010 8 ℃，最小是第 2 支路为 0.006 5 ℃，各支路之间最大误差是 0.004 3 ℃，这个误差值相当小，表明了各支路本身产生的系统误差大体上是相同的，这个微小的正误差可能是基准 100 $\Omega$  电阻与被测 100 $\Omega$  电阻之间的差异造成，支路之间的误差可以忽略不计，也说明了模拟矩阵开关和 A/D 转换器电路的各支路一致性良好，完全可以满足高精度测温需要。

本电路实际应用于自动气象站，利用 FY-201B 温度检定槽及 RCY-1A 一等标准器对自动气象站进行检定。筛选 15 支误差相当一致的一等铂电阻温度传感器，按照气象仪器检定规程要求，分别进行 -20 ℃、0 ℃、30 ℃、50 ℃、80 ℃ 检定点检定<sup>[15]</sup>。重复读数 4 次，计算出平均值，四舍五入保留小数点后 1 位，标准表读数保留 2 位小数，检定数据如表 2 所示。

从表 2 可以看出，各支路在 -20 ℃~80 ℃ 量程范围内的误差为  $\pm 0.1$  ℃，当中可能包含了传感器本身的微小误差，也有电路系统误差。总的来说这表明了电路的转换线性比较好，完全满足气象应用需要。

### 4 结论

在许多实际应用系统中，温度测量或者其它电流型参数测量都需要具有可比性，同基准的测量就显得十分重要。本文有效的解决了电流型参数测量的同基准问题，以及通过模拟开关分时测量带来的延时稳定问题；对接铂电阻传感器的时候，需要在电路设计中充分考虑非测量时间传感器的预热要求，增加

表 2 检定数据记录表

测试点	-20 ℃		0 ℃		30 ℃		50 ℃		80 ℃	
	均值	误差	均值	误差	均值	误差	均值	误差	均值	误差
标准表	-20.01		0.00		30.02		50.01		80.01	
支路 1	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 2	-19.9	0.1	0.0	0.0	29.9	-0.1	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 3	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 4	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 5	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 6	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.1	0.1
支路 7	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.1	0.1	50.1	0.1	80.1	0.1
支路 8	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 9	-19.9	0.1	0.1	0.1	30.1	0.1	50.1	0.1	80.1	0.1
支路 10	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 11	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.1	0.1	50.1	0.1	80.1	0.1
支路 12	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.1	0.1	80.1	0.1
支路 13	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 14	-19.9	0.1	-0.1	-0.1	29.9	-0.1	50.0	0.0	80.0	0.0
支路 15	-20.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	50.0	0.0	80.0	0.0

预热电路，否则可能影响测量精度。电路简单，用三线数字接口节约 MCU 资源，软件代码简洁。实践表明，由 AD7793 为核心的 24 位  $\Sigma-\Delta$  型 ADC 同基准 16 路电流型测温电路的精度和稳定度都是非常优异的，灵活性比较好，可以满足许多测量系统应用要求。

### 参考文献:

[1] 张志坚, 杨雷. 基于 Cu50 的精确温度测量系统 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (5): 1355-1356.

[2] 沈显威, 俞梦孙, SHENXian-wei, 等. 多通道温度测量系统设计 [J]. 医疗卫生装备, 2007, 28 (6): 23-25.

[3] 陈勇, 许亮, 于海阔等. 基于单片机的温度控制系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (2): 77-79.

[4] 储呈敏, 马尚昌, 张素娟, 等. 地表温度测量方法研究综述 [J]. 电子设计工程, 2014, 22 (6): 187-189.

[5] 敖振浪, 林金田, 李源鸿. 气象观测用地温测量装置误差一致性电路的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (9): 1327-1329.

[6] 张志坚, 杨雷. 基于 Cu50 的精确温度测量系统 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (5): 1355-1356.

[7] 敖振浪, 李源鸿, 吕玉婧. 一种实用的精密气温测量算法与实现 [J]. 气象, 2009, 32 (10): 103-107.

[8] 王丽, 武凤芹, 张紫乾. 一种 16 通道模拟开关电路测试设计 [J]. 集成电路通讯, 2015 (3): 38-42.

[9] 张霁琛. 现代气象观测 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2015.

[10] 董鸣. AD7793 在高精度温控设备中的应用 [J]. 电子技术, 2012 (8): 36-38.

[11] 胡玉峰. 自动气象站原理与测量方法 [J]. 气象, 2005 (4): 96-96.

[12] 刘焕乾. AD7793 芯片在地温测量中的应用 [J]. 湖南农业科学, 2015 (4): 143-144.

[13] 王昆鹏, 田佳林, 刘立波, 等. 一种四线制 Pt100 电阻测量电路: CN, CN203479906U [P]. 2014.

[14] 钟科. 基于 STM32 的温度测量系统 [J]. 微处理机, 2015 (1): 63-67.

[15] 杨波, 李文博, 张永欣. 自动气象站温度传感器计量检定中相关问题的探讨 [J]. 计量与测试技术, 2016 (11): 103-104.