

文档编号: AN085

上海东软载波微电子有限公司

应用笔记

ESEM16-SDK

修订历史

版本	修改日期	更改概要
V1.0	2017-08-15	初版发布

地 址：中国上海市龙漕路 299 号天华信息科技园 2A 楼 5 层

邮 编：200235

E-mail: support@essemi.com

电 话：+86-21-60910333

传 真：+86-21-60914991

网 址：<http://www.essemi.com/>

版权所有©

上海东软载波微电子有限公司

本资料内容为上海东软载波微电子有限公司在现有数据资料基础上慎重且力求准确无误编制而成，本资料中所记载的实例以正确的使用方法和标准操作为前提，使用方在应用该等实例时请充分考虑外部诸条件，上海东软载波微电子有限公司不承担或确认该等实例在使用方的适用性、适当性或完整性，上海东软载波微电子有限公司亦不对使用方因使用本资料所有内容而可能或已经带来的风险或后果承担任何法律责任。基于使本资料的内容更加完善等原因，上海东软载波微电子有限公司保留未经预告的修改权。使用方如需获得最新的产品信息，请随时用上述联系方式与上海东软载波微电子有限公司联系。

目 录

内容目录

第 1 章	使用说明	5
1.1	安全说明	5
1.2	使用方法	5
1.2.1	SDK 功能	5
1.2.1.1	计量	5
1.2.1.2	计量校准	5
1.2.1.3	按键和 LED 灯	6
1.2.1.4	操作方法	6
第 2 章	系统设计	7
2.1	芯片特点	7
2.2	硬件设计	8
2.2.1	系统结构	8
2.2.2	计量电路	8
2.2.3	光耦隔离电路	9
2.3	软件设计	10
第 3 章	计量芯片初始化.....	11
3.1	PFSET 设置(高频脉冲常数寄存器).....	11
3.2	AFEC 设置(模拟前端控制设置)	11
3.3	START 设置(计量启动设置)	12
3.4	PSTART 设置(启动功率门限设置).....	14
第 4 章	计量校准	15
4.1	电压有效值增益校准	15
4.2	A 线电流有效值增益校准.....	15
4.3	有功功率增益校准	16
4.4	角差校准	16
4.5	线有功功率的失调补偿校准.....	17
第 5 章	测量值读取.....	18
5.1	读电压有效值	18
5.2	读电流有效值	18
5.3	读有功平均功率.....	18
5.4	读视在功率.....	18
5.5	读功率因数.....	18
5.6	读电压频率.....	19
附录 1	串口通信协议	20
附录 1.1	数据链路层.....	20
附录 1.1.1	字节格式	20
附录 1.1.2	帧格式.....	20
附录 1.1.3	传输	21
附录 1.2	应用层.....	22
附录 1.2.1	读数据.....	22
附录 1.2.2	校表命令	23

附录 1.2.3	读计量芯片寄存器.....	23
附录 1.2.4	写计量芯片寄存器.....	24
附录 1.2.5	错误信息字	25
附录 1.3	数据标识	25
附录 1.3.1	数据标识结构	25
附录 1.3.2	数据编码	25
附录 2	上位机通讯软件.....	27
附录 2.1	使用前的连接	27
附录 2.2	使用指南	27
附录 2.2.1	读参数.....	28
附录 2.2.2	校表	29
附录 2.2.3	手工命令	30
附录 3	原理图.....	32

第1章 使用说明

1.1 安全说明

ESEM16 开发板 (Starter Development Kit, 以下简称 SDK) 在工作时有部分电路存在 220VAC 的工作电压, 切勿直接用手触摸。使用时操作人员必须确保 SDK 置于安全区域并放置醒目的高压警示标志, 防止操作人员或他人因误触碰 SDK 的高压区域而造成电击事故。下图红色框内为 SDK 的高压危险区。



图表 1-1 SDK 危险区域

操作人员必须使用带有漏电保护装置的插座以保障生命安全。计量板在无测试负载时的视在功率约为 20VA, 有功功率约为 2W。

注意: 所有的连接操作均应在断电的情况下进行。

1.2 使用方法

1.2.1 SDK功能

SDK 具有以下几个功能: 计量、计量校准、按键和 LED 灯。

1.2.1.1 计量

- ◆ SDK 具有的测量功能: 电压、电流、功率、功率因数、频率、电量。
- ◆ 有源 CF 脉冲输出, 用于电量计量和计量校准。电表常数 1200imp/kWh。

详细的计量数据读取及计算方法请参考“第 5 章测量值读取”。

1.2.1.2 计量校准

SDK 具有计量校准功能。可以通过 USB 转串口对计量芯片校准寄存器进行校准。可校准的寄存器包括: PAGAIN、PAOFF、UGAIN、IAGAIN、APHCAL。

详细的校表方法请参考“第 4 章计量校准”。

详细的校表串口通讯协议请参考“附录 1 串口通信协议”。

1.2.1.3 按键和LED灯

1. 按键

SDK 板上设计有 1 按键，为程序预留备用，供用户自行定义功能。

2. LED

电能计量板与主控板均设有红色 LED 用作电源指示。主控板上另设有 2 个绿色，其用作的指示功能分别为：

- ◆ CF: CF 脉冲指示，使用软脉冲，由 MCU 根据功率输出脉冲。脉冲点亮时间为 80ms。
- ◆ LED1: 运行状态指示，在系统运行时将以 1Hz 频率闪烁显示。

1.2.1.4 操作方法

SDK 应按照以下的步骤来操作。

注意 1: 所有的连接操作均应在断电的情况下进行。

- ◆ 设备连接。
 - ◇ 电能计量板的连接：分别将 L-IN、N-IN 接线端子连接至 220VAC 电源的火线与零线，L-OUT、N-OUT 接线端子连接相应的负载，负载的大小应控制在计量范围的要求以内。
 - ◇ 将主控板通过 USB 与 PC 连接（仅校表时需要）。
- ◆ 设备供电。
 - ◇ 先为电能计量板供电，将连接到电能计量板的 220VAC 电源的插头插入带有漏电保护功能的交流电插座，然后再给主控板供电。
 - ◇ SDK 在上电后即进入工作状态，此时 LED1 将以 1Hz 的频率闪烁，CF 根据负载用电情况以脉冲形式指示。

第2章 系统设计

2.1 芯片特点

ESEM16 是上海东软载波微电子有限公司设计的带电能计量 DSP 的 SOC 芯片；集成 Cortex-M0 内核；三路定时器/计数器，一路硬件看门狗 WDT，一路高速异步接收发送器 UART，一路多功能模数转换器 ADC；2K 字节数据存储器 SRAM，另外集成了 36K 字节程序存储器 FLASH。

ESEM16 芯片电能计量模块特性：

- ◆ 内置 1.3V 基准参考电压源（30ppm/℃），可以提供片内 ADC 作为参考电压使用
- ◆ 有功电能计量：有功计量误差小于 0.1%，动态范围为 1000: 1（@ 25℃）
- ◆ 电压、电流信号有效值测量：一路电流和一路电压有效值测量误差小于 1%，动态范围为 500: 1（@ 25℃）
- ◆ 电参量测量
 - ◇ 平均有功功率/视在功率
 - ◇ 电压频率、功率因数和相角
- ◆ 软件校表
 - ◇ 电表常数可调
 - ◇ 有功功率增益校准
 - ◇ 有功功率失调补偿
 - ◇ 角差校准
 - ◇ 电流/电压有效值增益校准
 - ◇ 电流/电压有效值失调补偿
- ◆ 其他功能
 - ◇ 启动与潜动功率门限值可配置
 - ◇ 电压增益、电流增益可配置
 - ◇ 有功电能脉冲 CF 输出可配置
 - ◇ 小电流加速校表
 - ◇ 校表参数自校验功能

本 SDK 主要为配合公司 ESEM16 计量芯片的推广，使非电力行业的初学者能够尽快掌握计量芯片的软件和硬件设计基础知识，给用户提供完善的计量芯片应用开发所需的软硬件环境。

