

第3章 单片机的后向通道接口

在单片机应用系统中，后向通道包括模拟量输出和数字量（开关量）输出。其中模拟量输出可以使得输出功率在零到满负荷之间连续变化运行。开关量输出则采用脉宽调制的方法，通过控制设备处于开/关状态的时间来达到控制目的。随着数字电路与计算机技术的普及，开关量输出的控制方法被越来越广泛地应用，由于控制技术的不断进步，利用开关量输出方法也能达到很好的控制效果。

3.1 电气隔离

应用系统的后向通道通常与强电系统联系在一起，如果强电控制电路与单片机系统共地，由于系统的连接线存在一定的电阻，单片机系统各器件的地和电源地之间存在着一定大小的地间电阻，在弱电系统中，电阻上的压降是很微小的，系统地和电源地可以认为是一点。但与强电连接时，由于某一瞬间有大电流通过地间电阻，于是地间电阻上的压降就不能忽略，脉动电压降会叠加到单片机系统各个器件上，这样就出现了脉动干扰。消除这些干扰的方法是将单片机弱电部分的地和强电控制部分的地隔开，不让它们有直接电气上的耦合通路。

对于模拟量输出的隔离控制，可以采用在 D/A 转换前的数字量环节进行隔离，也可用隔离放大器对输出模拟量进行隔离。从系统成本、控制精度及可靠性等多方面综合考虑，一般采用在 D/A 转换前的数字量环节隔离的手段。

在数字量隔离技术中，最常用的隔离手段是使用光电隔离器。因为光信号的传送不受电磁场的影响，能有效地隔离信号的干扰。在使用光电隔离器时，需对光隔的收发两部件分别供电，即供发光管的电源与供接收管的电源不能共地，这样才能保证正确的隔离。

3.1.1 电源隔离

在单片机应用系统设计中，通过电源引入的干扰往往是导致系统不能可靠工作或损坏的主要因素。为了防止市电及现场各种电磁干扰对系统的损害，提高系统工作的可靠性，在系统设计时，常采用隔离技术，将系统与输入单元、输出单元以及与系统互联的其他单元隔离开来，使被隔离的各个部分具有独立的电源供电，以切断通过电源串入的各种干扰。

隔离电源的两种方法如下。

（1）采用不同的电源。

使用不同变压器输出的电源，或者是同一变压器中不同的次级线圈的抽头输出，如图 3-1（a）所示。这样两个输出不共地，两部分电源有各自互不关联的电流回路。

这种采用独立变压器供电或同一变压器不同次级线圈供电的办法，其最大优点就是成本低廉，而且电流输出大，但需要较大的安装空间。

(2) 使用 DC/DC 变换器。

DC/DC（直流/直流）变换器的功能是将输入直流电压调制成交流电压，经变压器耦合到输出级，然后对耦合过来的信号经过解调、整流、滤波等处理后，得到要求的输出直流电压，因此它的输入电压与输出电压已被隔离，如图 3-1（b）所示。

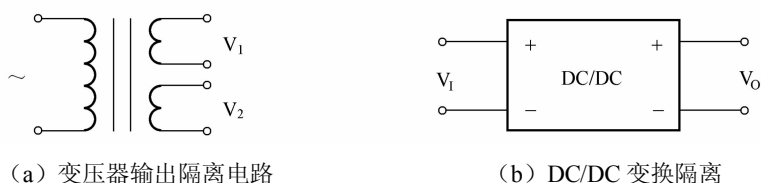


图 3-1 电源隔离

不同型号的 DC/DC 变换器，除输出电压不同外，其驱动能力也不相同，即其输出端能提供的最大电流也不同。例如 5S5/50 表示输入为+5V，输出为+5V，最大电流输出为 50mA；而 5D12/100 则表示输入为+5V，输出为±12V，最大输出电流为 100mA。

DC/DC 变换器体积小巧，但能提供的电流不大，其价格比一般变压器单独供电的成本高十多倍。

3.1.2 光电隔离器接口

光电隔离器把发光器件和光敏器件组装在一起，当在发光管两端加一定电压时，发光管通过一定的电流而发光，光信号经光敏器件接收后又转为电信号。光电隔离器输入端与输出端之间的联系是通过电—光—电的信号传送方式实现的，没有直接的电气联系，因此能实现很好的电气隔离。

3.1.2.1 光电隔离器的结构及特点

光电隔离器的发光部分和受光部分通常封闭在一个不透明的管壳内，由绝缘的透明树脂隔开。发光部分的引出线为光电隔离器的输入端，光敏部分的引出线为输出端。光隔的发光源常用砷化镓红外发光二极管，而接收端则可能是光电二极管、复合管、可控硅和光敏电阻等，对应的型号分别为晶体管型、达林顿管型、可控硅型和光敏电阻型等，如图 3-2 所示。

由于采用电—光—电的信号传送方式，光电隔离器具有很高的绝缘电阻，一般可达 $10^{10} \Omega$ 以上，并能承受 2000V 以上的高压。被隔离两端可以自成系统，不需共地，因而能避免输出端对输入端可能产生的反馈和干扰。另外，以发光二极管作为发光源，其动态电阻很小，因而可抑制系统内外的噪声干扰。

光电隔离器作为开关应用时，具有可靠性高、速度快等优点。

光电隔离器的主要特性参数如下。

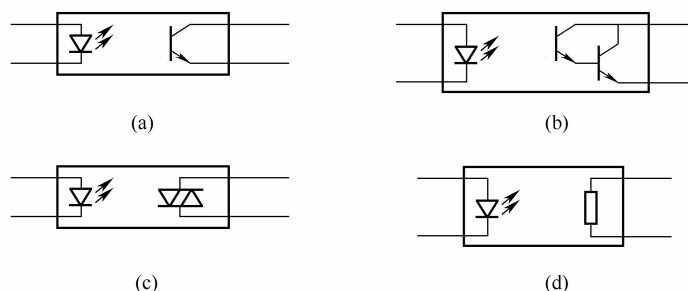


图 3-2 常见的光电隔离器

1. 导通电流和截止电流

不同光隔驱动发光管导通的电流也不一样。对于光电隔离器，主要用光电管的非线性特性，当发光二极管两端通以一定电流 i_F 时，光电隔离器输出端处于导通状态，而当流过发光二极管的电流小于某一电流值时，光电隔离器的输出端截止。不同的光电隔离器通常有不同的导通电流，这也决定了需采取的对其驱动的方式，一般典型的导通电流值为几毫安。

2. 频率响应

由于受发光二极管和光敏二极管（三极管）响应时间的影响，开关信号的传输速度和频率受光电隔离器频率特性的影响，因此，在高频信号的传输中要考虑其频率特性。在开关量输出通道中，输出开关信号频率一般较低，不会因光电隔离器的频率特性而受影响。

3. 输出端工作电流

当光电隔离器处于导通状态时，流过光敏三极管（或可控硅）的电流若超过某个额定值，就可能使输出端击穿而导致光电隔离器的损坏，这个参数对输出接口设计极为重要。因为其工作电流值表示该光电隔离器的驱动能力，一般来讲，这个电流值在几十到几百毫安量级，即使使用达林顿管输出型，也不能直接驱动大型外设。因此，从光电隔离器的输出端到外设之间通常还需要加若干级驱动电路。

4. 输出端暗电流

指当光电开关处于截止状态时，流经开关的电流。对光电隔离器来讲，此值应越小越好。为了防止由此引起输出端误触发，在接口电路设计时，应考虑该电流对输出驱动电路的影响。

3.1.2.2 光电隔离器的驱动

常用的光电隔离器有晶体管输出型和可控硅输出型。

1. 晶体管输出型光电隔离器驱动接口

晶体管输出型光电隔离器的受光器是光电晶体管。光电晶体管除了没有使用基极外，跟普通晶体管一样。取代基极电流的是以光作为晶体管的输入。当光电隔离器的发光二极管发光时，光电晶体管受光的影响在 cb 间和 ce 间会有电流流过，这两个电流基本上受光的照度控制，常用 ce 极间的电流作为输出电流，输出电流受 V_{ce} 的电压影响很小，在 V_{ce} 增加时，稍有增加。光电晶体管的集电极电流 I_c 与发光二极管的电流 I_p 之比称为光电隔离器的电流传输比(CTR)。

不同结构的光电隔离器的电流传输比相差很大。如输出端是单个晶体管的光电隔离器 4N25 的电流传输比不小于 20%，输出端使用达林顿管的光电隔离器 4N33 的电流传输比则不小于 500%。电流传输比受发光二极管的工作电流大小影响，电流为 10~20mA 时，电流传输比最大，电流小于 10mA 或大于 20mA，传输比都下降。温度升高，传输比也会下降，因此在使用时要留一些余量。

光电隔离器在传输脉冲信号时，输入信号和输出信号之间有一定的延迟时间，不同结构的光电隔离器的输入输出延迟时间相差很大，4N25 的导通延迟 t_{on} 是 2.8μs，关断延迟 t_{off} 是 4.5μs，4N33 的导通延迟 t_{on} 是 0.6μs，关断延迟 t_{off} 是 45μs。

晶体管输出型光电隔离器可作为开关运用，这时发光二极管和光电晶体管平常都处于关断状态。在发光二极管通过电流脉冲时，光电晶体管在电流脉冲持续的时间内导通。光电隔离器也可作线性耦合器运用，在发光二极管上提供一个偏置电流，再把信号电压通过电阻耦合到发光二极管上，引起其亮度的变化，这样，光电晶体管接收到的是在偏置电流上增、减变化的光信号。输出电流也将随输入的信号电压线性变化。

如图 3-3 所示为使用 4N25 的光电隔离器接口电路图。4N25 隔离单片机 89C51 系统与输出部分，使两部分的电流相互独立。输出部分的地线接机壳或大地，而 89C51 系统的电源地线浮空，不与交流电源的地线相接。这样可以避免输出部分电源变化对单片机电源的影响，减少系统所受的干扰，提高系统的可靠性。4N25 输入输出端的最大隔离电压不小于 2500V。

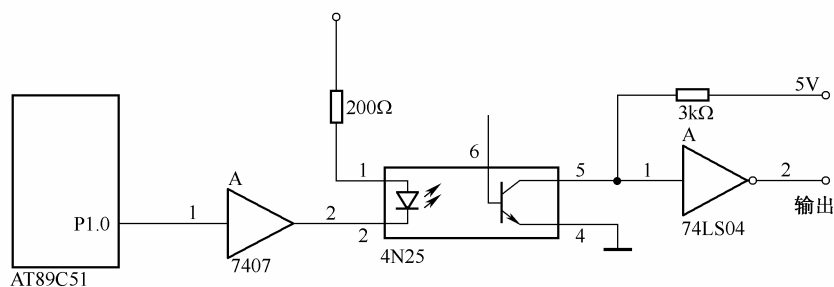


图 3-3 光电隔离器的接口电路

接口电路中使用同相驱动器 7407 作为光电隔离器 4N25 输入端的驱动。光电隔离器输入端的电流一般为 10~15mA，发光二极管的压降约为 1.2~1.5V。限流电阻计算公式为：

$$R = \frac{V_{cc} - (V_F + V_{cs})}{I_F} = \frac{5 - (1.5 + 0.5)}{0.015} = 200 \text{ (}\Omega\text{)}$$

式中： V_{cc} 为电源电压； V_F 为输入端发光二极管的压降，取 1.5V； V_{cs} 为驱动器的压降； I_F 为发光二极管的工作电流，取 15mA。

当 89C51 的 P1.0 端输出高电平时，4N25 输入端电流为 0，输出相当于开门，74LS04 的输入端为高电平，输出为低电平。89C51 的 P1.0 端输出低电平时，7407 输出端为低电压输出，

4N25 的输入电流为 15mA，输出端可以流过不小于 3mA 的电流。如果输出端负载电流小于 3mA，则输出端相当于一个接通的开关，74LS04 输出高电平。4N25 的 6 脚是光电晶体管的基极，在一般的使用中可以不接，该脚悬空。

由于光电隔离器是电流型输出，不受输出端工作电压的影响，因此可以用于不同电平的转换。若图 3-3 的电路中，输出部分不是使用 74LS04，而是要求使用 CMOS 的反相器 MC14069，工作电压用 15V。这时只需把 3k 的电阻改为 10k，工作电源由 5V 改为 15V，74LS04 改用 MC14069 即可。当 P1.0 端输出高电平时，光电隔离器的输出端相当于开路，MC14069 的输入端电压为 15V。当 P1.0 端输出低电平时，光电隔离器的输出晶体管导通，MC14069 的输入端电压接近 0V。4N25 输出端晶体管的 ce 极间的耐压大于 30V，所以 4N25 最大的电平转换可到 30V。

有时为了供电方便，或者使用的是可控硅型光隔，其输出端有 380V 和 220V 交流电压，需将光电隔离器安装于与测控系统有一定距离的控制柜中，此时对光电隔离器的驱动可接成 20mA 电流环的形式，以增强驱动端抗干扰的能力，如图 3-4 所示。光电隔离器也常用于较远距离的信号隔离传送。一方面光电隔离器可以起到隔离两个系统地线的作用，使两个系统的电源相互独立，消除地电位不同所产生的影响。另一方面，光电隔离器的发光二极管是电流驱动器件，可以形成电流环路的传送形式。由于电流环电路是低阻抗电路，它对噪音的敏感度低，因此提高了通信系统的抗干扰能力，常用于有噪音干扰的环境下传输信号。图 3-4 是用光电隔离器组成的电流环发送和接收电路。

