



现代煤矿电工常用技术手册

现代煤矿电工常用技术手册

于金海 李顺达 主编

第三册

当代中国音像出版社

第三章 电动机的基本控制线路

电动机的基本控制线路主要包括各种电动机的起动、正反转、制动和调速等的控制线路。本章主要介绍这些基本控制线路的构成、工作原理以及必要的保护措施。

第一节 直流电动机的控制线路

一、直流电动机的起动控制线路

直流电动机在起动开始时,电动机转速等于零,则电动机反电势为零。这时若将电源额定电压全部加在电枢绕组上,由于电枢绕组电阻很小,电枢绕组中将产生较大的起动电流,这样大的起动电流将导致电枢绕组和换向器的损坏。同时,大电流产生的转矩和加速度对机械转动部件也会产生强烈的冲击,易损坏机械部件。因此,直流电动机起动时,必须采取措施限制起动电流,常用的方法有减小电枢电压和在电枢回路串联电阻两种。

1. 他励直流电动机起动控制线路

他励直流电动机是在电枢回路中串联两级电阻进行起动控制的。图 7-3-1 所示为由时间继电器控制的他励直流电动机起动控制线路。

工作过程如下:合上电源开关 QS1、QS2,励磁绕组通以额定励磁电流,此电流使电流继电器 KA 动作,其常开触点闭合。与此同时,时间继电器 KT1 和 KT2 的线圈通电,其

延时闭合的常闭触点立即断开,使接触器 KM2、KM3 线圈均不通电。然后,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电其正常开主触点和自锁触点闭合,电动机在电枢回路串入全部电阻情况下开始起动。

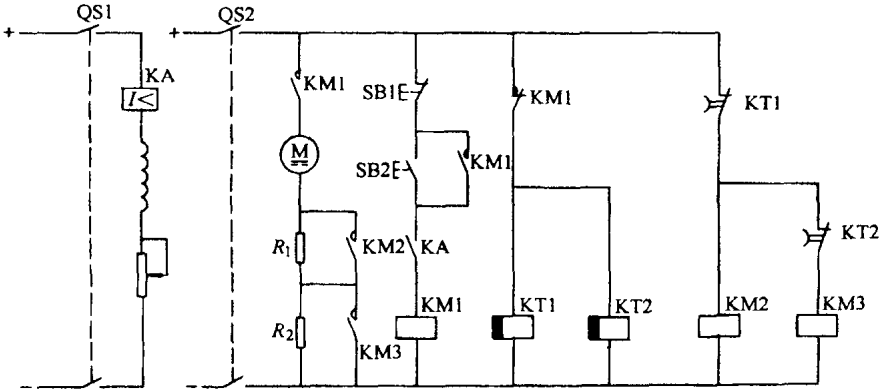


图 7-3-1 他励直流电动机串联两级电阻起动控制线路

KM1 线圈通电后,其常闭触点同时断开,使时间继电器 KT1、KT2 线圈断电,经过一段延时后,KT1 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM2 线圈通电,其常开触点闭合,将电阻 R1 短接,电动机在电枢回路串入电阻 R2 的情况下继续升速。又经过一段延时后,KT2 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,其常开触点闭合,将电阻 R2 短接,电动机在电枢回路切除全部电阻的情况下继续加速直至起动完毕,进入正常运行。

