

## DDSF 系列电能表的设计方案

### 1.1 DDSF 系列电能表设计方案概述

DDSF 系列电能表的硬件电路设计由电源电路设计、计量电路设计、通讯电路设计、MCU 及其它部分电路设计四大部分组成。其中核心部分是计量电路的设计，它是电能表计量准确性的关键部分，是电能表计量功能的体现，但是其他部分也是缺一不可的，特别是单片机控制器，它是电能表系统的灵魂，实现系统中各个部件协调控制，人机交互，多费率控制等等重要的功能。

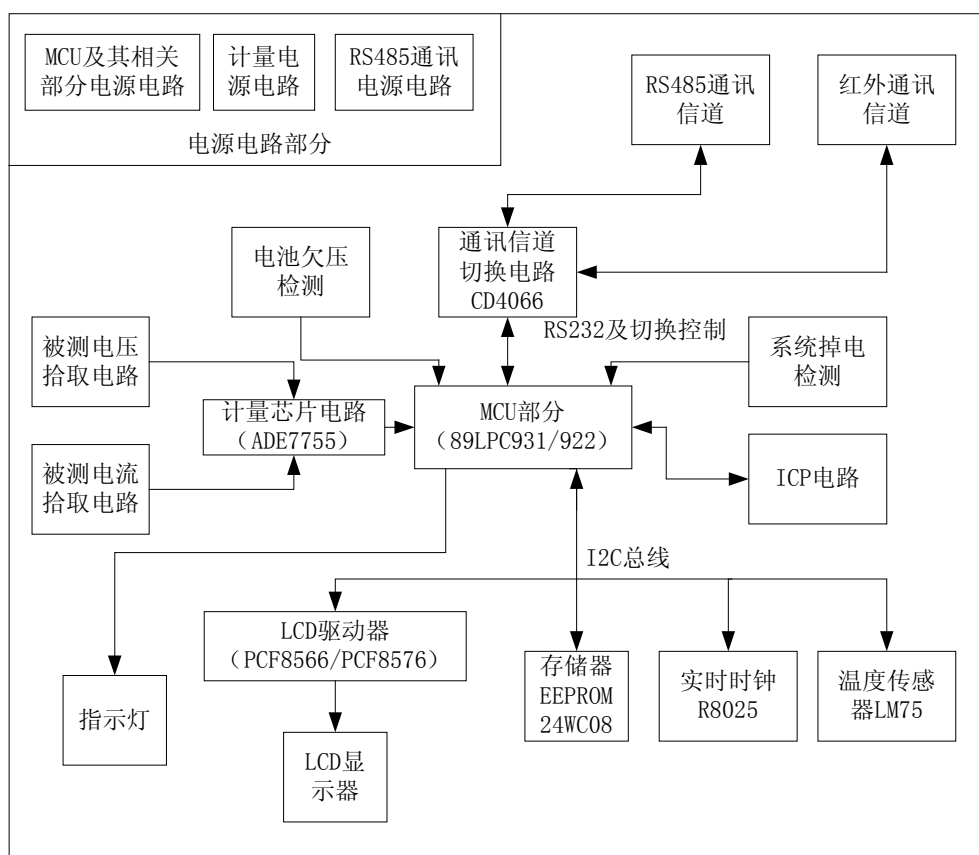


图 1.1 DDSF 系列电能表硬件组成框图

由上图所示，电源电路为了提高系统的抗干扰性、可靠性，分为三个独立的电源，使计量电路，RS485 通讯和 MCU 的电源相互隔离，达到互不影响的目的，但是它们使用同一个变压器，所以应注意变压器的选择。在计量电路部分，ADE7755 芯片是一个数模混合的电路，因此设计较为困难，要到达良好的计量效果，要采取一定的抗干扰措施（比如数字地和模拟地应在 PCB 板上单点连接），特别是在对电流、电压采样的电路直接接在外部线路上，干扰比较严重。I<sup>2</sup>C 总线在整个系统中占有重要的地位，它关系到 LCD 显示、电量数据存储、时间和日期的读取等等，它是 MCU 与外部设备的接口，是 MCU 获取信息的窗口，并且根据外部信息作出相应的判断和动作（比如冻结时间到，MCU 作出冻结电量事件发生）。在通讯电路中，电能表有两个通讯信道（红外信道、RS485 通讯信道），在通讯发生时 MCU 要判断是那个信道进行通讯，并且接收通讯帧，判断是否正确，并执行通讯命令。从上面可以看出

MCU的作用，它是系统的控制器，起着决定性的作用。

DDSF 系列电能表的软件系统是整个电能表系统的灵魂，它是系统的神经中枢，它是整个系统的控制、指挥中心。电能表软件系统的算法设计在整个电能表系统设计中占有重要的一个环节，控制算法的优劣对整个系统正确、可靠的运行有决定性的影响，因此在进行电能表软件系统的算法设计时，要仔细、反复地进行设计、论证，考虑各个方面地因素，使控制算法正确、可靠。

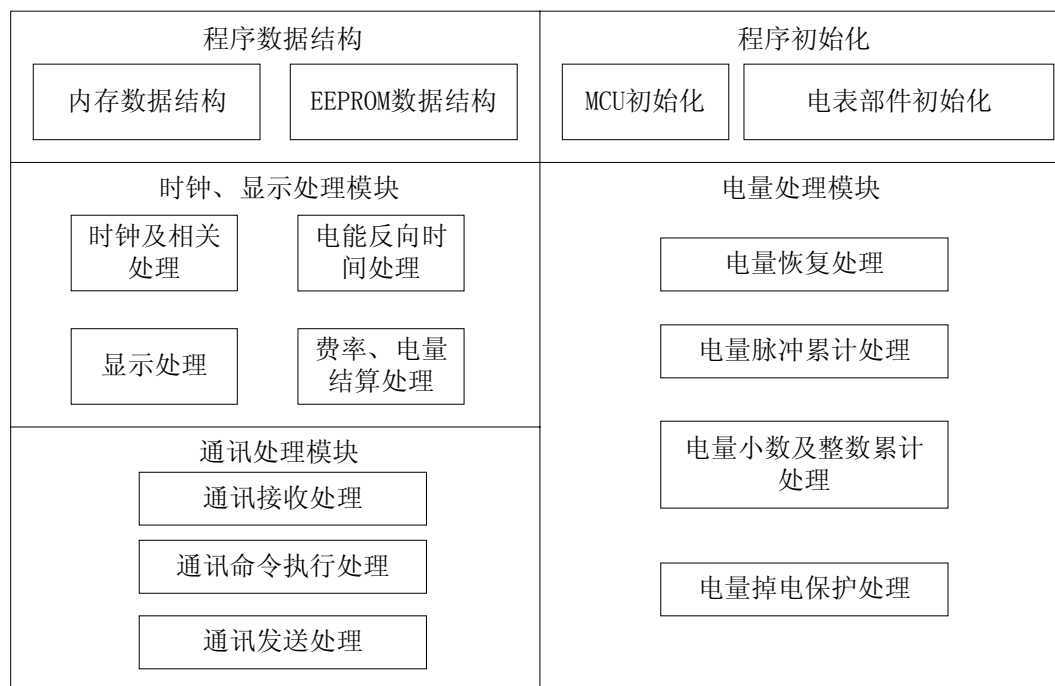


图 1.2 DDSF 系列电能表的软件系统结构框图

DDSF 系列电能表的软件系统包括程序数据结构模块、程序初始化模块、时钟及显示处理模块、通讯处理模块和电量处理模块五大部分组成，各个部分都有其特殊的任务，在电表系统中完成它们相应的功能。

程序数据结构模块是对程序中的数据进行分析，合理的分配数据内存，定义程序涉及的变量。它是根据整个程序的算法来制定的，同时一个好的数据结构对整个程序的写作有非常重要的作用，因此根据电能表软件系列实现的功能及其算法制定合理的数据结构。DDSF 系列电能表的数据结构包括两个部分：MCU 内存数据结构和 EEPROM 数据结构。

