

# 基于 CAN 总线的智能断路器控制器设计

刘瞰东, 周文博

(厦门大学自动化系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 智能断路器是在传统断路器中引入计算机技术、数字处理技术和通信技术而形成的新一代断路器. 本文采用 TI 公司的 MSP430 处理器芯片, 完成了智能断路器控制器的设计. 该智能断路器控制器不仅具备基本的三段电流保护功能, 还具有液晶显示、热记忆、自诊断等功能; 另外, 为实现电力配电网的通信要求, 本断路器控制器采用 Controller Area Network (CAN) 现场总线技术实现控制信息的远程传输. 实验结果表明, 所设计控制器不仅实时性好, 电磁兼容性强, 而且体积小、成本低、易于实现.

**关键词:** 智能断路器; MSP430 单片机; CAN 总线

中图分类号: TM 561

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2006)06-0783-06

断路器是电力配电和保护线路中的重要电器设备, 可对配电系统、电力输电系统及用电设备的过载、短路、单相接地以及欠电压等实现保护, 以避免或减小故障给电力系统及用电设备所造成的损失. 传统的低压断路器采用电磁式和热式脱扣器, 其动作时间长, 保护精度低, 整定困难; 同时为获得不同的保护特性, 还要配置不同的脱扣器<sup>[1]</sup>. 智能断路器是微电子技术、计算机控制技术及网络通信等新技术相结合的产物, 具有三段电流保护(长延时、短延时、瞬时过流保护)功能, 可显示电路中的各种电器参数(电流、电压、功率、功率因数), 并可对电路进行在线监测、试验和自诊断; 另外, 现场总线型智能断路器还可实现遥调、遥控、通讯和遥测的“四遥”功能. 本文所设计的现场总线型智能断路器控制器, 采用 TI 公司的 MSP430 系列单片机作为微处理器, 能精确地实现过电流保护, 具有显示、指示、记忆、报警等功能, 其反时限保护特性有多种曲线供用户选择; 同时, 现场总线技术和互联网技术的发展与应用对实现面向设备的电力自动化系统起到了巨大的推动作用, 给断路器和低压配电控制系统及其装置的发展带来了新的机遇和挑战. 具有网络化通信功能, 能与多种现场总线相连接的智能化、可通信、高性能的新一代智能控制器是今后的主要发展方向. 本系统通信接口采用 PHILIPS 公司生产的 CAN 总线控制器 SJA 1000 芯片, 实现与上位机的多主式快速通信.

## 1 断路器保护特性的选择

国际电工委员会按断路器的使用类别, 将其分为 A、B 两类. A 类主要包括塑壳式断路器、小型断路器和一小部分小电流规格的万能式断路器, 具有过载长延时、短路瞬动的二段保护特性. B 类主要指万能式断路器, 具有过载长延时、短路瞬动和短路短延时的三段保护, 适宜于选择性保护<sup>[2]</sup>.

本文设计的智能断路器控制器负载保护特性曲线见图 1<sup>[3]</sup>. 图中的保护特性曲线包含了过载长延时、短路短延时和短路瞬动三段电流保护特性. 过载长延时特性数学表达式如下:

$$I^2 T = (1.5I_r)^2 t \quad (1)$$

式中,  $I$  为断路器过载电流,  $T$  是过载动作时间,  $I_r$  为脱扣器整定电流, 而  $t$  为长延时动作时间整定值.

短延时特性曲线由两部分组成, 即反时限特性和定时限特性. 短延时动作电流在  $(1 \sim 8)I_r$  之间时, 特

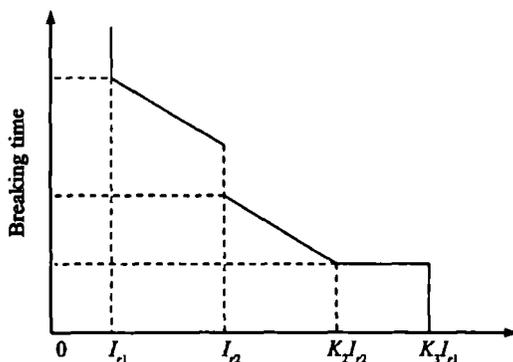


图 1 过电流保护特性曲线

Fig. 1 The protect characteristic curve of the overload current

收稿日期: 2006-02-05

基金项目: 福建省科技计划项目(2004J020)资助

作者简介: 刘瞰东(1970-), 男, 副教授.