按下停止按钮 SB1,接触器 KM1 断电释放,电动机停转。

2. 并励直流电动机起动控制线路

图 7-3-2 所示为由电压继电器控制的并励直流电动机起动控制线路。

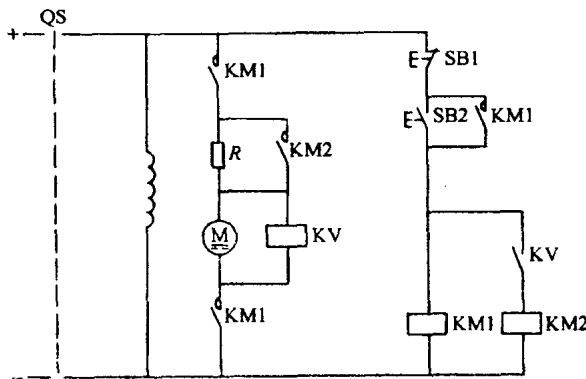


图 7-3-2 并励直流电动机起动控制线路

工作过程如下:合上电源开关 QS,直流电动机励磁绕组流过励磁电流。按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,其常开主触点和自锁触点闭合,电动机在电枢回路串入起动电阻 R 的情况下起动。随着电动机转速的升高,电枢电流减小,电阻 R 上的压降减小,而电枢两端的电压上升,当并接于电枢两端的电压继电器 KV 的线圈电压升到动作值时,KV 常开触点闭合,使接触器 KM2 线圈通电,其常开触点闭合,将起动电阻 R 短接,电动机起动完毕,进入正常电阻下运行。按下停止按钮 SB1,接触器 KM1 断电释放,电动机停转。

3. 串励直流电动机起动控制线路

图 7-3-3 所示为时间继电器控制的串励直流电动机起动控制线路。

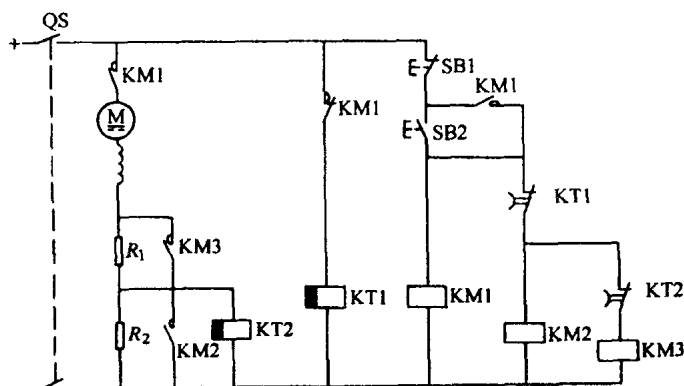


图 7-3-3 串励直流电动机起动控制线路

工作过程如下:合上电源开关 QS,时间继电器 KT1 线圈通电,其延时闭合的常闭触点立即断开。按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,常开主触点和自锁触点闭合,直流电动机电枢串入全部电阻起动,由于起动电流较大,电阻 R_2 两端电压较高,因此并接于 R_2 两端的时间继电器 KT2 线圈通电,其延时闭合的常闭触点立即断开。

KM1 线圈通电后,其常闭触点断开,使时间继电器 KT1 线圈断电,经过一段延时后,KT1 延时闭合的常闭触点闭合,接触器 KM2 线圈通电,其常开触点闭合,将电阻 R_2 短接,同时时间继电器 KT2 断电释放,电动机加速起动。又经过一段延时后,KT2 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,其常开触点闭合,将电阻 R_1 短接,电动机继续加速直至起动完毕,进入正常运行。按下停止按钮 SB1,接触器 KM1 断电释放,电动机停转。

二、直流电动机正反转控制线路

改变直流电动机旋转方向有两种方法:一是电枢反接法,即保持励磁磁场方向不变,

只改变电枢电流方向；二是磁场反接法，即保持电枢电流方向不变，只改变励磁绕组电流方向。下面分别介绍其控制线路：

1. 电枢反接法

他励和并励直流电动机若采用磁场反接法改变转向，因励磁绕组电感大，当励磁绕组断电时，会产生很大的自感电势，容易把励磁绕组绝缘击穿；另外在改变励磁电流方向的中间一段时间，励磁电流为零，容易出现“飞车”现象。所以这两种电动机常采用电枢反接法来改变电动机旋转方向。图 7-3-4 所示为并励直流电动机正反转控制线路。

