

CGM 连续血糖监测仪

文件编号: WAS-2471SC

简介

连续血糖监测仪(Continuous Glucose Monitor, CGM)用于持续监测体内组织液中的葡萄糖含量。与指尖采血测量方法不同,CGM 通过在皮下植入传感器,能够提供连续、实时的血糖数据,记录长时间内的血糖变化趋势,帮助用户更好地管理其血糖水平。考虑到长时间佩戴,CGM 产品需尽可能小巧轻便。传统的 CGM 方案通常设计较复杂,需要大量外部电路,导致成本和体积较大,并且功耗偏高,限制了单次可佩戴时间,影响了使用便利性。

Holtek 的 CGM 方案针对这些问题提供了解决方案。该方案由两大部分组成:模拟前端(配置和调整传感器工作条件以及处理传感器信号)和主控(执行数据处理、算法分析及无线数据收发)。模拟前端采用内置连续血糖监测 AFE 模块 Flash MCU BH66F2475。该 MCU 包含多通道 24-bit Delta Sigma A/D 转换器、4 个 D/A 转换器、3 个运算放大器和 1 个比较器,只需少量外围电路即可实现 2/3/4 电极传感器的连续血糖监测,简化了模拟前端电路设计,提供 SPI/UART 接口与主控 MCU 通信。主控 MCU 采用基于双内核(Arm® Cortex®-M33 & M0+)的低功耗蓝牙 HT32F67595 MCU。该 MCU 支持低功耗蓝牙的各项服务,使用非常便利,搭配 Holtek 专为 CGM 开发的应用程序(HT CGM APP),上传测量数据至 APP,便于用户监测血糖浓度的连续变化。

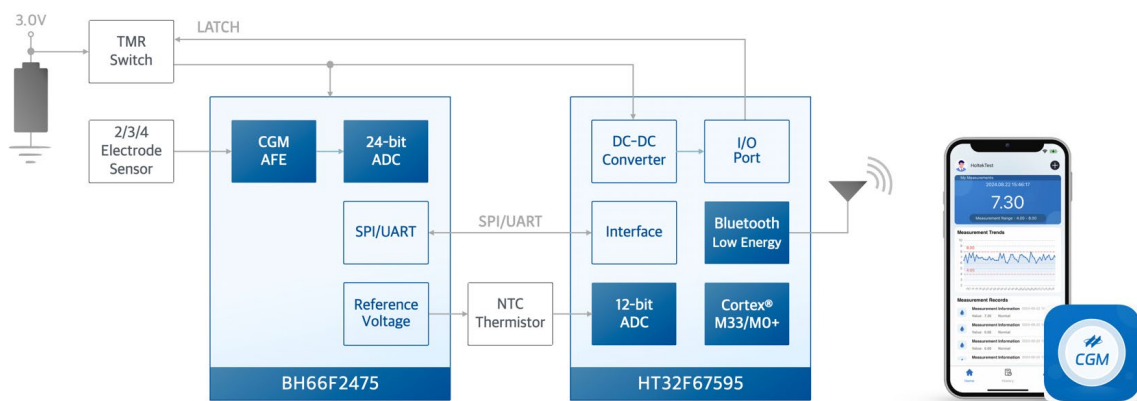


图 1. 系统方框图

应用领域

小型独立式 CGM、胰岛素泵、CGM 系统。

方案特点

1. 电路精简、小体积：采用小封装、高集成 MCU，仅需少量外围元件。

AFE 采用 MCU BH66F2475，低功耗蓝牙采用 HT32F67595，使用小尺寸封装，有效缩小成品体积，使设计更加轻巧便捷。BH66F2475 内建连续血糖监测 AFE 电路，只需少量外围元件即可为传感器提供激励电压，并测量反应电流。HT32F67595 集成低功耗蓝牙应用，能够将获取的监测数据发送至上位机，方便观察数值变化。

2. 低功耗：极低的平均工作电流，仓储时以 TMR Switch 开关电流。

1s 连接间隔，10s 测量间隔，60s 发送间隔，平均工作电流 23.3 μ A，可提供长时间的无间断监测。结合 TMR 开关，具有极低的仓储电流(小于 20nA)，轻松满足长时间储存的需求。

工作原理

传感器植入到用户的皮下组织液中，利用特定的电平函数刺激葡萄糖与传感器中的酵素反应产生电流，再将电流转换成组织液糖值。血糖为血液中葡萄糖含量，因此需要将组织液糖值再校正为血液中葡萄糖含量。

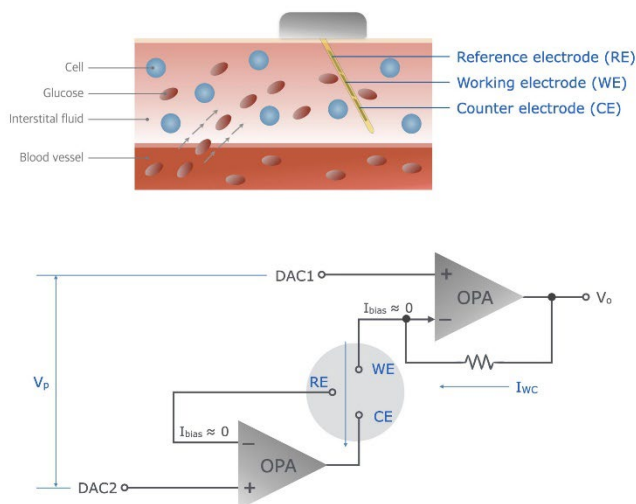


图 2

使用三电极电化学 CGM 传感器测量：

- Working Electrode (WE)：通常涂有酵素，与 RE 之间产生电化学反应。通过此电极读取溶液反应所产生的电流(I_{wc})，得知溶液浓度变化。
- Reference Electrode (RE)：提供与 WE 之间待测溶液所需的激励电压，产生电化学反应，此电极仅提供稳定电平，不可影响反应。
- Counter Electrode (CE)：电化学反应时，电流信号汇入路径。

以安培法进行测量，AFE 在 WE 与 RE 施予最佳激励电压(V_p)使酵素与组织液进行反应，并测量反应电流(I_{wc})，再利用储存于低功耗蓝牙的 CGM 算法将反应电流转换为血糖值。

功能说明

方案特性

- 工作电压：DC 3.0V (CR1216)
- 平均工作电流：23.3 μ A (1s 连接间隔、10s 测量间隔、60s 发送间隔)
- 仓储电流：15~20nA
- 连续血糖监测技术
- 透传协议和 CGMS 标准协议
- PCBA 板直径：23mm

