



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109375291 A  
(43)申请公布日 2019.02.22

(21)申请号 201811174709.8

(22)申请日 2018.10.09

(71)申请人 成都信息工程大学

地址 610225 四川省成都市西南航空港经  
济开发区学府路一段24号

(72)发明人 姚振东 郑小彪 李建 郑向东

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理  
有限公司 11246

代理人 夏艳

(51)Int.Cl.

G01W 1/08(2006.01)

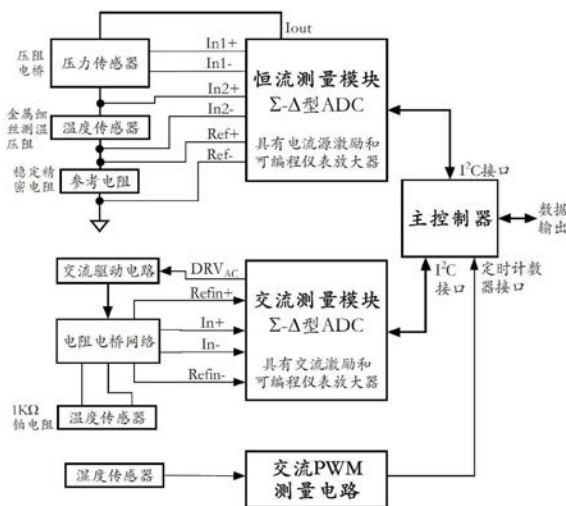
权利要求书2页 说明书10页 附图7页

(54)发明名称

一种适用于探空仪的温度气压与湿度测量装置及方法

(57)摘要

本发明提供一种适用于探空仪的温度气压与湿度测量装置及方法,该装置包括主控制器、恒流测量模块、交流测量模块以及交流PWM测量模块。本测量装置与低阻型热电阻大气温度传感器、压阻电桥型绝对气压传感器、高阻型露霜点温度传感器以及湿敏电容型湿度传感器能很好地配合使用。本发明利用通过相同参考电流流过被测电阻与参考电阻,其压降比与参考电流无关的关系;或参考电压直接作用于测量电阻网络,其分压比与参考电压无关的关系,来获得能够消除参考电流或电压漂移造成的测量误差的性能,通过测量得到被测电阻与参考电阻或电阻网络的分压系数,计算出被测电阻阻值,进一步可计算出大气温度、气压以及露霜点温度测量值。



1. 一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,包括主控制器、恒流测量模块、交流测量模块以及交流PWM测量模块,其中,主控制器,片内具有I<sup>2</sup>C总线的硬件接口,具有捕捉功能的定时计数器以及UART串行接口,I<sup>2</sup>C总线用于和恒流测量模块与交流测量模块通信,定时计数器用于激励和测量交流PWM测量模块;UART串行接口设置为快速和慢速两种工作方式,快速UART用于地面测试与标定,慢速UART用于探空中的数据到发射机的数据传输,所有的测量与控制操作均由主控制器实现,并通过发射机与地面计算机连接;

恒流测量模块,具有电流源激励和可编程仪表放大器,电流激励连接气压传感器和大气温度传感器,与高精度参考电阻连接形成模数变换的参考电压,消除测量中可能产生的恒流波动与漂移造成的测量误差,可编程仪表放大器设置合适的增益,保证模数变换部件工作于最佳电压范围;

交流测量模块,具有交流激励和可编程仪表放大器,与电压激励的冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器和半导体制冷器中的散热块上的铂电阻温度传感器连接,交流参考电压用作测量电桥的激励电压和ADC的参考电压,可编程仪表放大器设置合适的增益,保证模数变换部件工作于最佳电压范围;

交流PWM测量模块,将主控制器发送的测量时间脉冲与极性交替变化的方向信号由一个脉冲处理电路处理后,对连接的湿敏电容进行极性交替的充放电,充电时间形成脉冲宽度,并由主控制器的定时计数单元进行高精度脉冲宽度测量。

2. 根据权利要求1所述的一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,所述的恒流测量模块外部连接的气压传感器阻值在1至5千欧,大气温度传感器阻值在30至60欧姆,高精度参考电阻阻值为1.25千欧。

3. 根据权利要求1所述的一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,所述的交流测量模块中连接的冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器在0摄氏度时的阻值为1千欧。

4. 根据权利要求1或3所述的一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器和半导体制冷器中的散热块上的铂电阻温度传感器外接场效应管,形成“H桥”开关电路。

5. 根据权利要求1或2所述的一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,气压传感器与大气温度传感器两端正向均并联一个肖特基二极管。

6. 根据权利要求4或5所述的一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,大气温度传感器采用4线连接方式;冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器采用3线连接方式。

7. 根据权利要求6所述的一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,其特征在于,大气温度传感器采用20 $\mu$ m测温钨丝反复绕制而成。

8. 一种对权利要求1所述的适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量方法,其特征在于,包括

步骤1. 气压传感器、大气温度传感器、铂电阻温度传感器、湿敏电容均通过二值或多值化的检定装置处理,获得传感器的特性曲线;

步骤2. 将气压传感器、大气温度传感器、铂电阻温度传感器、湿敏电容通过线路连接至

恒流测量模块、交流测量模块、交流PWM测量模块,并将各模块连接至主控制器;

步骤3. 使用探空仪将测量装置送至待测位置;

步骤4. 测量装置获得测量参数计算得到测量结果并发送至地面或者将测量参数发送至地面计算机,由地面计算机通过浮点计算出测量结果。

9. 根据权利要求7所述的适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量方法,其特征在于,标定时,恒流测量模块设定输出为1mA,可编程仪表放大器放大倍数设定为16,高精度参考电阻阻值为1.25千欧,ADC为双极性偏移二进制码。

10. 根据权利要求7所述的适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量方法,其特征在于,标定时,交流测量模块的可编程仪表放大器放大倍数设定为16,ADC为双极性偏移二进制码。

## 一种适用于探空仪的温度气压与湿度测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电子信息技术领域,尤其涉及一种适用于探空仪的温度气压与湿度测量装置及方法。

### 背景技术

[0002] 探空仪的工作环境与工作条件与地面测量有很大的差异。对于气球携带升空的上升式探空仪,或由火箭、飞机等方法升至一定高空的下降式探空仪,由于其存在一定的上升或下降速度,要求测量的响应时间足够快;同时在高空中的气温、气压和湿度差异很大,要求测量的动态范围足够大,还要求测量仪器本身的工作环境条件适应性足够宽;并且,由于空中不可避免地受到太阳等不同波长地光与微波辐射,要求探空仪测量参数被影响的程度足够小。

[0003] 对于响应时间,目前采用的技术是减少传感器尺寸,令其尽快感测到所测参数的量值。

[0004] 对于动态范围,在气温和气压上,已经改进传感器的结构,改善传感器的测量范围和分辨率。

[0005] 在湿度上,则由于传统的、性能较好的湿敏电容在分辨率和精度方面的局限,需要以露点或霜点测量的物理方法才能适应动态范围、分辨率和精度的要求。但后者由于成本相对较高,还不能在常规气象探空业务中推广使用,因此湿度测量中者两种方法在不同的需求中选择使用。

[0006] 对于仪器本身的工作环境适应性,目前主要问题是温度的变化范围过大,特别是低温的情况极为严重,超过大多数元器件的工作温度范围,导致仪器难以正常工作。而解决的方法普遍是采用足够厚的泡沫材料来隔绝仪器与大气的直接热传递,在测量的2小时左右,仪器的温度变化不至于超出工作范围。

