

基于单片机构成相间距离保护的研究

山东工业大学 曹秉浩

摘要

本文介绍以单片机为核心构成相间距离保护的方法和技术措施。分析了电路结构原理,程序结构特点与调试开发步骤。文中还详细阐述了提高可靠性的几种方法。最后分析了保护动作行为。

一 引言

由于单片机所具有的独特的优点,使它越来越多的被应用于各种控制领域。单片机集成度高,功能齐全接口方便,有丰富的条件转移指令,便于实现各种控制逻辑和出口闭锁逻辑操作。继电保护装置作为一种专用控制设备而言,选取较小计算机系统显然是一个值得考虑的途径。由单片机构成的电路就是一个较小计算机系统,硬件结构大为简化。作为微机保护所具备的某些功能,单片机保护同样能够实现。通过程序设计可以赋予它自检功能,打印功能;系统发生故障时,保护各部分顺序记录功能,以及程序出格

在主程序中有七个判断:

- 当 $KR_1 = 1, KR_2 = 1$ 时, 只作相差高频保护的整定计算;
- 当 $KR_1 = 1, KR_2 = 0$ 时, 只作方向高频;
- 当 $KR_1 = 1, KR_2 = 2$ 时, 只作距离高频;
- 当 $KR_0 = 0, KR_2 = 1$ 时, 作相差、方向高频计算;
- 当 $KR_1 = 0, KR_2 = 2$ 时, 作相差和距离高频计算;
- 当 $KR_1 = 0, KR_2 = 0$ 时, 作方向和距离高频计算;
- 当 $KR_1 = 2, KR_2$ 任意时, 全部都作计算。

参考文献

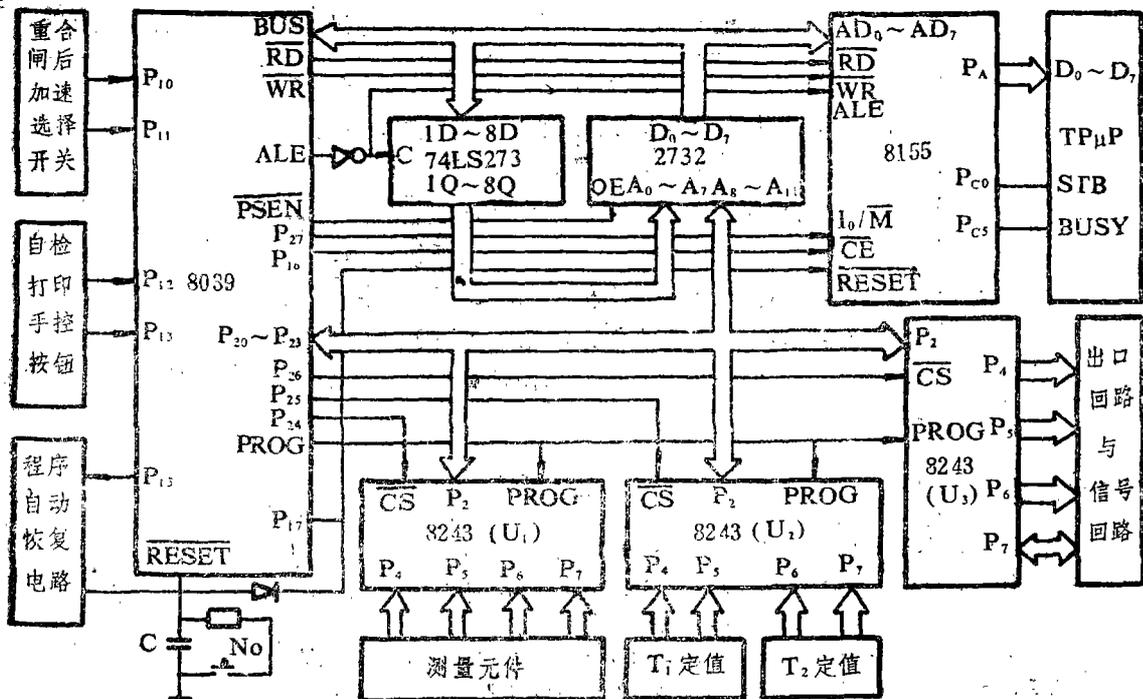
1. 《电力系统继电保护原理》天津大学 编 电力工业出版社 1985年
2. 《电力系统计算》五校一所 合编 水力电力出版社 1978年
3. 《高频相差保护装置检验规程》东北电力局编 1973年
4. 《110~220千伏电网继电保护与安全自动装置运行条例》电力工业生产司 编1979年
5. 《DJ S-6机高频保护整定计算语言程序》吉祥祺 电力工业部西南电力设计院
6. 《操作互感电路的导纳计算方法》魏家鼎 吉林电力技术 1981年
7. 《电力系统继电保护设计原理》吕继绍 华中工学院 1986年

