

智能型漏电断路器的设计

电气接地故障中电弧性对地短路是引发电气火灾的重要原因。电弧性对地短路具有很大的阻抗和电压降，它限制了故障电流，使过电流保护器不能动作或不能及时动作来切断电源，而几百毫安的漏电弧产生的局部高温可达 2000℃ 以上，足以引燃周围的可燃物而引起火灾。况且，用电设备分布在建筑物的各个角落，危害范围广，如不对系统的漏电进行监测和防控，就会对人身和财产安全构成威胁，存在很大的火灾隐患。智能型漏电断路器能准确监控电气线路的故障和异常状态，能有效预防常见的因漏电导致接地电弧所引起的建筑物电气火灾事故。为了保证人民生命财产安全，在建筑物的电源进线处及干线上安装智能型漏电断路器十分必要。

1 剩余电流产生的原因和保护原理

让三相四线导线一起穿过一零序电流互感器 CT，也可在中性线 N 上安装一个零序电流互感器 CT，利用这些 CT 来检测三相的电流矢量和，即剩余电流，如图 1 所示，根据电路原理可知，当电路中没有发生设备漏电或接地故障且三相负荷完全平衡时，一次侧中瞬时电流的矢量和为零，即 $I_a+I_b+I_c+I_N=0$ ，在电流互感器中产生磁通的矢量和等于零，此时，二次线圈中感应电流 $I_L=0$ 。当被保护的电路出现绝缘故障时，负载侧有对地泄载电流，零序电流互感器的矢量和不为零，即 $I_a+I_b+I_c+I_N \neq 0$ ，在电流互感器中产生磁通的矢量和也不等于零，此时，零序电流互感器二次绕组中便产生感应电流，即剩余电流 $I_L \neq 0$ 。

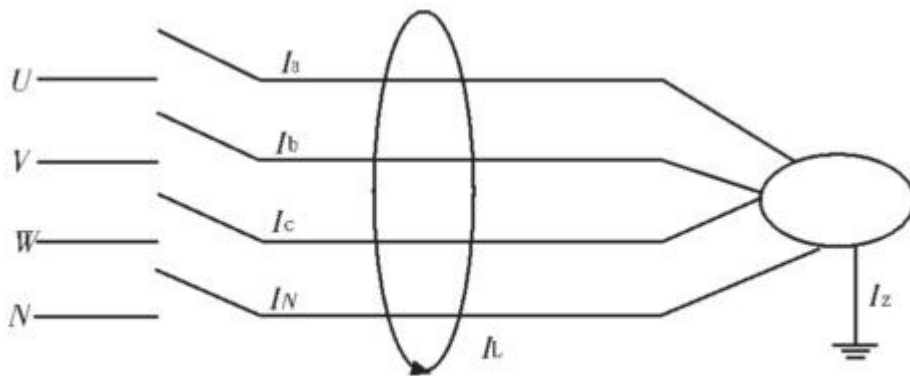


图 1 剩余电流互感器工作原理

漏电断路器主要由零序电流互感器 CT，漏电检测电路，脱扣器组成。被保护电路有漏电或人体触电时，只要漏电或触电电流达到漏电动作电流值，零序电流互感器的二次绕组就输出一个信号，经过集成电路放大器放大后送给 CPU，CPU 输出驱动信号使漏电脱扣器动作驱动断路器脱扣，从而切断电源起到漏电和触电保护作用。

2 断路器控制器的设计

2.1 系统基本功能

智能型漏电断路器集剩余电流、短路、过载、过压和欠压(缺相)等电气故障的监测、分析、报警及控制于一体,主要具有以下功能:

1)具有剩余电流检测和保护功能,当检测到发生漏电时,即剩余电流 $I_L \neq 0$,该信号经过单片机采样运算后进行快速判断,当剩余电流达到整定动作值时,驱动晶闸管,接通电磁脱扣器电源,电磁脱扣器吸合,使断路器跳闸,从而达到漏电保护的功能。

2)保护动作电流、分断时间可调:用作台区总保护时,剩余电流动作值可设置为 300~1 000 mA,分断时间可设置为 0.6 s,而作为二级保护时,动作电流可设置为 200 mA 档,分断时间可设为 0.3 s. 这样的设置可以避免因越级跳闸而引起的大面积停电现象的发生。

3)可智能识别突变剩余电流和缓变剩余电流,从而鉴别设备漏电和活体触电。缓变与突变漏电分开鉴别适合我国农村低压电网特点,得到广泛应用,是农村安全用电的一项有效的技术措施。

4)具有过电流长延时、过电流短延时和短路瞬时保护三段保护功能,组成所需的智能漏电断路器保护特性。智能设定漏电电流、过电流长延时、过电流短延时和过电流瞬时的整定值及预警值。