[0007] 正因为如此,除气压传感器通过导管与外部空气联通外,湿度和温度传感器仍然要求被暴露于空气中,以获得最佳的感应效果,即响应时间和感受到的大气真实量值。

[0008] 对于辐射影响,目前采用的方法是涂覆一些对测量参量的传感影响不大而又能反射辐射的特殊材料。

[0009] 这样,对于温度传感器,其形状由原来的长条形变为了现在株状或细丝状,同样的温度测量范围,其阻值及变化范围大为减少,原来的测量电路很难完全发挥改良温度传感器的优良性能,实际效果改善达不到预料的程度。

[0010] 对于湿度,采用湿敏电容测量的方式中,由于其结构特点,为了保证在测量中其性能不会变差,需要使用交流测量技术,而常规的测量方法很难消除施加于传感器上的直流分量。如果采用霜露点测量技术,则需要准确的测量用于形成结露或结霜的镜面的当时温度值,即露点或霜点温度。为了尽可能减少传感器连接线路和交流激励测量技术,以提高测量精度。目前的测量电路为了简化结构,未使用交流激励测量技术。

[0011] 因此,研究一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置十分必要。

## 发明内容

[0012] 本发明的目的在于解决上述现有技术存在的缺陷,提供一种适用于探空仪的温度气压与湿度测量装置,以达到对温度、气压、湿度传感器测量结果的准确量化和数值表示。

[0013] 本发明采用如下技术方案:

[0014] 一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,

[0015] 包括主控制器、恒流测量模块、交流测量模块以及交流PWM测量模块,其中,

[0016] 主控制器,片内具有I<sup>2</sup>C总线的硬件接口,具有捕捉功能的定时计数器以及UART串行接口,I<sup>2</sup>C总线用于和恒流测量模块与交流测量模块通信,定时计数器用于激励和测量交流PWM测量模块;UART串行接口设置为快速和慢速两种工作方式,快速UART用于地面测试与标定,慢速UART用于探空中的数据到发射机的数据传输,所有的测量与控制操作均由主控制器实现,并通过发射机与地面计算机连接;

[0017] 恒流测量模块,具有电流源激励和可编程仪表放大器,电流激励连接气压传感器和大气温度传感器,与高精度参考电阻连接形成模数变换的参考电压,消除测量中可能产生的恒流波动与漂移造成的测量误差,可编程仪表放大器设置合适的增益(2<sup>n</sup>倍,n=0,1,2,⋯,7,使参考电压高于1倍、但不高于2倍信号电压),保证模数变换部件工作于最佳电压范围;

[0018] 交流测量模块,具有交流激励和可编程仪表放大器,与电压激励的冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器和半导体制冷器中的散热块上的铂电阻温度传感器连接,交流参考电压用作测量电桥的激励电压和ADC的参考电压,可编程仪表放大器设置合适的增益(2<sup>n</sup>倍,n=0,1,2,⋯,7,使参考电压高于1倍、但不高于2倍信号电压),保证模数变换部件工作于最佳电压范围;

[0019] 交流PWM测量模块,将主控制器发送的测量时间脉冲与极性交替变化的方向信号由一个脉冲处理电路处理后,对连接的湿敏电容进行极性交替的充放电,充电时间形成脉冲宽度,并由主控制器的定时计数单元进行高精度脉冲宽度测量。

[0020] 进一步的技术方案是,所述的恒流测量模块外部连接的气压传感器阻值在1至5千欧,大气温度传感器阻值在30至60欧姆,高精度参考电阻阻值为1.25千欧。

[0021] 进一步的技术方案是,所述的交流测量模块中连接的冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器在0摄氏度时的阻值为1千欧。

[0022] 进一步的技术方案是,冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器和半导体制冷器中的散热块上的铂电阻温度传感器外接场效应管,形成“H桥”开关电路。

[0023] 进一步的技术方案是,气压传感器与大气温度传感器两端正向均并联一个肖特基二极管。

[0024] 进一步的技术方案是,大气温度传感器采用4线连接方式;冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器采用3线连接方式。

[0025] 进一步的技术方案是,大气温度传感器采用20 $\mu$ m测温钨丝反复绕制而成。

[0026] 一种对权利要求1所述的适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量方法,其特征在于,包括

[0027] 步骤1.气压传感器、大气温度传感器、铂电阻温度传感器、湿敏电容均通过二值或多值化的检定装置处理,获得传感器的特性曲线;

[0028] 步骤2.将气压传感器、大气温度传感器、铂电阻温度传感器、湿敏电容通过线路连接至恒流测量模块、交流测量模块、交流PWM测量模块,并将各模块连接至主控制器;

[0029] 步骤3.使用探空仪将测量装置送至待测位置;

[0030] 步骤4.测量装置获得测量参数计算得到测量结果并发送至地面或者将测量参数发送至地面计算机,由地面计算机通过浮点计算出测量结果。

[0031] 进一步的技术方案是,标定时,恒流测量模块设定输出为1mA,可编程仪表放大器放大倍数设定为16,高精度参考电阻阻值为1.25千欧,ADC为双极性偏移二进制码。

[0032] 进一步的技术方案是,标定时,交流测量模块的可编程仪表放大器放大倍数设定为16,ADC为双极性偏移二进制码。

[0033] 本发明的有益效果:

[0034] 1).通过小电流流过气压传感器、大气温度传感器(小阻值)和参考电阻(高精度),使其上形成的电压比例不受电流精度的影响,分别由高精度可编程仪表放大器放大到同量级电压后,进行模数变换和数字处理,能准确还原出实际的大气温度和气压。

[0035] 2).通过使用交流激励,使较高阻值的测温电阻及其连接电路的极化效应和热电偶效应得到消除,通过使用一致的测量电桥激励电压与ADC参考电压,消除了参考电压可能出现的波动与漂移的影响,由高精度可编程仪表放大器放大后,进行模数变换和数字处理,能准确还原被测物体的温度。

[0036] 3)通过交流脉冲激励,消除了湿敏电容受到的直流电场极化而降低性能的影响,通过高精度脉冲宽度测量,能准确计算出大气相对湿度值。

[0037] 4).对于传感器可能存在的一致性差异,本装置使用前通过一个二值或多值的检定装置,可获得传感器的特性曲线,以便计算出真实被测量值。

## 附图说明

[0038] 图1是本发明提供的适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置的原理方块图;

[0039] 图2是本发明提供的大气温度气压测量模块原理方块图;

[0040] 图3是本发明实施例提供的镜面温度测量模块原理方块图;

[0041] 图4是本发明实施例提供的测温电阻与温度关系及误差曲线图;

[0042] 图5是本发明实施例提供的测温电桥与ADC关系及误差曲线图;

[0043] 图6是本发明实施例提供的测量温度与ADC关系及误差曲线图;

[0044] 图7是本发明实施例提供的基于湿敏电容传感器的大气湿度测量模块原理方块图和关键波形图;

[0045] 图8是本发明实施例提供的基于脉冲调宽的交流湿敏电容测量电路。

## 具体实施方式

[0046] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面本发明中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0047] 一种适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置,包括主控制器、恒流测量模块、交流测量模块,以及交流PWM测量模块。

[0048] 主控制器由32为高性能嵌入式芯片构成,可采用STM320Fxx等系列型号,硬件接口主要使用其片内的I<sup>2</sup>C总线、具有捕捉功能的定时计数器以及UART串行等外设资源。

