

第 3 章 常用半导体式电控器件

半导体式电控器件由于具有体积小、重量轻、耗电少、噪声小、寿命长、性价比高等许多优点,应用日益广泛。本章着重论述半导体式电控器件和半导体式保护电器的组成原理、功能特征和使用方法。对半导体式电控器件,主要介绍了 3 种典型的时间继电器和两种常用的行程开关。对半导体式保护电器共介绍了 7 种:过流保护器、过压保护器、欠压保护器、超温保护器、漏电保护器、断相保护器及低压断路器。

3.1 概论

现代电子技术,发展迅猛,应用广泛,影响深远。半导体式电控器件好似雨后春笋,层出不穷,如半导体式各种继电器、半导体式电动机启停器、半导体式行程开关及半导体式的各种各样的保护电器等,在电气自动化与智能化工程技术中的应用日益广泛。

3.1.1 半导体式电控器件的特点

1. 优点

同其他形式的电控器件相比,半导体式的电控器件具有以下优点。

(1) 开关速度高。如大功率晶闸管的开通时间和关断时间都只有几十 μs ,小功率的晶闸管,开关时间为数 ms 至数 μs ,比有触点电控器件的固有开关时间短得多。在实际工程中常需要使用这种高速的开关电器,如计算机备用电源的切换开关等。

(2) 操作频率高。如晶闸管的操作频率可达到 100 次/ min 以上。

(3) 使用寿命长。只要在规定电压和电流极限内,半导体式电控器件使用寿命很长。

(4) 耗电功率小。半导体式电控器件一般比有触点电控器件所消耗的电功率要小,尤其是采用场效应晶体管作为输入级,信号源几乎不消耗电功率。

(5) 控制功能多。在完成开关作用的同时还能提供诸如电动机的软启动、调速和再生制动等控制功能。

(6) 对工作环境不苛求。可在有机械振动、多粉尘或有危害性气体的恶劣环境下工作。

2. 缺点

同有触点电控器件相比,半导体式电控器件具有以下缺点。

(1) 散热面积大。其导通后的管压降大,如晶闸管的正向压降可达 $1\sim 2\text{V}$,大功率的晶体管的饱和压降也有 $1\sim 2\text{V}$ 。由于正向压降大,导通后的功耗及发热量也大,为此需要较大的散热面积,这样有些半导体式电控器件面积比同等容量有触点电控器件的面积约增大 10 倍。

(2) 价格比较高。比如一台交流接触器就需要 3 只双向晶闸管,加上触发电路及散热

器等,其总价格比同等容量的有触点电控器件高出 10 倍以上。

(3) 电路较复杂。电子元器件的温度特性及抗干扰能力差,为了提高其工作的可靠性,需要增加许多附加的电路。

(4) 过载能力低。当用半导体式电控器件直接控制电动机时,往往需要按启动电流来选择元器件的容量;否则,电控器件有损坏的危险。

(5) 漏电流较大。如晶闸管关断后还有数毫安的漏电流,不能实现理想的电隔离。

3.1.2 半导体式电控器件的发展

当今广泛使用的半导体式电控器件大都是在以晶闸管和晶体管为主体的基础上,组合其他一些相关半导体器件,构成集成电路组件。

早在 1920 年左右就制成了硒(Se)整流器,这是半导体器件的最早应用,早期应用还有在第二次世界大战后期将氧化亚铜点接触二极管用来检波。在 1947 年,半导体三极管(双极晶体管)诞生后,在半个世纪的时间内,半导体器件的理论和制造技术飞速发展。1958 年集成电路问世,标志着微电子学时代的开始,1968 年 MOS(大规模集成电路)产业化,从此,集成电路的集成度一直以每 3 年 4 倍的惊人速度发展。今天,大部分的半导体器件是用硅制成的,并且硅集成电路占据主导地位。就功率效应而言,双极晶体管一直领先,但 MOS 场效应晶体管(MOSFET)易于小型化和功耗小,在集成度方面占有明显的优势,所以 MOS 器件集成度的提高实际上代表了当今微电子学的进步。但是随着器件向更高级方向发展,硅器件在很多领域不能适应,化合物半导体电子器件以及集成电路成为重要的发展方向。1966 年,砷化镓肖特基栅场效应晶体管(GaAs MOSFET)问世,其后,随着异质结技术和超薄外延生长技术的日趋成熟,相继出现了机理各异、结构新颖、性能优异的各种器件。除了 GaAs MOSFET 有了长足的进展之外,又接连开发了异质结双极晶体管(HBT)和高电子迁移率晶体管(HEMT),这些器件已经成功用于毫米波及超高速电路。已经或正在开发的还有新一代电子器件——量子电子器件。半导体器件发展现状和趋势表明,在这一领域的发展仍处于上升趋势,而今半导体式电控器件的理论和制造技术仍不断取得突破性进展。

3.1.3 半导体式电控器件的类型

半导体式电控器件的品种和形式很多,其电路也各异。

半导体电子式时间继电器在时间继电器中已成为主流产品。半导体电子式时间继电器是采用晶体管或集成电路与电子元件等构成。目前已有用单片机控制的时间继电器。半导体电子式时间继电器具有延时范围广、精度高、体积小、耐冲击、耐振动、调节方便及寿命长等优点,所以发展很快,应用广泛。

半导体电子式电控器件保持独立的电器外形,在功能上则与有触点电控器件相对应,输出形式可以是无触点的电平转换,也可以是有触点的触点通断,既可以与电子电路构成无触点系统,也可以与有触点电器构成继电器接触系统。例如,行程开关到接近开关;双金属片热继电器及电磁式过流继电器到电子式过流、短路、断相、保护继电器等。

混合式电控器件是有触点与无触点相结合的电控器件。混合式电控器件的优点是集两者的优点,取长补短,相辅相成,它有 3 种不同的形式。

(1) 采用无触点电器为其出口元件的电子式电器,如晶闸管时间继电器等。

(2) 采用电子式控制或保护信号发生机构的有触点电器,如半导体脱扣器的断路器;某些同步接触器则是采用电子控制信号使接触器的触点在电流过零的时候断开,实现电路的无弧通断,为此,磁系统的失电时间应由具有选相延时功能的电子电路来控制。

(3) 混合式接触器,在接触器的每一主触点上并联一个双向晶闸管,当开关接通时使晶闸管的导通先于触点的闭合,分断时晶闸管的阻断后于触点的断开,二者取长补短,实现了有触点电控器件的无弧通断。

半导体式时间继电器是利用 RC 电路对电容器充电时,电容器上的电压逐渐上升的原理作为延时基础的。因此改变充电电路的时间常数(改变电阻值),即可整定其延时时间。继电器的输出形式有两种:有触点式,采用晶体管驱动小型电磁式继电器输出;无触点式,采用晶体管或晶闸管输出。

近年来随着微电子技术的发展,采用集成电路、电力电子电路和单片机等半导体元件构成的新型时间继电器大量面市。例如,DHC6 多制式单片机控制时间继电器,J5S17、J3320、JSZ13 等系列大规模集成电路数字时间继电器,J5145 等系列电子式数显时间继电器等。

J5S17 系列时间继电器由大规模集成电路、稳压电源、指轮开关、拨动开关、4 位 LED (Light Emitting Diode) 数码显示器、执行继电器及塑料外壳几部分组成。其时基采用 32kHz 石英晶体振荡器,引出线为圆形 11 脚接头。安装方式有面板式和装置式两种。装置式插座可用 M4 螺钉固定在安装板上,也可以安装在标有 35mm 安装卡上。

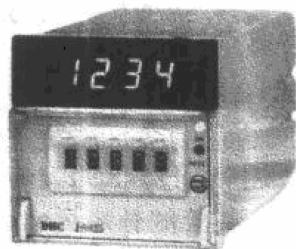
J5S20 系列时间继电器是 4 位数字显示小型时间继电器,它采用晶体振荡作为时基基准。采用大规模集成电路技术,不但可以实现长达 9999h 的长延时,还可保证其延时精度。配用不同的安装插座及附件可应用在面板安装、35mm 标准安装导轨及螺钉安装的场合。

JSZ13 系列时间继电器采用专用的 CMOS 作延时元件。其外形可制成与 3TB40-43 (CJXT-9-22) 和 3TH80-83 (JZCT) 接触器(继电器)相配合的特殊形状,并利用接触器(继电器)线圈接线端将其固定在接触器上。时间继电器的顶部开有延时整定电位器的调整孔,可方便地调整延时时间,其控制输出形式为半导体无触点输出。

JS14S 系列数显时间继电器以交流电路的频率信号作为时基信号,采用 4 位 LED 作为时间显示,数字按开关预置,设定方便,工作稳定可靠,有不同的时间段供选择,可按所预置的时间接通或断开电路。既可作通电延时控制,也可作断电延时控制。

DHC6 多制式单片机控制时间继电器是为适应工业自动化控制水平越来越高的要求而生产的。多制式时间继电器可使用户根据需要进行选择,以简便方法达到以需要较复杂接线才能达到的控制功能,这样既节省较复杂接线才能达到的控制功能,又节省了中间控制环节,还提高了电气控制的可靠性。

DHC6 多制式时间继电器采用单片机控制,LCD 显示,具有 9 种工作制式、正计时、倒计时任意设定、8 种延时时段、延时范围从 0.01s~999.9h 任意设定、键盘设定,设定完成之后可以锁定按键,防止误操作。可按要求任意选择控制模式,使控制线路简单、可靠,其外形如图 3-1 所示。



DHC6 多制式时间继电器的原理框图如图 3-2 所示。 图 3-1 DHC6 型多制式时间继电器

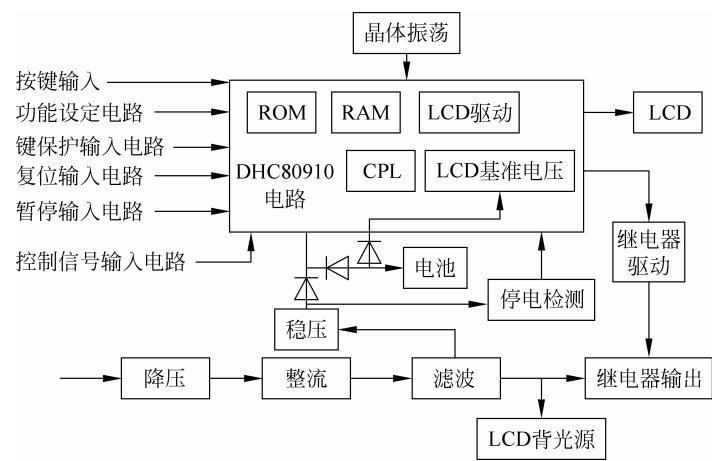


图 3-2 DHC6 多制式时间继电器的原理框图

DHC80910 集成电路是一个单片机最小系统,由 CPU、片内 ROM、片内 RAM、可编程输入输出(I/O)、计数器/定时器、LCD 驱动电路、LCD 基准电压电路和振荡电路构成。该电路有两路电源供电,当外部有电源时,该电路由外部电源供电,当外部停电时,停电检测电路立即发出停电信号使该电路的功耗降到最小,此时单片机由电池供电,保持 RAM 中的数据(数据保持时间可达 10 年),并且设定按钮能够在停电时设定数据。当设定好数据后,键保护输入能按不同的要求分别锁定功能设定(MODE)键、复位(RESET)键和时间设定键,使这些键的操作无效,这样可以防止误操作,也使操作者只能改变设计者允许改变的数据。

DHC6 多制式时间继电器设计有 A、A1、A2、B、E、A3、B1、D、F 等多种工作模式,下面简要介绍其中几种工作模式。

1. A 模式

通电后,时间继电器处于等待状态,输入控制信号上升沿延时开始,延时整定时间到,继电器吸合,等待下一次控制信号,如图 3-3 所示。

2. A1 模式

通电后,时间继电器处于等待状态,输入控制信号上升沿延时开始(控制信号必须保持,无控制信号时间继电器立即复位),延时整定时间到,继电器吸合,等待下一次控制信号,如图 3-4 所示。

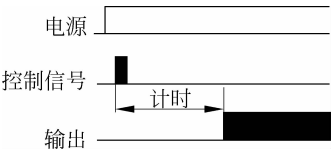


图 3-3 A 模式

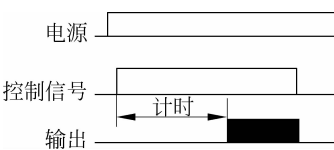


图 3-4 A1 模式

3. A2 模式

通电后,时间继电器立即开始延时,输入控制信号延时暂停,延时到达后,继电器吸合,等待下一次上电或复位信号,如图 3-5 所示。

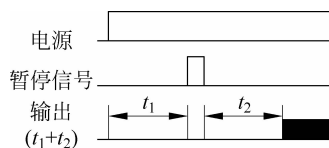


图 3-5 A2 模式

4. B 模式(HOLD 状态)

上电后时间继电器处于等待状态,控制信号上升沿到来时,延时时间到,继电器吸合,继续延时,整定延时时间到,继电器释放,周而复始,循环工作,如图 3-6 所示。

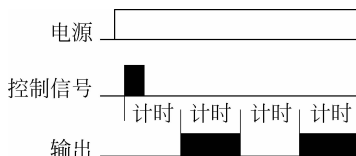


图 3-6 B 模式

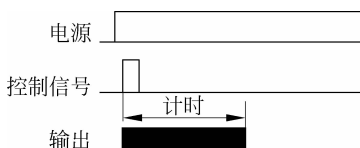


图 3-7 E 模式

3.2 半导体式时间继电器

半导体式时间继电器除了执行继电器外,均由半导体元件组成。由于没有机械部件,故具有寿命长、精度高、体积小、延时范围大、调节范围宽、控制功率小等优点。

半导体式时间继电器一般分为 RC 充放电式(模拟式)时间继电器、数字式时间继电器和微机械式时间继电器。 RC 充放电式(模拟式)时间继电器是利用电容对电压变化的阻尼作用作为其延时基础,并且大多数阻尼式延时电路都有类似图 3-8 所示的电路结构形式,电路由阻容环节、鉴幅器、出口电路和电源四部分组成。当接通电源时,电源电压通过电阻 R 对电容 C 充电,电容上的电压 U_C 按指数规律上升。当 U_C 上升到鉴幅器的阈值电压 U_d 时,鉴幅器即输出开关信号至后级电路,使执行继电器动作。电容充电曲线如图 3-9 所示,表达式为

$$U_C = E(1 - e^{-t/RC}) + U_{C0}e^{-t/RC} \quad (3-1)$$

式中, U_{C0} 为接通电源前电容上的初始电压。由式(3-1)解出时间表达式为

$$t = RC \ln \frac{E - U_{C0}}{E - U_C} \quad (3-2)$$

对于图 3-8 所示电路,阈值电压为 U_d ,令 $U_C = U_d$,则电路的延时时间为

$$t_d = RC \ln \frac{E - U_{C0}}{E - U_d} \quad (3-3)$$

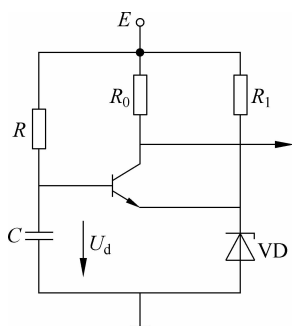


图 3-8 阻容延时电路基本结构形式

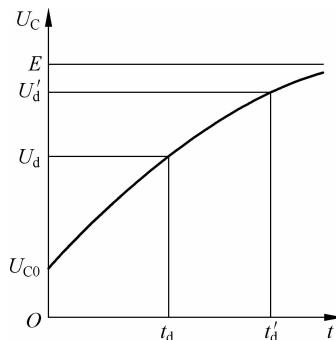


图 3-9 阻容电路充电曲线

如果开始充电时电容上的初始电压 $U_{C0} = 0$ ，则

$$\begin{aligned} t_d &= RC \ln \frac{E}{E - U_d} = RC \ln \frac{1}{1 - U_d/E} \\ &= RC \ln \frac{1}{1 - K} = \tau \ln \frac{1}{1 - K} \end{aligned} \quad (3-4)$$

式中， $K = U_d/E$ ， K 恒小于 1。

式(3-3)和式(3-4)表明，延时的长短与电路的充电时间常数 RC 及电压 E 、阈值电压 U_d 、电容的初始电压 U_{C0} 有关，为了保证延时精度，必须保持上述参数值的稳定。



图 3-10 JS20 系列半导体时间继电器

半导体时间继电器的品种和形式很多，电路也各异，这里以 JS20 系列时间继电器为例进行分析。图 3-10 是 JS20 系列半导体式时间继电器的外形。JS20 时间继电器所用的电路分为两类：一类是单结晶体管电路；另一类是场效应管电路。有下列若干延时等级：通电延时型分为 1s、5s、10s、30s、60s、120s、180s、300s、600s、1800s、3600s；断电延时型分为 1s、5s、10s、30s、60s、120s、180s。JS20 尚有下列主要技术指标。

(1) 对延时范围的要求。每种延时等级的最大延时值应大于其标称的延时值，但小于其标称延时值的 110%；最小延时值应小于 120s，但不能大于 132s，其最小延时应不大于 12s。

(2) 通电延时型的重复工作时间间隔。重复工作时间间隔不小于 1s，即两次使用的间隔时间只要不小于 1s，则延时电容就不会有明显的残存电压而影响下次工作的延时精度。

(3) 断电延时型最小通电时间。最小通断时间不小于 1s，则在接通电源后，断电延时电容迅速充电的时间不大于 1s，从而保证在通电后 1s 就可以进行断电延时。

(4) 重复延时误差。重复延时误差不大于 $\pm 3\%$ 。

(5) 综合延时误差。工作电压为额定电压的 85%~110%、环境温度在 $-10\sim 40^\circ\text{C}$ 范围内变化时，连续动作误差不大于 $\pm 10\%$ 。

(6) 抗干扰性能。主要是指对电源串入的音频和干扰信号的抵御能力。当 JS20 的电源端叠加有 f 为 150~15000Hz、幅值(有效值)为工作电压的 5% 音频正弦信号，或叠加有 2 次/s、峰值为电源电压 2 倍、宽度分别为 $20\mu\text{s}$ 与 $80\mu\text{s}$ 的脉冲信号时，时间继电器应

符合重复延时误差的要求。

下面将对通电延时型半导体式时间继电器、断电延时型半导体式时间继电器、带瞬动触点的通电延时时间继电器电路进行逐一讨论。

3.2.1 通电延时型半导体式时间继电器

现以单晶体管通电延时型半导体式时间继电器为例来论述其组成原理,其电路如图 3-11 所示,全部电路由延时环节、鉴幅器、输出电路、电源和指示灯五部分组成,图 3-12 所示为其结构框图。电压的稳压部分由电阻 R_1 和稳压管 V_3 构成,供给延时和鉴幅,输出电路中的晶闸管 VT 和继电器 K 则由整流电源电路直接供电。电容 C_2 的充电回路有两条:一条是通过电位器 R_{P1} 和电阻 R_2 ;另一条是通过由低阻值电阻 R_4 、 R_5 和电位器 R_{P2} 组成的分压器经二极管 V_2 向电容 C_2 提供的预充电路。