5)显示并储存故障发生点的线路地址、故障类型、故障发生时间和漏电电流、三相电流值。可记录多达 200 条历史故障,长期保存,直到用指令删除。

6)采用 RS485 总线通讯技术,可以利用总线与主机构成主从式监控系统,实现用户连网,在一台电脑上可对 1~250 台智能断路器在线远程监控,随时检查各用户安全用电情况,随时接通或分断各用户供电线路,并可对断路器的各种参数进行远程设置。

2.2 整体硬件设计

智能型漏电断路器主要由电源电路、单片机 PIC24FJ64、三相交流电电压电流检测电路、剩余电流检测电路、串行通信接口电路、人机接口电路及报警器等几部分构成的,如图 2 所示。

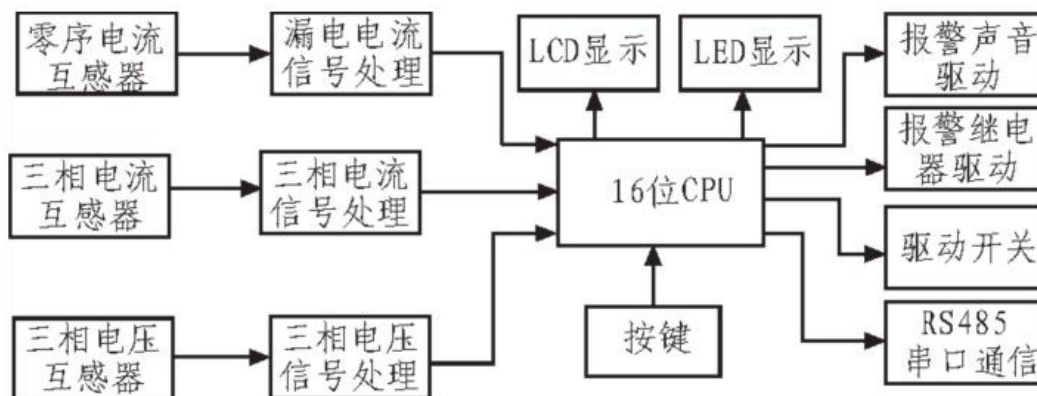


图 2 断路器控制器框图

其主要工作原理：把从电流互感器和线性光隔器取得的三相电流、漏电及电压信号进行调理后，输入到单片机的 A / D 转换，单片机对其进行采样后进行分析，输出相应的显示及报警信号等。其分析的结果也可以通过 RS485 总线传送到上位机。

2. 2. 1 单片机电路

单片机选用 PIC24FJ64，它是由 Microchip 公司设计的一款改进型哈佛架构的高性能 CPU，是智能断路器的核心，它完成智能断路器的各种控制功能，包括三相电压、三相电流和漏电电流的采样、数据处理、报警输出、与上位机通信、液晶显示及按键等功能。Microchip 公司开发、研制和生产单片机技术性能具有以下优点：1) 哈佛总线结构；2) 精简指令集 (RISC) 技术；3) 寻址方式简单；4) 代码压缩率高；5) 运行速度高；6) 功耗极低；7) PIC16F877 芯片具有 A / D、MSSP、USART 串行总线端口等，并有外接电路简洁、开发方便、可用 C 语言编程、程序保密性强等特点。

2. 2. 2 剩余电流检测电路

剩余电流检测电路是一个零序电流互感器。被保护的相线、中性线穿过环形铁心，构成了互感器的一次线圈，缠绕在环形铁芯上的绕组构成了互感器的二次线圈，如果没有漏电发生，这时流过相线、中性线的电流向量和等于零，因此在二次线圈上也不能产生相应的感应电动势。如果发生了漏电，相线、中性线的电流向量和不等于零，就使二次线圈上产生感应电动势，这个信号就会被送到中间环节进行进一步的处理，如图 3 所示。

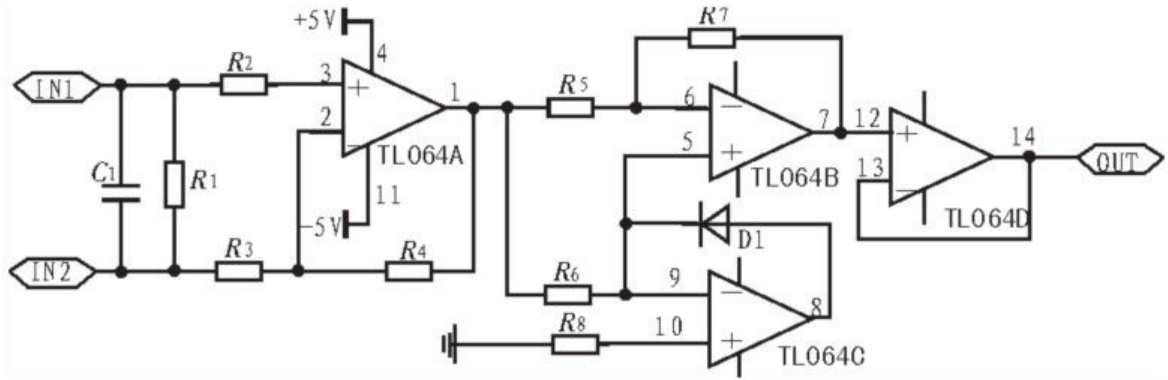


图 3 剩余电流检测电路

交流信号经过绝对值放大电路处理后，得到全波整流，处理后的信号送入到单片机中。单片机每个周期采样 36 个点，根据式(1)可以计算出剩余电流的有效值，其中 X 为采样值。