[0049] I<sup>2</sup>C总线用于和恒流测量模块与交流测量模块通信;定时计数器用于激励和测量交流PWM测量模块;UART串行接口设置为快速和慢速两种情况,快速UART用于地面测试与标定,慢速UART用于探空中的数据到发射极的数据传输。所有的测量与控制操作由控制器实现,由测量结构形成被测物理量的计算,既可以在此完成,传回最终结果,也可将测量参数传回地面,由地面计算机接收后实现。

[0050] 因此地面计算机采用双精度浮点计算,因此较为方便。

[0051] 利用主控制器的强大性能,可进行对传感器的标定工作。对于传感器可能存在的一致性差异,在使用前通过一个或多值温度检定装置、二值或多值气压检定装置与二值或多值湿度检定装置,可标定传感器的特性,得到其特性曲线,用于计算被测对象的出真量值。

[0052] 恒流测量模块用于电流激励的千欧阻值大小的气压传感器和欧姆阻值大小的温度传感器。小电流和间歇性工作,可极大地降低传感器造成的发热影响。使用相同的小电流流过高精度参考电阻来形成模数变换的参考电压,消除测量中可能产生的恒流波动与漂移造成的偏移误差。独立可设置增益的高精度可编程仪表放大器可保证模数变换部件工作于最佳电压范围。

[0053] 可编程仪表放大器增益设置范围为:2<sup>n</sup>倍,n=0,1,2,⋯,7,使参考电压高于1倍、但不高于2倍信号电压。

[0054] 气压传感器阻值在1至5千欧范围,大气温度传感器阻值在30只60欧姆范围,高精度参考电阻阻值为1.25千欧。

[0055] 恒流测量模块的工作状态机结果通过I<sup>2</sup>C总线由主控制器控制与处理。

[0056] 交流测量模块用于电压激励的千欧阻值大小的冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器和半导体制冷器中的散热块上的铂电阻温度传感器。交流测量可抵消连接线路的极化效应和热电偶效应对测量造成的影响。交流参考电压同时用作测量电桥的激励电压和ADC的参考电压,使其可能出现的波动与漂移对模数变换后的影响自动消除。设置合适的增益,由高精度可编程仪表放大器放大后,可保证模数变换部件工作于最佳电压范围。

[0057] 可编程仪表放大器增益设置范围是:2<sup>n</sup>倍,n=0,1,2,⋯,7,使参考电压高于1倍、但不高于2倍信号电压。

[0058] 冷凝式露霜点仪的镜面高精度铂电阻温度传感器在0摄氏度时的阻值为1千欧。

[0059] 交流测量模块的工作状态及结果通过I<sup>2</sup>C总线由主控制器控制与处理。

[0060] 交流PWM测量模块,将主控制器送来的测量时间脉冲与极性交替变化的方向信号由一个脉冲处理电路处理后,对湿敏电容进行极性交替的充放电过程,消除了湿敏电容受到直流电场极化而降低性能的影响,其充电时间形成脉冲宽度,由主控制器的定时计数单元进行高精度脉冲宽度测量。

[0061] 交流PWM工作流程由主控制器控制与处理,获得准确测量参数。

[0062] 本发明提出了5中技术手段,实现气象探空仪性能的提高。

[0063] 第一,采用传感器激励与ADC参考电压直接关联,消除因为参考电压或电流波动、漂移引起的额外测量误差。

[0064] 针对参考电流的情况,参见图1—适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置的原理方块图的上部分,该部分的实际示意图为图2—大气温度气压测量模块原理方块图。恒流源测量模块可使用16位的AD7792,或24位的AD7793,或类似专用芯片来实现。

[0065] 电流流过绝对气压传感器,该传感器两端正向并联一个肖特基二极管,以防止失效短路而影响串联的大气温度的测量。正常时,二极管不工作,断路时,二极管起到维持电流的作用。

[0066] 电流流过大气温度传感器,同样地,该传感器两端正向并联一个肖特基二极管,以防止其失效短路而影响串联的大气气压的测量。正常时,二极管不工作,其短路时,二极管起到维持电流的作用。

[0067] 针对大气温度的测量,传感器可采用尺寸20um测温钨丝,该细小钨丝对太阳及其他微波辐射不敏感,截取一段做成之字形反复绕制若干来回,形成与空气接触良好的大气温度传感器 $R_T$ ,在常温条件下,其阻值约为可选择30至60欧姆范围,此处优选57欧姆,该传感器的阻值变化符合线性温度关系。

[0068] 为了获得良好的测量性能,大气温度传感器 $R_T$ 宜采用4线连接方式。由于开尔文电路的特性,电流传输回路(两端)的线路电阻,在电压采样线路中不受影响。

[0069] 实施例1

[0070] 假设,在温度 $t_1$ 时,其阻值为 $R_{A1}$ ,AD7792测得数据为 $D_1$ (可认为是标定步骤1);在温度 $t_2$ 时,其阻值为 $R_{A2}$ ,AD7792测得数据为 $D_2$ (可认为是标定步骤2);而在实测时,温度为 $t$ ,其阻值为 $R_A$ ,AD7792测得数据为 $D$ 。

[0071] 参考电压通过参考电阻为 $R_{ref}$ 转换而得, $R_{ref}$ 选用1.25千欧低温度系数高精度电阻。

[0072] 将AD7792设定为 $I_{OUT2}$ 恒定电流输出,且其大小为 $I_{test}=1mA$ ,其仪表放大器工作于放大倍数 $\beta$ ( $\beta=16$ 时符合本大气温度测量情况)。ADC直接使用双极性偏移二进制码。根据AD7792特性,可推导得大气温度测量方程组,即公式(1)。

$$[0073] \begin{cases} k_T = \frac{R_{ref}}{\beta} \frac{2^{-15}(D_1 - D_2)}{t_1 - t_2} \\ b_T = \frac{1}{2} \left[ \frac{R_{ref}}{\beta} (2^{-15}(D_1 + D_2) - 2) - k_T(t_1 + t_2) \right] \\ t = \frac{\frac{R_{ref}}{\beta} (2^{-15}D - 1) - b_T}{k_T} \end{cases} \quad \text{----- (1)}$$

[0074] 公式(1)的前两项为标定过程,即通过标定获得大气温度线性测量的斜率 $K_T$ 和截距 $B_T$ ,第3项为大气温度测量计算公式。

[0075] 可见测量中恒流源 $I_{test}$ 被消除了,其漂移和波动不再影响测量。为了更高的精度,尽量减少发热,实际操作中,测量时,恒流源 $I_{test}$ 才被设置为1mA有效输出,其他情况将被关闭。



[0076] 对上述测温项求偏微分,可得估算测温误差公式(2)

$$[0077] \quad \frac{\partial t}{\partial t} = \frac{\partial R_{ref} (2^{-15} D - 1)}{\beta k_T} + \frac{R_{ref} 2^{-15} \partial D}{\beta k_T} \quad \text{-----} \quad (2)$$

[0078] 由此式具体化为公式(3)和(4),可估算出由于参考电阻阻值变化 $\delta R_{ref}$ 形成的最大测量误差 $\delta t_{ref}$ 和ADC非线性误差 $\delta D$ 形成的测量误差 $\delta t_D$ 的情况。二者之和即为总的误差。

$$[0079] \quad \delta t_{ref} = \frac{2 |\delta R_{ref}|}{\beta k_T} \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$[0080] \quad \delta t_D = \frac{R_{ref} 2^{-15} \delta D}{\beta k_T} \quad \text{-----} \quad (4)$$

