

第一章 继电保护的基础知识

第一节 继电保护的作用及继电保护技术简介

【知识及能力目标】

1. 了解继电保护装置的分类和各自的特点；
2. 了解继电保护工作和学习的特点；
3. 掌握电力系统事故产生的原因；
4. 掌握继电保护的概念及其作用。

一、电力系统的故障及不正常运行状态

电力系统的运行对国民经济、人民生活甚至社会稳定都有着极为重大的影响，因此要求其运行必须安全可靠。但是，由于电力系统的组成元件数量多、结构各异、运行情况复杂、覆盖范围广，而且受到自然条件、制造质量、运行维护水平等诸多因素的影响（如雷击、倒塔、鸟兽跨接电气设备，设备设计或制造缺陷，安装、调试、运行维护不当或运行人员误操作等），电力系统的各种元件在运行中不可能一直保持正常状态，会发生各种故障和不正常工作状态。这时，若处理不当，将引起电力系统的事故。最常见、危害最大的故障是各种类型的短路故障。本书中若无特别指出，则所提的故障都默认为金属性短路故障。发生短路故障时会产生下列严重后果：

- （1）强大的电路电流产生的电弧使故障设备损坏甚至烧毁；
- （2）短路电流流过非故障元件时，引起元件的发热和电动力的作用，会使它们损害或缩短使用寿命；
- （3）造成故障点附近的部分地区电压大幅下降，使用户的正常生产遭到破坏或影响产品质量；
- （4）破坏电力系统并列运行的稳定性，引起系统震荡，甚至会使整个电力系统瓦解，导致大面积停电。

短路故障包括两相或三相相间短路故障及各种接地短路故障。不同类型的短路故障发生的概率和严重性是不同的，其中三相短路最为危险，单相接地短路最为常见。铁路供电系统中发生最频繁的故障是接触网短路故障，在恶劣天气情况下，一个供电区间一天内能有几十次短路故障。

电力系统正常运行状态遭到破坏，但尚未形成故障，称之为不正常运行状态。如一些设备长期过负荷运行，将引起设备过热，加速绝缘老化，轻者降低设备使用寿命，严重时绝缘

击穿，引发短路；而过电压将直接威胁电气设备绝缘，严重的会导致绝缘击穿；系统频率异常将使设备无法发挥最大功效，严重影响系统的正常运行。

不正常工作状态对电力系统和电力设备的影响与其不正常运行时间的长短有关。引起不正常运行的原因很复杂，通常情况下，要求继电保护装置检测到不正常状态后延时自动发出信号通知运行值班人员，以消除不正常工作状态，严重时也可直接自动跳闸，以切除不正常工作的元件。

故障和不正常运行状态都可能在供电系统中引起事故。事故，是指整个系统或其中一部分的正常工作遭到破坏，并造成对用户少送电或电能质量变坏到不能容许的地步，甚至造成人身伤亡和电气设备损坏。电力系统事故的发生，一方面有自然条件的因素，另一方面是由设备设计或制造的缺陷和安装的错误、检修质量不高或运行维护不当引起的。为了避免电力系统事故的发生和扩大，以及维持电力系统运行的稳定性，要求电力系统能在几十毫秒内准确迅速地识别并切除故障，这是无法由运行人员做到的，必须借助于自动装置。同时，电力系统的运行状态也应受到不间断的实时监控，一旦发生不正常运行状态，能及时告警（由值班人员采取措施）或启动自动控制装置（使其恢复正常运行），这些也必须借助于某种自动装置。能够实现这种功能的就是继电保护装置。

二、继电保护装置及其任务

继电保护装置是指装设在电力系统的各个电气设备上，能在指定区域快速准确地对电气元件发生的各种故障或不正常运行情况做出反应，并在规定时间内动作，使断路器跳闸或发出信号的一种有效的反事故自动装置。它的基本任务是：

（1）自动、有选择性、快速地将故障元件从电力系统中切除，使故障元件损坏程度尽可能降低，并最大限度地保证该系统中非故障部分迅速恢复正常运行。

（2）反映电气元件的不正常运行状态，并依据运行维护的具体条件和设备的承受能力，发出告警信号或延时跳闸。

应该指出，要确保电力系统的安全运行，除了继电保护装置外，还应该装设电力系统安全自动装置。后者是着眼于事故后和系统不正常运行情况的紧急处理，以防止电力系统大面积停电和保证对重要负荷连续供电及恢复电力系统的正常运行。例如自动重合闸、备用电源自动投入、自动切负荷、过负荷控制等。

随着电力系统的扩大，对安全运行的要求也越来越高。为此，还宜配置以各级计算机为中心，用分层控制方式实施的安全监控系统，它能对包括正常运行在内的各种运行状态实施监控，这样能更进一步地确保电力系统的安全运行。

三、继电保护技术简介

继电保护装置按其实现技术可分为机电型、整流型、晶体管型、集成电路型以及微机型

等五大类继电保护装置，这实际上也反映了继电保护装置的发展过程。机电型继电保护装置的历史最长，它是基于电磁引力或电磁感应作用产生机械动作的原理制成的。整流型继电保护装置的特点是，将输入电量经不同的输入变换器和 RLC 电路形成各种特征量，再经整流电路构成动作量和制动量，驱动灵敏的极化继电器（一种单极性动作的继电器）产生动作。晶体管型和集成电路型继电保护装置都是通过复杂的电子电路来实现保护原理的，与机电型、整流型继电保护装置相比可以实现更为复杂的保护原理和获得更为优良的保护性能。由于集成电路器件较晶体管的性能优越（如集成度高、体积小、功耗低、功能完备、可靠性高等），因此，晶体管型继电保护装置已被集成电路型继电保护装置淘汰。微机型继电保护装置的核心是一台专用的微型计算机，它控制与外部接口的电子电路，将传感器送来的信号变换为数据，然后进行复杂的算术和逻辑运算，对故障作出判断并发出动作指令。微机型继电保护装置不仅能够实现其他种类保护难以实现的保护原理，还可以完成电力自动化需要的各种智能化测量、控制、通信及管理功能，因而目前最先进的继电保护装置。

机电型、整流型继电保护装置的共同点是，它们的测量信号和动作能量全部来自于电力互感器，因此对电力互感器的功率消耗较大，并会影响测量精度和动作速度，但无需再提供另外的工作电源，因而被称为无源型继电保护。晶体管型、集成电路型及微机型继电保护装置的共同点是，它们只需要由电力互感器提供测量信号，因而对电力互感器的功率消耗极小，并提高了测量精度和动作速度，但需要另外提供工作电源（通常来自于电站的蓄电池），才能使电子电路正常工作，因而被称为有源型继电保护。机电型、整流型、晶体管型及集成电路型继电保护装置的共同点是，其内部电路直接对模拟电量进行处理，因而被统称为模拟式继电保护装置。微机型继电保护装置则以处理数字信号为特征，因而被称为数字式继电保护装置。

由于历史的原因，目前在电力系统中呈现上述五类继电保护装置并存的局面，但微机型继电保护装置代表了现代继电保护发展的主导方向，它正在快速地取代各种模拟式继电保护装置，并且已经占据了统治地位。

四、继电保护工作、学习的特点及要求

由于继电保护对铁路电力和牵引供电系统安全连续供电的重要性，因而对从事铁路继电保护工作人员也提出了相应的严格要求。比如要求继电保护工作者对所有电气主设备和二次辅助设备的工作原理、性能、参数计算和故障状态的分析等有深刻的理解，还要有广泛的生产运行知识；应密切注意相邻学科中新理论、新技术、新材料的发展情况，积极而慎重地运用各种新技术成果，提高其技术水平和可靠性指数，改善保护装置的性能，以保证供电的可靠性；不仅要善于对复杂的系统运行和保护性能进行理论分析，还必须掌握科学的实验技术，尤其要善于在现场条件下进行调试和试验的技术；应具有高度的责任感，严谨细致的工作作风，在工作中树立可靠性第一的思想。此外，还要求有较强的合作精神和沟通能力，经常与

