

温度变送器

文件编号: WAS-2282SC

简介

温度变送器是将温度变量转换为可传送的标准化输出信号的仪表，主要用于工业过程温度参数的测量和控制。常见的标准化输出信号有与温度成线性关系的 4~20mA 电流信号、0~5V / 0~10V 电压信号、RS485 数字信号输出等。

Holtek 温度变送器方案采用双板设计，分别为显示板和主控板。显示板以 HT68F003 作为主控，可直推 LED 进行显示，并和主控板进行通信；主控板以信号测量专用 MCU BH66F5242 作为主控，高度集成 24-bit ADC、LDO、OPA、12-bit DAC，16-bit PTM，可实现温度传感器 (Pt100) 的测量采样和恒流驱动以及组建 4~20mA 信号传输，以精简的外围电路实现温度变送器功能。

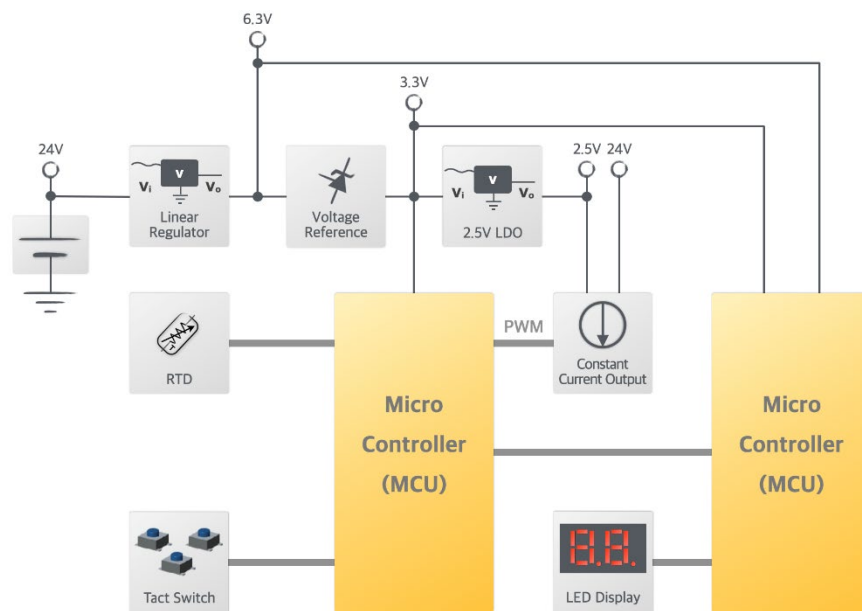


图 1. 系统方框图

应用领域

传感器测量应用、变送器(工业测量)。

方案特点

- 1、电路精简：高集成 MCU，内建 24-bit ADC、LDO、OPA、12-bit DAC、16-bit PTM、EEPROM。
BH66F5242 是一颗测量专用 MCU，高度集成 24-bit Delta-Sigma ADC、LDO、OPA、12-bit DAC 和 16-bit PTM，可实现温度传感器(Pt100)的测量采样和恒流驱动以及组建 4~20mA 信号传输；内置 64 Byte True EEPROM 用于保存校准和设定值，USIM Module (UART/SPI/I²C)，还可以扩展其他功能模块，如实现其他传输方式等。
- 2、采样更稳定：MCU ADC 内建 EMI Filter 能有效抵抗 EMI 干扰。
MCU 24-bit ADC 内置 EMI Filter，可抗 EMI 干扰，采样测温元件值更稳定。

工作原理

温度变送器常见采用热电偶、热电阻作为测温元件，从测温元件输出信号送到变送器主控板，经过滤波、放大、采样后，内部进行非线性校正，得到准确的温度值，之后对温度值进行转换得到恒流值，经过外部恒流电路处理后，转换成与温度成线性关系的 4~20mA 电流信号输出。

功能说明

方案特性

- 工作电压：24V
- 温度传感器：Pt100
- 最大量程：-199.9~+850℃
- 输出恒流范围：4~20mA
- 显示面板：4 位 LED 显示温度信息

