

第 1 章 电机控制电路应用实例

1.1 桥式伺服电路

采用桥接方式可巧妙地获取电机本身产生的感应电压，通过将该电压同内部基准电压比较，对电机进行控制，使电机转速保持恒定，电路如图 1-1 所示，桥接电路也包括电机的内阻 R_a 。电路中电机转速 $N = (R_1 + R_2) / R_1 U_Z / K_e$ 式中 K_e 为电机的感应电压常数，单位为 $V / (r / \min)$ 。 RP 为转速微调电阻， U_Z 为 VD_{W1} 的稳定电压，与 R_1 、 R_2 一起设定转速。晶体管 VT_1 和二极管 VD_2 构成比较电路，晶体管 VT_2 构成功率放大电路，提供控制电机所需的驱动电流。 R_D 、 VD_1 、 VD_{W1} 构成启动电路，确保电源开关接通时，电机能正常启动运行。

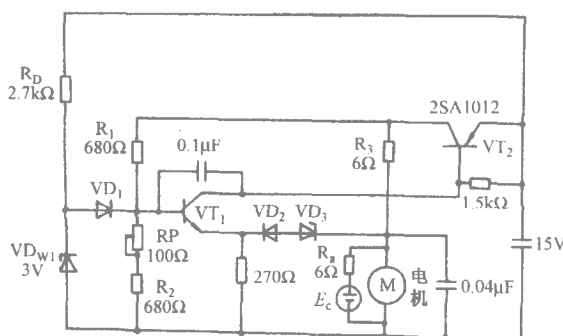


图 1-1 简单的桥接伺服电路

这种桥接方式的伺服电路不适用于多级调速系统，原因是若经常保持电阻桥的平衡状态，则不能获得最佳的控制特性，但由于电路简单，应用比较广泛。

图 1-2 示出转速调节范围较宽的桥接伺服电路，该电路控制电机以 2000 r/min 恒速运行，通过改变电位器 RP_2 可连续在 1000~5000 r/min 范围内设定电机转速。该电路的特征是预先用电位器 RP_1 使电桥达到平衡状态。当为了设定转速而改变 RP_2 时，电桥还会经常保持平衡。所以，保持电机的控制特性不变，在宽范围内可改变电机的转速。

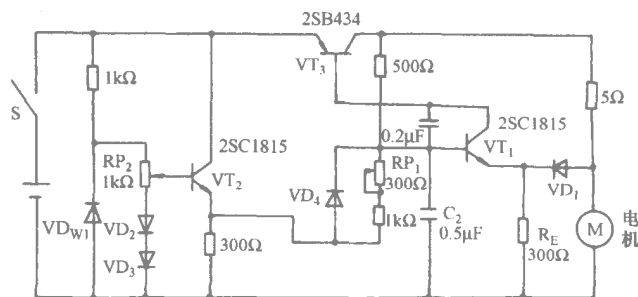


图 1-2 转速调节范围较宽的桥接伺服电路

对于该电路, 设定电机转速低于 1000 r/min 时, VD_1 和接在 VT 发射极电阻 R_E 可对应接到 3 V 左右的正电源上。设定电机转速高于 5000 r/min 时, 要提高电源电压, VD_{W1} 也要采用稳定电压高的稳压管。若电源电压提高到 16 V 左右 则转速到 6000 r/min 时电机可稳定运行。 C_1 和 C_2 是使电机平滑运转的电容, 必须根据设定的转速作适当调整。

图 1-3 是采用运放 A_1 的桥接方式的伺服电路。电路中, RP 是转速设定用电位器, 对基准电压 6 V 分压获得设定转速相应电压 U_r 。运放 A_1 将 U_r 与 U_c 的差电压 U_{ab} 进行比较放大, 激励功率控制晶体管 VT_2 。再通过 VT_1 进行功率放大, 从而控制电机的转速, 这里 U_c 是电机感应反电动势相应的电压。空载时, 对 VT_1 加适当的偏置电压, 即保持 $U_r = U_c$ 的状态。若电机加载运行, 电机转速降低, U_c 也降低, 于是 A_1 的输出电平也降低, 通过 VT_2 控制 VT_1 的导通程度, 供给电机功率, 使电机转速升高, 然后使 $U_{ab} = 0$, 使电机以设定的转速运行。改变转速设定电压 U_r 时其调节过程也是一样, 调节 RP 使电压 U_r 较低时 U_r 小于 U_c , A_1 输出变为高电平, VT_1 供给桥路的功率减少, 于是电机转速降低, 同时, U_c 也降低 最终 $U_r = U_c$ 。电机以设定转速运行。

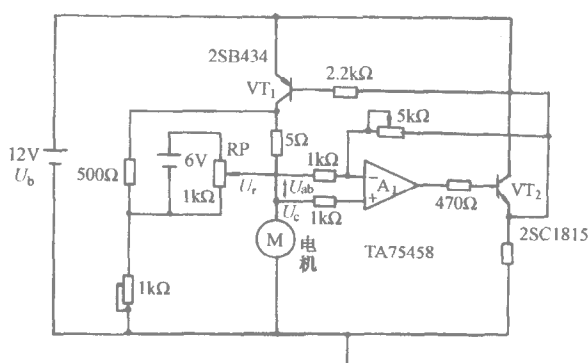


图 1-3 采用运放 A_1 的桥接方式的伺服电路

1.2 直流电机的转速控制电路

图 1-4 是直流电机恒速控制的基本电路, 由测速发电机 A 、基准电压 B 、比较器 C 、功率放大器 D 和电机旋转 E 等部分构成。基准电压 B 是比较控制的基准, 因此需要提供稳定的直流

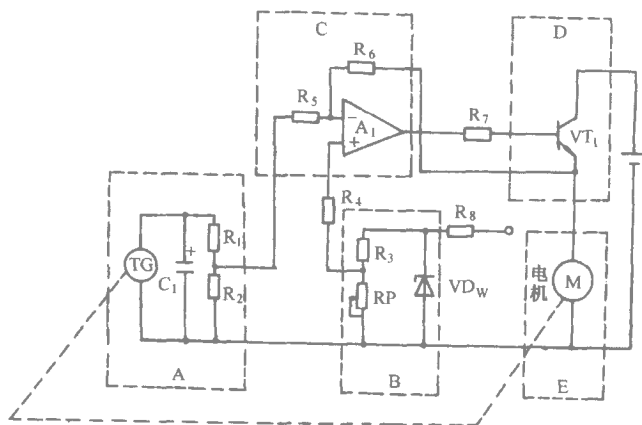


图 1-4 直流电机恒速控制的基本电路

电压；测速发电机 A 输出与电机的转速成比例的电压，此电压通过与基准电压进行比较，控制电机的转速；比较器 C 采用运算放大器构成，将比较电压和基准电压进行比较，其输出误差信号送到功率放大器；功率放大器 D 将误差信号进行功率放大，为电机提供驱动功率；电机旋转部分 E 受到驱动功率的驱动而旋转，从而使接在电机轴上的测速发电机连动，以检测出与转速成比例的电压，对电机的转速进行闭环控制，从而使电机以设定的转速运行。

图 1-5 是采用 TA7715P 的直流电机恒速控制电路实例，TA7715P 是电机控制专用集成电路，它是电路的核心部分。除此以外，还采用 FG 信号发生器检测电机的转速， C_1 和 RP 等组成伺服系统的相位补偿电路， A_1 为电压放大电路， A_2 为比较电路， VT_1 为功率放大电路。TA7715P 片内含有高增益 FG 放大器、施密特电路、采样和保持电路等，对输入信号的处理非常方便。