后进行自恢复的功能。以上功能若由晶体管保护去实现就不太容易了。但是，毕竟晶体管保护积累了长期运行经验，其测量部分的可靠性与定值的稳定性是可以肯定的。而且，采用这种常规的测量元件代替微机保护的采样，计算及滤波等测量环节，可以明显的减少单片机的时空开销，从而提高了保护的動作速度，提高了保护的可靠性。因此，这一课题的研究已为人们所关注。

本文探讨了以单片机为核心，以晶体管保护常规测量元件为输入信号，从而构成相间距离保护的新方法。这种方法的特点就在于利用测量部分动作的可靠性和定值的稳定性，又可以充分发挥单片机多功能的优点。

二 电路结构原理

电路结构如图1所示。单片机8039内含完整的CPU、静态RAM、工作寄存器 $R_0 \sim R_7$ 、 $R'_0 \sim R'_7$ 及定时器/计数器。使用2732作为片外ROM，74LS273作为地址锁存器。CPU在取指周期的ALE正脉冲作用下选通2732，将指令地址的低8位送到2732的 $A_0 \sim A_7$ ，指令地址的高四位由单片机 $P_{20} \sim P_{23}$ 直接送到2732的 $A_8 \sim A_{11}$ ，由 P_{23} 输出的体选位在指令控制下，可使程序灵活的在0体内运转，使单片机寻址范围在不增加硬件的情况下，可方便的扩大到4K字节。CPU在每指令周期的 \overline{PSEN} 负脉冲控制下选通2732，将指令读入CPU。



设置三个8243扩展 I/O 接口 $U_1 \sim U_3$ 单元, 片选信号分别由 $P_{24} \sim P_{26}$ 控制。

U_1 单元输入保护装置的测量信号。 $P_{40} \sim P_{42}$ 作为起动元件 QDJ 输入接口, 为了提高保护起动的可靠性, QDJ 的动作与否由程序采用三取二表决判断; $P_{50} \sim P_{52}$ 分别作 I 段阻抗元件 1 ZKJ_{ab} (bc, ca) 的输入接口; P_{63} 、 P_{60} 、 P_{61} 分别作 II 段阻抗元件 2 ZKJ_{ab} (bc, ca) 的输入接口; P_{62} 、 P_{63} 、 P_{70} 分别作 III 段阻抗元件 3 ZKJ_{ab} (bc, ca) 的输入接口; P_{71} 作断相闭锁继电器 DBJ 的输入接口; P_{72} 作电流继电器 LJ 的输入接口。

起动元件采用复合电流过滤器, 其输出方程为:

$$u_{sc} = |K_2 \dot{I}_2| + |K_0 (3 \dot{I}_0)| - |K_d (\dot{I}_1 + \dot{I}_2)|$$

式中: u_{sc} ——起动元件的输出电压;

$K_2 K_0$ ——负序电流及零序电流整定值正比系数;

K_d ——制动分量整定值正比系数;

$\dot{I}_1 \dot{I}_2 \dot{I}_0$ ——分别为正序、负序、零序电流分量。

阻抗元件是按绝对值比较原理构成的三段独立的阻抗继电器。其中 I 段为方向阻抗, II、III 段阻抗具有偏移特征。单片机可方便的对 I、II 段进行瞬时测量, 在程序中可经振荡闭锁控制。第 III 段作为 I、II 段的后备, 同时作为后加速跳闸的判断条件。

断相闭锁继电器 DBJ 用来反应交流回路是否断线。为防止系统发生各种接地故障时 DBJ 可能误动, 因此 DBJ 设有接电压互感器开口三角 $3U_0$ 的电压线圈。从而为单片机判断 PT 断线提供可靠依据。

由于线路长期过负荷运行, 保护装置会有潜在的危险。这时一旦系统进行某种操作或发生区外故障就会造成保护误动的可能。为此, 测量信号设置相电流继电器 IJ 为单片机判断线路过负荷提供依据。同时, 单片机还可根据 LJ 和 QDJ 的动作情况, 用来判断系统是否静稳定破坏引起振荡。