Email: ltd@xmu.edu.cn

性呈反时限并满足下式:

$$I_s^2 T_s = (8I_r)^2 t_s \quad (2)$$

式中,  $I_s$  为线路短路电流,  $T_s$  是短延时动作时间, 而  $t_s$  为短延时时间整定值.

当短路短延时动作电流大于  $8I_r$  时, 智能式脱扣器短延时特性自动转换为定时限, 与其电流的整定值无关. 定时限动作的时间 0.1、0.2、0.3、0.4 s 可供选择.

从图 1 可知, 短路瞬时电流保护整定值为  $I_n \sim 75$  kA, 当瞬时电流整定值超过 75 kA 到 OFF 时, 脱扣器短路瞬动功能被锁定. 短路瞬时动作时间为定时限 30 ms.

另外, 本文设计的智能断路器控制器还提供了其它 5 条保护特性曲线供用户选择. 其过载长延时保护特性按不同的计算公式求得. 对于短路短延时保护特性, 如果是曲线(1~5), 控制器按与过载长延时一样的曲线(1~5) 进行延时保护, 仅是保护的速度要快 10 倍(按过载长延时曲线表达式算出的延时动作时间的十分之一); 如果是曲线 6, 则按短路短延时曲线 6 特性表达式计算反时限延时动作时间值.

## 2 智能断路器保护算法及其实现

电力系统发生故障时, 往往在基波的基础上叠加有衰减的非周期分量和高频分量, 故要求计算机保护装置对输入的电压信号进行预处理, 尽可能滤去非周期分量和高频分量<sup>[4]</sup>. 全波富氏算法虽然带有很强的滤去高次谐波的功能, 但响应速度较慢. 由于实际电网的信号波形大都能满足对称性要求, 所以本设计采用半波富氏算法. 电力系统故障电流有如下形式<sup>[5]</sup>:

$$i(t) = I_0 e^{-\alpha t} + \sum_{n=1}^M I_m(n) \cos(n\omega t + \varphi_n) \quad (3)$$

在计算机上实现时, 用离散值表示的半波富氏算法为:

$$a_n = \frac{4}{N} \sum_{k=1}^{\frac{N}{2}} i(k) \cos(nk \cdot \frac{2\pi}{N}) \quad (4)$$

$$b_n = \frac{4}{N} \sum_{k=1}^{\frac{N}{2}} i(k) \sin(nk \cdot \frac{2\pi}{N}) \quad (5)$$

式中:  $K$  表示从故障开始时的采样电序号;  $N$  为每个周期采样点数. 则基波有效值为:

$$I = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (6)$$

可以看到, 随着采样点数的增多和频繁的调用正弦余弦函数, 计算量会非常大. 所以本设计对算法进行了线性化处理. 综合运用查表法与插值法, 达到了计算精度、计算时间和存储容量三者之间的均衡.

在进行线性化处理以后, 交流电信号有效值的测量时间可以减少到 10 ms. 10 ms 的时间对于长延时与短延时过载的保护已经足够, 但对于短路保护, 还是嫌长. 短路保护要求能够根据一次或两次采样的数据得到有效值. 对于短路保护采样的是阈值算法. 事先按照  $\sum I^2$  计算出短路电流的阈值, 然后在进行电流采样时即与该阈值进行比较. 一旦达到该阈值即可判断为短路. 显然, 短路电流越大, 达到阈值的采样点数越少, 因而跳闸时间越短. 而且这样的做法可以避免因为干扰使某一次采样值过大而造成误跳闸.

## 3 智能断路器控制器测控单元设计

### 3.1 智能断路器控制器测控单元硬件设计

智能断路器控制器测控单元主要由 MSP430 芯片(片内集成 A/D)、信号采集电路、电源、键盘、显示、输出执行电路以等部分组成. 其结构见图 2.

下面着重介绍微处理器的选择、信号的采集模块设计、电源及稳压模块的设计.