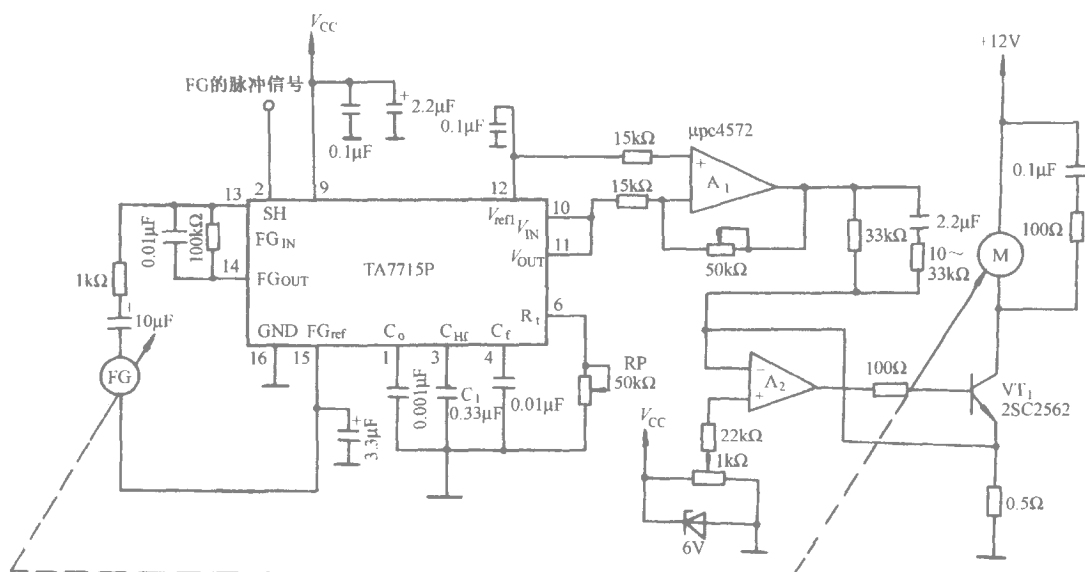


图 1-5 采用 TA7715P 的直流电机恒速控制电路实例

图 1-6 是带交流测速发电机的直流电机的控制电路。电路中，交流测速发电机 TG 产生的交流电压经二极管 VD_2 整流，将得到的直流电压作为与转速相对应的电压取出。然而，对电机进行恒速控制时，一般采用伺服电路，即需要将基准电压与比较电压间的误差电压进行放大，既需要功率放大器，还需要检测电机旋转状态的反馈系统。本电路具有这些环节。

图 1-6 电路中，稳压二极管 VD_w 构成基准电压电路，晶体管 VT_1 为比较电路，晶体管 VT_2 为功率放大器。电路的工作原理简述如下：与电机 M 转速相对应的 TG 的输出电压通过 VD_2 和 VD_1 加到 VT_1 的基极，由此控制 VT_2 ，从而控制电机 M 的转速。转速变化再由 TG 反馈到 VT_1 的基极，最终使电机 M 的转速稳定在基准电压对应的转速上。

本电路采用两只晶体管，非常简单，但以模拟方式处理与转速对应的电压，温漂较大，不能得到高精度的控制特性。当温度范围为 $-5^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 时，控制精度为 $\pm 3\% \sim 5\%$ 。

图 1-7(a) 是采用 CX-065 的直流电机恒速控制电路。CX-065 是电机专用集成控制芯片，外接少量元器件就构成电机控制电路，其内部等效电路如图 1-7(b) 所示，1 脚为输入端，2、3、5、8 脚为外接时间常数电路端，4 脚为 GND 端，7 脚为 V_{CC} 端，6 脚为输出端。

电路工作原理简述如下：频率发生器 FG 将电机转速的变化转换为频率的变化，通过 CX-

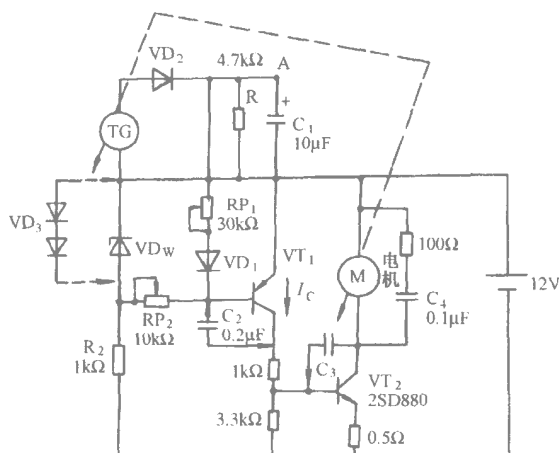


图 1-6 带交流测速发电机的直流电机的控制电路

065 内部频率/电压变换器变换为电压，再通过与基准电压比较，从 6 端输出模拟电压，加到 VT 基极，从而控制电机。转速设定由电机每转 1 圈时频率发生器产生的脉冲数目、R 与 RP 阻值以及电容 C 的容量决定。对于该电路常数，实现的特性为：电源电压 10V~17V 工作温度 -10℃~+60℃ 负载转矩 0~0.5N·m 设定转速 2000r/min。

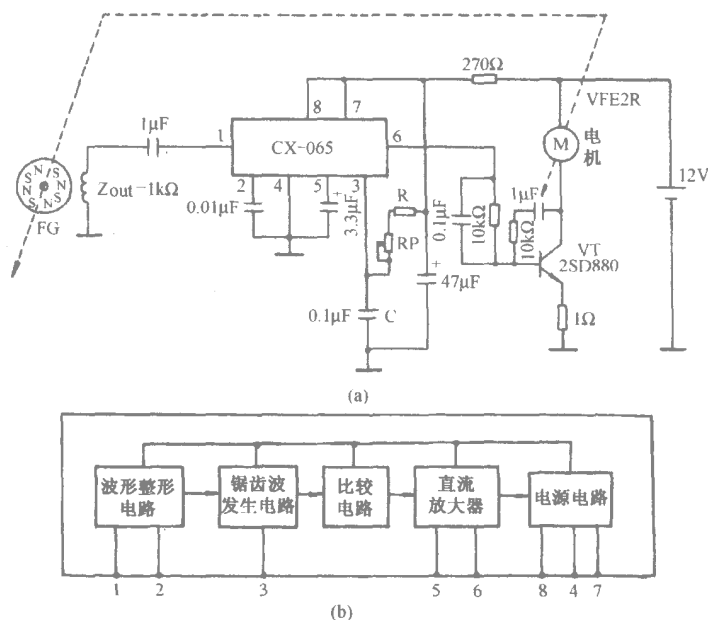


图 1-7 采用 CX-065 的直流电机恒速控制电路

(a) 恒速控制电路；(b) CX-065 内部等效电路

图 1-8 是采用 M51970L 的直流电机转速控制电路。其中 VT 为电机驱动用晶体管，可根据电机的功率进行选用。电机转速的设定由电阻 R_1 、电位器 RP 以及电容 C_1 等决定。转速由 $N = 1 / [(1.17(R_1 + RP)C_1)P]$ 表达式给出，式中 P 为电机每转 1 圈产生的脉冲数目。根据使用电机特性的不同，电阻 R_2 和电容 C_2 要作适当调整。