方案功能

连续血糖监测仪 PCBA 板如下图所示。

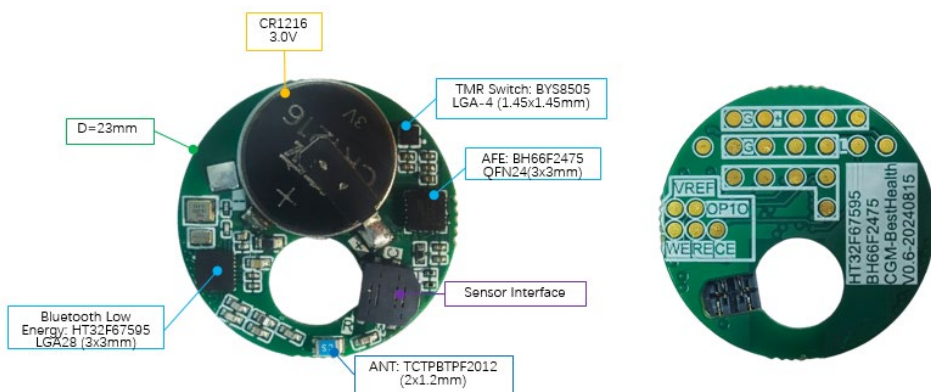


图 3. PCBA 实物图

本 PCBA 板主要由 AFE BH66F2475、低功耗蓝牙 HT32F67595、TMR Switch BYS8505、Sensor Interface 和 3.0V CR1216 电池等组成。AFE 提供激励电压，搭配三电极 CGM 传感器，可实现反应电流的采集，数据通过 SPI/UART(范例默认为 UART)发送给低功耗蓝牙，低功耗蓝牙计算出血糖值后再将数据上传至上位机。

仓储电源管理

TMR Switch 直接控制电源，在仓储模式下关断 BAT 和 V_{DD} (后端电路工作电压)连接，延长产品仓储期限，适合于仓储、运输等应用场景。

数据输出

AFE 在 WE 与 RE 施予最佳激励电压(V_F)使酵素与组织液进行反应，并测量反应电流(I_{wc})，主控 MCU 利用算法将反应电流转换为血糖值。Holtek CGM 连续血糖监测仪可通过低功耗蓝牙上传测量数据至手机 APP (HT CGM)，可查看测量动态、测量记录和测量百分比数据等，便于用户监测血糖浓度的连续变化，同时也可保存离线数据。有关 HT CGM APP 详细操作介绍请参考“HT CGM APP 操作说明”章节。

参考设计说明

本方案采用 HT32F67595 作为主控 MCU，该 MCU 基于双核架构(Arm® Cortex®-M33 & M0+)，是一款低功耗蓝牙 MCU，具备以下优势：1024 KB Flash、256 KB SRAM 和 256 KB ROM，搭配 16 KB 缓存控制器，能够高效处理数据。在血糖监测方面，HT32F67595 与 AFE BH66F2475 配合使用，AFE 提供激励电压并精确测量反应电流，而低功耗蓝牙负责数据处理与传输，确保血糖监测的准确性和实时性。低功耗蓝牙与 AFE 之间相互协作，通过工作与休眠状态的调整，实现了系统的低功耗运行。

硬件说明

以下首先针对硬件电路进行介绍。

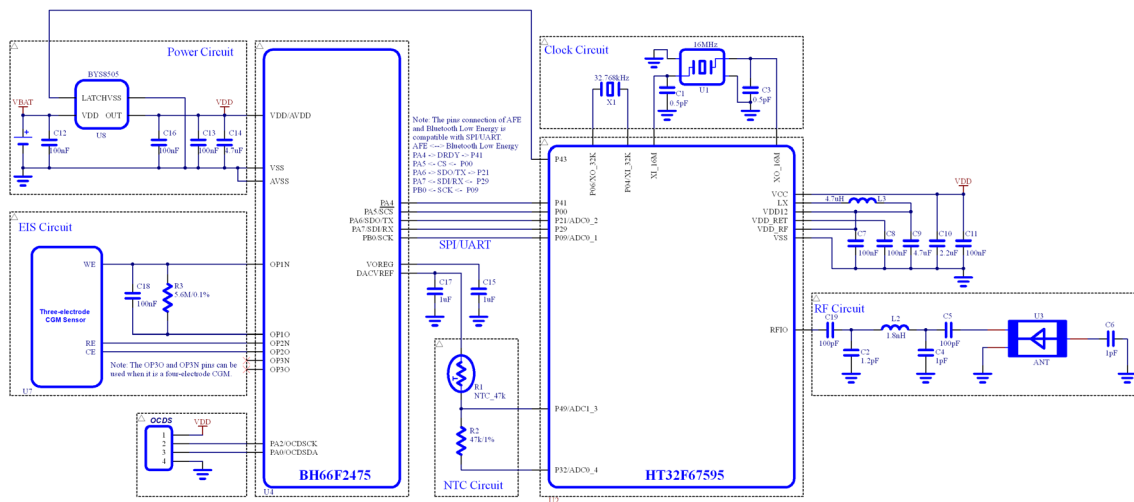


图 4. 电路原理图

- **Power Circuit:** 本方案采用 TMR Switch 直接控制电源，以实现高效的电源管理。首次安装电池后，CGM 上电，LATCH 引脚受到 HT32F67595 的拉高信号，锁定 OUT 的输出，确保 BAT 与 VDD 连通，此时设备不受磁场影响，可执行校准及出厂设定，参考下文“生产校准说明”章节。
完成设定后，上位机通过低功耗蓝牙发送指令拉低 LATCH 引脚，解除 OUT 的锁定，此时 BAT 与 VDD 的连接将受到磁场的影响。当设备放入带有磁铁的盒子中，BAT 与 VDD 断开连接，此时 TMR Switch 以 20nA 的超低功耗运行，后端电路进入断电状态。当从盒子中拿出设备，BAT 与 VDD 重新连通，设备重新上电。HT32F67595 再次锁定 OUT 的输出，确保 BAT 与 VDD 连通，同时不受磁场影响，保障设备的稳定运行。
- **EIS Circuit (Electrochemical Impedance Sensing Circuit):** BH66F2475 内置 D/A 转换器和运算放大器，提供稳定的激励电压。电流由 OP10 经过反馈电路(R3/C18)和传感器(WE、RE、CE)，最终汇入 OP20。BH66F2475 还内建 24-bit Delta Sigma A/D 转换器，测量反馈电路两端的电压，并将其转换为传感器的反应电流。
- **NTC Circuit:** BH66F2475 的 DACVREF 引脚提供稳定电压，NTC 电阻与固定电阻串联，HT32F67595 的 ADC 读取电压并转换为温度值，为 CGM 算法提供温度参考。当不需采集温度时，可将 ADC 输入通道的 I/O 端口设定为高阻浮空，以降低功耗。