供电部门、建设单位、设备生产厂家联系，以便及时采取应有的措施，确保继电保护能满足铁路电力系统和牵引供电系统安全运行的要求。

五、继电保护课程学习的特点

(1) 继电保护是一门专门研究电力系统故障及反事故措施的技术学科，初学者应特别注重提高对电力系统故障和其他异常工况的认识，加强故障分析计算的能力。

(2) 继电保护是理论与实践并重的课程，初学者应在认真学习基本理论的同时，注重完成习题、实验、实训、课程设计等实践性教学环节的作业任务。

(3) 学习继电保护的必要理论基础是电工原理、电机、电子、计算机等，学习过程中应注意提高对这些基础知识的运用能力和水平。

第二节 继电保护装置的基本原理、构成及电磁继电器

【知识及能力目标】

1. 理解继电保护装置的基本原理；
2. 了解继电保护装置的构成；
3. 理解电磁型继电器的分类、作用及其图形符号；
4. 理解继电器动作、返回、动作值、返回值、返回系数的概念；
5. 掌握电流、电压继电器动作值的调节方法。

一、继电保护的基本原理

继电保护为完成所担负的任务，显然应该能够正确地地区分系统正常运行与发生故障或不正常运行状态之间的差别，以实现其保护作用。通常可以通过分析电力系统发生故障或不正常状态前后物理量的变化情况作为判断继电保护动作与否的依据。

在电力系统正常运行时，每条线路上都流过由它供电的负荷电流，越靠近电源端的线路负荷电流越大。同时，变电所母线上的电压，一般都在额定电压 $\pm(5\% \sim 10\%)$ 的范围内变化，而且靠近于电源端母线上的电压较高。线路始端电压与电流之间的相位角决定于由它供电的负荷的功率因数角和线路的参数。由电压与电流之比所代表的“测量阻抗”，则是线路始端所感受到的、由负荷所反映出来的一个等效阻抗，其值一般很大。

当系统发生故障时，假定在线路上发生了三相短路，则短路点的电压降低到零，从电源到短路点之间将流过很大的短路电流，各变电所母线上的电压也将在不同程度上有很大降低，距短路点越近电压越低。若以 Z_K 表示短路点到变电所A母线之间的阻抗，此测量阻抗的大小正比于短路点到变电所A母线的距离，其值比负荷阻抗小很多。

以上分析可以看出，通常在发生短路以后，总是伴随有电流的增大、电压的降低、线路始端测量阻抗的减小，以及电压与电流之间的相位角的变化。因此利用正常运行与故障时这些基本参数的区别，便可以构成不同原理的继电保护，例如反应电流增大而动作的电流保护；反应电压降低（或升高）而动作的低电压保护（或过电压保护）；反应短路点到保护安装处之间的阻抗减小（及距离）而动作的距离保护（或低阻抗保护）；反应电流与电压间的相位角变化构成的方向保护；反应零序电流分量而动作于接地短路故障的零序电流保护；反应电气元件内部故障与外部故障（包括正常运行情况）时两侧电流相位或功率方向的差别构成的差动保护、高频保护等。采用差动原理构成的保护只能在被保护元件的内部故障时动作，而不反应外部故障，因而被认为具有绝对的选择性。

近年来，保护装置构成原理也由原来反应系统稳态量的变化（常规保护）发展到反应暂态量的变化（新原理保护），使继电保护装置更能满足电力系统的快速性要求。大部分新原理保护装置由反应工频变化量而构成，仅反应故障时故障分量中的工频成分，目前应用比较多的有工频变化量电流保护、方向保护、阻抗保护等。

除上述反应各种电气量的保护以外，还有根据电气设备的特点实现反应非电量的保护。例如，反应变压器油箱内部的绕组短路时油被分解所产生的气体而构成的瓦斯保护；反应电动机绕组的温度升高而构成的过负荷或过热保护等。

二、继电保护装置的构成

以上的各种原理的保护，可以由一个或若干个继电器连接在一起组成继电保护装置来实现。一般情况下，整套继电保护装置是由测量比较元件，逻辑判断元件和执行输出元件三部分组成的，如图 1-1 所示。

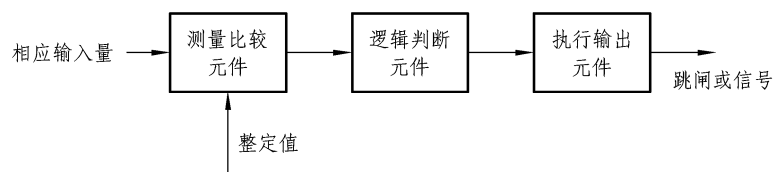


图 1-1 继电保护结构方框图

1. 测量比较元件

该部分是测量一个或几个能反应被保护设备的参数，并与已给定的整定值进行比较，逻辑判断元件根据比较的结果，发出不同信号（正常状态、异常状态或故障状态）。根据需要继电保护装置往往有一个或多个测量比较元件。常用的测量比较元件有电流、电压继电器、阻抗继电器等。在电流保护中，线路电流经电流互感器流入电流继电器中，当电流信号等于或大于电流整定值时，电流继电器动作，通过其接点向下一级处理单元发出使断路器最终跳闸的信号；若电流信号小于整定值，则电流继电器不动作，也不向下级单元发出动作信号。

2. 逻辑判断元件

逻辑判断元件接收测量比较元件传来的信号，根据测量比较元件各输出信号的大小、性质、组合方式出现的顺序、持续时间等，使保护装置按一定的逻辑关系判定故障的类型和位置，最后确定是否应该使断路器跳闸或只发出信号，并将有关命令传给执行部分。逻辑判断元件由时间继电器、中间继电器等构成。在过电流保护中，电流继电器动作信号启动时间继电器，经预定的延时后，时间继电器延时闭合接点闭合，接通执行输出元件。

3. 执行输出元件

执行部分是根据逻辑判断部分元件传送的信号，发出断开断路器的跳闸指令并发出告警信号或不动作，从而完成保护装置所担负的任务。故障的处理通过执行单元来实施。执行单元一般分两类：一类是声、光信号继电器（如电笛、电铃、闪光信号灯等）；另一类是断路器的操作机构的分闸线圈（使断路器分闸）。在过电流保护中，时间继电器的输出接通断路器的跳闸回路，同时信号继电器发出动作信号。

另外，继电器保护装置要求有自己独立的交流或直流电源，而且电源功率也因所控制设备的多少而有所增减。

三、电磁继电器

继电器是一种能自动执行断续控制的部件，当输入量达到一定值时，能使其输出的被控制量发生预计的状态变化，如触点的“开”、“闭”，输出电平的高、“低”等，具有对被控电路实现“通”、“断”控制的作用。

按工作原理分，继电器可分为电磁型、感应型、整流型和静态型。电磁型、感应型、整流型具有机械可动部分和触点，是机电型继电器；静态型是由电子元件（晶体二极管、三极管等）组成，是静止的，所以称之为静态型继电器。

为了便于初学者理解和掌握关于继电器的一些基本概念，这里介绍一下几种常用的电磁型继电器。

（一）电流继电器、电压继电器

电网发生相间短路时会发生故障相电流突然增大，母线电压突然降低，因此通过检测电流、电压的变化可以判定故障的发生，而这正是电流（压）继电器——故障测量元件的功能。电流（压）继电器是实现电流（压）保护的基本元件。