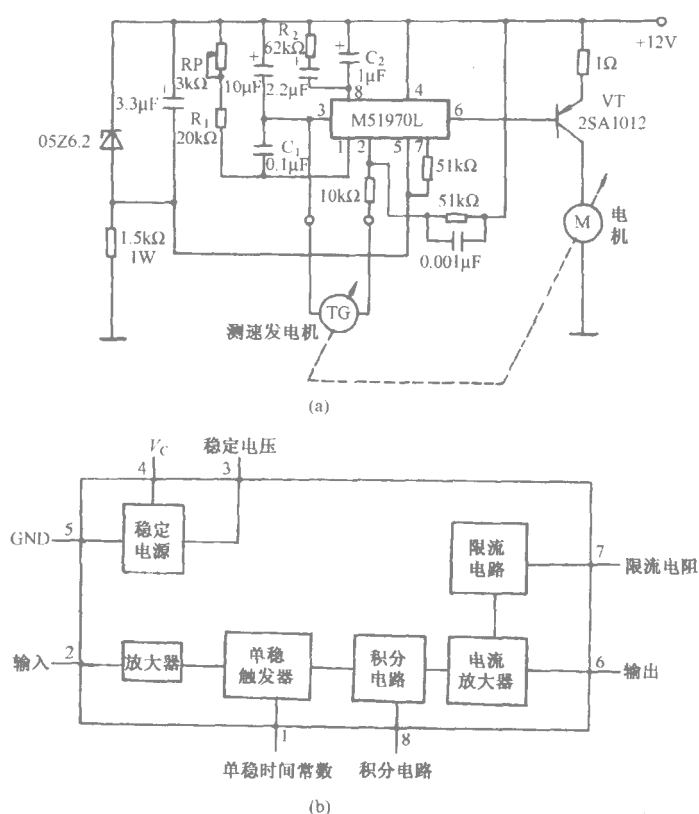


图 1-8 采用 M51970L 的直流电机转速控制电路

(a) 转速控制电路; (b) M51970L 内部等效电路

图 1-9 是采用 M51970L 的电机控制电路。其电机转速为 $450\text{r/min} \sim 3600\text{r/min}$ ，转速稳定度为 $\pm 0.01\% \sim 0.1\%$ ，负载转矩约为 $9.8 \times 10^{-3} \text{N} \cdot \text{m}$ 。电路中 C_1 和 $(R_1 + R_2)$ 用于设定电机转速，要采用温度特性良好的元件； $S_1 \sim S_4$ 为转速转换开关，可设定电机转速为 450r/min ($R_1 + R_2 = 190\text{k}\Omega$)、 900r/min ($95\text{k}\Omega$)、 1800r/min ($47\text{k}\Omega$)、 3600r/min ($24\text{k}\Omega$)； $RP_1 \sim RP_4$ 为转速设定微调电位器； C_2 和 R_3 为相位补偿电路，提高控制系统的稳定性；用相当于 FG 功能的缝隙圆盘和光电耦合器 ON1105 接在电机转轴上构成的旋转编码器检测电机的转速，产生与转速相应的脉冲电压加到 M51970L 的 2 脚，由其控制电机的转速。

图 1-10 是采用 TCA955 的直流电机转速控制电路。它采用脉冲电流驱动的方式，因此驱动用晶体管的消耗电流较小，可采用小功率晶体管。

图 1-11 是采用晶闸管的直流电机转速控制电路。该电路用来控制 $180\text{W}/120\text{V}$ 的直流电机，稳定性高。采用带有中间抽头的变压器 T_1 ，用 2 个 6A 的晶闸管 VS_1 和 VS_2 提供电机的驱动电流，单结晶体管 VT_1 控制 VS_1 和 VS_2 的门极，二极管 VD_2 和 VD_3 为 VT_1 提供工作电压， VD_w 使 VT_1 的工作电压稳定为 12V ， RP_1 调节 VT_1 的分压比，控制 VS_1 和 VS_2 的导通角，从而控制电机的转速。

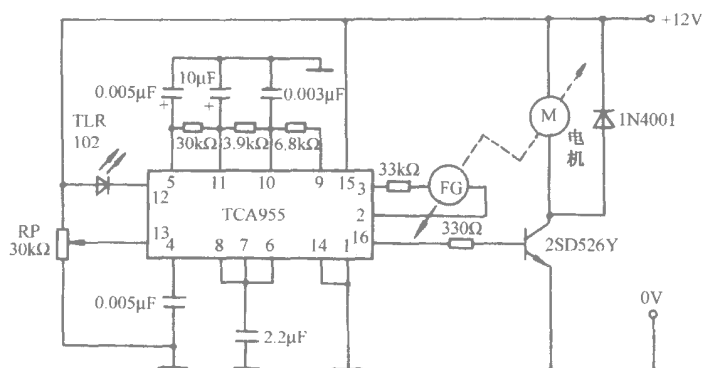


图 1-10 采用 TCA955 的直流电机转速控制电路

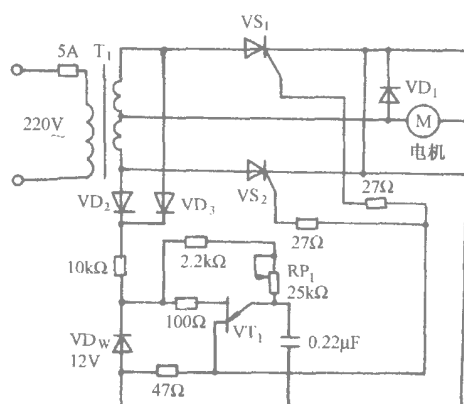


图 1-11 采用晶闸管的直流电机转速控制电路

1.3 直流电机正反转控制电路

图 1-12 是运放反馈环内接有功率晶体管的控制电路。该电路的特征是不必考虑功率晶体管的偏置电压变化带来的影响，因此电路设计简单方便。

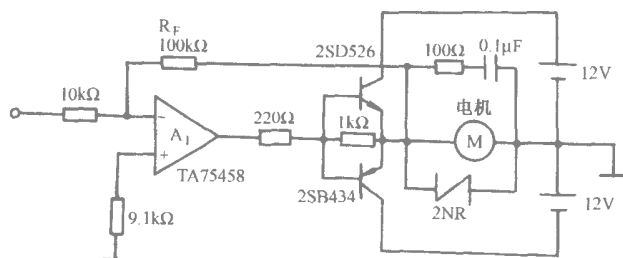


图 1-12 反馈环内接有功率晶体管的控制电路

图 1-13 是采用大功率交流放大器的控制电路。电路中，将运放 A_1 输出电压的变化适当变换为 a 点电压 U_a 。这样，电机中流经双向电流。工作原理简述如下：当 U_a 小于 U_b 时，电流流通的方向如图中实线箭头所示；当 U_a 大于 U_b 时，电流方向如图中虚线箭头所示；当 U_a 等于 U_b 时，任何方向上均无电流流通，电机停转。

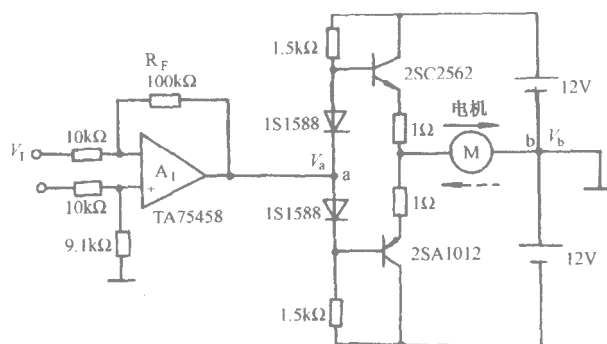


图 1-13 采用大功率交流放大器的控制电路

图 1-14 采用 4 只功率晶体管接成桥式，使电机双向通电的控制电路。这种电路基本上图 1-12 电路采用双输入信号 (V_{i1} 和 V_{i2}) 的控制方式。电路中 VT_1 和 VT_2 选用 2SC2562 晶体管； VT_3 和 VT_4 选用 2SA1012 晶体管。