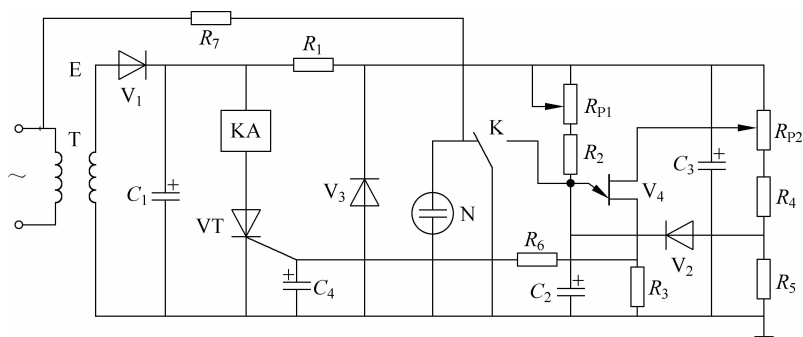


图 3-11 JS20 单晶体管时间继电器电路

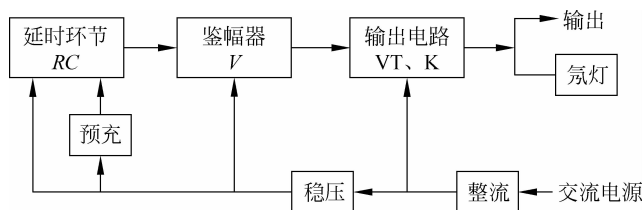


图 3-12 JS20 单晶体管时间继电器框图

电路的工作原理:当接通电源后,经二极管 V_1 整流、电容 C_1 滤波以及稳压管 V_3 稳压的直流电压通过 R_{P2} 、 R_4 、 V_2 向电容 C_2 以极低的时间常数快速充电。与此同时,也通过 R_{P1} 和 R_2 向电容充电。电容 C_2 上电压在相当于 U_{R5} 预充电压的基础上按指数规律逐渐升高。当此电压大于单晶体管的峰点电压 U_P 时,单晶体管导通,输出电压脉冲触发晶闸管 VT。VT 导通后使继电器 K 吸合,除用其触点来接通或分断外电路外,还利用其另一常开触点将 C_2 短路,使之迅速放电,为下次使用做准备。此时氖指示灯 N 启辉。当切断电源时,K 释放,电路恢复原始状态,等待下次动作。

对于延时范围 30~300s 的单晶体管延时电路,充电电阻 $R_{P1} + R_2$ 的最大数值为单晶体管的峰点电流 I_P 所限制,其关系是

$$R_{P1} + R_2 \leq \frac{E - U_P}{I_P} \quad (3-5)$$

式中, E 是 V_3 的稳压值。设 $U_{V3} = 22V$, 分压比 $\eta = 0.63$, $I_P \leq 2\mu A$, 则

$$U_P = \eta E = 0.63 \times 22 = 14(V)$$

于是

$$R_{P1} + R_2 \leq \frac{22 - 14}{2} \times 10^6 = 4(M\Omega) \quad (3-6)$$

如取 $3M\Omega$, 则当 $C_2 = 100\mu F$ 时, 延时时间为

$$t_d = (R_{P1} + R_2) C_2 \ln \frac{1}{1 - \eta} = 3 \times 100 \ln \frac{1}{1 - 0.63} \approx 300(s) \quad (3-7)$$

为了获得小于 30s 的下限延时, R_2 取 $300k\Omega$, R_{P1} 取 $3M\Omega$, 这样总阻值就等于 $3.3M\Omega$, 最小延时不大于 30s。预充电路的存在将使实际延时时间小于上面的计算值。考虑到电子元件参数的分散性, 各管的 η 值有差异, 在电路中用一个小电位器 R_{P2} , 使单晶体管的 U_{bb} 和 U_P 可以调整。

重复工作的时间间隔不大于 1s。JS20 除了用继电器常开触点使电容短接迅速放电以及设有预充电路外, 还有一条快速放电回路, 它就是单晶体管本身。因为单晶体管的峰点电压 $U_P = \eta U_{bb}$, 当电源被切断时, U_{bb} 和 U_P 将随之降为零, 从而使单晶体管能够迅速进入负阻区, 电容上的电荷通过单晶体管的发射极、第一基极和低阻值电阻 R_3 迅速放电。

综合误差不大于 10%, 由于电路设有稳压环节, 且 RC 电路与鉴幅器共用一个电源, 因此电源电压波动基本上不产生误差延时。为了减小由温度变化引起的误差, 采用了钽电解电容器, 其电容量和漏电流为正温度系数, 而单晶体管的 U_P 略呈负温度系数, 两者可以适当补偿。

对于抗干扰能力, JS20 在晶闸管 VT 和单晶体管 V_4 处分别接有电容 C_4 和 C_3 , 用以防止电源电压的突变而引起的误导通。测试时要求抑制 5% 的音频干扰信号主要由稳压管 V_3 阻挡。

3.2.2 断电延时型半导体式时间继电器

当切断断电延时型时间继电器电源后, 其触点仍暂时保持不动, 等到延时时间达到后才动作。JS20 断电延时型时间继电器采用了两个延时继电器, 一个是带有机机械锁扣的瞬动延时型时间继电器 K_D , 当接通电源, K_D 立即吸合并通过机械锁扣自锁。机械锁扣示意图如图 3-13 所示。当切断电源后, 它自己不能释放, 其释放是依靠另一个继电器 K_S 。 K_S 在断电以后经过预定的延时时间短时地吸动一下, 打开 K_D 的机械锁扣, 于是 K_D 延时释放。JS20 断电延时继电器电路如图 3-14 所示。接通电源后, 4 个电容器均迅速充电。 C_1 ($50\mu F$) 是电源滤波电容, C_3 ($33\mu F$)、 C_4 ($50\mu F$) 是在电源断电以后分别给场效应晶体管和 K_D 回路提供电压及能量的电容器。 C_3 是延时电容。 C_3 上电压接近稳压管 V_4 的电压, 而 C_2 上的电压由于有

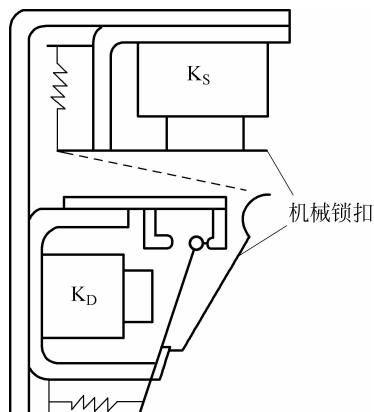


图 3-13 带有机机械锁扣继电器结构示意图

电位器 R_{P2} 的分压作用,其值较小,因此 V_1 (场效应管) 的 $U_{GS} = U_{C2} - U_{C3} < 0$, 调整 R_{P2} 可使 V_1 处于夹断状态, V_2 、 V_3 也随之截止。当电源切断后, C_2 、 C_4 分别因 V_2 、 V_3 截止而无法放电, C_3 则可以通过放电电阻 $R_{P1} + R_5$ 放电。当放电到 U_{GS} 大于其夹断电压一定值时, V_1 导通, C_2 通过 R_4 、 V_3 、 V_2 的发射结和 V_1 的 D、S 极放电, 由于 V_2 导通, C_3 也经 R_4 、 V_3 的发射结及 V_2 放电, C_3 上的电压下降又促使 V_1 进一步导通。这一正反馈过程使 C_2 、 C_3 、 C_4 迅速放电, 各管迅速导通, K_S 吸动, 打开 K_D 的机械锁扣。电路中的二极管 V_6 、 V_7 、 V_9 分别用来防止 C_2 、 C_3 、 C_4 在延时过程中对其他低电阻放电, V_5 起温度补偿作用, K_D 在吸合后有锁扣自锁, 故通电后可用其一对转换触点将自己断电。为使吸合过程可靠 (K_D 中电流为半波整流电流), 线圈上并联了一个小容量电容 C_5 。

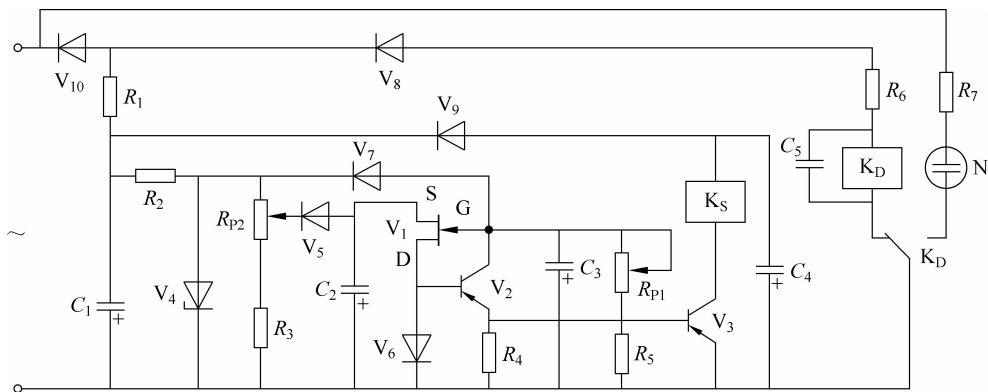
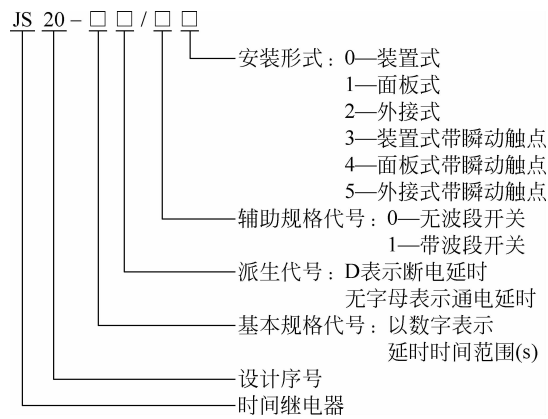


图 3-14 JS20 断电延时型时间继电器电路

JS20 系列半导体式时间继电器的型号及其含义如下。



JS20 系列半导体式时间继电器的主要技术参数见表 3-1。

JS20 系列半导体式时间继电器的其他一些性能指标如下：

- (1) 延时重复误差不大于 $\pm 3\%$ 。
- (2) 当电源电压在额定值 $85\% \sim 105\%$ 范围内变化时, 延时误差不大于 5% 。
- (3) 当周围空气温度在 $10 \sim 50^\circ\text{C}$ 范围变化时, 其延时误差不大于 $\pm 10\%$ 。
- (4) 当继电器动作 12 万次以后, 其延时的精度稳定性误差不大于 $\pm 10\%$ 。

表 3-1 JS20 系列半导体式时间继电器的主要技术参数

产 品 名 称	额定工作电压/V		延时等级/s
	AC	DC	
通电延时型时间继电器	26、110、127、220、380	24、48、110	1、5、10、30、60、120、180、240、300、600、900
瞬动延时型时间继电器	36、110、127、220		1、5、10、30、60、120、180、240、300、600
断电延时型时间继电器	36、110、127、220、380		1、5、10、30、60、120、180

- (5) 通电延时型时间继电器的重复动作间隔时间不小于 2s。
- (6) 断电延时型时间继电器的最小通电时间应小于 2s。
- (7) 消耗功率不大于 5W。
- (8) 机械寿命为 60 万次。

3.2.3 带瞬动触点的通电延时型时间继电器

除具有延时动作触点以外还带有瞬时动作触点的时间继电器,如图 3-15 所示,这是 JS20 型的产品,该电路采用了结型场效应晶体管。电路原理与不带瞬动触点的电路原理基本相同,只是增加了一个瞬时动作的继电器 K₂。由于增加了继电器,体积增大了很多,采用了电阻降压法取代原来的电源变压器,以缩小体积。

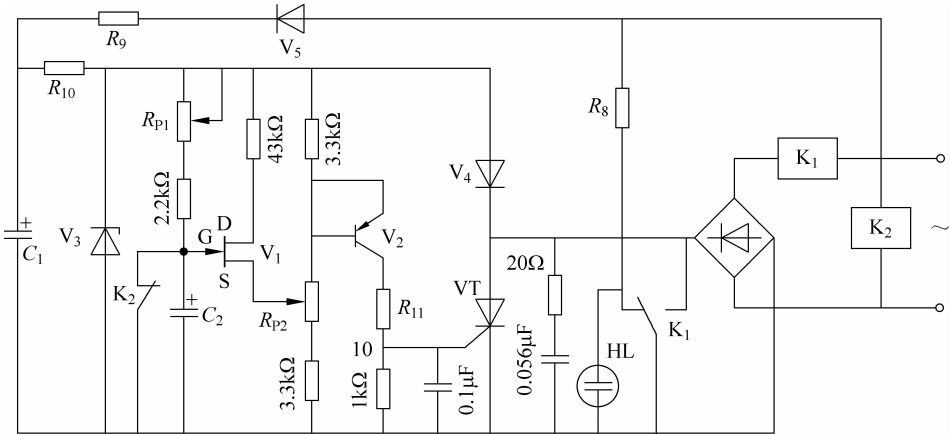


图 3-15 带瞬动触点的通电延时型时间继电器电路

延时和瞬时动作的两个继电器都采用交流继电器。延时继电器 K₁由接在桥式整流直流侧的晶闸管控制。接通电源,K₂吸合,同时交流电源经 R₉降压、V₅整流和 C₁滤波之后向延时电路提供直流稳压电源。当 K₁吸合后,利用其常开触点将晶闸管 VT 短接,使 VT 以前的电路不再有电压和电流,从而提高了电路的可靠性。电路还利用 K₂的一对常闭触点将电容 C₂短接,这样电源在任何情况下断电时,电容上电压总能在断电后立即迅速放电。

3.3 半导体式行程开关

随着半导体技术的发展,出现了非接触式的行程开关,即无触点的行程开关,无触点的行程开关又称为接近开关(半导体式行程开关)。当某种物体与之接近到一定的距离时就会发出动作信号,它不像机械行程开关那样需要施加机械力,而是通过其感辨头与被测物体间的介质能量变化来获取信号。半导体式行程开关的应用已远远超出一般行程控制和限位保护的范畴,如用于高速计数、测速、液面控制、检测金属体的存在、零件尺寸及无触点按钮等。即使用于一般行程控制,其定位精度、操作频率、使用寿命和对恶劣环境的适应能力也优于一般机械式行程开关。

半导体式行程开关的形式有多种,不论哪一种都是由接近信号发生机构以及后级的检波、鉴幅和出口电路组成。原则上半导体式行程开关可以依据任何一种物理量(诸如电、磁、光、声及超声波等物理量)变换为电量的机理作为辨识机构。半导体式行程开关根据其感辨机构的工作原理可以分为高频振荡型、电磁感应型、电容型、光电型、永磁型、超声波型、霍尔型等多种形式。

高频振荡型行程开关是一种有开关量输出的位置传感器,它由 LC 高频振荡器和放大处理电路组成,利用金属物体接近产生电磁场的振荡感应头,使物体内部产生涡流,涡流反作用于行程开关,使行程开关振荡能力衰减,内部电路的参数发生变化,由此识别出有无金属物体接近,进而控制开关的通断。这种行程开关用于检测各种金属物体,当前应用最为普遍。另外,值得指出的是:不同的金属物体接近振荡感应头时,使行程开关振荡能力衰减的程度不一样,表 3-2 列出了几种常用金属体的衰减系数。

表 3-2 部分常用材料的值

材 料	衰 减 系 数	材 料	衰 减 系 数
钢	1	黄铜	0.3
不锈钢	0.85	铜	0.4

电磁感应型行程开关(包括差动变压器型)是利用被检测物体接近时产生的涡流及磁场的变化,以衡量检测线圈和比较线圈之间差值进行动作的。用于检测导磁和非导磁金属。

电容型行程开关主要是由电容式振荡器及相关电子电路组成,它的电容位于传感界面,当物体接近时,将因为耦合电容值的变化而振荡,从而产生振荡或停止振荡使输出信号发生改变。电容式行程开关可用各种材料触发,如固体、液体或粉末状物体。用于检测导电和不导电的液体和金属。

光电式行程开关是利用被检测物体对红外光束的遮光或反射,由同步回路选通而检测物体的有无,其检测的物体不限于金属,也可以进行非接触、无损伤地检测和控制各种固体、液体、透明体、黑体、柔软体和烟雾等的状态和动作。依据检测方式的不同,光电式行程开关可分为反射式光电开关、对射式光电开关、镜面反射式光电开关 3 种类型。

永磁型行程开关是利用永久磁铁的吸力驱动舌簧开关而输出信号的。永磁型以及磁敏元件用于检测磁场及磁性金属。

超声波型行程开关主要由压电陶瓷传感器、发射超声波和接收反射波用的电子装置及调节检测范围用的程控桥式开关等几个部分组成。适于检测不能或不可触及的目标,其控制功能不受声、电、光等因素干扰,检测目标可以是固体、液体或粉末状态的物体,只要能反射超声波即可。

霍尔型行程开关是将磁信号转换为电信号输出方式工作的,其输出具有记忆保持功能。内部的磁敏元件仅对垂直于传感器的截面磁场敏感,当磁极 S 正对接近开关时,接近开关的输出产生正跳变,输出为高电平。若磁极 N 正对接近开关时,输出为低电平。

图 3-16 是几种常见的半导体式行程开关。



图 3-16 常见的半导体式行程开关

半导体式接近开关的主要技术指标有以下几个。

(1) 动作距离。对不同类型的半导体式行程开关的动作距离含义不同。大多数半导体式行程开关的动作距离是指开关刚好动作时感辨头与检测体之间的距离。以能量束为原理(光及超声波)的半导体式行程开关的动作距离则是指发送器与接收器之间的距离。半导体式行程开关说明书中规定的是动作距离的标准值,在常温和额定电压下,开关的实际动作值不应小于其标准值,也不能大于标准值的 20%。一般动作距离在 5~30mm 之间,精度为 $5\mu\text{m}\sim 0.5\text{mm}$ 。

(2) 重复精度。在常温和额定电压下连续进行 10 次试验,取其中最大或最小值与 10 次试验的平均值之差作为半导体式行程开关的重复精度。

(3) 操作频率。操作频率即每秒最高操作次数。操作频率的大小与半导体式行程开关信号发生机构的原理及出口元件的种类有关。采用无触点输出形式的半导体式行程开关,操作频率主要取决于信号发生机构及电路中的其他储能元件;若为触点输出形式,则主要取决于所用继电器的操作频率。