[0081] 如果恒流源测量模块使用AD7793,由于其24为数据的性能,即 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D$ 为24位,公式(1)至(4)中的 $2^{-15}$ 换成 $2^{-23}$ 即可,其他设置和取值不变。

[0082] 大气压强的测量,采用NPC-1210-015A-3S或类似性能型号的绝对气压传感器。该传感器为差分电桥形式,给出的参数是驱动电流为1.5mA,则满量程15PSI(约合1034.2hPa,略高于1个大气压1000hpa)气压条件下,输出电压为100mV,可以推断其差分阻抗变化值为66.67欧姆。显然,如果电流为1mA,则相应输出电压为66.67mV。

[0083] 假设输出电压与气压变化符合线性关系,在气压 $P_1$ 时,其相应电阻变化为 $\delta R_1$ ,输出电压为 $V_{01}$ ,AD7792测得数据为 $D_1$ (可认为是标定步骤1);

[0084] 在气压 $P_2$ 时,其相应电阻变化为 $\delta R_2$ ,输出电压为 $V_{02}$ ,AD7792测得数据为 $D_2$ (可认为是标定步骤2);而在实际测量时,气压为 $P$ ,其相应电阻变化为 $\delta R$ ,输出电压为 $V_0$ ,AD7792测得数据为 $D$ 。

[0085] 与大气温度测量原理一致,AD7792仪表放大器工作的放大倍数 $\beta$ 仍设为16,根据AD7792特性,同样可推导得大气压力测量公式(5),其他分析和处理与大气温度测量流程一致。

$$[0086] \quad \left\{ \begin{array}{l} k_p = \frac{R_{ref} 2^{-15} (D_1 - D_2)}{\beta (P_1 - P_2)} \\ b_p = \frac{1}{2} \left[ \frac{R_{ref}}{\beta} (2^{-15} (D_1 + D_2) - 2) - k_p (P_1 + P_2) \right] \\ P = \frac{\frac{R_{ref}}{\beta} (2^{-15} D - 1) - b_p}{k_p} \end{array} \right. \quad \text{-----} \quad (5)$$

[0087] 针对参考电压的情况,参见图1—适用于气象探空仪的温度气压与湿度测量装置的原理方块图的中间部分,该部分的实际示意图为图2—露霜点仪的镜面温度测量模块原理方块图。交流测量模块可使用24位的AD7195,或类似专用芯片来实现。

[0088] 为了获得好的测量性能,组成电桥的4个参考电阻 $R_{REF}$ 使用精度优于0.1%的3千欧的电阻,以保证其阻值一致性和测量精度。

[0089] 镜面温度测量使用P1K0.232.3FW.A.010型号或类似性能铂电阻(详见图3)。该铂

电阻尺寸为长宽高(mm) 2.3 x 2x 0.65/1.3。小尺寸为了尽可能减少测量的相应时间。根据其技术说明书,0℃阻值为1千欧。假设在温度 $t_c$ 时,其阻值为 $R_{MC}$ ,AD7195测得数据为Data。阻值随温度的变化可多项式表示,如公式(6)所示。

[0090]

$$R_{MC} = \begin{cases} R_0(1 + At_c + Bt_c^2), & \text{当 } 0^\circ\text{C} < t_c < 50^\circ\text{C} \\ R_0(1 + At_c + Bt_c^2 + C(t_c - 100)t_c^3), & \text{当 } -120^\circ\text{C} < t_c < 0^\circ\text{C} \end{cases}$$

--- (6)

[0091] 其中, $A=3.9083 \times 10^{-3}【^\circ\text{C}^{-1}】$ , $B=-5.775 \times 10^{-7}【^\circ\text{C}^{-2}】$ , $C=-4.183 \times 10^{-12}【^\circ\text{C}^{-4}】$ ,属于温度系数为3850ppm/K的测温热电阻类型。

[0092] 图4给出了该测温电阻阻值与温度的关系(上图)及误差曲线图(下图)。

[0093] 采用参考电压作为测量电压的方法,详见图3。图中的N沟道和P沟道绝缘栅场效应管,用作换向开关,其工作状态为饱和导通或关断介质。有交流测量模块(如使用AD7195)产生的正向驱动型号ACX1与互补驱动型号 $\overline{ACX1}$ 以及反向驱动信号ACX2与互补驱动信号 $\overline{ACX2}$ 分别驱动。

[0094] 这样,参考电压 $V_{REF}$ 同时也作为测量电桥的激励电压,其极性是周期性改变的,平均电压为0,属于交流测量模型。为了见可能降低引线造成的额外影响,电路中的测温铂电阻,采用3线连接模式。

[0095] 为了实现最佳量程,交流测量模块AD7195的工作放大倍数 $\beta$ 设置为16,其ADC为双极性偏移二进制码。

[0096] 由公式(6),可将被测的热电阻计算公式表示成: $R_{MC}=f(t_c)$ ,其反函数为 $t_c=f^{-1}(R_{MC})$ 。根据四电阻电桥网络,测量电压输出为:

$$V_o = \left( \frac{1}{2} - \frac{R_{MC} + R}{R_{MC} + 2R} \right) V_{ref}$$

[0098] 根据交流测量模块AD7195的特性,ADC转换数值为:

$$Data = 2^{(N-1)} \left( \frac{V_o * \beta}{V_{ref}} + 1 \right) = 2^{(N-1)} \left( \beta \left( \frac{1}{2} - \frac{R_{MC} + R}{R_{MC} + 2R} \right) + 1 \right)$$

[0100] 利用公式(6)和(8),可以计算出测温电桥上测温电阻阻值与ADC关系及误差曲线图,详见图5所示。可见,参考电压在输出数据上已不再反应,其可能存在的不稳定性已被消除。

[0101] 公式(8)可表示成: $Data=g(R_{MC})$ ,其反函数为 $R_{MC}=g^{-1}(Data)$ 。可推导得转换数值与测量温度的关系: $Data=g(f(t_c))=h(t_c)$ ,其反函数为: $t_c=f^{-1}(g^{-1}(Data))=h^{-1}(Data)$ 。

[0102] 通过Matlab数值计算,可得到以由于精度要求的步进、在测量范围内的温度值的集合与对应的ADC转换最后数值集合的关系,即 $Data=h(t_c)$ 。以Data为自变量, $t_c$ 为因变量,可拟合一个3阶多项式关系,即 $t_c=h^{-1}(Data)$ ,这样,从测量到的数据直接可以求出温度值t,如公式(9)所示。

$$t = p_1 Data^3 + p_2 Data^2 + p_3 Data + p_4$$

[0104] 其中,  $h^{-1} = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4]$ , 且

[0105]  $p_1 = -187304258.701497/1E20$

[0106]  $p_2 = 25813142653524.273438/1E20$

[0107]  $p_3 = -2208570865245775360.000000/1E20$

[0108]  $p_4 = 26443952875826686459904.000000/1E20$

[0109] 拟合公式需采用双精度浮点数进行计算, 其产生的最大额外误差, 小于  $0.03^{\circ}\text{C}$ , 可以忽略。图6给出了跨越测温电阻阻值, 测量温度与ADC输出偏移二进制码的关系及误差曲线, 分析对应为上、下图。