2.2 硬件设计

2.2.1 系统结构

系统结构图如下所示：

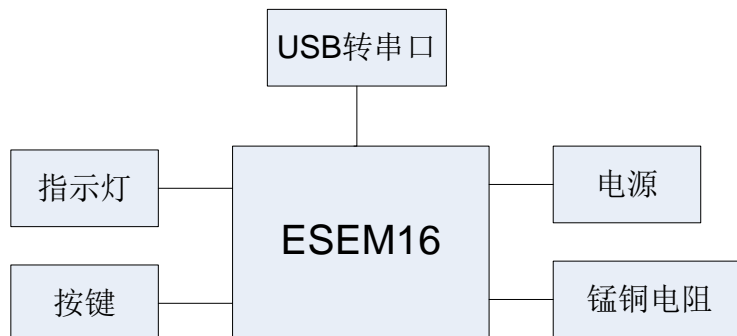


图 2-1 系统结构图

电能计量部分，它支持一路电流和一路电压的测量。电流采用了高精度的锰铜电阻，电流在经过锰铜电阻时会在锰铜电阻两端产生电压差，此电压被计量芯片采集后计算电流强度及功率。电压通道是将交流电源经过 6 个 180k 的电阻分压后输入计量芯片，分压比为 1081。计量电路的电阻全部采用 1%精度低温漂电阻。电能计量的电源 AC-DC 电源，经 LDO 产生 3.3V 的直流电压。

本文档例程中所有参数均是在以下条件下算得的：

- ◆ 锰铜电阻阻值： $R_I = 2000\Omega$
- ◆ 电压通道分压比： $K_V = 1081$
- ◆ 电表常数： $M_c = 1200 \text{ imp/kWh}$
- ◆ 额定电压： $U_n = 220\text{V}$
- ◆ 额定电流： $I_a = 16\text{A}$
- ◆ 电流通道增益： $G_{IA} = 16$ 倍
- ◆ 电压通道增益： $G_U = 2$ 倍

2.2.2 计量电路

计量是本 SDK 的重要部分，其电路如图所示。

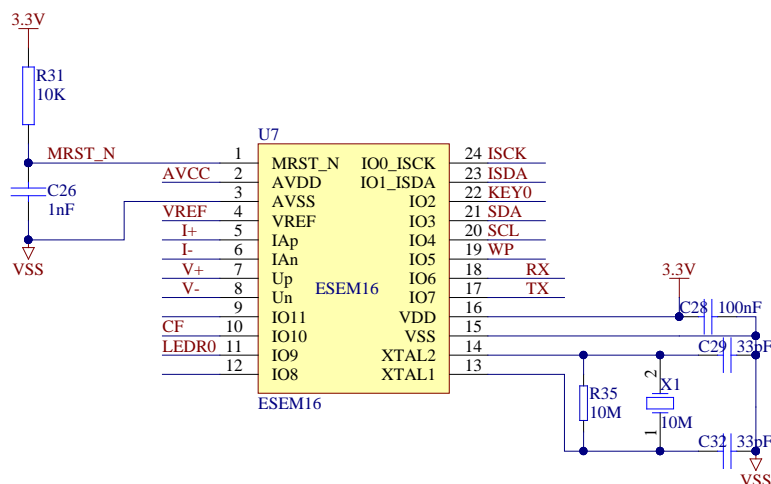


图 2-2 ESEM16 系统图

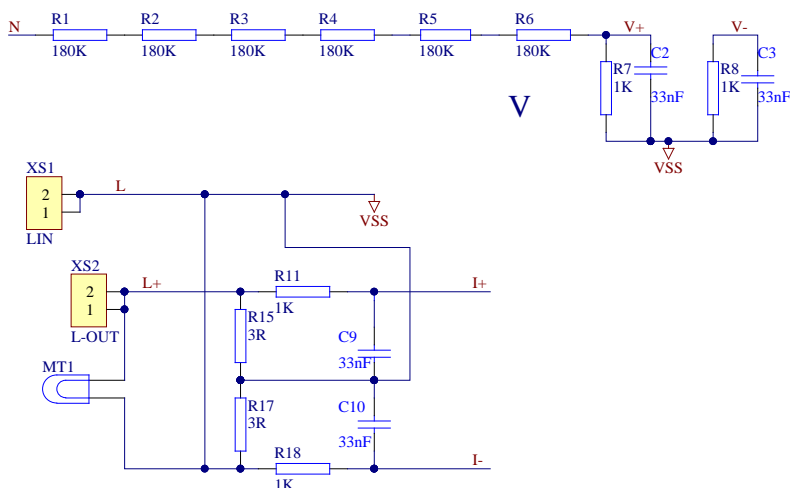


图 2-3 计量采样电路

电流通道连接至芯片的 5、6 脚；电压通道连接至芯片的 7、8 脚。计量检测电路中的电阻应采用高精度低温漂型，这将提高计量精度。

注意事项：电流、电压通道的差分输入信号为弱信号，为提高采样的精度，在 PCB 布线时应注意检测信号的通路应尽可能的短，同时走线须平滑，避免过孔、蛇形线等的出现。电路周围的铺地也应避免尖角的出现。电路中的电容 C2、C3、C9、C10 为滤波电容，应尽量靠近芯片的管脚，同时信号的走向应为先通过检测电阻，再通过滤波电容。不规范的 PCB 设计将导致计量精度的下降。另外，晶振两端的接地电容 C29、C32 应严格与晶振匹配，否则有停振的风险。

关于电路参数的计算方法。电流、电压通道未开启增益时差分信号范围为峰值±600mV，此为设计条件（详见芯片数据手册）。SDK 中 A 线电流采样使用了 2 毫欧的锰铜电阻，在通过额定最大电流（16A）时两端的电压为 $U_{IA}=R_I \times I_b=32mV$ ，经过可编程增益放大器（PGA）放大 $G_{IA}=16$ 倍后， $U=32mV \times 16=512mV < 600mV$ ，在保证精度的情况下满足设计要求。电压通道计算方法与此类似。

2.2.3 光耦隔离电路

为了保证用户的使用安全，同时为了提高系统工作的稳定性，主控部分和计量部分采用了不同的供电系统，因此 MCU 与 PC 通信线路全部采用了光耦隔离，包括 CF 脉冲端口。电路如下图所示

示。

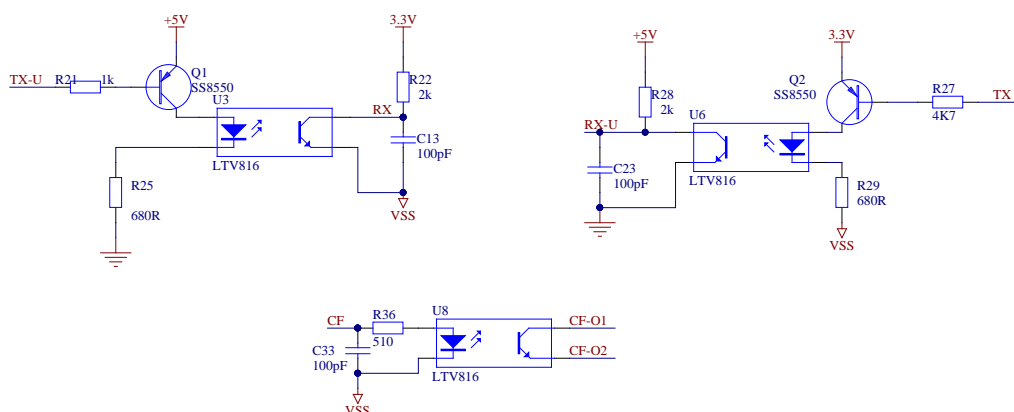
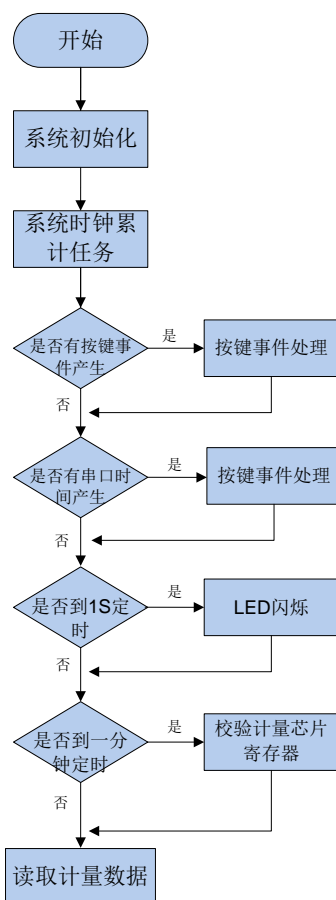