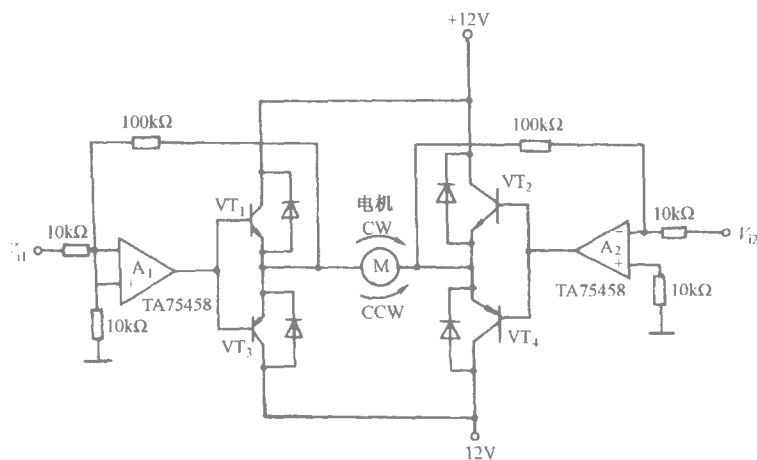


图 1-14 电机双向通电的控制电路

图 1-15 是采用磁敏传感器 H 的直流电机正反转控制电路。这里采用的磁敏传感器不仅能感受到磁通的强弱，而且还能识别磁极的极性。因此，若磁转子的极性改变，就可任意控制

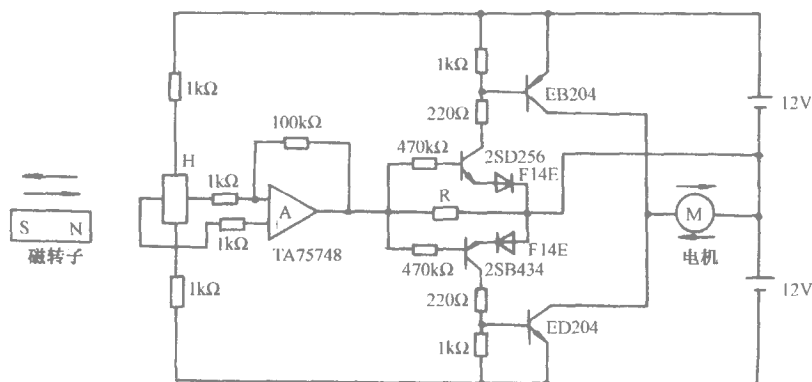


图 1-15 采用磁敏传感器 H 的直流电机正反转控制电路

直流电机的旋转方向。电路中，磁敏传感器 H 靠近磁转子的 N 极时，电机正转；靠近 S 极时，电机反转。

图 1-16 是大功率电机的正反转控制电路。采用中间抽头的变压器，构成正负两路电源，功率放大器 VT_1 和 VT_2 分别采用 EB204 和 ED204 功率管，能输出几安的驱动电流。改变 RP 可控制电机的正反转。若要自动控制电机正反转，则在图中的 a 点输入伺服系统的控制信号即可。

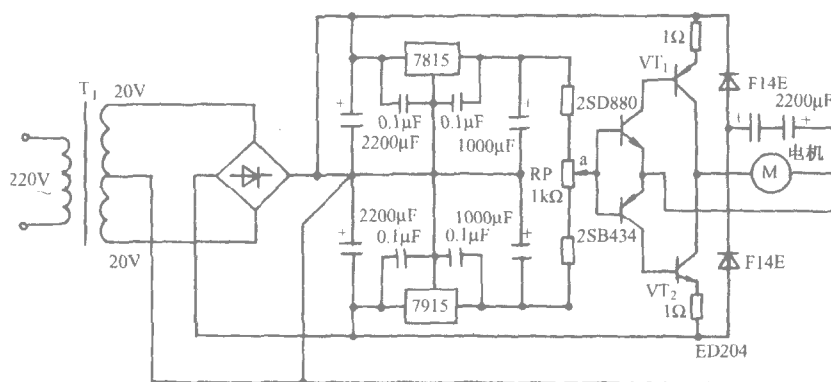


图 1-16 大功率电机的正反转控制电路

图 1-17 是采用电机控制专用集成电路 L293 的直流电机正反转控制电路。L293 片内有双系统电机控制的正反转电路，因此也可以用于驱动步进电机。若装上足够大的散热器，L293 可以输出几瓦的功率，适用于驱动较小功率的电机。电路中，A 和 B 为通道 1 的信号输入端，C 和 D 为通道 2 的信号输入端。

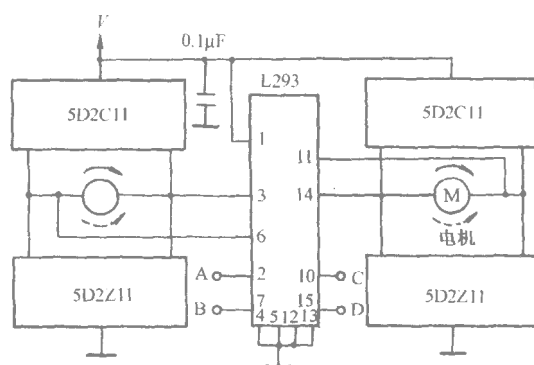


图 1-17 采用 L293 的直流电机正反转控制电路

图 1-18 是采用电机控制专用集成电路 L298 的直流电机正反转控制电路。L298 基本上与 L293 相同，但输出功率达 25W，输出电流可达 2A，工作电压可为 35V。电路中 R_1 和 R_2 为电流检测电阻，转换的电压信号也可以送入控制系统中对其电流进行控制。

图 1-19 是采用 MPC17A28SVM 的电机正反转控制电路。MPC17A28SVM 是电机正反转专用集成电路，其特征是：带有与微机的接口，可连接微机进行控制；片内包含有双系统功能，因此也可用于驱动步进电机；可有 4 种驱动方式，即正转、反转、制动以及加减速运行；片内有功率 MOS FET 管，工作频率可达 100kHz。

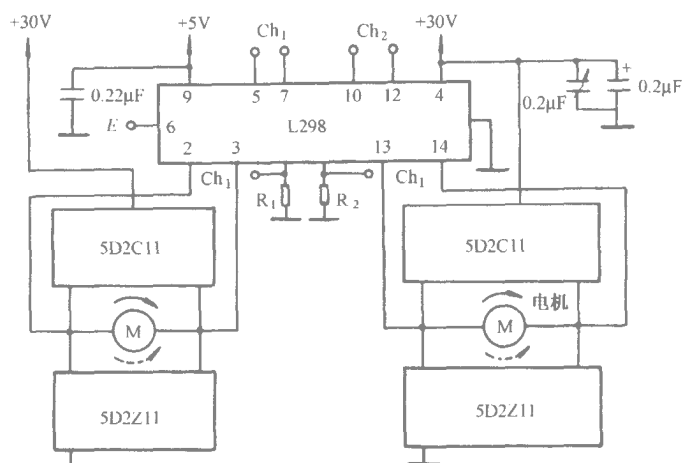


图 1-18 采用 L298 的直流电机正反转控制电路

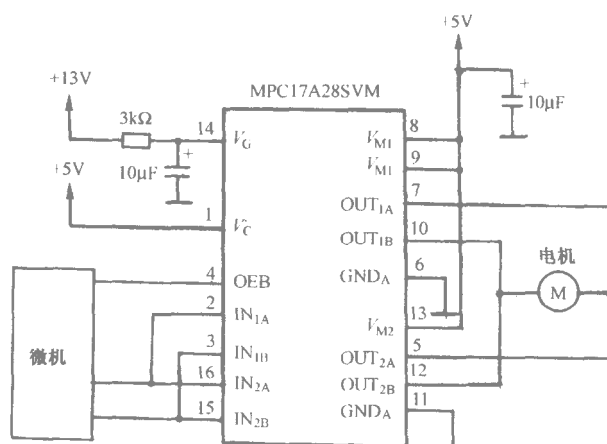


图 1-19 采用 MPC17A28SVM 的电机正反转控制电路

1.4 采用 PLL 集成电路的电机控制电路

图 1-20 是采用 BA802 构成的电机控制电路 结构简单 外接元件少。电路中， R_1 和 R_P 及 C_1 用以设定振荡频率，决定电机的转速，也可采用晶振电路。 R_1 和 C_1 产生的基准频率信号加到 BA802 的 4 端，由频率发生器 FG 将电机转速转换的频率信号送到 BA802 的 2 端，并与基准频率信号比较，从而控制电机的转速。