(4) 复位行程。复位行程是指开关从“动作”到“复位”的位移距离。

使用半导体式行程开关应注意的事项有以下几个。

(1) 对于电感式行程开关,当检测物体为非金属时,检测距离要减小,另外很薄的镀膜层也是检测不到的。电容式行程开关理论上可以检测任何物体,但是当检测过高介电常数

物体时,检测距离要明显减小,即使增加灵敏度也无明显效果。

(2) 当使用感性负载(如电动机等)时,其瞬态冲击电流较大,可能损坏交流两线的半导体式行程开关,在这种情况下,可以经过交流继电器作为负载来转换使用。

(3) 避免半导体式行程开关在化学溶剂,特别是在强酸、强碱的环境下使用。

(4) 为了使半导体式行程开关能长期稳定工作,务必进行定期的维护,包括检测物体和半导体式行程开关的安装位置是否有移动或松动,接线和连接部位是否接触不良,是否有金属粉尘依附。

下面介绍两种典型的半导体式行程开关电路。

3.3.1 高频振荡停振型行程开关

半导体式停振型接近开关属于高频振荡型,是一种典型的半导体式停振型行程开关。高频振荡型行程开关是以金属触发为原理,主要由高频振荡器、集成电路或晶体管组成的放大电路和输出电路三部分构成。高频振荡型接近信号的发生机构实际上是一个 LC 振荡器,其中 L 是电感式感辨头。当金属检测体接近感辨头时,在金属检测体中将产生涡流,由于涡流的去磁作用使感辨头的等效参数发生变化,由此改变振荡回路的谐振阻抗和谐振频率,振荡回路损耗增大,使振荡停止。振荡器的振荡信号和停振信号,经整形放大后转换成开关信号输出。 LC 振荡器由 LC 谐振回路、放大器和反馈电路构成。按反馈方式可分为电感分压反馈式、电容分压反馈式和变压器反馈式。

图 3-17 所示为半导体式停振型行程开关电路组成框图。

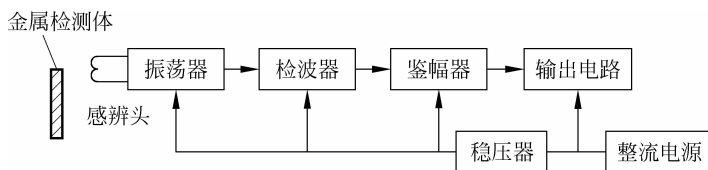


图 3-17 半导体式停振型行程开关电路组成框图

图 3-18 所示为某一半导体式行程开关的实际电路。图中采用了电容三点式振荡器,感辨头 L 仅有两根引出线,因此,也可以作为分离式结构。由 C_2 取出的反馈电压经 R_2 和 R_1 加到晶体管 V_1 的基极和发射极两端,取分压比等于 1,即 $C_1 = C_2$,其目的是为了能够通过改变 R_p 来整定开关的动作距离。由晶体管 V_2 、 V_3 组成的射极耦合触发器不仅用作鉴幅,同时也起电压和功率放大作用。 V_2 的基射结还兼作检波器。为了减轻振荡器的负担,选用较小的耦合电容 C_3 (510pF) 和较大的耦合电阻 R_4 (10k Ω)。振荡器输出的正半周电压使 C_3 充电。负半周 C_3 经过 R_4 放电,选择较大的 R_4 可减小放电电流,由于每周期内的充电量等于放电量,所以较大的 R_4 也会减小充电电流,使振荡器在正半周的负担减轻。但是 R_4 也不应过大,以免 V_2 基极信号过小而在正半周内不足以导通。检波电容 C_4 不接在 V_2 的基极而接到集电极上,其目的是为了减轻振荡器的负担。由于充电时间常数 $R_5 C_4$ 远大于放电时间常数 (C_4 通过半波导通向 V_2 和 V_7 放电),因此当振荡器振荡时, V_2 的集电极电位基本等于其发射极电位并使 V_3 可靠截止。

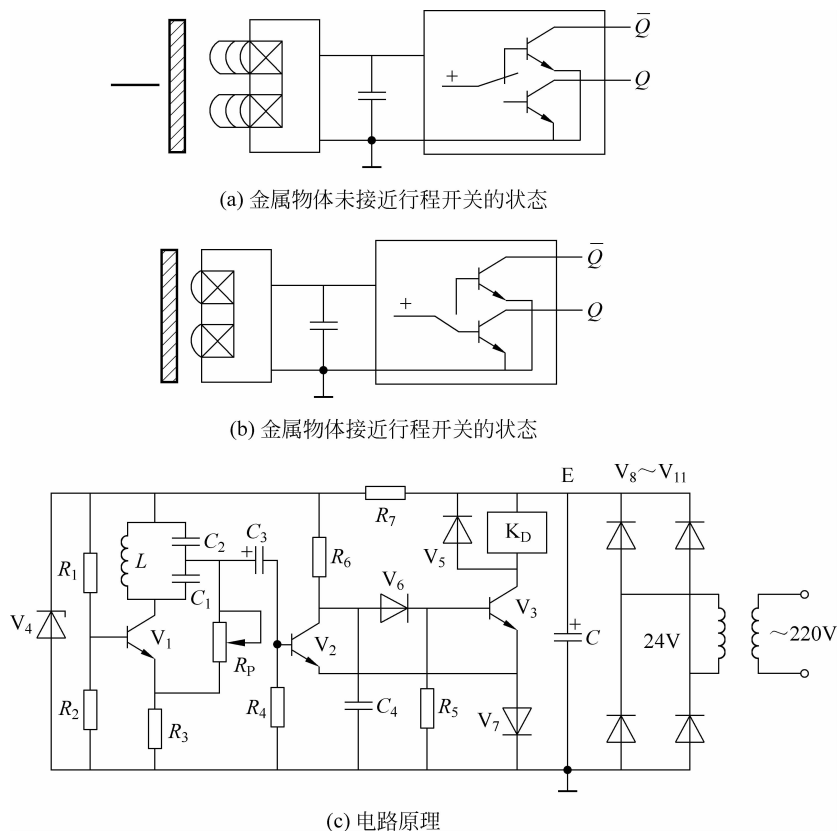


图 3-18 半导体式停振型行程开关电路

当有金属检测体接近感辨头 L 使振荡器停振时, V_3 的导通因 C_4 充电约有数百 μs 的延迟。 C_4 的另一个作用是当电路接通电源时, 振荡器虽不能立即起振, 但由于 C_4 上的电压不能突变, 使 V_3 不致有瞬间的误导通。

振荡回路中的电容 C_1, C_2 采用温度略呈负值的 CBX 聚苯乙烯电容器, 与晶体管 β_1 值的正温度系数一道对感辨头线圈的电阻温度系数进行补偿, 使开关的温度特性得以改善。由于电路中设置了稳压环节, 当电源电压偏移 $-15\% \sim +10\%$ 时, 接近开关动作距离几乎不变。振荡器直流工作点设置的原则是使叠加在静态电流上的交变分量远大于向后级电路提供的负载电流, 一般选在 $1 \sim 3mA$ 内。

3.3.2 差动变压器型行程开关

差动变压器型行程开关是一种典型半导体式行程开关。差动变压器型行程开关的感辨头采用铁氧体材料制成的 H 型铁心, 如图 3-19(a) 所示, 中心柱上绕有励磁绕组 w_1, w_2, w_3, w_4 , 其中 w_1 和 w_2 以及 w_3 和 w_4 各为同极性, 而两对绕组 w_1 和 w_2 与 w_3 和 w_4 为反极性串联, 使输出电势为两边的差动电势, 如图 3-19(b) 所示。当无检测体时, 铁心两侧磁场对称, 输出电势 $e_0 = e_1 - e_2 = 0$, 当金属体向右侧气缝接近时, 检测体中感生的涡流对右侧磁场产生去磁作用, 从而使二次绕组有差动电势 $e_0 > 0$ 。

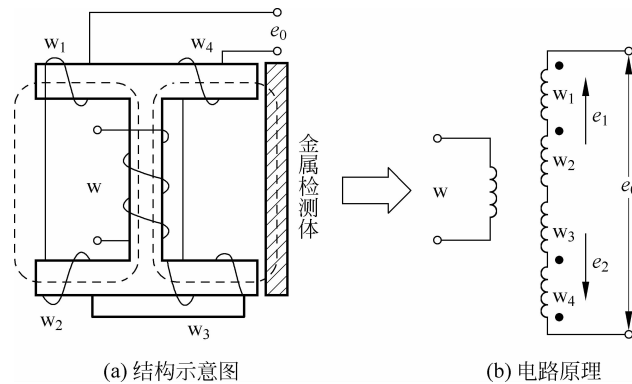


图 3-19 差动变压器型感辨头

图 3-20 所示为一种差动变压器型半导体式接近开关电路。为了减小感辨头的尺寸,一次绕组的励磁电压由 100kHz 左右的高频信号源提供,为此在电路中设置了一个电容三点式振荡器。当有金属检测体接近感辨头的时候,两套二次绕组 w_1 、 w_2 和 w_3 、 w_4 就感应出差动电势,经复合管放大器放大,再由隔直与检波电路处理为电平信号送至射极耦合触发器鉴幅,电路有 Y 和 $\bar{Y}$ 两个互补输出端。在 $\bar{Y}$ 端还设置了一个发光二极管 V_{10} ,作为开关状态指示。触发器除了射极耦合二极管 V_8 以外,还采用了基极耦合的正反馈电阻 R_{11} ,使开关特性更加良好。开关的精度在很大程度上取决于放大器工作的稳定性。为了使放大器工作稳定,采用负反馈电阻 R_7 ,并在直流偏置电路中接入了缓变型 PTC 热敏电阻 R_t ,以使在规定温度范围内保持直流工作点稳定。

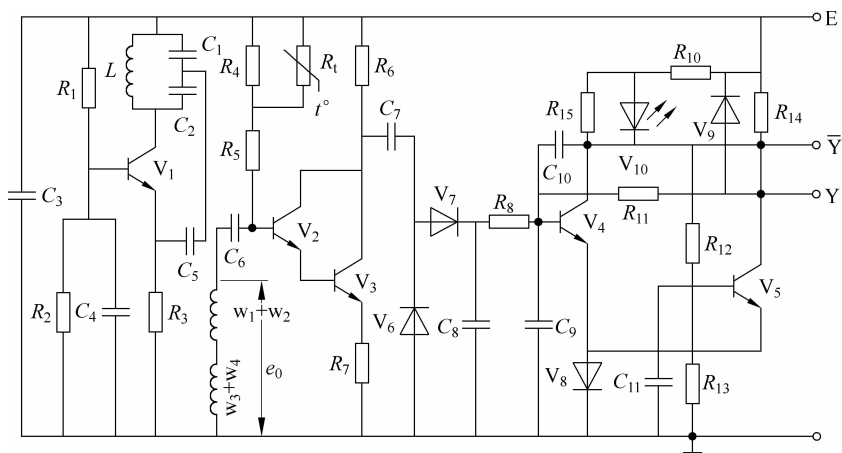


图 3-20 差动变压器型半导体式接近开关电路

差动变压器有较高的感辨灵敏度,在其后又有较高增益的放大器,因此与停振型行程开关相比,差动变压器型行程开关有较大的动作距离,即有较大的磁心利用系数。由于没有停振与起振过程,因此还有很高的操作频率。由于差动变压器型半导体式行程开关是基于金属检测体中涡流的去磁效应来工作的,由于铜、铝等电阻系数较小的检测体去磁效应比电阻系数较大的铁检测体要大,因此当尺寸相同时,铜、铝检测体的动作距离比铁的动作距离

要大。

半导体式行程开关的工作电压有交流和直流两种,输出形式有两线、三线和四线 3 种;有一对常开、常闭触点;晶体管输出类型有 NPN、PNP 两种;外形有方形、圆形、槽形和分离式等多种。半导体式行程开关的主要参数有动作行程、工作电压、动作频率、响应时间、输出形式及触点电流容量等,在产品说明书中有详细说明。半导体式行程开关的产品种类十分丰富,常用的国产半导体式行程开关有 3SG、LJ、CJ、SJ、AB 和 LXJO 等系列,另外,从国外进口及引进产品应用也非常广泛。

3.4 半导体式保护电器

半导体式保护电器主要是由半导体元器件(包括半导体集成电路器件)构成的电子电路装置,这种装置同有触点保护电器的功能类似,对电器控制系统及其设施具有保护作用。常用的典型半导体式保护电器有半导体式过电流保护器、半导体式过电压保护器、半导体式欠电压保护器、半导体式断相保护器、半导体式超温保护器、半导体式漏电保护器和半导体式脱扣器等,它们被广泛应用在电器控制系统中。

3.4.1 半导体式过流保护器

过流保护电器包括过载保护电器和短路保护电器,图 3-21 所示为其检测电路结构原理框图。检测电路由 $I-U$ 变换器、整流电路、滤波电路及整定电路构成,被监控量是电动机主回路的交流电流 i_1 ,首先把 i_1 经 $I-U$ 变换器变换为同 i_1 具有线性关系的交流电压 U_2 ,再经整流得到脉动电压,最后经滤波器及整定电路输出直流电压给鉴幅器鉴别,鉴幅器由电压比较和开关电路两部分组成。从检测电路输入的直流电压在鉴幅器中与阈值电压进行比较,以识别电动机的运行状态和故障性质,瞬时或者延时地发出动作信号。

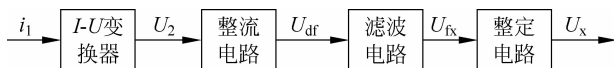


图 3-21 过流保护检测电路结构原理框图

电流型保护继电器应具有以下性能:

① 反时限特性,可错开电动机的启动时间。

② 电动机过载特性与反时限特性有较好的匹配(前者应该略低于电动机的过载特性)。

半导体式过载保护电器由测量电路、鉴幅器、时限电路及输出电路等组成,如图 3-22 所示。当为 1 倍电流整定值时,动作时间可在 20~120s 范围内调节;若为 10 倍整定值时,则动作时间在 1.5~10s 内调节。

1. 检测电路

$I-U$ 变换器及检波器采用了电流互感器、桥式整流器和 II 型滤波器,如果要求过流保护器具有较高的返回速度,可与电容器 C_1 并联一个放电电阻 R' ,如图 3-22 所示。下面介绍 $I-U$

变换器的工作原理。

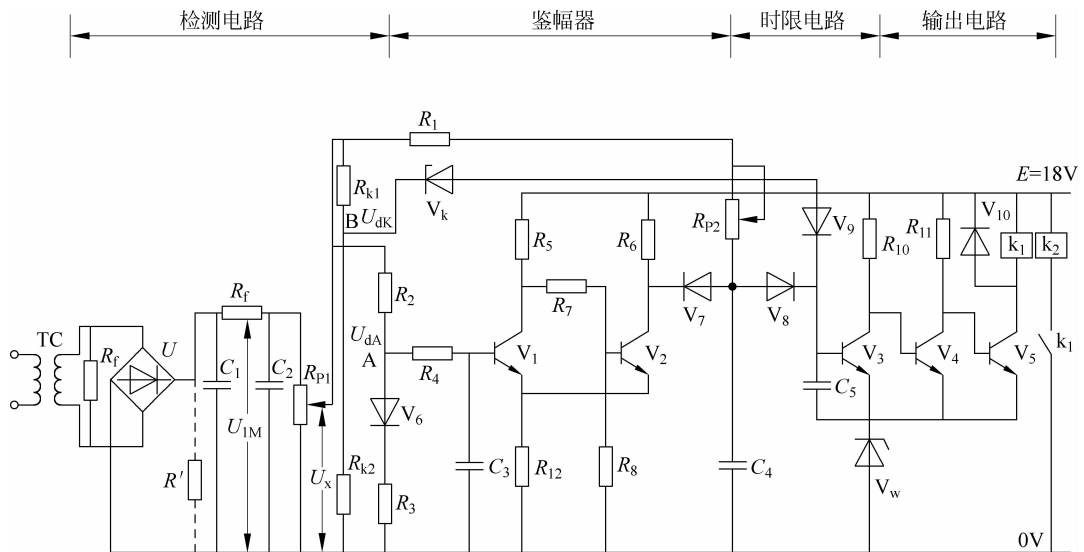


图 3-22 半导体式过载保护器

$I-U$ 变换器实质上就是电流互感器和电抗互感器的组合体。在电器控制系统中,通过电流互感器及电抗互感器所测的电流和电压来衡量或判断供电系统的运行状态。保护用的互感器与仪表用的互感器工作原理相同,但性能要求上有所区别。仪表用互感器要求测量精确,保护用互感器则往往允许有恒定的公差(幅值误差)和角差(相位误差);仪表用互感器要求精确地反映电器控制系统在正常运行状态下的电流和电压,保护用互感器则要求在发生故障时及时、有效地反映被测电流和电压。

1) 电流互感器和电抗互感器

电流互感器和电抗互感器的结构示意图分别如图 3-23(a)和图 3-23(b)所示;等值电路见图 3-23(c)。

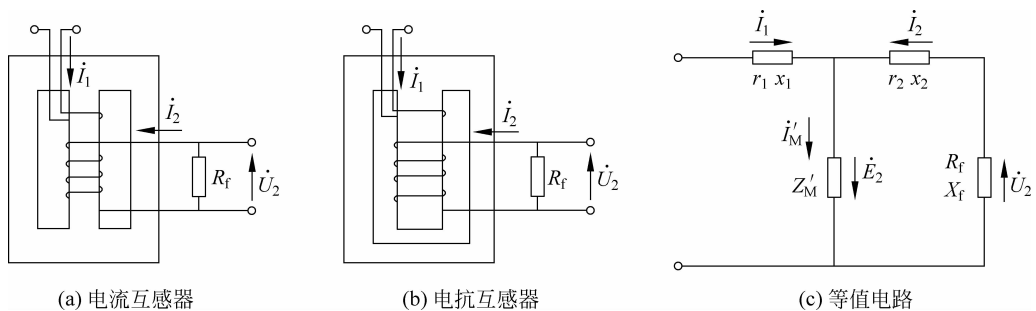


图 3-23 互感器结构及等值电路

(1) 电流互感器。由磁势平衡关系可得

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{I}_M N_1 \quad (3-8)$$

式中, $\dot{I}_1$ 、 $\dot{I}_2$ 、 $\dot{I}_M$ 分别为互感器一次绕组电流、二次绕组电流、励磁电流; N_1 、 N_2 分别为电流

互感器一、二次绕组匝数。

将式(3-8)用 N_2 除得

$$\dot{I}_1 \frac{N_1}{N_2} + \dot{I}_2 = \dot{I}_M \frac{N_1}{N_2} \quad (3-9)$$