方案功能

产品实物如下。



图 2. 产品外观及操作按键示意图

本方案温度变送器支持两种模式，即正常模式和设定模式。上电后可直接进入正常模式，采样测量 Pt100 传感器信号，获取温度值，刷新 LED 显示温度，并产生对应的恒流输出。长按 SET 按键可进入设定模式，通过 SET/ADD/SUB 三个按键搭配 LED 显示内容对传感器和恒流输出进行设定或校准。操作按键功能说明如下。

- 按键 SET：设定/退出键
- 按键 ADD：下翻/增加键
- 按键 SUB：上翻/减少键

设定完成后可写入 EEPROM 保存。为避免用户意外修改，需输入正确的密码后才可进入设定模式。可设定参数说明如下。

- S-PD：设定 ADC 的 PGA 放大倍数。
PGA 放大倍数= 2^{value} ，如：value=0 时， $2^0=1$ ，放大一倍。
- S-DH：设定变送器数值上限。
变送器传感器数值的上限，超过上限，数值会闪烁显示，表明传感器数值超过上限。
- S-DL：设定变送器数值下限。
变送器传感器数值的下限，低于下限，数值会闪烁显示，表明传感器数值低于下限。
- S-CH：校准恒流输出上限，即校准 20mA 时的 CCR 值(HEX 显示)。
调整此值会调整最大恒流输出的值，将此值调整到恒流输出 20mA。
 - 校准方法：使用 24V 供电，串入精密电流表，调整设定数值，使当前电流输出在 20mA，即可校准。
- S-CL：校准恒流输出下限，即校准 4mA 时的 CCR 值(HEX 显示)。
调整此值会调整最小恒流输出的值，将此值调整到恒流输出 4mA。
 - 校准方法：使用 24V 供电，串入精密电流表，调整设定数值，使当前电流输出在 4mA，即可校准。

方案设计说明

本方案采用双板设计，分别为显示板和主控板；显示板以 HT68F003 作为主控 MCU，负责和主控板进行通信，并进行 LED 显示；主控板以信号测量专用 MCU BH66F5242 作为主控，负责对传感器进行驱动，传感器信号采样及处理，并根据传感器值改变 4~20mA 恒流输出。

[illegible]

温度变送器主控板硬件电路,依功能可划分为多路电源电路、Pt100 驱动和测量电路、恒流输出电路和显示板通信接口。其中多路电源电路主要给各系统提供对应的电压,使用 BH66F5242 内置的 LDO、OPA、12-bit DAC 和外部电路组成了温度传感器 Pt100 的恒流驱动电路,可以通过内置 12-bit DAC 调整恒流值大小;内置 24-bit Delta-Sigma ADC 可通过 AN0、AN1、AN2、AN3、AN8 对温度传感器 Pt100 进行采样,并测量 Pt100 线阻和 100Ω 校准电阻 (R18 100Ω 应选用低温漂高精度电阻),在后续处理中获取更高的精度;内置 16-bit PTM 可调整输出的 PWM Duty 配合外部 RC 滤波电路处理后,控制三极管来调整恒流输出。显示板通信接口和显示板连接,使用模拟 SPI 进行通信,显示板根据获得的数据显示当前温度值;同时显示板上还连着三个按键,可切换不同的工作模式和调整设定值。