程序初始化模块是对整个程序进行初始化，它包括两个部分：MCU 初始化和电表各部件初始化。MCU 初始化是对 MCU 各部件进行初始化，为各部件在程序工作时提供合适的初始状态，它包括配置 I/O 口工作模式、看门狗初始化、定时器初始化、键盘中断初始化、串口中断初始化、比较器中断初始化等等。电表各部件初始化是对电能表系统各部件进行配置工作状态，初始化它们的工作方式，为程序工作提供电表部件初始状态，它包括指示灯初始化、LCD 显示初始化、实时时钟初始化、电量恢复、通讯信道、历史电量处理等等部件的初始化。

时钟、显示处理模块是程序系统中进行时钟和显示处理的模块，是通过对当前时钟的比较，对有关时钟事件是否发生进行判断，程序对时钟事件作出处理，可以说时钟就是这个程序模块的节奏，告诉程序哪个事件在什么时候发生。比如说显示数据刷新事件，它是 1S 的时间对显示数据进行刷新，当时间间隔 1S 时，显示数据刷新事件发生，程序进行显示数据刷新处理。它包括时钟及其相关处理、显示事件处理、电能反向时间事件处理、费率和电量

结算事件处理等等部分组成的。

通讯处理模块是电能表系统进行外界通讯的模块，它是依照国标的通讯规程编写的一个软件模块，它包括通讯接收处理、通讯命令处理及通讯发送处理，当通讯接收到一帧正确的数据时，通知程序通讯命令处理事件发生，执行通讯命令解释及执行命令操作，当命令要求发生通讯数据时，通讯发送事件发送，进行通讯数据发送。同时由于通讯信道有红外信道和 RS485 信道两个信道，在通讯时应判断是哪一个是哪一个信道进行通讯的。

电量处理模块是电能表系统中实现电能计量的程序，是实现其基本功能的程序，这部分程序也是电能表软件系统中最为关键的程序，其计量的正确性，可靠性及电量数据储存的正确性是关系到整个系统的成败，关系到全局，因此这部分计量的算法要设计正确、合理。它包括 MCU 上电对各电量值的恢复、对各电量脉冲的累计、对各电量小数整数累计、及对电量掉电保护等程序，在电量脉冲累计一定值是，电量小数加 1 事件发生，当电量小数累计一定值时，电量整数加 1 事件发生，执行电量整数累计程序。

由上可知，DDSF 系列电能表的软件系统是由五大部分组成的，每一个部分完成其特定的任务，而且是缺一不可的，同时各个模块之间存在着一定的联系，存在着数据交换的可能，它们不是相互独立的，而是相互联系、统一，形成整个电能表软件系统。

## 1.2 DDSF 系列电能表硬件系统

### 1.2.1 电源电路部分

DDSF 系列电能表的电源电路分为三个部分：电量计量电源电路、RS485 通讯电源电路、MCU 及其相关部分电源电路。电源电路提供系统运行的能量，所以在进行电源电路设计时保证原理正确的前提下考虑电源容量并保证一定的工程余量，同时计算各个元件的电流、电压值，选择合适的元件参数。

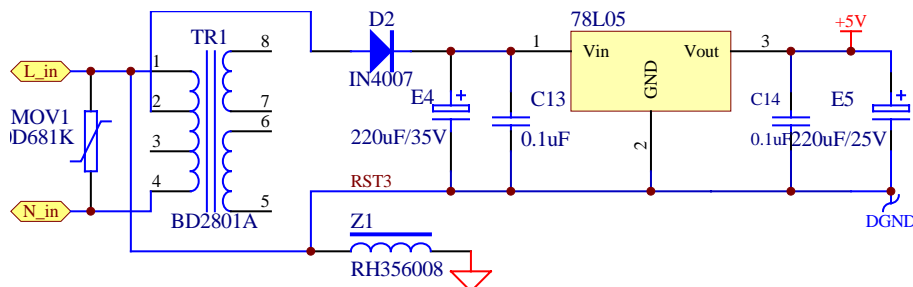


图 1.3 电量计量电源电路

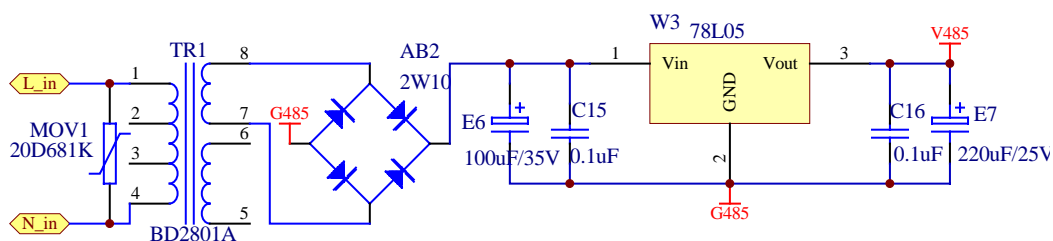


图 1.4 RS485 通讯电源电路

以上两个电源电路是一种标准设计的电源电路，通过降压、整流、稳压和滤波四个环节，得到 5V 的直流电压。整个电源电路是以 78L05 这种稳压芯片进行设计的，是一种串联的稳压电路。

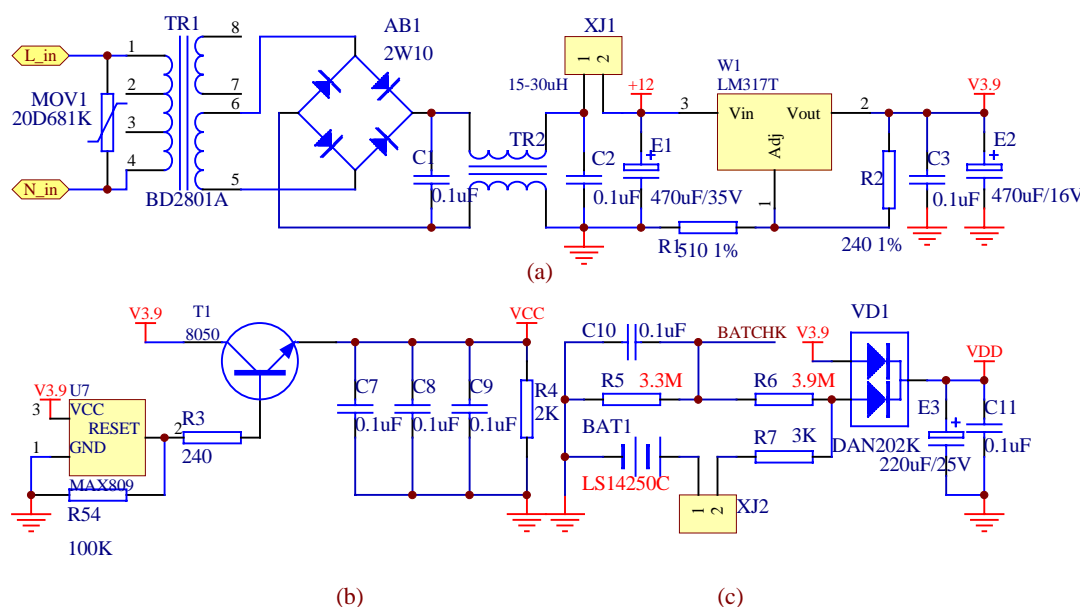


图 1.5 MCU 及其相关部分电源电路

### 1. a 部分电路原理说明

通过电网输入 220V 的交流电源，通过变压器 TR1 降压，在 5、6 端产生 12V 的交流电源，通过 AB1 全波整流集成块及 C1、TR2、C2、E1 滤波（C1、TR2、C2 构成差分滤波网络），产生一个带有一定脉动分量的直流电。在通过并联稳压集成电路 LM317，同时调整 R1、R2 的比值，得到所需电压值（3.9V）。