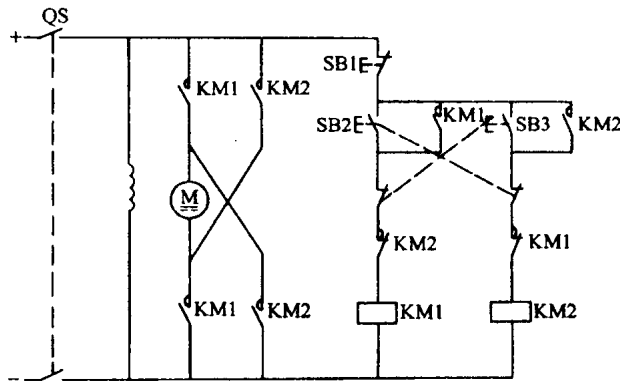


图 7-3-4 并励直流电动机正反转控制线路

工作过程如下：合上电源开关 QS，按下复合按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电，常开触点闭合，直流电动机正转。若需要反转，按下复合按钮 SB3，接触器 KM1 断电释放，接触器 KM2 线圈通电，常开触点闭合，直流电动机电枢电流方向改变，开始反转。按下停止按钮 SB1，接触器 KM1、KM2 断电释放，电动机停转。

2. 磁场反接法

串励直流电动机电枢两端电压很高，而励磁绕组两端电压很低，反接比较容易，因此这种电动机常采用磁场反接法改变电动机旋转方向，如图 7-3-5 所示。其工作原理与图 7-3-4 相同，这里不再叙述。

三、直流电动机制动控制线路

当需要直流电动机快速停车或反转时，必须采取制动措施。直流电动机制动方法有电气制动和机械制动两大类，电气制动又分为能耗制动和反接制动等。

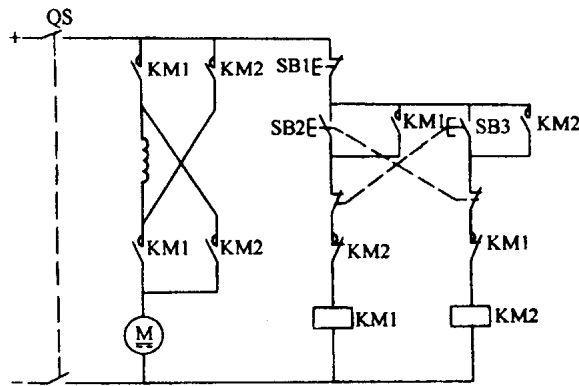


图 7-3-5 串励直流电动机正反转控制线路

1. 能耗制动控制线路

能耗制动是指在维持直流电动机励磁电源不变的情况下,把正在作电动运行的电动机电枢从电源断开,再串接上一级或多级制动电阻组成制动电阻回路,将电动机的机械动能变成热能消耗在电枢及制动电阻上。图 7-3-6 所示为采用一级制动电阻的并励直流电动机能耗制动控制线路。

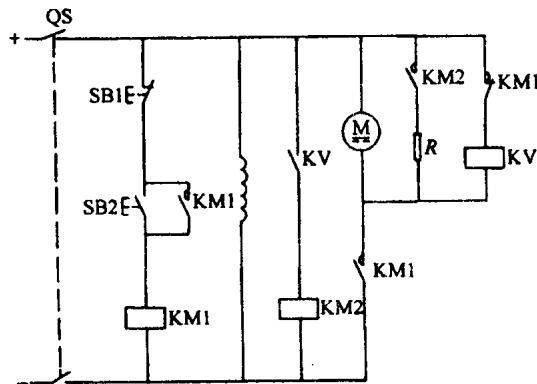


图 7-3-6 并励直流电动机能耗制动控制线路

工作过程如下:合上电源开关 QS,励磁绕组中通以励磁电流。按下启动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,其常开主触点和自锁触点闭合,电动机起动运行。此时由于 KM1 常闭触点断开,电压继电器 KV 不动作。