以上测量元件通过 74LS14 及光电耦合器将信号加到单片机接口芯片 8243 U_1 单元。

U_2 单元输入 T_1 和 T_2 定值开关状态。 T_1 是经振荡闭锁的保护 II 段的延时动作定值, 由 $P_4 P_5$ 口输入定值开关状态; T_2 是不经振荡闭锁的延时动作定值, 由 $P_6 P_7$ 口输入定值开关状态。程序初始化阶段取定值开关状态, 存入所规定的片内 RAM 单元。程序运转过程中, 根据不同标准确定调用不同的延时子程序。

U_3 单元为保护出口回路和信号回路的接口芯片。 P_4 口输出跳闸脉冲; $P_5 P_6$ 口输出各类信号; P_7 口接保护自检返回信号。

保护装置的动作过程及测量元件的间隔动作时间由 8155 定时并且记录。8155 是可编程接口芯片, 内含 255 字节静态 RAM 及定时器/计数器。通过它实现与智能式微型打印机 TP μ P 相连接。

三 程序说明与调试

程序框图如图 2 所示。当装置合上直流电源或手按复归按钮 No 时, 单片机程序计

数器PC自动指向000H单元，程序进入初始化。初始化阶段，首先将I/O口分别置输入或输出方式，询问U₂单元定值开关状态，取P₁₀~P₁₄开关状态存放在单片机内部规定的RAM单元，为程序判转提供标志。选中8155设置P_A、P_B、P_C口为输出方式，