[0110] 至此, 露霜点仪的镜面温度准确测量已经完成。

[0111] 露霜点仪的散热片温度测量与镜面温度测量完全相同。为减少成本, 可采用体相对体积较大的PT1000型B级测温铂电阻来实现。

[0112] 第二, 采用电容充电线性段, 形成脉宽与电容量的线性关系, 通过脉宽测量, 直接计算相对湿度。

[0113] 湿敏电容  $C_H$  容量的大小与其所处环境湿度几乎呈线性关系, 如果对电容的测量值也是线性, 那么测量数据将与湿度同样属于线性关系。

[0114] 如图7所示, 模拟开关的输入为直流, 输出接成“H桥”电路, 以实现湿敏电容  $C_H$  的正向充放电和反向从放电的切换。充放电路与一个施密特触发器共同构成脉冲形成电路。根据湿敏电容  $C_H$  容量的范围估算一个合适的时间常数, 从而可以决定充放电电阻的大小, 使之在充电过程中, 施密特触发器翻转前的电压大小与湿敏电容  $C_H$  呈线性关系, 也即保证输出脉宽大小与湿敏电容  $C_H$  呈线性关系。该脉冲信号整形后, 输出到主控制器进行计数, 获得脉宽数据  $D$ 。

[0115] 假设, 在湿度  $H_1$  时, 其对应脉宽数据为  $D_1$  (可认为是标定步骤1), 湿度  $H_2$  时, 其对应脉宽数据为  $D_2$  (可认为是标定步骤2); 而在实测时, 湿度为  $H$ , 其对应的脉宽数据为  $D$ 。由此, 可推导出公式 (10)。

$$[0116] \begin{cases} k_H = \frac{D_1 - D_2}{H_1 - H_2} \\ b_H = H_1 - k_H D_1 \\ H = k_H D + b_H \end{cases} \text{----- (10)}$$

[0117] 公式 (10) 的第1个和第2个方程为标定用, 第三个方程为实测方程, 通过脉宽值直接计算出相对湿度值。

[0118] 第三, 采用交流激励技术, 消除或减轻传感器自身及其连接电路的极化效应与热电偶效应的影响, 是测量准确性更高。

[0119] 露霜点仪的镜面温度与散热片温度的准确测量, 在图3中可见。

[0120] 通过外接场效应管, 来形成“H桥”开关电路, 通过正向和反向的测量, 在数据积累中, 自然抵消外电路形成的极化效应与热电偶效应带来的额外正反向误差, 提高测量准确性。

[0121] 为了避免湿敏电容被极化而降低测量性能和寿命, 需要采用交流激励技术, 而常规的直流充放电电路不宜使用。

[0122] 湿敏电容的交流测量电路见图8。模拟开关采用ADG413BR或其他性能相同器件,由于其导通电阻很小,导通电阻本身及其离散性带来的阻值差异性对于充放电电阻而言,可忽略不计。这样,正反向充电参数完全一致,既保证了完全0偏移的交流驱动特性,又保证了正反测量的一致性。

[0123] 第四,采用二值线性标定或多值非线性拟合技术,解决传感器个体离散性大的问题

[0124] 对于细钨丝大气温度传感器、气压传感器及湿度传感器,其个体离散性较大,在使用前必须进行标定,否则误差极大。本实施例使用的传感器,其线性度较好,直接使用线性拟合方法下的二值标定即可,简化操作和计算过程。如果使用线性度不好的传感器,则需要使用多值非线性拟合技术。

[0125] 如下为二值线性标定的具体方法。

[0126] 对于大气温度测量的标定,步骤如下:

[0127] 1) 设置AD7792工作放大倍数 $\beta=16$ ,使用恒定电流输出端 $I_{OUT2}$  ( $I_{test}=1mA$ ),ADC为双极性偏移二进制码;

[0128] 2) 确定参考电阻阻值,一般取1.25千欧,使用高稳定电阻,精度为0.1%;

[0129] 3) 使用恒温箱设置环境温度 $t_1$ ,测量得到ADC数值 $D_1$ ;

[0130] 4) 设置环境温度 $t_2$ ,测量得到ADC数值 $D_2$ ;

[0131] 5) 由此,使用公式(1)的第1项和第2项,可计算出斜率 $k_T$ 和截距 $b_T$ ,计算机记录该仪器及其对应此二值;

[0132] 6) 输入 $k_T$ 和 $b_T$ ,此后测量可使用公式(1)的第3项直接计算出大气温度 $t$ 。

[0133] 对于大气压力测量的标定,步骤如下:

[0134] 1) 设置AD7792工作放大倍数 $\beta=16$ ,使用恒定电流输出端 $I_{OUT2}$  ( $I_{test}=1mA$ ),ADC为双极性偏移二进制码;

[0135] 2) 确定参考电阻阻值,一般取1.25千欧,使用高稳定电阻,精度为0.1%;

[0136] 3) 使用恒压箱设置测量气压 $P_1$ ,测量得到ADC数值 $D_1$ ;

[0137] 4) 设置测量气压 $P_2$ ,测量得到ADC数值 $D_2$ ;

[0138] 5) 由此,使用公式(2)的第1和第2项,可计算出斜率 $k_P$ 和截距 $b_P$ ,计算机记录该仪器及其对应此二值;

[0139] 6) 输入 $k_P$ 和截距 $b_P$ ,此后测量可使用公式(2)的第3项直接计算出大气压力 $P$ 。

[0140] 对于大气湿度测量的标定,步骤如下:

[0141] 1) 使用恒湿箱设置测量湿度为 $H_1$ ,测量得到脉冲宽度数值 $D_1$ ;

[0142] 2) 设置测量湿度为 $H_2$ ,测量得到脉冲宽度数值 $D_2$ ;

[0143] 3) 使用公式(3)的第1和第2项,可计算出斜率 $k_H$ 和截距 $b_H$ ,计算机记录该仪器及其对应此二值;

[0144] 4) 输入 $k_H$ 和截距 $b_H$ ,此后测量可使用公式(3)的第3项直接计算出大气湿度 $H$ 。

[0145] 5) 第五,采用测量值直接拟合被测物理量的方法,减少多次转换带来的额外误差

[0146] 6) 对于露霜点仪的露(或霜)点温度及其散热块温度的测量,采用的是成熟稳定的铂电阻温度传感器,电阻阻值与温度存在一定的关系,而测量电路确定后,其最终的ADC测值与电阻阻值也存在一定的关系。这样,将二者结合起来,形成公式(9)的简单计算,减少了