- Clock Circuit: 为 HT32F67595 提供稳定且准确的 32.768kHz 和 16MHz 时钟信号，以确保其稳定运行和精确计时。
- RF Circuit: 通过电容和电感来匹配天线，以实现良好的信号传输。

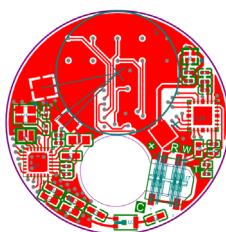
Layout 及硬件注意事项

PCB 采用四层板 Layout。

- 图 5: 正面 - 放置元件，包括电池、传感器接口、AFE 和低功耗蓝牙及其周边元件。
- 图 6: 内层 1 - 用于信号走线。
- 图 7: 内层 2 - 用于信号走线。
- 图 8: 反面 - 放置测试点，便于后续的测试操作。

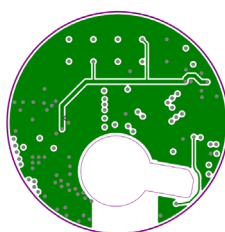
设计时有以下注意事项:

1. 传感器接口: 确保靠近对应的 I/O 端口，以减少信号延迟和干扰。
2. 晶振: 应靠近对应的 I/O 口，以保证稳定的时钟信号传输。
3. 电池正负极性: 确认连接正确，避免短路或其他故障。
4. 传感器电极: 确保传感器电极(WE、RE、CE)连接正确，以正常工作。
5. RF 电路: 应优先考虑走线，确保信号质量。在陶瓷天线附近留出空区，不放置其他元件，以避免干扰和信号衰减。
6. 电容和电感参数: 根据不同的 PCBA 需求进行微调，以获得最佳性能。



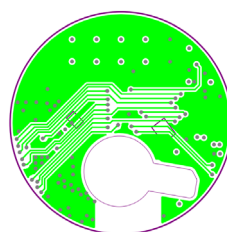
正面

图 5



内层 1

图 6



内层 2

图 7



反面

图 8

PCB BOM 表

NO.	Comment	Designator	Footprint	Quantity
1	32.768kHz	X1	CRYSTAL-SMD L1.7-W1.1	1
2	16MHz	U1	CRYSTAL-SMD 4P-L2.0-W1.6-BL-A	1
3	NTC 47k Ω	R1	R0201	1
4	47k Ω / $\pm$ 1%	R2	R0201	1
5	4.7uH	L3	L0603	1
6	1.8nH	L2	L0402-RD	1
7	100pF	C5, C19	C0402	2
8	100nF	C7, C8, C11, C12, C13, C16, C18	C0201	7
9	4.7uF	C14	C0201	1
10	4.7uF	C9	C0402	1
11	2.2uF	C10	C0201	1
12	1.2pF	C2	C0402	1
13	1uF	C15, C17	C0201	2
14	1pF	C4, C6	C0402	2
15	0.5pF	C1, C3	C0201	2
16	TCTPBTFF2012	U3	ANT-SMD L2.0-W1.2-TCTPBTFF2012	1
17	BH66F2475 24QFN	U4	WQFN-24 L3.0-W3.0-P0.40-TL-EP1.9	1
18	5.6M Ω / 0.1%	R3	R0402	1
19	BYS8505	U8	LGA-4 L1.5-W1.5-P0.65-BL	1
20	CGM Sensor V2	U7	CGM Sener V2	1
21	CR1220/CR1216	U6	CR1220TVZ306-1 CR1220TVZ306-2 SMD	1
22	HT32F67595 LGA28	U2	LGA28 L3.0 W3.0mm	1

表 1

软件说明

MCU 软件使用资源

下表为软件使用资源说明。

项目	BH66F2475
V _{DD}	2.2V~3.6V
工作频率	4MHz
ROM	使用 3980 $\times$ 16, 占用 12%
RAM	使用 589 $\times$ 8, 占用 28%
Stack	使用 6 层
SPI/UART	SPI/UART 与 HT32F67595 通信(通过宏定义选择其中之一) 1 I/O: PA5(CS)唤醒与休眠控制 1 I/O: PA4(DRDY)数据就绪输出
DAC	DAC1、DAC2、DAC3: 提供激励电压源
OPA	OPA1、OPA2、OPA3: 电压偏置和放大反应电流
24-bit Delta Sigma A/D	1. 电池电压采样 2. NTC 温度采样 3. 反应电流采样

表 2. BH66F2475 软件使用资源

项目	HT32F67595
V _{DD}	2.2V~3.6V
工作频率	高达 64MHz
Flash	约使用 10KB, 占用 1%
SRAM	约使用 84KB, 占用 33%
System power	1100mV
发射功率	0dBm
广播通道	2
广播间隔	1 秒
连接间隔	1 秒
数据发送间隔	60 秒
SPI/UART	与 BH66F2475 通信
ADC	P49/ADC1_3、P32/ADC0_4 测量 NTC 温度