图 1-21 是采用 M51728L 构成的电机控制电路。电路中，若设电机转速为 2000r/min 采用的频率发生器 FG 每 1 转产生 24 周期的交变电压，则这时 FG 产生的信号频率为 $24 \times 2000 / 60 = 800(\text{Hz})$ 。该信号送入 M51728L 的 7 和 8 输入端 经其片内二分频 信号频率变为 $800\text{Hz} \times 2 = 1600\text{Hz}$ ，并与基准振荡频率进行比较，从而控制电机转速。电路中，基准振荡频率由 R_1 和 R_2 以及 C 等决定 即 $f_i = 1/[0.693C(R_1 + 2R_2)]$ 。

图 1-22 是采用 MSM5816 构成的电机控制电路。MSM5816 片内有启动电路、FG 信号放大器、采样保持方式的比较器等，将采样保持的相位差输出，通过运放 A_1 构成的阻抗变换电

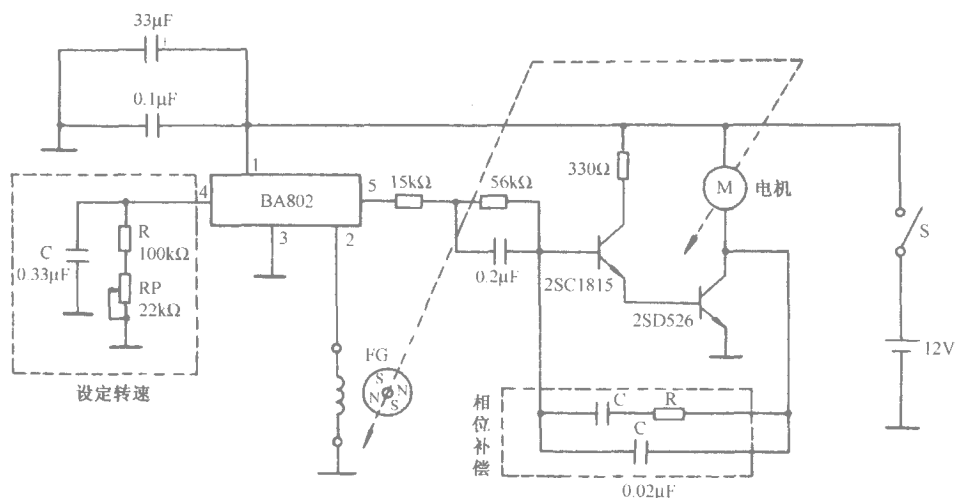


图 1-20 采用 BA802 构成的电机控制电路

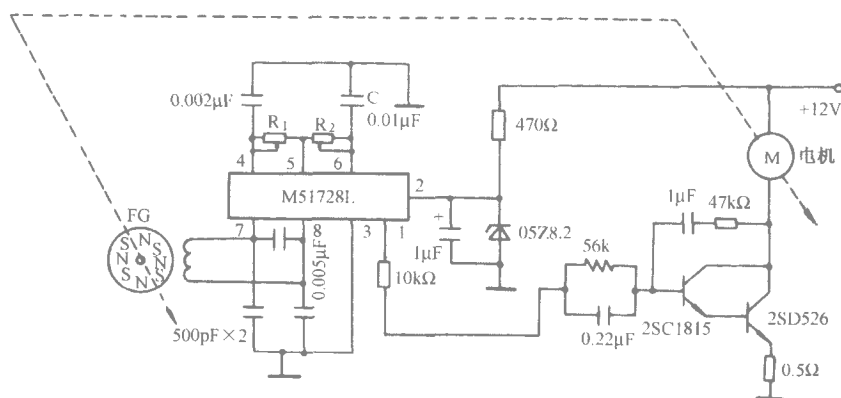


图 1-21 采用 M51728I 构成的电机控制电路

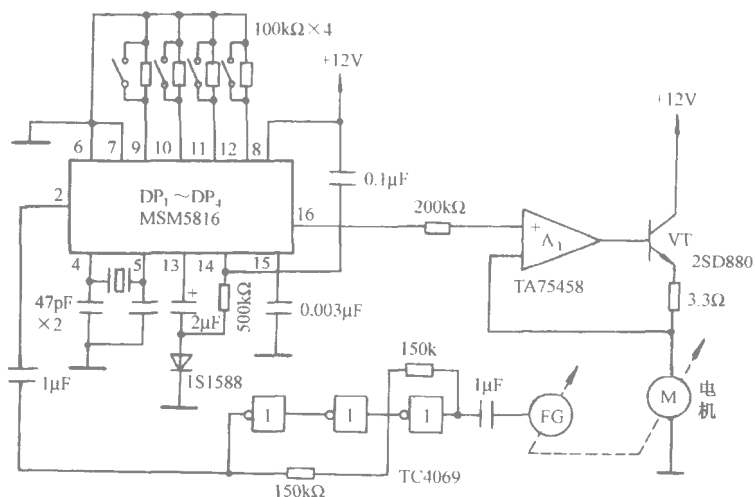


图 1-22 采用 MSM5816 构成的电机控制电路

路进行电流放大。因此,该电路适宜控制直流电机的驱动电流。9~12 端($DP_1 \sim DP_4$)为电机转速微调端子,可以数字方式控制电机的转速,可调范围为 $-1.4\% \sim +1.6\%$,以 0.2% 的步长调节转速。