#### (a) 微处理器的选择

由于智能断路器控制器既要实现多种功能, 又要有较好的实时性及电磁兼容性. 为此, 选用了 TI 公司的 MSP430 系列 16 位单片机. 该芯片具有强大的处理能力、丰富的片内外设、系统工作稳定等特点.

#### (b) 信号的采集模块设计

空芯互感器获得的电流和电压信号经过整流滤波后, 分两路进行采样, 以解决量程变换的问题. 当互感器输出电压比较小时, 电压经过 LM324 放大, 由 A/D 采样; 而当互感器输出电压比较大时, LM324 输出出现饱和, 则直接由 A/D 采样. 其中通道的选择由软件

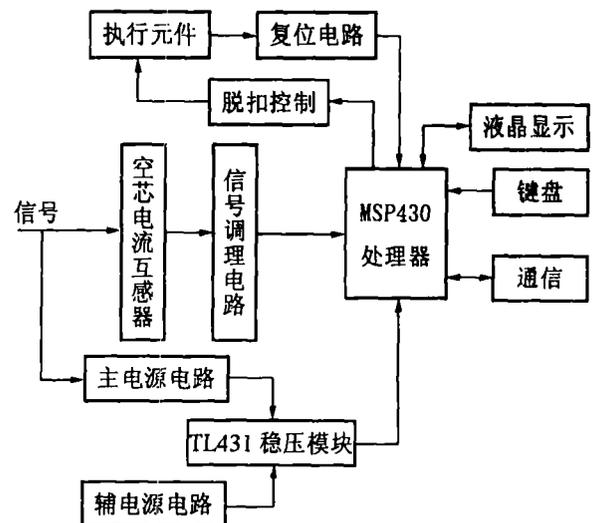


图 2 智能断路器控制器的组成框图

Fig. 2 The frame of intelligent circuit breaker

完成. 设定放大通道的倍数设为 6.47 倍, 以使采样信号在阈值处能较好衔接起来.

对电力系统影响较大的谐波在 1 kHz 以下, 由采样定理, 信号采样频率大于 2 kHz 即可. 本设计设定采样频率为 2 kHz, 即每隔 0.5 ms 采样一次, 每周周期采样 20 点, 这样既可实现非失真采样, 同时也使计算任务不致过重, 保证了系统的实时性. 由于 MSP430 系列单片机集成 A/D 采样模块, 极大的简化了我们外围电路的设计开发过程, 并提高了整个电路的抗干扰性. ADC12 是 12 位精度的 A/D 转换模块, 具有高速、通用的特点. 采样模式选择脉冲采样模式, 采样时间最短为 4 个 ADC12CLK 周期, 转换也只需要 13 个时钟周期. 相应的采样值由转换公式(7) 得到:

$$NADC = 4095 \times (V_{in} - V_{R-}) / (V_{R+} + V_{R-}) \quad (7)$$

### (c) 电源及稳压模块的设计

采用双路电源供电, 任何一路电源正常即可供智能控制器可靠工作, 正常情况下通过空芯互感器由母线上的电压取得工作电源. 另一路为自生电源, 通过速饱和电流互感器从三相供电线路感应能量获得, 以保证短路失压时, 智能脱扣器能正常工作. 电源稳压模块如图 3 所示.

图 3 中, 来自整流桥正极的电压作为 TL431 的 K 端输入,  $R_{27} = 3.3\text{K}$ ,  $R_{25} = 10\text{K}$ , 通过计算可得出  $V_{CC} = 3.32\text{V}$ , 而 MSP430 的供电电压为 1.8~ 3.6 V, 完全可以满足需要. 同时, SAMP 作为采样脉冲的输出, 由于每个周期采样 20 个点, 所以 SAMP 每隔 0.5 ms 就发出一个采样脉冲. 当一个采样脉冲到的时候, 场效应管的栅极 G 为高电平, 此时漏极 D 的电压被拉为低