表 3. HT32F67595 软件使用资源

软件主流程说明

主控 MCU 接收来自 AFE 的电流信号，利用算法计算出血糖值，通过低功耗蓝牙通信，向客户端发送测得结果以及接收来自客户端命令。

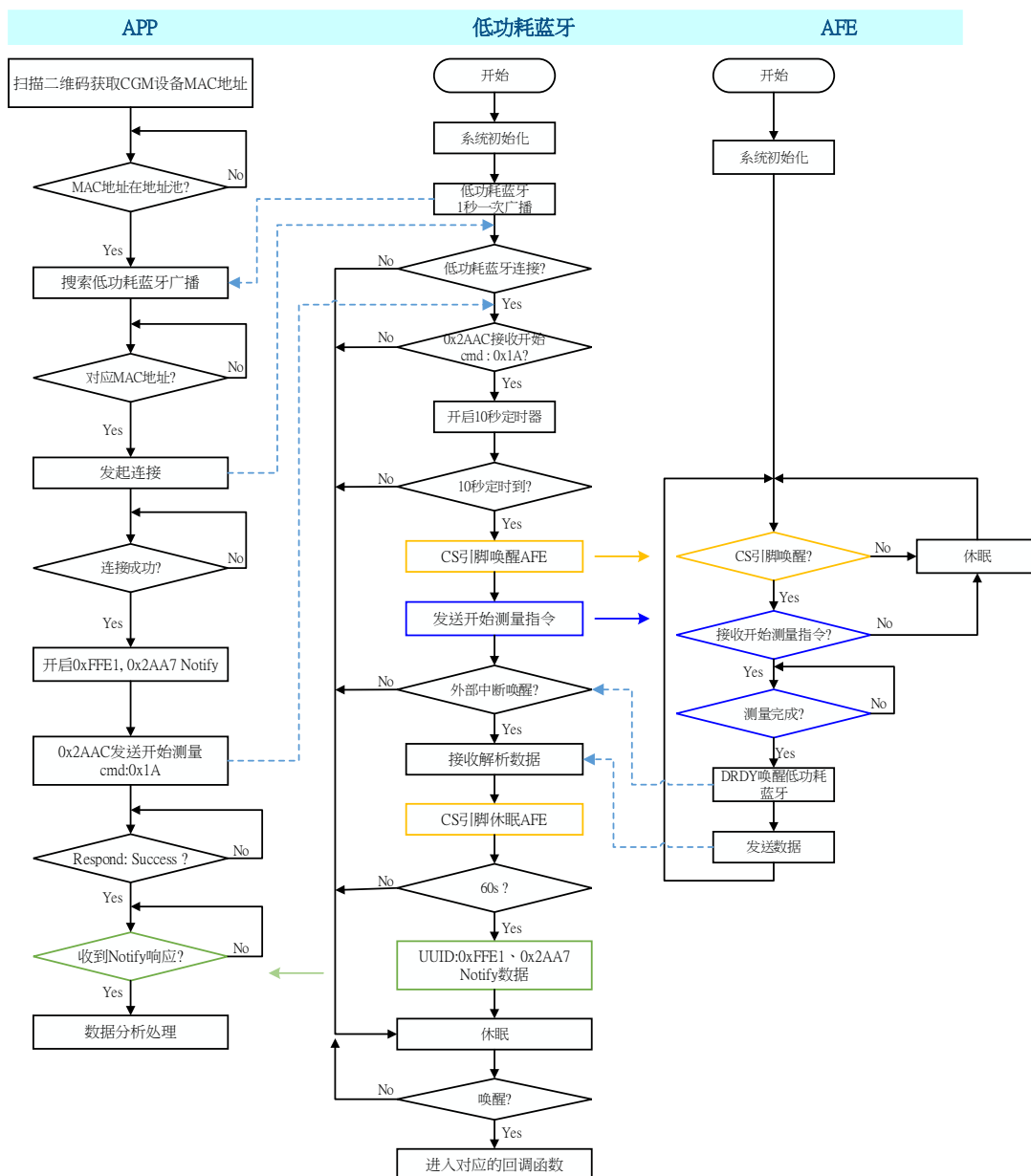


图 9. 软件主流程图

上电后，程序进入初始化阶段，HT32F67595(低功耗蓝牙)进行低功耗蓝牙初始化、开启广播、定时器、UART 等功能，设定特定引脚为高电平锁住 TMR Switch，稳定连接 BAT 与 VDD；BH66F2475(AFE)进行 AFE 初始化，开启 UART、AFE 测量电路等。

HT32F67595(低功耗蓝牙)连接 APP 后，收到 APP 开始测量命令，开启定时器，每 10 秒与 BH66F2475 通信一次，唤醒 BH66F2475 获取电流值。BH66F2475 接收到命令后，开启 ADC 测量传感器电流值，并将测量结果发送回 HT32F67595。HT32F67595 收到电流值后休眠 BH66F2475。每 60 秒(10 秒测量一次，6 次求平均值)，HT32F67595 将电流值转换为血糖值，发送给 APP。

BH66F2475(AFE)中的 DAC 和 OPA 常开，保持稳定的激励电压输出，仅在被 HT32F67595(低功耗蓝牙)唤醒后，开启 ADC 测量传感器电流值。

AFE API 介绍

Work_Mode_Polling.h 头文件提供 AFE 电流测量的相关配置。AFE 电流测量 API 列表与其功能如下。

● 数据说明

名称	类型	说明
CGM_API_t	结构体	结构体包含与 CGM 系统相关的各种标志位、测量状态和数据： isStartMeaCurrent：是否开始测量电流 isMeaCurrent：是否正在测量电流 isStateUpdate：状态是否更新 isDataUpdate：数据是否更新 isEnterHalt：是否进入休眠状态 workMode：工作模式 workStep：工作步骤 workStatus：工作状态 datatype：数据类型 temperatureRfRes：NTC 串联电阻值($k\Omega \times 10$) batVol：电池电压($V \times 100$) temperatureRes：NTC 电阻值($k\Omega \times 10$) currentNaWe1Cal：电流 NaWe1 校准值($nA \times 100$) currentNaWe2Cal：电流 NaWe2 校准值($nA \times 100$) currentNaWe1Raw：电流 NaWe1 原始值($nA \times 100$) currentNaWe2Raw：电流 NaWe2 原始值($nA \times 100$) offsetNaWe1：NaWe1 偏移值($nA \times 100$) offsetNaWe2：NaWe2 偏移值($nA \times 100$) calibratedId：校准标志位 virefData：参考电压数据 dac0Data：DAC0 数据 dac1Data：DAC1 数据 dac2Data：DAC2 数据 dac3Data：DAC3 数据 we1Rf：We1 参考电阻 we1CalPara：We1 校准参数 we2Rf：We2 参考电阻 we2CalPara：We2 校准参数 readWriteResult：读/写结果 readOrWriteData：读或写数据 dataAddr：数据地址 dataSave：数据保存值
*cgmApiP	结构体指针	通过此指针读写结构体 cgmApi(CGM_API_t)，cgmApi 结构体已固定地址

表 4

● 函数说明

函数名称	功能说明
Init_AFE()	初始化函数，初始化变量
Work_Mode_Polling()	测量函数，轮询工作模式并调用对应函数进行测量
Sys_ReadCalibratePara()	读取校准值函数，读取 VREF 和 DAC 校准值

表 5

以下针对程序的 API 进行详细说明。

API 名称	Init_AFE()
API 作用	初始化变量
输入参数	—
输出参数	—
程序详解	—

表 6

API 名称	Work_Mode_Polling()
API 作用	轮询调用函数进行测量
输入参数	—
输出参数	—
程序详解	温度、电池电压、WE1 和 WE2 测量

表 7

API 名称	Sys_ReadCalibratePara()
API 作用	读取 VREF 和 DAC 校准值
输入参数	—
输出参数	—
程序详解	读取 VREF 和 DAC 校准值保存于 cgmApi 结构体中