中间环节,治安也就减少了由于中间环节计算产生的舍入误差,并减少计算量。

[0147] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

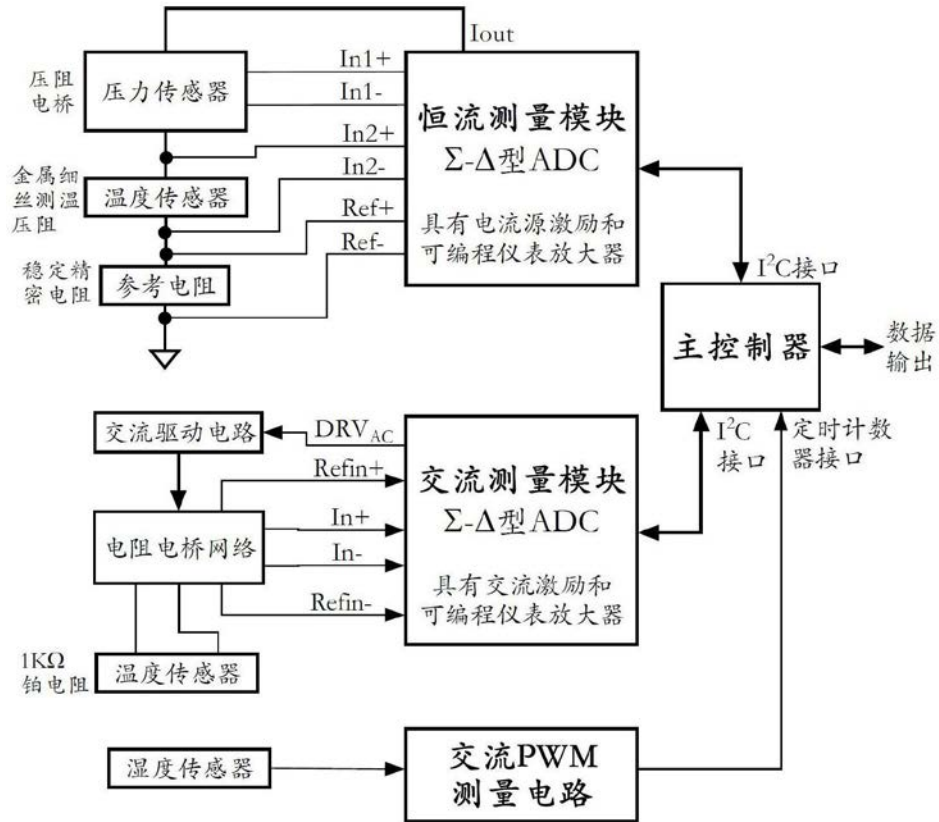


图1

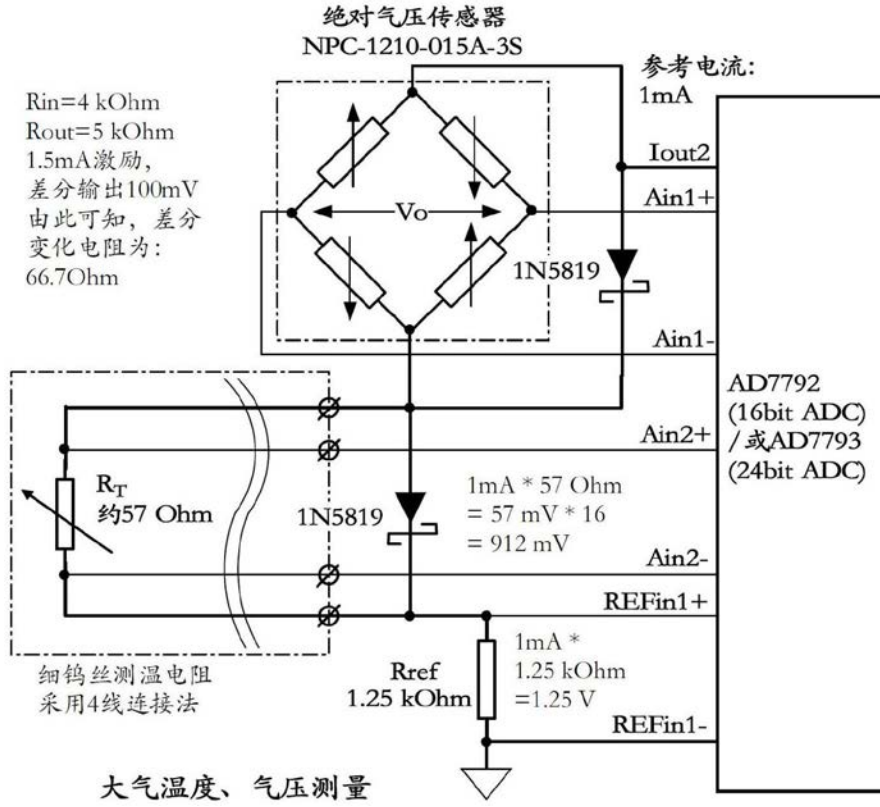