### 2. b 部分电路原理说明

LPC900 系列单片机存在着一个问题：在电源上电的时候，如果上电缓慢时，单片机出现复位错误，程序不能正确运行。为了解决这个问题，采用快速上电的方法，利用 MAX809 电源监控芯片，当上电电源达到电压阈值时，T1 三极管导通，开通电源通道，达到 MCU 快速上电的目的，VCC 的电压为 V3.9 减 0.7V 得到 3.3V 电压值。

### 3. c 部分电路原理说明

由于有后备电池的原因，要解决实时时钟芯片电源的问题，采取的原则是：电网正常供电时，从电网吸收电能，但是不能进行对电池充电，电网停电时，电池只对实时时钟芯片供电。采用二极管或逻辑的方式，对 V3.9 和电池电压进行选择。

当电网正常供电时，V3.9 的电压为 3.9V，大于电池电压，由于 VD1 器件的作用，VDD 选择 V3.9 电源供电。当电网停电时，由于 VD1 器件的作用，VDD 选择电池电源供电，同时电池通过 R7 限流对时钟芯片供电。

电路中有电池电压检测网络，检测网络有 R5、R6 和 C10 组成的，由于 R5、R6 远远大于 R7，所以可以忽略 R7 的影响，检测网络的电流几乎等于零，也不消耗电池的能量。

## 1.2.2 计量电路部分

DDSF 系列电能表的计量电路部分主要是针对 ADE7755 计量芯片的电路设计，主要包括：抗混滤波器的设计、电压通道电路设计、电流通道电路设计、其它电路部分设计。

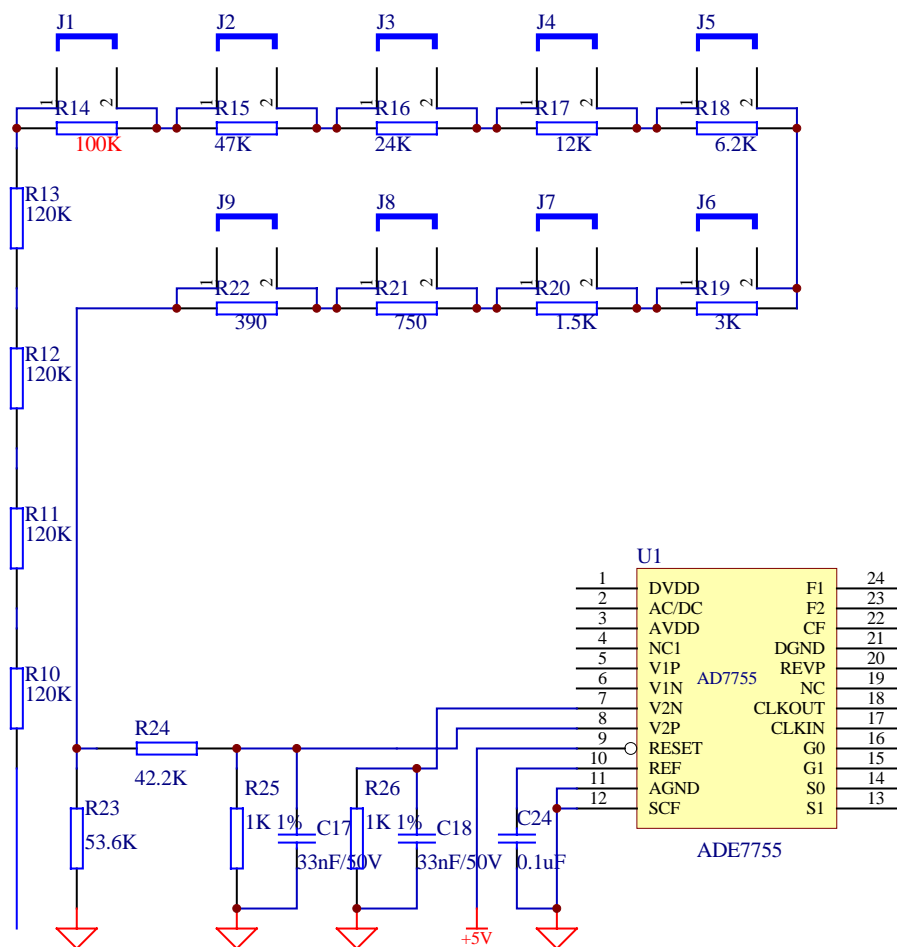


图 1.6 电压通道电路图

从电路理论分析，电压通道电路实际上是一个分压电路，通过电阻分压，确保 ADE7755 电压通道中信号电压在其工作的范围内。由于电能表工作的实际环境和元件参数的误差，在电压衰减网络中，设计一个电阻调整网络，可在一定范围内调整信号电压的大小，校验 ADE7755 电能输出脉冲的频率，调整电能表的精度，因此电压衰减网络又称校验网络。

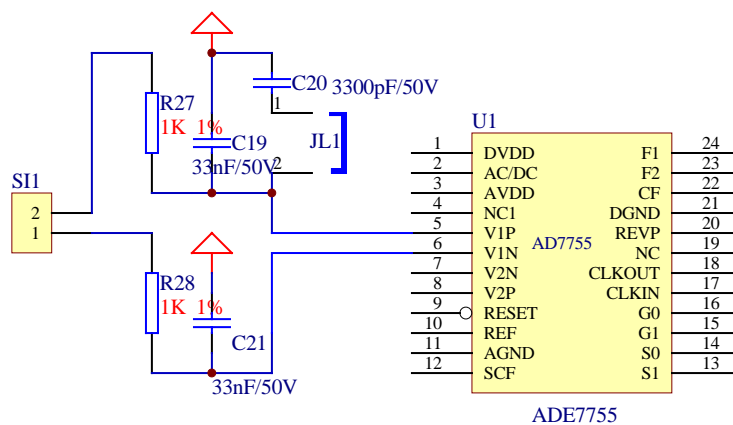


图 1.7 电流通道电路图

电流通道电路中，是一个 PGA 可编程的差动运算放大电路，外围电路设计主要是抗混滤波器的设计，R27C19 和 R28C21 组成两个一阶低通滤波器，滤除电流通道的高频分量。C20 是通过 JL1 跳线来选择是否作用于系统，它是补偿电流信号本身不平衡造成 ADE7755 计量电能出现比较大的误差，人为造成不平衡，使得系统达到平衡的目的。

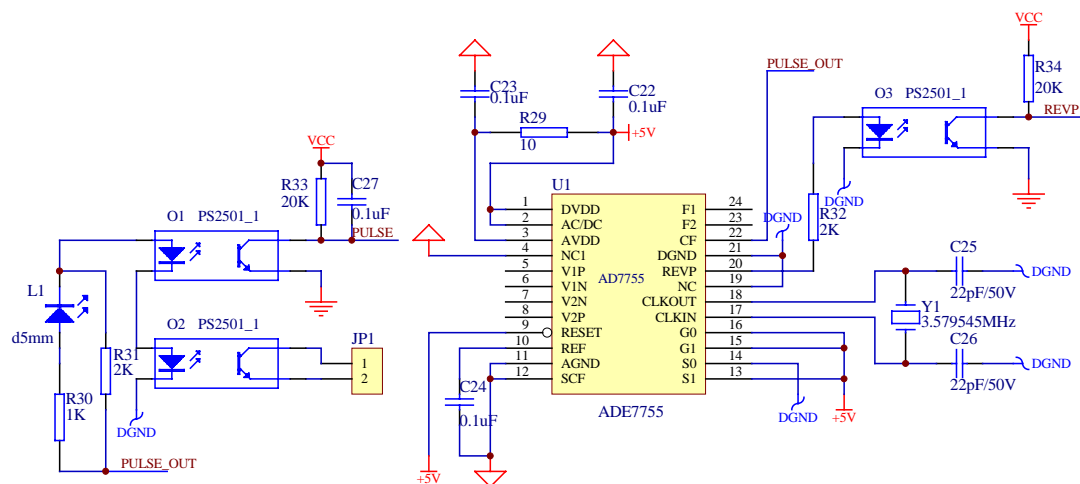


图 1.8 ADE7755 其它电路部分

DVDD 和 AVDD 通过 C22、R23、R29 组成的滤波电路连接在一起，同时 AGND 和 DGND 通过电感连接在一起，滤除干扰。选择内部基准电源，在基准电源输出端加上一个滤波电容 C24，加强内部基准不受外界干扰。ADE7755 芯片的接口电路主要是 CF 脚的输出脉冲和 REVP 脚的电能方向指示，它们是通过光藕器件和 MCU 电路进行隔离输出的。