Layout 及硬件注意事项

图 5 和图 6 分别为 LED 显示板和主控板的 PCB Layout 正反面图示。

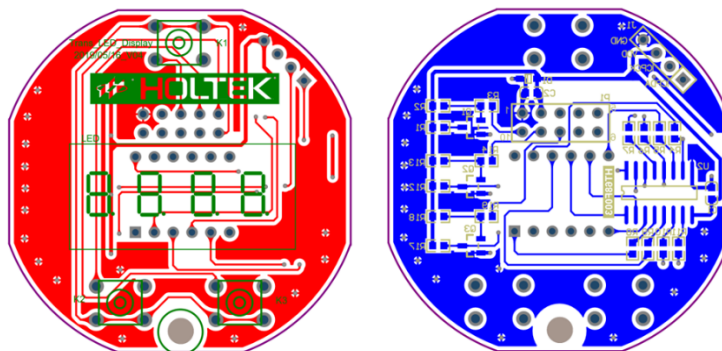


图 5. LED 显示板 PCB Layout 正面和反面

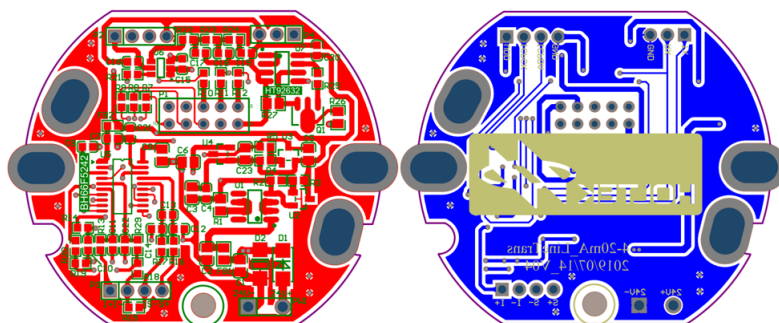


图 6. 主控板 PCB Layout 正面和反面

主控板上，有几个注意事项重点说明。

1. MCU 的 V_{DD}/V_{SS} 、 AV_{DD}/AV_{SS} 、 V_{OREG} 等电源端口，走线需先经过去耦电容再接入电源端口，接入电源端口后不再走线供其他端口使用，且不应与铺地相连。
2. 传感器驱动和采样电路走线时，走线尽量短，远离其他高频信号走线，铺地包裹走线，以避免其他干扰。
3. 恒流驱动电路，因使用三极管调节恒流，需注意三极管发热，且远离传感器驱动和采样相关电路。

PCB BOM 表

Comment	Designator	Footprint	Quantity
0.1uF	C1, C2	LC-0603_C	2
PESD5V0S1BA	D1	LC-SOD-323	1
ICP	J1	MHDR1X4	1
BUTTON	K1, K2, K3	SW-TH_4P-L6.0	3
COM_5PX2	P1	MHDR2X5	1
NPN 8050	Q2, Q3	LC-SOT-23(SOT-23-3)	2
1.2K	R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11	LC-0603_R	8
10K	R12, R17	LC-0603_R	2
33K	R13, R14, R18, R19	LC-0603_R	4
7SEG-A	U1	LEDSEG_0.36_4	1
HT68F003	U2	NSOP16	1

表 1. LED 显示板 BOM 表

Comment	Designator	Footprint	Quantity
0.1uF	C1, C2, C6, C23	0805C	4
10uF	C3, C5, C9	0805C	3
0.1uF	C4, C7, C8, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C20, C21, C22	0603C	14
220nF	C18, C19	0603C	2
SS14	D1	SMC	1
SMAJ36A	D2	LC-SMA(DO-214AC)_S3	1
220R/100MHz	FB1, FB2	LC-0603_L	2
COM_5PX2	P1	HDR2X5	1
BCX54	Q1	LC-SOT-89(SOT-89-3)	1
330R	R1	0805R	1
20K	R2, R23, R24	0603R	3
100K	R3, R5	0603R	2
33K	R4	0603R	1
0R	R15, R20	0603R	2
1K	R7, R8, R9, R10, R11, R12	0603R	6
200R	R13, R16, R17, R29	0603R	4
100R	R14, R18, R21	0603R	3
3K	R19	0603R	1
43K	R22	0603R	1
5.1K	R25	0603R	1
200R	R26	0805R	1
140R	R27	0805R	1
LM317	U1	LC-SOP-8_122mil	1
TL431L	U2, U3	LC-SOT-23(SOT-23-3)	2
MCP1525	U4	LC-SOT-23(SOT-23-3)	1
BH66F5242	U5	20NSOP	1
SN74LVC1G3157	U6	LC-SOT-23-6	1
HT92632	U7	LC-SOP-8_150mil	1