需要停车时,按下停止按钮 SB1,接触器 KM1 断电释放,使电动机从电源断开,并接于电动机电枢两端的电压继电器 KV 线圈电压达到动作值,KV 常开触点闭合,使接触器 KM2 线圈通电,KM2 常开触点闭合,将制动电阻 R 接于电枢回路,开始进入能耗制动。

此时,电枢电流方向改变,电磁转矩起制动作用,电动机转速及感应电势迅速下降,当感应电势减小到一定值时,电压继电器 KV 释放,触点恢复,制动电阻 R 切除,能耗制动结束。

当制动电阻不变时,随着电动机的减速,电枢绕组的感应电势及电枢电流均减小,使制动转矩随之减小而制动过程变慢。如果要求快速制动,则需保证在整个制动过程中都具有足够大的制动转矩。这时可采用多级制动电阻,随着制动过程的进行逐级切除制动电阻。图 7-3-7 所示为采用三级制动电阻的他励直流电动机能耗制动控制线路。

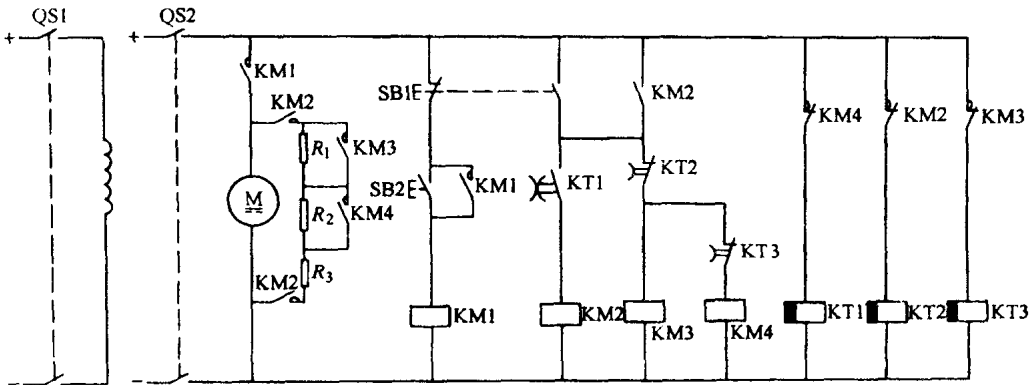


图 7-3-7 他励直流电动机能耗制动控制线路

制动过程如下:按停止按钮 SB1,接触器 KM1 断电释放,电动机电枢绕组脱离电源。与此同时,接触器 KM2 通过已经闭合的时间继电器 KT1 常开触点而通电并自锁,全部制动电阻($R_1 + R_2 + R_3$)接于电枢回路,开始进入能耗制动。这时,电动机转向及感应电势方向不变,并且感应电势成为电枢回路的电源,电动机电枢电流方向改变,因此电磁转矩方向也随之改变,成为制动转矩,使电动机迅速减速。在接触器 KM2 通电的同时,其常闭触点断开,时间继电器 KT2 断电释放,经过一段延时后,KT2 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,通过其闭合的常开触点将电阻 R_1 短接。此时,总制动电阻减小为($R_2 + R_3$),使得电动机减速后能保持较大的电枢电流和制动转矩,加快减速。同理,在接触器 KM3 通电的同时,其常闭触点断开,时间继电器 KT3 断电释放,经过一段延时后,KT3 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM4 线圈通电,通过其闭合的常开触点将电阻 R_2 短接。此时,总制动电阻减小为 R_3 ,又维持了较大的制动转矩,加快减速。在接触器 KM4 通电的同时,其常闭触点断开,时间继电器 KT1 断电释放,经过一段延时后,其延时断开的常开触点断开,使接触器 KM2 断电释放,制动过程结束,这时电动机转速已很低或停转。