图 1-23(a)是采用 TC9142P 的电机转速控制电路,图 1-23(b)是 TC9142P 内部等效电路

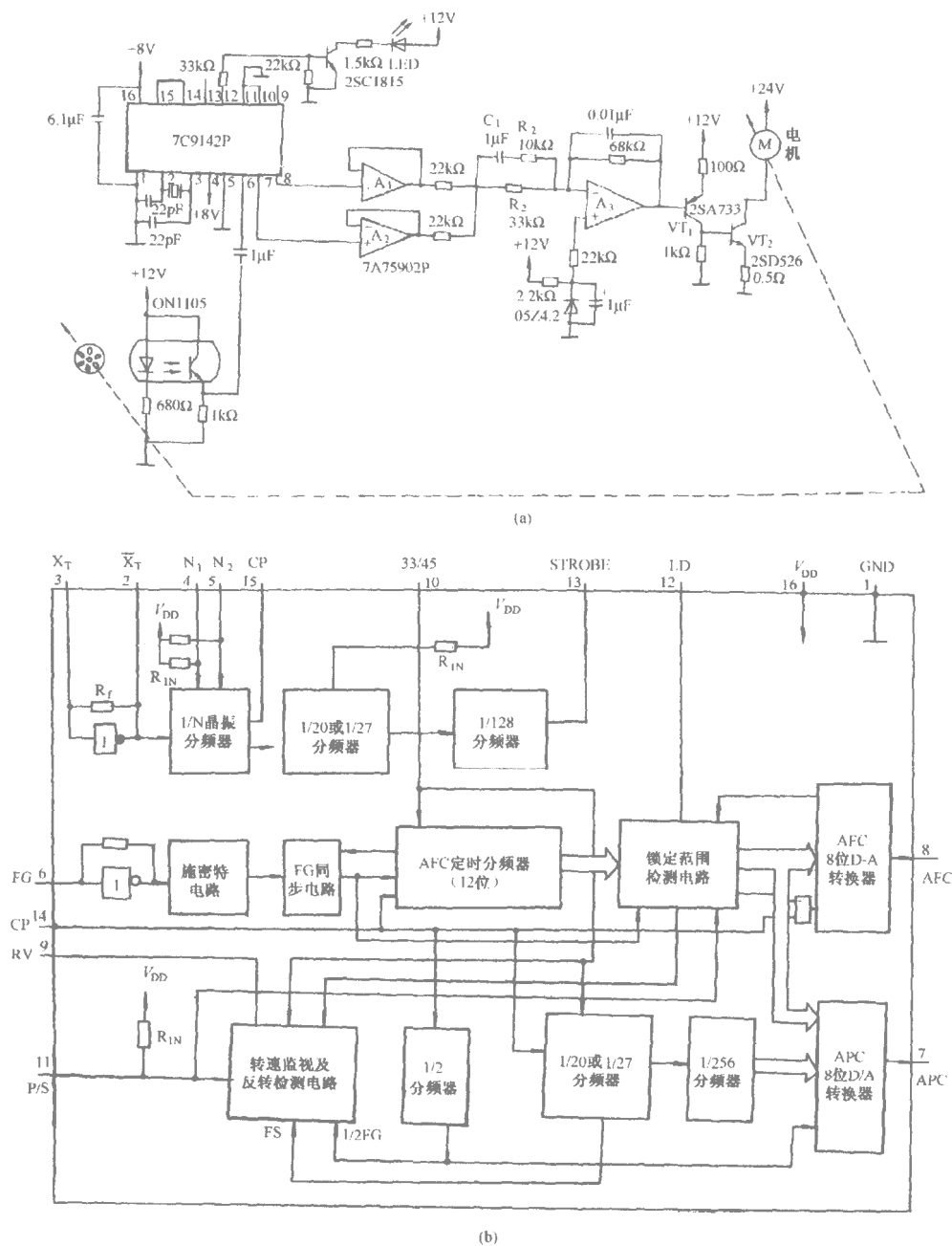


图 1-23 采用 TC9142P 的电机转速控制电路

(a) 控制电路; (b) TC9142P 内部等效电路图

图。缝隙圆盘和光电耦合器检测电机的转速，产生与转速相应的脉冲信号加到 TC9142P 的 6 脚，经其内部比较放大，从 7 脚和 8 脚输出相位和频率电压信号，经缓冲器 A_1 和 A_2 相位补偿电路 C_1 、 R_1 和 R_2 控制 VT_1 和 VT_2 的导通情况，从而控制电机的转速。

图 1-24(a) 是可调转速的 PLL 控制电路，图 1-24(b) 是其电路框图。分频器 (2) 进行频率转换，产生与电机转速相应的频率信号，从而使电机转换到以设定的转速运行。电路中，基准频率发生器和分频器采用 TC5082P，工作频率可达 12MHz，并采用 10.24MHz 的晶振 X_1 。产生振荡信号经 TC5082P 的 12 级分频器分频，由 8 脚输出 40kHz 频率信号，再通过 TC4017P 进

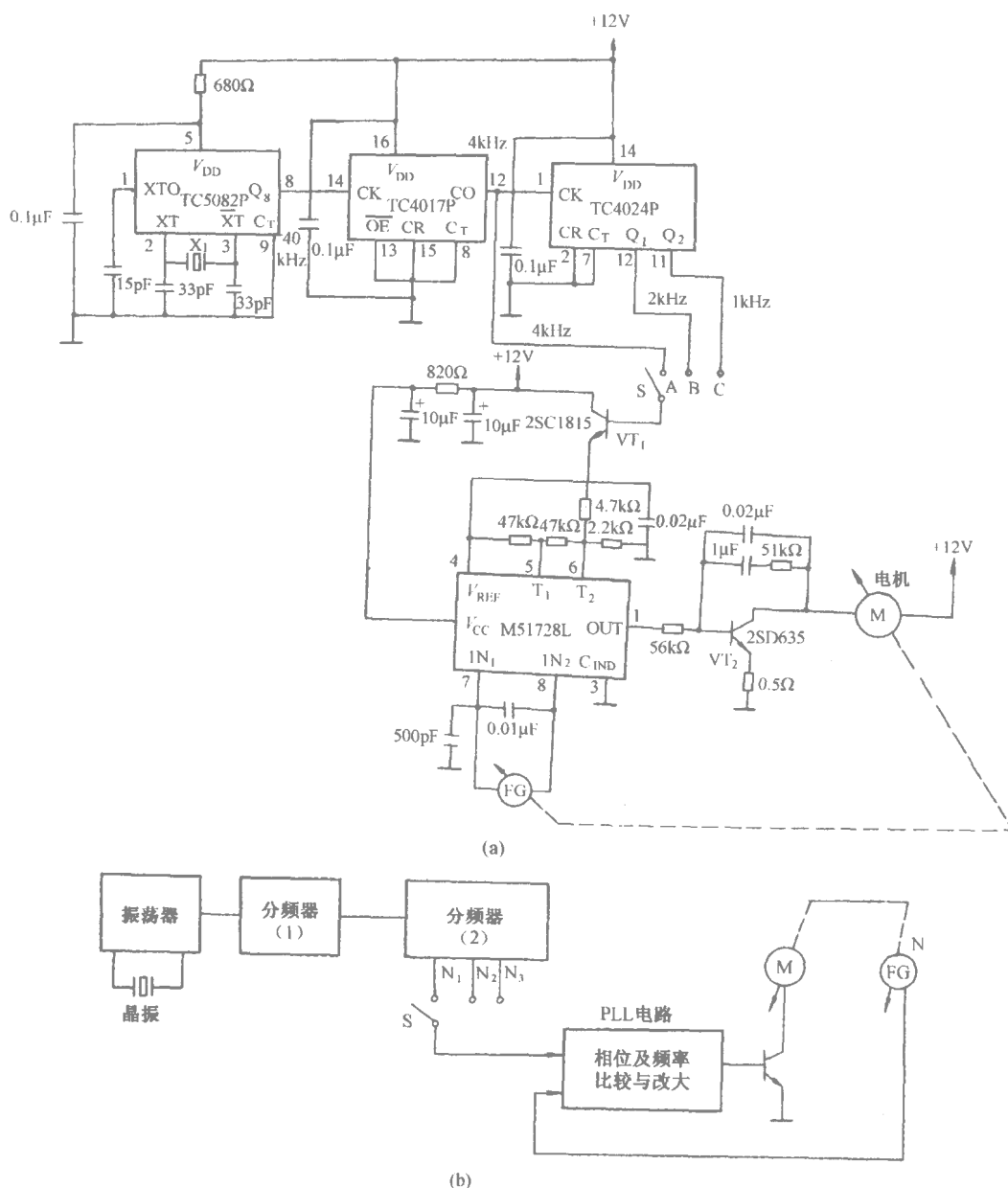


图 1-24 可调转速的 PLL 控制电路

(a) 控制电路；(b) 电路框图

行 10 分频 获得 4kHz 频率的信号,再经二进制计数器 TC4024 分频,最终获得 4kHz、1kHz 和 2kHz 频率的信号。此频率信号由开关 S 进行切换,通过 VT₁ 进行缓冲和电平移动后,作为 PLL 集成电路 M51728L 的基准信号,在片内同与电机转速相应的信号进行比较,由 1 脚输出。1 脚输出信号经过 VT₂ 进行功率放大后对电机进行控制,从而使电机以设定的转速稳定运行。当开关 S 接到 A 时,频率为 4kHz 相应转速为 2000r/min 当 S 接到 B 时 频率为 2kHz,相应转速为 1000r/min ;接到 C 时,频率为 1kHz 转速为 500r/min。