图 2-4 光耦隔离电路

2.3 软件设计

系统上电后，MCU 首先会进行一系列的初始化，包括芯片内部资源的初始化与计量芯片的初始化，之后便进入系统循环中，扫描系统产生的事件，包括按键、串口处理、系统定时等，同时循环中会不断的读取计量芯片的计量数据。此外，显示屏每秒刷新一次，为了保证系统的可靠性，每分钟会对计量芯片的配置寄存器和校准寄存器进行一次校验。



第3章 计量芯片初始化

对计量芯片初始化之前需要向写保护寄存器写入 0x78879669 以使能写操作。需要初始化的寄存器包括 PCLKEN、PORT、AFEC、START、PFSET 等

3.1 PFSET设置(高频脉冲常数寄存器)

PFSET 的计算公式如下：

$$PFSET = INT(C \times \frac{G_{IA} \cdot V_{IA} \cdot G_U \cdot V_U}{Mc \cdot I_b \cdot U_n \cdot V_{ref}^2})$$

注 1: INT 表示为将括号内的计算值取整数，下同。

其中 C 为常数，值为 2.359296×10^{15} ，Mc 为电表常数（单位为 imp/kWh），Un 为相线电压（单位为 V，一般为 220V），V_U 为电压回路 Un 的采样电压（单位为 V），I_b 为电表基本电流（单位为 A），V_{IA} 为 A 线电流 I_b 的采样电压（单位为 V），G_{IA} 为 A 线电流通道增益，G_U 为电压通道增益，V_{ref} 为 ADC 参考电压（V_{ref}=1.3V）。

公式中，V_{IA}/I_b= R_I (锰铜阻值)，V_U/U_n 为 1/ K_V (电压通道分压比的倒数)，则

$$PFSET = INT(2.359296 \times 10^{15} \frac{G_{IA} \cdot R_I \cdot G_U}{Mc \cdot K_V \cdot V_{ref}^2})$$

电能计量板上锰铜电阻 R_I=2000u 欧；电压通道分压比 K_V=1081；电表常数 Mc=1200imp/kWh；A 线电流增益 G_{IA}=16；电压通道增益 G_U=2；那么 PFSET=68876133。

将 PFSET 的数值转化为 16 进制数值（0x041AF765）写入寄存器中。

3.2 AFEC设置(模拟前端控制设置)

—	bit 31-17	—	—
HPF_EN	bit 16	R/W	HPF使能位 0: 禁止 1: 使能
—	bit 15	—	—
CHOP2_PD	bit 14	R/W	CHOP2 CLOCK使能位 0: 禁止 1: 使能
CHOP1_PD	bit 13	R/W	CHOP1 CLOCK使能位 0: 禁止 1: 使能
BGR_EN	bit 12	R/W	VREF使能位 0: 禁止 1: 使能

—	bit 11-10	—	—
ADC2_EN	bit 9	R/W	ADC2使能位 0: 禁止 1: 使能
ADC1_EN	bit 8	R/W	ADC1使能位 0: 禁止 1: 使能
—	bit 7	—	—
PGA2C<2:0>	bit 6-4	R/W	PGA2控制位 000: 关闭 001: 1倍增益 010: 2倍增益 011: 4倍增益 1xx: 8 倍增益
—	bit 3	—	—
PGA1C<2:0>	bit 2-0	R/W	PGA1控制位 000: 关闭 001: 1倍增益 010: 2倍增益 011: 4倍增益 100: 8倍增益 101: 16倍增益 110: 24倍增益 111: 32 倍增益

SDK 中 AFEC=0x11325, 即电流通道增益 16 倍, 电压通道增益 2 倍, ADC1、ADC2、HPF 使能。

3.3 START设置(计量启动设置)

—	bit 31-23	—	—
POFF_MOD	bit 22	R/W	功率失调模式使能位 0: 禁止功率失调模式 1: 使能功率失调模式
ZXSEL<1:0>	bit 21-20	R/W	电压过零方式选择位 00: 禁止 ZX 输出 01: ZX 输出正向过零信号 10: ZX输出负向过零信号 11: ZX 输出全过零信号
-	bit 19	-	-
CF1MOD	bit 18	R/W	CF1 模式选择位 0: 输出有功绝对值能量脉冲 1: 输出正向或负向能量脉冲
CF1SEL<1:0>	bit 17-16	R/W	CF1 输出选择位

			0x: 禁止 CF1 输出 10: CF1输出正脉冲 11: CF1 输出负脉冲
—	bit 15-10	—	—
CRC2_EN	bit 9	R/W	CRC2自动校验使能位 0: 禁止 1: 使能
CRC1_EN	bit 8	R/W	CRC1自动校验使能位 0: 禁止 1: 使能
ERCLR	bit 7	R/W	能量寄存器清零选择位 0: 禁止读取后清零 1: 使能读取后清零
FP_EN	bit 6	R/W	相角和电压频率测量使能位（仅在 ZX_EN 使能时有效） 0: 禁止 1: 使能
ZX_EN	bit 5	R/W	过零功能使能位 0: 禁止 1: 使能
APPF_EN	bit 4	R/W	视在功率测量使能位（仅在 RMS_EN 和 CF_EN 使能时有效） 0: 禁止 1: 使能
EA_EN	bit 3	R/W	绝对值计量使能位（仅在CF_EN使能时有效） 0: 禁止 1: 使能
CF_EN	bit 2	R/W	能量计量使能位 0: 禁止 1: 使能
RMS_EN	bit 1	R/W	有效值测量使能位 0: 禁止 1: 使能
EM_EN	bit 0	R/W	计量总使能位 0: 禁止 1: 使能

SDK 中 START=0x1200FF；即使能计量功能，使能有效值，使能能量计量，视在功率有效值，频率和相角，使能过零检测，CF1 输出有功绝对值能量脉冲。

3.4 PSTART设置(启动功率门限设置)

有功启动功率寄存器为 16 位无符号数，满幅值表示启动功率为 $\frac{k \times V_{ref}^2}{2^8 \times R \times G_i \times G_u}$ ，单位：W。

其中，R 为锰铜分流器的阻值（单位为 Ω ），k 为电压通道的分压比（ $k > 1$ ）， G_i 、 G_u 分别为电流和电压通道增益， V_{ref} 为 ADC 参考电压（ $V_{ref} = 1.3V$ ）。

由于瞬时功率存在交流分量，故为确保在启动功率时能正常启动，可略微降低启动门限值，推荐将寄存器设定为临界值的 90%或更低。

根据公式可求得 ESEM16 中 PSTART 寄存器在满幅值时启动功率约为 111.5W，现需将启动功率设为 1.1W，则 $PSTART = 0x0286$ 。

第4章 计量校准

本系统采用自校准实现，利用 MCU 读取有功平均功率寄存器 PA，再和台体下发的理论功率比较得到误差，其函数原型为 `double GetErrData(uint8_t *uBuf)`；uBuf 为接收到的台体数据的存储首地址，返回值为 $\frac{\text{芯片测量功率} - \text{台体真实功率}}{\text{台体真实功率}}$ ，函数原型见源程序 `emu.c` 文件。

计量校准步骤如下。

4.1 电压有效值增益校准

电压有效值增益校准通过赋给寄存器 EM_UGAIN 一个合适的值来实现，步骤如下：

- 1、台体输出额定电压 $U_{\text{台体}}$ ；
- 2、清零 EM_UGAIN，让电压有效值处于初始误差状态；
- 3、读取当前电压有效值 $U_{\text{测量}}$ ；
- 4、计算误差值 $\text{Err_Data} = \frac{U_{\text{台体}} - U_{\text{测量}}}{U_{\text{测量}}}$ ；
- 5、EM_UGAIN 为 $\text{Err_Data} \times 2^{15}$ 的有符号整型数据；
- 6、将得到的值写入 EM_UGAIN。

函数原型见源程序 `emu.c` 文件 `uint8_t UGAIN_Adjust(uint8_t *uBuf)` 函数。

4.2 A线电流有效值增益校准

电流有效值增益校准通过赋给寄存器 EM_IAGAIN 一个合适的值来实现，步骤如下：

- 1、台体输出额定电流 $I_{\text{台体}}$ ；
- 2、清零 EM_IAGAIN，让电流有效值处于初始误差状态；
- 3、读取当前电流有效值 $I_{\text{测量}}$ ；
- 4、计算误差值 $\text{Err_Data} = \frac{I_{\text{台体}} - I_{\text{测量}}}{I_{\text{测量}}}$ ；
- 5、EM_IAGAIN 为 $\text{Err_Data} \times 2^{15}$ 的有符号整型数据；
- 6、将得到的值写入 EM_IAGAIN。