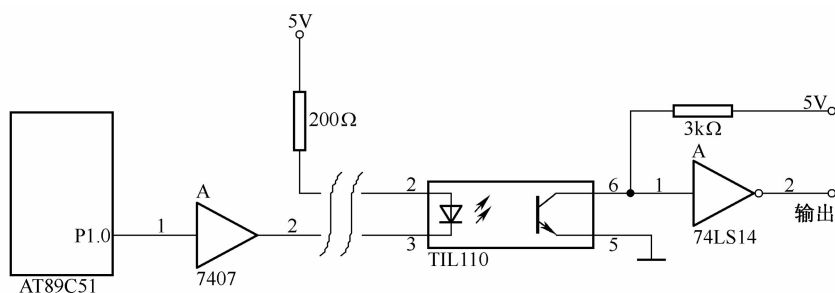


图 3-4 20mA 电流环接口电路

该电路可以用来传输数据，最大速率为 50KB/s，最大传输距离为 900m。环路连线的电阻对传输距离影响很大，此电路中环路连线电阻不能大于 30Ω，当连线电阻较大时，100Ω 的限流电阻要相应减小。光电隔离管使用 TIL110，TIL110 的功能与 4N25 相同，但开关速度比 4N25 快，当传输速度要求不高时，也可以用 4N25 代替。电路中光电隔离器放在接收端，输入端由同相驱动器 7407 驱动。

TIL110 的输出端接一个带施密特整形电路的反相器 74LS14，作用是提高抗干扰能力。施密特触发电路的输入特性有一个回差。输入电压大于 2V 才认为是高电平输入，小于 0.8V 才

认为是低电平输入。电平在 $0.8\sim 2\text{V}$ 之间变化时,则不改变输出状态。因此,信号经过 74LS04 之后更接近理想波形。有时为防干扰对光隔输入端的影响,可在输入电路两端加一滤波电容。

2. 可控硅输出型光电隔离器驱动接口

可控硅输出型光电隔离器的输出端是光敏可控硅或光敏双向可控硅。当光电隔离器的输入端有一定的电流流入时,可控硅即导通。有的光电隔离器的输出端还配有过零检测电路,用于控制可控硅过零触发,以减少负载接通电源时对电网的影响。

4N40 是常用的单向可控硅输出型光电隔离器。当输入端有 $15\sim 30\text{mA}$ 电流时,输出端的可控硅导通。输出端的额定电压为 400V ,额定电流有效值为 300mA 。输入输出端隔离电压为 $1500\sim 7500\text{V}$ 。4N40 的 6 脚是输出可控硅的控制端,不使用此端时,此端可对阴极接一个电阻,如图 3-5 所示。

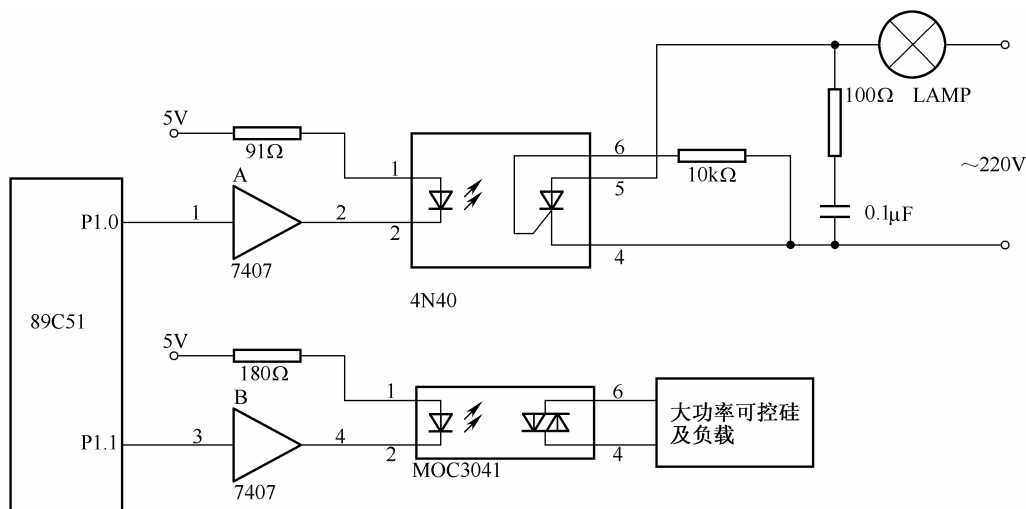


图 3-5 可控硅输出型光电隔离器驱动接口

MOC3041 是常用的双向可控硅输出的光电隔离器,带过零触发电路,输入端的控制电流为 15mA ,输出端额定电压为 400V ,最大重复浪涌电流为 1A ,输入输出端隔离电压为 7500V 。MOC3041 的 5 脚是器件的衬底引出线,使用时不需要接线。

4N40 常用于小电流负载的控制,如指示灯等,也可以用于触发大功率的可控硅。MOC3041 一般不直接用于控制负载,而适用于中间控制电路或触发大功率的可控硅。

利用光电隔离器实现系统模块隔离时,不同模块必须采用不同的电源供电,即光电隔离器的输入端和输出端所用的电源必须不共地,否则,因为干扰信号可以通过电源组成的通路,很容易地从被隔离端串到输入端,就没有隔离可言了。

3.2 可控硅输出接口

可控硅是 60 年代发展起来的一种新型半导体器件，它具有体积小、重量轻、效率高、寿命长等特点，在较小功率电能变换和调节方面有较广泛的应用。可控硅有单向可控硅 SCR（单向硅整流元件）和 TRIAC（二端双向可控硅）两种，可以实现 AC/AC、AC/DC、DC/DC、DC/AC 等电能变换和幅度控制。在微机测控系统中，也常用作功率驱动器，在交流电机调速系统、调功系统、随动系统中有广泛的应用。

3.2.1 可控硅的原理及分类

3.2.1.1 单向可控硅（SCR）

单向可控硅是最广泛应用的功率控制器件，由 P-N-P-N 四层半导体构成，形成两个 PN 结，由最外层的 PN 引出中间的控制栅极 G，如图 3-6 所示。大功率的单向可控硅 A 和 K 较粗，对于螺旋式封装的单向可控硅，常用 A 脚与散热端固定，G 脚引线一般较细，更大容量的单向可控硅一般采用平极式，并有散热器。小功率的单向可控硅外形与大功率整流二极管类似，只是多一个引脚。

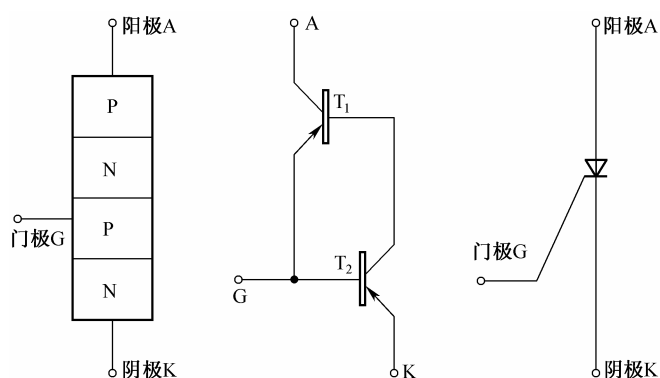


图 3-6 单向可控硅内部结构

在单向可控硅的二端加正向电压而控制极不加电压时，并不导通，正向电流很小，处于正向阻断状态；如果此时在控制极与阳极间加上正向电压，则可控硅导通，正向压降很小，此时即使撤去控制电压，仍能保持导通状态，因此利用切断控制电压的办法不能关断负载电流。只有当阳极电压降到足够小，以致阳极电流降到一定值（ I_H ）以下时，负载回路才能阻断。若在交流回路中使用，如作大功率整流器件时，当电流经过零进入负半周时，能自动关断，如果到正半周要再次导通，必须重新施加控制电压。

由于单向可控硅具有单向导通功能，因此在控制中多使用于直流大电流场合，或作为双

向可控硅控制端输入器件。在交流场合一般用于大功率整流变流器等场合。

SCR 的基本性能参数如下。

1. V_{DSM} 与 V_{RSM}

V_{DSM} 为断态非重复峰值电压, V_{RSM} 为反向非重复峰值电压, 这是厂商目录中规定的最大值, 任何情况下加在 SCR 两端的浪涌电压都不应超过该值。

2. V_{DRM} 与 V_{RRM}

V_{DRM} 为断态重复峰值电压, 又称正向阻断峰值电压, V_{RRM} 为反向重复峰值电压, 又称反向阻断峰值电压, 是指在控制栅极开路, 在额定结温下, 允许重复加在器件上的正向和反向峰值电压, 通常将 V_{DRM} 和 V_{RRM} 中值较小的一个作为额定电压, 其值应选为电源电压有效值的 2~3 倍。市售 SCR 的 V_{DRM} 与 V_{RRM} 有 400V、600V 等, 若外加电源为 220V, 则至少应选用 600V 的 SCR。如果负载为感性负载, 则额定电压应选为电源电压的 4~5 倍。

3. 额定通态平均电流 I_F

在规定环境温度 (+50℃) 及标准散热条件和全导通情况下, 允许通过额定正弦半波电流的平均值叫作额定通态平均电流。由于单向可控硅过载能力小, 应选择额定通态平均电流 I_F 为其正常工作平均电流的 1.5~2 倍, 以留有一定的余量。

4. 擎位电流

可控硅断态转换到通态, 去掉触发信号之后, 维持器件导通所需的最小通态电流。它是由断态到通态的临界电流。

5. 维持电流 I_H

在室温和控制极断路的情况下, 可控硅已触发导通, 再从较大的通态电流降至维持通态所必需的最小电流, 所以是由通态到断态的临界电流。对同一可控硅, 其值约为擎住电流的 1/2~1/4。

6. 浪涌电流 I_{FSM}

结温为额定值时, 在交流正弦半周内, 器件能承受的最大过载电流, 在器件的寿命期内浪涌次数受一定的限制。

7. 控制极触发电压 V_G 、电流 I_G

在规定的环境温度和阳-阴间加一定正向电压的条件下, 使可控硅从阻断状态转变为导通状态所需要的最小控制极直流电压和电流, 称为触发电压、触发电流。 V_G 一般为 1~5V, I_G 为几十到几百毫安, 为保证可靠触发, 实际值应大于额定值。

8. 控制极反向电压

一般控制极所加反向电压不得超过某定值 (如 10V), 以免损坏控制结。为了防止反向电压过大, 可在控制极反向并联一个二极管。另外, 为了防止受干扰而产生误触发, 一般常在控制极上加一个小的负电压。

3.2.1.2 双向可控硅 (TRIAC)

双向可控硅 (TRIAC) 由五层半导体构成, 相当于两个反向并联的 SCR, 用一个控制栅

极决定 TRIAC 两个方向导通，故称为双向可控硅。TRIAC 也有两个电极，即第一阳极 MT1，第二阳极 MT2 和栅极 G，其中 MT1 和 MT2 不能互换，如图 3-7 所示。

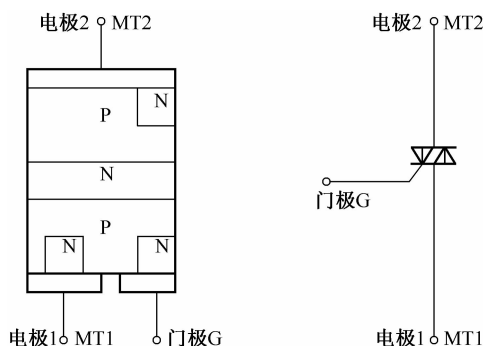


图 3-7 双向可控硅内部结构

双向可控硅和单向可控硅的区别在于，它在触发后是双向导通的，而且不管加在门极的触发信号是正还是负都能使其导通。

TRIAC 共有 4 种触发方式，栅极触发电流极性可正可负，但触发灵敏度不同，第 1、3 象限最高，第 2 象限次之，第 4 象限最差。第 1 象限触发：相对于参考电极 MT1，电极 MT2 的电压为正，门极 G 的触发电流为正。第 2 象限触发：电极 MT2 的电压为正，门极 G 的触发电流为负。第 3 象限触发：电极 MT2 的电压为负，门极 G 的触发电流为负。第 4 象限触发：电极 MT2 的电压为负，门极 G 的触发电流为正。

从结构上来讲，MT1 端和 G 端是等义的，但如果互换，则会造成栅极过流而损坏 TRIAC。在 TRIAC 使用时，通常将触发信号加在 G 上。当 G 上无信号时，MT1 与 MT2 间呈高阻状态，TRIAC 截止；当 MT1 与 MT2 间加一大于阈值的电压时，就可利用控制 G 端电压来使其导通。但需注意的是，当双向可控硅接有感性负载时，电流与电压间有一定的相位差，在电流为零时，反向电压可能不为零，且超过转换电压，使管子反向导通，故要管子能承受这种反向电压，并在回路中加 RC 网络加以吸收。

尽管 TRIAC 可以看作由两个 SCR 组成，但在作为 SCR 使用时，其允许电流只有总电流的一半；另外，SCR 常用平均导通电流的概念，而 TRIAC 则常用有效电流的概念。

由于双向可控硅具有双向导通功能，能在交流、大电流场合使用，且开关无触点，因此在工业控制领域有着极为广泛地应用。

3.2.2 可控硅的触发电路

3.2.2.1 使用脉冲变压器的触发电路

脉冲触发方式可以减少可控硅门极的功耗以及触发信号放大电路的功耗，它是可控硅较常用的触发方式。如图 3-8 所示为使用脉冲变压器的触发电路图。触发脉冲由单片机 89C51

的 P1.0 端控制，当 P1.0 为低电平时，光电隔离器 4N25 有电流输出，使晶体管 T 导通，脉冲变压器 BM 的初级有电流流过，次级输出触发脉冲，经 D1 后触发可控硅。P1.0 为高电平时，晶体管 T 截止，触发脉冲结束。