2. 反接制动控制线路

他励直流电动机的反接制动是把正在运转的电动机电枢两端电压反接,而励磁电流的大小和方向保持不变。为防止反接制动时电枢电流过大,电枢回路中必须串入限流电阻。图 7-3-8 为他励直流电动机反接制动控制线路。

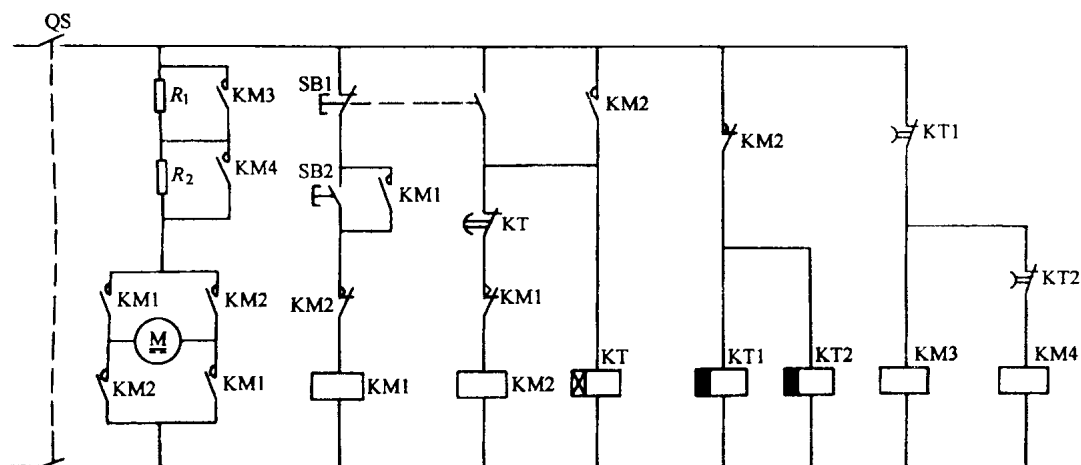


图 7-3-8 他励直流电动机反接制动控制线路

制动过程如下:按下停止按钮 SB1,接触器 KM1 断电释放,其常闭触点闭合,使接触器 KM2 线圈通电,其常开触点闭合,将加在电动机电枢两端的电源极性反向,而感应电势方向不变,这时加在电枢回路上的电压为电源与感应电势之和,为防止电枢电流过大,串入的制动电阻不能太小,以最大电枢电流大约为两倍额定电流为宜。此时电动机电枢电流方向与制动前的方向相反,电磁转矩变为制动转矩,使电动机迅速减速。

接触器 KM2 线圈通电的同时,时间继电器 KT 通电,而时间继电器 KT1、KT2 断电,经过一段延时后,KT1 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,通过其闭合的常开触点将电阻 R_1 短接。再经过一段延时后,KT2 延时闭合的常闭触点闭合,使接触器 KM4 线圈通电,通过其闭合的常开触点将电阻 R_2 短接。最后,经过一段延时,KT 延时断开的常闭触点断开,使接触器 KM2 断电释放,电动机电枢两端脱离电源,反接制动结束。

四、直流电动机调速控制线路

直流电动机调速的基本方法有三种:

- (1) 改变电枢回路串联电阻调速;
- (2) 改变励磁磁通调速;

(3)改变电枢电压调速。

其中使用较多的是改变电枢电压调速。图 7-3-9 所示为发电机—电动机调速系统原理图。图中, M1 是他励直流电动机, 拖动生产机械旋转; G1 是他励直流发电机, 发出电压 U 供直流电动机 M1 作为电源电压; G2 是并励直流发电机, 产生恒定的直流电压 U_1 , 供给直流发电机 G1 和直流电动机 M1 作为励磁电源, 同时供给接触器 KM1 和 KM2 作为控制电路电源; M2 是三相笼型异步电动机, 作为直流发电机 G1 和励磁发电机 G2 的原动机。