### 1.2.3 通讯电路部分

DDSF 系列电能表有两个通讯通道，一个是 RS485 通讯信道，另一个是。RS485 通讯信道是用来和其他电能表组成 RS485 通讯网络，实现远程网络抄表；红外通讯信道是利用红外线为媒介，利用掌上抄表器进行抄表的，两个信道都是通过 MCU 的 UART 进行通讯的，判断通讯信道是一个问题。DDSF 系列电能表通讯电路由红外通讯电路、RS485 通讯电路、通讯信道切换电路组成，红外通讯电路完成红外通讯信道通讯的功能，RS485 通讯电路完成 RS485 通讯的功能，通讯切换电路判断当前通讯信道的功能。

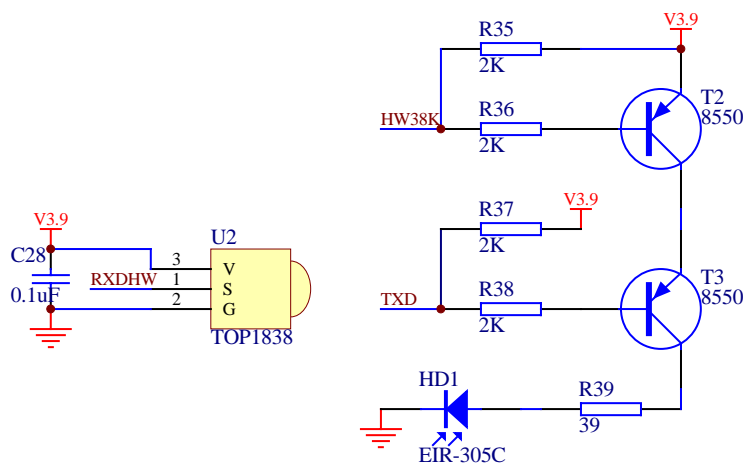


图 1.9 红外通讯电路

红外通讯电路的接收电路是由 U2 红外接收集成电路完成的, 当外界有 38k 频率的红外信号时, U8 通过内部接收电路的作用, 在 1 脚输出低电平, 否则为高电平。红外通讯电路的发射电路中, 进行红外通讯时, HW38K 端输入 38K 频率的脉冲信号, 当 TXD=1 时, T3 截止, HD1 停止发射红外信号; 当 TXD=0 时, T3 导通, HD1 加上 38K 频率的脉冲信号, 发射红外信号, 其实相当于对 TXD 信号进行 38k 脉冲调制。

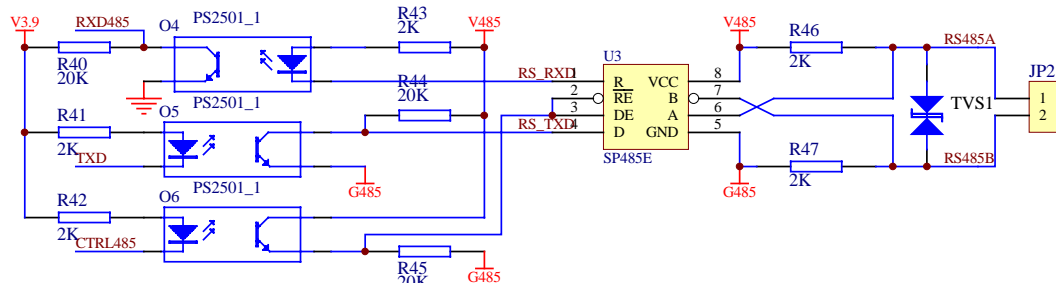


图 1.10 RS485 通讯电路

RS485 通讯电路通过 3 个光耦器件对单片机电路和 RS485 总线电路进行隔离, 提高系统的抗干扰能力, 电路中的 TVS1 管并联在 RS485 总线 A、B 线两端, 对电路进行瞬态保护作用, R46 和 R47 为偏置电阻, 进行网络失效保护。但是这个电路没有匹配电阻, 在通讯总线设计中应根据实际情况进行匹配电路的设计。RS485 通讯电路中 JP2 接口是要进行瞬变脉冲和静电干扰的, 在设计和选择 485 转换芯片要特别注意这个问题。

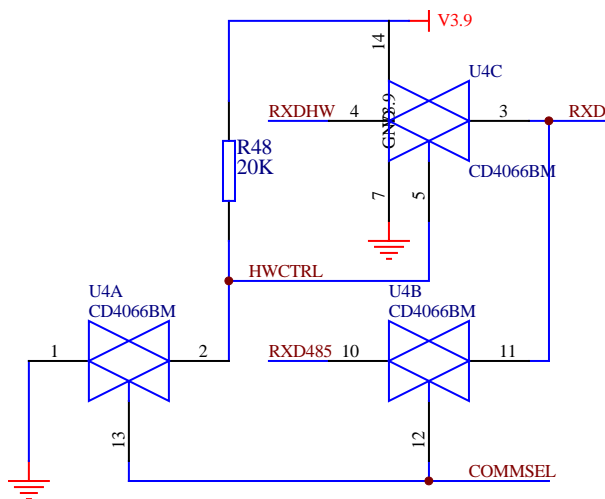


图 1.11 通讯信道切换电路

通讯信道的切换电路是判断当前的通讯信道, 发射通讯信道由 MCU 主控器保证, 通讯信道切换电路主要进行接收通讯信道的判断。

发射通讯时, 当 RS485 通讯电路中 CTRL485=1 不允许发送, 保证选择红外通道发送; 当红外通讯电路中 HW38K=1 时, T2 截止, 不允许红外发送, 保证选择 RS485 通道发送。

接收通讯时, 通过 CD4066 电子开关切换通道。当 COMMSSEL=0 时, U4A、U4B 开关断开, HWCTRL 由于 R48 上拉到 V3.9 电源为高电平, U4C 开关接通, 红外通道 RXDHW 和 RXD 连通, 选择红外通道; 当 COMMSSEL=1 时, U4A、U4B 开关接通, HWCTRL 为低电平, U4C 开关断开, RS485 通道的 RXD485 和 RXD 连通, 选择 RS485 通道。通道切换采用抢占式, 默认通道为红外通道, 当 RS485 接收通讯开始时, 起始位为 0, 利用 MCU 键盘中断功能切换为 RS485 通讯信道。

### 1.2.4 MCU 及其它相关电路部分

MCU 是选用 89LPC931 或 922 两种单片机，这部分电路由 LCD 显示电路、实时时钟电路、存储器和温度检测电路、ICP 电路、掉电和电池检测电路等等组成。