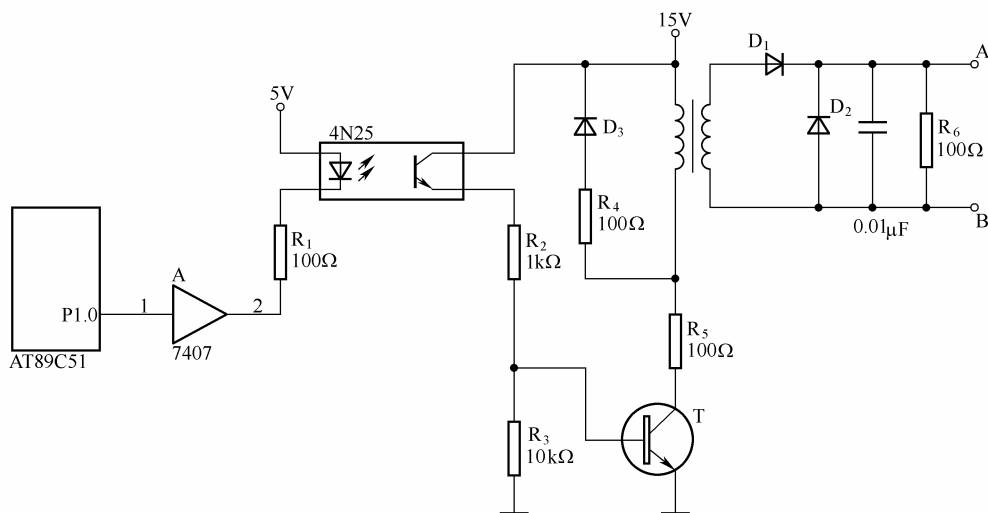


图 3-8 使用脉冲变压器的触发电路

触发脉冲由 A、B 端输出，可以触发单向可控硅，也可以触发双向可控硅。触发单向可控硅时，A 端接可控硅的门极，B 端接可控硅的阴极。触发双向可控硅时，A 端接门极，B 端接 T2 主电极为 I₊ 或 III₊ 触发方式；A 端接 T2 主电极，B 接门极为 I₋ 或 III₋ 触发方式。两种接法都可以触发双向可控硅，但由于 III₊ 需要较大的触发电流，在实际应用中常用 I₋ 或 III₋ 触发方式。

触发脉冲的宽度由单片机 89C51 设定。为了保证触发的可控硅可靠导通，要求触发的脉冲具有一定的宽度。一般可控硅导通时间为 6μs，故触发脉冲的宽度应有 6μs 以上，一般取 20~50μs，对于电感性负载，触发脉冲宽度还应加大，否则在脉冲终止时，主回路电流还未上升到可控硅的维持电流以上，则可控硅又重新关断，故脉冲宽度不应小于 100μs，一般用到 1ms。晶体管 T 工作在开关状态，当晶体管导通时，脉冲变压器 BM 铁芯中的磁通量线性上升，这个变化的磁通也在次级绕组感应出电压。如果脉冲宽度很宽，铁芯就会接近或达到饱和，这样脉冲变压器将失去作用。这时流过晶体管 T 的电流会很大。为了避免这种情况，可以用多个窄脉冲代替宽脉冲，也可以加大铁芯的截面积，使铁芯的磁通量增加，不发生饱和的现象。

为了防止可控硅误触发，提高系统的可靠性，在脉冲变压器的次级 A、B 两端上并联一个电阻和一个电容，以降低触发回路的阻抗，减少干扰信号的影响，D1、D2 用于保护可控硅，D3 用于保护晶体管 T。

3.2.2.2 使用光电隔离器的触发电路

在要求触发脉冲较宽的可控硅控制系统中，常用光电隔离器组成可控硅触发电路。图 3-9 所示为由光电隔离器 4N25 组成的可控硅触发电路图。

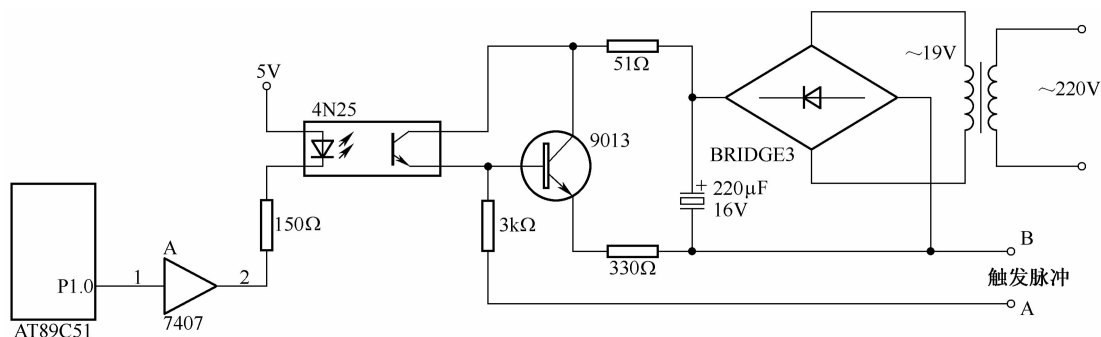


图 3-9 使用光电隔离器的触发电路

触发电路由 7407、4N25、晶体管 9013、变压器 B 和整流电路等组成。触发电路使用独立电源，触发脉冲由 A、B 两端输出。A 端为正输出端。

当单片机 89C51 的 P1.0 端输出低电平时，同相驱动器 7407 输出低电平，光电隔离器的输出端导通，使晶体管 9013 导通，A、B 端有触发脉冲输出。当 P1.0 端输出高电平时，晶体管截止，触发脉冲结束。触发脉冲的宽度完全由单片机控制，可以做到直流电压输出，适合于各种控制方式的电路使用。A、B 两端输出的触发脉冲，可以用于触发单向可控硅，也可以用于触发双向可控硅。

如图 3-10 所示为另一种可控硅触发电路图。用于触发双向可控硅，不需要另外的触发电源，使用双向可控硅的工作电源作为触发电源。

MOC3021 是双向可控硅输出型的光电隔离器，输出端的额定电压为 400V，最大输出电流为 1A，最大隔离电压为 7500V，输入端控制电流小于 15mA。MOC3021 的作用是隔离单片机系统和触发外部的双向可控硅。

单片机的 P1.0 端输出低电平时，7407 输出低电压，MOC3021 的输入端有电流输入，输出端的双向可控硅导通，触发外部的双向可控硅 KS 导通。当 P1.0 端输出高电平时，MOC3021 输出端的双向可控硅关断，外部双向可控硅 KS 也关断。电阻 R_1 的作用是限制流过 MOC3021 输出端的电流不超过 1A。当工作电压为 220V 时， R_1 取 300Ω。由于串入电阻 R_1 ，使得触发电路有一个最小触发电压，低于这个电压时，外接的可控硅 KS 不导通，直到高于这个电压时，KS 才导通。最小触发电压 V_T 由下式计算：

$$V_T = R_1 \times I_{GT} + V_{GT} + V_{TM}$$

式中： I_{GT} 为可控硅 KS 的最小触发电流； V_{GT} 为可控硅 KS 的最小触发电压； V_{TM} 为 MOC3021 输出端压降，取 3V。

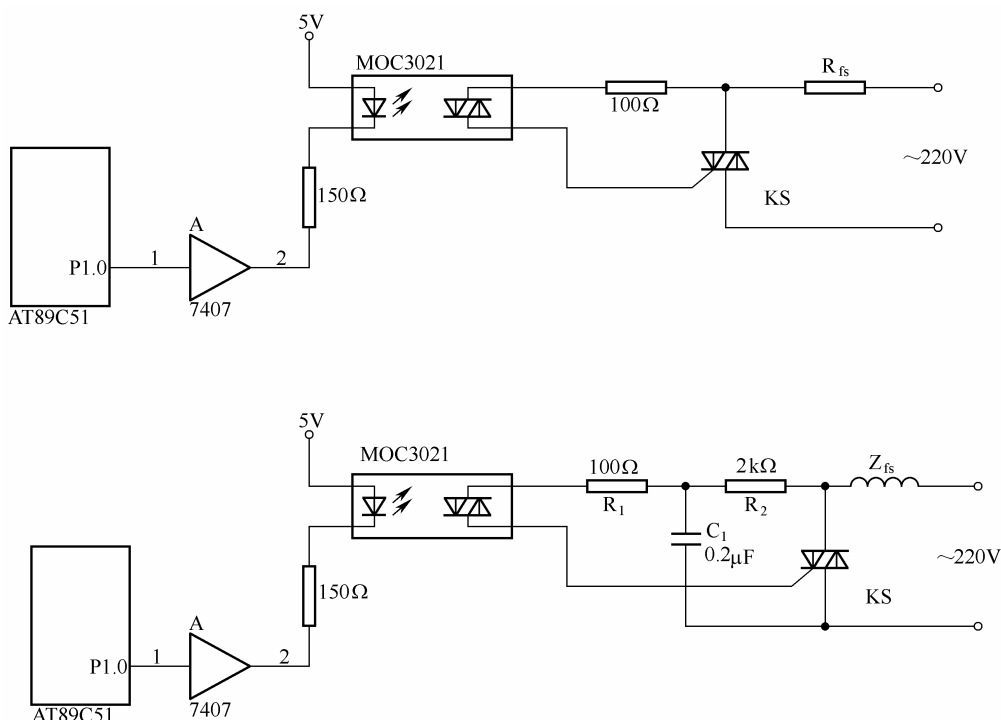


图 3-10 双向可控硅触发电路

设可控硅 KS 的门极触发电流为 50mA，触发电压为 2V，则最小触发电压为：

$$V_T = 300 \times 0.05 + 2 + 3 = 21.5V$$

当外接的双向可控硅功率较大时， I_{GT} 需要较大，这时最小控制角比较大，可能会超出使用的要求，解决的方法是在大功率可控硅和 MOC3021 之间再加入一个触发用的可控硅，这个触发用的可控硅的限流电阻可以用得比较小，所以最小控制角也可以做得比较小。

当负载为感性负载时，由于电压上升率 dv/dt 较大，有可能超出 MOC3021 允许的范围。因此，在 MOC3021 的输出回路中加入 R_2 和 C_1 组成的 RC 回路，降低电压上升率 dv/dt ，使 dv/dt 在允许的范围。按照 MOC3021 的技术指标，允许最大的电压上升率 $dV/dt = 10V/\mu s$ 。

在实际应用中，太大的电压上升率，对于外部的双向可控硅 KS 也是不允许的，所以在控制功率较大的使用场合，可控硅 KS 也需要加电阻电容串联的 RC 回路，由 RC 阻容回路与电流变压器的漏感组成滤波环节，使作用于可控硅 KS 上的电压上升率下降。这时，MOC3021 输出端的电压上升率也会下降，R 和 C 的数值可以减少。在一般情况下，R 可以在 $470\Omega \sim 1k\Omega$ 之间，C 可以在 $0.05\mu F \sim 0.15\mu F$ 之间。电容的大小根据负载电流的大小和电感大小确定。在一般的使用场合下，工作电流小于 20A 时，电容取 $0.1\mu F \sim 0.15\mu F$ 。RC 保护回路中，电阻的作用是防止电容器产生振荡以及减少可控硅导通时的电流上升率 di/dt 。一般情况下电阻取 51Ω 。

3.2.2.3 带过零触发的双向可控硅触发电路

在使用可控硅的控制电路中，常常要求可控硅在电源电压为零或刚过零时触发可控硅，减少可控硅导通时对电源的影响。这种触发方式称为过零触发。过零触发需要过零检测电路，有些光电隔离器内部含有过零检测电路，如 MOC3061 等。图 3-11 所示为使用 MOC3061 双向可控硅触发电路。

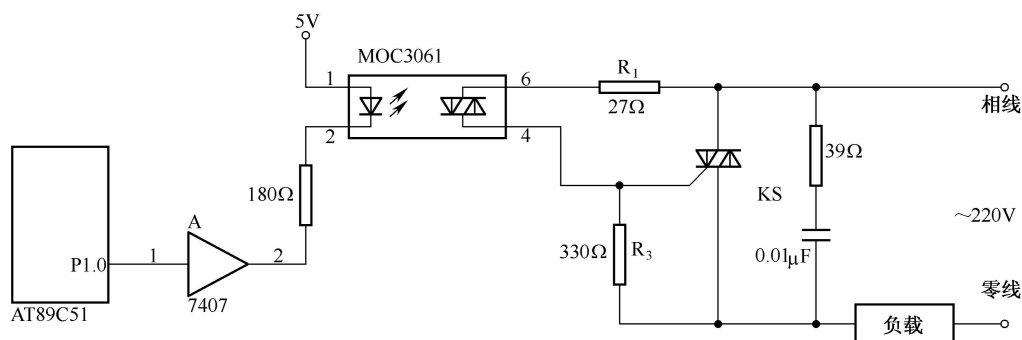


图 3-11 带过零触发的双向可控硅触发电路

MOC3061 输出端的额定电压是 600V，最大重复浪涌电流为 1A，最大电压上升率 dV/dt 可达 2000V/ μs ，输入输出隔离电压大于 7500V，输入控制电流为 15mA。

当 89C51 的 P1.0 端输出低电平时，MOC3061 的输入端约 16mA 的电流输入，在 MOC3061 的输出端 6 脚和 4 脚之间的电压稍过零时，内部双向可控硅导通，触发外部双向可控硅 KS 导通。当 P1.0 端输出高电平时，双向可控硅 KS 关断。MOC3061 在输出关断的状态下也有小于或等于 500 μA 的电流，加入 R_3 可以消除这个电流对外部双向可控硅的影响。 R_1 是 MOC3061 的限流电阻，用于限制流经 MOC3061 输出端的电流最大值不超过 1A。MOC3061 过零检测的电压值为 20V，所以限流电阻稍大于 20 Ω 。如果负载是感性负载，由于电感的影响，触发外部双向可控硅 KS 的时间延长，这时流经 MOC3061 输出端的电流会增加。所以在感性负载的系统中， R_1 的值需要增大。当负载的功率因数小于 0.5 时， R_1 取最大值。最大值由下式计算：

$$R_1 = V_p / I_p = \frac{220 \times \sqrt{2}}{1} = 311 \Omega$$

取 300 Ω ，在其他情况下可以取 27 $\Omega \sim 330 \Omega$ 。当 R_1 取的较大时，对最小触发电压会有影响。最小触发电压 V_T 由下式计算：

$$V_T = R_1(I_{R3} + I_{GT}) + V_{GT} + V_{TM}$$

式中： I_{R3} 为流过 R_3 的电流； I_{GT} 为可控硅 KS 门极触发电流； V_{GT} 为可控硅 KS 门极触发电压； V_{TM} 为 MOC3061 输出可控硅的导通压降，一般取约等于 3V。