将一次电流 $\dot{I}_1$ 和励磁电流 $\dot{I}_M$ 折算至二次侧,得

$$\dot{I}'_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}'_M \quad (3-10)$$

电流互感器的工作条件是负载阻抗 Z_f 远小于励磁阻抗 Z'_M , 即 $Z_f \ll Z'_M$, 从而

$$\dot{I}'_1 + \dot{I}_2 = \dot{I}'_M \approx 0 \quad (3-11)$$

负载阻抗上电压为

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_f \approx -\dot{I}'_1 Z_f \quad (3-12)$$

由式(3-12)可知,电流互感器相当于一恒流源,其输出电压与负载电流或一次电流成比例。作为一恒流源,要求二次侧不准许开路或负载过大;否则易造成过电压,使互感器绝缘击穿。

(2) 电抗互感器。电抗互感器的铁心通常开有气隙,励磁阻抗很小,因而有 $Z'_M \ll Z_f$, 则 $\dot{I}_M = \dot{I}'_1$ 可以建立下列关系,即

$$u_1 \approx -e_1 = N_1 \frac{d\varphi_0}{dt} \quad (3-13)$$

$$u_2 \approx -e_2 = N_2 \frac{d\varphi_0}{dt} \quad (3-14)$$

其中

$$\varphi_0 = i_1 N_1 G_\delta \quad (3-15)$$

式中, G_δ 为工作气隙电导。

设 $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$ 代入式(3-15)中,则

$$\frac{d\varphi_0}{dt} = I_{1m} N_1 G_\delta \omega \cos \omega t$$

$$u_2 \approx -e_2 = N_2 \frac{d\varphi_0}{dt} = N_2 I_{1m} N_1 G_\delta \omega \cos \omega t = I'_M Z'_M$$

其中

$$I'_M = N_1 N_2 I_{1m}$$

$$Z'_M = \omega G_\delta \cos \omega t$$

因二次侧接近开路状态,则有

$$\dot{U}_2 = I'_M Z'_M \quad (3-16)$$

即

$$\dot{U}_2 = \dot{I}'_1 (R'_M + jX'_M)$$

通常由于 $R'_M \ll X'_M$, 故有

$$\dot{U}_2 = j \dot{I}'_1 X'_M \quad (3-17)$$

由此可见,电抗互感器相当于一个恒压源。其电压值取决于一次电流在励磁阻抗上的

压降,而与负载阻抗的大小无关,其输出电压的相位超前于一次电流 90° ,它不允许二次侧短路或负载阻抗太小;否则二次侧电流过大,烧毁互感器。

电抗互感器输出电压与一次电流不仅有成比例变化关系,而且具有移相功能。铁心开有气隙使 $I-U$ 变化的线性区较宽,使剩磁减弱,因而可消除在电路出现短路电流以后检测电流时由剩磁引起的测量误差。

(3) 零序电流互感器。将三相导线一起穿过电流互感器的铁心窗口,互感器就成为一台测量零序电流的零序电流互感器。

当线路正常运行时,有

$$\dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = 0 \quad (3-18)$$

则各相电流对应磁通矢量和为

$$\dot{\Phi}_U + \dot{\Phi}_V + \dot{\Phi}_W = 0 \quad (3-19)$$

所以铁心内没有磁通,二次侧输出电压为零。

当线路发生单相接地或漏电等故障而出现零序电流时, $\sum \dot{I} \neq 0$, 即

$$\dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}_W = 0 \quad (3-20)$$

铁心中产生磁通

$$\dot{\Phi}_U + \dot{\Phi}_V + \dot{\Phi}_W = \dot{\Phi}_0 \quad (3-21)$$

由 $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$ 知,二次绕组感应出电动势。当三相导线在铁心窗口中的空间位置不对称时,即使在 $\sum \dot{I} = 0$ 的条件下,二次绕组也会产生一定的电势,这一情况相当于一次绕组中存在某一电流,此电流称为残留电流。安装时应使三相导线在空间的位置尽可能地对称,尽量减小残留电流和由残流引起的输出电压,以保证保护动作的灵敏性和工作的可靠性。

2. 鉴幅器

过载部分所用的鉴幅器(见图 3-22 鉴幅器部分)是由 R_2 、 R_3 、 V_6 组成的分压比较器和 V_1 、 V_2 组成的射极耦合触发器构成。阈值电压 U_{dA} 约为 1.8V。电动机正常工作时,A 点电位小于阈值电压, V_1 截止 V_2 导通,并将电容 C_4 短接,时限电路不工作。当电动机出现过载时,测量电路的输出电压 U_X 升高,A 点电压 U_{AX} 达到阈值电压 U_{dA} 时,射极耦合触发器翻转为 V_1 导通、 V_2 截止,二极管 V_7 截止,电容器开始充电,C 点电位上升,经历某一时限后升至阈值电压 U_{dC} , V_3 变为导通, V_4 变为截止, V_5 导通,带动继电器 K_1 动作,经 K_2 发出信号。

鉴幅器主要是对直流或脉冲信号的幅值进行鉴别。对交流信号鉴幅时,一般须先进行检波处理,然后鉴幅。鉴幅器由电压比较环节和开关电路两部分组成,而往往这两部分同在一个电路中。鉴幅器提供一基准电压,此基准电压应基本不受电源电压或环境温度的波动影响,由此基准电压和相关部分组成了鉴幅器的阈值电压。保护电器动作时的阈值电压叫做“动作”电压 U_d ,释放(复位)时的阈值电压叫做“释放”电压 U_f 。

鉴幅器有两种形式:一种是无回差鉴幅器,阈值电压 U_d 等于释放(复位)电压 U_f ,即 $U_d = U_f$;另一种是有回差鉴幅器,即 $U_d \neq U_f$ 。常见的无回差鉴幅器有正反馈比较器、负反馈放大器等。有回差鉴幅器如施密特触发器、正反馈放大器等。

1) 无回差鉴幅器

无回差鉴幅器的 U_d 和 U_f 为同一值。鉴幅器的基准电压通常是利用电源电压经电阻分压或电阻—稳压管分压后取得,这两种方式提供的阈值电压对电源电压和环境温度波动的反应不同。

(1) 晶体管式鉴幅器。晶体管式鉴幅器主要为串联比较式,也就是信号电压与基准电压在回路中为反向串联关系,见图 3-24 和图 3-25。

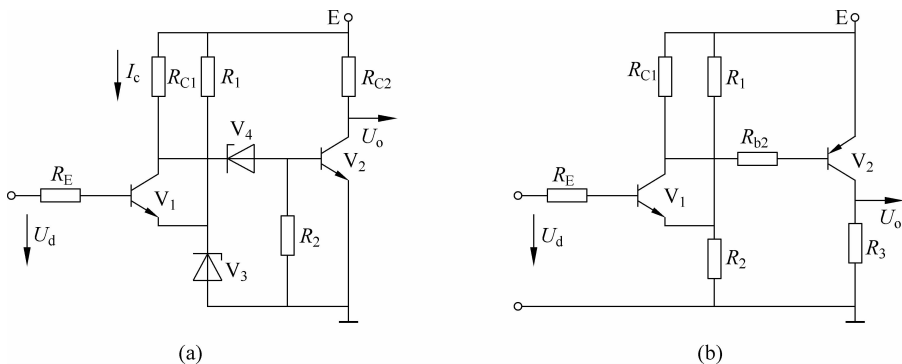


图 3-24 串联式比较电路

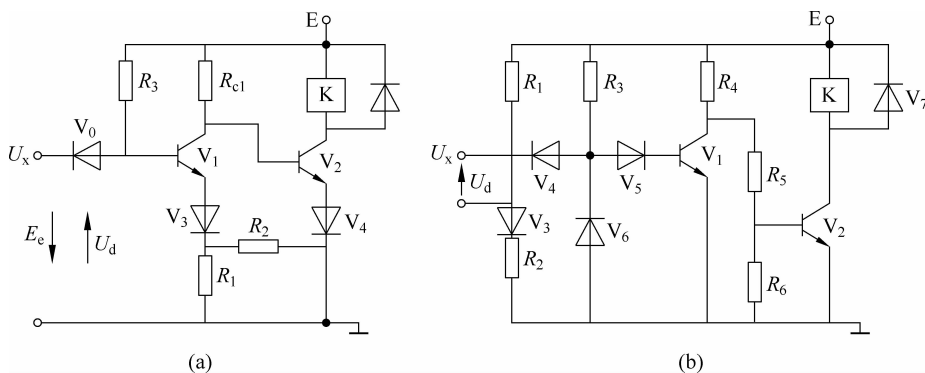


图 3-25 另一种串联式比较电路

在图 3-24(a)中,稳压二极管 V_3 对晶体管 V_1 的 U_{be1} 的负温度系数具有一定的温度补偿作用。由于稳压管的动态电阻很小,故 V_3 基本无负反馈作用。

当外部输入信号的电压幅值 U_x 小于鉴幅器的阈值电压 U_d 时,晶体管 V_1 截止,其输出电压 $U_{o1} = U_{c1}$,使稳压二极管 V_4 击穿,晶体管 V_2 导通,此时 $U_{o2} = U_{ce2}$ 。

当外部输入信号的电压幅值 U_x 大于鉴幅器的阈值电压 U_d 时,晶体管 V_1 由截止变导通,输出电压 $U_{o1} = U_{V3} + U_{ce1}$ 使 $U_{o1} < U_{V4} + U_{be2}$ 晶体管 V_2 由导通变为截止,此时 $U_{o2} = U_{c2}$ 。

为了减小图 3-24(b)所示电路阈值电压 U_d 受温度的波动影响,其阈值电压 U_d 一般设置在 3V 以上。该电路由于 R_2 的负反馈作用,输出开关性能差,在其后仍需设置较高增益的放大器或开关电路。

图 3-25 也为串联比较式电路,但它同图 3-24 中阈值电压和信号电压的比较结果相反,即 $U_d > U_x$ 时,晶体管截止;当 $U_d < U_x$ 时,晶体管饱和导通。

图 3-25(a)中的阈值电压 U_d 和信号电压 U_x 皆有接地点,而图 3-25(b)中的阈值电压 U_d 无接地点。

当 $U_x < U_d$ 时,晶体管 V_1 导通, V_2 截止,继电器线圈 K 中无电流流过;当 $U_x > U_d$ 时,晶体管 V_1 截止, V_2 导通,继电器线圈有电流流过,继电器吸合。

图 3-25(b)中二极管 V_5 和 V_6 起保护作用,是为了限制晶体管 V_1 的基射结承受过高的反向电压, V_6 的反向漏电流的温度特性对 V_1 兼有温度补偿作用。

(2) 电压比较器式鉴幅器。电压比较器即用运算放大器构成,它是通过正、反相输入端输入电压的比较,使输出状态发生改变,由于电压比较器的输入电阻大、所需信号源的电流小,且它的电压比较环节在其输入端,阈值根据需要可调,所以它是一个极佳的鉴幅器。图 3-26 所示为 LM339 电压比较器等效电路,从图中可知,输入比较环节为差动式比较器,当同相端输入电压大于反相端输入电压时,输出管处于截止状态;反之,输出管处于导通状态。值得注意的是电压比较器输出要带负载;否则将无比较电压输出。

图 3-27 所示为电压比较器式无回差鉴幅器。

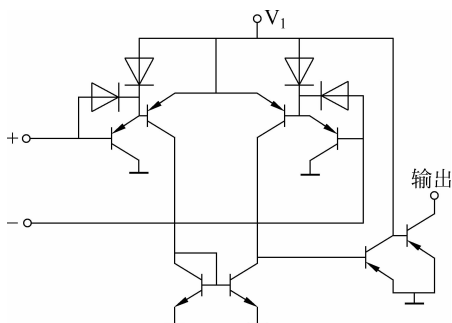


图 3-26 LM339 电压比较器等效电路

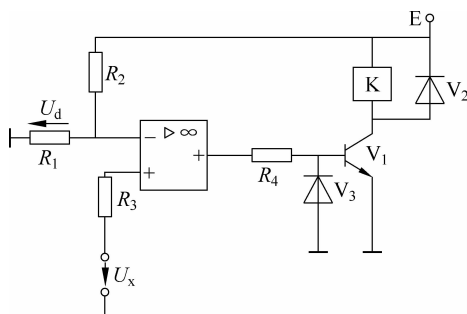


图 3-27 电压比较器式无回差鉴幅器

此电路的阈值电压 U_d 是电源电压在 R_1 上的分压,阈值电压 $U_d = \frac{ER_1}{R_1 + R_2}$,它接至比较器的反相输入端。信号电压 U_x 通过限流电阻接至比较器的同相输入端。由于电压比较器有很高的电压放大倍数,只要 U_d 和 U_x 之差稍有变化,则输出端的电压立即跃变。

当 $U_x < U_d$ 时比较器输出端输出低电平,晶体管 V_1 截止;当 U_x 稍大于 U_d 时,比较器输出端输出高电平,晶体管 V_1 由截止变为饱和和导通,继电器 K 吸合。

2) 有回差鉴幅器

有回差鉴幅器具有下列优点:

① 具有回差鉴幅器的保护电器在动作值附近有一滞区,以便恢复保护系统的工作更为稳定和更为可靠。这类似于一些调节精度较低的开关量调节系统中,要求调节电器有一定的回差,以免使主回路中的大容量开关操作过于频繁。

② 交流信号电压经检波器检波后仍有一定的脉动,但是有回差鉴幅器仍可以使保护电器在动作值附近有稳定的工作状态。

③ 回差鉴幅器有利于上、下限控制中具有宽广的调节范围。

④ 回差鉴幅器可使放大倍数较小的开关电路也能获得良好的开关特性。

有回差鉴幅器中 $U_d \neq U_f$,所以给直流放大器以适量深度的正反馈即成为具有一定阈值

电压和释放电压的有回差鉴幅器。但反馈不应过深,以免使电路成为具有记忆功能而不自动复位的双稳态触发器。在实际工程中,常用的回差鉴幅器有施密特触发器式鉴幅器、电压比较器式鉴幅器、逻辑门电路式鉴幅器,现分别介绍如下。

(1) 施密特触发器式鉴幅器。施密特触发器是一种典型并且应用广泛的有回差鉴幅器,又称射极耦合触发器。它是电流正反馈式电路,如图 3-28(a)所示。此电路的阈值电压 U_d 主要是集电极电流在射极电阻 R_e 上的压降。阈值电压 U_d 和释放电压 U_f 的计算在原则上允许有一定的偏差,但偏差不宜过大,且阈值电压的偏差值取上限,释放电压的偏差值取下限,这样保护电器才能稳定、可靠地工作。

电路中的阈值电压 U_d 和释放电压 U_f 及输出电压 U_o 关系如图 3-28(b)所示。可以证明,当增大射极电阻 R_e 后, U_d 及 U_f 均提高,但 U_d 提高的幅度较大,因此回差增大。当减小集电极电阻 R_{c1} ,则 U_d 、 U_f 均同样增大,所以回差不变。如果增大 R_{c2} ,可以减小 U_d ,而 U_f 不变,因此回差减小。

图 3-28(a)所示的电路在常态下, V_1 截止, V_2 导通。当信号电压 U_x 达到阈值电压 U_d 时,电路翻转为 V_1 导通, V_2 截止。电路翻转以后只有很小的输入电阻,如果信号源内阻很小,可在 V_1 基极上接入限流电阻 R_g 。

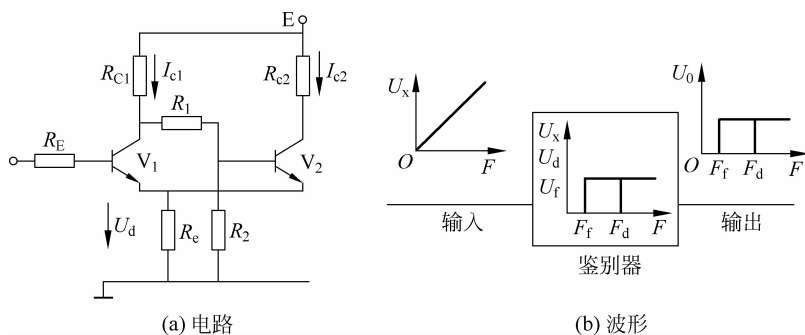


图 3-28 施密特触发器及其回差示意图

(2) 电压比较器式鉴幅器。电压比较器式有回差鉴幅器如图 3-29 所示。电路由输出端引出正反馈电压至同相输入端;被鉴信号电压则加至反相输入端。

当信号电压达到鉴幅器的阈值电压时,鉴幅器输出低电平;当信号电压降至鉴幅器的释放电压时,鉴幅器输出高电平。

(3) 逻辑门电路式鉴幅器。图 3-30 所示电路是由两个 CMOS 与非门构成的有回差鉴幅器,当图中输入端(A 端)电位由零电位上升至使 D_1 输入端(B 端)电位上升到转折电压 U_x 附近时, D_1 的输出端(C 端)下降至 U_x 附近; D_2 的输出端(L 端)电位开始上升,经两级反相器的正反馈作用使电路迅速翻转为“1”,电路输出端电压 U_o 接近电源电压 U_{cc} ,此时的 A 端电位就是电路的阈值电压 U_d 。

在翻转前的一瞬间电路有下述关系,即

$$\frac{U_d - 0}{R_1 + R_2} R_2 = U_x \quad (3-22)$$

当 A 端电位由高电位下降至释放电压 U_f 时, B 端电位随之降低到它的 U_x 附近, C 端电位上升至 U_x 附近,于是电路翻回为“0”。在翻回前的一瞬间,电路有下列关系,即

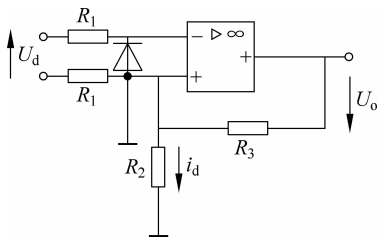


图 3-29 电压比较器式有回差鉴幅器

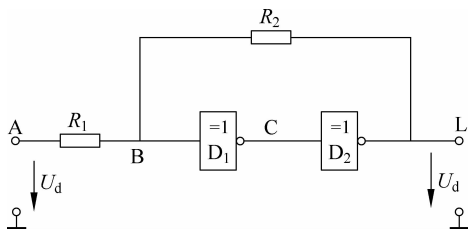


图 3-30 CMOS 与非门组成的有回差鉴幅器

$$U_{cc} - \frac{U_{ce} - U_f}{R_1 + R_2} R_2 = U_x \quad (3-23)$$

令 $K = R_2 / (R_1 + R_2)$, 则式(3-22)、式(3-23)可改写为

$$kU_d = U_x \quad (3-24)$$

$$U_{cc} - (U_{cc} - U_f)k = U_x \quad (3-25)$$

利用式(3-25), 给出 U_d 、 U_f 、 k 中的任意两个量后便可解出第三个量。

分压比 k 越大, 回差 $U_d - U_f$ 越小, 但开关特性越差。因此 R_1 、 R_2 的选择还应满足电路所需的反馈深度。

3. 时限电路

时限电路(见图 3-22 中时限电路部分)由时间整定电位器 R_{P2} 、电容 C_4 、晶体管 V_3 及稳压管 V_w 等元件构成。为满足长延时(120s)的需要, 在 V_3 的射极加一稳压管 V_w , 并选用较大的电阻($R_{P1} + R_{P2} + R_9$)和电容 C_4 以延长动作时间。由于供给 V_3 的基流较小, 不能直接驱动继电器 K_1 , 因此在 V_3 之后增加两级反相器 V_4 、 V_5 , 并且开关特性也得到了改善。