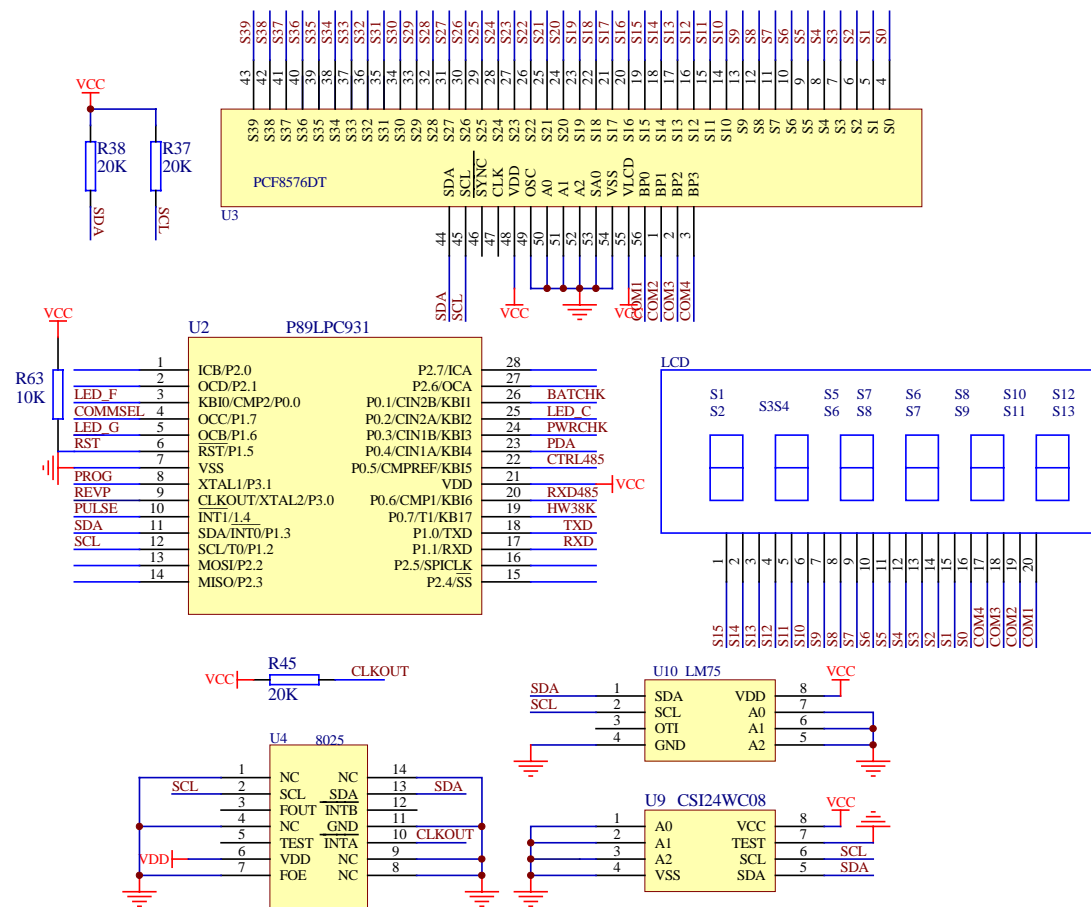


图 1.12 LCD 显示、实时时钟、储存和温度检测电路图

实时时钟选用 8025 时钟芯片，它是一个 I2C 总线接口的芯片，MCU 通过 I2C 总线读写 8025 芯片的寄存器，设置芯片的工作状态，校正当前时间和日期，同时可以设置报警时间、日期，它的 I2C 地址是 64H。8025 时钟芯片是一种低功耗、宽电压范围工作的芯片，在工作电源 3V 时，工作电流为 0.48uA，在 1.7V~5.5V 正常工作，同时能够检测晶振的情况和微调晶振的频率。8025 芯片应设置输出 1S 中的时钟脉冲信号，为了保证时间和日期工作的连续性，应保证电源不断电。

检测温度芯片选用 LM75 温度检测芯片，它是一个 I2C 总线接口的芯片，它内部是一个 11 位的 AD 温度转换器，内部包含四个数据寄存器：配置寄存器、温度寄存器、上限温度寄存器、下限温度寄存器，MCU 通过指定地址指针的方式来操作指定寄存器。LM75 工作电压范围是 3.0~5.5V，工作电流典型值为 250uA，温度寄存器的内容是补码的形式存储的，每个数字量代表 0.5℃，芯片的 I2C 地址是 90H。

存储器选用支持 I2C 总线可擦写 E<sup>2</sup>PROM，型号是 24WC08，存储容量为 8K 位，1K 字节，10 位地址线，其中最高 2 位地址是 I2C 地址 A1A0 位，因此在 A2=0 时，它的 I2C 地址为 A0H、A2H、A4H、A6H。工作电压范围是 1.8V~6.0V，采用低功耗 CMOS 技术，同时具有写保护功能，执行写操作时，在主器件产生停止信号后开始内部数据的擦写，在内部擦写过程中，



器件不应答主器件的请求，因此在执行存储器写操作之后，应延时一定的时间再对存储器进行操作。

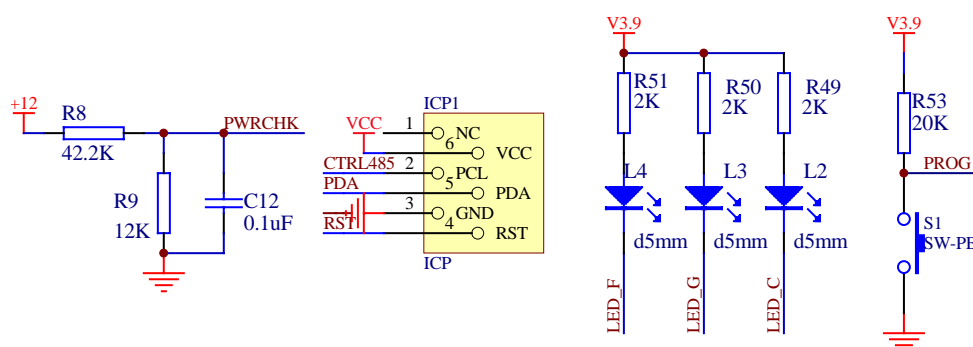


图 1.13 其它相关电路图

In Circuit Programming 是在电路编程，简称 ICP，是一种串行编程方式，其通过一根时钟线与一根数据线串行传输编程指令及数据，P89LPC9××芯片在 ICP 的过程中需要用到 5 个脚：PCL，PDA，Reset，VDD 和 VSS。ICP 功能完全由 MCU 硬件完成，不需要外部引导。在 ICP 接口电路设计当中，应注意是否有外界电路对 ICP 有影响，否则应断开其连接。

掉电检测电路是一个 R8、R9 组成的分压电路，C12 用来滤波作用，提高抗干扰性能。通过 MCU 内部比较器，比较器内部参考电压和 PWRCHK 脚的电压比较，当电源电压下降到一定时，MCU 比较器发生翻转，发生掉电事件。当发生掉电，由于电容的存在，MCU 的电源不会马上消失，这时 MCU 应执行保护数据程序。

指示灯电路包括峰指示、谷指示、通讯指示，当 MCU 对应脚输出低电平时，电流经限流电阻，LED，流入 MCU 脚，指示灯亮。

### 1.3 DDSF 系列电能表软件系统

#### 1.3.1 DDSF 系列电能表主程序算法分析

DDSF 系列电能表软件系统主程序在电能表整个程序当中是最重要的部分，它是电能表的执行部分。它包括整个程序初始化部分、显示刷新处理部分、日期时间及与其相关操作处理部分、通讯帧命令处理部分、电量运算及储存部分、电量结算处理部分以及其他事件处理部分。整个程序是通过查询方式执行的，通过查询电表事件发生的条件情况，判断电能表事件是否发生，来执行相应的操作，这种执行方式只要保证 CPU 的执行速度足够快，是能够保证事件响应的时效性的。

在电量处理模块算法中，它包含电量小数事件和电量整数事件，当对应类型（总峰平谷反）电量脉冲累计到 0.01kWh，电量小数事件发生，电量小数加 1 及保存电量小数数据，当电量小数发生进位时，电量整数事件发生同时应进行电量整数部分及相关事件处理。

在时钟和显示处理模块算法中，它包含秒事件、分钟事件、半小时事件及小时事件，秒事件是通过 MCU 中 RTC 定时器定时 1S 来激发的。

在通讯处理模块算法中，它包含通讯接收帧事件和通讯发送帧事件，当程序查询到通讯接收帧完标志置位时，通讯接收帧事件发生，程序进行通讯格式的判断，如果通讯格式正确，再进行通讯地址的比较，如果通讯帧中的地址域是本机地址或广播地址，表示是对本机通讯，则程序进行通讯命令的解释及执行，同时如果要返回数据帧，置通讯发送标志，准备好发送数据帧，则通讯发送数据帧事件发生，启动发送数据。