1.5 步进电机的控制电路

图 1-25 是采用 PMM8713 构成的步进电机励磁电路。PMM8713 是步进电机专用集成控制电路,其输出端 $\phi_1 \sim \phi_4$ 分别外接 VT₁~VT₄ 晶体管 2SC2562 也可以外接 2SD526 或 2SD633 功率达林顿管。电路中,开关 S₁~S₄ 选择电机不同的运行方式,S₁ 用于 3 相与 4 相电机的转换,S₂ 接通时为单相励磁,S₃ 接通时为单-双相励磁,S₄ 用于电机正反转的切换。

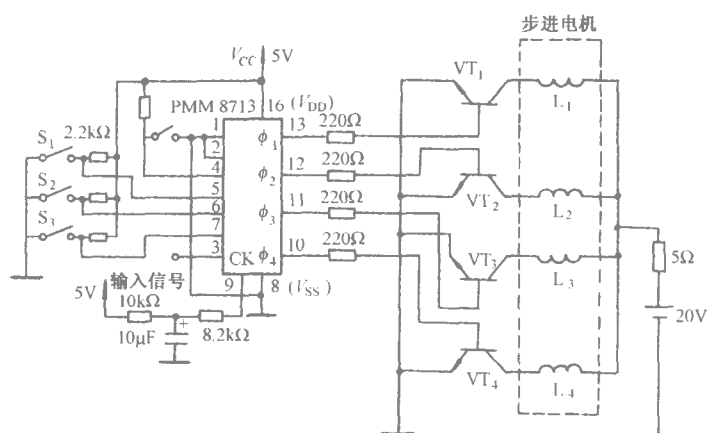


图 1-25 采用 PMM8713 构成的步进电机励磁电路

图 1-26 是采用 PMM8723 构成的步进电机励磁电路,它是对 2 相步进电机进行双相励磁。双相励磁时,根据 1 端(CW/CK)的脉冲信号,晶体管导通的顺序是 VT₁ 和 VT₂ 导通→VT₂ 和 VT₃ 导通→VT₂ 和 VT₄ 导通→VT₁ 和 VT₄ 导通→VT₁ 和 VT₃ 导通,如此循环驱动电机绕组,使其连续运转。若要电机反转,2 端(CCW/UD)的信号逻辑电平由 1 转为 0 即可。若进行单-双相励磁,晶体管导通的顺序是 VT₁ 导通→VT₁ 和 VT₃ 导通→VT₃ 导通→VT₃ 和 VT₄ 导通,如此循环驱动电机绕组,使其连续运转。若要电机反转,4 端(E)的信号逻辑电平由 0 转为 1 即可。

图 1-27 是采用 MB-8713 构成的步进电机励磁电路,对步进电机进行恒压控制。时钟脉冲信号从 MB-8713 的 3 端子输入,这样就使步进电机按所设定的方向旋转,4 端子施加高、低电平的电压就可任意进行旋转方向的转换。该电路是电机的基本连接方式,实际上在电机励磁绕组间还要接入各种电路。电路中,VT₁~VT₄ 选用 2SC1881 晶体管,R₁~R₄ 均为 150Ω。

图 1-28 是采用 SDB-520 构成的二相双绕组的步进电机的励磁电路。其中图 1-28(a) 是单-双相励磁方式 图 1-28(b) 是单相励磁方式,图 1-28(c) 是双相励磁方式。电路中,在励磁绕组与电源之间接入 5Ω 小阻值的电阻,用于减小时间常数,改善高频特性。VD₁~VD₄ 为阻尼二极管,防止步进电机产生振荡,对提高跟踪性能有较好效果。双相励磁方式与单相励磁相比,振荡

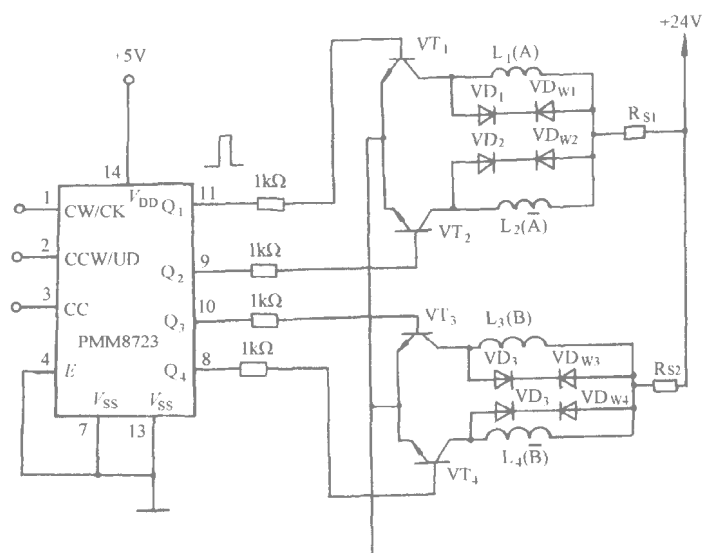


图 1-26 采用 PMM8723 构成的步进电机励磁电路

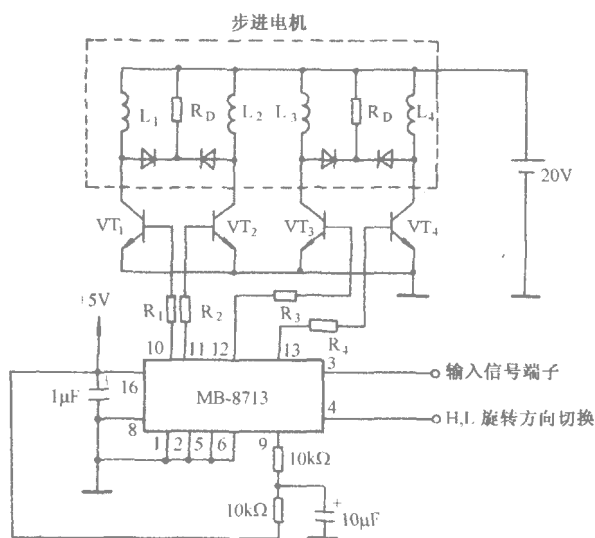


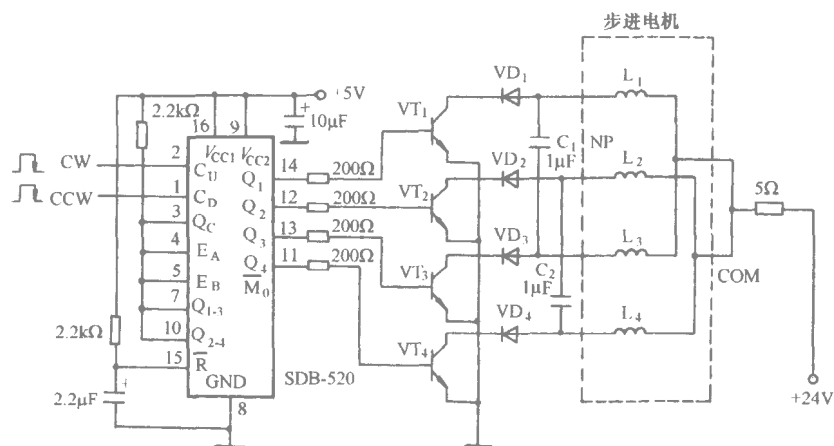
图 1-27 采用 MB-8713 构成的步进电机励磁电路

幅度小而工作稳定度高。一般来说,较少采用单相励磁方式,大部分采用单-双相或双相励磁方式。图 1-28(a)中, $VD_1 \sim VD_4$ 选用 6BG11, $VT_1 \sim VT_4$ 选用 2SC2562。图 1-28(b)中, $VD_1 \sim VD_4$ 选用 F14E, $VD_5 \sim VD_8$ 选用 1S1588, $VT_1 \sim VT_4$ 选用 2SC2562。图 1-28(c)中, $VD_1 \sim VD_4$ 选用 6BG11, $VT_1 \sim VT_4$ 选用 2SC2562。