4. 短路保护

短路保护环节(见图 3-22 中鉴幅器部分)所用的鉴幅器由 R_{K1} 、 R_{K2} 组成的分压比较器和稳压管 V_w 、 V_K 与二极管 V_9 以及晶体管 V_3 构成, 其阈值电压为

$$U_{dK} = U_{VK} + U_{V9} + U_{be3} + U_{vw} \quad (3-26)$$

当电动机正常或过载运行时, 因分压值 U_{BX} 小于阈值电压 U_{dK} , 短路保护环节无反应。当电动机出现短路故障时, 电流超过短路环节的整定值, 使 $U_{BX} \geq U_{dK}$, 继电器 K_1 瞬时发生跳闸信号。

3.4.2 半导体式过电压保护器

半导体式过电压保护器的类型及品种很多, 限于篇幅, 这里只介绍基本型的过电压保护器和组合式过电压保护器。

1. 基本型过电压保护器

基本型过电压保护器是一种简单的半导体式过电压保护器, 其电路如图 3-31 所示, 它

可用于电视机等家用电器中,以避免因交流电源波动而使电器长期工作于过高电压下招致的损坏。它采用运算放大器 $\mu A741$ (IC1) 作为检测电源过压的比较器,交流电压经整流滤波后提供给比较器的两个输入端,其中反相端 2 通过 R_3 和齐纳二极管 V_{Z1} 取得稳定的 5.1V 电压作为比较基准电压,而波动电压通过 R_{P1} 调整后送至同相输入端 3,它对交流电源电压的过压情况随时进行跟踪检测。 R_{P1} 调整在交流电压为 240V 时,IC1 的 3 脚刚好低于 5.1V,这时输出脚 6 为零,三极管 V_1 截止,三极管 V_2 导通,继电器 KA 吸引线圈通电使其电磁铁吸合,交流负载通过 KA 触点 N/0 获得 220V 工作电压。

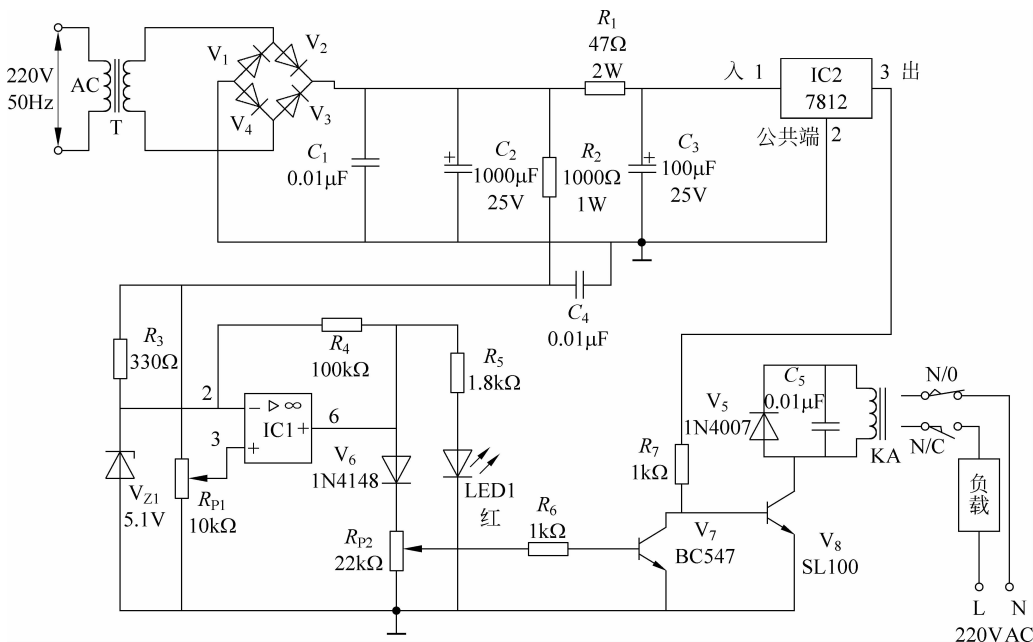


图 3-31 基本型过电压保护器

一旦交流电源过压超过 240V 时,IC1 的 3 脚电压就高于 5.1V,输出端 6 变高,红色指示灯 LED1 发光,同时 V_1 导通, V_2 截止,继电器 KA 释放,负载电源被切断。

电位器 R_{P2} 用来对 V_1 进行偏置调整,交流电网电压经降压变压器 T 后变成 7.5V/1A 交流电压,再经整流滤波后,用集成稳压块芯片 7812 稳压成 12V 电压,输出供给 V_1 、 V_2 和 KA 等器件使用。

2. 组合型过电压保护器

电力系统中过电压对电力设备的破坏主要来自雷电侵入的过电压,对这类过电压的防护措施多采用碳化硅避雷器或氧化锌避雷器。相对而言,氧化锌避雷器具有动作快、伏安特性平坦、残压低、性能稳定等优点,已为人们所青睐。

随着真空开关的广泛应用,防止过电压的危害已经越来越受到人们的重视,过电压主要表现为相间过电压,而传统的避雷器是按照防止雷电过电压即相对地过电压而设计的,对过电压基本上没有有效的防护作用,为了避免相间过电压对设备的破坏,提高保护的有效性,组合式过电压保护器应运而生。

相对于单柱式的碳化硅避雷器和氧化锌避雷器,组合式过电压保护器一般采用三相四柱式结构,由4个保护单元两两组合而成6只避雷器,分别保护三相对地过电压和相间过电压,大大提高了保护的有效性和全面性。其内部结构虽然多种多样,但按照工作原理可以划分为以下3种:无间隙结构、串间隙结构、分级保护结构。虽然在近几年的发展过程中,组合式过电压保护器不断地得到完善,每种结构投运也不少,但总体说来其制造与运行两方面的经验尚显不足,对设备的保护性能与自身的安全性能往往不能实现较好的统一,产品质量良莠不齐。为了提高供电的可靠性、电网运行以及用电设备的安全性,了解过电压保护器的研制与发展状况,并对其性能作一全面的对比,就显得尤为重要。

1) 无间隙组合式过电压保护器

无间隙组合式过电压保护器结构如图3-32所示,每个保护单元由氧化锌电阻组成,直接与三相电源连接。如此设计,氧化锌(ZnO)阀片良好的非线性可以得到充分发挥,在过电压未达到单位毫安电压(也叫转折点电压,参见图3-33) U_{1mA} 之前,氧化锌电阻呈高阻状态,它的电容性及阻尼性可以缓和过电压的波头陡度并减缓振荡频率;当过电压超过 U_{1mA} 时,氧化锌电阻呈低阻状态,利用其非线性对系统过电压实现限制,其非线性伏安特性如图3-33所示。

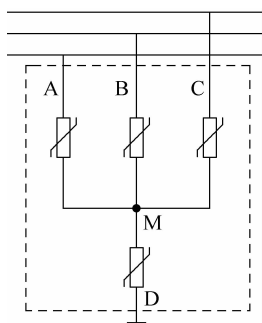


图 3-32 无间隙组合式过电压保护器的电路基本结构

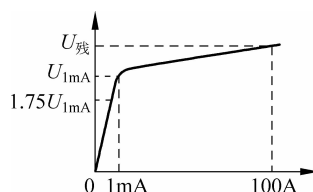


图 3-33 氧化锌的伏安特性曲线

这种过电压保护器的主要缺点是：在氧化锌阀片尺寸固定的情况下，用来表征 ZnO 阀片保护性能的主要参数残压比 $K_1 = U_{残}/U_{1mA}$ 是固定的。目前避雷器所使用的氧化锌阀片残压比一般为 1.3 左右，在保护弱绝缘设备（如电动机）时，其残压值 $U_{残}$ 的设计受到限制。为了扩大保护裕度，必须降低标称电流下的残压值和操作电流下的残压值，在残压比为定值的前提下，同时也降低了氧化锌阀片的 U_{1mA} 。表征氧化锌阀片的寿命指标荷电率 K_2 ($K_2 = U_e/U_{1mA}$)，在系统电压 U_e 不变的情况下， U_{1mA} 降低，荷电率必然增大，使避雷器产生不必要的频繁动作，泄漏电流增大，影响避雷器的使用寿命，使保护的可靠性降低。

参考 IEC 标准，当荷电率小于 0.75 时，氧化锌阀片可以长期、安全地运行。依照此标准，可以计算出上述无间隙组合式过电压保护器氧化锌残压的最低设计值。

以 6kV 系统为例，这种无间隙组合式结构对电压的承受是由 4 个单元两两组合承担的，因此在正常工况下，三相电源对称，图 3-32 中 M 点为零电位，施加在每相单元氧化锌阀片上的电压峰值约为 5.6kV。

由 $K_2 = U_e / U_{1mA}$ 得

$U_{1mA} = 7.5\text{kV}$, 由 $K_1 = U_{残} / U_{1mA}$ 得 $U_{残} = 10.5\text{kV}$, 所以相间电压

$$U_{相间} = 2 \times 10.5 = 21\text{kV}$$

所以,在保证过电压保护器能够长期安全运行的前提下,无间隙组合式过电压保护器可以将相间过电压最低限制到 21kV ,此值即为这种结构形式过电压保护器的安全下限。如果进一步降低氧化锌电阻的操作冲击残压 $U_{残}$,则难以保证保护器的自身安全。按照国标规定, 6kV 变压器的绝缘耐受能力为 25.6kV ,而 6kV 电动机的绝缘耐受能力一般为 15.9kV ,同保护器的安全下限 21kV 比较可知,这种无间隙结构的过电压保护器能够对变压器进行可靠的过电压保护,而对电动机的过电压保护作用比较勉强。

2) 串间隙组合式过电压保护器

串间隙组合式过电压保护器有四间隙和三间隙两种基本结构,如图 3-34 所示。引入放电间隙的主要目的是为了在正常工况下,通过间隙来隔离电网电压,降低避雷器中氧化锌阀片的荷电率,从而降低过电压保护器动作值。因为在电网正常运行时, M 点的电位基本为零,所以,在接地相中串联放电间隙完全没有必要,反而会增加系统的接地杂散电容,同时增加了放电的分散度,使工频电压分布不均匀,造成试验和安装上的难度。所以,这里仅以三间隙结构为例对其性能进行分析。

放电间隙分为绝缘间隙和电阻间隙两种。对于绝缘间隙,在过电压保护器不动作时,工作电压与氧化锌电阻完全隔离开来,为了起到保护氧化锌电阻的目的,其冲击放电电压值必须高于氧化锌的转折点电压值 U_{1mA} 。在间隙放电之前,氧化锌电阻良好的非线性特性无法发挥,起不到缓和过电压波头陡度和降低振荡频率的作用,当过电压波头陡度太大时,将会使设备的匝间绝缘击穿。另外,其保护水平是由冲击放电电压和氧化锌残压共同确定的,由于间隙的截断比和分散度较大,二者之间的配合有一定的难度,冲击放电电压高,则保护裕度小,危及设备安全;冲击放电电压低,则起不到保护氧化锌的目的。再者,随着放电次数的增加,绝缘间隙的阻值必然下降,形成和氧化锌电阻的分压,导致冲击放电值上升幅度很大,有时可以达到 30% ,因此,经过数次放电后,其保护值会有较大幅度的上升,使保护裕度减小,起不到保护设备的作用。

为了解决绝缘间隙的某些问题,有些保护器采用电阻间隙,每相的等效电路如图 3-35 所示,间隙电阻一般为 $6 \sim 15\text{M}\Omega$,如此设计,克服了绝缘间隙在放电时的一些缺点。但是,在持续运行工况下,氧化锌呈高阻状态,阻值在 $10000\text{M}\Omega$ 左右,所以工作电压基本全部施加在氧化锌电阻上,串电阻间隙起不到隔离电网电压的作用,串电阻间隙毫无意义。

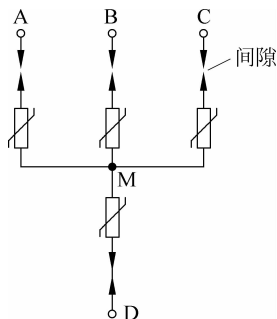


图 3-34 串间隙组合式过电压保护器

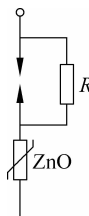


图 3-35 氧化锌串电阻间隙等效电路

综上所述,引入放电间隙来提高避雷器的过电压保护性能,难以实现被保护设备的可靠性与保护器自身安全性的和谐统一,如果引用间隙处理不当,相反会带来许多保护器自身的安全问题,因此,在这种保护器中,务必严谨地引用放电间隙。

3) 分级保护组合式过电压保护器

分级保护组合式过电压保护器单相原理电路如图 3-36 所示,每个保护单元的氧化锌电阻由两级组成,第 2 级为氧化锌电阻与放电电极 XG 的组合。

在正常工况下以及过电压没有超过被保护设备绝缘耐受能力时,系统电压由两部分共同承担,其荷电率 $K_2 = U_c / (U'_{1mA} + U''_{1mA})$,通过调整第 2 级的 U''_{1mA} ,可以使荷电率满足氧化锌电阻的要求,保证氧化锌电阻长期、安全地运行。同时,在这个保护阶段保护器保留了无间隙结构的优点。当过电压超过 $(U'_{1mA} + U''_{1mA})$ 到一定值时,放电电极 XG 放电,将第 2 级氧化锌电阻短接,标称放电电流下的残压值 $U_{残}$ 仅为第 1 级的残压,残压比 $K_2 = U_{残} / (U'_{1mA} + U''_{1mA})$,可以在不改变氧化锌自身性能的情况下,大大降低其残压比。通过调整第 1 级的 U'_{1mA} ,可以实现保护水平与设备绝缘耐受能力的配合,满足对弱绝缘设备(如电动机)的保护。由于放电电极 XG 的功放值远低于氧化锌的残压 $U_{残}$,其保护水平仍然相当于无间隙结构,电极的分散性不会对保护水平构成影响。

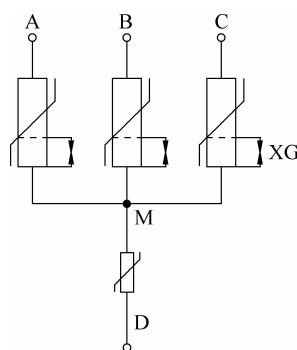


图 3-36 分级保护组合式过电压保护器

这种结构将过电压分级保护,使两级保护都保留了无间隙结构的优点,可以充分发挥氧化锌电阻良好的非线性伏安特性。组合式结构,可以实现对设备保护的全面性和有效性;分级保护,使保护变得更加可靠与稳定;而两级氧化锌电阻的 U_{1mA} 叠加,保证了这种组合式过电压保护器自身的安全性。

综上所述可见,单柱式的碳化硅避雷器和氧化锌避雷器主要针对雷电产生的相对地过电压而设计,对相间过电压基本起不到防护作用。组合式保护器的全面性大大提高,必将成为一种新的发展方向。无间隙组合式过电压保护器在保护变压器等强绝缘设备时,具有一定的优势,而对电动机等弱绝缘设备,保护作用比较勉强。串间隙组合式保护器虽然在保护弱绝缘设备时能够解决氧化锌的荷电率问题,但是存在着与氧化锌难以配合以及自身截断比、分散度大等问题,使保护的可靠性与稳定性大大下降。分级保护的组合式保护器保留了无间隙结构的优点,同时,降低了氧化锌的残压比,提高了保护裕度,能够实现保护的有效性、全面性、可靠性与安全性的统一。

3.4.3 半导体式欠电压保护器

半导体式欠电压保护器的品种很多,反馈式欠电压保护器和自复式全电压保护器是两种典型的半导体式欠电压保护器,下面分别介绍它们的组成原理及主要特性。

1. 反馈式欠电压保护器

在电动机驱动、UPS 等系统中电压的稳定尤为重要,因此欠电压保护设施同过电压保

护设施一样,同等重要,必不可少。

“反馈式”欠电压保护是指当用电器(即负载)的电源电压低于其额定电压(即欠电压)时,这种欠电压保护器的相应环节立即生成欠电压正反馈信号,作用到相关器件,切断用电器的电源,从而使用电器得以保护。图 3-37 所示电路是基于 CMOS 工艺的集成块反馈式欠电压保护器,共由五部分组成:偏置电路、基准电压电路、欠电压检测电路、比较器电路和反馈电路。