$$I_t = \sqrt{\frac{\sum X^2}{36}} \quad (1)$$

2. 2. 3 三相电压电流及相序检测

电流检测由二三相交流互感器、运算放大器和整流滤波电路组成。其中三相交流互感器把电流转换为电压信号，经运算放大器构成的电路调理后整流滤波输入到单片机的 A/D 转换器进行转换。

传统的电压检测方法是采用电压互感器或者线性光隔器，采用电压互感器进行电压检测的缺点是互感器体积偏大，而很多时候设计的产品要求控制器的体积小，从而安装使用方便，而采用线性光隔的缺点是电压检测精度不高。本系统采用电流互感器与电阻串联的方法对电压进行检测，既大大减小了控制器的体积，也可以保证电压检测的高精度。其原理图如图 4 所示。

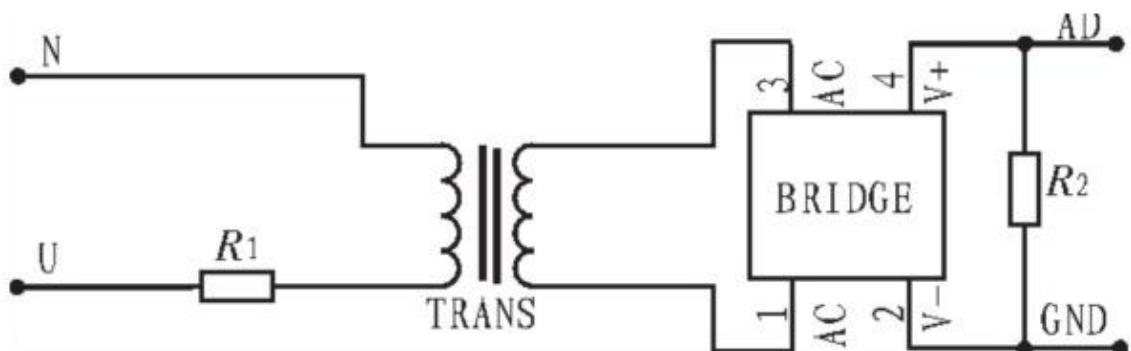


图 4 电压检测电路

电流互感器采用耀华电子生产的 1: 1 的电流互感器 TV16, 由于电流互感器的原边和副边变比相等, 所以副边电压等于原边电压. 通过选择合适的电阻 R1, 使电流互感器副边输出电压峰值不超过最大允许的采样电压, 互感器副边电压经过整流桥后变成单相全波, 单片机的 A / D 转换器可对全波进行采样分析。

电源相序检测采用峰值检测法, A、B、C 三相电压的相位相差 120°。检测的方法是当检测到 A 相的最大值是开始计时, 当检测到 B 相的最大值时停止计时, A、B 两相峰值之间的时间间隔就可以得到, 设为 Δt , 根据 Δt 可以求出 A、B 两相的相位差 ϕ , 其计算公式为:

$$\phi = 360^\circ \times \frac{\Delta t}{T} \quad (2)$$

如果计算出来的相位差 $110^\circ \leq \phi \leq 130^\circ$, 可认为相序正常, 如果超出这个范围, 则判定为相序错误。

2. 2. 4 RS485 总线硬件电路

智能型漏电断路器与上位机采用 RS485 总线通信, 一台主机可以控制多达 250 台断路器, RS485 通信系统采用主从式结构, 从机不主动发送命令或数据, 一切都由主机控制。因此在一个通讯系统中, 只用一台上位机作为主机, 其它各台从机之间不能通信, 即使有信息交换也必须通过主机转发。与上位机通信硬件电路如图 5 所示。