表 8

通信协议说明

下表为上位机(主机)与 Holtek CGM 产品(从机)通信方式以及数据区格式说明。

名称	说明
数据格式	UART: 波特率为 38400、数据位 8、停止位 1、无校验位
数据包格式	帧头+帧长+指令+数据+校验和(帧头+...+校验和前一位)+1)
校准电压指令 0xC1	请求(主→从): DACVREF 数据 DAC00 数据 DAC10 数据 DAC20 数据 DAC30 数据
	应答(从→主): DACVREF 数据 DAC00 数据 DAC10 数据 DAC20 数据 DAC30 数据
校准电流指令 0xC2	请求(主→从): 反馈电阻值 1: WE1 反馈电阻值, 单位“kΩ” K1: WE1 校准系数 K1, 放大 10000 倍 反馈电阻值 2: WE2 反馈电阻值, 单位“kΩ” K2: WE2 校准系数 K2, 放大 10000 倍
	应答(从→主): WE1-1: WE1 工作电流(未做 K 值处理) WE1-2: WE1 工作电流(K 值处理后) WE2-1: WE2 工作电流(未做 K 值处理) WE2-2: WE2 工作电流(K 值处理后)

名称	说明
测量指令 0xD1	请求(主→从): 采样类型: 电池电压测量、温度测量、WE1 电流测量、WE2 电流测量 测温电路分压电阻阻值: 数据放大 10 倍, 单位“kΩ”
	应答(从→主): 有效数据类型: 电池电压测量、温度测量、WE1 电流测量、WE2 电流测量 电池电压数据: 数据放大 100 倍, 单位“V” 温度数据: 数据放大 10 倍, 单位“°C” WE1 电流数据: 数据放大 100 倍, 单位“nA” WE2 电流数据: 数据放大 100 倍, 单位“nA”

注: 电池电压测量、温度测量为预留功能。

表 9

HT CGM APP 操作说明

本设计 Demo Board 搭配手机 APP 使用, 本章节使用 iOS 版本“HT CGM”APP 展示相关操作。

生成设备二维码

先为 CGM 设备生成一个包含必要信息的二维码, 方便后续设备与 APP 绑定。

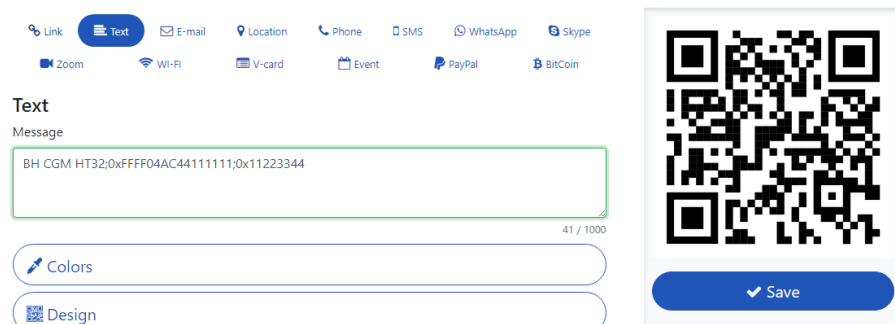
二维码的内容格式为: #1;#2;#3, 其中内容中间使用分号“;”进行分隔。下表为每个部分的说明。

编号	内容	默认值	描述
#1	广播名称	BH CGM HT32	--
#2	厂商 ID+MAC 地址	厂商 ID:0xFFFF (No Company ID)	厂商 ID 作为保留功能, MAC 地址由 6 个字节组成 (04:AC:44:11:11:11) 例如: 0xFFFF04AC44111111
#3	自定义数据	0x11223344	保留功能, 可用于存放传感器数据、校准数据等信息

可以使用在线二维码生成工具来生成二维码, 以 QR-Code 为例。

使用文本二维码生成器, 在文本框中输入二维码内容, 例如:

BH CGM HT32;0xFFFF04AC44111111;0x11223344 (注意 MAC 地址需填入实际的地址)。



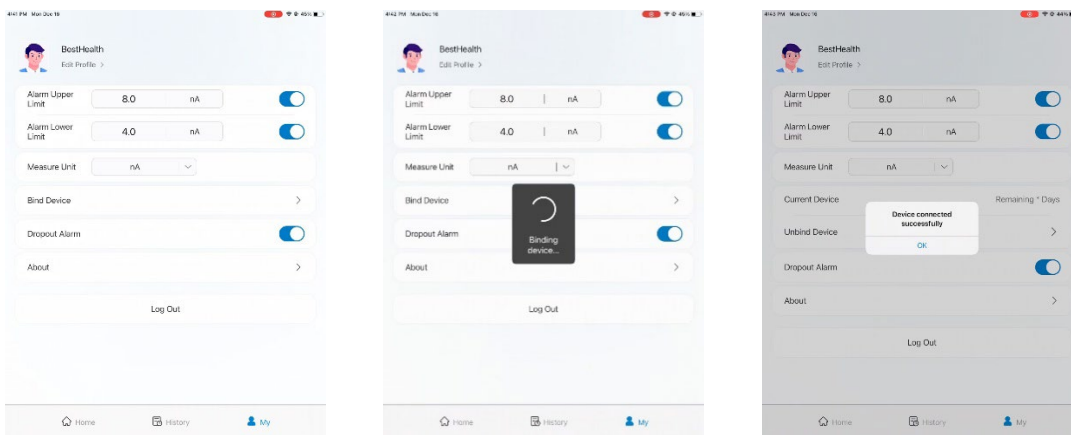
下载 APP

APP Store 搜索“HT CGM”或者扫码下载，使用邮箱注册登录 APP。



扫码绑定设备

在“My”页面中，可以点击“Bind Device”并扫描二维码。一旦扫描完成，屏幕将显示“Binding device...”。当低功耗蓝牙连接成功时，屏幕会切换显示为“Device connected successfully”。

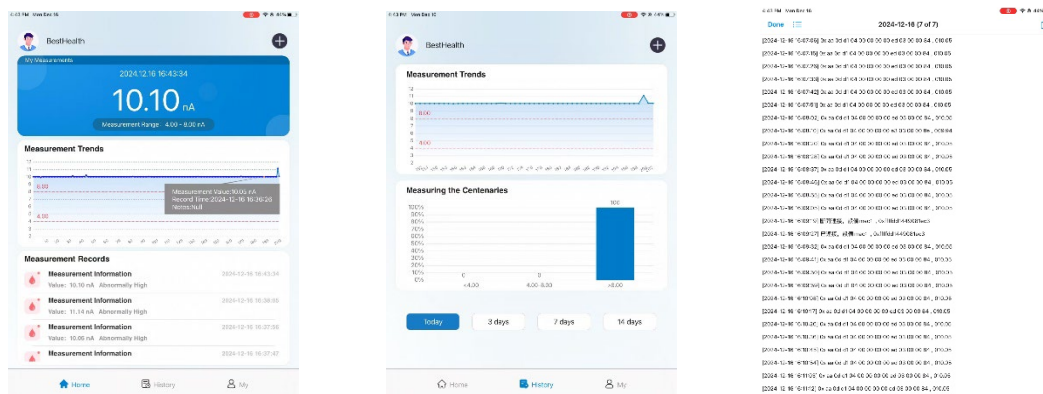


查看数据

连接成功后，APP 会主动发送当前时间和开始命令给 CGM 设备。默认情况下，数据将在设备端每 10 秒采集一次，每分钟 Notify 一次。

在“Home”界面可查看测量动态和测量记录，在“History”界面可查看测量动态和测量百分比数据。可以通过点击测量动态数据点，弹出气泡显示数据的详细内容，再次点击数据点可以关闭气泡。