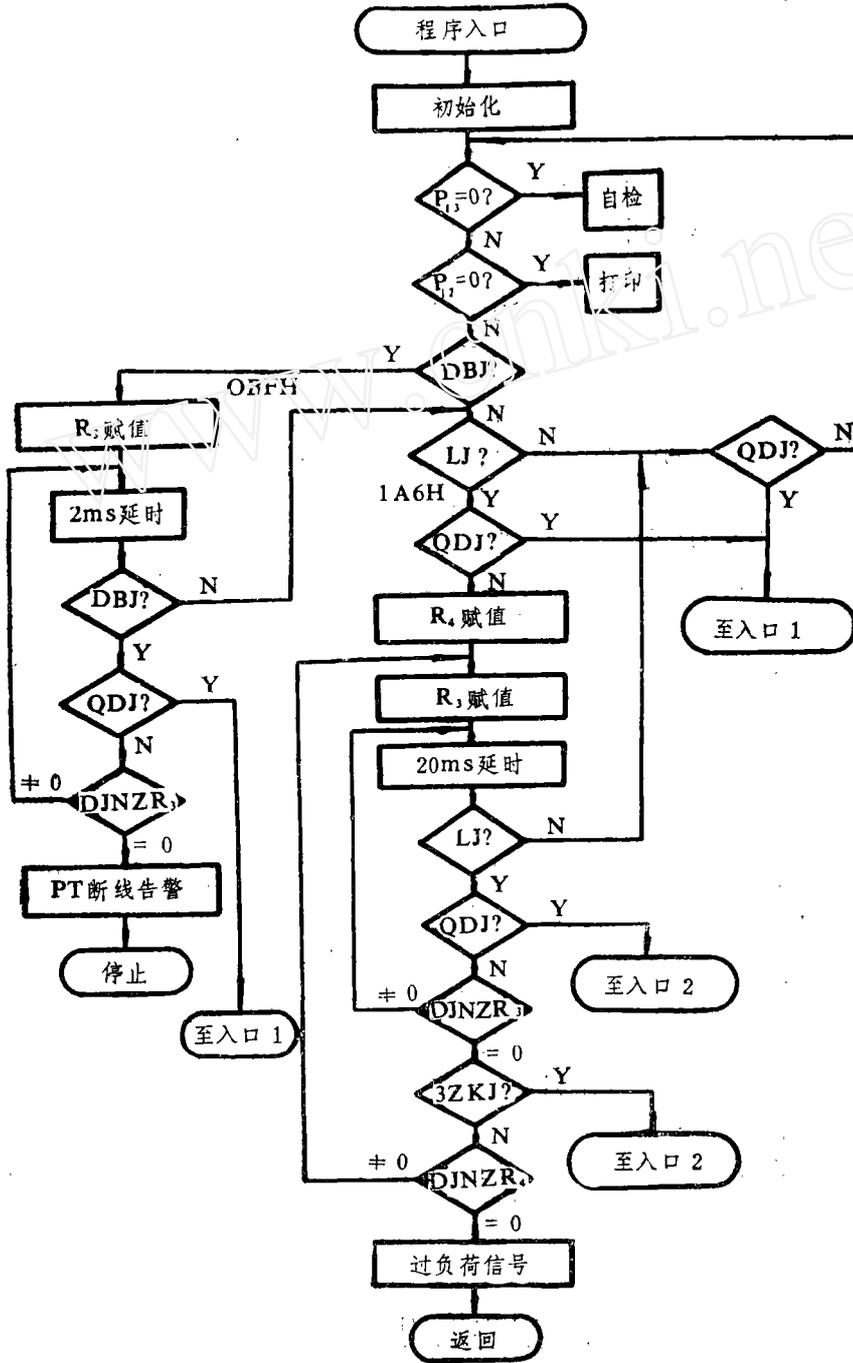


图2A 程序框图

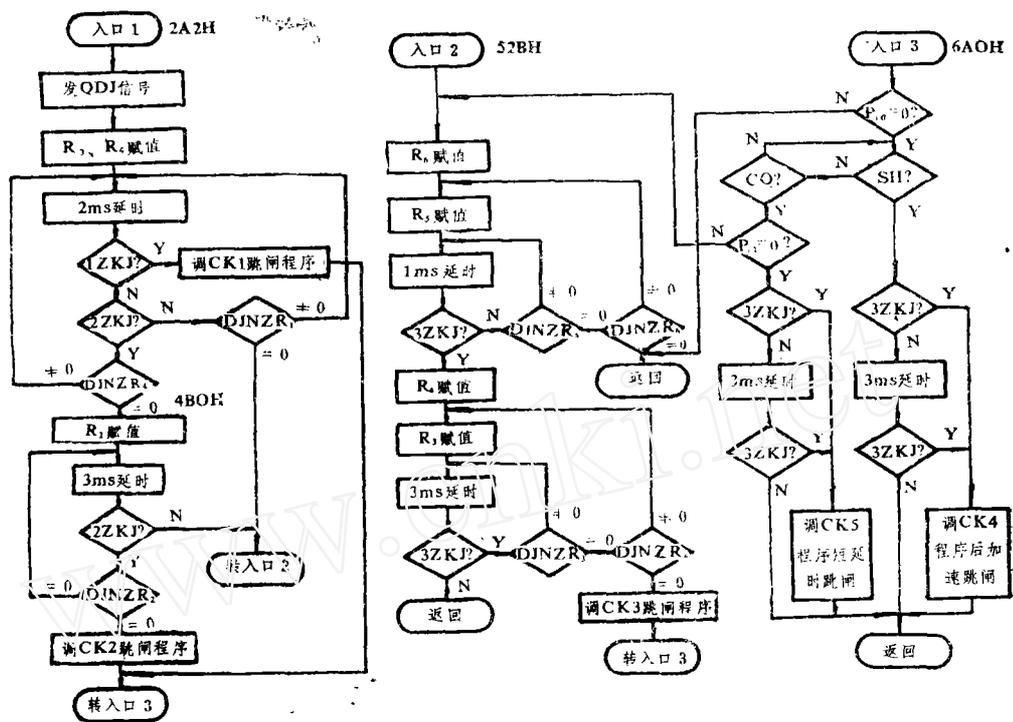


图 2 B 程序框图

定时器/计数器为定时器方式，一旦QDJ起动，定时器开始计时，从时间零点开始记录保护各部分动作顺序。程序初始化之后进入总闭锁判断，循环检测DBJ, LJ, QDJ动作信号。

当电压互感器回路断线时，DBJ动作，程序转入OBFH单元，在50ms内反复检测DBJ和QDJ的动作状态。如果确属电压互感器回路断线，则发出PT断线告警信号；如果在50ms内检测到QDJ动作，则重新进入至程序。系统故障时，若DBJ先于QDJ动作，这种循环检测的方法可以避免程序误入总闭锁状态。

当线路过负荷运行时，首先检测到LJ动作信号，程序地址由1A6H单元进入过负荷判断子程序。在规定的时间内反复检测LJ和QDJ，直到确信QDJ没有动作，最后发出过负荷信号。若正常系统因大机组失励或其他原因使静稳定遭到破坏而引起振荡时，LJ动作，子程序中解除了这时会误动作的保护第I、II段，但不闭锁第III段，因为第III段判跳程序在时间整定上可以躲越振荡周期。