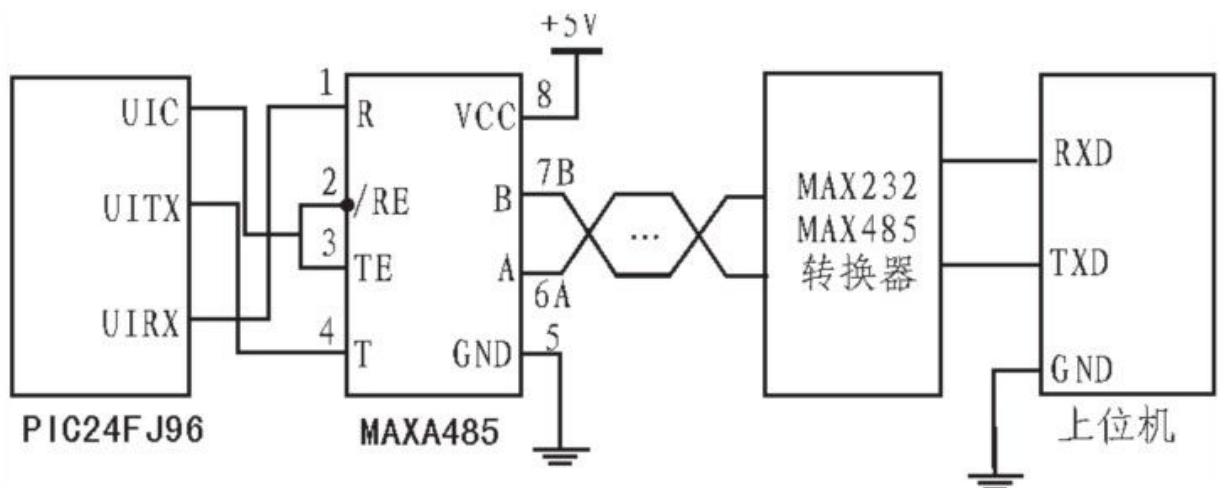


图 5 RS485 总线硬件电路

智能断路器与上位机之间通信采用 Modbus 通信协议, Modbus 通信协议是目前国际智能化仪表普遍采用的主流通信协议之一。两者之间采用主从式通信方式, 当上位机发送通信命令至断路器时, 符合相应地址码的从机接收通信命令, 并根

据功能码及相关要求读取信息。如果 CRC 校验无误，则执行相应的任务，然后把执行结果返送给主机。

3 智能断路器的软件设计

软件完成整个断路器的功能，采用模块化结构化的 C 语言程序设计方案。主要包括的程序：

1) 系统主程序。主要完成系统的端口、定时器、A / D 转换器等模块的初始化工作、同时完成 LCD 界面显示工作。

2) 定时中断服务子程序及 A / D 转换子程序，主要完成 A / D 转换任务及按键处理功能，单片机需要在一个周期(20 ms)采样 36 次，并对采样暑假进行保存。

3) 数据处理子程序，主要完成漏电电流的计算，漏电电流的判断，跳闸与否的处理等工作。

4) 按键处理子程序，主要提供一个人机对话通道，用户可以通过按键设置漏电保护的整定值、延时跳闸时间等，其参数的修改有密码保护。

主要的软件系统框图如图 6 所示。

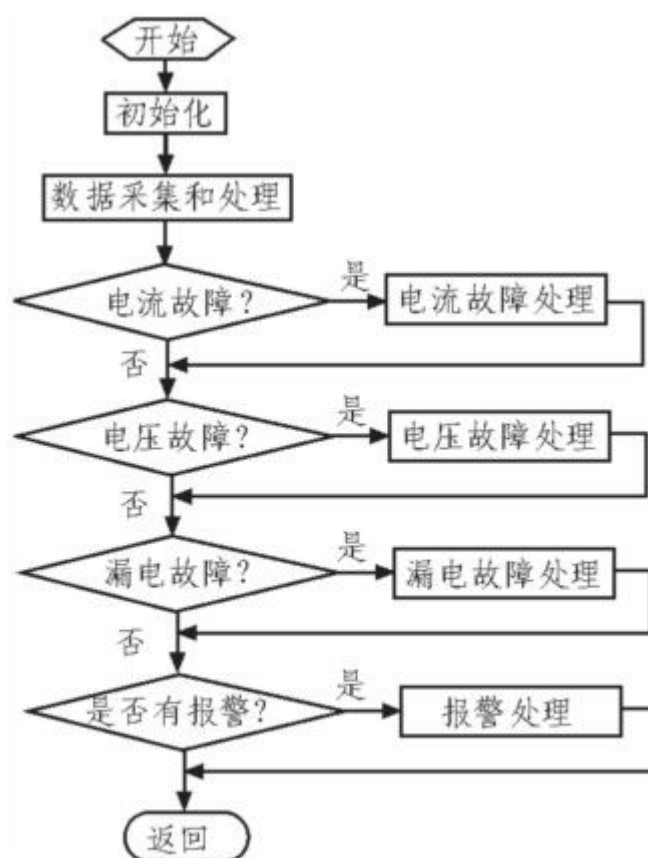


图 6 软件系统框图

4 结束语

智能漏电断路器 IRCCB 是在配电网中广泛应用的一种低压电器主要用于防止人身触电和设备漏电故障，其工作的正确性直接影响供电的安全性和可靠性，采用 PIC 单片机进行智能型漏电断路器的智能化设计，质量可靠，抗干扰性强，并能够通过总线通信技术的应用实现断路器控制的系统化和网络化。