与双向可控硅 KS 并联的 RC 回路用于降低双向可控硅所受的冲击电压，保护 KS 及 MOC3061。

3.3 继电器输出接口

以继电器触点作为开关量输出,是最常见的一种输出方式,在生产控制和电力系统中,为了驱动大型设备,往往利用继电器作为单片机系统输出到输出驱动级之间的第一级执行机构。通过第一级继电器输出,可完成从低压直流到高压交流的过渡。

由于继电器是利用改变金属触点位置,使动触点和定触点闭合或分开,所以具有接触电阻小、流过电流大和耐压高等优点,特别适用于大电流高电压的使用场合。小型继电器也常用作精密测量电路的转换开关。

3.3.1 继电器、接触器及其特性

常用的继电器也称为电磁式继电器。继电器中切换电路能力较强的电磁式继电器称为接触器。电磁式继电器用符号 J 表示,接触器用符号 C 表示,接触器的触点数一般较多。

继电器和接触器的执行机构是触点,它是用来接通和断开电路的部位。继电器和接触器工作的可靠性和寿命,在很大程度上取决于触点工作的好坏。在触点闭合导电时,接触部分总有接触电阻存在,当此电阻大到一定程度时,就有可能导致断路。特别是触点用来接通微小电压与电流时,触点上的表面膜不能被击穿或烧毁,影响到触点的接通。在触点分断时,往往伴随着电弧或火花,严重时可能会影响电路的切断。由于电弧与火花放电对触点产生电磨损。因此会降低继电器和接触器的使用寿命。电弧的大小与被切断电路的负载特性有关,如果切断的是电感性负载,由于电感能阻止电流变小并产生很高的感生电压,使熄弧的困难增加,所以同样的触点在切断电感性负载时的断流容量要比切断电阻性负载时小,一般为电阻性负载时的 30%。

继电器和接触器都是通过线圈产生磁场,使动触点运动的。继电器一般由衔铁带动触点运动。接触器由另一半可运动的铁芯带动触点运动。在线圈没有通电前,固定的铁芯与衔铁或动铁芯之间的距离比较大。线圈产生的磁力较小。当继电器和接触器吸合后,铁芯与衔铁或动铁芯之间的距离很小,线圈产生的吸力较大。用 X_1 表示吸合电流,用 X_2 表示释放电流,则返回系数 $K_f = X_2/X_1$ 。由于 X_2 总是小于 X_1 ,所以 K_f 总小于 1。返回系数是反映磁场产生的吸力特性与弹簧产生的反力特性配合紧密程度的一个参数。不同用途的继电器或接触器,往往要求不同的返回系数。例如,用作电源开关控制的继电器和接触器,为了避免电源电压波动的影响,要求 K_f 值较低,一般为 0.3 以下。而有些继电器,为了提高释放的速度和释放的可靠性,要求 K_f 值较高或要求释放值必须大于某一数值。当线圈中有不大的漏电流时,也能够正常工作。

继电器或接触器的工作电流要比吸合电流 X_1 大。用 X_3 表示工作电流,则 $K_0 = X_3/X_1$ 称为安全系数, K_0 通常为 1.5~4。

输出功率 P_{sc} 与线圈额定的输入功率 P_{sr} 之比,称为控制系数 K_p ,即 $K_p = P_{sc}/P_{sr}$ 。

线圈用直流电流供电的电磁系统,称为直流电磁系统;线圈用交流电源供电的电磁系统,

称为交流电磁系统。直流电磁系统线圈的工作电流不受工作状态的影响，是一个恒定值，大小由线圈的直流电阻和电源电压决定。在交流电磁系统中，磁通是随时间而交变的，线圈两端总存在交变的感应电势，线圈电流的大小主要受这个感应电势的影响。由于铁芯在打开位置时，线圈的电感较小，感应反电势也较小，所以线圈电流大。铁芯处在闭合位置时的电感大，感应反电势也大，所以线圈电流较小。线圈的电感量通常都是按闭合位置设计的，因此线圈匝数较小，直流电阻较小，不能在直流电源下工作。如果铁芯在吸合过程中被卡住，线圈的电流将会超过额定工作电流，这时容易使线圈过热甚至烧坏，也容易损坏驱动电路。所以驱动电路输出的电流值要留一定的余量。

电磁式继电器和接触器都是通过线圈产生磁场的，线圈具有一定的电感，当线圈中的电流变化时，线圈两端会感应产生一个反电势。当继电器吸合时，感应反电势阻止电流突然增加，使电流值需要经过一段时间后，才能达到吸合电流值。这段时间称为固有吸合时间 T_h 。在继电器释放时，铁芯中的磁通不能立即减少至零，需要经过一段时间后，动触点才能动作。这段时间称为固有释放时间 T_f 。在这段时间里，由于线圈的电流回路已经断开，所以线圈产生的感应反电势很大。这个反电势需要在线圈驱动电路中进行抑制，使它不超过驱动电路允许的范围。

继电器的线圈有两种工作类型，电压线圈与电流线圈。电压继电器采用电压线圈接受输入的电压信号，电流继电器采用电流线圈接受输入的电流信号。这两种不同的线圈，在本质上是相同的，都产生一定的磁势，即安匝数。电压线圈工作时与电源并接，电流线圈则串联在电路里使用。电压线圈的电气参数包括线圈电阻值，电感或匝数，吸合电压，释放电压和最大允许工作电压等。电流线圈电气参数包括线圈匝数，吸合电流，释放电流和最大允许工作电流等。

继电器的主要电气参数如下。

(1) 线圈电源和功率：指继电器线圈电源是直流还是交流以及线圈消耗的额定功率。一般用于微机控制系统的初级输出，其驱动端线圈常用直流型的。

(2) 额定工作电压或额定工作电流：指继电器正常工作时线圈需要的电压或电流值。一般同一种型号的继电器都有不同的额定工作电压和额定工作电流，以适应不同电路的需要。

(3) 线圈电阻：利用该值和额定工作电压，就可推知其额定工作电流。

(4) 吸合电压或电流：指继电器能产生吸合动作的最小电压或电流，其值一般为额定电压或电流值的 75% 左右。一般来讲，仅给继电器加吸合电压，其工作是不可靠的。

(5) 释放电压或电流：继电器两端的电压减小到一定数值时，继电器就从吸合状态转换到释放状态，释放电压或电流是指产生释放动作的最大电压或电流值，其值往往比吸合电压小得多，因此继电器类似于一种带大回差电压的施密特触发器。

(6) 接点负荷：继电器的接点在切换时能承受的电压和电流值是有限的，当继电器工作时其电流和电压都不应超过此值，否则会影响工作甚至损坏接点。一般同一型号的继电器的接点负荷值都是相同的。

3.3.2 继电器、接触器的功率接口

继电器、接触器的供电系统分为直流电磁系统和交流电磁系统，工作电压也较高，因此从单片机输出的信号需要经过驱动电路进行转换，使输出的驱动电压能够适应继电器或接触器线圈的要求。

继电器、接触器动作时，对电源有一定的干扰，为了提高单片机系统的可靠性，在单片机和继电器、接触器之间都用光电隔离器隔离。一些超小型的继电器，由于线圈工作电流较小，对电源的影响不大，也可以不加隔离电路。

3.3.2.1 直流电磁式继电器、接触器功率接口

直流电磁式继电器，接触器一般用功率接口集成电路或晶体管驱动。在使用较多继电器的系统中，适宜用功率接口集成电路驱动，例如使用集成电路 SN75468 等。一片 SN75468 可以驱动 7 个继电器，驱动电流可达 500mA，输出端最大工作电压为 100V。

常用的继电器大部分属于直流电磁式继电器，也称为直流继电器。如图 3-12 所示为直流继电器的接口电路图。

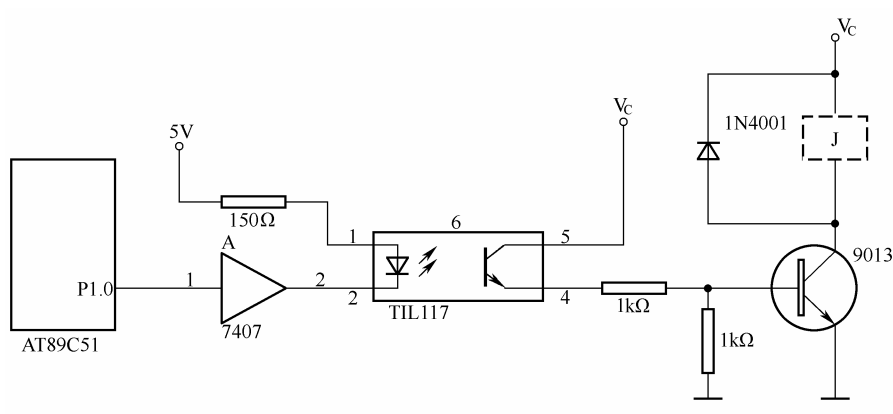


图 3-12 直流继电器接口

继电器的动作由单片机的 P1.0 端控制。P1.0 端输出低电平时，继电器 J 吸合；P1.0 端输出高电平时，继电器 J 释放。采用这种控制逻辑可以使继电器在上电复位或单片机受控复位时不吸合。

继电器 J 由晶体管 9013 驱动，9013 可以提供 300mA 的驱动电流，适用于继电器线圈工作电流小于 300mA 的使用场合。V_C 的电压范围是 6~30V。光电隔离器使用 TIL117。TIL117 有较高的电流传输比，最小值为 50% 光电隔离器的电流必须大于 13.6mA，才能保证向继电器提供 300mA 的电流。光电隔离器的输入电流由 7407 提供，电流约为 20mA。

二极管 D 的作用是保护晶体管 T。当继电器 J 吸合时，二极管 D 截止，不影响电路工作。

继电器释放时，由于继电器线圈存在电感，这时晶体管 T 已经截止，所以会在线圈的两端产生较高的感应电压。这个感应电压的极性是上负下正，正端接在晶体管 T 的集电极上。当感应电压与 V_c 之和大于晶体管 T 的集电结反向耐压时，晶体管 T 就有可能损坏。加入二极管 D 后，继电器线圈产生的感应电流由二极管 D 流过，因此不会产生很高的感应电压，晶体管 T 得到保护。

3.3.2.2 交流电磁式接触器的功率接口

交流电磁式接触器由于线圈的工作电压要求是交流电，所以通常使用双向可控硅驱动或使用一个直流继电器作为中间继电器控制。如图 3-13 所示为交流接触器的接口电路图。

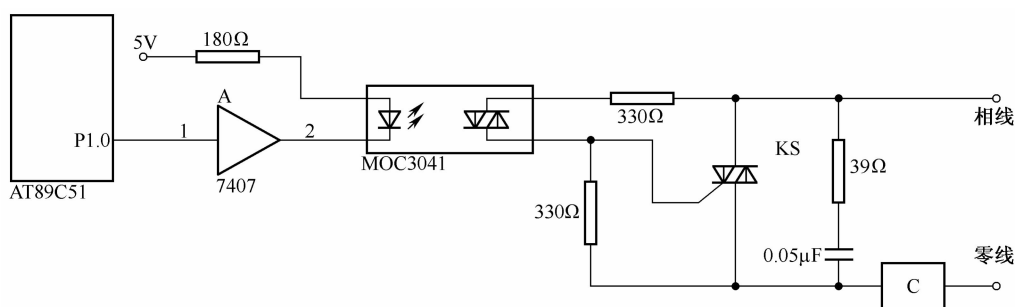


图 3-13 交流接触器接口

交流接触器 C 由双向可控硅 KS 驱动。双向可控硅的选择要满足以下条件：额定工作电流为交流接触器线圈工作电流的 2~3 倍，额定工作电压为交流接触器线圈工作电压的 2~3 倍。对于中、小型 220V 工作电压的交流接触器，可以选择 3A/600V 的双向可控硅。

光电隔离器 MOC3041 的作用是触发双向可控硅 KS 以及隔离单片机系统和接触器系统。MOC3041 的输入端接 7407，由单片机的 P1.0 端控制。P1.0 输出低电平时，双向可控硅 KS 关断，接触器 C 吸合。P1.0 输出高电平时，双向可控硅 KS 导通，接触器 C 释放。MOC3041 内部带过零控制电路，因此 KS 工作在过零触发方式。

3.4 固态继电器输出接口

固态继电器是一种无触点通断电子开关，为实现输入与输出之间的电气隔离，使用了光电隔离技术，利用高耐压的专用光耦实现隔离。当在输入控制端施加信号时，其受控输出通道呈导通状态，无信号时，可呈阻断状态，因而可实现电磁继电器的功能。

由于固态继电器的断开和闭合均为无触点，无火花，所以与电磁继电器相比，它具有体积小，重量轻，工作可靠，寿命长，对外界干扰小，能与逻辑电路兼容，抗干扰能力强，开关速度快，使用方便等一系列优点。同时由于固态继电器采用整体集成封装，使其具有耐腐蚀、抗振动、防潮湿等特点，因而在许多领域有着广泛地应用，在某些应用领域有逐步取代传统电

磁继电器的趋势；特别是在计算机和可编程控制器的输入输出接口，计算机外围和终端设备，机械控制、过程控制等场合中，更有传统电磁继电器无可比拟的优越性。

按负载电源类型分类，固态继电器可分为直流型固态继电器（DC-SSR）和交流型固态继电器（AC-SSR）两种。DC-SSR 一般以功率晶体管作为开关元件，而 AC-SSR 以双向可控硅作为开关元件，分别用来接通或关断直流或交流负载电源。

3.4.1 直流型固态继电器

直流型固态继电器（DC-SSR）可分为三端型和两端型，其中两端型为多用途开关，其电路原理图如图 3-14 所示。由 DC-SSR 的电器原理可知，其输入端为一光隔，因此可用 OC 门或晶体管直接驱动，驱动电流一般小于 15mA，输入电压为 4~32V。其输出端为晶体管输出，输出断态电流一般小于 5mA，输出工作电压 30~180V，开关时间小于 200μs，绝缘度为 7500V/s。