如果线路发生相间短路故障，程序由2A2H单元进入振荡闭锁开放0.2s子程序。这是一个循环测判子程序，每2ms延时之后反复测判1ZKJ, 2ZKJ动作与否，测判次数100(64H)次。若1ZKJ动作则调用子程序CK1跳闸，并设置I段动作信号。若线路故障发生在I段范围，但阻抗测量元件2ZKJ先于1ZKJ动作的情况下，在循环测判程序中，仍然能保证正确测判1ZKJ动作，调用子程序CK1跳闸。若故障发生在II段范围，2ZKJ动作，则由4BOH单元进入延时程序，单片机工作寄存器R2的数值

大小取决于 T_1 定值标志,在整定时间内,每间 3ms 反复检测 2ZKJ 是否返回,若 2ZKJ 返回说明是区外故障。若经过延时 2ZKJ 仍处于动作状态;则调用子程序 $\text{CK}2$ 跳闸,并设置Ⅱ段动作信号。

程序中确定振荡闭锁开放时间的原则有二条:一是由于系统振荡第一周期较短(约为 0.4s),为避免阻抗元件感受阻抗过早进圆,希望振荡闭锁开放时间小于系统振荡第一周期时间,并且留有足够的余度;二是考虑系统单相故障发展为相间故障的情况下,希望保护能在振荡闭锁开放的时间内检测到这类故障,故此振荡闭锁开放时间不能太短,否则这类故障只能由第Ⅲ段判跳程序跳闸,拖延了切除故障的时间,不利于系统稳定。鉴于以上原因,振荡闭锁开放时间选为 0.2s 较为有利。

程序设置了第Ⅲ段跳闸路径是为了作第Ⅰ、Ⅱ段的后备。当某种原因Ⅰ、Ⅱ段拒动,仍可由第Ⅲ段去跳闸。这时程序由 52BH 单元进入第Ⅲ段判跳程序,单片机工作寄存器 R_3 、 R_4 的数值大小取决于 T_2 定值标志,在整定时间内,每间隔 3ms 反复检测 3ZKJ 测试状态,若 3ZKJ 返回,说明是系统振荡引起阻抗进圆,主程序则返回初始化阶段。由于第Ⅲ段延时整定时间能躲越振荡影响,故第Ⅲ段跳闸判断程序不经振荡闭锁控制。

为了适应不同线路对后加速的不同要求,在电路中设置了 K_1 、 K_2 作为后加速选择开关,开关状态在程序初始化阶段分别由 P_{10} 、 P_{11} 输入单片机内存,作为重合闸后加速程序的方式选择标志。 K_1 为允许重合闸后加速方式开关; K_2 为重合闸后加速延时选择开关。后加速程序由 6AOH 单元开始,检测重合闸起动信号 CQ 或手动合闸 SHJ 信号是否出现, CQ 与 SHJ 信号分别由 8243U_1 单元 P_{43} 、 P_{73} 输入,如果检测到重合信号,再进行后加速延时标志判别。由于手动合闸操作是在同期方式下进行,不必再检测 QDJ ,只检测 3ZKJ 动作与否,因为 3ZKJ 阻抗元件灵敏度高,如果 3ZKJ 动作属实,则调用子程序 $\text{CK}4$ 后加速跳闸,并设置相应信号。

程序的调试开发是借助于单片机 MCS-48 开发机与 APPLE-Ⅱ 微机上进行的。单片机开发机包括 TP801 与单片机仿真板构成,在程序调试过程中,由单片机开发机代替保护装置单片机硬件系统的 EPROM ,从而构成开发系统。开发系统与 APPLE-Ⅱ 可以联机通讯, APPLE-Ⅱ 在编辑、汇编、通讯软件的支持下,可以运用 MCS-48 系列汇编语言源程序进行编辑与修改,汇编后的指令机器码可以传至单片机开发机。保护装置在单片机开发机的软件支持下进行现场调试。单片机开发机可以进行全速执行操作,这时机器周期取决于保护装置单片机硬件系统的晶振频率,因此能够逼真的模拟现场调试。调试成功的程序在开发系统上对 2732 进行固化,也可以在 PC 机上进行固化处理。固化成功的 2732 按置在保护装置 EPROM 位置上,开发操作全部完成。