电气接地故障中电弧性对地短路是引发电气火灾的重要原因。电弧性对地短路具有很大的阻抗和电压降，它限制了故障电流，使过电流保护器不能动作或不能及时动作来切断电源，而几百毫安的漏电弧产生的局部高温可达 2000℃ 以上，足以引燃周围的可燃物而引起火灾。况且，用电设备分布在建筑物的各个角落，危害范围广，如不对系统的漏电进行监测和防控，就会对人身和财产安全构成威胁，存在很大的火灾隐患。智能型漏电断路器能准确监控电气线路的故障和异常状态，能有效预防常见的因漏电导致接地电弧所引起的建筑物电气火灾事故。为了保证人民生命财产安全，在建筑物的电源进线处及干线上安装智能型漏电断路器十分必要。

1 剩余电流产生的原因和保护原理

让三相四线导线一起穿过一零序电流互感器 CT，也可在中性线 N 上安装一个零序电流互感器 CT，利用这些 CT 来检测三相的电流矢量和，即剩余电流，如图 1 所示，根据电路原理可知，当电路中没有发生设备漏电或接地故障且三相负荷完全平衡时，一次侧中瞬时电流的矢量和为零，即 $I_a+I_b+I_c+I_N=0$ ，在电流互感器中产生磁通的矢量和等于零，此时，二次线圈中感应电流 $I_L=0$ 。当被保护的电路出现绝缘故障时，负载侧有对地泄载电流，零序电流互感器的矢量和不为零，即 $I_a+I_b+I_c+I_N\neq 0$ ，在电流互感器中产生磁通的矢量和也不等于零，此时，零序电流互感器二次绕组中便产生感应电流，即剩余电流 $I_L\neq 0$ 。

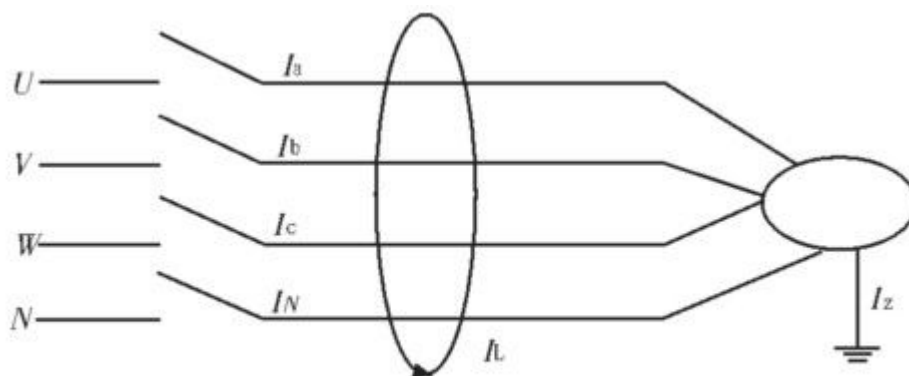


图 1 剩余电流互感器工作原理

漏电断路器主要由零序电流互感器 CT，漏电检测电路，脱扣器组成。被保护电路有漏电或人体触电时，只要漏电或触电电流达到漏电动作电流值，零序电流互感器的二次绕组就输出一个信号，经过集成电路放大器放大后送给 CPU，CPU 输出驱动信号使漏电脱扣器动作驱动断路器脱扣，从而切断电源起到漏电和触电保护作用。

2 断路器控制器的设计

2.1 系统基本功能

智能型漏电断路器集剩余电流、短路、过载、过压和欠压(缺相)等电气故障的监测、分析、报警及控制于一体,主要具有以下功能:

1)具有剩余电流检测和保护功能,当检测到发生漏电时,即剩余电流 $I_L \neq 0$,该信号经过单片机采样运算后进行快速判断,当剩余电流达到整定动作值时,驱动晶闸管,接通电磁脱扣器电源,电磁脱扣器吸合,使断路器跳闸,从而达到漏电保护的功能。

2)保护动作电流、分断时间可调:用作台区总保护时,剩余电流动作值可设置为 300~1 000 mA,分断时间可设置为 0.6 s,而作为二级保护时,动作电流可设置为 200 mA 档,分断时间可设为 0.3 s. 这样的设置可以避免因越级跳闸而引起的大面积停电现象的发生。

3)可智能识别突变剩余电流和缓变剩余电流,从而鉴别设备漏电和活体触电。缓变与突变漏电分开鉴别适合我国农村低压电网特点,得到广泛应用,是农村安全用电的一项有效的技术措施。

4)具有过电流长延时、过电流短延时和短路瞬时保护三段保护功能,组成所需的智能漏电断路器保护特性。智能设定漏电电流、过电流长延时、过电流短延时和过电流瞬时的整定值及预警值。