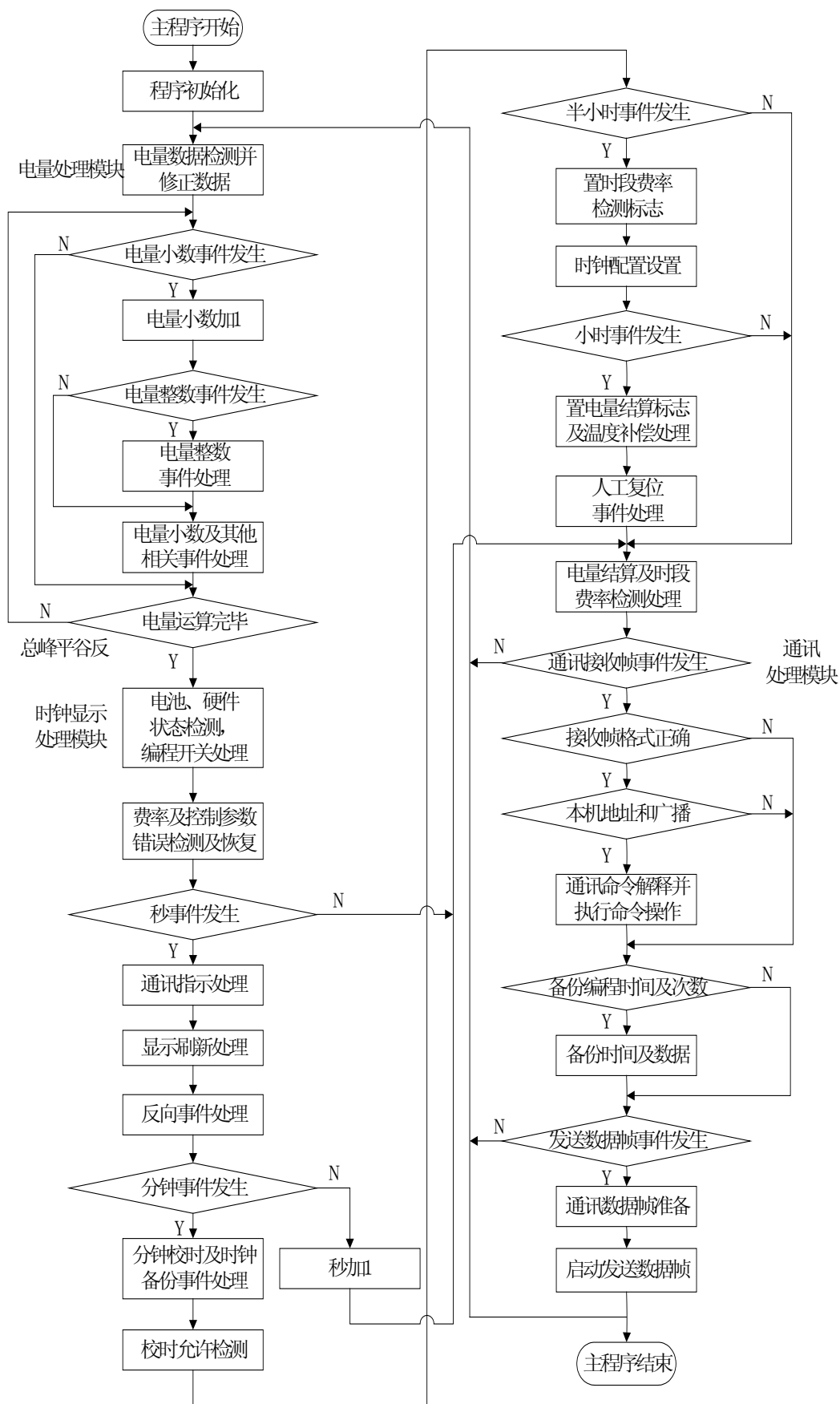


图 1.14 DDSF 系列电能表主程序流程图

### 1.3.2 DDSF 系列电能表软件初始化算法分析

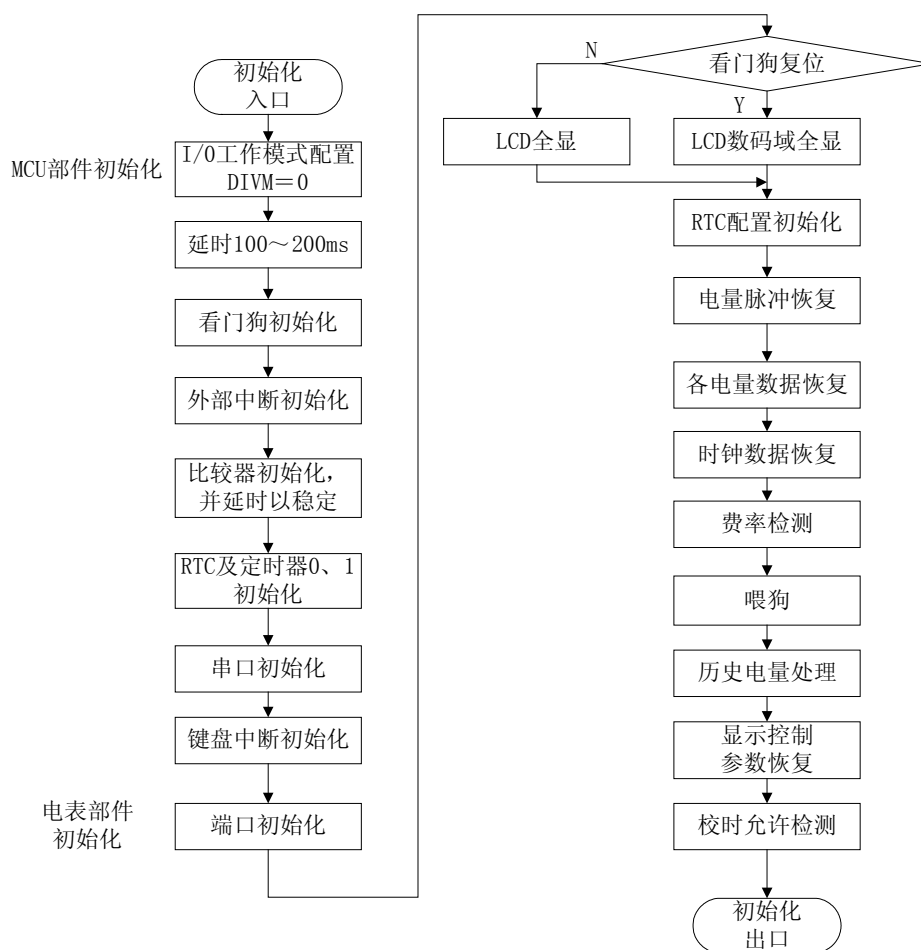


图 1.15 初始化流程图

MCU 部件初始化是整个程序初始化的一个部分，它是整个系统所用到的 MCU 资源的初始化，使程序在运行时能够正确的运行 MCU 部件，达到预定的目标。MCU 部件初始化包括以下几个部分：

- I/O 控制模式配置及时钟分频器初始化
- 看门狗、外部中断 1、比较器中断初始化
- RTC 及定时器 0、1 初始化
- 串口中断、键盘中断初始化

电表各部件初始化是对电表的相关部件、相关的变量进行初始化，特别是电量数据恢复非常重要，使电表正常工作。它包括以下几个部分：

- 端口初始化
- 显示初始化
- 外部时钟芯片初始化
- 剩余脉冲数据及各电量数据恢复
- 时钟数据及显示控制数据恢复
- 时段费率初始化处理
- 历史电量初始化处理
- 校时允许初始化处理