四 出口与信号

单片机扩展接口 8243U_3 单元输出跳闸脉冲及各类动作信号。信号部分有保护起动信号,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段保护阻抗动作信号,后加速信号,这些信号仅设本机信号。另外,还有 PT 断线告警信号,过负荷信号,装置自检发现有故障信号,程序自恢复失灵告警

信号，这些可以发出中央信号。出口、信号电路例举部分电路进行原理说明，如图3所示。

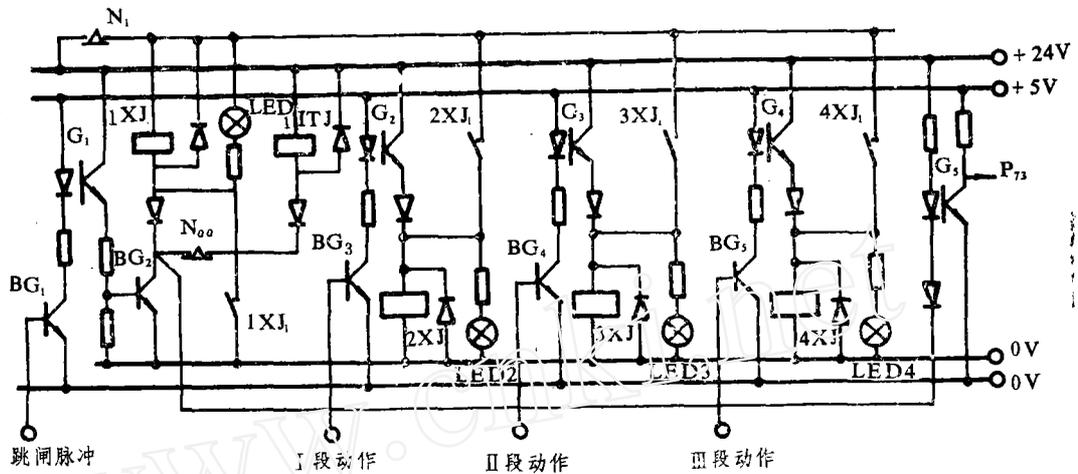


图3 出口与信号电路图

信号电源 +24V 与单片机电源 +5V 之间，经光电耦合器进行了隔离，有效地消除了信号电源电路带来的某些干扰，保证了单片机电源系统的可靠性。

8243是单片机的专用接口芯片，具有较强的带负载能力，单片机通过专用指令可以直接对该芯片上引脚状态进行输入、输出、逻辑“与”、“或”操作。P₄~P₇口在程序初始化阶段已经设定为输出方式，即为“0”态。信号电路以阻抗 I 段动作信号为例进行说明，P₆₀为该信号输出引脚，作用在BG₃基极上，正常时引脚电平为低电平，BG₃截止，光电耦合器G₂不通，阻抗 I 段信号继电器 2XJ 不动作。若相间故障发生在 I 段范围，P₆₀输出高电平，BG₃导通，光电耦合器G₂导通，2XJ 励磁，2XJ₁触点闭合，实现自保持。

P₄₀~P₄₃引脚为保护跳闸脉冲输出引脚，经硬件逻辑电路加到BG₁基极，平时BG₁截止，光电耦合器G₁不通，BG₂截止，出口跳闸中间继电器 1TJ 和跳闸信号继电器 1XJ 均不动作。当相间故障发生在被保护区内，保护装置经过程序判断发出跳闸脉冲，BG₁导通，光电耦合器G₁导通，BG₂导通，1TJ 与 1XJ 均励磁，1TJ 触点分别引至跳闸回路及重合闸起动回路。1XJ 触点发出中央信号，同时通过 1XJ₁触点闭合，实现自保持。由于BG₂导通，发光二极管LED₁也点亮，并由 1XJ₁自保持，因此LED₁，可作为本机信号指示跳闸脉冲是否发出。当故障切除，保护返回，BG₁、BG₂重又处于截止状态。这时，由于BL₁、BL₂的隔离作用，1XJ 仍然自保持，直到值班员寻视保护，按下手动复归按钮N₁，信号才解除自保持。