5)显示并储存故障发生点的线路地址、故障类型、故障发生时间和漏电电流、三相电流值。可记录多达 200 条历史故障,长期保存,直到用指令删除。

6)采用 RS485 总线通讯技术,可以利用总线与主机构成主从式监控系统,实现用户连网,在一台电脑上可对 1~250 台智能断路器在线远程监控,随时检查各用户安全用电情况,随时接通或分断各用户供电线路,并可对断路器的各种参数进行远程设置。

2.2 整体硬件设计

智能型漏电断路器主要由电源电路、单片机 PIC24FJ64、三相交流电电压电流检测电路、剩余电流检测电路、串行通信接口电路、人机接口电路及报警器等几部分构成的,如图 2 所示。

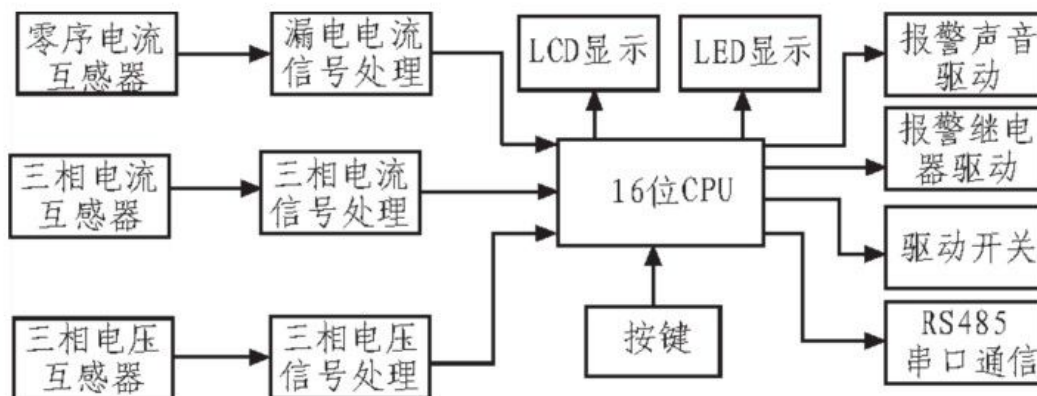


图 2 断路器控制器框图

其主要工作原理：把从电流互感器和线性光隔器取得的三相电流、漏电及电压信号进行调理后，输入到单片机的 A / D 转换，单片机对其进行采样后进行分析，输出相应的显示及报警信号等。其分析的结果也可以通过 RS485 总线传送到上位机。

2. 2. 1 单片机电路

单片机选用 PIC24FJ64，它是由 Microchip 公司设计的一款改进型哈佛架构的高性能 CPU，是智能断路器的核心，它完成智能断路器的各种控制功能，包括三相电压、三相电流和漏电电流的采样、数据处理、报警输出、与上位机通信、液晶显示及按键等功能。Microchip 公司开发、研制和生产单片机技术性能具有以下优点：1) 哈佛总线结构；2) 精简指令集 (RISC) 技术；3) 寻址方式简单；4) 代码压缩率高；5) 运行速度高；6) 功耗极低；7) PIC16F877 芯片具有 A / D、MSSP、USART 串行总线端口等，并有外接电路简洁、开发方便、可用 C 语言编程、程序保密性强等特点。

2. 2. 2 剩余电流检测电路

剩余电流检测电路是一个零序电流互感器。被保护的相线、中性线穿过环形铁心，构成了互感器的一次线圈，缠绕在环形铁芯上的绕组构成了互感器的二次线圈，如果没有漏电发生，这时流过相线、中性线的电流向量和等于零，因此在二次线圈上也不能产生相应的感应电动势。如果发生了漏电，相线、中性线的电流向量和不等于零，就使二次线圈上产生感应电动势，这个信号就会被送到中间环节进行进一步的处理，如图 3 所示。

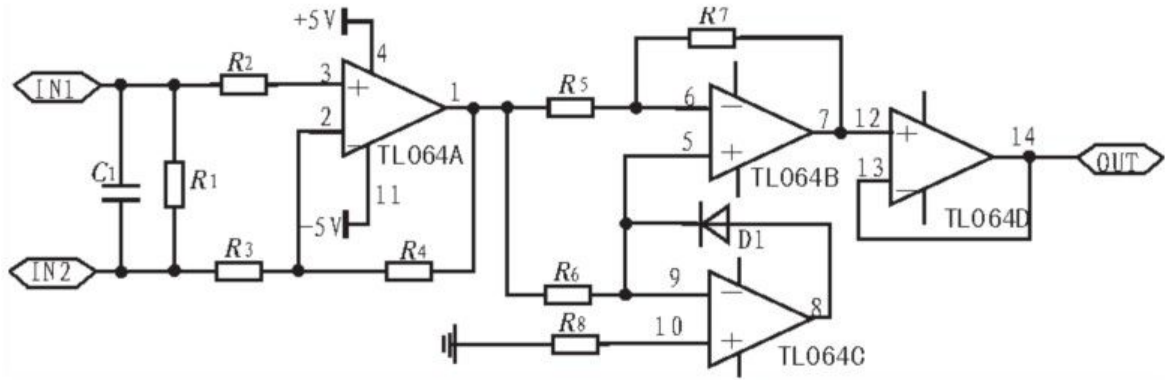


图 3 剩余电流检测电路

交流信号经过绝对值放大电路处理后，得到全波整流，处理后的信号送入到单片机中。单片机每个周期采样 36 个点，根据式 (1) 可以计算出剩余电流的有效值，其中 X 为采样值。