图2

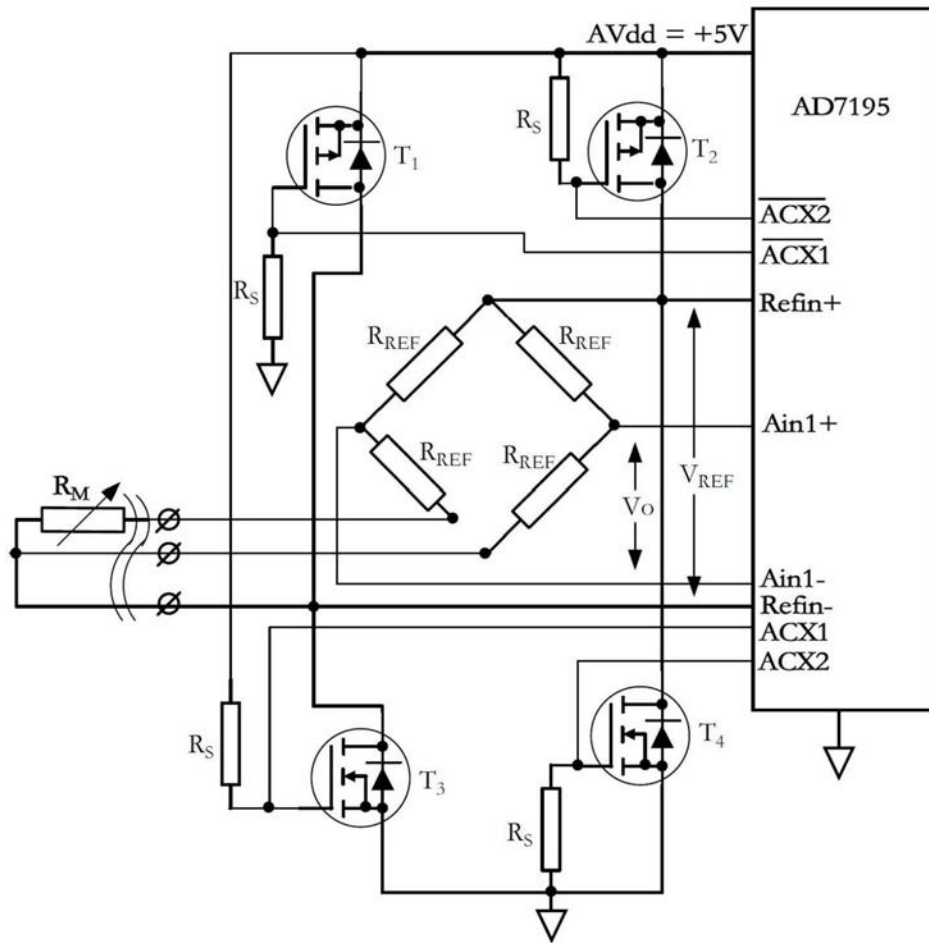


图3



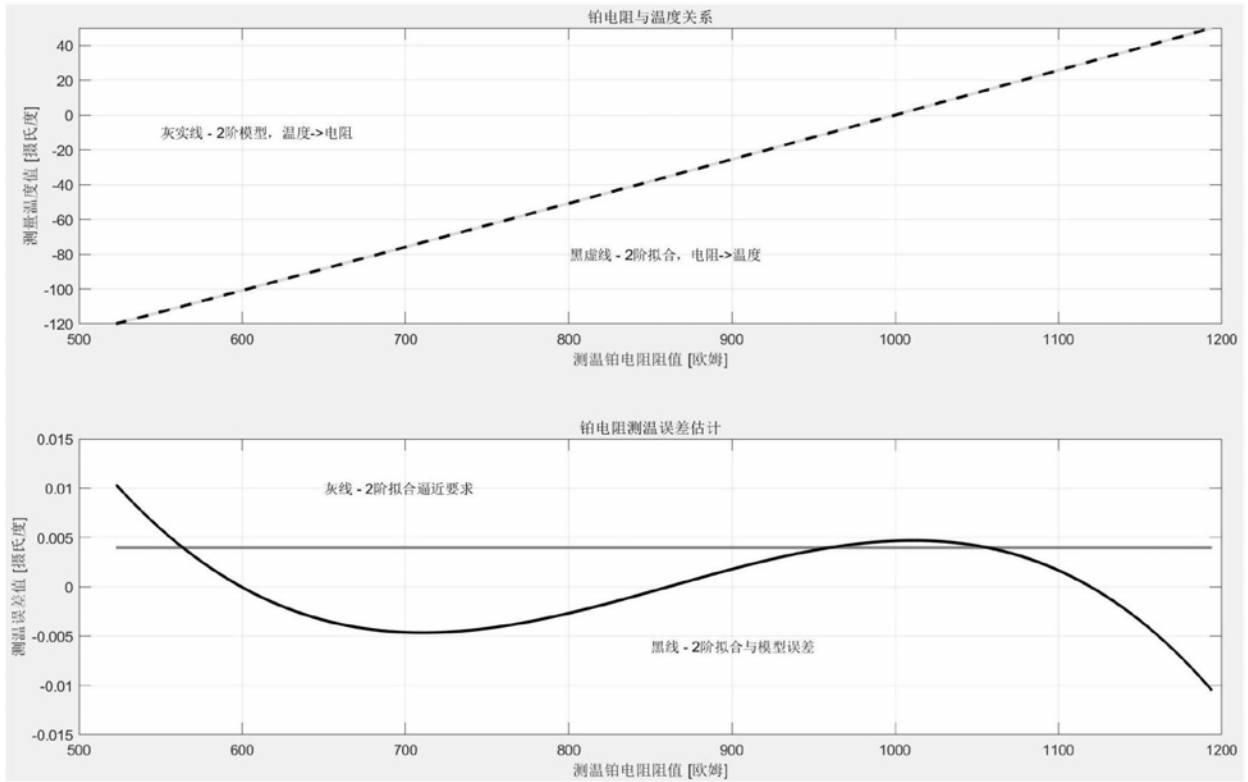


图4

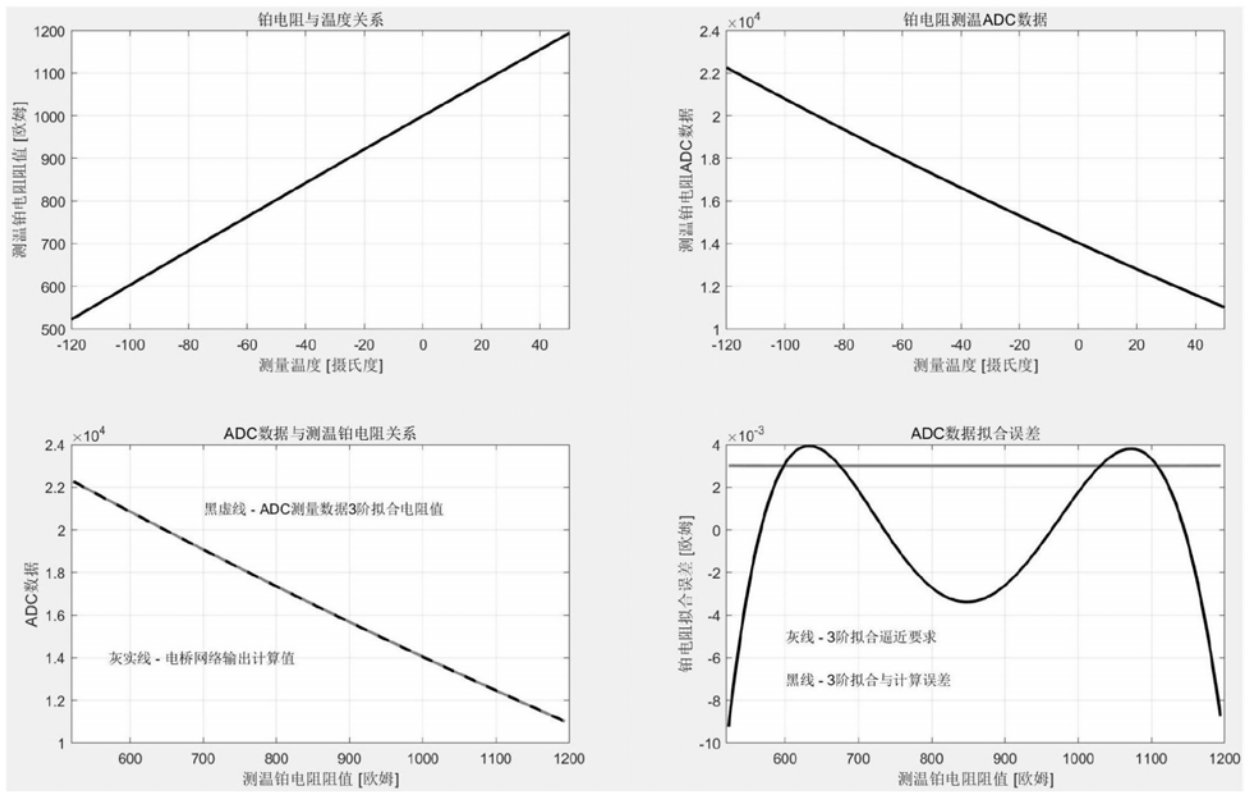


图5