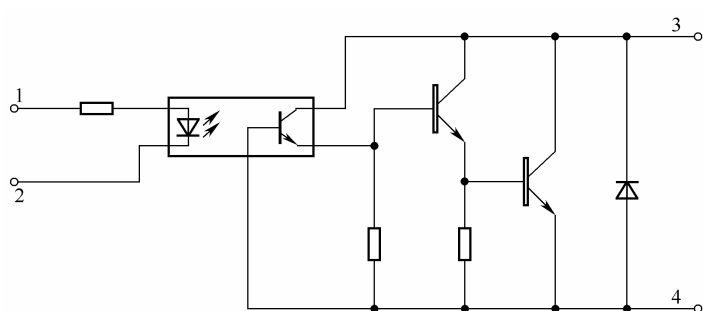


图 3-14 直流固态继电器原理

图 3-15 是一典型接口电路，所接负载为感性负载，对电阻型负载，可直接加负载设备。

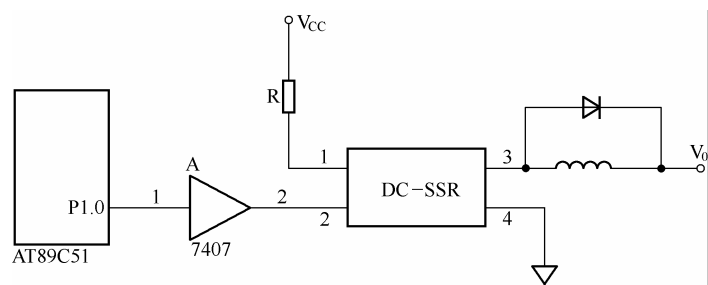


图 3-15 DC-SSR 接口电路

3.4.2 交流型固态继电器

交流型固态继电器（AC-SSR）可分为过零（过零触发）型和随机导通（调相）型两种，

它们的主要区别在于负载端导通的条件不同。对于随机导通型 AC-SSR，当在其输入端加上导通信号时，不管负载电源电压处于何种相位状态下，负载端立即导通。由于是在交流电源的任意相位上导通，因而在导通瞬间可能产生较大的干扰。而对于过零型 AC-SSR，当在其输入端加上导通信号时，负载端并不一定马上导通，只有当电源电压过零时才能导通，因此减少了可控硅接通时的干扰，高次谐波干扰少，可用于计算机 I/O 接口等场合。

由于双向可控硅 (TRIAC) 的关断条件是栅极导通电压撤除，同时负载电流必须小于双向可控硅导通的维持电流。因此，对于随机导通型和过零型 AC-SSR，在导通信号撤除后，都必须在负载电流小于双向硅维持电流时才关断，可见这两种 SSR 关断条件是相同的。

AC-SSR 的输入电压为 4~32V，开关时间小于 200 μ s，输入电流小于 500mA，因此可以加接一晶体管直接驱动。其输出工作电压为交流，可用于 220V 和 380V 等。

由于采用可控硅作为开关器件，因此 AC-SSR 存在通态压降和断态漏电流，通态压降一般小于 2V，输出断态电流一般小于 10mA。在控制小功率执行器的场合，要考虑 AC-SSR 的这两项参数，防止发生误动作。一般在电路设计中应让 SSR 的开关电流为断态电流的 10 倍以上，负载电流若小于该值，则应并联电阻以提高开关电流，当接感性负载时也可采用这种方法来避免误动作，如图 3-16 所示。

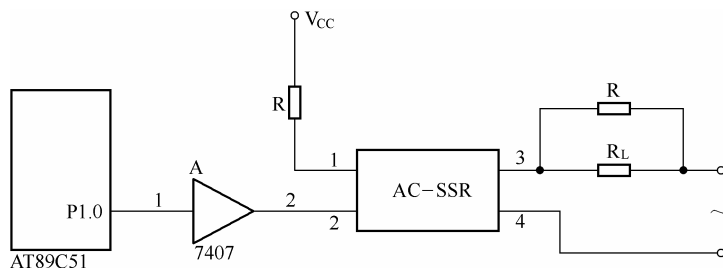


图 3-16 AC-SSR 控制小电流负载

另外，尽管在 SSR 输出电路中已增加了浪涌吸收电路，但实际使用时，建议在 SSR 输出端并接一压敏电阻。金属氧化锌压敏电阻具有优良的负阻特性，大的通流特性，小的残压比，将其并联在 SSR 输出端两端，能抑制过压，吸收感性负载的浪涌电压，提高 SSR 工作可靠性。

压敏电阻的选择应根据负载电压而定，如负载电压为 220VAC 时，可选用 430/470V 的压敏电阻，而负载电压为 380VAC 时，宜选用 750/820V 的压敏电阻。

为增加电路可靠性，保护 SSR，在驱动感性负载时可在 SSR 输出端外接 RC 吸收回路和压敏电阻。如图 3-17 所示为利用 DC-SSR 控制单向交流电机正反转的电路图，其中的 R_p 、 C_p 组成 RC 吸收电路， R_M 为压敏电阻。在输入信号电平控制下，当 SSR1 导通，SSR2 截止时，电机绕组 A 接通；而当 SSR1 截止，SSR2 导通时，电机绕组 B 接通，这样就实现了电机绕组的电压换向。

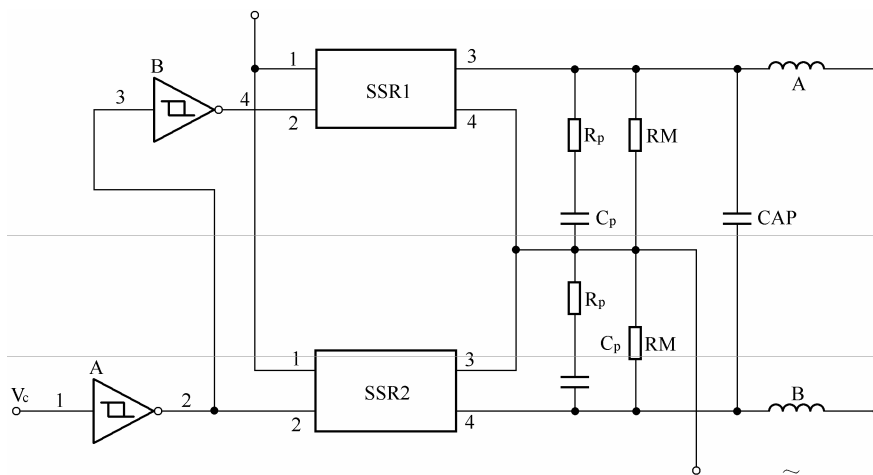


图 3-17 SSR 控制单向交流电机

在固态继电器的应用中，要注意下列问题。

(1) 当工作环境温度升高时，SSR 的负载能力随之有所下降，因此在选用时应留有一定的余量。当 SSR 导通时，将承受热耗散功率。在实际使用时要根据实际工作环境，合理选用散热器尺寸，或降低电流使用，否则器件将因过热引起失控，甚至造成器件损坏。若在线路板上使用，工作电流在 2A 和 3A 时，可选用额定工作电流分别为 3A 和 4A 的 SSR。当工作电流在 10A 以下时，可采用散热条件良好的仪器底板，30A 以下可采用自然风冷，当大于 30A 时，应采用仪表风扇强制冷却。

对于白炽灯、电炉等电阻类负载，由于具有“冷阻”特性，可能开通瞬间会引起冲击电流过大（一般为负载电流的 7 倍），导致器件可能超过额定最大允许工作电流而造成损坏。对于这类负载，在电流容量的选择上要留有余地。

负载短路极易造成 SSR 损坏，必须极力避免，也可以采用快速熔断器等。

(2) SSR 属于电流输入型器件，当输入端激励不足时有可能造成功率可控硅处于临界导通边缘，并造成主负载电流流经触发回路，引起器件损坏。因此在使用时，应先测试一下驱动电路的电压及电流指标，无误后再加入负载电源。

(3) 当 SSR 的负载能力不能满足要求时，可以外接功率扩展器。如 DC-SSR 可外接大功率晶体管 and 单向可控硅。AC-SSR 可采用大功率双向可控硅。用大功率可控硅扩展的 SSR 无 RC 吸收回路，这是由于电源上电时 RC 回路的充放电会产生误动作。

(4) SSR 本身也是一种干扰源，干扰的程度视负载的大小而不同。采用过零型 SSR 造成的干扰较随机导通型小。减小干扰的方法是负载串联电感线圈，另外在布线时也应避免信号线与功率线之间的交叉干扰。

3.5 数/模转换接口

单片机在用于实时控制系统时，有时会遇到控制对象需用模拟量来控制的情况，如 DDZ 电动组合单元仪表、变频调速器等，此时，就需要把计算机运算处理的结果（数字量）转换为相应的模拟量，以便操纵控制对象，这一过程即为“数/模转换”D/A（Digit to Analog）。能实现 D/A 转换的器件称为 D/A 转换器或 DAC，CPU 与 DAC 的接口是计算机与外界联系的重要接口。

3.5.1 DAC 电路原理

D/A 转换是数字量信号转换成与之成正比的模拟量。一个二进制数是由各位代码组合起来的，每位代码都有一定的权。为了将数字量转换成模拟量，应将每一位代码按权大小转换成相应的模拟输出分量，然后根据叠加原理将各代码对应的模拟输出分量相加，其总和就是与数字量成正比的模拟量，由此完成 D/A 转换。

为实现上述 D/A 转换，需要使用解码网络，解码网络的主要形式有二进制权电阻解码网络和 T 型电阻解码网络。

权电阻网络 D/A 转换法是用一个二进制数的每一位产生一个与二进制数的权成正比的电压，然后将这些电压加起来，就可得到与该二进制数所对应的模拟量电压信号。选用不同的加权电阻网络，就可得到不同编码数的 D/A 转换器。但是，在二进制数的位数较多的情况下，加权电阻阻值的分散性也增大，给生产带来困难，也影响精度。所以，此种方法一般是不用的，这里主要介绍 T 形电阻网络 D/A 转换法。

3.5.1.1 T 形电阻网络 D/A 转换法

实际应用的 D/A 转换器多数都采用 T 形电阻网络，如图 3-18 所示为其结构原理图，包括一个 4 位切换开关、4 路 R-2R 电阻网络、一个运算放大器和一个比例电阻 R_F 。

T 形电阻网络整个电路是由相同的电路环节所组成，每节有两个电阻（R、2R），一个开关，相当于二进制数的一位，开关由该位的代码所控制。由于电阻接成 T 形，故称 T 形解码网络。此电路采用了分流原理实现对输入位数字量的转换。图中无论从哪一个 R-2R 节点向上或向下看，等效电阻都是 2R。从 $d_0 \sim d_3$ 看进去的等效输入电阻都是 3R，于是每一开关流入的电流 I 可以看做相等，即 $I = V_R / 3R$ 。这样由开关 $d_0 \sim d_3$ 流入运算放大器的电流自上向下以 1/2 系数逐渐递减，依次为 1/2I、1/4I、1/8I、1/16I。设 d_3 、 d_2 、 d_1 、 d_0 为输入的二进制数字量，于是输出的电压值为：

$$\begin{aligned} V_0 &= -R_F \sum I_i = -(R_F \times V_R / 3R) \times (2^{-1}d_3 + 2^{-2}d_2 + 2^{-3}d_1 + 2^{-4}d_0) \\ &= -[(R_F \times V_R / 3R) \times 2^{-4}] \times (2^3d_3 + 2^2d_2 + 2^1d_1 + 2^0d_0) \end{aligned}$$

式中 $d_0 \sim d_3$ 取值为 0 或 1，0 表示切换开关与地相连，1 表示切换开关与参考电压 V_R 接通，该位有电流输入。这就完成了由二进制数到模拟量电压信号的转换。由此公式可以看出

V_R 与 V_0 的电压符号正好相反。即要使输出电压 V_0 为正，则 V_R 必须为负。

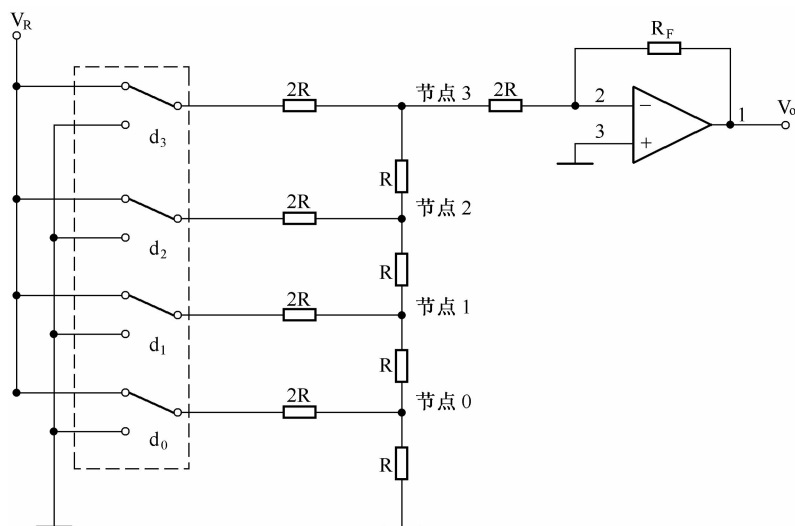


图 3-18 T 形电阻网络 D/A 转换原理

D/A 输出电压值的大小不仅与二进制数有关，而且与运算放大器的反馈电阻 R_F 、基准电压 V_R 有关，当 D/A 设置为满刻度值时，可以通过这两个参数调整电压的最大输出值。

3.5.1.2 D/A 转换器的主要技术指标

1. D/A 转换速度

D/A 转换器从输入二进制数到转换成模拟量电压输出的过程，需要经历一定的时间，这就是 D/A 转换的速度，不同类型的 D/A 转换速度多数是不同的，但一般均在几十微秒到几百微秒的范围内。

由于计算机的运行速度高于 D/A 转换速度，所以无论是什么类型的 D/A 转换器，都必须在接口中安置锁存器，使短暂的输出信号锁存，为 D/A 转换器提供足够时间稳定的数字信号。