$$I_t = \sqrt{\frac{\sum X^2}{36}} \quad (1)$$

2. 2. 3 三相电压电流及相序检测

电流检测由二三相交流互感器、运算放大器和整流滤波电路组成。其中三相交流互感器把电流转换为电压信号，经运算放大器构成的电路调理后整流滤波输入到单片机的 A/D 转换器进行转换。

传统的电压检测方法是采用电压互感器或者线性光隔器，采用电压互感器进行电压检测的缺点是互感器体积偏大，而很多时候设计的产品要求控制器的体积小，从而安装使用方便，而采用线性光隔的缺点是电压检测精度不高。本系统采用电流互感器与电阻串联的方法对电压进行检测，既大大减小了控制器的体积，也可以保证电压检测的高精度。其原理图如图 4 所示。

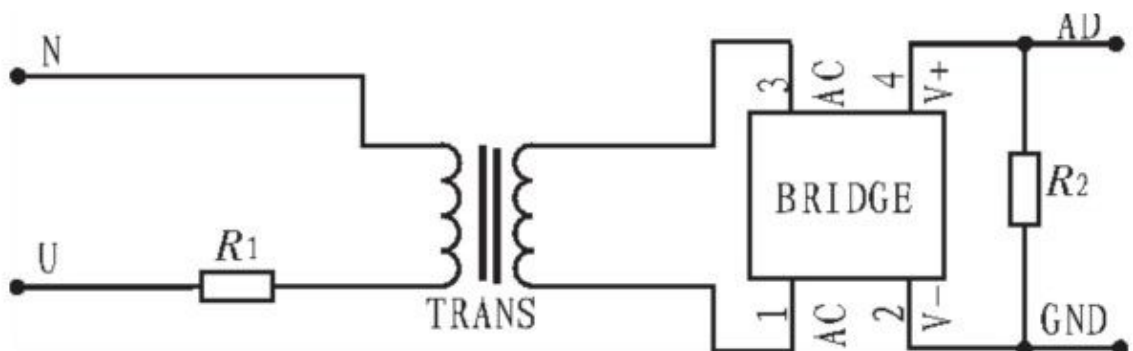


图 4 电压检测电路

电流互感器采用耀华电子生产的 1: 1 的电流互感器 TV16, 由于电流互感器的原边和副边变比相等, 所以副边电压等于原边电压. 通过选择合适的电阻 R1, 使电流互感器副边输出电压峰值不超过最大允许的采样电压, 互感器副边电压经过整流桥后变成单相全波, 单片机的 A / D 转换器可对全波进行采样分析。

电源相序检测采用峰值检测法, A、B、C 三相电压的相位相差 120°。检测的方法是当检测到 A 相的最大值是开始计时, 当检测到 B 相的最大值时停止计时, A、B 两相峰值之间的时间间隔就可以得到, 设为 Δt , 根据 Δt 可以求出 A、B 两相的相位差 ϕ , 其计算公式为:

$$\phi = 360^\circ \times \frac{\Delta t}{T} \quad (2)$$

如果计算出来的相位差 $110^\circ \leq \phi \leq 130^\circ$, 可认为相序正常, 如果超出这个范围, 则判定为相序错误。

2. 2. 4 RS485 总线硬件电路

智能型漏电断路器与上位机采用 RS485 总线通信, 一台主机可以控制多达 250 台断路器, RS485 通信系统采用主从式结构, 从机不主动发送命令或数据, 一切都由主机控制。因此在一个通讯系统中, 只用一台上位机作为主机, 其它各台从机之间不能通信, 即使有信息交换也必须通过主机转发。与上位机通信硬件电路如图 5 所示。