1. 电流继电器 KA

电磁型电流继电器结构和表示符号如图 1-2 所示。其线圈导线较粗、匝数少，串接在电流互感器的二次侧，作为电流保护的测量元件，用来判断被保护对象的运行状态。

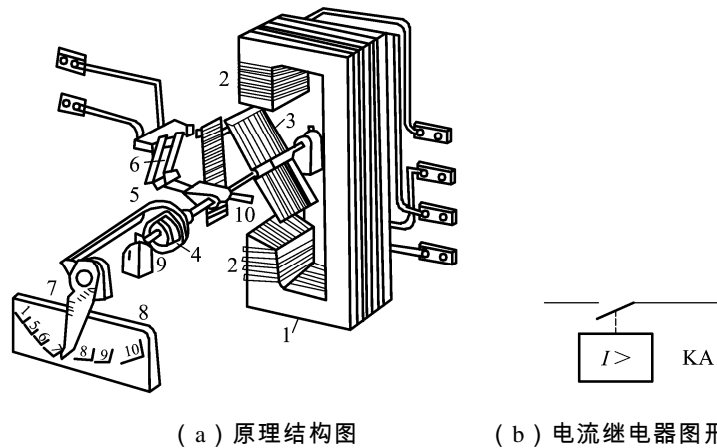


图 1-2 DL-10 型电流继电器结构及符号

1—电磁铁；2—线圈；3—Z 形舌片；4—螺旋弹簧；5—动触点；6—静触点；
7—整定值调整把手；8—刻度盘；9—轴承；10—止挡

1) 动作电流

电磁型电流继电器由铁芯线圈、固定在转轴上的 Z 形舌片、螺旋弹簧和动触点及静触点等构成。当在继电器线圈中通入电流 I_m 时，便在铁芯中产生磁通 Φ ，它经由铁芯、空气隙和 Z 形舌片构成闭合回路。Z 形舌片被磁化后，产生电磁力矩 M_e ，电磁力矩 M_e 与电流的平方成正比，故与通入线圈中电流的方向无关，为一恒定旋转方向力矩。作用在 Z 形舌片上的力矩，除了 M_e 之外，还有弹簧的反作用力矩 M_s 。它的作用是保证正常情况下，使 Z 形舌片保持在原始位置，此时继电器处于未动作状态。当电磁力矩 M_e 足以克服转轴上弹簧的反作用力矩 M_s 时，Z 形舌片产生顺时针转动，被吸向电磁铁，随着弹簧的压缩、电磁铁间气隙的减小，弹簧的应力将增加，即 M_s 将增大。此外，在舌片转动过程中，还存在一个与转动方向相反的摩擦力矩 M_f ，它是与电磁铁间气隙大小无关的一个常数。

由此可见，作用在舌片上一共有三种力矩，当满足条件 (1.1) 时，电流继电器动作，动触点（亦称常开触点，继电器动作之前处在断开状态，动作时闭合的触点）闭合。

$$M_e \geq M_s + M_f \quad (1.1)$$

当通入继电器的电流 I_m 达到某一数值 I_{act} 时，产生的电磁力矩刚好等于弹簧反作用力矩与摩擦力矩之和，是继电器的动作边界，即 $I_m > I_{act}$ 时，继电器就可靠动作。能使继电器动作的最小电流 I_{act} 称为继电器的动作电流。

在实际应用中，通常采用以下两种方法来调整电流继电器动作电流的整定值：

(1) 改变两个线圈的连接方式。如图 1-3 所示，用连接片可将两个线圈串联或并联。当调整把手处于一定位置，线圈串联时的动作电流是并联时动作电流的 1/2。

(2) 旋转调整把手。旋转调整把手，即可改变弹簧力矩。按反时针方向旋转调整把手，弹簧力矩增大，整定值增大；顺时针旋转则相反。

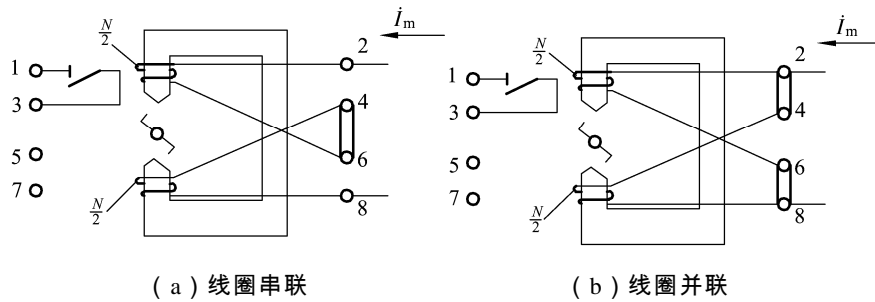


图 1-3 电流继电器内部接线图

2) 返回电流

当通入继电器的电流逐渐降低时，电磁力矩也随之降低，当电磁力矩小于弹簧反作用力矩与摩擦力矩之差，即 $M_s > M_e + M_f$ 时，继电器可靠返回。 $M_s = M_e + M_f$ 是使继电器返回的边界条件，此时对应的电流值称为返回电流，用 I_{re} 表示。使电流继电器返回的最大电流 I_{re} 称为电流继电器的返回电流。

3) 返回系数

返回值与动作值之比，称为继电器的返回系数 K_{re} ，它是表征继电器性能的一个很重要参数。对于电流继电器， K_{re} 为返回电流与动作电流之比，即

$$K_{re} = \frac{I_{re}}{I_{act}} \quad (1.2)$$

由以上分析可知，由于空气气隙的变化和摩擦力矩的存在，过电流继电器的返回系数恒小于 1。实际应用中，常要求继电器有较高的返回系数，如 0.85~0.9。实际中电流继电器采用转动舌片式结构，正是因为这种结构降低了摩擦力矩和减小了空气气隙的变化，从而提高了返回系数。

国产的电磁型电流继电器除有 DL-10 系列外，还有 DL-20C 和 DL-30 系列，它们的结构都是转动舌片式，所不同的是后者采用电工钢代替硅钢片制成铁芯，并改进了触点系统，体积小。

2. 电压继电器 KV

电压继电器的作用是反应电压的升高（降低）而动作，应用时并接在电压互感器的二次侧。电磁型电压继电器的结构与电流继电器基本相同，只不过电压继电器的线圈导线细、匝数多。

电压继电器有过电压继电器和低电压继电器之分。表示符号如图 1-4 所示。过电压继电器动作和返回的概念与过电流继电器类似。低电压继电器，设有一对动断触点（亦称常闭触点，继电器线圈不通电或电压低于某定值时处于闭合状态的触点），正常运行时系统电压为额定值，电压互感器二次的额定电压加在低电压继电器上，产生的电磁转矩 M_e 大于轴上弹簧的反作用力矩 M_s 和摩擦力矩 M_f 之和，触点处于断开状态；当发生短路故障时，系统电压下

降,产生的电磁转矩 M_e 小于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s 和摩擦力矩 M_f 之差,其触点闭合,称为低电压继电器的动作。使其动作的最高电压称为低电压继电器的动作电压 U_{act} 。故障消失后电压恢复,电压升高到产生的电磁转矩 M_e 大于螺旋弹簧产生的反作用力矩 M_s 和摩擦力矩 M_f 之和,此时,其触点断开,称为低电压继电器的返回。使其返回的最低电压称为低电压继电器的返回电压 U_{re} 。返回系数为:

$$K_{re} = \frac{U_{act}}{U_{re}} \quad (1.3)$$

明显看出,低电压继电器的返回系数大于1,通常要求 $K_{re} \leq 1.2$ 。

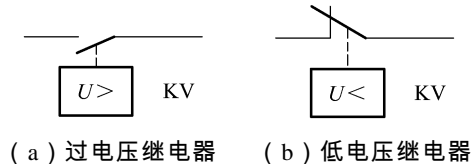


图 1-4 电压继电器符号

电压继电器动作值的调整通常也采用以下两种方法:

(1) 改变两个线圈的连接方式。当两个线圈串联时动作电压值是线圈并联时的 2 倍。整定值的刻度为两个线圈并联时的动作值。

(2) 用调整把手改变弹簧的拉力来平滑调节。在线圈接法一定时,调整把手在最大刻度值时动作电压为最小刻度值时的 2 倍。

转动舌片式结构的电磁型电流继电器、电压继电器,消耗功率小、结构简单,但触点容量小、不能直接作用于断路器跳闸。

(二) 辅助继电器

在继电保护装置中,常常用到一些辅助继电器,如中间继电器、时间继电器、信号继电器等,其作用、功能各不相同。下面分别介绍这三种继电器。

1. 时间继电器 KT

时间继电器在继电保护装置中作为时间元件,用来获得必要的人为动作延时。对时间继电器的基本要求是动作要准确,而且动作时间不应随操作电压的波动而变化。目前实际应用的的时间继电器有机电型与晶体管型。机电型时间继电器包括钟表机械式和微电机式。钟表机械式时间继电器在继电保护中用得最多。