五 保证保护可靠性的几项技术措施

保证保护装动作的可靠性是一个重要课题。微机保护是一个动态系统，应当根据微

机保护的特点，针对性的采取一系列有效的技术措施，才能保证它可靠运行。下面仅就本文所涉及的有关问题作一探讨。

1. 防止干扰的侵入是应当把好的第一个关口。由于保护装置工作环境干扰严重，干扰源的特点是频带较宽，含高次谐波丰富，持续时间短，有时有较高的幅值，如何衰减和吸收干扰信号是抗干扰的实质问题。首先，单片机与外部接口部分均采用光电耦合器进行隔离，消除由信号电源及测量回路带来的干扰影响。单片机系统采用单独电源，CPU板电源输入端口再接滤波电容消除高频干扰的窜入。各路接口连接线既要静电屏蔽又要电磁屏蔽。尽量减少导线环的面积，采用双绞线。电路排线结构要合理布局，8039是电路中工作最繁忙的关键芯片，它应处在最佳位置，在进行方案比较的过程中，用示波器探头跨上高频扼流圈来寻找干扰最小的地方确定它的位置。

2. 由于测量回路采用硬件结构从而节省了单片机的采样与计算时间，CPU可以充分用来进行可靠性判断。每一测量信号的检测输入，首先由程序进行间隔1ms延时后重判信号是否抖动，不抖动则认可，否则不认可。输入信号再经循环测判程序的鉴定，进一步提高了测量与判断的可靠性。此外，由于起动信号QDJ是保护动作的关键，故此QDJ与单片机的接口采用三取二表决的方法。这种方法的特点在于不扩展硬件的情况下充分利用I/O引脚，可以通过输入程序赋予CPU以纠错判断功能。以上措施为避免保护误动作起到了一定的作用。

3. 程序自恢复电路的设置使程序在运转异常的情况下可以自动恢复正常。若因某种原因单片机程序出格或进入死循环程序，这相当于保护退出运行，但这时任何软件措施都已无济于事，CPU已不能按预定的程序工作，因此必须借助于专用的硬件电路自动发现问题，自动恢复程序正常运转。这里介绍的方法如图4所示。

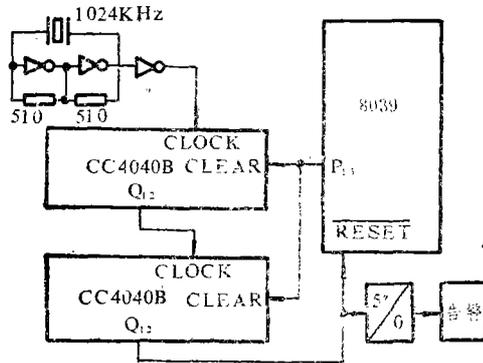


图4 程序自恢复电路

程序自恢复电路由专设的晶振及二片12级二进制计数器CC4040B等器件构成。多级分频器的输出最后作用到单片机RESET引脚。单片机在正常工作时P₁₅在程序驱动下每6s输出一清零脉冲，使多级分频器全部清零，因此多级分频器的最后一级不可能有输出信号使单片机复位。但是，在单片机程序出现异常时，P₁₅引脚就不可能有规律地输出清零脉冲。这时，多级分频器最后一级输出低电平作用到单片机RESET引脚，使单

片机程序计数器PC指针指向000H单元,程序自动重新由初始化阶段开始执行,P₁₅又按时输出清零脉冲使程序自恢复电路处于监视状态。假若单片机内部有故障,CPU异常或EPROM异常,P₁₅都不可能再出现清零脉冲,多级分频器最后一级输出的低电平对于单片机RESET引脚也不起作用,这时自恢复电路起动延时电路5s后发出自恢复失灵告警信号。

4. 自检功能的实现使单片机构成的相间距离保护可靠性得到进一步提高。利用单片机动态系统的特点,以及自检程序的快速性,在自检程序驱动下随时检测单片机内部是否有故障,同时还可检测出口与信号电路等硬件部分是否完好。

单片机P₁₃引脚设置一自检按钮N₁₀,这一按钮与N₀₀(见图3)是联动的。当按下N₁₀时(N₁₀触点闭合,同时N₀₀触点断开),单片机自动进入自检程序。自检内容包括单片机内部RAM、片外EPROM、测量信号输入接口以及出口与信号回路是否正常。

自检程序开始先将单片机片内用户RAM写入全“0”和全“1”检测是否正常,再将偶数字节写F0H,奇数字节写0FH,纵向奇偶校验是否符合要求。如果不符合要求则自检报警,报警信号由8243U₃单元P₇₂输出。