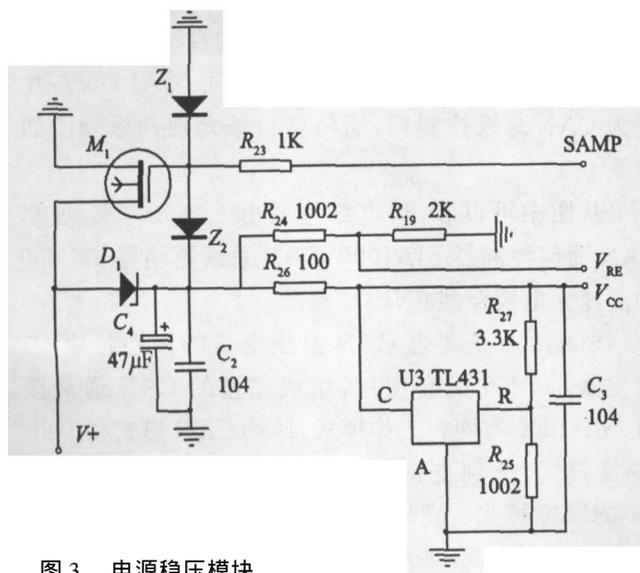


图 3 电源稳压模块

Fig. 3 The voltage stabilizing module

电平, 即整流桥的正极被拉为低电平, 所以整流桥的负极被相应拉高, 单片机采样 VRE, 可以作为对电压模块的检测.

在电子装置中, 电源质量直接关系到装置是否能正常工作, 电源的品质也影响着 A/D 转换精度, 起到的作用不言而喻. TL431 是 TI 公司生产的 2.5~ 36 V 可调式精密并联稳压器, 它属于一种具有电流输出能力的可调基准电压源. TL431 的性能特点<sup>[6]</sup>:

- 1) TL431C 和 TL431AC 的工作温度范围是 0~ 70°C;
- 2) 它属于三端可调式器件, 利用两只外设电阻可设定 2.50~ 36 V 范围内的任何基准电压值;
- 3) TL431 的电压温度系数为  $30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2 智能断路器控制器测控单元软件设计

测控单元主程序框图如图 4 所示. 系统自检通过后, 首先进行初始化: 定义各个引脚的输入输出方向, 判断数字通道还是模拟通道, 确定是否启用第二功能, 设置各计数器的初始值, 读取上次运行期间的故障整

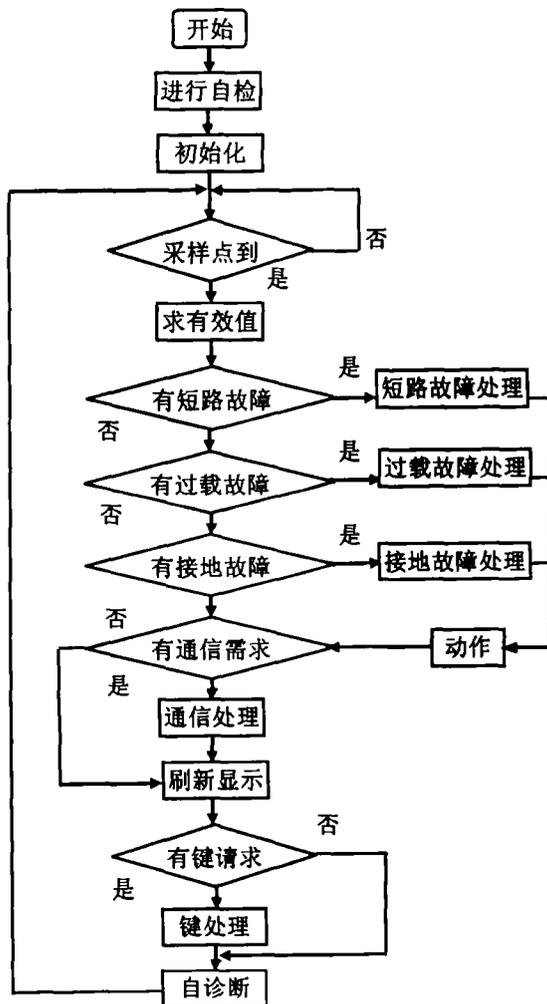


图 4 主程序框图

Fig. 4 The program flow chart

定值;然后进行数据采样:每个周期内采样 20 点数据,经计算可得出本周期内母线上的电流有效值,再根据各种故障整定值的大小,逐一比较,确定故障类型,调用相应的子程序进行处理,并把此故障电流和动作时间存储在 flash 中,以便对故障进行分析。