数据自动保存在根目录下的“HT CGM”文件夹中的“BluetoothData”文件夹内，数据按天保存为 txt 文本。数据的格式为：时间戳+透传数据帧+WE1 数据。



生产校准页面

长按“Home”右上角的“+”按钮 8 秒，即可进入生产校准页面，可以设定校准电压(Calibration Voltage)、校准电流(Calibration Current)和解锁 TMR Switch 功能。

9:57 AM Tue Dec 17

TEST

Calibration Voltage

VREF	DAC00_L	DAC00_H
60	0	0
DAC10_L	DAC20_L	DAC30_L
65	C4	0
DAC10_H	DAC20_H	DAC30_H
06	05	0

Send

Calibration Current

Feedback resistance 1 (kΩ)	Feedback resistance 2 (kΩ)
5600	
K1 (10000 times magnification)	K2 (10000 times magnification)
10251	

Send

Current value WE1-1 (nA) (no K processing) 9.59 nA
Current value WE1-2 (nA) (after K processing) 9.83 nA
Current value WE2-1 (nA) (no K processing) 0.00 nA
Current value WE2-2 (nA) (after K processing) 0.00 nA

TMR Switch Send

- 设定激励电压

使用 Demo Board 之前，请根据传感器需求设定好激励电压，设定的数据可在掉电情况下保存，只需设定一次即可。对于三电极传感器，需要设定 DACVREF、DAC10 和 DAC20。计算数据值，填入相应数值后，点击“Send”按钮，发送成功后将显示“Sent”。(数据值计算可参考“生产校准说明-电压校准”小节)。

- 校准电流

- 输入反馈电阻阻值 1 (Feedback resistance 1, 单位: $k\Omega$)，默认为 $5600k\Omega$ ，此值为 WE-OP10 之间的电阻
- 输入 K1，默认为 1.0，相当于 10000
- 接收电流值 WE1-1: 表示 WE1 的工作电流(未进行 K 值处理)
- 接收电流值 WE1-2: 表示 WE1 的工作电流(经过 K 值处理后)
- 输入反馈电阻阻值 2 (Feedback resistance 2, 单位: $k\Omega$)，默认为 0，不使用 WE2
- 输入 K2，默认为 0，不使用 WE2
- 接收电流值 WE2-1: 表示 WE2 的工作电流(未进行 K 值处理)
- 接收电流值 WE2-2: 表示 WE2 的工作电流(经过 K 值处理后)

点击“Send”将清除 WE1-1、WE1-2、WE2-1 和 WE2-2。接收后，将显示 WE1-1、WE1-2、WE2-1 和 WE2-2。根据这些值调整 K1 和 K2，使 WE1-2 和 WE2-2 的值接近理论值。具体计算请参考“生产校准说明-电流校准”小节。

- 解锁 TMR Switch

若需要解锁 TMR Switch, 请点击“Send”按钮, 发送成功后将显示“Sent”。解除 TMR Switch 锁定后, 若将 CGM 设备放入带有磁铁的盒子中, BAT 与 VDD 断开连接, 可保持超低功耗, 实现长时间储存。

生产校准说明

在生产过程中, 为了确保 CGM AFE(模拟前端)具备准确的测量能力, 需要进行一系列校准步骤。这些步骤包括电压校准和电流校准。以下是各个步骤的说明。

电压校准

在使用 Demo Board 之前, 根据传感器需求设定激励电压。设定的数据在掉电情况下可保存, 仅需设定一次。为此, 需要配置三个电压: DACVREF、DAC10 和 DAC20。

电压校准步骤简要说明: 首先根据传感器需求, 计算 DACVREF 数据、DAC10 数据和 DAC20 数据值, 准备发送数据包, 主机端(上位机)通过低功耗蓝牙将这些数据发送给从机端 (HT32F67595), HT32F67595 接收数据后, 对 AFE(BH66F2475)进行配置, 并将收到的数据回传给主机以确认。通信数据格式如下所示。

请求(主→从):

BYTE	类型	单位	值	说明
0	帧头	uint8_t	0x55	
1	帧长度	uint8_t	0x0D	
2	命令号	uint8_t	0xC1	
3	DACVREF 数据	uint8_t	x	默认: 0x80
4~5	DAC00 数据	uint16_t	x	固定搭配 CMP 使用
6~7	DAC10 数据	uint16_t	x	固定搭配 OPA1 使用
8~9	DAC20 数据	uint16_t	x	固定搭配 OPA2 使用
10~11	DAC30 数据	uint16_t	x	固定搭配 OPA3 使用
12	校验和	uint8_t	x	校验和 = ~(帧头+帧长度+命令号+...+校验和前一位)+1

应答(从→主):

BYTE	类型	单位	值	说明
0	帧头	uint8_t	0xAA	
1	帧长度	uint8_t	0x0D	
2	命令号	uint8_t	0xC1	
3	DACVREF 数据	uint8_t	x	默认: 0x80
4~5	DAC00 数据	uint16_t	x	固定搭配 CMP 使用
6~7	DAC10 数据	uint16_t	x	固定搭配 OPA1 使用
8~9	DAC20 数据	uint16_t	x	固定搭配 OPA2 使用
10~11	DAC30 数据	uint16_t	x	固定搭配 OPA3 使用
12	校验和	uint8_t	x	校验和 = ~(帧头+帧长度+命令号+...+校验和前一位)+1

以下是电压校准的具体步骤和说明，包括如何计算数据、硬件连接、校准过程以及通过低功耗蓝牙发送校准指令的详细流程。

步骤一：计算数据

- DACVREF
 - 内部参考电压为 1.250V(对应 DACVREF 数据为 0x80)
 - 调整幅度为-60mV 到+60mV(基于 PVREF = 80H, PVREF 寄存器的值每增加 1, 输出的参考电压将减少约 500μV; 反之, 每减少 1, 将增加约 500μV。)
- DAC10/DAC20 计算
 - DAC 输出电压公式: $V_{DACO} = V_{DACVREF} \times (DAC \text{ 值}/4096)$ 。
 - $V_{DACVREF} = 1.250V \rightarrow 0x80$
 - $DAC10 = 500mV \rightarrow \text{约 } 0x0666$
 - $DAC20 = 450mV \rightarrow \text{约 } 0x05C2$