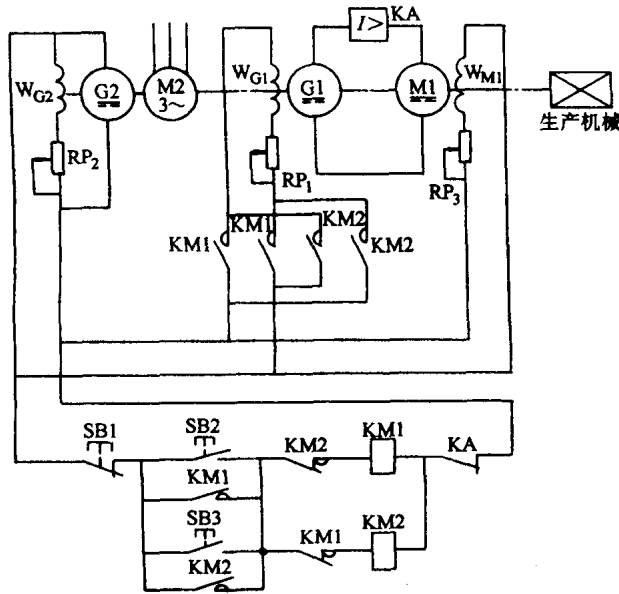


图 7-3-9 G—M 调速系统原理图

工作原理如下:先起动三相异步电动机 M2,使励磁发电机 G2 和直流发电机 G1 旋转,励磁机输出直流电压 U_1 ,供给 G—M 机组励磁电压和控制电路电压。

按下起动按钮 SB2(或 SB3),接触器 KM1(或 KM2)线圈通电,其常开触点闭合,发电机 G1 的励磁绕组 W_{G1} 便流过一定方向的电流,发电机开始励磁。由于 G1 的励磁绕组有较大的电感,故励磁电流上升较慢,发电机 G1 输出电压只能逐渐增大,因而起动时可避免较大的起动电流冲击。

系统调速是通过调节直流发电机 G1 和直流电动机 M1 的励磁电流调节电阻 RP_1 和 RP_3 。起动前将 RP_1 调到最大, RP_3 调到零。当直流电动机 M1 在运行中需调速时,可调节 RP_1 ,使 RP_1 减小,直流发电机 G1 的励磁电流增加,输出电压随之增加,电动机转速 n 上升。可见,调节 RP_1 的阻值可调节直流发电机 G1 的输出电压,达到调节电动机 M1 转

速的目的。

必须注意,直流电动机 M1 的电枢电压不允许超过其额定值,故调节 RP_1 时,电动机的转速只能在额定转速以下进行调节。

如果电动机需在额定转速以上调速,则应先调节 RP_1 ,将电动机电枢电压调到额定值,然后调节 RP_3 ,使 RP_3 增大,则励磁电流减小,电动机 M1 的转速升高。

制动时,按下停止按钮 SB1,接触器 KM1(或 KM2)线圈断电释放,直流发电机 G1 的励磁绕组断电,发电机输出电压为零。由于 M1 仍在惯性运转,而励磁绕组 W_{M1} 仍有励磁电流,这时,电动机 M1 变为发电机,产生制动转矩,使电动机迅速停转。

直流电动机 M1 的反向运行是通过改变直流发电机 G1 励磁绕组中励磁电流的方向,从而改变直流发电机输出电压的方向,使电动机 M1 电枢电压反向来实现的。

第二节 三相异步电动机的起动控制线路

根据电动机及供电变压器容量的不同,三相异步电动机有直接起动和降压起动两种方式。

小容量的三相异步电动机(7.5kW 及以下)一般都可以直接起动。直接起动是通过开关或接触器将额定电源电压直接加在电动机的定子绕组上,使电动机由静止状态逐渐加速到稳定运行状态。这种起动方法的优点是所需电气设备少,线路简单,缺点是起动电流大,容易引起电源电压波动。关于直接起动的控制线路前面已经介绍过,见图 7-3-3~图 7-3-9。