时间继电器一般有一对瞬动转换触点和一对延时主触点。时间继电器的电磁系统不要求有较高的返回系数，因为时间继电器的返回是由保护装置中启动元件的触点将其电压全部撤除来实现的。

为了缩小电磁型时间继电器的尺寸，它的线圈一般不按长期通过电流来设计。因此，当需要长期(超过 30 s)加电压时，应在线圈回路串联一个附加电阻 R ，如图 1-5 所示。正常情况下，电阻 R 被短接，继电器启动后，瞬动触点立即断开，将电阻 R 串入线圈回路，用来限制电流，提高继电器的热稳定性。

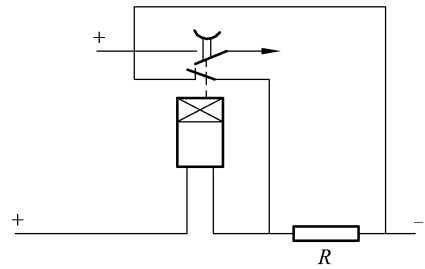


图 1-5 时间继电器的内部接线方式

2. 中间继电器 KM

中间继电器起中间桥梁作用，与电磁型电流、电压继电器相比，有如下特点：

- (1) 触点容量大，可直接作用于断路器跳闸；
- (2) 触点数量多，可控制多个回路；
- (3) 可实现重动，因而有时称之为重动继电器；
- (4) 可实现时间继电器难以实现的短延时；
- (5) 可实现保护装置电流启动、电压保持或电压启动、电流保持。

由于中间继电器具有上述特点，可满足复杂保护和自动装置的需要，因此中间继电器得到了广泛应用。常用中间继电器的接线方式有两种，如图 1-6 所示。图 1-6 (a) 中，中间继电器 KM 的线圈与电流继电器 KA 触点串联；图 1-6 (b) 中，中间继电器的线圈输入端与其中一对触点并联后与电流继电器的触点串联起自保持作用。

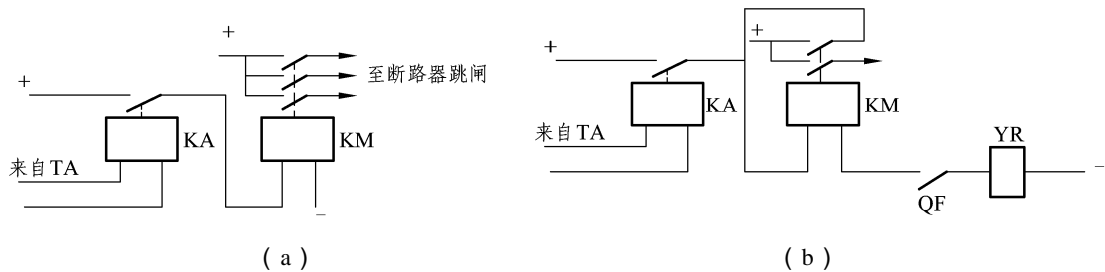


图 1-6 中间继电器的接线方式

3. 信号继电器

信号继电器作为继电保护装置和自动装置动作的信号指示，表示装置所处的状态或接通灯光信号(音响)回路。信号继电器的触点为自保持，应由值班人员手动复归或电动复归。

在继电保护和自动装置中，信号继电器广泛用来作为装置整组或个别元件动作的信号指示器。根据信号继电器所发出的信号，运行维护人员就能很方便地分析事故和统计保护装置正确动作的次数。信号继电器的接线方式通常有两种，电流启动的串联信号继电器，电压启

动的并联信号继电器。如图 1-7 所示。

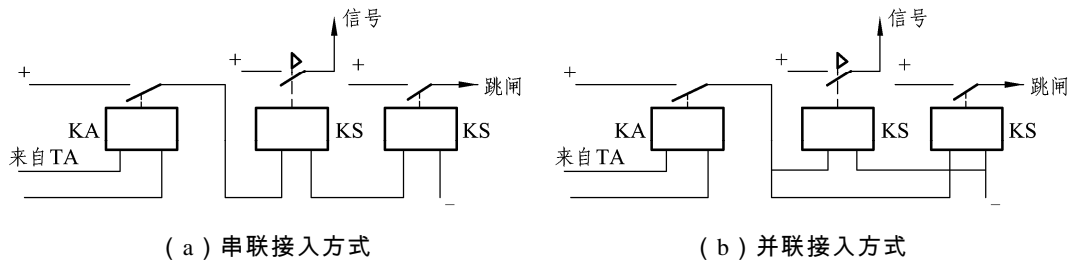


图 1-7 信号继电器的接线方式

第三节 微机保护原理

【知识及能力目标】

1. 了解微机保护的特点；
2. 掌握微机保护的基本构成原理；
3. 理解微机保护的数据采集原理；
4. 理解微机保护的基本软件程序；
5. 掌握提高微机保护可靠性的措施。

微机保护系统是由微机相应的外围通道、电源等构成的继电保护系统。一台完整的微机型继电保护装置（以下简称为微机保护）的构成包含硬件和软件两部分。硬件指模拟和数字电子电路，由它建立起与微机保护外部系统的电气联系和软件运行的平台；软件指计算机程序，由它按照保护原理和功能的要求对硬件进行控制，有序地完成数据采集、外部信息交换、数字运算和逻辑判断、动作指令执行等各项操作。所有模拟型继电保护装置完全依赖硬件电路来实现保护原理和功能。而微机保护则不然，需要硬件和软件的配合才能实现保护原理和功能，缺一不可。甚至从某种角度上说，软件才真正代表了保护装置的技术内涵和特点。为同一套硬件配上不同的软件，就能构成不同特性的或者不同功能的保护，正是这一优点使微机保护具有超越模拟式继电保护装置的灵活性、开放性和适应性。

一、微机型继电保护装置的特点

与传统的模拟型继电保护相比，微机保护系统的优越性主要体现在以下几个方面：

1. 改善了继电保护的動作特性和性能

微机型保护的主要動作特性和性能为：

- (1) 采用数学方程和数字处理方法构成保护的测量元件，其動作特性比其他类型有了很

大的改进，可得到模拟型保护不易获得的复杂特性；

(2) 它的强记忆功能，能更好地实现故障分量保护等新保护原理；

(3) 可引进人工智能和自动控制的新理论、新技术，如自适应原理、状态预测、模糊控制、人工神经网络(ANN)等。

2. 可以方便地扩充其他辅助功能

微型机保护能方便地扩充其功能。

(1) 记录并输出故障前后电量波形，实现故障录波与波形分析；

(2) 记录并输出详细的系统故障报告，如提供日期、时间、保护动作元件、保护动作时间的先后、故障类型等；

(3) 在运行中可随时查阅保护的定值和控制变量；

(4) 利用故障记录数据，实现故障定位(如线路故障测距)；

(5) 通过计算机网络和通信系统实现与电站监控系统交换信息、远方改变定值或工作模式、远方维护。

3. 工艺结构条件优越

微型机保护工艺结构合理，工艺条件优越。

(1) 硬件比较通用，制造容易统一标准；

(2) 保护装置体积小，功耗低，从而可减少占用空间，减少TA和TV的功率消耗，减少工作电源的功率消耗，降低综合投资。

4. 具有较强的自检能力

可用软件方法随时自动检测装置内主要元、部件工况，以及功能软件本身的状态。

5. 可靠性显著提高

(1) 数字元件的特性不易受温度变化、电源波动、使用年限的影响，也不易受元件更换的影响；

(2) 一旦保护系统某一部分出现故障，微机保护就会立即发出请求维修的报警信号，并闭锁其跳闸电路，从而保证微机保护系统既不误动也不拒动。微机保护系统还可以设计成容错系统，以保证在各种情况下都能正常工作。

6. 使用方便

微型机保护使用方便。

(1) 维护调试方便，能缩短维修和调试时间；

(2) 可依据运行经验，通过软件方法离线甚至在线改变保护特性和功能。

7. 性价比高

微机硬件技术的发展已使微机保护的成成本迅速降低,而传统保护装置的成本却逐年升高。据估计,在功能相同的前提下,多数微机保护的成成本起码可以和传统保护装置的成本相当。在这种情况下,显然微机保护的性价比更高。