由于显示内容较多,而且各部分功能有所区别,所以将菜单设计成分层结构,大致分为“参数设定”、“实时显示”和“系统测试”3 个主菜单,各功能子菜单按照类别划分到 3 个菜单目录中。为此,键盘只需要“菜单”、“上”、“下”和“确定”4 个按键。在设计键盘子系统中注意了按键的抖动问题,也考虑了大范围改变设定参数时连续按键的问题。

软件环境采用 AQ 公司的 AQ430,它是专为 TI(德州仪器)16 位单片机 MSP430 系列单片机开发的软件环境。限于篇幅,这里只对典型的 ADC12 的设置和采样部分的程序进行说明。

```

/* 设置 ADC12 的值 */
void Init_ADC12(void)
{
  ADC12CTL0 &= ~ 0x02; /* 停止采样 */
  ADC12CTL0 = MSC + ADC12ON + REFON +
  REF2_5V; /* 初始化控制器 */
  ADC12CTL1 = SHP + CONSEQ_1;
  ADC12MCTL0 = 0x00; /* 初始化桶型缓存 */
  ADC12MCTL1 = 0x01;
  ADC12MCTL2 = 0x02;
  ADC12MCTL3 = 0x03;
  ADC12MCTL4 = 0x04;
  ADC12MCTL5 = 0x05;
  ADC12MCTL6 = 0x86;
  ADC12IE = 0x0000;
  ADC12CTL0 = ENC; /* 转换使能 */
}
/* 定时中断,定时时间到,进行采样 */
void interrupt [TIMERAO_VECTOR] Timer_A(void)
{
  if(TAIV == 10)
  {
    P2OUT |= 0x02; /* 由 P2.1 发出采样脉冲 */
    ADC12CTL0 &= ~ 0x02;
    ADValue[0] = ADC12MEM0; /* 转换结果转存 */
    ADValue[1] = ADC12MEM1;
    ADValue[2] = ADC12MEM2;
    ADValue[3] = ADC12MEM3;
    ADValue[4] = ADC12MEM4;
    ADValue[5] = ADC12MEM5;
    SelfDiagnoseValue = ADC12MEM6;
    /* 存储自诊断值 */
    flag = 1;
    num--;
    ADC12CTL0 |= ENC + ADC12SC;
  }
}

```

```
P2OUT &= 0xFD;
```

```
}
```

```
}
```

注意,程序中设置了 ADC 控制寄存器 0 的 MSC 位为 1,在每次转换完成后立即自动触发启动,提高实时性。

## 4 基于 CAN 总线通信接口电路设计

根据需求分析,该智能断路器需要安装在现场,必须能够实时地把数据上传 PC 机,以便进行更高一级的故障判断和预警,因此这就要求系统的远程通讯具有主动上传的功能。另外本系统的远程通讯方式要求不仅可以主动上传,而且要求多机能同时可靠上传数据,不会造成总线冲突。

目前普遍使用的 RS-485 通信只能构成主从式结构系统,主节点任务繁忙,一旦主节点出现故障就可能引起系统瘫痪,通讯方式也只能是主节点命令型,性能指标也不如 CAN 总线方式。由于 CAN 协议是接口芯片硬件来实现,用户实际使用时只需在应用层上编程,从而大大降低系统开发难度,缩短了开发周期。

CAN 总线具有下列主要特点<sup>[7]</sup>:

1) 结构简单,只有两根线与外部相连,且内部含有错误探测和管理模块。

2) 多主站依据优先权进行总线访问,可以点对点、点对多点及全局广播方式发送和接受数据。

3) 无破坏性的基于优先权的仲裁,借助接受滤波的多地址帧传送。

4) 远程数据请求。

5) 错误检测和出错指令,发送期间若丢失仲裁或由于出错而遭破坏的帧可自动重发送,暂时错误和永久性故障节点的判别以及故障节点的自动脱离。

因此,本系统采用 PHILIPS 公司 SJA1000 芯片作为 CAN 总线控制器,通信接口单元硬件原理图如图 5。

从图中可以看出,电路主要由三部分构成:独立 CAN 通信控制器 SJA1000、CAN 总线驱动器 82C250 和高速光电耦合器 6N137。

SJA1000 是实现 CAN 总线通信的核心芯片,与收发器 82C250 配套使用,组成完整的 CAN 通信接口。SJA1000 有两种工作模式:BasicCAN 模式和 Pelican 模式,分别支持 11bit 和 29bit 报文描述符。因 BasicCAN 模式已满足数据传输量不大的一般性工控场合,故被本系统采用。单片机对 SJA1000 进行控制及收发数据均通过对 SJA1000 的内部寄存器的读写访问来实现的,操作如同访问外部 RAM。SJA1000 通