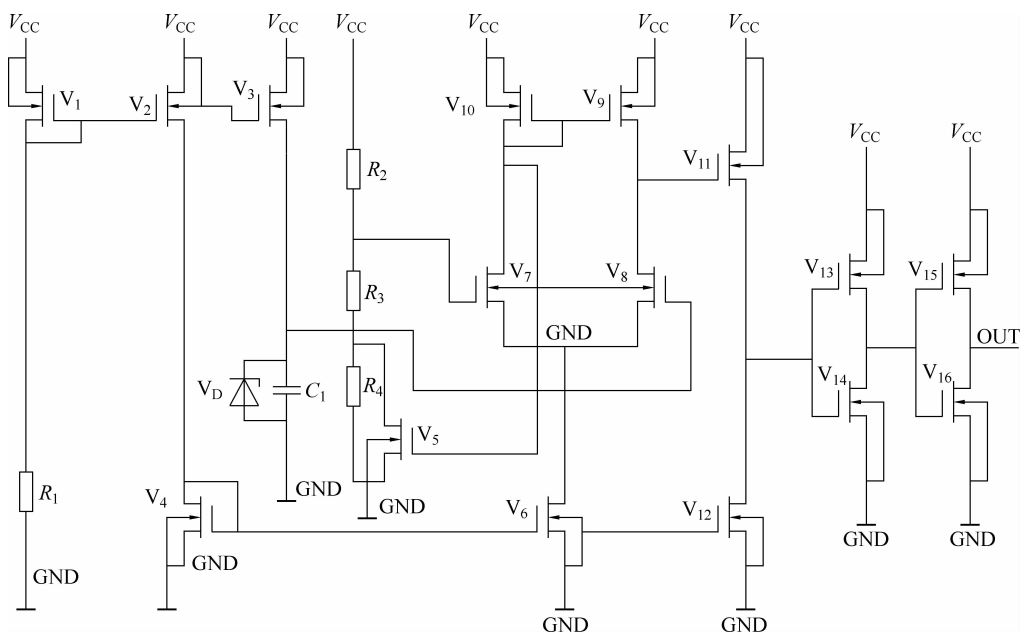


图 3-37 反馈式欠电压保护器原理电路

该电路的电源电压是 15V, V_1 、 V_2 、 V_4 、 R_1 是电路的偏置部分, 给后级电路提供偏置, 电阻 R_1 决定了电路的静态工作点, V_1 、 V_2 、 V_4 构成镜像电流源; V_3 、 V_D 产生基准电压, 提供给比较器的同相端; 分压电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 构成欠压检测采样电路, 并将欠压采样信号输入到比较器的反相端; R_4 和 V_5 构成欠压信号的反馈电路; 其余 $V_6 \sim V_{16}$ 组成四级放大比较器。 V_3 、 V_D 产生 11V 基准电压, 输入比较器的同相端, 当电源电压正常时, 欠电压检测采样电路输给比较器反相端的电压大于 11V, 比较器输出低电平, V_5 截止, 反馈电路不起作用; 当欠电压工况发生时, 分压电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 构成的检测采样电路将欠压信号输送给比较器反相端 (即比较器反相端电压小于 11V), 因此比较器的输出电压为高电平, 此信号将 V_5 开启, 使得 R_4 两端的电压, 即 V_5 的饱和电压趋近于零, 从而进一步拉低了 R_2 、 R_3 分压后的输出电压, 形成了欠压正反馈。因此保护器最后一级输出为高电平, 欠电压锁定, 即保护器的 OUT 端所接继电器吸动, 其相关触点动作, 直接或者通过接触器的触点将用电器电源切断实现了欠压保护功用。

2. 自复式全自动欠电压保护器

(1) 国内目前采用的保护技术的缺陷。在低压交流 220/380V 三相四线的配电线路中, 220V 单相电源是由相线与中性线所提供的。由于中性线的断线、线阻过大、三相负

载严重不平衡、错相或高次谐波等原因,都会造成单相线路的电压高于正常值(过电压)或低于正常值(欠电压)。过电压导致单相用电设备烧毁甚至引起火灾,欠电压也使单相运转设备损坏。国家标准也写入了中性线断线故障引起的单相线路过电压、欠电压保护。

国内目前采用的保护技术,多数是在单相用户线路入口处设置断路器,当线路过电压或欠电压时切断电路,而当电压恢复正常时需手动使断路器复位。众所周知,由低压配电系统的中性线故障引起的单相线路的过电压或欠电压现象,何时发生又何时排除,用户是不可预知的,若采用手动复位可能把危险电压送入用户线路,从而导致用户用电设备损坏等一系列的问题,因此在此故障中,手动复位是一种很不科学的方法。

(2) 保护器的关键技术。自复式全自动过电压、欠电压保护器,安装在单相用户线路的入口处,当线路发生过电压或欠电压时自动切断电路,当线路电压恢复额定范围时自动接通电路。在无人干涉的条件下,既保护在线路故障电压下用电设备的安全,又保证用电设备的正常运行。该保护器主要由检测电路、稳压电路、单片机控制电路和继电器等组成,有以下四部分关键技术。

① 由于保护器长期安装在单相线路中,连续带电工作,这必然给单相配电线路带来了新的安全隐患。此处隐患主要指接点隐患、保护器内置电路热量隐患和承受暂态过电压能力的隐患。为了使安全隐患降到最低程度,一是要求继电器触头具有很好的导电性、导热性、耐电弧和抗熔焊等特点,使其接触电阻尽可能小,能够承受各种过载电流和暂态短路电流的能力;二是继电器触点接触压力应在单相线路额定电压的 $20\% \sim 200\%$ 范围内保持不变,以便保持线路接头接触电阻的稳定性;三是要求保护器内置电路消耗功率不大于 1W ,以确保保护器的温升在容许的范围内;四是要求保护器内置的电路应具有承受 4kV 以上的冲击电压,以防止由于雷电或感应放电而引起的暂态过电压危害;五是继电器触点在分断线路时,具有少飞弧或零飞弧的功能,以增加触点的寿命。

② 因为在中性线断线或错相时有可能产生的单相线路故障电压的最大值为 420V ,最小值为 50V 左右,继电器触点接触压力在线路故障电压下需要保持恒定。所以就要求保护器在单相线路电压 $50 \sim 420\text{V}$ 范围内可以正常工作;否则保护区域留有死区。

③ 故障电压的检测和触点故障的检测直接取自一次线路,避免了由一次电压转换成二次电压由传感器转换系数带来的影响,同时也避免了由于传感器故障而使过电压、欠电压保护器不能正常工作,消除了中间环节带来的隐患。

④ 当触点分断线路时具有少飞弧或零飞弧的功能。当触点出现故障时也具有自动报警的功能。

(3) 工作原理分析。保护器的结构如图 3-38 所示。单相线路电压是通过抗冲击电路提供给内部电路的,从而使内部电路承受 4kV 以上的冲击电压。电压检测信号和故障触点检测信号均取自于一次线路的电压,供给单片机处理。保护器的软件流程如图 3-39 所示。当启动或线路断电后又突然来电时,系统会延时 5min 接通线路。当线路电压在正常区域时,继电器触点接通线路并进行状态显示。当线路电压在故障电压区域时,继电器触点切断线路并进行状态显示。当触点接点发生故障时,报警器报警并进行状态显示。由于降压稳压电路采用了特殊的设计方法,保护器的工作电压在 $50 \sim 450\text{V}$ 的区域内达到了控制功率不小于 8kW 和消耗功率不大于 1W 的技术要求。

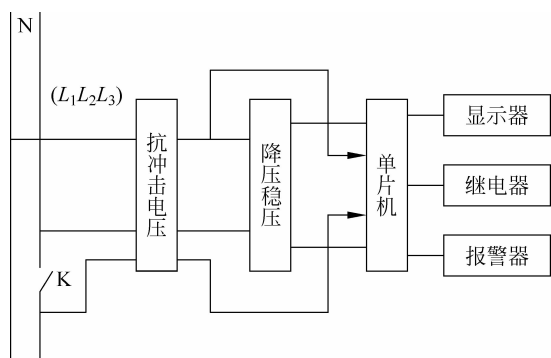


图 3-38 保护器的结构框图

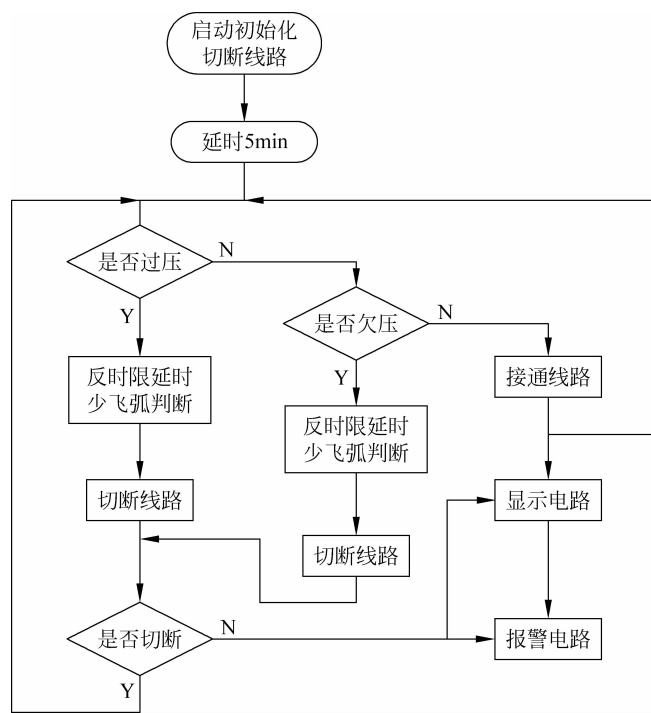


图 3-39 保护器的软件流程

3.4.4 半导体式超温保护器

过高的温升会影响电动机寿命。按电流大小变化原则，保护电动机免受高温破坏或过早老化，是一种间接的保护方法。引起电动机绕组温升的因素除电流外，还有其他因素，因此最好是将温度传感器埋入电动机绕组，直接检测绕组温度来进行保护。热电偶曾被用作这种温度检测的传感器，但其变化的灵敏度太低，有明显居里点的巨变型（开关型）。PTC 热敏电阻，在其居里点附近有极高的温度系数，PTC 热敏电阻埋入电动机绕组可用来保护电动机绕组由于任何原因引起的过热，诸如电动机过载、断相、散热不良和机械故障等原因

引起的过热。由于电动机绕组的最高允许温度不同,为了对电动机进行有效的热保护,应当根据其绝缘等级来选择超温保护器的动作温度,用 PTC 作为热敏元件构成的超温保护器一般都要求工作在热敏元件居里点以上不远的地方,这使得超温保护器动作值的可调范围很窄。超温保护器的本体(电子电器)是通用的,热敏元器件则要根据动作温度的不同加以选配。PTC 热敏电阻的电阻—温度特性(R - T 特性)如图 3-40 所示,图中 T_r 为居里温度, T_d 为动作温度。

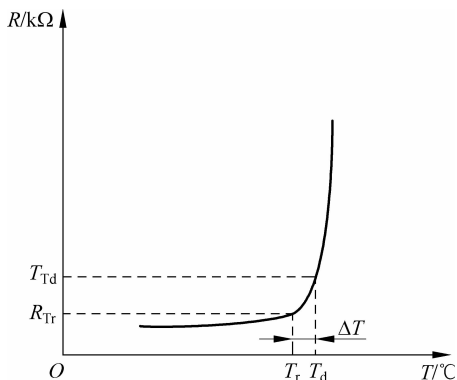


图 3-40 热敏电阻的电阻温度特性

一个热敏元件只能检测一相绕组的温度,因此一台三相电动机至少需要 3 个热敏元件。每相绕组各部分温升不会完全相同。热敏元件应埋在温升最高的绕组端部,当发生匝间、相间短路或接地故障时,绕组各处的温差很大,如果埋设的热敏元件并非处于过热部位,则保护就会失败,因此对于大、中型电动机和某些特种电动机,可在每相绕组的几个地方埋设热敏元件,具有热敏电阻的超温保护器电路如图 3-41 所示。

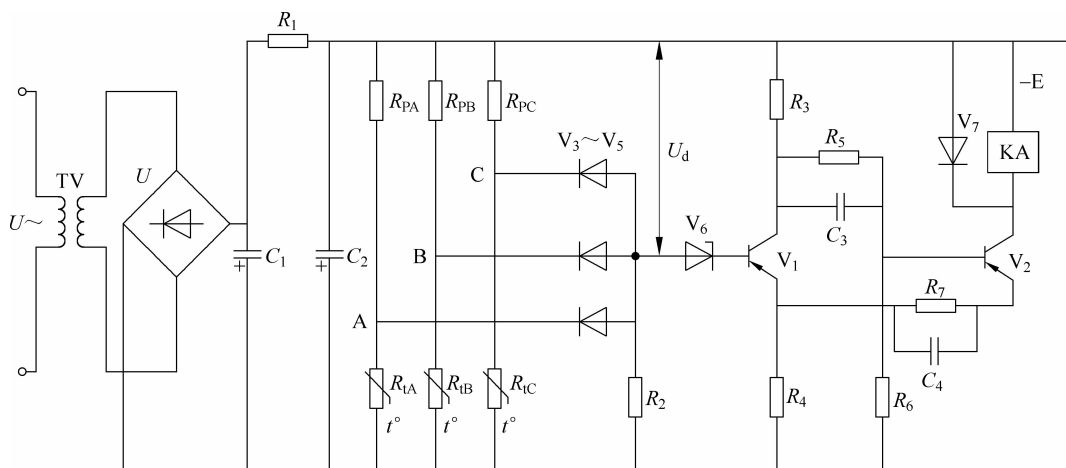


图 3-41 超温保护器电路

每相热敏电阻 $R_{tA}/R_{tB}/R_{tC}$ 各与一固定电阻 $R_{pA}/R_{pB}/R_{pC}$ 串联以进行分压,三相热敏电阻组成并联式检测电路,当 R_T 阻值随温度变化时,分压比改变,从 R_t 上取得的温度信号电压,即各相输出的温度信号电压经二极管或门(即 $V_3 \sim V_5$ 和 R_2 组成的或门)送至一个公共的鉴幅器(V_6)。当各相的分压电阻 R_p 值相等,只要 3 个热敏电阻的特性和参数相同,各相就能在相同的温度下工作。图中,鉴幅器的下级电路是直接驱动继电器 KA 的射极耦合触发器,随着电动机绕组温度的升高,热敏电阻 R_t 阻值增大, R_t 上的分压提高,该点 A(B 或 C)的电位 U_x 下降。当检测电路输出的温度信号电压 U_x 在数值上低于鉴幅器的阈值电压 U_d 时,二极管或门($V_3 \sim V_5$)导通,稳压管 V_6 被击穿,射极耦合触发器翻转为 V_1 导通, V_2 截止,于是 KA 释放,发出温变控制信号。一般说来,在热敏电阻的功耗不大于允许值的条件下,

提高鉴幅器的阈值电压 U_d , 可以提高电路的变换灵敏度。图 3-41 中, U_d 主要取决于触发器的射极电位, 因此 U_d 的选择还要受后级触发器的限制, 在电源 E 一定的情况下, 如果过多地抬高射极电位, 则继电器线圈将得不到所需的电压。 U_d 一般选择在 $3\sim 4V$ 之间。

3.4.5 半导体式漏电保护器

电器控制系统中的电气设备往往因为绝缘劣化变质而漏电, 如果漏电状态延续可能导致故障的扩大从而酿成重大事故。因此漏电保护一直为人们所重视, 有关漏电保护问题一直在研究试验中, 并且研制出了多种漏电保护器。在第 2 章中介绍了许多有触点漏电保护器, 本节主要介绍常用的无触点(即半导体式)漏电保护器。

漏电保护电器主要用于防止人身触电, 也可同过载、短路保护器组装在一起成为一种多用途的组合保护器。

漏电保护器主要由感测环节、中间环节、执行环节和检试环节四大部分组成。感测环节的主要作用是将漏电故障信号检测出, 并送至中间环节; 中间环节主要起比较和放大作用, 一般由放大器和比较器组成, 它将漏电信号放大, 通常是信号变换、放大、鉴别电路的组合; 执行环节大都采用接触器和低压断路器。检试环节由检试按钮和电阻组成, 常在漏电保护器投入运行前, 按下检试按钮, 人为地产生一模拟故障信号, 送入感测环节和执行环节中, 检验漏电保护器能否正常动作, 机构是否灵敏可靠。

根据感测故障信号的取样方式, 漏电保护器分为电压型和电流型两种。电压型漏电保护器是通过零序电压互感器或电抗器, 将漏电所引起的三相零序电压(中点电压)检测出, 把故障电路切除; 而电流型漏电保护器, 是通过零序电流互感器, 将漏电信号电流检测出, 经放大后切除故障电路。

20 世纪 70 年代以来, 国外研制漏电保护器的重点由保护设备的安全(漏电)转移到以保护人身安全(触电)为主的方面上来, 因此电流型漏电保护器便应运而生, 得到迅速发展, 况且电压型漏电保护器辅助接地困难, 性能不够稳定, 因此当前漏电保护器类型呈现电压型将逐渐被电流型取代的趋势。下面分别介绍电压型漏电保护器和电流型漏电保护器。

1. 电压型漏电保护器

对于中性点接地系统, 为了将漏电保护器的感测元件接入, 一般要将中性点直接接地系统改为间接接地系统, 于是就改变了低压系统的运行方式, 使电压型漏电保护器的工作不稳定。因此中性点接地系统不宜采用电压型漏电保护器。对于中性点不接地系统, 漏电流无明显通路, 不便检测, 必须采用零序电压互感器或电抗器组成辅助中点(人为中点), 才能检测出中点电压信号, 图 3-42 所示电路为用于不接地系统中所用的电压型漏电保护器。

1) 组成环节

单相变压器 T 的二次侧有 3 个绕组, 一个为 $6.3V$, 供信号灯回路; 其余两个为 $22V$, 经整流后分别供感测回路及控制回路。

(1) 感测环节。感测环节主要由电抗器 $3L$ 和 L 组成。 $3L$ 为三相铁心电抗器, 组成人为辅助中点; L 是单相铁心电抗器, 其交流阻抗很大, 直流电阻很小, 隔离交流信号, 畅通直流信号, 这样可使感测环节具有较高的灵敏度, 同时可较精确地将电压信号变换为电流信号

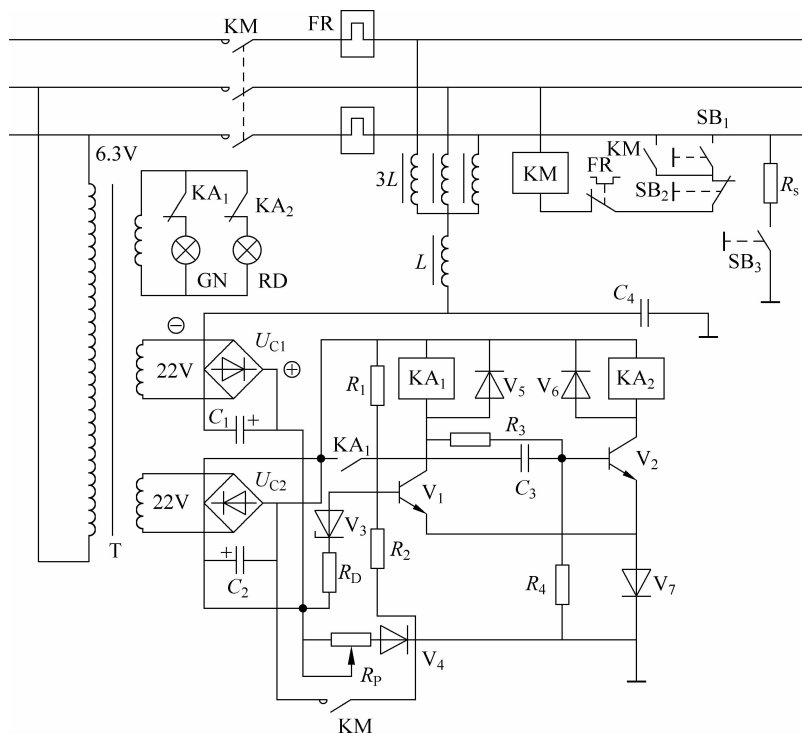


图 3-42 电压型漏电保护电器

送入中间环节。

感测环节的电源由交流 22V 经 U_{C1} 桥式整流提供, 输出约为 20V。感测回路从直流电源“ $\oplus$ ”经电位器 R_p 、二极管 V_4 到大地, 再经三相对地绝缘电阻到相线, 经电抗器 $3L$ 和 L 回到直流电源“ $\ominus$ ”。