2. D/A 转换精度

D/A 转换精度主要决定于输入 D/A 转换器的二进制位数。例如 4 位 D/A 转换器的相对误差为 $1/16$ ，而 8 位 D/A 转换器的相对误差为 $1/256$ 。显然，二进制位数越多，精度越高。此外，基准电压的稳定精度也直接影响转换精度。

3.5.2 典型 D/A 转换器及接口

D/A 转换器有很多现成的集成电路芯片，只需要掌握典型的 DAC 集成电路性能及其与单片机之间接口的基本知识，就可以根据应用系统的要求，合理选取 DAC 集成电路芯片，并配置适当的接口电路。

3.5.2.1 8 位 D/A 转换器 DAC0832

DAC0832 是使用较多的一种 8 位 D/A 转换器，其引脚如图 3-19 所示。

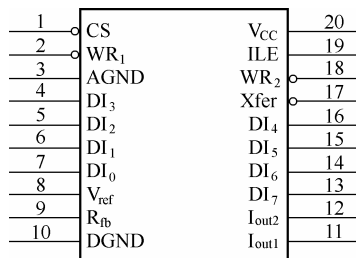


图 3-19 DAC0832 的引脚

1. DAC0832 的结构和引脚

DAC0832 主要由两个 8 位寄存器和一个 8 位 D/A 转换器组成。使用两个寄存器（输入寄存器和 DAC 寄存器）的好处是可以进行两次缓冲操作，使该器件的操作有更大的灵活性。

DAC0832 的转换原理与 T 形解码网络电路一样。

DAC0832 芯片为 20 脚双列直插式封装，各引脚功能如下：

- DI₀~DI₇：数据输入线，TTL 电平，有效时间应大于 90ns；
- ILE：数据锁存允许控制信号输入线，高电平有效；
- CS：片选信号输入线，低电平有效；
- WR₁：输入寄存器的写选通输入线，负脉冲有效，脉冲宽度应大于 500ns，当 CS 为 0，ILE 为 1 且 WR₁ 有效时，DI₀~DI₇ 状态被锁存到输入寄存器；
- XFR：数据传输控制信号输入线，低电平有效；
- WR₂：DAC 寄存器写选通输入线，负脉冲有效，脉冲宽度应大于 500ns，当 XFER 为 0 且 WR₂ 有效时，输入寄存器的状态被传送到 DAC 寄存器中；
- I_{out1}：电流输出线，当输入全为 1 时，I_{out1} 最大；
- I_{out2}：电流输出线，其值和 I_{out1} 值之和为一常数；
- R_{fb}：反馈信号输入线，芯片内部有反馈电阻；
- V_{cc}：电流电压线，范围为 +5V~+15V；
- V_{ref}：基准电压输入线，V_{ref} 范围为 -10V~+10V；
- AGND：模拟地，为模拟信号和基准电源的参考地；
- DGND：数字地，为工作电源地和数字逻辑地，两种地线在基准电源处一点共地比较恰当。

DAC0832 是电流型输出，应用时需外接运算放大器使之成为电压型输出。

2. DAC0832 的应用

根据对 DAC0832 的输入寄存器和 DAC 寄存器的不同控制方法，可有 3 种工作方式：单

缓冲方式、双缓冲方式和直通方式。下面介绍前两种方式的接口及应用。

(1) 单缓冲方式的应用。

此方式适用于只有一路模拟量输出或几路模拟量非同步输出的情形。在这种方式下，将二级寄存器的控制信号并接，输入数据在控制信号作用下，直接打入 DAC 寄存器中。如图 3-20 所示为 0832 在这种方式下与 89C51 的连接方法。

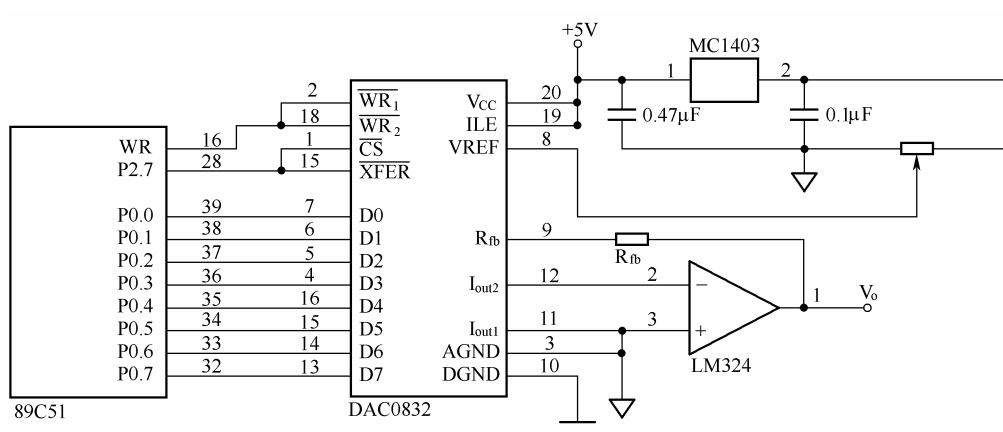


图 3-20 0832 在单缓冲方式下与 89C51 的接口

图 3-20 中，ILE 接+5V，片选信号 CS 和传送信号 XFER 都连到 P2.7，这样输入寄存器和 DAC 寄存器的地址都是 7FFFH。写选通线 WR₁ 和 WR₂ 都和 89C51 的写信号 WR 接，CPU 对 0832 执行一次写操作，则把一个数据直接写入 DAC 寄存器，0832 的输出模拟信号随之对应变化。

D/A 转换器的基准电压 V_{ref} 取自基准电源 MC1403 的输出分压。MC1403 称带隙基准电源，其最大优点是高精度低温漂，输入电压在 4.5V~15V 之间，输出电压在 2.5V 附近。最大输出电流为 10mA。

根据图 3-20，可以编出许多种波形输出的 D/A 转换程序，程序如下：

① 锯齿波。

```
START:  MOV    DPTR,#7FFFH           ;选中 DAC0832
        MOV    A,#00H
LP:     MOVX   @DPTR,A               ;向 0832 输出数据
        INC    A                     ;累加器值加 1
        JR     LP
```

若要改变锯齿波的频率，只需在 JR LP 前插入延时程序即可。

② 三角波。

```
START:  MOV    DPTR,#7FFFH           ;选中 DAC0832
        MOV    A,#00H
```

```

UP:      MOVX    @DPTR,A
          INC     A
          JNZ     UP                ;上升到 A 中为 FFH
DOWN:    DEC     A
          MOVX    @DPTR,A
          JNZ     DOWN            ;下降到 A 中为 00H
          SJMP    UP              ;重复

```

③ 矩形波。

```

START:   MOV     DPTR,#7FFFH
LP:       MOV     A,#dataH          ;输出矩形波上限
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL   DELH              ;调高电平延时程序
          MOV     A,#dataL          ;置输出矩形波下限
          MOVX    @DPTR,A
          LCALL   DELL              ;调低电平延时程序
          SJMP    LP                ;重复

```

④ 梯形波。

```

START:   MOV     DPTR,#7FFFH
LI:       MOV     A,#dataL          ;置下限
UP:       MOVX    @DPTR,A
          INC     A
          CLR     C
          SUBB    A,#dataH          ;与上限比较
          JNC     DOWN
          ADD     A,#dataH
          SJMP    UP
DOWN:     CALL    DEL                ;调上限延时程序
L2:       MOVX    @DPTR,A
          DEC     A
          SUBB    A,#dataL          ;与下限比较
          JC      L1
          SJMP    L2

```

(2) 双缓冲方式的应用。

DAC0832 也可方便地工作于双缓冲器工作方式,这是用于同时输出几路模拟信号的场合。此时,每一路模拟量输出需一片 DAC0832,构成多个 0832 同步输出系统。图 3-21 为 0832 按双缓冲工作方式与 89C51 连接形成的二路模拟信号同步输出的图形显示应用系统。

图 3-21 中,0832 的输入寄存器的锁存信号和 DAC 寄存器的锁存信号是分开控制的,1#0832 的输入寄存器地址为 7FFFH,2#0832 的输入寄存器地址为 0BFFH,1#和 2#0832 的 DAC 寄存器地址均为 00FBH,1#和 2#0832 的输出分别接图形显示器的 X 和 Y 偏转放大器输入端。

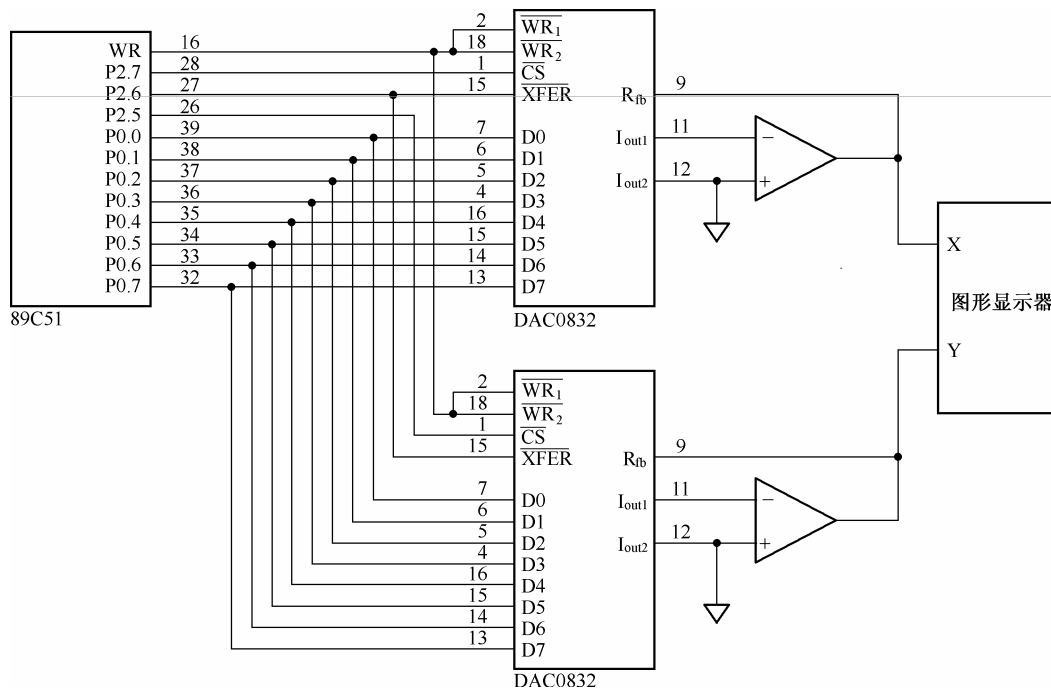


图 3-21 0832 在双缓冲方式下与 89C51 的接口

工作时，先将要输出的 X、Y 数据分别送入 1#和 2#0832 的输入寄存器，然后发传送命令，则各输入寄存器的数据被同时送入 DAC 寄存器中，由 DAC 转换电路进行转换，在各输出端就能获得同步模拟信号。

执行下段程序，将使图形显示器的光点更新位置。

```

ORG      2000H
MOV      DPTR,#00FEH
MOV      A,#datax
MOVX     @DPTR,A           ;datax 写入 1#0832 输入寄存器
MOV      DPTR,#00FDH
MOV      A,#datay
MOVX     @DPTR,A           ;datay 写入 2#0832 输入寄存器
MOV      DPTR,#00FBH
MOVX     @DPTR,A           ;1#和 2#输入寄存器内容同时传送到 DAC 寄存器中

```

3.5.2.2 10 位 D/A 转换器 AD7520

AD7520 是一种价廉、低功耗、不带数据锁存器的 10 位 D/A 转换电路，其内部是由 CMOS 电流开关和梯形电阻网络构成，结构简单、通用性好、配置灵活，且有 10 位中等分辨率，故至今仍在使用的。


```
MOV    DPTR,#0BFFFH
MOV    A,#dataH
MOVX   @DPTR,A           ;高 2 位数据送第一级 74LS74
MOV    DPTR,#7FFFH
MOV    A,#dataL           ;低 8 位数据送 74LS377
MOVX   @DPTR,A           ;高 2 位数据同时送第二级 74LS74
RET
```

3.6 步进电机功率接口

在单片机应用系统中，常常要用到步进电机，以实现对生产过程或设备的数字控制。它和单片机数字系统结合可以把脉冲数转换成角位移，并且可用作电磁制动轮、电磁差分器、电磁减法器或角位移发生器等。

步进电机具有启停迅速、精确步进、能直接接受数字量的特点，是一种十分重要和常用的自动化执行元件。

3.6.1 步进电机工作原理

3.6.1.1 步进电机的结构

步进电机在定子和转子间依靠电磁作用产生步进作用，一般有多相绕组，它有良好的可靠性及快速性。工业应用上大量用作状态伺服元件、状态指示元件及功率伺服拖动元件，有时也作位置控制、速度控制元件。

根据转子的结构形式，可以分成永磁转子电机或反应式转子电机，它们也简称为永磁式步进电机或反应式步进电机。永磁式步进电机的转子由永久磁钢制成，也有通过滑环供电的直流激磁绕组制成；反应式步进电机的转子由软磁材料制成齿状，在这种步进电机的转子中没有绕组。

反应式步进电机具有力矩/惯性比高、步进频率高、频率响应快、不通电时可自由转动、可双向旋转、结构简单和寿命长等特点。因此，在单片机应用系统中大量使用的是反应式步进电机。后面的介绍均以反应式步进电机为例。

图 3-24 所示是一个三相反应式步进电机。由图中可以看出，反应式步进电机的结构，分为定子和转子两大部分。在定子上有六个大极，每个大极绕有绕组。对称的大极绕组形成一组绕组，也即形成一相控制绕组，这样分别产生了 A、B、C 三相绕组。由于这三相控制绕组的存在，才使步进电机产生起动力矩。在每个大极上，面向转子的部分分布着多个小齿，这些小齿呈梳状布列，大小相同，间距相等。转子中的小齿和定子的齿形状相似、齿距相同。如果 A 相大极上的齿和转子的齿对齐，则 B 相和 C 相大极的齿必定不能与对应的转子齿对齐，这些错齿是步进电机能实现旋转的根本原因。