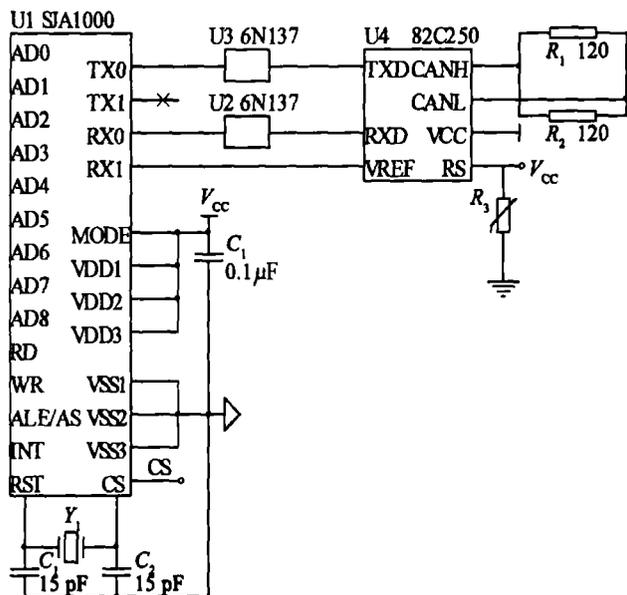


图 5 CAN 节点硬件原理图

Fig. 5 The schematic circuit diagram of the CAN bus

过 82C250 连接到物理总线上。82C250 器件提供对总线的差动发送能力和对 CAN 控制器的差动接收能力, 将 SJA 1000 输出信号转换成差分形式向外发送, 以增强信号的抗干扰能力, 其引脚允许选择 3 种不同的工作方式: 高速、斜率控制和待机, 分别对应接地、接电阻和接高电平方式。另外, 在 SJA 1000 和 82C250 之间加接 6N 137 光电隔离芯片以隔离两侧电信号, 防止总线上的干扰侵入系统。

### 5 CAN 节点通信软件设计

通信软件由三部分组成: 初始化程序、发送程序和接收程序。CAN 总线系统的初始化设计是软件设计的关键, 这一部分设计不好, 系统将不能正常工作。由于 CAN 构成的系统为真正的多主系统, 系统中任一节点在任意时刻均可主动与其它节点通信, 所以各节点的通信程序类似。由于初始化程序和发送子程序都比较简单, 所以只写出接收子程序的程序流程图, 如图 6 所示。具体是调用发送子程序还是接收子程序, 是通过查询 CAN 控制器的相应标志位来判断的。

初始化程序: 先设置输出控制寄存器(OCR)的复位请求位为高, 再设置其他寄存器。控制寄存器(CR)设定中断; 命令寄存器(CMR)控制缓存器的接收状态; 中断寄存器(IR)、状态寄存器(SR)查询 SJA 1000 工作状态; 接收码寄存器(ACR)设定工作地址; 接收屏蔽寄存器(AMR)设计工作形式, 总线定时寄存器(BTR0、BTR1)设定工作频率、采样频率; 输出控制寄存器(OCR)为正常输出方式, 最后使复位请求位从高变低, 使 CAN 控制器进入正常工作状态, 对 CAN 控