### 1.3.3 DDSF 系列电能表软件的时钟、显示处理模块算法分析

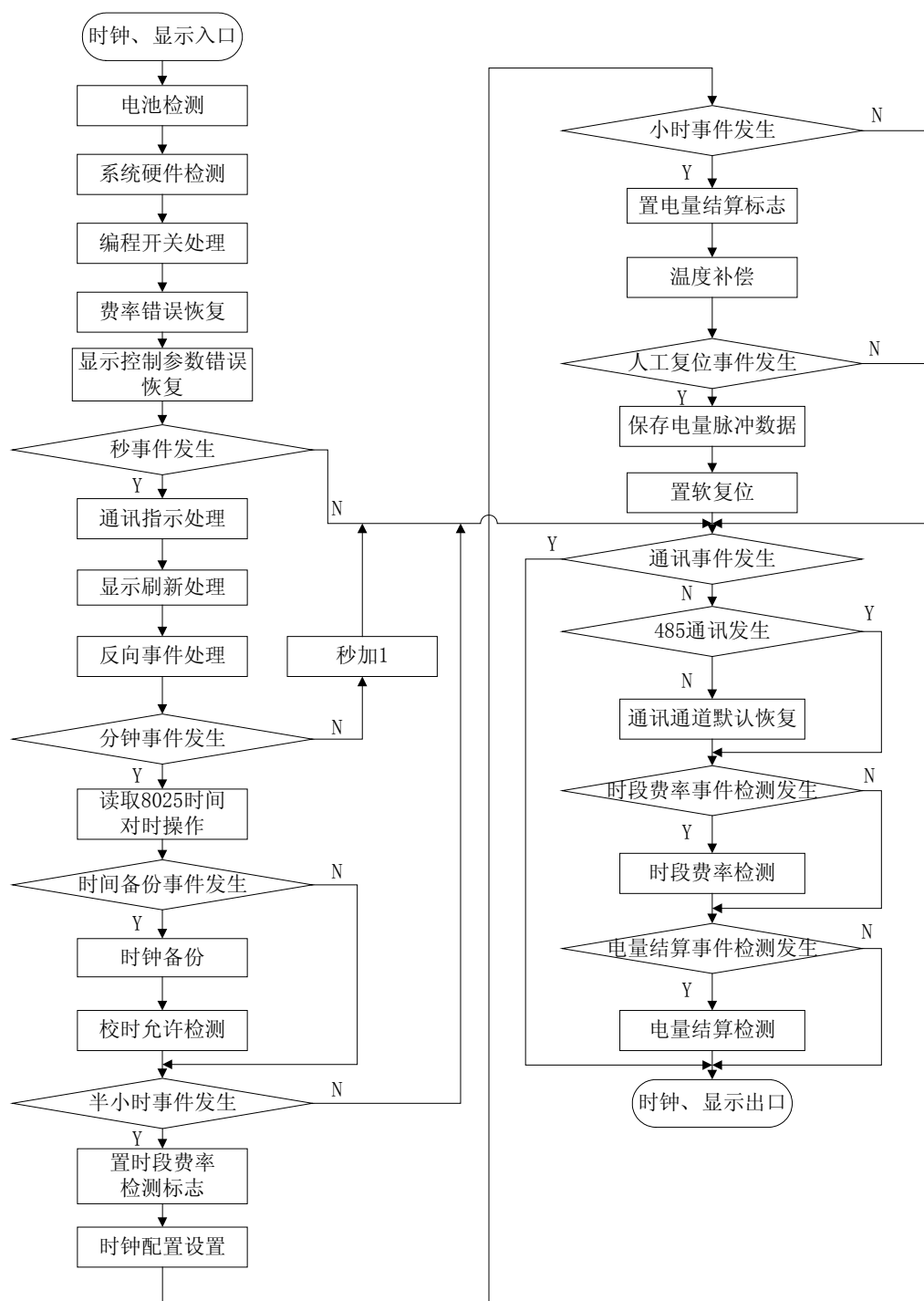


图 1.16 时钟、显示处理模块流程图

时钟、显示处理模块程序是根据时间进行程序处理的，当时间间隔 1S 时，秒事件发生，进行秒事件处理，当时间间隔为分钟时，分钟时间发生，进行分钟事件处理，同样在时间间隔半小时及小时时，半小时及小时事件发生，进行事件处理。它包含以下几个部分：

- 数据检测部分：对系统数据进行更新，错误进行恢复而进行的操作。
- 事件执行部分：当事件发生时，对相应的事件进行程序响应。
- 其他执行部分：包括通讯信道默认恢复、时段费率检测、电量结算检测等等。

### 1.3.4 DDSF 系列电能表软件的通讯处理模块算法分析

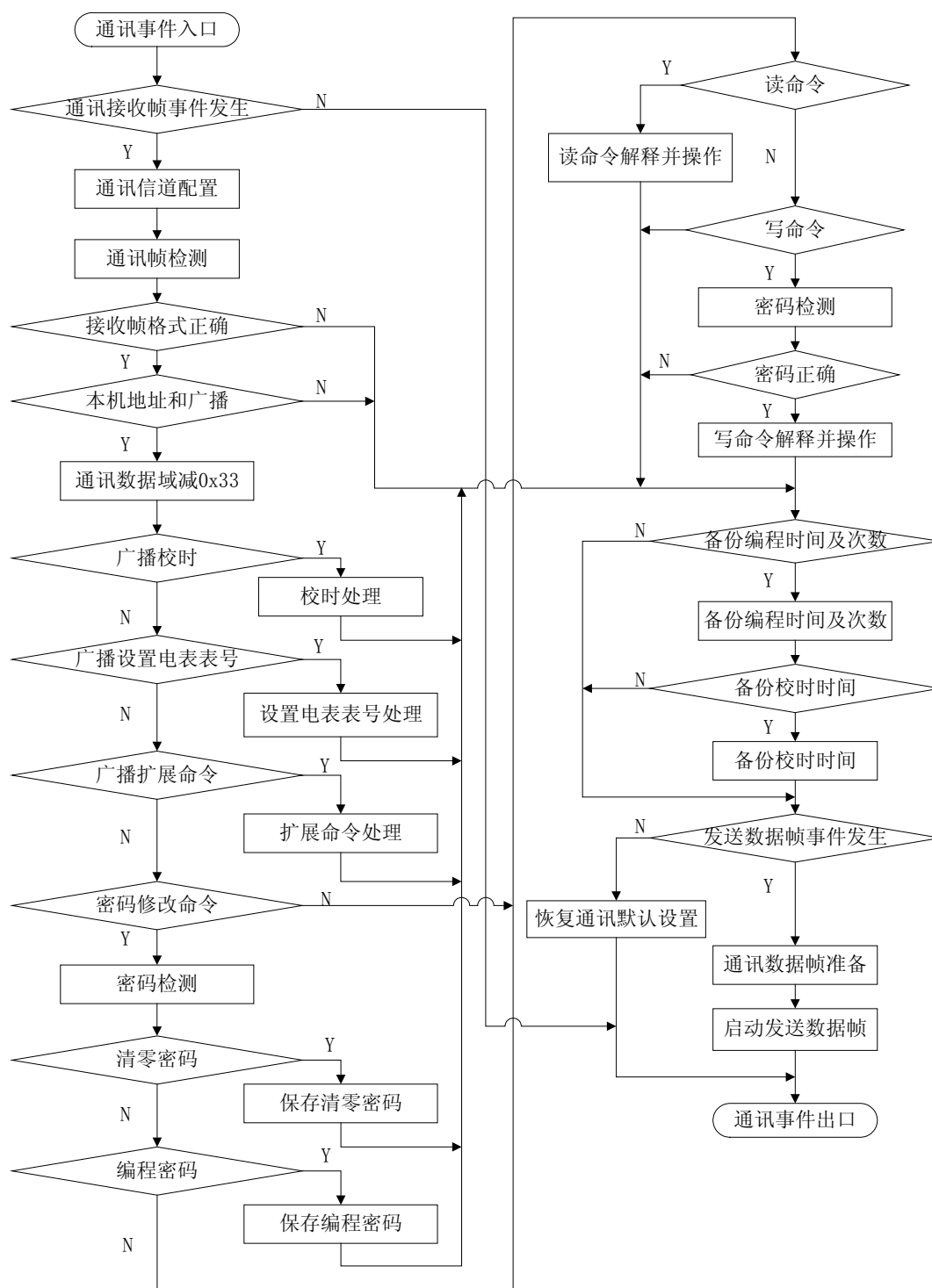


图 1.17 通讯事件处理流程图

通讯事件处理程序是通过判断通讯事件标志是否置位决定通讯事件是否发生,当通讯事件发生时,根据通讯规则,检测通讯帧格式是否正确,同时比较电表通讯地址是否进行本机通讯,当入口通讯帧格式正确和进行本机通讯和广播通讯时,则对通讯命令进行解释同时执行通讯命令操作。在通讯命令执行完毕后,程序检测是否要进行通讯发送数据帧,如果要进行通讯发送,则准备通讯数据,启动发送功能。