步骤二：硬件连接

- 为了降低电压表对 OPA 的影响, 需要将 OPA 构成电压跟随器
 - WE(OP1N)悬空: OP1N 与 OP1O 通过板载反馈电阻连接
 - RE(OP2N)短接至 CE(OP2O)

步骤三：校准 DACVREF、DAC10 和 DAC20

- 使用电压表测量 DACVREF, 并调整 DACVREF 数据, 使其接近 1.25V 的理论值
- 使用电压表测量 OP1O, 调整 DAC10 数据, 使其接近 500mV 的理论值
- 使用电压表测量 OP2O(CE)或 OP2N(RE), 调整 DAC20 数据, 使其接近 450mV 的理论值

注意: WE 和 RE 电压应根据传感器需求进行设定。

步骤四：发送校准电压指令

- HT CGM APP 操作

在 HT CGM APP 上长按“Home”右上角的“+”, 进入生产校准页面, 根据步骤三填入对应校准值后, 点击“Send”按钮, 直到电压值接近理论值。
- 使用蓝牙调试助手

通过蓝牙调试助手调试 APP 和 CGM 设备进行通信, APP 通过 0xFFFF2 下发 0xC1 指令, 0xFFFF1 Notify 回复数据(蓝牙调试助手相关操作说明, 可参考下方“蓝牙调试 APP”章节)。

电流校准

为了提高测量准确性, 建议实施电流校准, 消除电流偏置误差。电流校准可通过蓝牙调试助手调试 APP 和 HT CGM APP 操作实现, 电流校准中需要配置数据及通信数据格式如下所示。蓝牙调试助手相关操作说明, 请参考“蓝牙调试 APP”章节。

请求(主→从):

Byte	类型	单位	值	说明
0	帧头	uint8_t	0x55	
1	帧长度	uint8_t	0x0D	
2	命令号	uint8_t	0xC2	
3~4	反馈电阻值 1	uint16_t	x	WE1 反馈电阻值, 单位“kΩ”
5~6	K1	uint16_t	x	WE1 校准系数 K1, 放大 10000 倍, 如: 0x2710, K1=1.0000
7~8	反馈电阻值 2	uint16_t	x	WE2 反馈电阻值, 单位“kΩ”
9~10	K2	uint16_t	x	WE2 校准系数 K2, 放大 10000 倍, 如: 0x2710, K2=1.0000
11	保留位	x	x	
12	校验和	uint8_t	x	Checksum = ~(帧头+帧长度+命令号+...+校验和前一位)+1

应答(从→主):

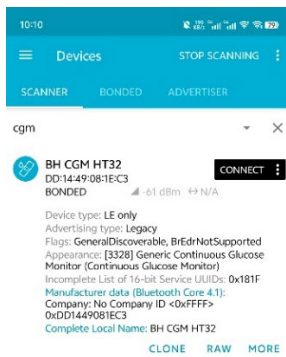
Byte	类型	单位	值	说明
0	帧头	uint8_t	0xAA	
1	帧长度	uint8_t	0x0D	
2	命令号	uint8_t	0xC2	
3~4	电流值 WE1-1	int16_t	x	WE1 工作电流(未做 K 值处理); 数据放大 100 倍, 单位“nA”; 例: Byte3=0x88, Byte4=0x13, 电流为 50.00nA
5~6	电流值 WE1-2	int16_t	x	WE1 工作电流(K 值处理后); 数据放大 100 倍, 单位“nA”
7~8	电流值 WE2-1	int16_t	x	WE2 工作电流(未做 K 值处理); 数据放大 100 倍, 单位“nA”;
9~10	电流值 WE2-2	int16_t	x	WE2 工作电流(K 值处理后); 数据放大 100 倍, 单位“nA”;
11	保留位	x	x	
12	校验和	uint8_t	x	Checksum = ~(帧头+帧长度+命令号+...+校验和前一位)+1

范例步骤:

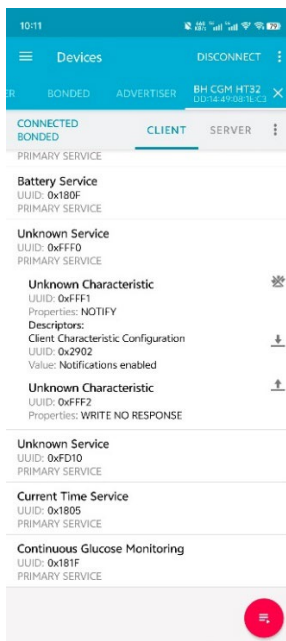
1. 反馈电阻值(WE-OP10): 5.6MΩ, 十六进制表示为 0x15E0。
2. K1 设定: 值为 10000, 十六进制表示为 0x2710。
3. 请求数据包: 55 0D C2 E0 15 10 27 00 00 00 00 B0。
4. 电极激励电压: 500mV - 450mV = 50mV。
5. 待测电阻值(WE-RE): 5.085MΩ。
6. 理论电流计算: 理论电流 = 激励电压/待测电阻 = 50mV/5.085MΩ ≈ 9.83nA。
7. 放大 100 倍后的电流 = 0x03D7。
8. 应答数据包: AA 0D C2 BF 03 BF 03 00 00 00 00 03。WE1-1 = 0x03BF = 9.59nA。
9. K1 计算: K1 = 理论电流/WE1-1 = 9.83/9.59 ≈ 1.0251, 放大 10000 倍后的 K1 值为 10251 = 0x280B。
10. 第二次请求: 55 0D C2 E0 15 0B 28 00 00 00 00 B4。
11. 第二次应答: AA 0D C2 BF 03 D7 03 00 00 00 00 EB, WE1-2 为 9.83nA, 非常接近于理论电流值。

蓝牙调试 APP

1. 扫描连接：打开蓝牙调试助手，扫描并连接名称为“BH CGM HT32”的设备，以下是使用安卓 nRF Connect APP 为例进行说明。



2. 打开 Notify：打开 0xFFFF0 → 0xFFFF1 Notify，准备接收透传协议数据。打开 0x181F → 0x2AA7 Notify，准备接收 CGMS 标准协议数据。