表 2. 主控板 BOM 表

软件说明

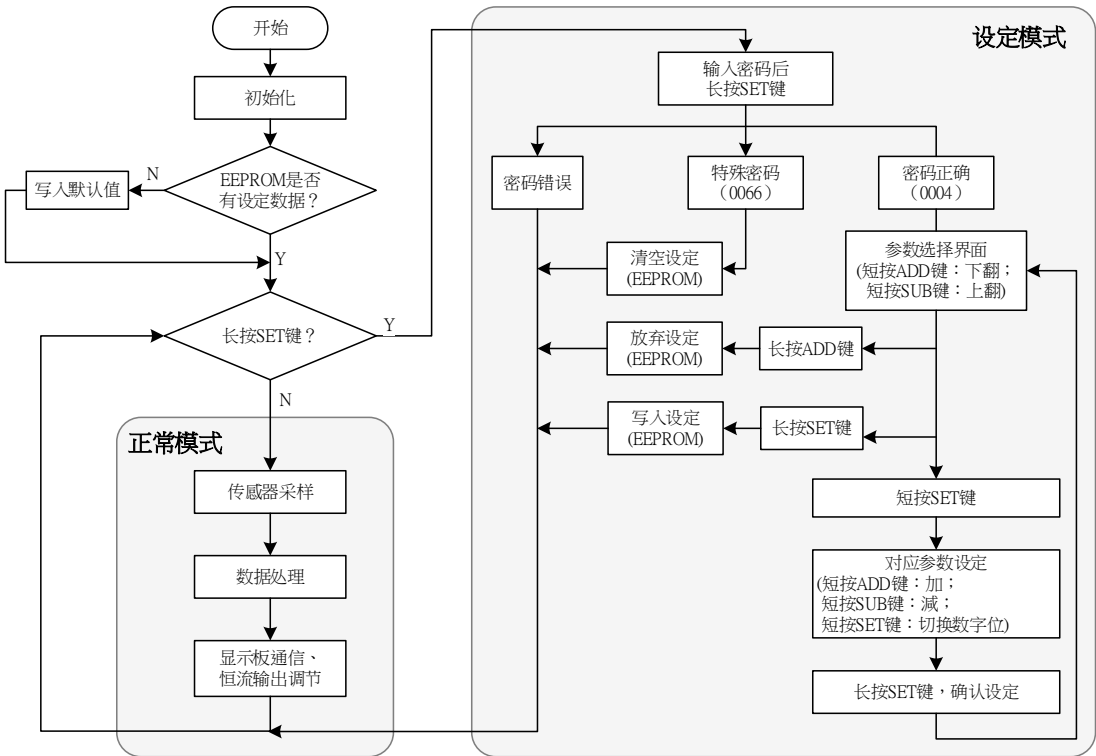


图 7. 主控板软件流程图

初始化

进行 MCU 上电初始化，如 24-bit ADC、LDO、OPA 外设和变量初始化等；然后检查 EEPROM 中是否有储存设定和校准信息，如无信息，则写入和使用默认值。然后进入程序的主循环。

主循环

主循环中定时扫描按键，处理传感器采样值，调整恒流输出值和显示板显示通信。使用按键 SET 长按，可切换正常模式和设定模式。

正常模式

通过 24-bit ADC 测量 Pt100，数据处理得出温度值，并进行恒流输出调节，更新显示信息。

设定模式

长按按键 SET，进入设定模式，可设定校准值和参数，设定完成后可写入 EEPROM 保存。为避免用户意外修改，需输入正确的密码后才可进入设定模式。在设定模式，完成相关参数设定后，若使用按键 ADD 长按，放弃将此次修改写入 EEPROM，需要重新上电才能载入原来的参数值。

库函数说明

提供两条库函数，分别为传感器采样函数和传感器数值转换函数，说明如下。

函数名	MS_STATE_TypeDef Measurement_PT100_Process(unsigned char db)
功能	24-bit Delta-Sigma ADC 测量采样 Pt100 处理流程
输入	db: ADC PGA 的放大倍数(2^n 倍)
返回	测量状态(MS_STATE_TypeDef 中定义) 0x00 : BUSY 0x01 : GETOK 0x02 : GETERR

函数名	signed long Conversion_PT100_CHECK_TABLE(unsigned int res_value)
功能	将测量采样到的 Pt100 原始值转换为温度值
输入	测量 Pt100 处理过的原始 ADC 数据
返回	测量的温度值