### 1.3.5 DDSF 系列电能表软件的电量计量处理模块算法

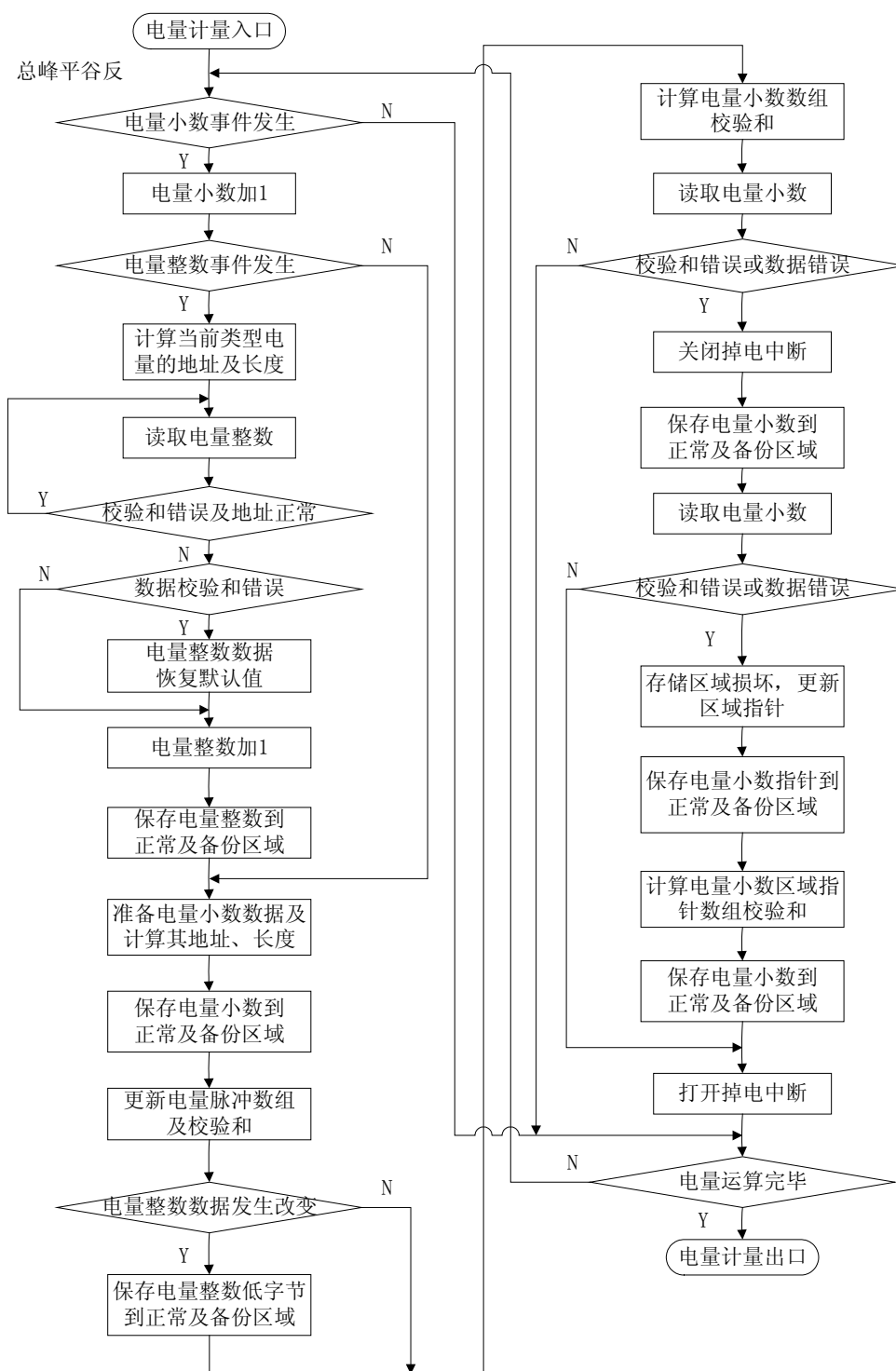


图 1.18 电量计量处理模块流程图

电量计量程序是进行电量计量程序处理，电量处理的顺序依次为电量整数处理及储存、电量小数处理及储存、电量脉冲处理、电量整数低字节处理及储存、电量小数储存区域指针更新判断。电量整数低字节处理及储存是为了在电源掉电中，防止程序在对电量整数加 1 并保存时，电量小数没有保存发生掉电，导致系统多计量 1kWh 的电能的可能，因此在系统电量恢复时检测到两个电量整数低字节不相等时，对电量小数清零处理，解决问题的发生。电量小

数储存区域指针更新判断是因为电量小数的存储区域频繁发生擦写现象，导致 EEPROM 的寿命减低，因此采样多区域的办法，当检测到当前存储区域损坏时，更换下一个存储区域，延长电能表的寿命。

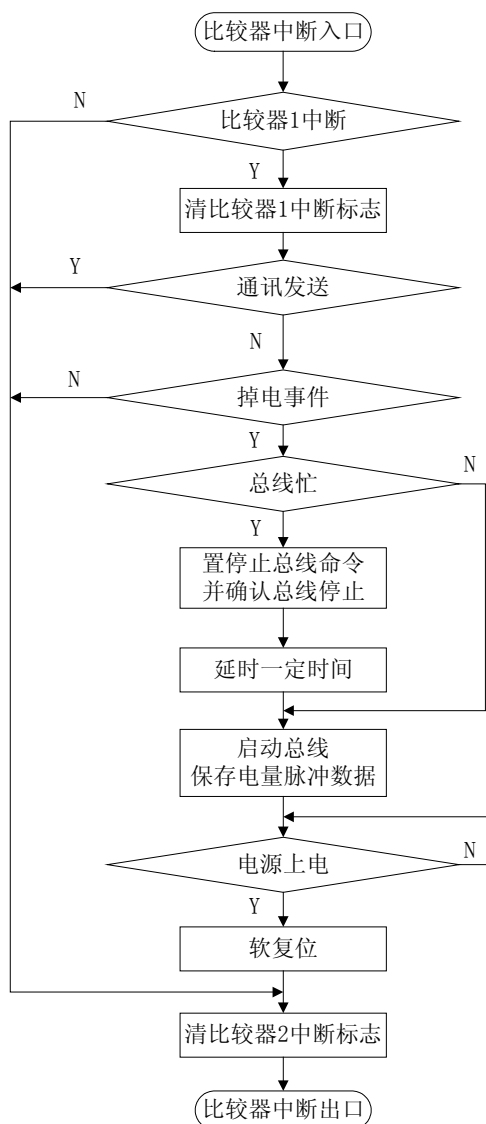


图 1.19 比较器中断流程图(掉电保护)

比较器中断是用来进行电量脉冲数据保护，当电源电压下降引起比较器中断发生称为掉电，这时应当保护电量脉冲数据。当电源上电、电源掉电、比较器 2 的比较状态发生翻转、红外通讯导致电源电压下降都可以引起比较器中断发生，因此在设计程序时应分辨出电源掉电发生，从而真正进行保护数据，避免程序错误执行。