函数原型见源程序 `emu.c` 文件 `uint8_t IAGAIN_Adjust(uint8_t *uBuf)` 函数。

4.3 有功功率增益校准

有功功率增益校准通过赋给寄存器 EM_PAGAIN 一个合适的值来实现。设 ε 为误差值：

$\varepsilon = \frac{\text{芯片测量功率} - \text{台体真实功率}}{\text{台体真实功率}}$ ，则需要调校的增益值 $G = \frac{1}{1 + \varepsilon}$ 。A 线调校增益 EM_PAGAIN 为

$(G-1) \cdot 2^{15}$ 的有符号整型数据：

$$PAGAIN = \begin{cases} INT[(G-1) \cdot 2^{15}] & (G \geq 1) \\ INT[(G-1) \cdot 2^{15} + 2^{16}] & (G < 1) \end{cases}$$

校表时操作步骤如下：

- 1、台体输出额定功率，功率因数为 1.0；
- 2、清零 EM_PAGAIN，让有功功率处于初始误差状态；
- 3、通过 GetErrData 函数得到误差值 ε （double 型）；
- 4、调整误差值为 $G-1 = \frac{1}{1+\varepsilon} - 1 = \frac{-\varepsilon}{1+\varepsilon}$ ；

$$5、PAGAIN = \begin{cases} INT[(G-1) \cdot 2^{15}] & (G \geq 1) \\ INT[(G-1) \cdot 2^{15} + 2^{16}] & (G < 1) \end{cases}；$$

- 6、将得到的值写入 EM_PAGAIN。

函数原型见源程序 emu.c 文件 uint8_t PAGAIN_Adjust(uint8_t*uBuf) 函数。

4.4 角差校准

有功功率增益校准通过赋给寄存器 EM_APHCAL 一个合适的值来实现。设芯片测量误差值为

ε ，角差校正值 APHCAL 为 $\Delta = \frac{\beta \varepsilon}{f}$ ，其中 β 为常数，值为 1.837762985×10^5 ， f 为电压频率

值。取电压频率 f 为 50Hz，则 APHCAL 为 $\Delta = 3675.52\varepsilon$ 的有符号整型数据：

$$APHCAL = \begin{cases} INT[3675.52\varepsilon] & (\varepsilon \geq 0) \\ INT[2^8 + 3675.52\varepsilon] & (\varepsilon < 0) \end{cases}$$

校表时操作步骤如下：

- 1、台体输出额定功率，功率因数为 0.5；
- 2、清零 EM_APHCAL，让角差处于初始误差状态；
- 3、通过 GetErrData 函数得到误差值 ε ；

4、 EM_APHCAL 为 $\varepsilon \times 3675.52$ 的有符号整型数据;

5、 将得到的值写入 EM_APHCAL。

函数原型见源程序 emu.c 文件 uint8_t PH_Adjust(uint8_t *Buf) 函数。

4.5 线有功功率的失调补偿校准

有功功率的失调补偿校准通过赋给寄存器 EM_PAOFF 一个合适的值来实现，步骤如下：

1、 台体输出额定功率的 5%，功率因数为 1.0;

2、 清零 EM_PAOFF，让失调补偿处于初始误差状态;

3、 通过 GetErrData 函数得到误差值 $\text{err_data} = \frac{\text{芯片测量功率} - \text{台体真实功率}}{\text{台体真实功率}}$;

4、 设 temp32_p 为台体下发功率:

```
if (err_data >= 0)
```

```
    paoff = ~( (double)temp32_p.B32 * err_data / 32)+1;
```

```
else
```

```
    paoff = (double)temp32_p.B32 * (-err_data) / 16;
```

5、 将得到的值写入 EM_PAOFF;

函数原型见源程序 emu.c 文件 Uint08 PAOFF_Adjust(Uint08 *Buf) 函数。

第5章 测量值读取

以上得到的校准值在以后每次初始化计量芯片时须写入计量芯片，系统可以读取准确的测量值，并且计量芯片 CF1 管脚输出高精度的有功电能脉冲。由于计量芯片每 320ms 刷新一次数据，故初始化完成后大于 320ms 后方可读取准确值。

5.1 读电压有效值

电压有效值从 EM_URMS 寄存器读取，得到一个 24 位数据 DATA，则电压有效值：

$$U = \frac{DATA \times k \times V_{ref}}{Gu \times 2^{24}} \quad (\text{单位: V}), \text{ 其中 } k \text{ 为电压通道的分压比 } (k > 1), Gu \text{ 为电压通道增益,}$$

Vref 为 ADC 参考电压 (Vref=1.3V)。程序中将电压值转换为 BCD 码后保存在 g_Emu_Data 结构体中，其中最后 1 位为小数位。详细见 emu.c 文件 void Read_UIP(void) 函数。

5.2 读电流有效值

电流有效值从 EM_IARMS 寄存器读取，得到一个 24 位数据 DATA，则电流有效值：

$$I = \frac{DATA \times V_{ref}}{R \times Gi \times 2^{24}} \quad (\text{单位: A}), \text{ 其中 } R \text{ 为锰铜分流器的阻值, } Gi \text{ 为电流通道增益, } V_{ref} \text{ 为 ADC}$$

参考电压 (Vref=1.3V)。程序中将电流值转换为 BCD 码后保存在 g_Emu_Data 结构体中，其中最后 3 位为小数位。详细见 emu.c 文件 void Read_UIP(void) 函数。

5.3 读有功平均功率

有功平均功率从 EM_PA 寄存器读取，得到一个 32 位有符号数 DATA，以二进制补码形式表示，

$$\text{负数代表实际的电能方向为负向, 则有功平均功率: } PA = \frac{DATA \times k \times V_{ref}^2}{R \times Gi \times Gu \times 2^{31}} \text{ 其中 } R \text{ 为锰铜分流器}$$

的阻值 (单位为 Ω), k 为电压通道的分压比 ($k > 1$), Gi、Gu 分别为电流和电压通道增益, Vref 为 ADC 参考电压 (Vref=1.3V)。程序中将功率转换为 BCD 码后保存在 g_Emu_Data 结构体中，其中最后 4 位为小数位。详细见 emu.c 文件 void Read_UIP(void) 函数。

5.4 读视在功率

视在功率即为电压有效值和 A 线电流有效值的乘积， $S_A = U \times I_A$ 。

也可从 SA 寄存器读取，数据计算方法与 PA 寄存器相同。

5.5 读功率因数

功率因数 = $\frac{P_A}{S_A}$ ，也可从 EM_AFAC 寄存器读取，得到一个 16 位数据 DATA，则测量功率因

数值： $AFAC = \frac{DATA}{2^{15}}$ 。程序中将功率因数转换为 BCD 码后保存在 g_Emu_Data 结构体中，其中最后 3 位为小数位。详细见 emu.c 文件 void Read_UIP(void) 函数。

5.6 读电压频率

电压频率从 EM_FRQ 寄存器中读取，得到一个 16 位无符号数 DATA。则电压频率：

$$f = \frac{DATA}{2^8} \quad (\text{单位: Hz})$$

程序中将功率因数转换为 BCD 码后保存在 g_Emu_Data 结构体中，

其中最后 3 位为小数位。详细见 emu.c 文件 void Read_UIP(void) 函数。

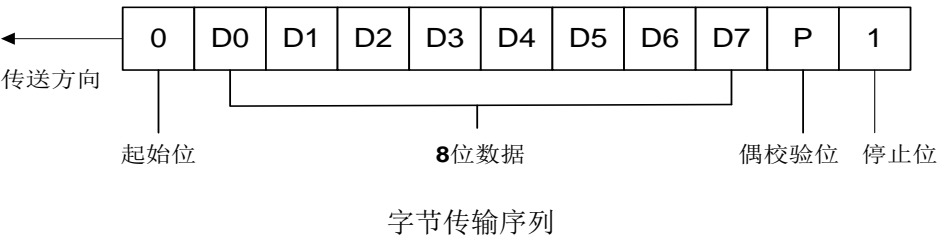
附录1 串口通信协议

附录1.1 数据链路层

本协议为主-从结构的半双工通信方式。PC 机为主机，SDK 为从机。每帧由帧起始符、从站地址域、控制码、数据域长度、数据域、帧信息纵向校验码及帧结束符 7 个域组成。每部分由若干字节组成。