测试数据

测量方法

为了方便对温度变送器结果测试，可额外使用一个温度模拟仪和一个高精度度电流表。

温度模拟仪内部连接了电阻，模拟 Pt100 对应温度阻值(已经过测量校准)，可使用短路帽短路对应位置，即可模拟 Pt100 的当前温度阻值。

高精度度电流表直接串联在温度变送器 24V DC 电源上，以测量恒流输出值。

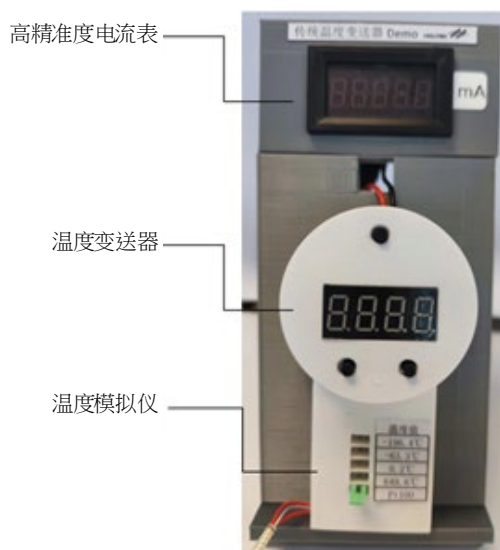


图 8. 温度变送器测试装置

测量误差数据

测试条件：Ta=25℃，温度及恒流输出设定情况如下所示。

温度测量			恒流输出		
下限℃	上限℃	量程℃	下限 mA	上限 mA	量程 mA
-199.9	650	849.9	4	20	16

表 3. 测试条件

温度测量中，理论值为 Pt100 当前阻值时的温度，误差为理论值和测量值的满量程(FS)误差。
恒流输出中，理论值为当前测量温度值换算出理论值，以恒流输出范围和温度测量量程之比，计算当前的恒流的理论值。误差为理论值和测量值的满量程(FS)误差。

温度测量			恒流输出		
理论值℃	测量值℃	误差%(FS)	理论值 mA	输出值 mA	误差%(FS)
-196.4	-196.5	0.012	4.064	4.064	0.000
-63.3	-63.3	0.000	6.572	6.568	0.022
0.2	-0.2	0.047	7.760	7.758	0.009
649.6	649.0	0.071	19.981	19.988	0.043

表 4. 测量误差数据表

备注：现温度变送器内部校准电阻使用普通 100Ω 1%精准度电阻，如需要更稳定和更高的精准度，可采用低温漂高精度电阻，增加测量精准度和稳定性。

结论

本文详细介绍了以 Holtek BH66F5242 为主控 MCU 实现的温度变送器方案。BH66F5242 为高集成度的测量专用 MCU，内置 24-bit Delta-Sigma ADC (EMI Filter)、LDO、OPA、12-bit DAC、16-bit PTM、EEPROM，可轻松实现传感器的驱动和采样，恒流输出和校准设定保存等基础功能，且搭配方案内置 100Ω 的 Pt100 校准电阻，可实时校准 Pt100，免除出厂校准，非常适合温度变送器产品；而且内置 USIM Module (UART/SPI/I²C)，还可以扩展其他功能模块，如实现其他传输方式等。

参考资料

参考文件 BH66F5242 Datasheet。

如需进一步了解，敬请浏览 Holtek 官方网站 www.holtek.com.cn。

版本及修订信息

日期	作者	发行	修订信息
2022.07.22	邓棋桐	V1.00	第一版发行

免责声明

本网页所载的所有数据、商标、图片、链接及其他数据等(以下简称「数据」)，只供参考之用，合泰半导体 (中国) 有限公司及其关联企业(以下简称「本公司」)将会随时更改数据，并由本公司决定而不作另行通知。虽然本公司已尽力确保本网页的数据准确性，但本公司并不保证该等数据均为准确无误。本公司不会对任何错误或遗漏承担责任。

本公司不会对任何人士使用本网页而引致任何损害(包括但不限于计算机病毒、系统故障、数据损失)承担任何赔偿。本网页可能会连结至其他机构所提供的网页，但这些网页并不是由本公司所控制。本公司不对这些网页所显示的内容作出任何保证或承担任何责任。

责任限制

在任何情况下，本公司并不须就任何人由于直接或间接进入或使用本网站，并就此内容上或任何产品、信息或服务，而招致的任何损失或损害负任何责任。

管辖法律

以本公司所在地法律为准据法，并以本公司所在地法院为第一审管辖法院。

免责声明更新

本公司保留随时更新本免责声明的权利，任何更改于本网站发布时，立即生效。