二、微机保护的基本构成原理

微机保护的硬件结构框图如图 1-8 所示。微机保护的硬件以数据处理单元为中心,围绕着数据处理单元的是各种外围接口部件。下面分别介绍各部件的功能和特点。这里再次强调,各部件的功能需要在软件的支持下才能实现。

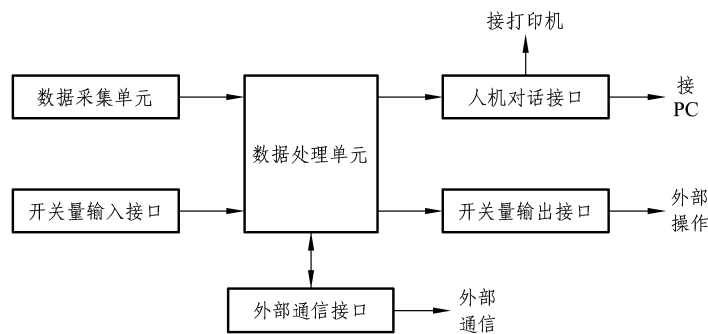


图 1-8 微机保护硬件结构框图

(一) 数据处理单元

微型机保护装置的数据处理单元实质上就是微机主系统,它是微机保护装置的核心部分,相当于一台特别设计的专用微型计算机。一般由中央处理器(CPU)、存储器、定时器/计数器及控制电路等部分组成,并通过数据总线、地址总线、控制总线连成一个系统。继电保护程序在数字核心部件内运行,指挥各种外围接口部件运转,完成数字信号处理,实现保护原理。

1. CPU

CPU 是数据处理单元以及整个微型机保护的指挥中枢,其作用是根据预定的软件,利用其算术和逻辑运算能力,对输入信号进行处理、判断,从而完成保护动作与否的决定。计算机程序的运行依赖于 CPU 来实现。因此,CPU 在很大程度上决定了微型机保护系统的技术水平。CPU 的主要技术指标包括字长(用二进制位数表示)、指令的丰富性、运行速度(用典型指令执行时间表示)等。当前应用于微型机保护的 CPU 主要有以下几种类型:

(1) 通用微处理器,如 Intel 公司的 80×86 系列、Motorola 公司的 MC863××系列等,其中新一代 32 位 CPU 具有极高的性能。

(2) 单片微处理器,其特点是将 CPU 与定时器/计数器及某些输入/输出接口器件集成在一起,特别适于构成紧凑的微型机保护,如 Intel 公司的 8031 系列及其兼容产品、8098、8096 以及 80C196 等。

(3) 数字信号处理器 (DSP), 其主要特点是具有高运算速度、高可靠性、低功耗, 以及在指令中能直接提供数字信号处理的相关算法等, 特别适于构成高性能的微型机保护。

一般原理复杂、动作迅速的继电保护应选择比较高档的 CPU。

2. 存储器

存储器用来保存程序和数据, 它的存储容量和访问时间也会影响整个微型机保护系统的性能。在微型机保护中根据任务性质采用了如下三种不同类型存储器。

(1) 随机存取存储器 (RAM)。用来暂存需要快速交换的大量临时数据, 如数据采集系统提供的数据信息、计算处理过程的中间结果、判定结果和标志等。RAM 中的数据允许高速读取和写入, 但在失电后会丢失。目前有一种新的存储器件叫做非易失性随机存储器 (NVRAM), 它既可以高速读/写, 又可以在失电后不丢失数据。

(2) 只读存储器 (ROM)。目前实际使用的是一种紫外线可擦除且电可编程只读存储器 (EPROM), 用来保存微机保护的长期使用的监控、继电保护功能程序、自检程序和一些固定不变的数据。EPROM 中的数据允许高速读取, 且在失电后不会丢失。EPROM 的内容不能在微型机保护中直接改写, 但保存数据的可靠性极高。

(3) 电可擦除且可编程只读存储器 (EEPROM)。用来保存在使用中需要经常改写的那些控制参数, 如微型机保护的整定值等, 使用十分方便且不受装置停电的影响, 写入后即使装置停电也不会丢失数据。EEPROM 中保存的数据允许高速读取, 同时, 无需专用设备就可以在使用中在线改写, 对于修改整定值比较方便。但也正是因为改写方便, EEPROM 保存数据的可靠性不如 EPROM, 因而, 不宜用来保存程序; 另外 EEPROM 写入数据的速度很慢, 也不能用它来代替 RAM。现在还有一种具有类似功能的器件叫做快闪 (快擦写) 存储器 (Flash Memory), 它的存储容量更大, 且读/写更方便, 在微型机保护中不仅可以用来保存整定值; 还可以用来保存大量的故障记录数据, 以便事后分析事故时使用。

3. 定时器/计数器

定时器/计数器在微型机保护中也是十分重要的器件, 它除了为延时动作的保护提供精确计时外, 还可以用来提供定时采样触发信号、形成中断控制等。目前, 很多 CPU 中已将定时器/计数器集成在其内部。

数据处理单元的控制电路包括地址译码器、地址锁存器、数据缓冲器、中断控制器等, 它的作用是保证微机数字电路协调工作。由于这些部分是微机原理的经典内容, 请读者参考有关书籍。

(二) 数据采集单元

继电保护判断电力系统是否发生故障或处于不正常运行状态所依据的基本电量是模拟电量。一次系统的模拟电量可分为交流电量 (包括交流电压和交流电流)、直流电量 (包括直流电压和直流电流) 以及各种非电量。而微机保护功能处理程序是由实时的数字量信号来实现

的。因此，必须通过数据采集单元，将电力传感器输入的模拟电量正确地变换成离散化的数字量输入微机，提供给数据处理单元进行处理。

交流电压和交流电流通常取自于电压互感器和电流互感器，进入微型机保护后即施加于数据采集单元。数据采集单元按信号传递顺序包括以下各部分：电量变换器、前置模拟低通滤波器（ALF）、采样/保持器（S/H）、多路转换器（MPX）、模/数变换器（A/D）。数据采集单元的原理示意框图如图 1-9 所示。

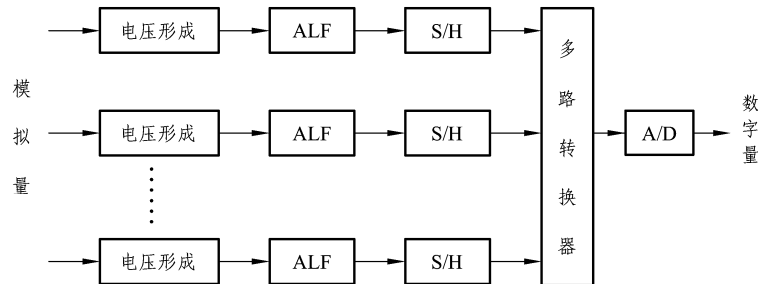


图 1-9 数据采集单元的原理示意框图

1. 电量变换器

电量变换器即电压形成回路，它的作用是将被保护设备的电流互感器和电压互感器的二次电流和二次电压，变化成满足模/数变换器（A/D）量程（一般为 $\pm 10\text{V}$ ）所需要的电压。电流变换有两种方式：一种是采用电流变换器（UA），其二次侧并联电阻以取得所需电压；另一种是采用电抗变换器（TX）。电压变换常采用电压变换器（UV）。这些变换器都是通过电磁感应将输入一次绕组的电量传变到二次绕组，一次侧和二次侧没有电的联系，即起电气隔离作用。另外这些变换器的一次和二次绕组之间有屏蔽层，对高频电磁干扰有一定的抑制作用。需要说明，继电保护通常需要同时输入多路电压或电流，如三相电压和三相电流，因此，需要配置多路电量变换器。