(2) 中间环节。中间环节主要由内整流桥 U_{C2} 、稳压管 V_2 、三极管 V_1 与 V_2 等组成的射偶双稳触发电路以及继电器 KA_1 和 KA_2 等元器件组成, 其中包括鉴别电路、放大电路和变换电路, 此环节是漏电保护器的关键环节, 也相当于漏电保护器的控制环节。

在正常工作状态下, 由于信号电压低于稳压管 V_3 的击穿电压, 三极管 V_1 处于截止状态, V_2 为饱和导通状态使继电器 KA_2 吸合, KA_1 释放。由 KA_2 常闭触点所控制的信号红灯 RD 熄灭; 由 KA_1 常闭触点所控制的信号绿灯 GN 点亮, 表示漏电保护器处于正常工作状态。

(3) 执行环节。该漏电保护器的执行环节主要由交流接触器 KM 等元件构成。在正常工作情况下, KM 线圈通过 KA_2 的常开触点、常闭按钮 SB_2 和热继电器 FR 的常闭触点形成得电回路, KM 的常开主触点闭合, 给负载正常供电。

(4) 检试环节。检视环节由按钮 SB_3 和电阻 R_s 组成, 在漏电保护器投入运行前, 按下 SB_3 使相线通过 R_s 接地, 人为地产生一模拟漏电流, 此情况下漏电保护器应进行保护动作。

2) 工作原理

正常工作时, 由于各相对地绝缘电阻高于整定值, 感测回路电流很小, 漏电保护器不动作。

当交流三相电源任一相漏电时, 将出现中点电压和对地绝缘电阻下降, 使感测回路电流

增大,该电流在电位器 R_P 上所产生的压降随之增高,当其高于稳压管 V_3 击穿电压所决定的阈值电压时, V_3 被击穿使 V_1 饱和导通, V_2 由饱和导通翻转为截止状态,因而继电器 KA_2 失电释放, KA_2 的常开触点分断了接触器 KM 的线圈电流, KM 的 3 个常开主触点切断三相电源, KA_2 的常闭触点使信号红灯 RD 点亮,表示线路存在漏电事故;而 KA_1 吸合由整流器 U_{C2} 输出的直流电源直接加到 KA_1 的线圈上,使 KA_1 自保持、 V_2 不可能再饱和导通,因而保证了该电器运行的可靠性。

在故障解除后必须将主开关或隔离开关分断一次,使 T 断电、 KA_1 复位、绿灯亮,当再按下常开按钮 SB_1 ,才能使系统重新正常投入运行。如果电动机绕组的绝缘体被破坏,绕组导线将通过铁心和机壳接地。如果电网中的中性点接地,则产生较大的接地短路电流。这个时候在系统中将产生零序电压和零序电流,所产生的这种零序电压和零序电流是微小的。而且这种零序电流在电动机正常或发生其他类型的非对称故障如断相时是不存在的。因此对漏电保护器漏电信号的检测需要感测环节具有相当高的灵敏度,实际工程中通常采用高灵敏度的零序电流互感器—电抗互感器组(TA-T 组)作为漏电保护器的感测器和 $I-U$ 变换器。

2. 电流型漏电保护器

如前所述,中性点接地系统,不宜采用电压型漏电保护器,而通常采用电流型漏电保护器进行漏电保护,除防止设备发生事故外,更重要的是为了避免人身事故的发生。

电流型漏电保护器的机理虽然多种多样,然而基本组成原理大同小异,通常由感测环节、放大环节、鉴幅环节、输出环节等组成。

图 3-43 所示电路为 380/220V 低电压电网所用的电流型漏电保护器。其感测环节主要由电流互感器/电抗器感测器件(简称 TA/T 器件)组成,电抗互感器具有以坡莫合金为导

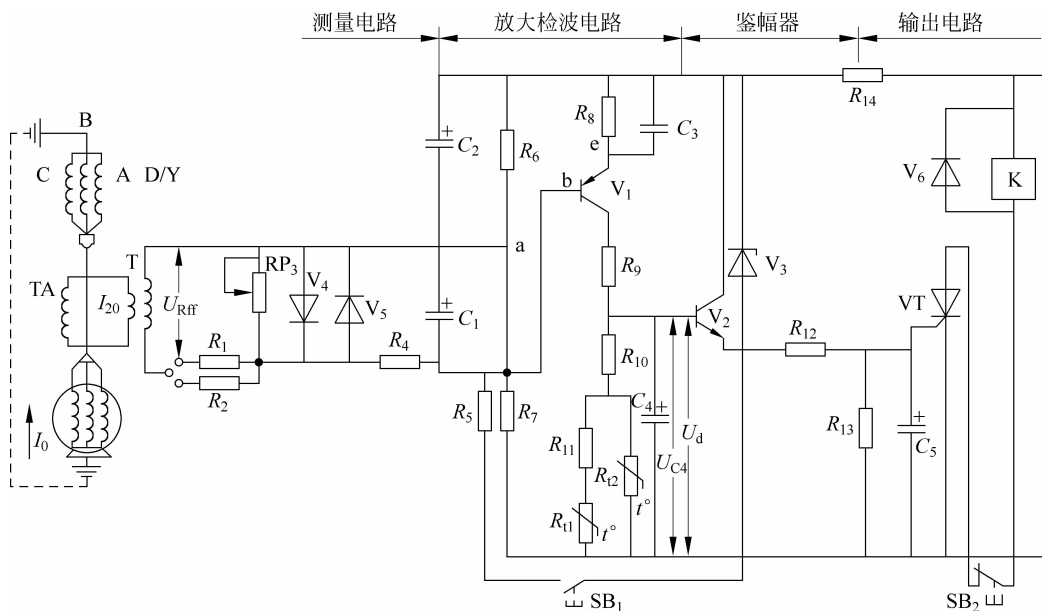


图 3-43 电流型漏电保护器

磁材料的闭合铁心,输出信号电压可通过 R_1 、 R_2 、 R_p 调节,并以此整定漏电保护器的动作值。为了防止发生金属性接地时出现的极大信号电压,用 V_4 、 V_5 两个二极管进行限幅, R_4 和 C_1 是对干扰信号的吸收环节, C_1 容量较小。信号通过放大器的交流通道(C_2 、 C_3)送到兼有检波作用的晶体管 V_1 的发射结上, V_1 的静态工作点设置在截止区附近,此时从 R_{10} 、 R_{12} 上输出的直流电压经射极跟随器 V_2 以及 R_{12} 与 R_{13} 分压至晶闸管 VT 的门极作为其触发电压。只有当被保护电路的零序电流达到预先整定的 50mA 时,VT 才导通。设置电容 C_4 和 C_5 一方面为了滤波,另一方面为了得到漏电保护器的动作延时。延时时间与信号电压的大小有关,具有反时限特性。 R_9 和 C_4 以及 R_{12} 与 C_5 的配合应使漏电保护器实现不大于 30mAs(毫安秒)的指标。

该电路没有设置独立的鉴幅器,其阈值电压 U_d 是 V_2 的发射结压降和 VT 的触发电压之和,这两者对于环境温度都很敏感,当温度增高时, V_1 的电压放大倍数增大, V_1 、 V_2 的输入电阻降低,VT 的触发电压和触发电流均降低,漏电保护器动作值减小。为了给予适合的温度补偿,在 V_1 的集电极上接入 NTC(负温系数)热敏电阻 R_{11} 、 R_{12} ,以降低高温时的放大倍数。补偿电路的补偿特性应与 V_1 、 V_2 、VT 的温度特性相配合,给全电路以综合温度补偿的功效。

当电动机绕组的尾端附近(接近中性点)发生漏电故障时,如产生零序电流小于 50mA 的整定值,漏电保护器不动作,这一情况被称为漏电保护器的死点。

SB_1 、 SB_2 分别为试验按钮和复位按钮,可通过 SB_1 的闭合接入低阻值电阻 R_5 使 V_1 导通,进行漏电保护的模拟动作试验,因为接通低阻值电阻 R_5 相当于漏电情形,漏电流路径如图 3-43 中虚线所示,显然它流经电流互感器的初级绕组。电流互感器 TA 配合电抗器 T,将漏电流信号转换成电压信号经调节整定后送给放大环节,逐级传送,以实现漏电保护功能。

3.4.6 半导体式断相保护器

三相交流电动机断相运行是造成电动机烧损的常见事故之一。电动机断相时其负载大小、绕组接线方式所引起的绕组相电流与线电流变化有较大差异,当满载运行发生断相时,线电流至少有一相超过额定电流,为额定电流的 $1.5 \sim \sqrt{3}$ 倍。采用三相检测方式的过流保护装置便能进行过流保护。但如果电动机是星形接法,并且在轻载运行时发生断相故障,如负载在 58%~67%之间,则往往出现的线电流值小于过流保护电流动作值,而对于三角形接法的电动机发生轻载运行断相时电流却已超过其电流的额定值,因此在发生断相故障时这种情况是比较严重的。所以在这种情况下以过电流为原则的保护将不能有效地检测电动机的断相故障,而必须采用断相保护装置。

断相保护器一般由检测电路、鉴幅电路、延时电路和输出电路等几部分构成,其组成框图如图 3-44 所示。断相保护器之所以需要延时环节,是为了防止断相保护器在电动机启动或正常运行过程中可能出现短时的三相不平衡状态引起短时过电流而产生误动作。

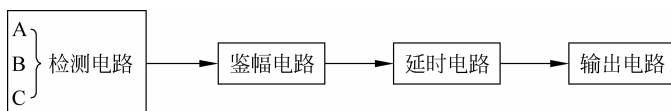


图 3-44 断相保护器基本组成环节

下面介绍几种典型的半导体式断相保护器。

1. 零值电流断相保护器

当电动机出现断相运行故障时,故障相的电流为零,因此可按电流为零的原则来获取断相运行信号,依据这一原则和规则设计制作的断相保护装置称为零值电流断相保护器,其电路如图 3-45 所示。该电路每相均有独立的变相器和检波器,各相信号经晶体管反相器或二极管或门电路送到输出电路。三相中任一相电流为零时,输出继电器 KA 均能延时动作,电阻 R_{12} 可降低晶体管 V_4 的漏电流 I_{ceo} ,同时也为延时电路中的电容器 C_4 提供放电回路。如使 3 个互感器的磁路均工作在磁饱和段,则该断相保护器可对不同容量的电动机进行断相保护。如果欲使该保护装置成为电动机综合保护设施的一部分,则磁路应工作在非饱和段。

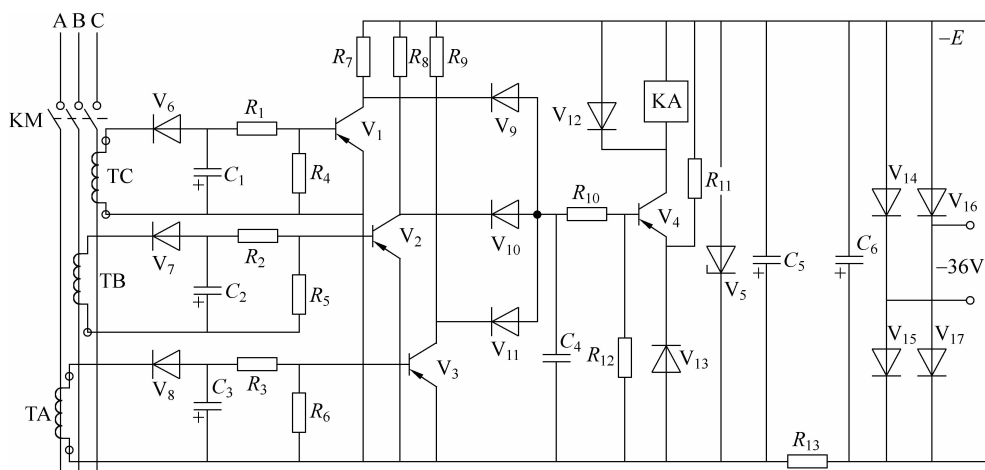


图 3-45 零值电流断相保护器

由于断相信号是取样于线电流为零(而不是绕组的相电流),因此,该保护器不宜用于三角形接法电动机的断相保护。

2. 负序电流断相保护器

当电动机断相运行时,三相线电流出现严重的不对称,除正序电流外,还产生负序电流。但电流中不含有零序分量,因为电动机的中性点不接地。所以可以设法通过负序电流滤序器获取断相信号。这里负序电流滤序器实质上是一个负序电流检测器,它由两个小型电流互感器(TA/TC)和一些阻容元件组成,如图 3-46 所示。从负序电流检测器取得断相信号后,经二极管 V_4 整流,电容 C_1 滤波,电阻 R_1 和 R_2 分压后送入阈值电压为 3~4V 的鉴幅器进行鉴幅,再经电容 C_2 延时送到输出电路。由于三相供电网络并非严格平衡,电动机各相绕组也不是严格对称。因此在正常情况下负序电流检测器也会输出 1V 左右的电压,在确定鉴幅器的阈值电压时应考虑到这一点。该断相保护器的基本工作原理及其主要工作过程如下。在正常情况下,负序电流检测器的输出 U_x 的值也有 1V 左右,小于鉴幅器的阈值电压(本例为 3~4V),因此鉴幅器不动作,输出继电器 KA 不吸动。当发生断相故障时,三相电流严重不对称, U_x 的值剧增,晶体三极管 V_1 饱和导通,而晶体三极管 V_2 截止, C_2 进行充电,

充到一定值时(即延时一定时间),KA 吸合动作,发出断相信号。此断相保护器的动作原理如下。

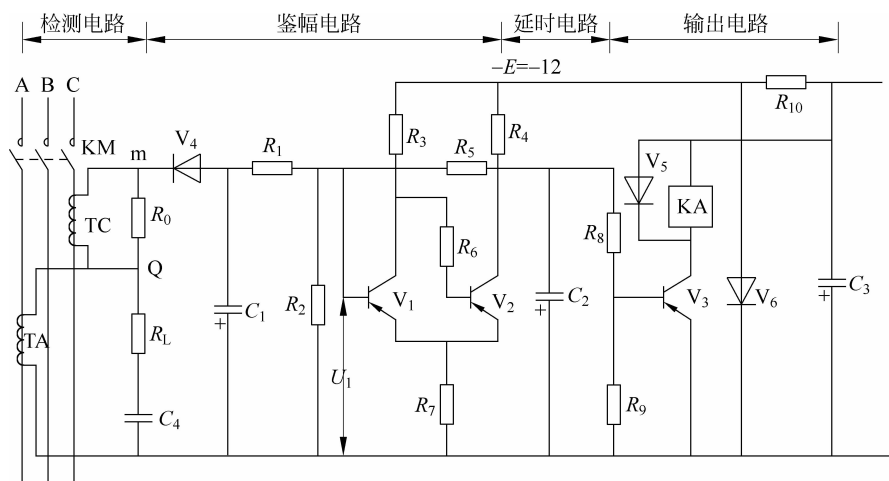


图 3-46 负序电流断相保护器

当某相(如图中 A 相)断相后,该相(线)电流为零,互感器无电流输出给 V_8 检波,因此 V_3 无基极电流截止,或门中的 V_{11} 导通, C_4 充电,反相器中的三极管 V_4 基极电流逐渐变负,负到一定值时(即延时一定时间), V_4 导通,继电器 KA 吸动,发出断相信号。

其中, $V_{14} \sim V_{17}$ 、 C_5 、 C_6 、 R_{13} 、 V_5 组成桥式整流电容滤波稳压管稳压电路,给该断相保护电路提供直流电源。

除三相电动机断相运行故障外,该断相保护器还可以对其他原因造成的严重不平衡或单相接地故障进行有效的保护。

3. 负序电压断相保护器

当三相交流电动机断相运行时,会出现负序电压。因此可以设法通过负序电压检测出电动机断相运行信号,从而对电动机实行断相保护。

检测负序电压,获取断相信号是通过由电阻和电容等元件构成的负序电压滤序器来实现的。图 3-47 所示电路为一负序电压滤序器,其中各参数及 R_1 、 R_2 、 R_3 和 C 的容抗 X_C 在数值上应保持下列关系,即

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= R_2 = R_3 \\ R_2 &= \sqrt{3} X_C \end{aligned} \right\} \quad (3-27)$$

当输入正序电压时,滤序器输出电压 $\dot{U}_{FE}$ 为

$$\begin{aligned} \dot{U}_{FE} &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{R2} = -j \dot{I}_{WV} X_C + \dot{I}_{VU} R_2 \\ &= -j \frac{\dot{U}_{WV}}{2} e^{-j30^\circ} + \frac{\dot{U}_{VU}}{2} = \frac{\dot{U}_{WV}}{2} e^{-j60^\circ} + \frac{\dot{U}_{WV}}{2} e^{j120^\circ} \\ &= 0 \end{aligned} \quad (3-28)$$

即滤序器输出为零,其电路相量图见图 3-47(b)。

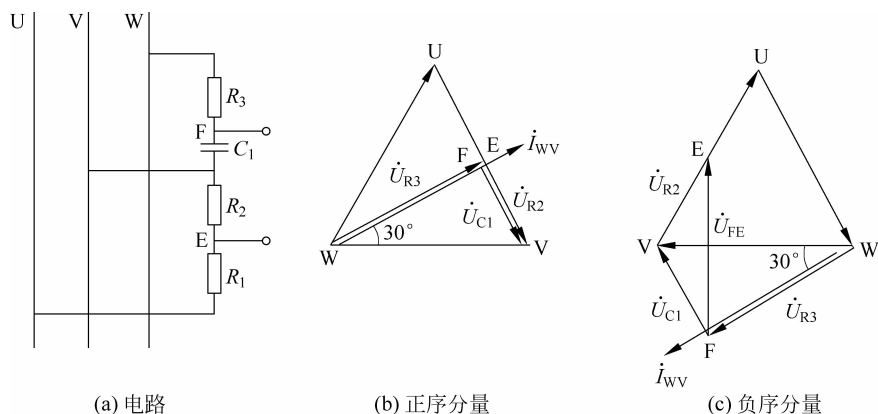


图 3-47 负序电压滤序器及其向量图

当输入负序电压时,滤序器输出电压 $\dot{U}_{FE}$ 为

$$\begin{aligned}
 \dot{U}_{FE} &= \dot{U}_{C1} + \dot{U}_{R2} = -j \dot{I}_{WV} X_C + \dot{I}_{VU} R_2 \\
 &= -j \frac{\dot{U}_{WV}}{2} e^{-j30^\circ} + \frac{\dot{U}_{VU}}{2} = \frac{\dot{U}_{WV}}{2} e^{-j60^\circ} + \frac{\dot{U}_{WV}}{2} e^{j120^\circ} \\
 &= -j \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{U}_{WV}
 \end{aligned} \quad (3-29)$$