3. 发送校准电压指令 0xC1：APP 通过 0xFFFF2 下发 0xC1 指令，0xFFFF1 Notify 回复数据。

例如：请求数据为：55 0D C1 80 00 00 66 06 C2 05 00 00 2A

回复数据为：AA 0D C1 80 00 00 66 06 C2 05 00 00 D5

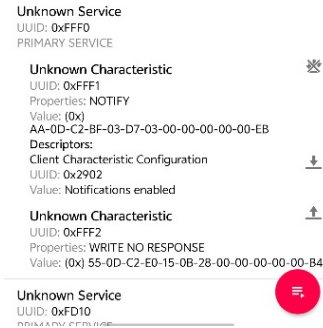


校准电压指令可用于微调数据值：DACVREF 和 DACxO 可能会存在一定的偏移(offset)，这可能会影响输出电压的精准度。为了获得更高的精准度，可以通过微调数据值来校准输出电压，使其更加精准。具体请参考上文“电压校准”小节说明。

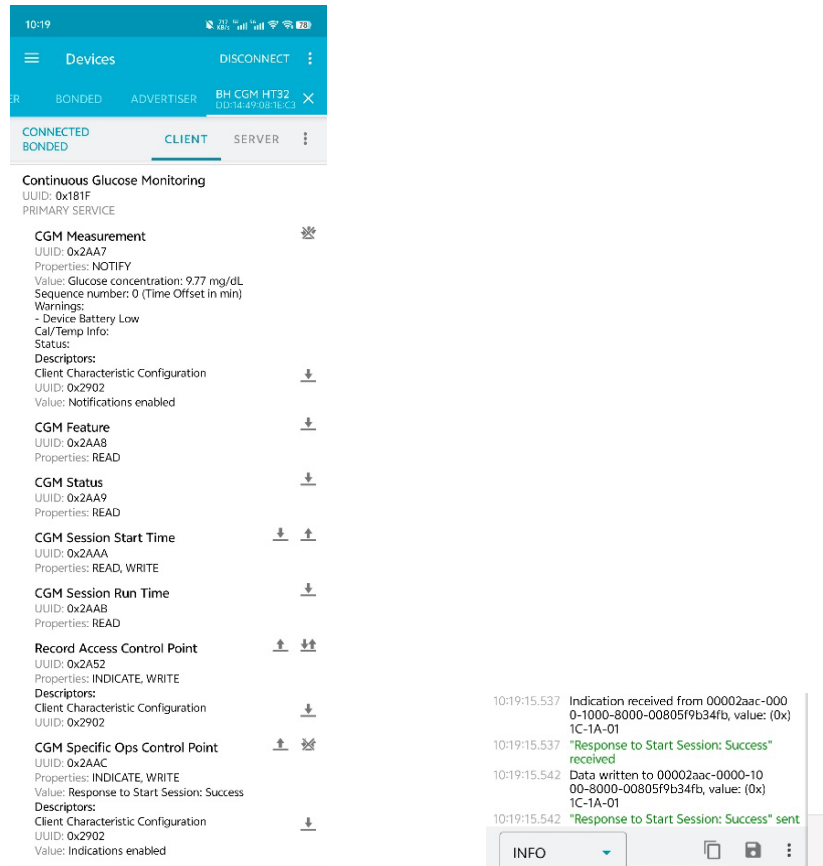
4. 发送校准电流指令 0xC2: APP 通过 0xFFFF2 下发 0xC2 指令, 0xFFFF1 Notify 回复数据。

例如: 请求数据为: 55 0D C2 E0 15 0B 28 00 00 00 00 00 B4

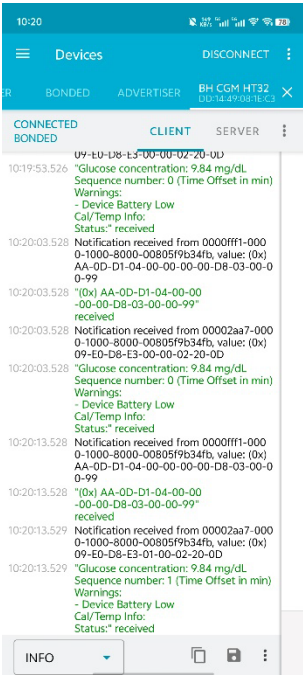
回复数据为: AA 0D C2 BF 03 D7 03 00 00 00 00 00 EB



5. 发送开始测量指令: 选择“Continuous Glucose Monitoring”(UUID:0x0181F)服务。点击特征值为“CGM Specific Ops Control Point”(UUID: 0x2AAC)的向上箭头进行写操作, 输入开始测量指令“1A”, 点击“send”。收到“Response to Start Session: Success”, 表示成功开始测量。



Notify 数据: 接收到开始指令“1A”后, 低功耗蓝牙从机端每一分钟 Notify 一次数据, 包括透传协议和标准协议 CGMS。



测试数据

测试项目	测试条件	实测值
平均工作电流	低功耗蓝牙连接状态：1 秒连接间隔、60 秒发送数据	23.3μA(平均值)
	低功耗蓝牙广播状态：1 秒广播间隔、60 秒发送数据	22.0μA(平均值)
仓储平均电流	TMR Switch 关断 BAT 和 VDD(后端电路工作电压)连接	15~20nA
精准度	电流范围 0~30nA	±0.05nA
	电流范围 0~100nA， 0~30nA	±0.3nA
	电流范围 0~100nA， 30~100nA	±<1%

表 10

方案对比

项目	Holtek 方案	传统方案
功能	2/3/4 电极传感器电流测量	仅限于特定电极配置，灵活性不足
Flash AFE 应用	可灵活应用，支持多种配置	固定应用方式，不够灵活
Flash 容量	低功耗蓝牙提供 1024KB Flash，可放置 CGM 算法	Flash 容量较小
成本	高度集成的 DAC、OPA 和 ADC，减少外部元件需求量	MCU 需搭配外部 DAC、OPA 和 ADC，外部元件多
开发支持	提供专业级技术支持，包括 AFE 和低功耗蓝牙开发、天线匹配等	技术支持不足，开发资源有限

结论

本文介绍了 Holtek CGM 连续血糖监测仪方案，模拟前端(AFE)为 BH66F2475，低功耗蓝牙(低功耗蓝牙)为 HT32F67595。该方案利用 CGM Demo Board 结合传感器软针实现连续的电流监测。AFE 内建 24 位 Delta Sigma 型 A/D 转换器和连续血糖监测电路，用于测量反应电流。AFE 通过串行端口(SPI/UART)接口与低功耗蓝牙通信，低功耗蓝牙运行算法将电流值转换为血糖值，并通过低功耗蓝牙发送至上位机。

参考资料

参考文件 BH66F2475、HT32F67595 Datasheet。

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

版本及修改信息

日期	作者	发行	修订说明
2024.12.19	陈伟健	V1.00	第一版

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。