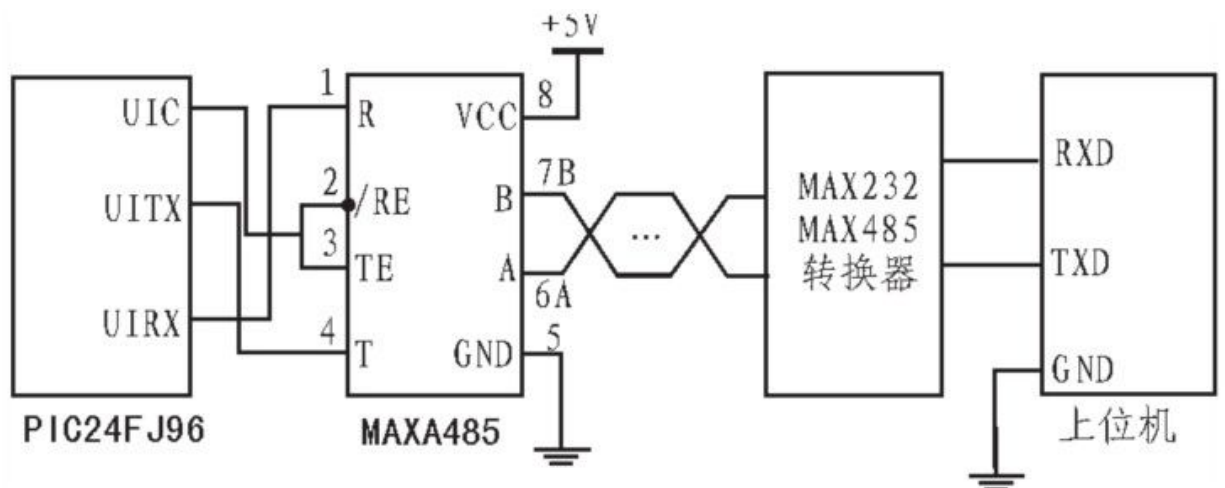


图 5 RS485 总线硬件电路

智能断路器与上位机之间通信采用 Modbus 通信协议, Modbus 通信协议是目前国际智能化仪表普遍采用的主流通信协议之一。两者之间采用主从式通信方式, 当上位机发送通信命令至断路器时, 符合相应地址码的从机接收通信命令, 并根

据功能码及相关要求读取信息。如果 CRC 校验无误，则执行相应的任务，然后把执行结果返送给主机。

3 智能断路器的软件设计

软件完成整个断路器的功能，采用模块化结构化的 C 语言程序设计方案。主要包括的程序：

1) 系统主程序。主要完成系统的端口、定时器、A / D 转换器等模块的初始化工作、同时完成 LCD 界面显示工作。

2) 定时中断服务子程序及 A / D 转换子程序，主要完成 A / D 转换任务及按键处理功能，单片机需要在一个周期(20 ms)采样 36 次，并对采样暑假进行保存。

3) 数据处理子程序，主要完成漏电电流的计算，漏电电流的判断，跳闸与否的处理等工作。

4) 按键处理子程序，主要提供一个人机对话通道，用户可以通过按键设置漏电保护的整定值、延时跳闸时间等，其参数的修改有密码保护。

主要的软件系统框图如图 6 所示。

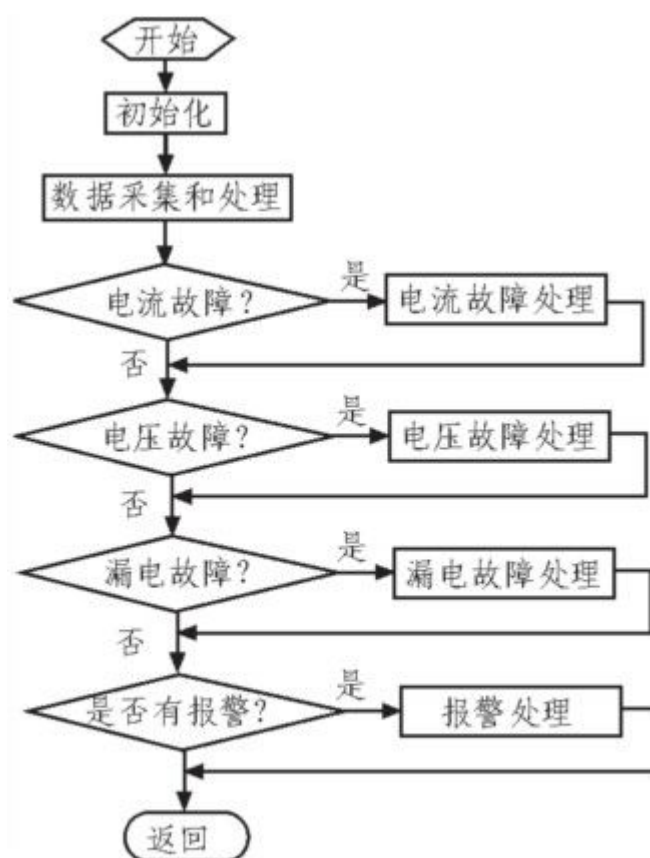


图 6 软件系统框图

4 结束语

智能漏电断路器 IRCCB 是在配电网中广泛应用的一种低压电器主要用于防止人身触电和设备漏电故障，其工作的正确性直接影响供电的安全性和可靠性，采用 PIC 单片机进行智能型漏电断路器的智能化设计，质量可靠，抗干扰性强，并能够通过总线通信技术的应用实现断路器控制的系统化和网络化。