负序电压断相保护器的电路如图 3-48 所示,该电路比较简单,工作原理如下:当电动机正常运行时,E、F 两点间无信号输出,即 E、F 两点间电压为零,整流桥 U_{C2} 无输出,因此晶体管 V 截止,输出继电器 KA 不动作,主回路开关 QM 也不动作。当某种原因使三相电源

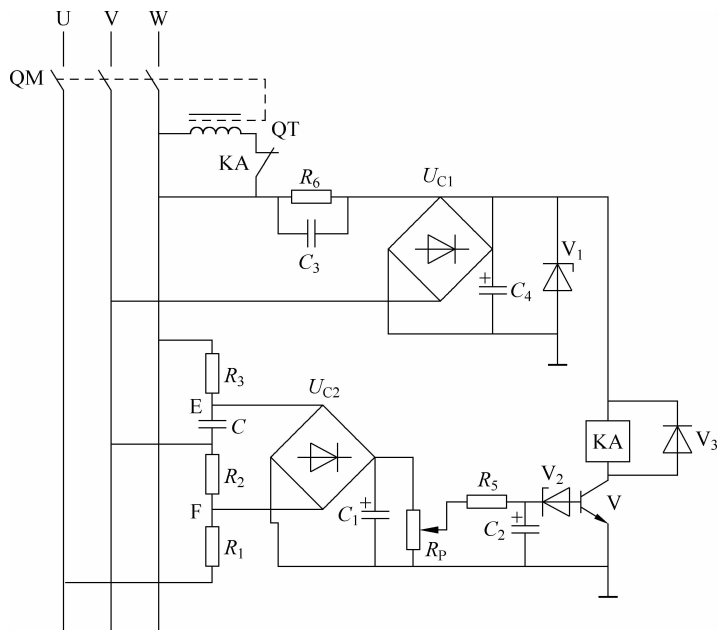


图 3-48 负序电压断相保护电路

中任意一相断开时,则电路相位发生变化,E、F 两点间有电压输出,经 U_{C2} 整流和电容 C_1 滤波输出直流电压,通过 R_5 和 C_2 构成的延时电路延时,亦即经 R_2 向 C_2 充电,充电到晶体管 V 饱和导通的阈值电压 U_d 时,V 饱和导通,继电器 KA 吸动。其常开触点 KA 闭合,脱扣器线圈 QT 通电,从而驱动主回路开关 QM 断开三相电源保护了电动机。

晶体管 V 的直流电源是由电容 C_3 和电阻 R_6 降压后经 U_{C1} 桥式整流、 C_4 滤波和稳压管 U_2 稳压后提供。电位器 R_P 是用来调节晶体管 V 的阈值电压,以适应 $0.6 \sim 100\text{kW}$ 电动机断相保护的需要。

3.4.7 半导体式低压断路器

半导体式低压断路器是一种具有多种综合保护功能的电器,其脱扣器的组成原理框图如图 3-49 所示,它由稳压电源、欠电压电源、信号检测分配、长延时、短延时、瞬时、触发环节及执行环节等 8 个环节组成,具体电路如图 3-50 所示。接在低压断路器进线端的变压器 T 将电网电压变换成合适的低电压,经桥式整流器 U 整流电容 C_1 滤波以及三极管 V_1 等元器件构成的稳压电路稳压后,输出直流电压供给各个环节。在电网电压正常时,经电阻 R_2 和 R_4 分压, R_4 上的电压降大于稳压管 V_8 的击穿电压, V_8 被击穿,晶体管 V_9 饱和, V_9 的集电极电位为零,单结晶体管 V_{27} 的两基极间呈高阻态,晶闸管 V_T 无触发信号关闭,执行环节的失压脱扣器 S 由电源经二极管 V_{14} 供电而吸合,低压断路器合闸正常工作。

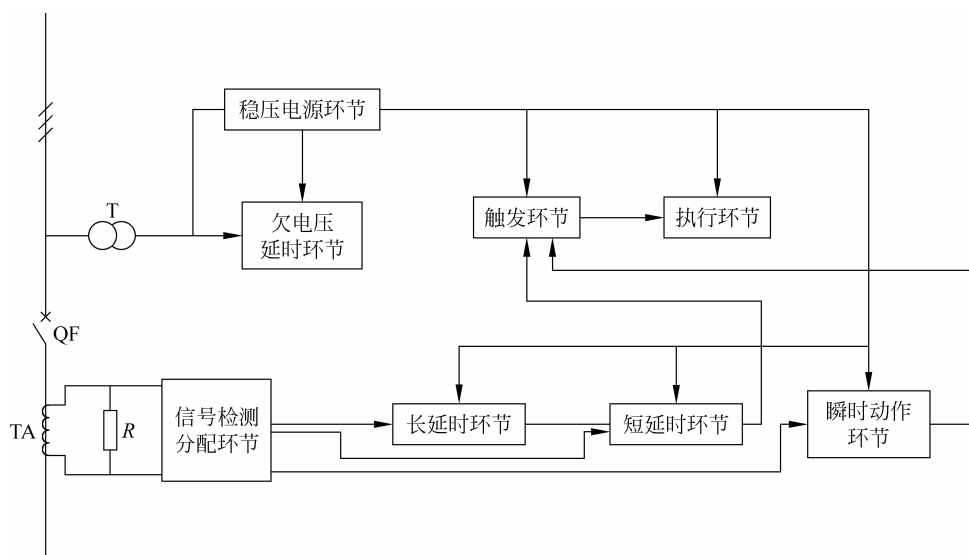


图 3-49 半导体式低压断路器的脱扣器组成原理框图

当电网电压因故障降低到一定值以下时,欠电压延时环节中稳压管 V_8 由击穿转变为关断,晶体管 V_9 截止,由于在 V_9 的集电极与发射极间并有电容器 C_3 ,单结晶体管 V_{27} 经一定延时后,在电阻 R_{11} 上输出一脉冲电压将晶闸管 V_T 触发导通,电容器 C_5 上的电压经 V_T 主回路放电, C_5 两端电压很快降低,使失电压脱扣器 S 释放,低压断路器 QF 分闸。

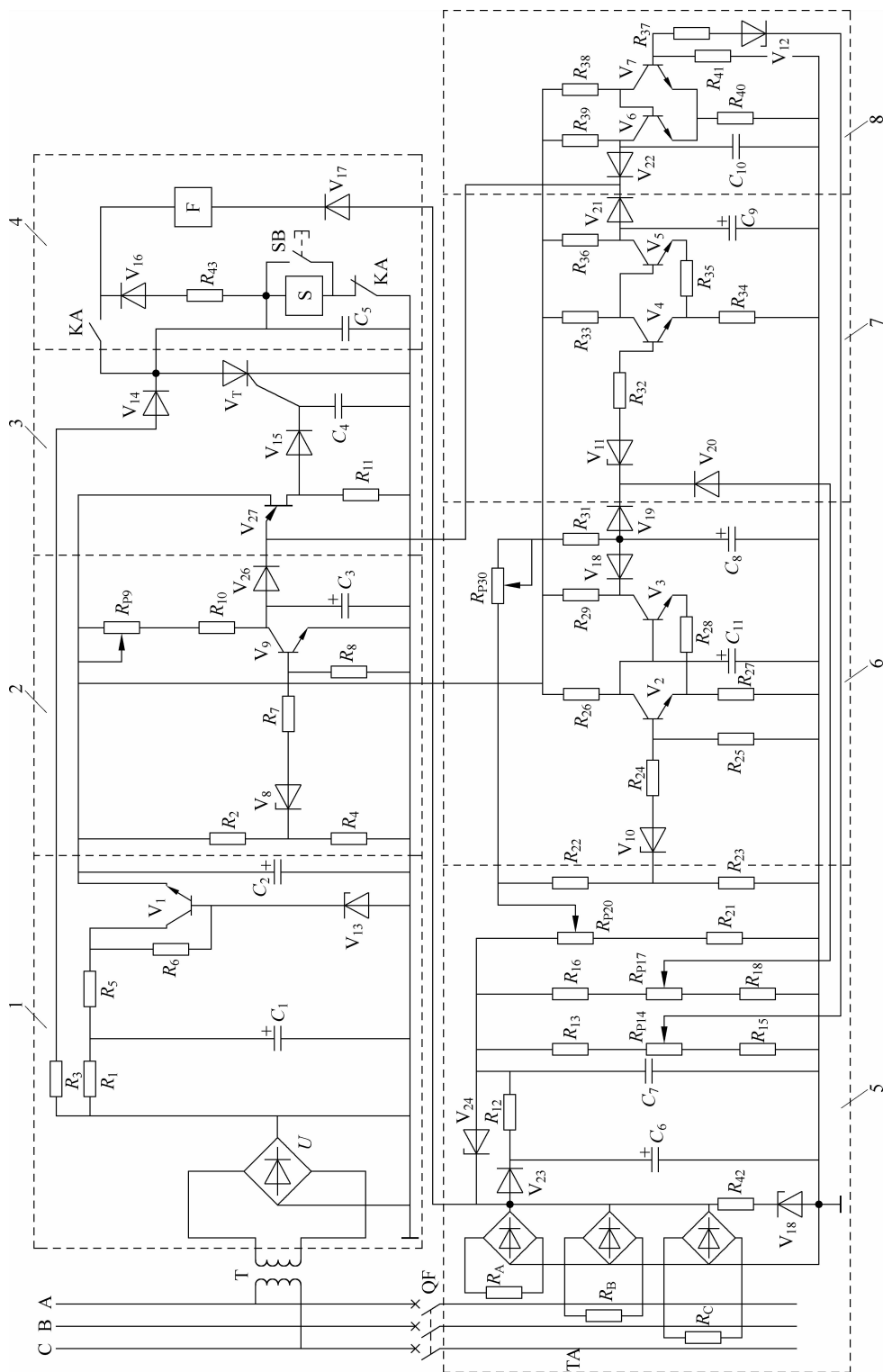


图 3-50 半导体脱扣器原理线路

1—整流和稳压环节; 2—欠压延时环节; 3—触发环节; 4—执行环节; 5—信号检测及分配环节; 6—长延时环节; 7—短延时环节; 8—瞬时环节; F—分励脱扣器; S—欠压脱扣器; SB—分闸按钮; QA—自动开关开辅助触点; K—漏电开关常开辅助触点或其他继电器常闭触点

当电路发生过载时,电流互感器 T_A 二次侧回路中的电阻 R_A 、 R_B 、 R_C 上的电压降增大,使稳压管 V_{10} 击穿,由电源经电位器 R_{P30} 和电阻 R_{31} 对电容 C_8 充电。由于此充电回路时间常数较大,经较长延时后, C_8 上的电压升高到使稳压管 V_{11} 击穿,晶体管 V_4 和 V_5 组成的触发器翻转,即 V_4 饱和导通, V_5 截止。再经短延时即电容器 C_9 上充电电压上升,单结管 V_{27} 导通,在电阻 R_{11} 上输出一脉冲电压将晶闸管触发导通,失压脱扣器 S 释放,低压断路器 QF 经过长延时而分断,其长延时时间可通过 R_{30} 调整。

当负载电流超过一定值时,互感器 TA 二次侧回路中的电压降增大很多,当此电压增大到足以使稳压管 V_{11} 很快击穿时,则短延时环节中的 V_4 和 V_5 组成的触发器立即翻转,低压断路器 QF 经短延时而断开。

若负载短路,互感器 TA 输出电压很高,直接使稳压管 V_{12} 击穿, V_6 和 V_7 组成的触发器立即翻转,晶闸管 V_T 导通,失压脱扣器 S 释放,分励脱扣器 QF 线圈也同时得电而动作,于是低压断路器 QF 立即分闸。

半导体脱扣器比较容易实现过载长延时、短延时及瞬时动作“三断”保护特性,可同时采用电压源和电流源直接对执行元件供电,以保证出现故障时低压断路器动作的可靠性。此外,还能实现远距离分励脱扣(按下 SB 即可)及漏电保护(漏电继电器 KA 动作)等。当某种原因使电源电压短路消失后,电源线路电压恢复正常,大批量的电动机如果带负载同时自行启动,就会从电网线路中吸取较大的功率,造成电网线路电压降低,电动机转速下降,电动机将出现超过额定值的电流。如果电网线路电压过高,将会使电动机的铁心磁密趋于磁化曲线过饱和区,则其定子电流亦必因空载电流增大而过大,这都是不正常的工况,均将导致断路器分闸(跳闸)。

习题

一、简答题

- 3-1 同有触点电控器件相比,半导体式电控器件有何优点?
- 3-2 试列举一些常用的半导体式保护电器。
- 3-3 半导体式行程开关主要适用于哪些场合?
- 3-4 常用的半导体式行程开关有哪几种形式? 各有何特点?
- 3-5 半导体式行程开关的传感检测部分是如何感测到金属体“接近”的?
- 3-6 简述高频振荡式停振型行程开关和差动变压器式行程开关各自的工作原理及主要特点。
- 3-7 RC 式半导体式时间继电器的延时范围和精度主要受哪些因素影响?
- 3-8 简述通电延时型与断电延时型半导体式时间继电器的主要区别。
- 3-9 简述具有瞬时动作触点的通电延时型半导体式时间继电器的瞬时动作触点的功用。
- 3-10 半导体式过流保护器一般由哪四大部分组成?
- 3-11 半导体式过载保护器中的时限电路的主要作用何在?
- 3-12 试述无间隙组合式过电压保护器的基本组成原理及其主要特性,它和串间隙组

合式过电压保护器的主要异同点何在?

3-13 分级保护组合式过电压保护器的突出优点是什么?

3-14 试述半导体式反馈型欠电压保护器的基本工作原理及其主要特点。

3-15 半导体式超温保护器一般用在什么场合? 其主要优、缺点各是什么?

3-16 试比较半导体式电压型和电流型漏电保护器的异同点。它们各适用于什么场合?

3-17 试述半导体式零值电流断相保护器的基本工作原理及其主要组成环节。

3-18 在图 3-15 所示的通电延时型并且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中其延时时间的长短是通过调节哪一个元器件来实现的?

3-19 在上题中为什么当 K_1 吸合后, 利用其常开触点将晶闸管 VT 短接?

3-20 在上题中为什么要用 K_2 的常闭触点将电容器 C_2 短接?

3-21 在上题中晶闸管 VT 的作用何在?

3-22 在上题中电位器 R_{p2} 的作用何在?

3-23 在上题中电容器 C_1 的作用何在?

3-24 在上题中元器件 HL 的作用何在?

3-25 在上题中二极管 V_4 的作用何在?

3-26 在上题中整流桥的作用何在?

3-27 何谓(过载保护电路所用的)鉴幅器?

二、填空题

3-28 与其他形式的电控器件相比, 半导体式电控器件主要优点有: 开关速度_____; 操作频率_____; 使用寿命_____; 耗电功率_____; 控制功能_____。

3-29 与其他形式的电控器件相比, 半导体式电控器件主要缺点是: 过载能力_____; 价格_____; 漏电流_____; 散热面积_____。

3-30 半导体式时间继电器突出优点是: 寿命_____; 精度_____; 体积_____; 延时时间_____; 调节范围_____; 耗电量_____。

3-31 在图 3-15 所示通电延时型且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中二极管 V_4 的作用是_____流接触器; 二极管 V_5 的作用是_____流接触器。

3-32 在图 3-15 所示通电延时型且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中继电器 K_1 是_____; 继电器 K_2 是_____。

3-33 在图 3-15 所示通电延时型且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中, 延时时间主要取决于 R_{p1} 、22k Ω 电阻、_____, _____、_____, _____和 3.3k Ω 电阻等元器件。

3-34 无触点行程开关又叫_____行程开关, 也叫_____开关。

3-35 半导体式接近开关的主要技术指标有_____, _____、_____, _____等。

3-36 半导体式停振型接近开关属于_____频振荡型, 其接近信号的发生机构实际上是一个_____振荡器, 其感辨头是_____。

3-37 差动变压器型半导体式接近开关的主要优点为: 有较大的_____距离; 有_____的操作频率; 其是基于金属检测体中的_____去磁效应工作的。

3-38 电流互感器相当于恒_____源, 其输出电压与负载_____成比例, 其二次侧

不允许开路,否则易造成过电_____,损坏互感器。

3-39 电抗互感器相当于恒_____源。其电压值取决于_____次电流在励磁阻抗上的压降,而与负载阻抗的大小无关,其二次侧不允许短路,否则二次侧电_____过大,损坏互感器。

三、选择题(下列各题的3个备选答案中至少有一个是正确的,请选出正确答案的代号填写在相应的括号中)

3-40 在图3-15所示的通电延时型并且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中,其瞬时触点是采用继电器()。

- a. K_1 的触点 b. K_2 的触点 c. K_1 和 K_2 的触点

3-41 在图3-15所示的通电延时型并且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中,其延时触点是采用继电器()。

- a. K_1 b. K_2 c. K_1 和 K_2

3-42 在图3-15所示的通电延时型并且还带有瞬时动作触点的时间继电器电路中的延时触点是采用()。

- a. 继电器 K_1 的触点 b. 继电器 K_2 的触点 c. 继电器 K_1 和 K_2 的触点

3-43 半导体式停振型接近开关是一种典型的半导体式行程开关,其属于。()

- a. 高频振荡型 b. 低频振荡型 c. 中频振荡型

3-44 半导体式停振型接近开关其接近信号的发生机构实际上是一个()。

- a. LC 振荡器 b. RC 振荡器 c. 正弦波振荡器

3-45 熔断器这种电流型保护设施设备具有()。

- a. 定时性特性 b. 瞬时性特性 c. 反时限特性

3-46 下列避雷器属于过电压保护器的有()。

- a. 氧化锌避雷器 b. 碳化硅避雷器 c. 金刚砂阀式避雷器

四、分析题

3-47 试分析图3-11所示通电延时型半导体式时间继电器的延时环节和输出环节分别由哪些元器件构成,并且论述延时原理。

3-48 试分析图3-14所示断电延时型半导体式时间继电器的延时环节和输出环节分别由哪些元器件构成,并且论述延时原理。

3-49 试分析图3-50中长延时、短延时、瞬时这3种保护动作原理,相应保护电路环节各包括哪些晶体三极管,用作何保护?

3-50 试分析图3-43所示电流型漏电保护电路的保护原理及其动作过程。

3-51 试分析图3-48所示负序电压断相保护电路的保护原理及其动作过程。

五、设计题

3-52 试设计一款新颖实用的半导体式欠电压保护器电路原理图。

3-53 试设计一款新颖实用的半导体式过电压保护器电路原理图。

3-54 试设计一款新颖实用的半导体式断相保护器电路原理图。

3-55 试设计一款新颖实用的半导体式漏电保护器电路原理图。