附录1.1.1 字节格式

每字节含 8 位二进制码，传输时加上一个起始位(0)、一个偶校验位和一个停止位(1)， 共 11 位。其传输序列如下图所示。D0 是字节的最低有效位，D7 是字的最高有效位。先传低位，后传高位。



附录1.1.2 帧格式

帧是传送信息的基本单元。帧格式如下表所示。

说 明	代 码
帧起始符	68H
地址域	A0
	A1
	A2
	A3
	A4
	A5
帧起始符	68H
控制码	C
数据域长度	L
数据域	DATA
校验码	CS
结束符	16H

帧格式

帧起始符 68H

标识一帧信息的开始，其值为 0x68(0110 1000b)。

地址域 A0~A5

地址域由 6 个字节构成，地址域传输时低字节在前，高字节在后。

本系统未用到地址域，全部以 0x00 填充。

控制码 C

主机至从机的控制码：

- ◆ 0x1F：校表命令、读写计量寄存器命令
- ◆ 0x11：读数据命令

从机至主机：

- ◆ 0x9F、0x91：正常应答
- ◆ 0xDF、0xD1：异常应答

数据域长度 L

L 为数据域的字节数。 $L=0$ 表示无数据域。

数据域 DATA

数据域包括数据标识与数据，其结构随控制码的功能而改变。传输时发送方按字节进行加 0x33 处理，接收方按字节进行减 0x33 处理。

校验码 CS

从第一个帧起始符开始到校验码之前的所有各字节的模 256 的和，即各字节二进制算术和，不计超过 256 的溢出值。

结束符 16H

标识一帧信息的结束，其值为 0x16(0001 0110b)。

附录1.1.3 传输**时间间隔**

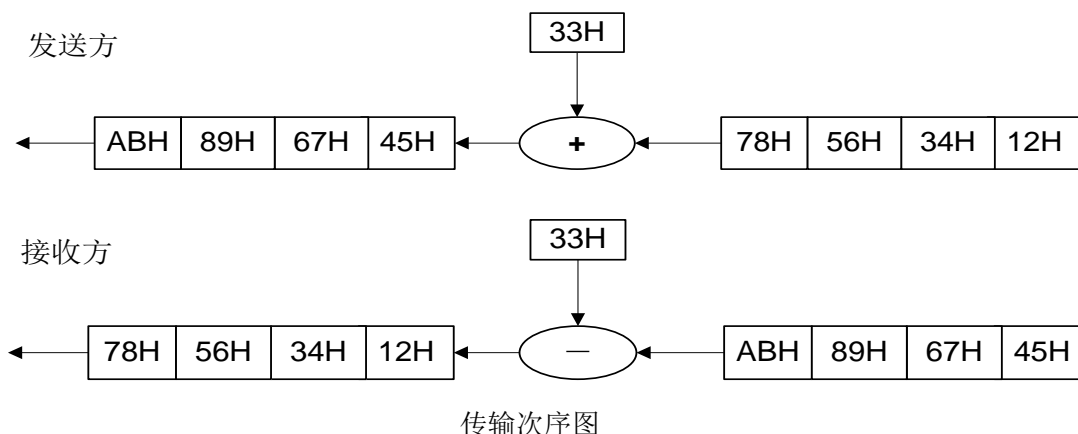
每次通信都是由主站向按信息帧地址域选择的从站发出请求命令帧开始，被请求的从站接收到命令后作出响应。

收到命令帧后的响应延时 T_d : $20\text{ms} \leq T_d \leq 500\text{ms}$ 。

字节之间停顿时间 T_b : $T_b \leq 500\text{ms}$

传输次序

所有数据项均先传送低位字节，后传送高位字节。数据传输的举例：电能量值为 123456.78kWh，其传输次序下图所示。



传输响应

不同的指令响应时间不同。其中功率、角差的校准需要较多时间，约 3 秒。

差错控制

字节校验为偶校验，帧校验为纵向信息校验和，若检验错误将返回错误代码。

通信速率

波特率为 9600bps。

附录1.2 应用层

附录1.2.1 读数据

主站请求帧

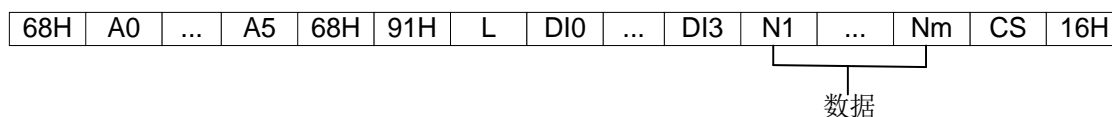
- ◆ 功能：请求读电能表数据
- ◆ 控制码：C=11H
- ◆ 数据域长度：L=04



数据标识见本附录 3.2.1 读数据命令

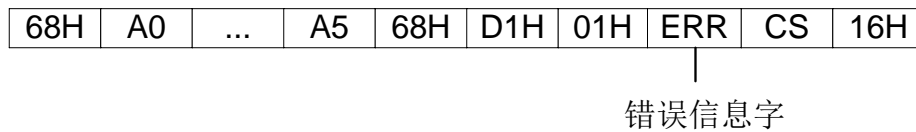
从站正常应答帧

- ◆ 控制码：C=91H
- ◆ 数据域长度：L=04+m（数据长度）



从站异常应答帧

- ◆ 控制码: C=D1H
- ◆ 数据域长度: L=04+m (数据长度)

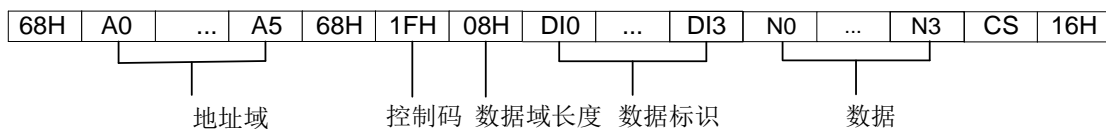


此处错误信息字恒为 01H。

附录1.2.2 校表命令

主站请求帧

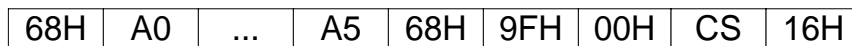
- ◆ 功能: 电表校表
- ◆ 控制码: C=1FH
- ◆ 数据域长度: L=08



数据标识见本附录 3.2.2 校表命令

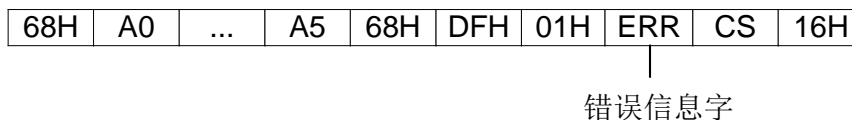
从站正常应答帧

- ◆ 控制码: C=9FH
- ◆ 数据域长度: L=00H



从站异常应答帧

- ◆ 控制码: C=DFH
- ◆ 数据域长度: L=01H

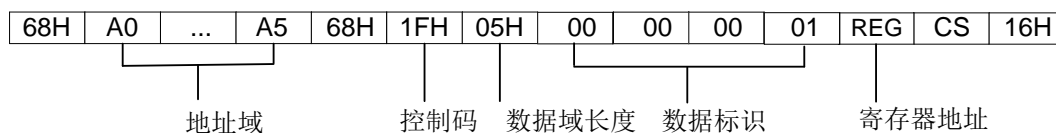


错误信息字含义见本附录 2.5 错误信息字

附录1.2.3 读计量芯片寄存器

主站请求帧

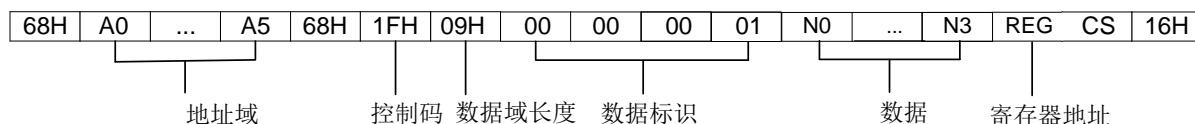
- ◆ 功能: 读计量寄存器
- ◆ 控制码: C=1FH
- ◆ 数据域长度: L=05H
- ◆ 数据标识: 00000001H