2. 前置模拟低通滤波器（ALF）

前置模拟低通滤波器（ALF）是一种简单的低通滤波器。它是为满足采样电路正常工作而设置的。根据采样定理，采样频率必须大于被测信号频率的 2 倍，否则采样后不能表征原信号（或不能拟合还原为原信号）。因此，一旦确定被测信号频率和采样频率后，必须用低通滤波器将被测信号内频率高于二分之一倍采样频率的高频谐波成分滤除，以防止频率混叠现象，保证测量运算的准确度。ALF 的输入来自电量变换器，因此，每一路输入通道都需配置一个 ALF。各个 ALF 的输出则与相应的采样/保持器的输入端相连。

3. 采样/保持器（S/H）

模拟量输入信号经电量变换器变换和低通滤波器滤波后，仍为连续变化信号。这种信号输入模/数变化器以前，必须使之变换为离散化的信号。采样/保持器（S/H）能完成对输入模

拟信号的采样。所谓采样，就是在某一瞬间记录并保持输入模拟信号在该瞬间的瞬时值，然后送给模/数变换器（A/D）进行模拟量到数字量的变换。如果按固定的时间间隔重复地进行采样操作，就可以将一个在时间上连续变化的模拟信号转换为在时间上离散的模拟信号，即得到按时间顺序排列的相互间保持确定时间间隔的一系列输入信号的瞬时值。当有多路信号输入时，一般要求每一路输入通道配置一个 S/H，并要求对所有通道的 S/H 进行同时刻采样控制，以保证不改变各输入信号相互之间的相位关系。各 S/H 的输出端与多路转换器的输入端相连。

4. 多路转换器（MPX）

由于 A/D 变换器价格较贵，一般微机保护都采取多路通道共用一片 A/D，通过多路转换器（MPX）依序将各 S/H 采样保持器的模拟量由 A/D 变换器变换为数字量输入 CPU 处理。多路转换器（MPX）是一种多信号输入、单信号输出的电子切换开关，可通过编码控制将多通道输入信号（由 S/H 送来）依次与其输出端连通，而其输出端与模/数变换器的输入端相连。常用的多路转换器有 8 路、16 路等，可以接通单端或双端（即差分）信号。多路开关的接通与断开由外部控制。

5. 模/数变换器（A/D）

模/数变换器（A/D）能实现模拟量到数字量的变换，也就是把 S/H 记录并保持的输入模拟信号的瞬时值变换为相应的数字化信号，以便于微机进行处理、存储、控制和显示。对于多通道信号输入，A/D 变换器在多路转换器的帮助下，可对多个通道的信号依次转换，从而得到所有通道的数字信号。这些数字信号由 CPU 读入数据处理单元的数据存储器，供进一步计算和逻辑处理使用，实现继电保护功能。A/D 变换器的主要技术指标是分辨率、精度和变换速度。

（1）分辨率是反映 A/D 对输入电压信号微小变化的响应能力的一种度量。A/D 变换器分辨率与其输出数据的位数直接相关，因此，通常又用 A/D 变换器的二进制位数来表示其分辨率。在微型机保护中多使用 12 位、14 位或 16 位的 A/D 变换器。位数越大价格越高。

（2）A/D 变换器的精度是指 A/D 变换的结果与实际输入的接近程度，也就是准确度。精度通常用最低有效位（LSB）来表征，即当 A/D 变换结果用二进制数来表示时，其低位端最大可能有几位是不准确的。

（3）A/D 变换器的变换时间指的是进行一次 A/D 变换所需的时间，目前微型机保护中常用的 A/D 变换器的转换时间为几微秒至十几微秒。

计数式电压/频率变换器（VFC）是近年在国内、特别是在多 CPU 微机保护获得广泛应用的一种模/数变换器。利用 VFC 构成的数据采集单元应取消低通滤波器、采样保持器和多路转换器。

(三) 开关量输入/输出 (I/O) 接口

开关量是指那些反映“是”或“非”两种状态的逻辑变量，如断路器的“合闸”或“分闸”状态、控制信号的“有”或“无”状态等。继电保护装置常常需要确知开关量的状态才能正确地动作。外部设备一般通过其辅助继电器接点的“闭合”与“断开”来提供开关量状态信号。

1. 开关量输入电路

微机保护输入的开关量包括面板上的切换开关、从装置外面引进的触点（如断路器的位置触点）、由值班人员操作的装置压板等触点。

面板上的开关量可直接引至微机的并行口。一般外部触点与装置的距离较远，通过连线直接引入装置会带来干扰，故采用光电隔离，并用与微机系统相独立的电源。开关量输入电路的作用是，为正确地反映开关量提供输入通道，并在微机保护内外部之间实现电气隔离，以保证内部弱电电子电路的安全和减少外部干扰。由于开关量的状态正好对应于二进制数字的“1”或“0”，所以开关量可作为二进制数字量读入，每一路开关量信号占用二进制数字的一位。

2. 开关量输出接口电路

微机型保护通过开关量输出的状态来控制执行回路、信号回路以及其他回路的继电器的动作。微机保护装置输出的开关量包括面板上显示的信号、故障测距装置的触点输出、保护出口跳闸和发出中央信号的触点输出等。保护装置发出的跳闸命令和中央信号等都采用继电器触点输出的方式，继电器采用与微机系统相独立的电源（不共地）并用光电隔离。

开关量输出接口电路的作用是，为正确地发出开关量操作命令提供输出通道，并在微机型保护内外部之间实现电气隔离，以保证内部弱电电子的安全和减少外部干扰。一个需要注意的问题是，在重要的开关量输出回路，如跳闸回路中，往往采用数字逻辑编码来形成开关量输出信号。这样做的目的是防止因强烈干扰甚至元件损坏，在 CPU 输出回路中出现不确定状态时保护装置发生误动。

(四) 人机对话接口

人机对话接口的作用是，建立起微机保护与使用者之间的信息联系，以便对装置进行人工操作、调试和得到反馈信息。继电保护的操作主要包括整定值和控制命令的输入等；而反馈信息主要包括被保护的一次设备是否发生故障、发生何种性质的故障、保护装置是否已发生动作以及保护装置本身是否运行正常等。所有模拟型保护装置的人机联系手段是非常有限的，一般是通过切换开关或电位器进行整定值调整，通过指示灯和信号继电器来反应保护动作情况，通过外接仪表来了解电子电路工作是否正常（只能在装置退出运行后才能进行）。而微机型保护采用智能化人机界面，使人机信息交换功能大为丰富，操作更为方便。微机型保护人机对话接口部件通常包括以下几个部分：

(1) 简易键盘，用来修改整定值和输入控制命令，必要时辅之以切换开关；

(2) 小型显示屏,通常采用图形化液晶显示屏(LCD),用来实现汉字、数据及图形的显示,在数据处理单元的支持下可提供当前或历史记录的丰富信息,如整定值、控制命令、采样值、测量值、电力系统故障报告(含故障发生的时间、性质、保护动作情况)及保护装置运行状态的报告等;

(3) 指示灯,通常采用发光二极管(LED),可对一些非常重要的事件,如保护已动作、装置运行正常、装置故障等提供明显的监视信号;

(4) 打印机接口,用来驱动打印机形成文字报告;

(5) 调试通信接口,用来在对微机保护进行现场调试时与通用计算机(如笔记本个人电脑)相连,实现视窗化和图形化的高级自动调试功能。

(五) 外部通信接口

外部通信接口部件的作用是提供与计算机局域网通信网络以及远程通信网络的信息通道。外部通信接口可分为两大类:一类通信接口为实现特殊保护功能的专用通信接口;另一类通信接口为通用计算机网络接口,可与电站计算机局域网以及电力系统计算机远程通信网相连,实现更高一级的管理、控制功能,如数据共享、远方操作及远方维护等。