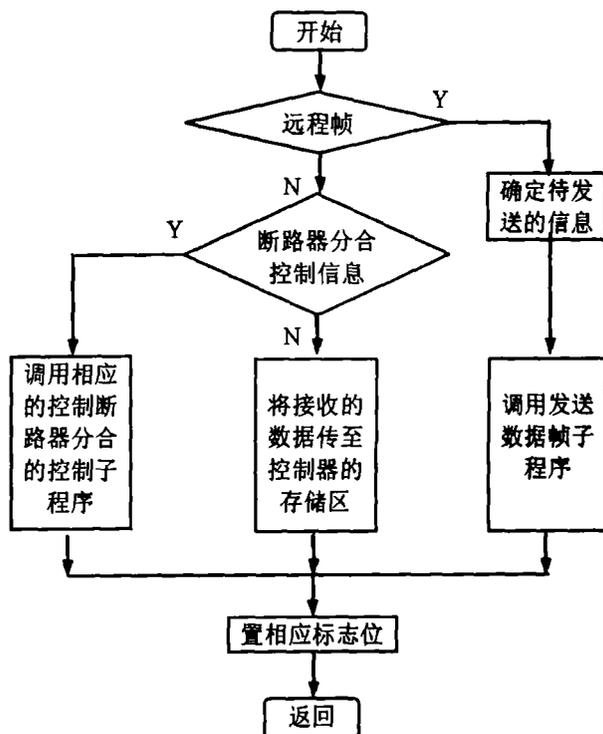


图 6 接收子程序流程图

Fig. 6 The receiving sub program flow chart

制器进行初始化实际上就是对 ACR、AMR、BTR1 和 OCR 这些寄存器进行访问。成功地初始化 SJA 1000 后, 系统就可以应用它来传输报文。

发送程序: 采用查询方式。控制器首先判断是否有发送报警、故障信息或与上位机通信的需求。如果有, 则将该智能断路器的地址码、功能码、数据码和 CRC 校验码打包送到 CAN 控制器中相应的发送信息中心, 启动发送命令, 由 CAN 控制器自动发送信息。

接收程序: 接收子程序只需用传输命令从 CAN 控制器的接收信息中心将所接收的信息读取到控制器的相应存储单元即可, 然后判断上位机所需查询的电网参数信息, 调用发送子程序, 将相应信息发送出去。同时, 为了实现“四遥”功能, 在接收子程序中, 还需判断上位机是否要求断路器执行断开操作, 如果需要则要调用控制断路器分合的子程序。

### 6 结论

本文为实现断路器的智能化和可通信等功能, 研制了基于 CAN 总线的智能控制器。经现场样机调试结果表明, 该系统不仅实现了较好的保护功能, 还实现了测量、现场总线通信和监控等功能。所设计的控制器可靠性高, 实时性好, 特别是实现了现场总线通信, 应用前景广阔。

**参考文献:**

- [ 1 ] 黄绍平, 李永坚. 低压断路器智能脱扣器的设计与实现 [ J ]. 机床电器, 2004( 3 ): 8- 11.
- [ 2 ] 连理枝. 低压断路器设计与制造 [ M ]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [ 3 ] 王富东, 王家善. 智能断路器的电量测量与过载保护算法 [ J ]. 仪器仪表学报, 2002( 3 ): 381.
- [ 4 ] 曾庆军, 刘阳, 金升福, 等. 基于 CAN 总线的低压断路器新型可通信智能控制器研制 [ J ]. 低压电器, 2004( 11 ): 32.
- [ 5 ] 张承学, 丁书文. 一种新的微机保护交流采样快速算法 [ J ]. 电力系统及其自动化学报, 2000( 1 ): 24- 25.
- [ 6 ] 沙占友. 特种集成电源最新应用技术 [ M ]. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [ 7 ] 刘虎民. CAN 总线在低压配电系统中的应用 [ J ]. 低压电器, 2002( 3 ): 30- 31.

## Design of Intelligent Circuit Breaker Controller Based on CAN Bus

LIU Tur dong, ZHOU Werr bo

(Department of Automation, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** Intelligent circuit breaker is a new sort of circuit breakers, which involves computer technology, digital processing technology, and communication technology. The design of intelligent circuit breaker controller is completed by using the MSP430 MCU of TI company. Besides three kinds of basic safeguard functions, the intelligent circuit breaker controller has the characteristics of LCD display, heat memory and self diagnosis. In addition, in order to realize the communication requirement of the electric power distribution networks, Controller Area Network (CAN) bus is applied in the circuit breaker controller to transfer the control information at a distance. The experiment shows that the designed controller has the characteristics of good real time, high EMC, small volume, low cost and simple implementation.

**Key words:** intelligent circuit breaker; MSP430 single chip computer; CAN bus