数据标识见本附录 3.2.3 读计量寄存器命令

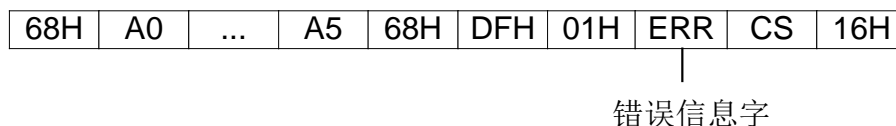
从站正常应答帧

- ◆ 控制码: C=9FH
- ◆ 数据域长度: L=04H



从站异常应答帧

- ◆ 控制码: C=DFH
- ◆ 数据域长度: L=01H

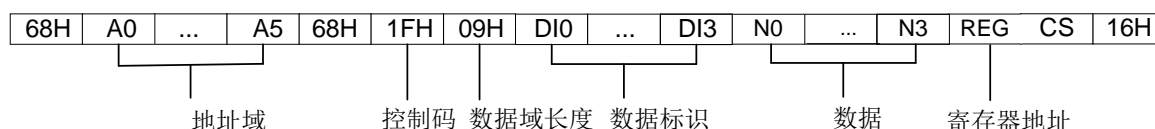


错误信息字含义见本附录 2.5 错误信息字

附录1.2.4 写计量芯片寄存器

主站请求帧

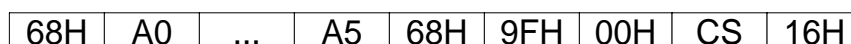
- ◆ 功能: 写计量寄存器
- ◆ 控制码: C=1FH
- ◆ 数据域长度: L=09H
- ◆ 数据标识: 01000100H



数据标识见本附录 3.2.4 写计量寄存器命令

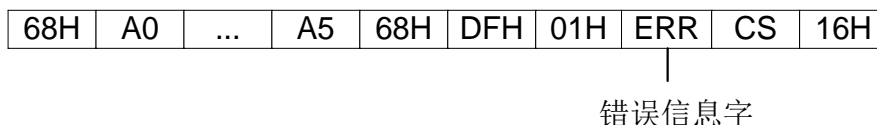
从站正常应答帧

- ◆ 控制码: C=9FH
- ◆ 数据域长度: L=00H



从站异常应答帧

- ◆ 控制码: C=DFH
- ◆ 数据域长度: L=01H



错误信息字含义见本附录 2.5 错误信息字

附录1.2.5 错误信息字

校表命令、读计量寄存器、写计量寄存器命令错误信息字的含义如下表：

错误信息字	错误内容
1	帧错误，长度与声明的不符
2	帧错误，起始符/终止符错误
3	帧错误，帧校验错误
4	帧错误，控制码不匹配
5	执行错误，执行失败
6	执行错误，无此执行项

附录1.3 数据标识

附录1.3.1 数据标识结构

数据标识编码用四个字节区分不同数据项，四字节分别用 DI₃、DI₂、DI₁ 和 DI₀ 代表，每字节采用十六进制编码。

DI ₃	DI ₂	DI ₁	DI ₀
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

附录1.3.2 数据编码

读数据命令

数据标识				数据格式	数据长度	单位	读写	数据项名称
DI3	DI2	DI1	DI0					
02	01	01	00	XXX.X	2	V	读	A 相电压
02	02	01	00	XXX.XXX	3	A	读	A 相电流
02	03	00	00	XX.XXXX	3	KW	读	瞬时总有功功率
02	06	00	00	X.XXX	2	。	读	总功率因数
02	80	00	02	XX.XX	2	HZ	读	电网频率

校表命令

数据标识				下发数据格式	单位	小数位数	数据项名称
DI3	DI2	DI1	DI0				
01	00	00	00	00 00 00 00			校表初始化
01	00	00	01	XXXXXXXX.X(台体电压 BCD)	V	1	电压校准(100% U)

数据标识				下发数据格式	单位	小数位数	数据项名称
DI3	DI2	DI1	DI0				
01	00	00	02	XXXXX.XXX(台体电流 BCD)	A	3	A 线电流校准(100% U,100% Ia)
01	00	00	03	XXXX.XXXX(台体有功功率 BCD)	W	4	A 线功率校准(100% U,100% Ia,1.0 L)
01	00	00	04	XXXX.XXXX(台体有功功率 BCD)	W	4	角差校准(100% U,100% Ia,0.5 L)
01	00	00	05	XXXX.XXXX(台体有功功率 BCD)	W	4	A 线功率失调校准(100% U,5% Ia,1.0 L)
01	00	00	FF	00 00 00 00			清除电量

读计量寄存器命令

数据标识				下发数据格式	接收数据格式	读写	数据项名称
DI3	DI2	DI1	DI0				
00	00	00	01	XX (8 位寄存器地址)	XX XX XX XX(寄存器值 32 位数据)	读	读计量寄存器

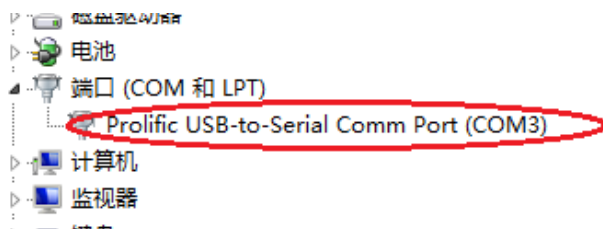
写计量寄存器命令

数据标识				下发数据格式	读写	数据项名称
DI3	DI2	DI1	DI0			
01	00	01	00	XX+XXXXXXXX(8 位寄存器+32 位数据)	写	写计量芯片寄存器

附录2 上位机通讯软件

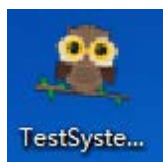
附录2.1 使用前的连接

使用上位机通讯软件前请按照 1.2.1.4 操作方法章节正确连接 SDK。连接正常情况下计算机的设备管理器中会增加一个串口，如下图所示，请记住此 COM 口的序号。