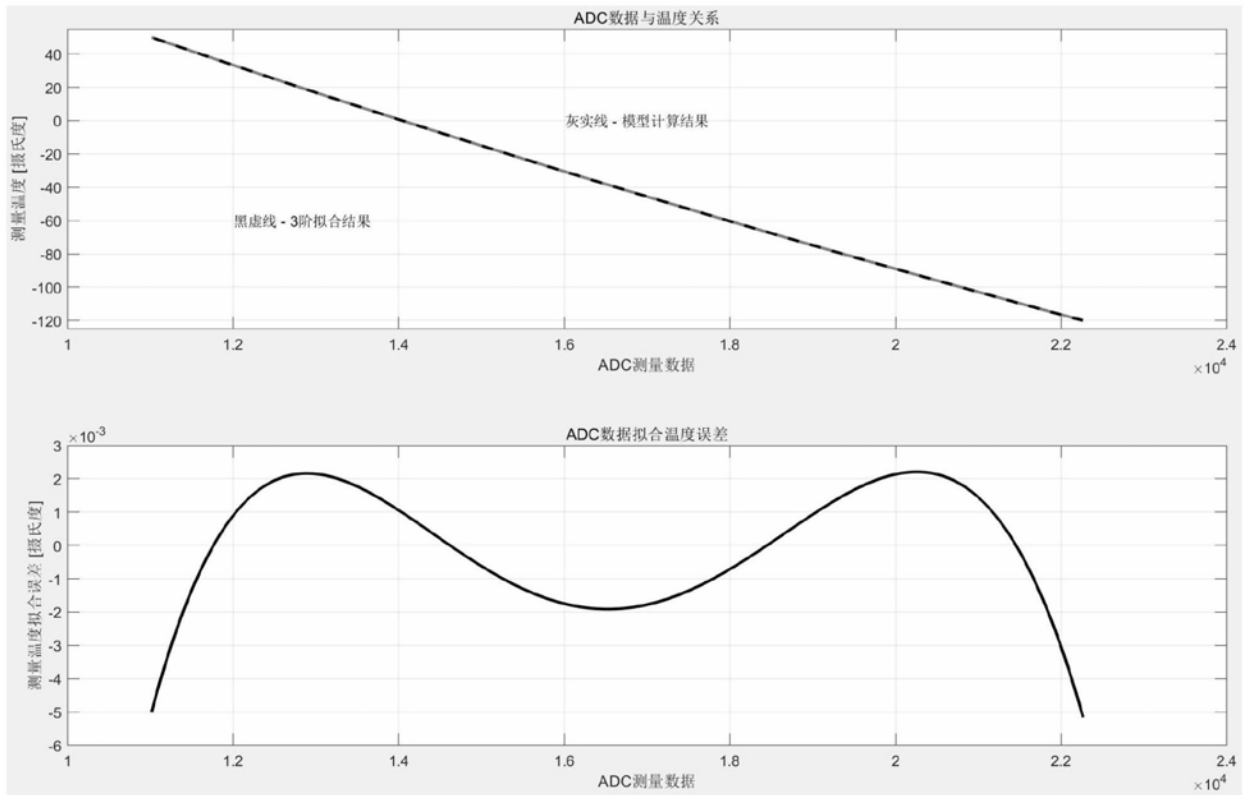


图6

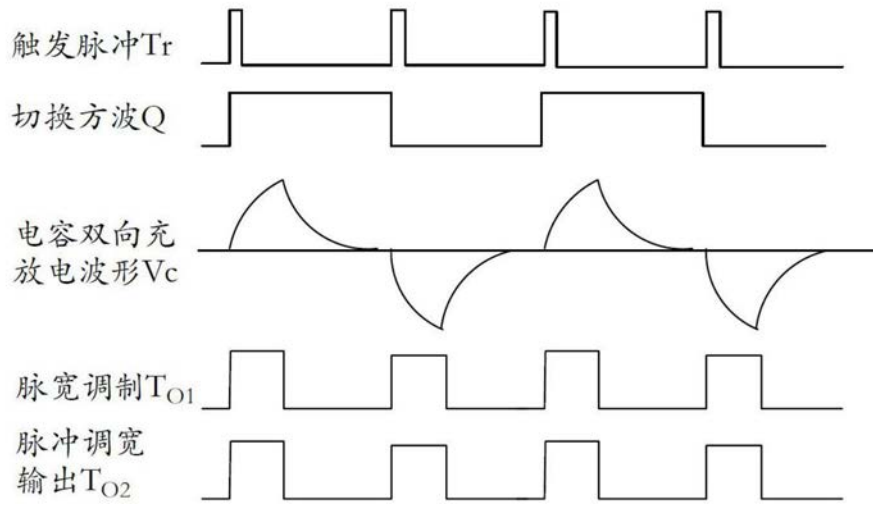
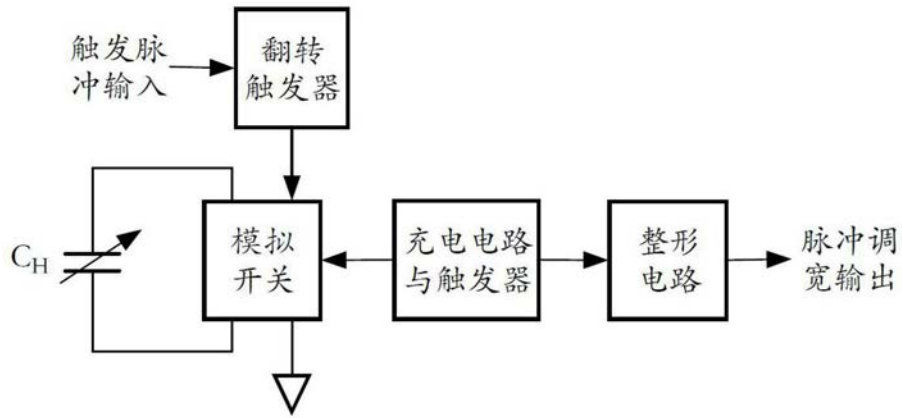


图7

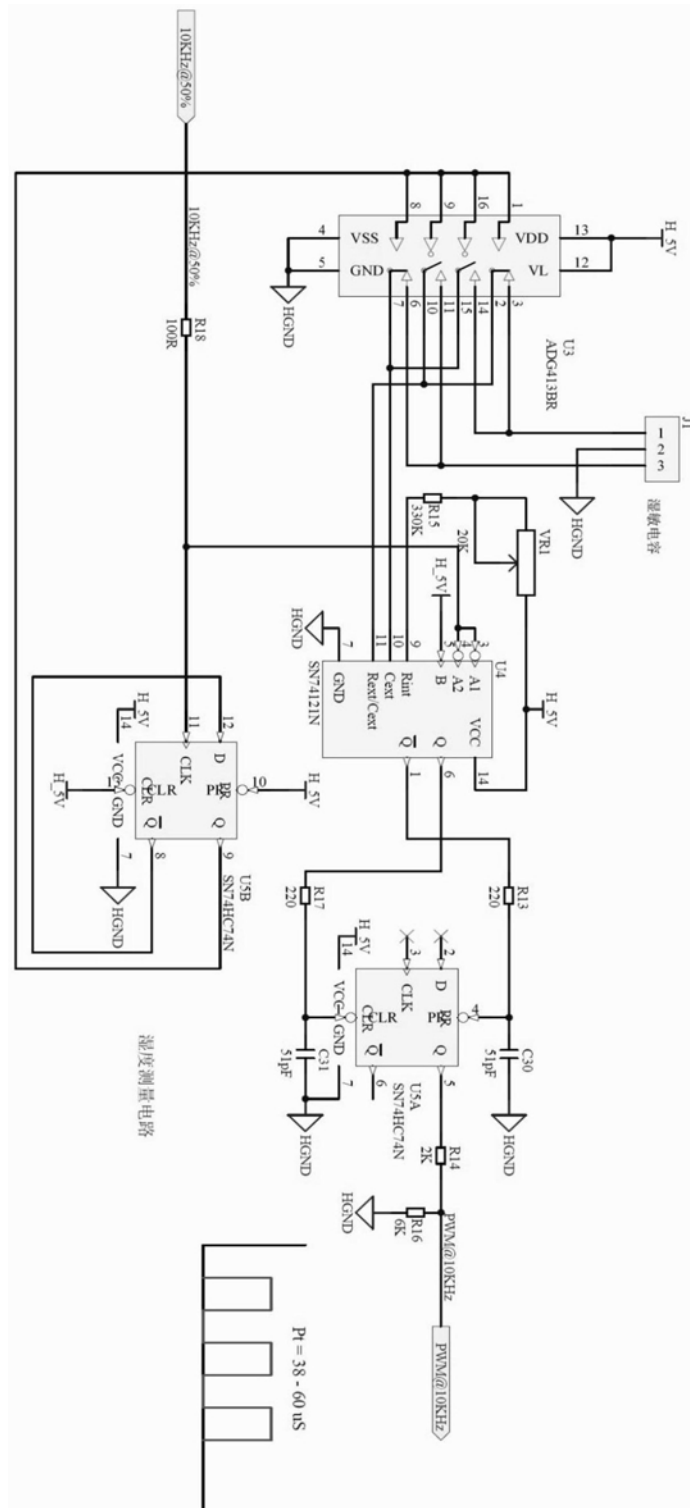


图8