三、数字信号采集的基本原理

微机保护的基本特征是,由软件对数字信号进行计算和逻辑处理来实现继电保护的原理,而所依据的电力系统的主要电量却是模拟性质的信号,因此,需要通过数字信号采集系统(即上述数据采集单元)将连续的模拟信号转变为离散的数字信号,这个过程称为量化过程。如上所述,量化过程是由采样/保持器(S/H)和模/数变换器(A/D)来完成的。这实际上包含了两个量子过程:第一步为采样过程,由采样/保持器(S/H)对连续信号按时间取量化,即把时间连续的信号变为时间离散的信号,或者说在一个个等时间间隔的瞬时点上抽取信号的瞬时值;第二步为模/数变换过程,由模/数变换器(A/D)对记录的瞬时值按大小(或幅度)取量化,即把时间上已离散而数值上仍连续的瞬时值按一定的准确度变为数字量,或者说用一个微小的标准单位(即A/D的分辨率)来度量一个无限精度的量值(即采样瞬时值),从而得到它所对应的一个有限精度的数字量。显然,选定的标准单位越小,该数字量就能越精确地刻画采样瞬时值。但无论多小,总会有误差,该误差被称为量化误差。这也说明了A/D的分辨率越高,量化误差越小。

设输入模拟信号为 $X_A(t)$,现在以确定的时间间隔 T_s 对其连续采样,得到一组代表 $X_A(t)$ 在各采样点瞬时值的采样值序列 $x(n)$,这里,

$$x(n) = x(nT_s) = X_A(nT_s) \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1.4)$$

上述确定的时间间隔 T_s 称为采样周期。采样周期 T_s 的倒数称为采样频率(简称采样率),记为 f_s ,即

$$f_s = \frac{1}{T_s} \quad (1.5)$$

采样频率反映了采样速度。在电力系统的实际应用中，如何选择采样频率呢？或者说，对连续信号进行采样应选择多高的采样频率才能保证不丢失原始信号中的信息呢？由直观的经验可感到，若输入模拟信号的频率较高而采样频率很低，采样数据便无法正确地描述原始波形。也就是说，合适的采样频率与输入信号的频率有关。研究表明，无论原始输入信号的频率成分多复杂，保证采样后不丢失其中信息的充分必要条件是，采样频率 f_s 应大于输入信号的最高频率的两倍，即

$$f_s > 2f_{\max} \quad (1.6)$$

这就是著名的采样定理。

实际应用中，确定采样频率还需考虑以下问题：

(1) 电力系统的故障信号中可能包含很高的频率成分，但多数保护原理只需要使用基波和低次谐波成分，为了不对微型保护的硬件系统提出过高的要求，可以对输入信号先进行模拟低通滤波，降低其最高频率，从而可选取较低的采样频率。前面介绍的前置模拟低通滤波器 (ALF) 就是为此目的而设置的，通常采用简单的 RC 低通滤波器。

(2) 实用采样频率通常按保护原理所用信号频率的 4~10 倍来选择。例如，常用采样频率为 $f_s = 600 \text{ Hz}$ ($N = 12$)、 $f_s = 800 \text{ Hz}$ ($N = 16$)、 $f_s = 1000 \text{ Hz}$ ($N = 20$) 及 $f_s = 1200 \text{ Hz}$ ($N = 24$) 等。这样选择的主要原因是为了保证计算精度，同时也考虑了数字滤波的性能要求。另外，由于简单的前置模拟低通滤波器也难以达到很低的截止频率，因而，采样频率不能太低。

四、微机保护装置的基本软件程序

微机保护装置的基本软件程序，由主保护和中断服务程序构成。下面阐述一个简单而典型的结构，即软件程序由主程序和一个采样中断服务程序构成：前者执行对整个系统的监控和实时性要求相对较低的各项辅助功能；后者按采样周期定时中断前者，周期性地执行实时性较高的保护和辅助功能。

(一) 微机保护装置软件的主程序

微机保护装置的主程序如图 1-10 所示。由图可见，主程序可看作由上电复位程序和主循环程序两部分组成。

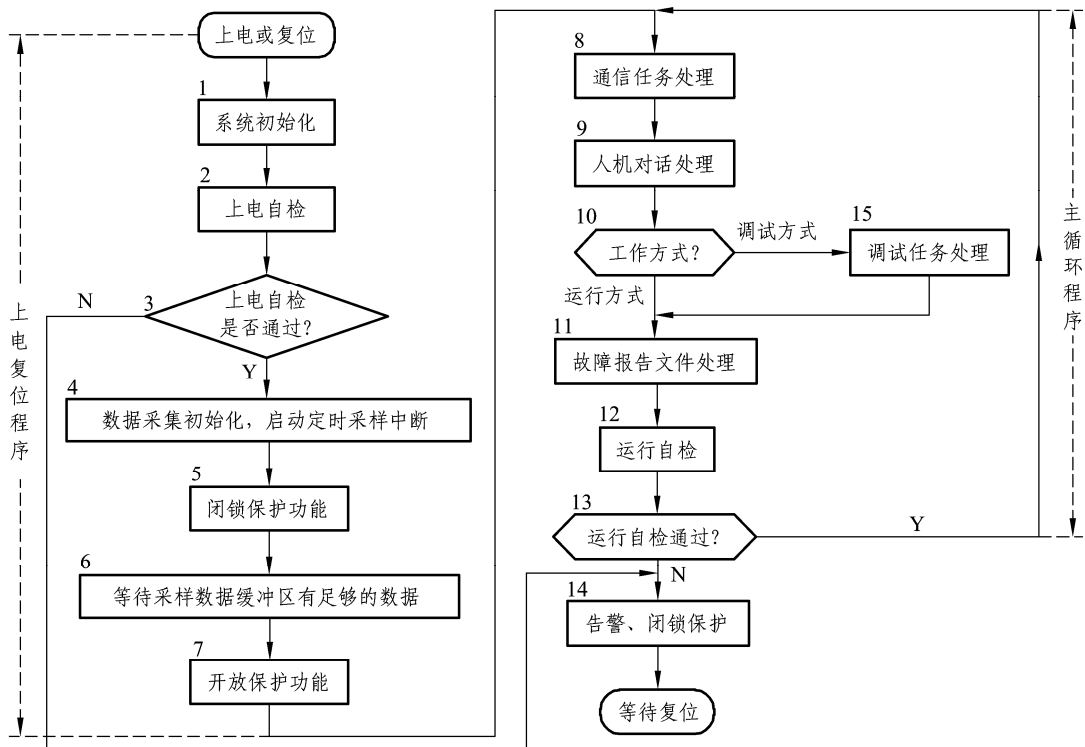


图 1-10 微机保护装置软件的主程序

微机保护装置在合上电源（上电）或硬件复位（复位）后，执行系统初始化。初始化的作用是使整个硬件系统处于正常工作状态。系统初始化又可分为低级初始化和高级初始化：低级初始化任务通常包括与各存储器相应的可用地址空间的设定、输入或输出口的定义、定时器功能的设定、中断控制器的设定以及安全机制等其他功能的设定；高级初始化是指与保护装置各项功能直接有关的初始化，如地址空间的分配、各数据缓冲区的定义、各个控制标志的初设、整定值的换算预加载、各输入输出口的置位或复归等。

然后，程序进入第 2 框，执行上电后的全面自检。

自检是微机保护装置软件对自身软硬件系统工作状态正确性和主要元器件完好性进行自动检查的简称。自检功能主要包括程序的自检、定值的自检、输入通道的自检、输出回路的自检、通信系统的自检、工作电源的自检、数据存储器（如 RAM）的自检、程序存储器（如 EPROM）的自检以及其他关键元器件的自检等。

自检在程序中分为上电自检和运行自检。上电自检是在保护装置上电或复位过程（保护功能程序运行之前）进行的一次性自检，此时有时间进行比较全面的自检，以保证开始执行功能程序时装置处于完好的工作状态。而运行自检是在保护装置运行过程中进行的自检，以便及时发现运行中出现的装置故障。由于保护程序在运行中的大部分时间必须分配给保护功能及其他辅助功能，因此通常在运行自检中需对自检任务进行简化，同时采用分类处理的措施：对于某些快速报警、处理量较小以及必须一次性完成的自检任务应置于中断服务程序中；

而对于其他次要且处理量较大的自检任务，则置于主程序中，并采用分时处理方法。

上电自检完成后，在第 3 框判别自检是否通过：若自检不能通过将转至第 14 框，发出警告信息，并闭锁保护，然后等待人工复位；若上电自检通过，则进入第 4 框，保护功能程序开始运行。