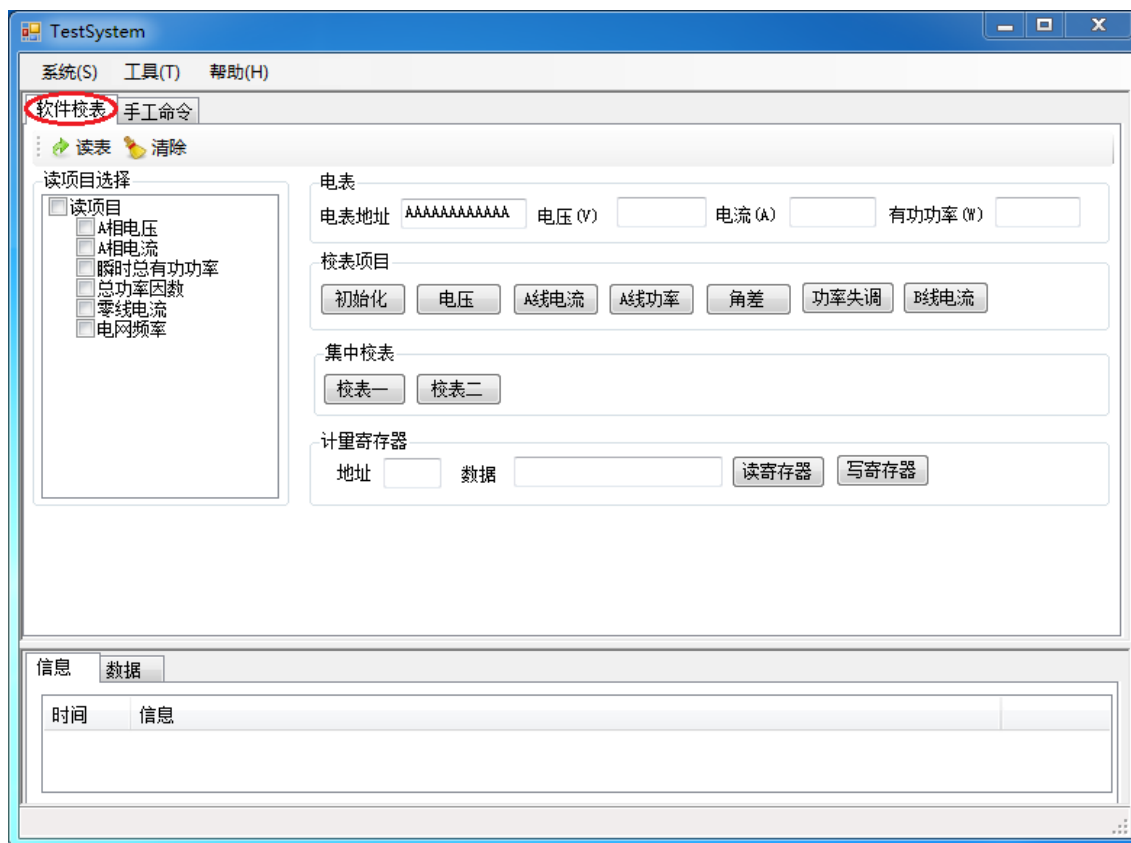


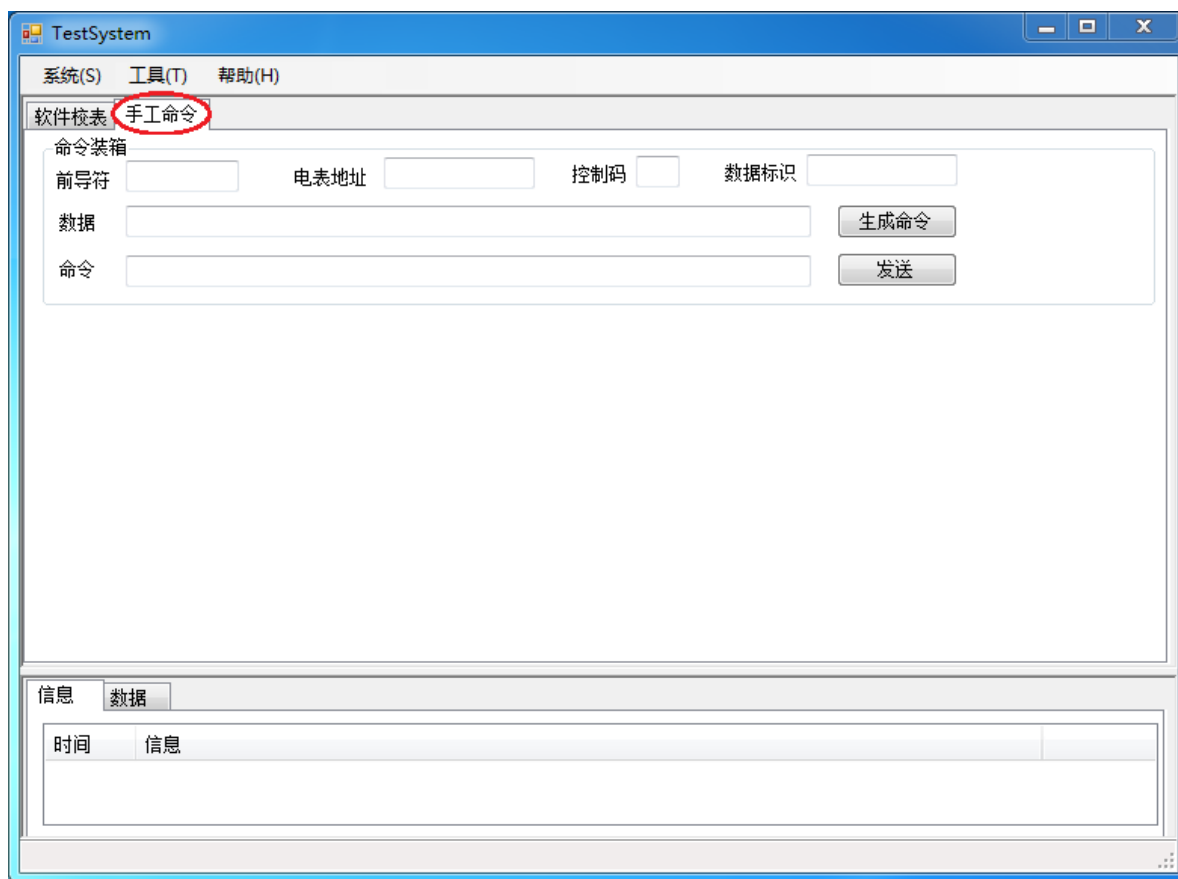
附录2.2 使用指南

上位机通讯软件的图标如下图所示，双击打开。



软件中包含“软件校表”与“手工命令”两个选项卡。界面如下图所示：





使用前需设置通讯端口。点击“系统”——“通讯模式”，会弹出以下对话框，通讯模式请选择串口，串口编号请选择 SDK 对应的串口号，波特率选择 9600。

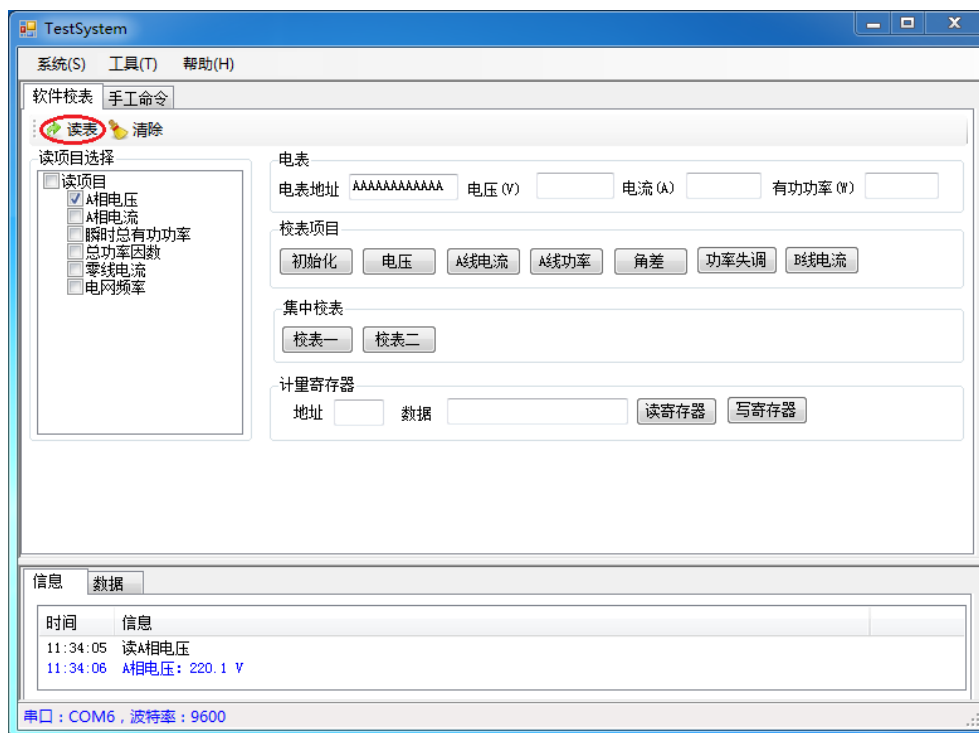


“软件校表”选项卡主要包含三个功能：读参数，校表，读写计量寄存器。

附录2.2.1 读参数

支持 A 相电压、A 相电流、瞬时总有功功率、总功率因数、零线电流、电网频率这 6 个参数的读取。

如读 A 相电压的操作步骤：在“读项目选择”中选择“A 相电压”，点击“读表”按钮，读出的数据显示在下面的“信息”框中，如下图所示。



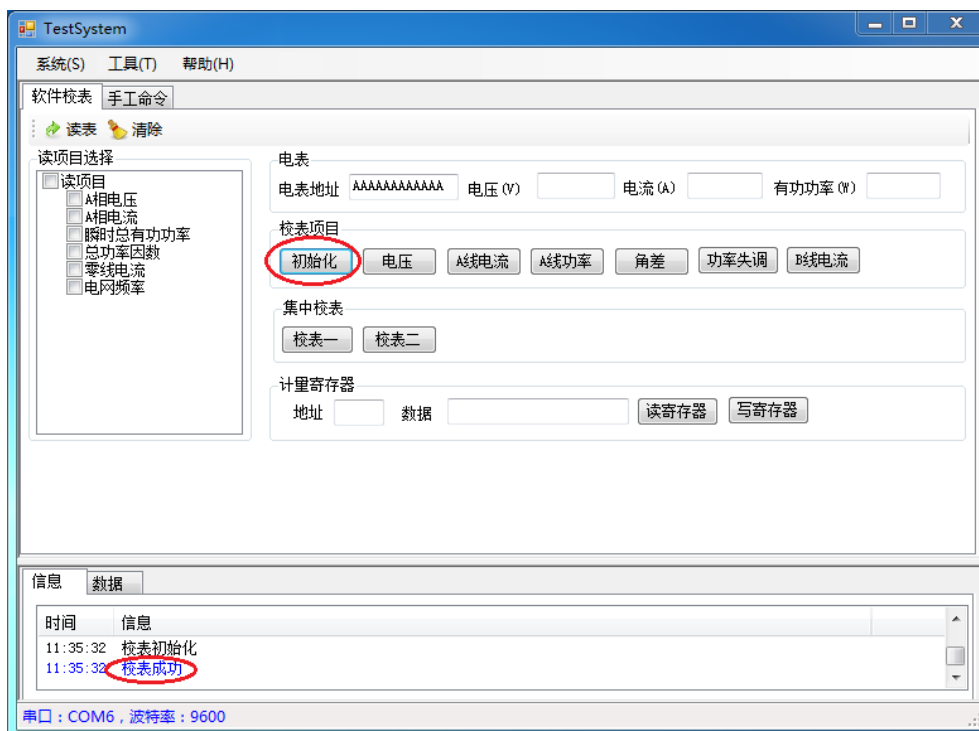
点击“清除”按钮可清除 SDK 计量的电量。

附录2.2.2 校表

软件校表需要按以下步骤进行：