在实际制造中，为了提高步进的精度，使错齿的角度减少，往往把定子做成多段结构，

使定子和转子的错齿角度很小，从而使步进电机在步进转动时能实现步距很小的步进。反应式步进电机的步距角一般很小，例如 3° 、 1.8° 、 1.5° 、 1° 、 0.75° 、 0.5° 等。

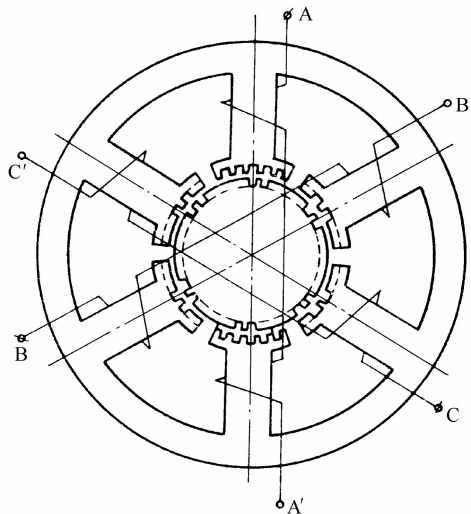


图 3-24 三相反应式步进电机结构

3.6.1.2 步进电机的工作原理

步进电机的工作电源一般都是单极性的直流电。通过对步进电机各相绕组进行恰当的时序方式通电，就可以使步进电机产生步进转动。

图 3-24 中，初始状态时，接通 A 相绕组，则 A 相磁极和转子齿对齐；此时 B、C 相绕组磁极形成错齿状态。当 B 相绕组接通后，由于 B 相绕组和转子齿之间的磁力线作用，使得转子转动到和 B 相磁极对齐；此时 A、C 相绕组磁极又形成错齿状态。当 C 相绕组接通后，由于 C 相绕组和转子之间的磁力线的作用，使得转子转动到和 C 相磁极对齐；此时 A、B 相绕组磁极又产生错齿。

当再次接通 A 相绕组后，由于 A 相绕组磁极和转子之间的磁力线的作用，使得转子转动到和 A 相磁极对齐。按此顺序循环，则形成了步进旋转。

这种方法是把反应式步进电机步距角分得更小，从而使步进过程平稳畅顺。这种方法主要是把步进电机绕组中的稳定电流分成多级大小，每进一步时，则是换一个电流级别。在本质上也是对定子的旋转磁场进行细分步。

3.6.1.3 步进电机的工作方式

对一相绕组通电的操作称为一拍。对于三相反应式步进电机，工作方式有三拍和六拍之分。

1. 单三拍工作方式

三相反应式步进电机各相分别为 A、B、C 相。如果换相方式为 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ，则电流切

换三次，即换相三次时，磁场就会旋转一周，同时转子转动一个齿距。这种通电方式称单三拍方式。所谓“单”是指每次对单相通电；所谓“三拍”，是指换相三次磁场旋转一周，转子移动一个齿距。

2. 双三拍工作方式

在步进控制中，如果每次都是两相通电，控制电流切换三次，磁场旋转一周，转子移动一个齿距位置，则称双三拍工作方式。在双三拍工作方式中，每拍通电的相和转换情况为：

$$AB \rightarrow BC \rightarrow CA \rightarrow AB$$

双三拍工作方式时，步距角和单三拍时一样，并且每两相之间形成的差角也一样。

双三拍工作方式时，每一拍中都是两相通电，而每一相都是每次连续通电两拍。所以在双三拍工作方式中，电源所提供的功率比较大。而且对于每一个磁极绕组，它的电流上升时间都足够长，是单三拍时的两倍，所以电流幅值也较大。因此，双三拍工作时，电机的转动力矩比单三拍大。此外，这种方式还不容易产生失步，是常用的一种工作方式。

3. 六拍工作方式

对三相反应式步进电机进行控制时，把单三拍和双三拍工作方式结合起来，就产生了六拍工作方式。在六拍工作方式中，通电的相数为：

$$A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CA \rightarrow A$$

在六拍工作方式中，控制电流切换六次，磁场旋转一周，转子移动一个齿距。如果转子有 40 齿，那么齿距角为 9° 。则每一步转子齿转动 $9^\circ/6$ ，步距角为 1.5° 。显然六拍工作方式比单三拍或双三拍的步进精度都高出一倍。

此外，这种工作方式，每相是三拍连续通电，因此电机的转动力矩最大，旋转平滑性好。

3.6.2 步进电机的功率接口

单片机控制的步进电机工作系统如图 3-25 所示。步进电机工作方式所需的各相脉冲信号由单片机的 I/O 口输出，功率放大电路对输出的脉强弱信号进行放大，产生电机工作所需的激励电流。

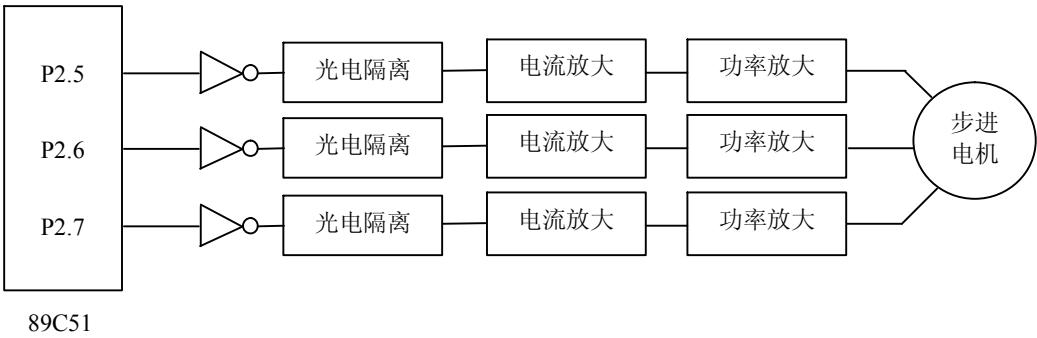


图 3-25 工作控制系统框图

对于三相反应式步进电机，无论在什么工作方式下都需要三路控制电路，每一路对应于步进电机的一相，且每一路控制电路的结构都相同。

功率放大电路对步进电机的性能有十分重要的作用。功率放大电路有单电压、双电压、斩波型、调频调压型和细分型等许多形式的电路。在这些功率放大电路中，功放晶体管一般设计处于过饱和和工作状态下，下面介绍几种典型电路。

3.6.2.1 单电压功率放大电路

如图 3-26 所示， L 是步进电机一相绕组的电感， R_L 是绕组电阻。外接电阻 R_C 是一个限流电阻，也是改善回路时间常数的元件，用以改进步进电机的高频性能。 D 是续流二极管，在续流二极管 D 回路中串联电阻 R_d ，对回路的放电时间有较大的改善作用。

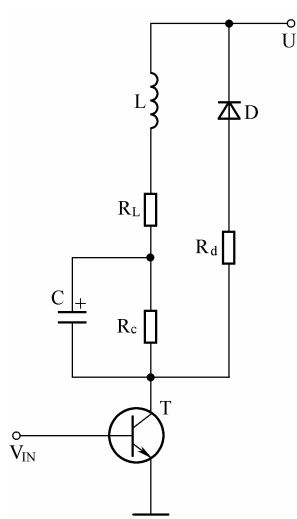


图 3-26 单电压功率放大电路图

在 R_C 上并联电容 C 可以改善注入步进电机绕组的电流脉冲前沿。当功率放大电路输入控制信号令功率晶体管 T 导通瞬间，电流通过电容流过绕组，所以有一个瞬间的冲击电流注入绕组中；这样就使注入电流的前沿明显变陡，从而提高了步进电机的高频性能。在功率放大电路的电压 U 和外接电阻 R_C 不变的条件下，并联电容 C 能使在一个步进的周期中注入绕组的平均电流值相对增加。这就提高了步进电机的转矩，特别在高频段工作时最为明显。这种并联电容的单电压功率放大电路在实际应用中有着较多的应用。不过这种电路也有不足的地方，这就是在低频工作时会使振荡有所增加，引起低频性能变差。

3.6.2.2 单电压恒流功放电路

恒流功放电路是单电压功率放大电路的一种改进电路。这个电路的最大特点是用恒流源代替了外接电阻 R_C 。在功率放大电路中，恒流源可连在电源端，也可以连在接地端。无论如何连接，它们的作用都是向步进电机的绕组提供恒定电流。

恒流功放电路如图 3-27 所示, 晶体管 T_1 、 T_2 和 R_L 、 L 、 D_1 、 R_d 组成单电压的基本功率放大电路, 只是在 T_1 、 T_2 集电极回路中没有外接电阻 R_c 。在电路中 T_1 是功率放大管, T_2 是电流放大管, 它们组成了放大倍数足够大的功放级复合管。晶体管 T_3 、二极管 D_2 、 D_3 、电阻 R_b 、 R_e 一起组成了恒流源。

采用单电压恒流功放电路的功耗大为降低, 提高了电源的效率。

3.6.2.3 斩波平滑功放电路

斩波平滑功放电路和工作原理如图 3-28 所示。这个电路和单电压功放电路有点相似, 但在电路中没有外接电阻 R_c , 故比单电压功放电路更简单。斩波平滑功放电路的关键在于控制电路。由图 3-28 中可看出, 斩波平滑功放电路的功率级由电机绕组 L 、绕组电阻 R_L 、功放管 T 、泄放回路电阻 R_d 、二极管 D 组成, 控制级由与门 Y 组成。

工作的时候, 在与门 Y 的 V_{IN} 端输入步进方波, 在 V_m 端输入一个脉冲序列, 则在与门 Y 的输出端产生一个受控于 V_{IN} 的间歇脉冲序列 V_b 。这个脉冲序列驱动功放管 T , 使 T 处于高频开关斩波状态, 而在步进电机的绕组上产生如图 3-28 所示的电流 i 。

步进电机绕组电流 i 的大小由电源 U 和高频脉冲序列的脉宽决定。要保持电流 i 的值不变, 在提高电源电压 U 的同时, 应减少脉冲序列的脉宽 T_{ON} 。

高频脉冲序列脉宽的减少, 可以近似看作电源电压的减少。不过在斩波平滑功放电路中, 电机绕组电流 i 比低压的单电压功放电路产生的绕组电流上升快, 所以其高频性能较好; 而且比高压的单电压功放电路产生的绕组电流上升情况平缓, 从而不会在电流上升的时间内产生过量的能量, 使电机的运行比较平稳, 低频振荡的现象得到有效抑制。这也是这种电路称为斩波平滑功放电路的原因。

电路的性能除了通过调节电源电压来改善外, 在电源 U 固定的情况下, 可通过调节斩波的高频脉冲序列的频率以及其脉宽来改变。值得指出的是, 主要影响电流波形上升沿的是脉冲序列的频率。

采用斩波平滑功放电路, 比采用普通单电压功放电路的工作频率可提高大约 10%, 力矩也可以提高 10%~25%。特别效率的提高尤其显著, 在输出功率相同的情况下, 斩波平滑功放电路只需要普通单电压功放电路大约一半的输入功率。

3.6.2.4 恒频脉冲调宽细分功率放大电路

恒频脉冲调宽细分控制在本质上是斩波型的恒频脉宽调制方法和可变细分控制相结合的

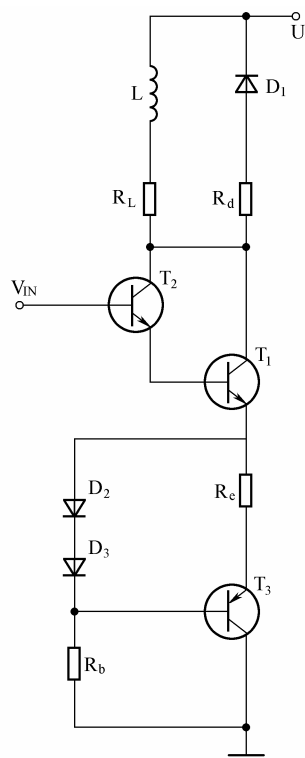


图 3-27 单电压恒流功放电路图

一种方法。它在产生阶梯信号时利用可变细分控制原理，以阶梯电压信号控制功放管产生阶梯电流；而在控制电流信号的波顶平稳时，则用恒频脉宽调制的思想。由于恒频脉冲调宽细分控制利用了可变细分和恒频脉宽调制的特点，因此避免了可变细分的功率管要工作在线性区而引起的效率低的缺点。也避免了数字脉宽调制时需要对阶梯电流的上升时间、下降时间以及稳流脉宽、稳流脉冲周期的计算问题。

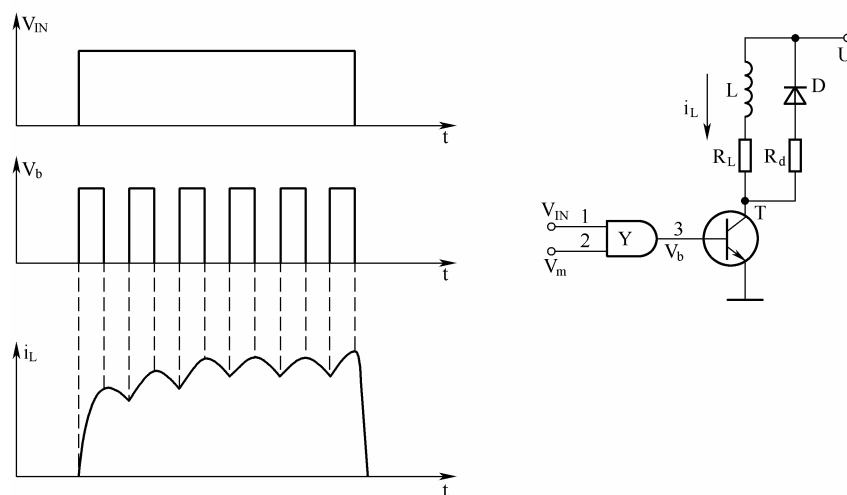


图 3-28 斩波平滑功放电路图

恒频脉冲调宽细分功放电路如图 3-29 所示。单片机是这种控制方法的信号发生源，它由内部定时器产生的 20kHz 信号（即方波），经定时信号输出端 TE 送去进行恒频脉宽调制。由它的控制产生的阶梯电压首先以数字形式送到 D/A 转换器，在 D/A 转换器的输出端形成阶梯电压 V_{IN} ；比较器 OP 把阶梯电压 V_{IN} 和绕组电流波进行比较，绕组电流的阶梯波通过电阻 R_e 进行采样，并且电流在 R_e 上的压降 V_e 反映了电流的波形；D 触发器进行恒频脉宽调制及阶梯控制的合成；晶体管 T_1 、 T_2 及有关元件组成功率放大级。