校验EPROM的方法是利用单片机的专用指令MOV P₃ A, (a) A把第三页应用程序中的指令码与操作码按字节累加,舍去累加过程中溢出部分,保留累加结果的一个字节的和数,再同预先存放在EPROM中某地址的已知数进行比较,以判断固化内容是否改变。

自检输入通道是否完好,是在自检程序驱动下对8243U₁U₂单元P₄~P₇进行口操作,先输出全“0”码,再用FFH进行逻辑“与”操作,逻辑“或”操作,最后输入操作结果,校核输入数据是否符合要求。

出口与信号回路的检查是自检程序的最后一步。为可靠起见在自检时断开N₀₀,避免试验跳闸脉冲影响1TJ。自检程序先输出各路动作信号,试验信号应当均有指示,自检后手动复归。然后,自检程序输出跳闸脉冲试验信号,光电耦合器G₁导通,BG₂导通,G₅导通,P₇₃低电平(见图3)。单片机核对P₇₃输入信号正确,则自检成功,否则发出自检报警信号。

六 保护动作行为几点分析

1. 保护动作速度主要取决于测量元件的动作速度。模拟试验证明起动元件QDJ最灵敏,而且动作速度最快,约为7~15ms。阻抗测量元件动作速度约为20~30ms,动作速度的大小与模拟相间短路故障点的远近有关,模拟出口相间短路故障时,阻抗元件1ZKJ动作速度约为20ms左右;模拟I段末端相间短路故障时,1ZKJ动作速度约为30ms左右。单片机晶振频率采用6MHz,经状态计数器三分频,再经周期计数器五分频,故机器周期为2.5μs。单片机与接口芯片8243的操作均有专用指令,因此单片机的操作延时是可以忽略的。

2. 系统发生振荡时, 阻抗测量元件可能断续动作, 但 $I_2 = 0$, QDJ不动作, 因此保护不会误动作。若静稳定破坏后的振荡过程中系统再故障, QDJ动作, 程序则转入52BH由保护第Ⅲ段延时动作跳闸。

3. 若相邻线路发生故障, 故障切除后再发生振荡, 且振荡中心发生在保护范围内, 程序不会再次进入2A2H, 从而闭锁了1ZKJ和2ZKJ。因为在相邻线路发生故障时, QDJ已经起动动作, 振荡闭锁开放时间已经过去, 这时只能由52BH进入第Ⅲ段判跳程序, 而保护第Ⅲ段延时整定时间大于振荡周期时间, 因此保护不会误动作。

若相邻线路故障切除后, 紧接着又发生保护区内相间短路故障。在这种特殊情况下, 保护仍由52BH进入第Ⅲ段判跳程序, 提供了延时跳闸途经。

4. 若系统发生单相接地故障, 但在接地保护尚未跳闸之前, 接地故障又发展为相间故障, 这时接地保护可能返回, 本保护若仍在开放振荡闭锁0.2s时间内, 则可通过CK₁子程序速动跳闸。若故障类型转换时间较长, 本保护仍可由52BH单元进入第Ⅲ段判跳程序。

5. 若背后母线短路或其他引出输电线路出口短路时, 保护进入起动程序开放振荡闭锁。由于1ZKJ不动作, 2ZKJ动作使程序进入52BH第Ⅲ段判跳程序, 在延时过程中由母线保护或其他引出线路距离保护Ⅰ段动作, 瞬时切除故障, 这时, 本保护2ZKJ返回, 保护返回。若母线保护或其他引出线路距离Ⅰ段拒动, 则本保护Ⅱ段仍可经延时跳闸。

结 语

本文曾在中国电机工程学会1989年5月全国《继电保护外围相关技术学术研讨会》上宣读。基于单片机构成的相间距离保护既有微机保护的若干共性问题, 又有单片机带来的某些优点。常规测量回路的引入减轻了CPU的负担, 可以有更多的时间进行其他的数据处理工作, 为提高保护可靠性能带来了好处, 使这类保护有了新的特色。由于单片机集成度高、功耗低、温度性能好, 便于实现多功能, 便于调试与维护, 使单片机构成的保护性能更趋完善。希望这一课题的研究今后会出现新的水平。

参考文献

1. 《计算机继电保护技术的现状与展望》 陈德树 张之哲 《继电器》1983 4
2. 《微机继电保护可靠性研究》 杨奇逊 中国电机工程学会继电保护学术会议论文
3. 《微机继电保护及其工程算法》 於学煌 《继电器》1984 1