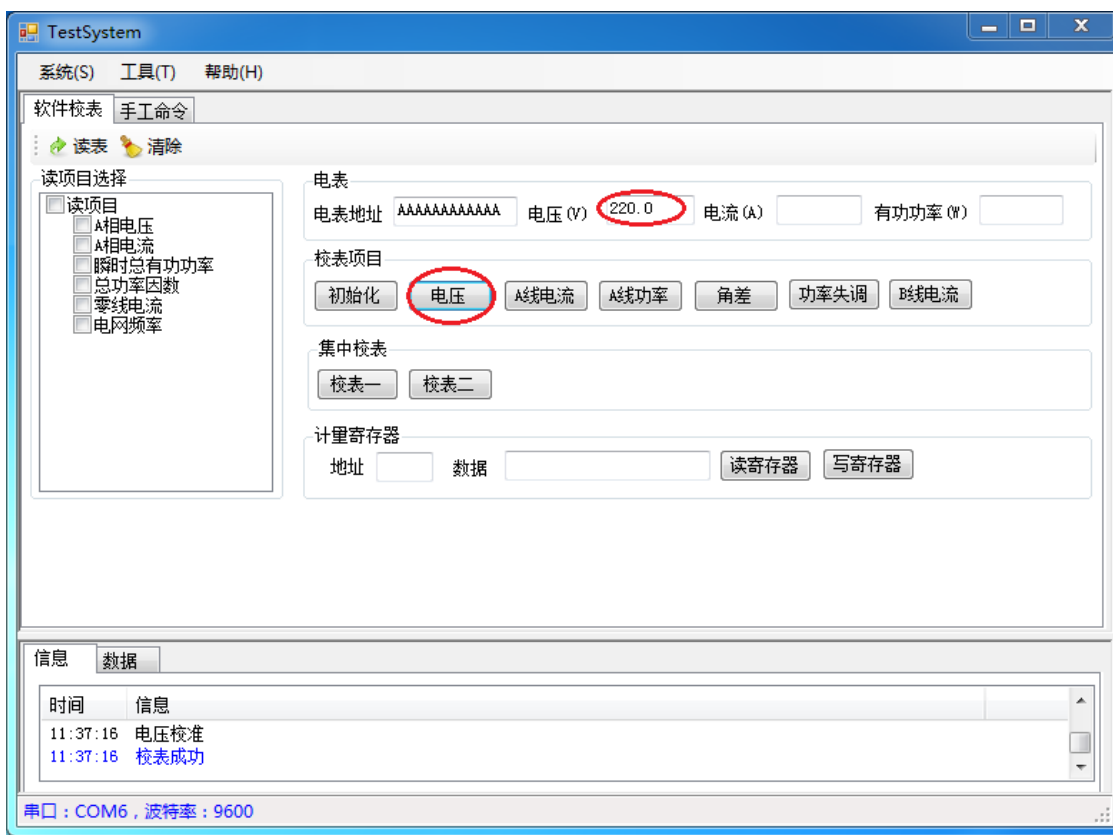
初始化

校表项目中点击“初始化”按钮，提示“校表成功”。如下图所示。



电压校准

在“电表”一栏中的“电压 (V)”框中输入当前校表台的电压，点击“电压”按钮。



电流校准

在“电流 (A)”框中输入当前校表台的电流，点击“A 线电流”按钮。

功率校准

台体输出固定电流，功率因数为 1。在“有功功率 (W)”框中输入当前校表台的下发功率，点击“A 线功率”按钮。

角差校准

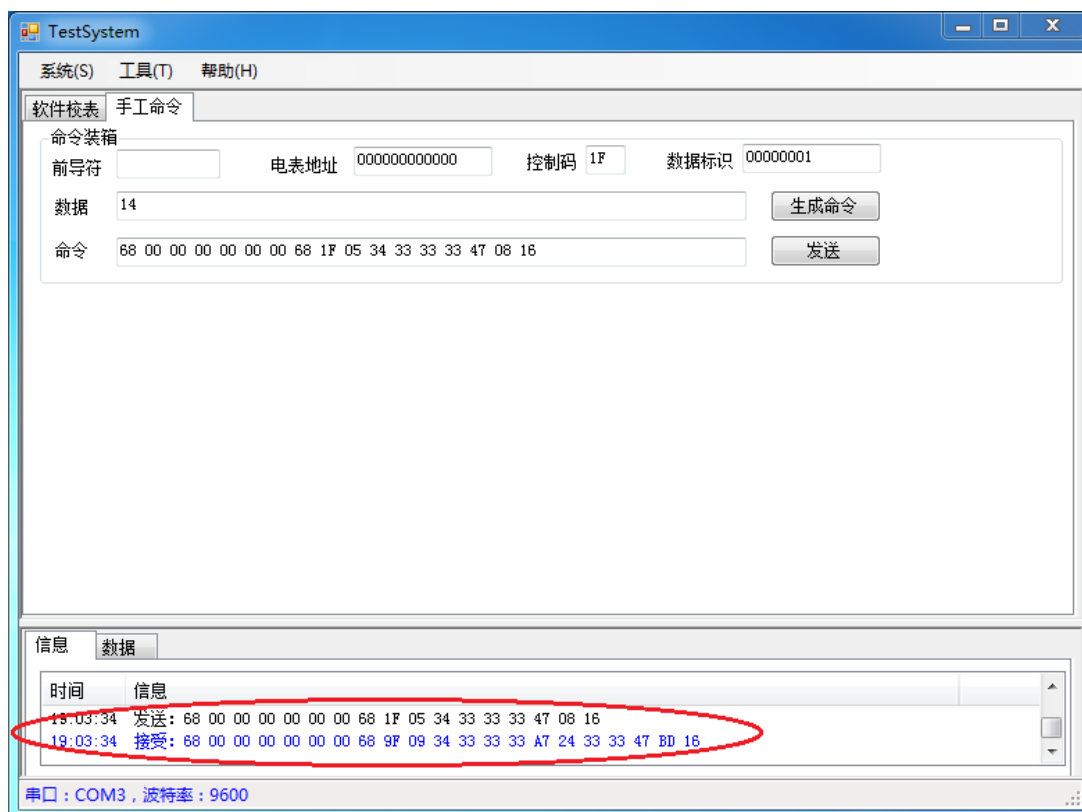
台体输出固定电流，功率因数为 0.5。在“有功功率 (W)”框中输入当前校表台下发的有功功率，点击“角差”按钮。

失调校准

台体输出固定电流的 5%，功率因数为 1。在“有功功率 (W)”框中输入当前校表台下发的功率，点击“功率失调”按钮。

附录2.2.3 手工命令

点击“手工命令”选项卡，此处可通过输入前导符、通讯地址、控制码、数据标示、数据这 5 个信息自动生成报文，报文的收发显示在下方的“信息”栏中。如下图所示的是手动组建一个读取计量寄存器 14H 的命令帧。



附录3 原理图