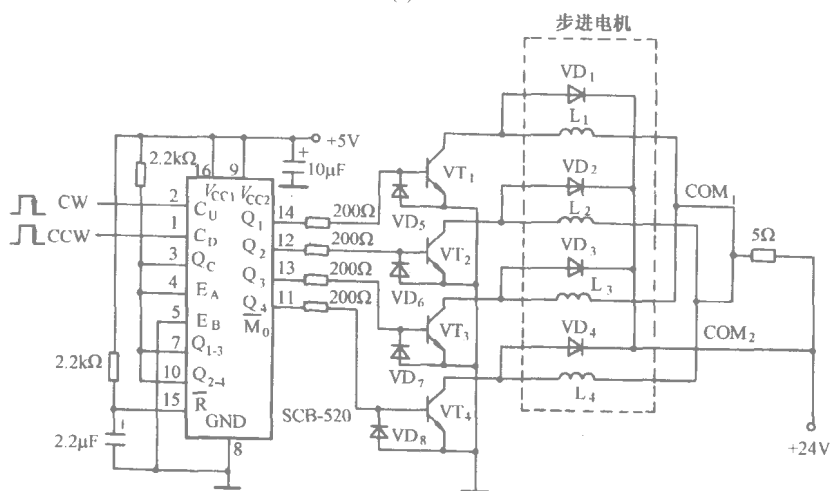
图 1-29 是采用 SDB-520 构成的 3 相单极式步进电机的励磁电路。其中图 1-29(a)是单相励磁方式,片内相位输出为 $\phi_1 \sim \phi_3$ 外部端子连接是从 ϕ_3 再返回到 ϕ_1 , 这样可进行适当的转换。电路中, $VT_1 \sim VT_3$ 选用 2SC2526, $VD_1 \sim VD_3$ 选用 6BG11。

图 1-29(b)采用双相励磁方式,基本上与图(a)的单相励磁方式相同,只是输入端 E_A 从高电平变化到低电平。电路中, $VT_1 \sim VT_3$ 选用 2SC2526, $VD_1 \sim VD_3$ 选用 1S953。

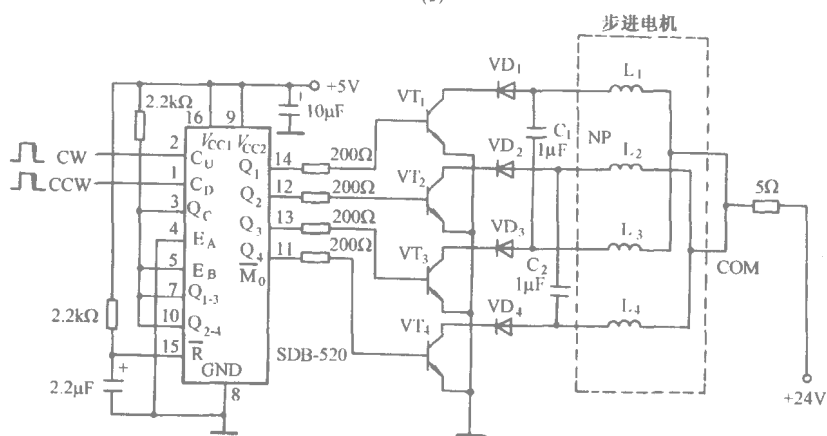
图 1-29(c)采用单-双相励磁方式,步进角是单相励磁的一半,电路的连接方式与图(b)相



(a)



(b)



(c)

图 1-28 采用 SDB-520 构成的步进电机的励磁电路
 (a) 单-双相励磁电路；(b) 单相励磁电路；(c) 双相励磁电路

同,但输入端 E_A 是从低电平变到高电平。电路中, $VT_1 \sim VT_3$ 选用 2SC2526, $VD_1 \sim VD_3$ 选用 1S953。

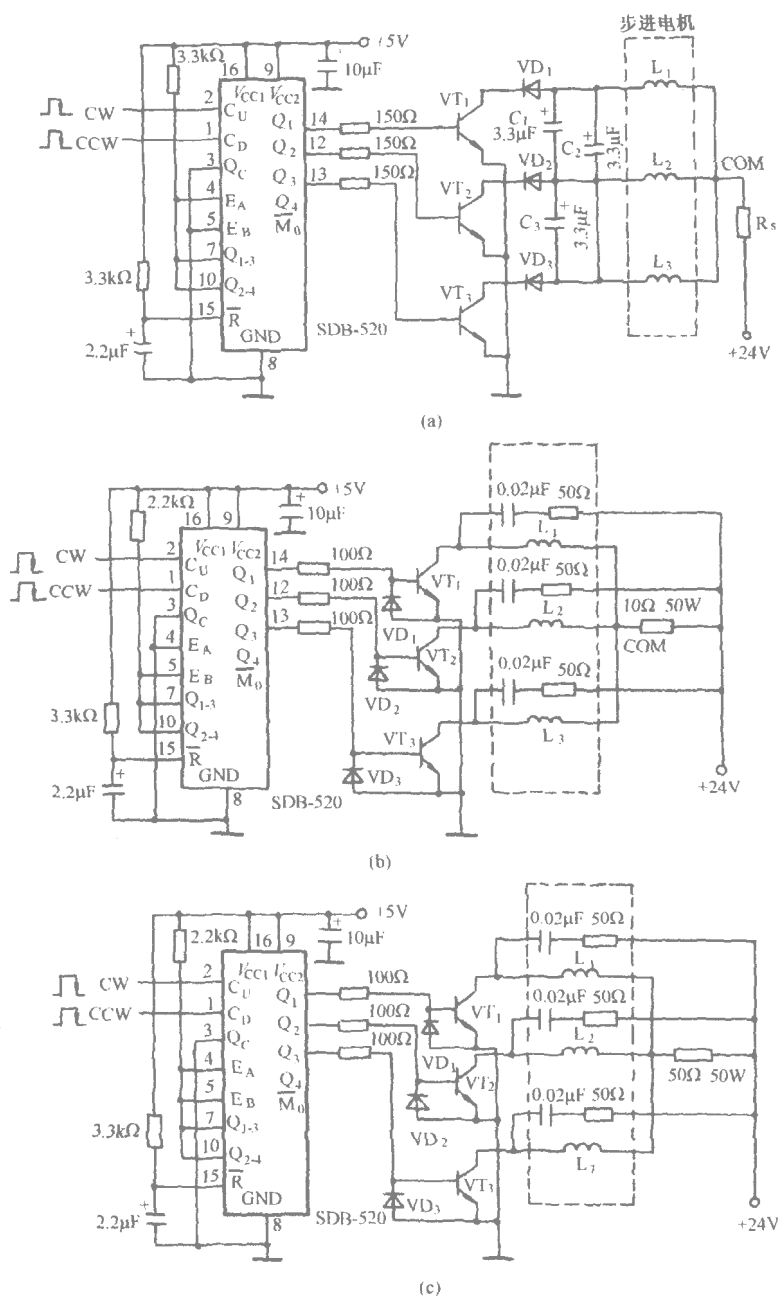


图 1-29 采用 SDB-520 构成的 3 相单极式步进电机的励磁电路

(a) 单相励磁电路; (b) 双相励磁电路; (c) 单双相励磁电路

图 1-30 是采用 SDB-520 构成的步进电机的无励磁电路。其中 SDB-520 的 7 和 10 脚为低电平, 励磁绕组在任何时候无电流流通; 开关 S 接通时电机为无励磁工作方式, S 断开时为正常工作方式。 $VT_1 \sim VT_3$ 选用 2SC2526, $VD_1 \sim VD_3$ 选用 6BG11。

图 1-29 和图 1-30 中 $VT_1 \sim VT_3$ 采用 2SC2526 晶体管, 可为电机绕组提供 1A~1.5A 的