恒频脉冲调宽细分功放电路的工作原理如下：当 V_{IN} 为一个定值时，由 TE 送来的时钟信号 CLK 上升沿到来，则 D 触发器置 1，输出高电平，令晶体管 T_1 、 T_2 导通，绕组 L 中的电流 i_L 上升。当电流大到一定程度，就会有 $V_e > V_{IN}$ ，则比较器 OP 输出低电平，从而对 D 触发器清零。D 触发器清零后输出低电平，使 T_1 、 T_2 截止，绕组中的电流 i_L 通过内阻 R_L 、二极管 D 及泄放电阻 R_2 、电容 C_2 进行泄放，使绕组电流 i_L 下降。直到下一个时钟信号 CLK 的上升沿到来。上述过程不断重复，这样绕组中的电流可保持在一个波动范围很小的稳定值中。由于时钟 CLK 的脉冲频率高达 20kHz，所以波动范围是很小的。

当 V_{IN} 以阶梯方式突变时，则绕组电流也会随之突变。当 V_{IN} 上升突变时，由于绕组中的电流在该瞬间还保持原有的稳定值，故通过 R_e 采样之后， V_e 远远小于 V_{IN} ，这时比较器 OP

输出高电平，则时钟信号 CLK 上升沿到来时令 D 触发器置 1， T_1 、 T_2 导通，使绕组电流 i_L 上升，这个上升过程一直持续到 $V_e=V_{IN}$ 为止。这样电流 i_L 就作了较大幅度的上升，产生了一个阶梯。在新的阶梯中的稳定过程如前所述。

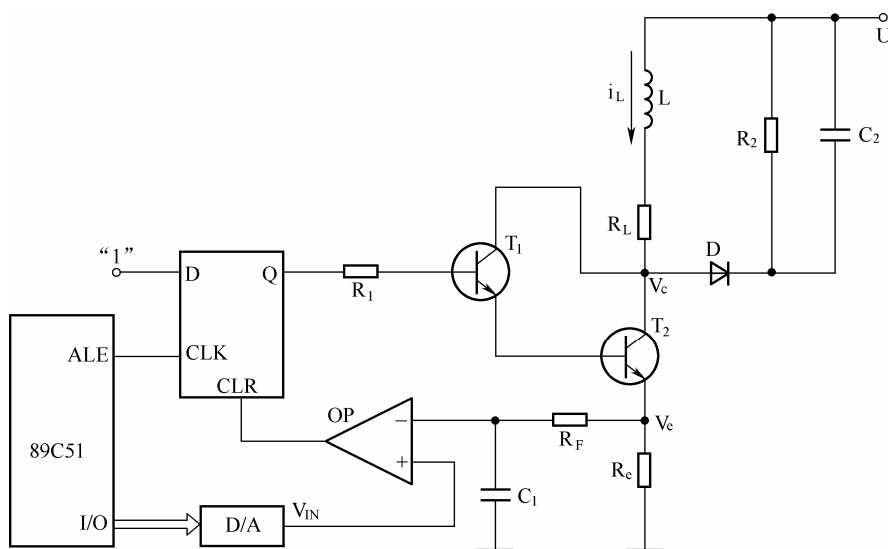


图 3-29 恒频脉冲调宽细分功率放大电路图

当 V_{IN} 下降突变时，绕组电流在该瞬间还保持原有的稳定值，所以通过 R_e 采样之后， V_e 远远大于 V_{IN} ，因此，比较器 OP 输出低电平，令 D 触发器清零。如果有时钟 CLK 信号上升沿来到，把 D 触发器置 1，马上也会清零。这样晶体管 T_1 、 T_2 就一直处于截止状态。绕组中的电流 i_L 不断下降。这个下降过程一直保持到绕组电流足够小，而使 $V_e=V_{IN}$ 为止。电流 i_L 就作了较大幅度的下降，形成了一个阶梯。在这个新阶梯中的稳定过程仍如前所述。

在阶梯形成时，无论上升或下降，阶梯的边沿都会占用多个时钟 CLK 信号周期。

实际应用中，恒频脉冲时钟 CLK 信号同时用于各相绕组控制，所以不会产生差拍现象，从而消除了电磁噪声。

图 3-29 中的泄放回路的 R_2 、 C_2 合理选取时，可以使电流下降速度大大加快，使阶梯波有良好的下降沿，这样对提高工作频率大有好处。

3.7 实例分析：车辆导航系统输出部件——标图仪

3.7.1 引言

随着现代化技术的飞速发展，对各种越野车辆的要求越来越高，不仅使用上要灵活可靠，

还要能适应任何恶劣的气候及复杂的环境。因此,除了车辆自身的机动性能以外,自主式导航系统对野外车辆来说也是非常重要的。

标图仪是国内某型号野外车辆自主式导航系统的输出部件。当车辆运行时,标图仪和车辆导航系统中的其他部件相配合,完成车辆运行轨迹的实时标绘,能实时准确地提供车辆位置。

3.7.2 系统原理及结构

3.7.2.1 自动标图原理

标图仪的最基本功能就是接收主机实时解算的位置数据,及时高精度地标绘出来。把数据标在图纸上,首先要解决标图点的变化规律。无论车辆是直线行驶还是曲折运动,都由单片机综合解算,再经标图处理(插补及脉冲分配),传输给标图仪的是一系列的离散点,这些点的连续标绘就是车辆轨迹。

任何由标图处理输出的离散点的连线,总可看成是标图笔在 X 和 Y 两个方向上合成运动的轨迹。因此,整个标图的过程就是对标图笔进行平面上 X、Y 两个方向运动的控制过程,以步进的形式来实现。由于选择的步距较小,所以标绘的阶梯形的轨迹看起来比较平滑。

3.7.2.2 标图仪的原理框图

标图仪的原理框图如图 3-30 所示。单片机通过输入部件采集并综合有关的相位数据(特定坐标系中东向 X,北向 Y,高程 H),实时解算后进行 X、Y 向的插补判断与计算,并与接口电路配合实现 X、Y 向的脉冲分配。X、Y 向的脉冲信号经驱动电路放大后,控制步进电机产生相应的角速度,与电机刚性连接的带轮带动传动机构,控制标图笔实现对应的线位移,X、Y 向的矢量合成即车辆的运动矢量。

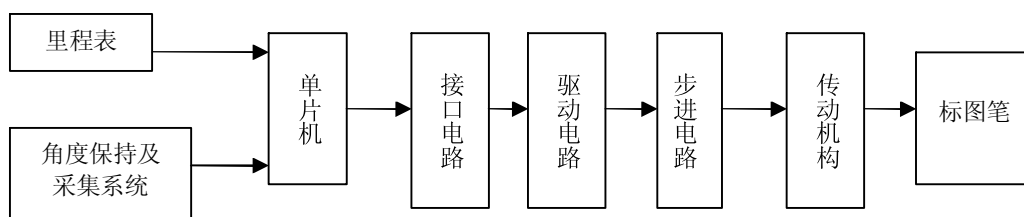


图 3-30 标图仪原理框图

采用开环控制的方式实现对标图笔的位置控制,它具有结构简单、调试方便、稳定可靠、成本低等优点。但由于没有反馈元件,只能保证一定的标绘精度。为提高精度,选择隔振效果好、精确度高的配套传动机构,其固定的机械空回及齿隙由软件编程补偿;选择步进电机并设计合理的驱动电路,没有失步和超步现象。

3.7.2.3 步进电机及驱动电路

步进电机是一种增量运动的电磁执行元件,它将数字脉冲输入信号转换成模拟输出运动。当采用适当的控制时,步进电机的输出步数总是和输入指令的脉冲数相等。每个脉冲使

转轴进位一个步距增量,并依靠磁性将轴准确地锁定在所定进位的步距位置。使用步进电机有如下优点:

- 可以开环控制,无需反馈,故无稳定性问题;
- 无累积定位误差;
- 能响应数字输入信号,所以步进电机特别适用于数字计算机控制;
- 机械结构简单,很少或无需维护,不易受污染;
- 可重复堵转而不损坏,相当坚固可靠。

因此,步进电机特别适合精度要求不高的微机控制的开环位置系统。

本系统采用步进电机,依靠机械传动机构带动标图笔,完成航迹实时标绘。

X、Y 向的步进电机均选用日本 SANYO 公司的产品,额定电压 DC3V,额定电流 0.66A,步距角 0.9° ,起动转矩 $51.5\text{kg} \cdot \text{cm}$ 。其中,步距角是指输入一个脉冲信号,不减速时步进电机所转过的机械角位移。

单片机通过接口电路输出脉冲信号,为了对脉冲信号进行功率放大,可靠地驱动步进电机运行,采用图 3-29 所示的步进电机功率驱动电路。

3.7.2.4 标图仪机械传动机构的设计及图纸的固定

机械部件是本机的一部分,其主要功能就是固定图纸,精确标绘图形曲线。机械部件的结构型式、刚度、强度、精度、耐磨性以及功能完整性等直接影响到标图的质量。机械传动机构的主要用途就是经传动比的调节(本机是 1:1)和运动形式的改变,将步进电机的角运动转换和控制标图笔实现直线运动。

为了满足技术要求,又确保功率和转矩匹配,加工周期短,选择 X 和 Y 向均由带轮与同步齿形带做传动机构,采用闭式直线导轨对横梁(或笔)支承。X 向带轮与 X 向电机同轴,传递 X 向的角运动,带动齿形带运动,从而使横梁沿 X 向作直线运动;同理,横梁上的 Y 电机、Y 带轮以及齿形带带动标图笔作 Y 向的直线运动,两者的合成即标图笔的直线运动。

3.7.3 控制系统应用软件

3.7.3.1 标图精度

本系统标图精度与所用地图的比例尺有关。当选择地图比例尺为 1:500000 时,标图精度为 5m。

3.7.3.2 标图仪的工作流程图及软件设计

单片机综合解算后进行脉冲分配,标图笔根据进给的脉冲而运动。可见正确合理地分配脉冲,就能使标图笔精确地反映车辆的运动轨迹,确定 X、Y 两个方向合理分配脉冲的装置就是软件插补器。

由于本机要求实时标图,必需缩短导航标图时间,为此导航标图采用了特殊的插补方法,即 X、Y 向分别累计每次解算的坐标变化值,然后分别与一个脉冲当量所表示的图上长度进行比较,以决定 X 和 Y 向的脉冲数,当 X 或 Y 向的脉冲数大于 1 时,进行直线插补。主程序框

如图 3-31 所示。

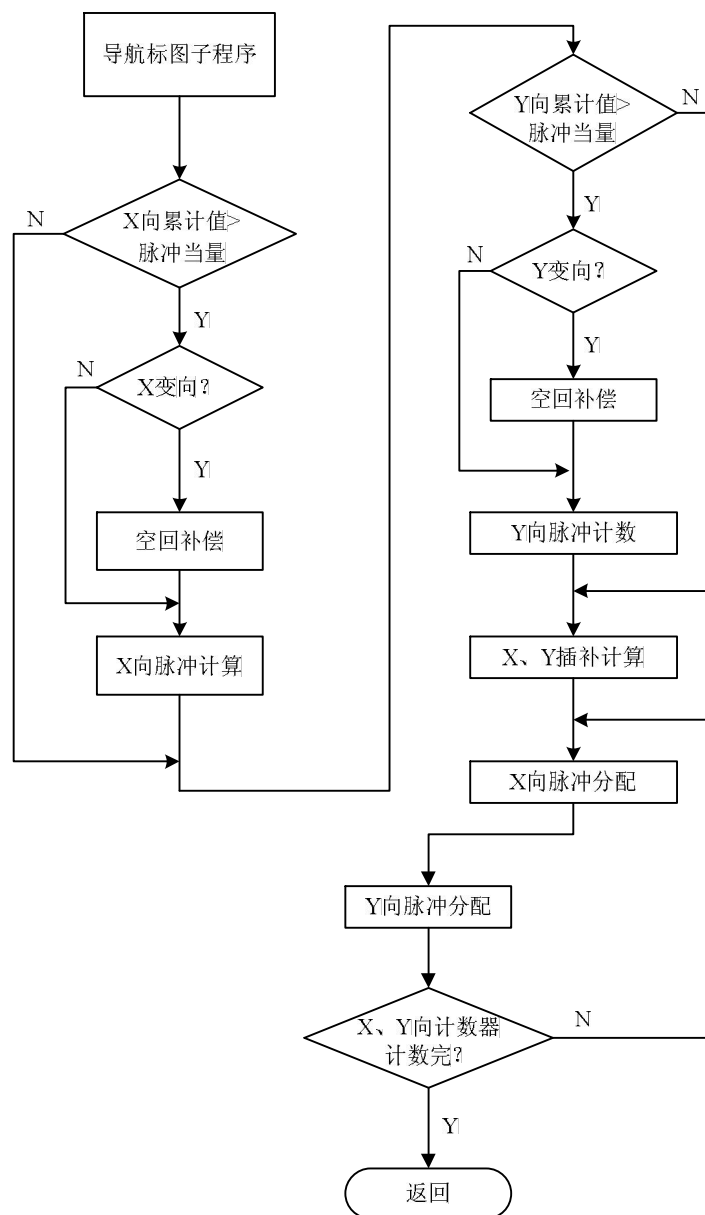


图 3-31 主程序框图