第 4 框执行数据采集初始化和启动定时采样中断。其主要作用是对循环保存采样数据的存储区（称为采样数据缓冲区）进行地址分配，设置标志当前最新数据的动态地址指针，然后按规定的采样周期对控制循环采样的中断定时器赋初值，并令其启动，开放采样中断。从此定时器开始每隔一个采样周期循环产生一次采样中断请求，由采样中断服务程序响应中断，周而复始的运转。

由于保护功能的实现需要足够的采样数据，因而不能马上进入保护功能的处理，因此在第 5 框暂时闭锁保护功能。第 6 框的作用则是等待一段时间使采样数据缓冲区获得足够的采样数据供计算使用。在具备足够的采样数据之后，进入第 7 框从新开放保护功能，此后主程序进入主循环。

主循环在微机保护正常运行过程中是一个无终循环，只有在复位操作和自检判定出错时才会终止。在主循环过程中，每逢中断到来，当前任务被暂时终止，CPU 响应中断并转而执行中断服务；CPU 完成中断服务任务后又返回主循环，继续刚才被中断的任务。主循环利用中断服务的剩余时间来完成各种非严格定时的任务，譬如通信任务处理、人机对话处理、调试任务处理、故障报告处理以及运行自检等。在主循环中需要逐一执行的各项任务往往都要求得到及时的服务，一个任务不能因执行时间过长而影响其他任务的执行，更不能出现内部死循环。

在主循环中，第 8 框执行通信任务处理，即为信息发送和接收进行数据准备。至于通信的发送和接收数据的操作，需要满足严格的通信速率要求，并且应保证发送数据的及时性和接收数据的完整性，即要求很强的实时性。因此通信的发送和接收操作一般需要根据硬件系统的设计，或者置于中断服务程序中，或者置于专用的通信硬件模块中。

第 9 框执行人机对话处理。关于人机对话处理，不同的硬件配置模式对应不同的处理方式。若采用具备独立 CPU 的专用上层管理插件，此处保护功能插件通过通信与管理插件 CPU 交换数据，那么第 9 框只需完成第 8 框交付的信息处理任务；若没有配置具备独立 CPU 的专用上层管理插件，则需要由保护功能插件的 CPU 对人机对话部件进行管理，此时第 9 框程序应执行如扫描键盘和控制按钮、在显示器上显示数据等任务，同时对各种操作命令进行解释和分类，并按任务类别交给相应的任务处理程序执行。

第 10 框判别微机保护系统当前工作方式，即处于调试方式还是运行方式：若是调试方式，则第 15 框先执行由第 8 框或第 9 框下达的调试功能任务；若是运行方式，或在执行完毕调试任务后，则进入第 11 框去执行后续任务。

调试功能是指微机保护装置特有的对控制参数进行给定、核对和对自身性能进行辅助测试、调整的功能。继电保护装置新安装或定期检修之后，需要进行项目繁多的调试工作，以保证保护装置的性能指标和状态符合技术要求，如各测量通道的标准、整定值的输入和修改、各项保护特性的测定、出口操作回路的传动检测、通信系统的测试以及保护装置各种辅助功能的

调整等。微机保护装置通过智能化调试程序，可以高效可靠地完成调试工作。现代微机保护装置通常还预留了调试通信接口，通过它与通用电脑连接，可实现视窗化、选单化和图形化的高级调试、管理和分析功能。调试功能虽然重要，但在处理某些调试任务过程中可能会影响保护运行安全，这些调试功能只能在微机保护装置退出运行后才能执行。为此微机保护装置设计了两种基本工作方式：运行方式和调试方式，通过开关或键盘操作来进行工作方式的切换。

第 11 框为故障报告文件处理程序。电力（供电）系统发生故障或者微机保护装置自身发生故障，微机保护装置在完成处理任务之后，可自动生成、保存并通过通信网络向变电所微机监控系统提交故障报告。故障报告对于系统事故的追忆和分析，以及对于保护装置自身动作正确性的评估有非常重要的作用。这也是微机保护的优势之一。故障报告中的原始数据是在故障处理过程中由故障处理程序模块等来临时保存的，而故障报告的信息综合、文件生成和转储则由故障报告文件处理程序来完成。

最后在第 12 框和第 13 框执行运行自检功能。若自检判定保护装置出错，则警告、并闭锁保护，然后等待人工复位；若自检通过则继续执行主循环程序。

至此完成了一次主循环的过程，返回到第 8 框，然后周而复始。

（二）微机保护装置软件的采样中断服务程序

微机保护装置的软件系统根据具体设计不同，可能存在多个中断源，因而相应地有多个不同的中断服务程序，但其中必不可少的是采样中断服务程序。为简化说明，以下考虑一种较为简单的情形，即只有一个定时采样中断源，从而只有一个采样中断服务程序的情形。

采样中断服务程序如图 1-11 所示。由图可见，采样中断服务程序并不只是进行周期性的数据采集（即采样和 A/D 变换），通常还需完成通信数据收发、运行自检、调试、启动检测和故障处理等任务。由于中断服务程序是由采样定时器周期性激活的，因此习惯上仍称为采样中断服务程序。

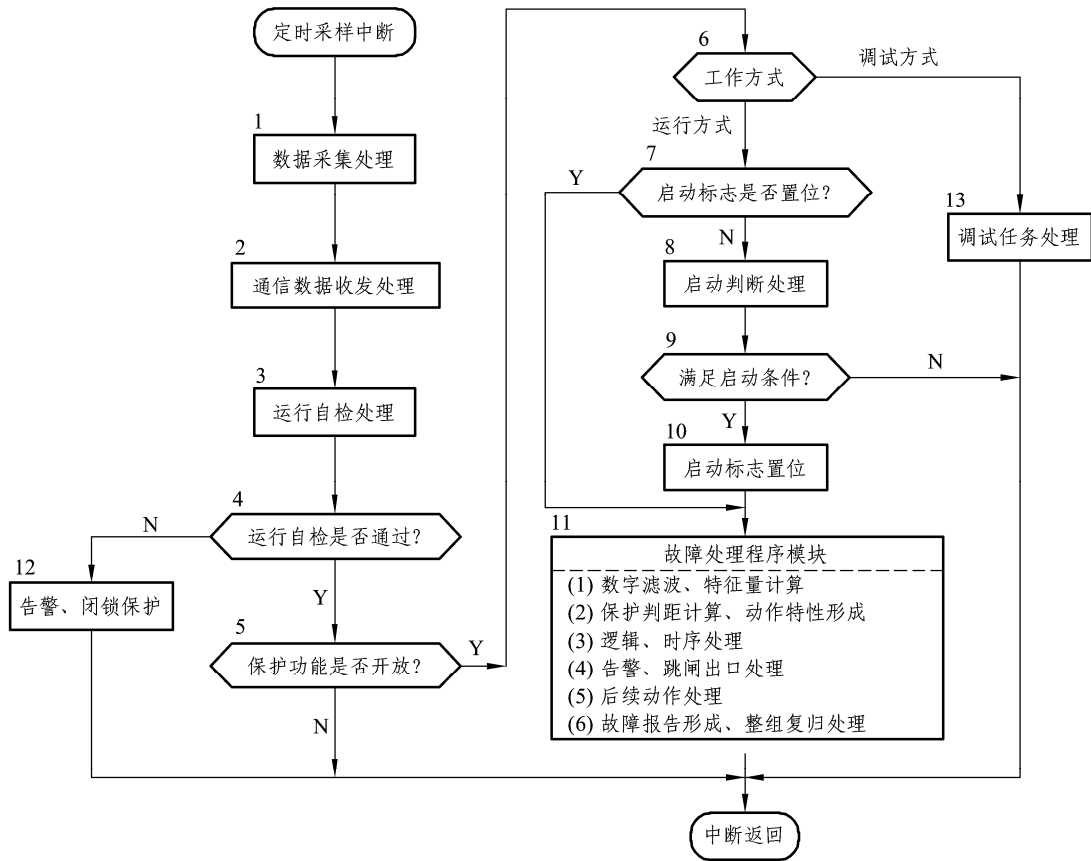


图 1-11 微机保护装置软件的采样中断服务程序