大、中容量的三相异步电动机则应采用降压起动方式,以限制起动电流,减小起动时对电源电压的冲击。常用的降压起动方法有:定子绕组串电阻降压起动、星形—三角形降压起动、自耦变压器降压起动和延边三角形降压起动。下面分别介绍其控制线路。

一、定子绕组串电阻降压起动控制线路

定子绕组串电阻降压起动,就是把电阻串接在电动机定子绕组与电源之间,通过电阻的降压作用来降低定子绕组上的起动电压,起动过程完成后再将电阻短接,使电动机在额定电压运行。

图 7-3-10 所示为时间继电器控制定子绕组串电阻降压起动控制线路。

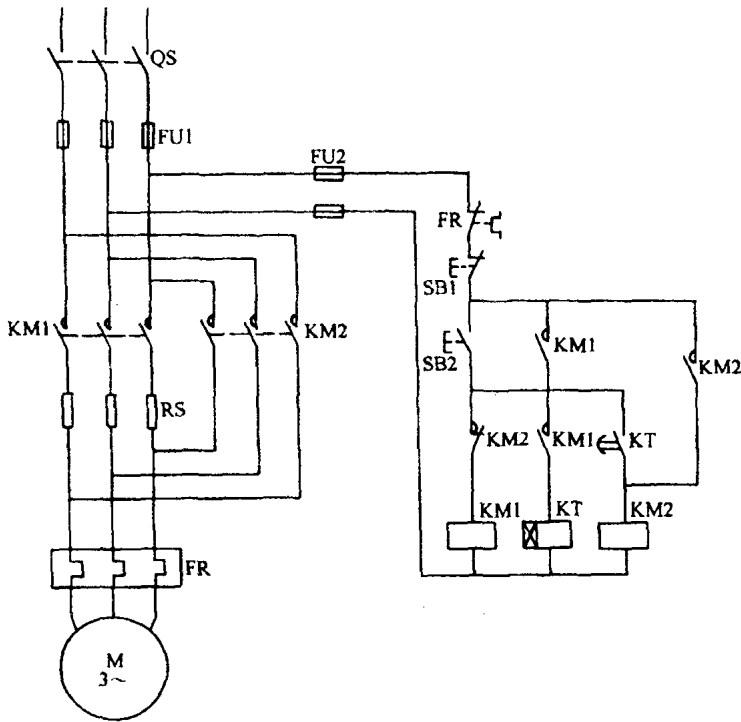


图 7-3-10 定子绕组串电阻降压起动控制线路

工作原理如下:合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,其常开主触点和自锁触点闭合,三相交流电源经起动电阻 RS 降压后加入定子绕组,电动机开始起动。与此同时,时间继电器 KT 线圈通电,经过一段延时后,延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM2 线圈通电,其常开主触点和自锁触点闭合,将起动电阻 RS 短接,电动机接入正常电压,并进入正常稳定运行。另外,接触器 KM2 常闭触点断开,使接触器 KM1 和时间继电器 KT 线圈断电。停车时,只需按下停止按钮 SB1。

定子绕组串电阻降压起动虽然降低了起动电流,但起动转矩也随之降低,这种起动方法仅适用于空载或轻载起动。同时,外串的起动电阻将会消耗大量的电能,因此该方法仅适用于小型电动机。

二、星形—三角形(Y—Δ)降压起动控制线路

正常运行时 Δ 联结且容量较大的电动机可以采用 Y—Δ 降压起动。电动机起动时,定子绕组接成 Y 形联结,每相绕组的电压降为电源电压额定值的 $1/\sqrt{3}$,起动电流降为 Δ 形联结起动电流的 $1/3$ 。待转速升高到额定转速时则改为 Δ 形联结,直到稳定运行。

图 7-3-11 为 Y—Δ 降压起动控制线路。

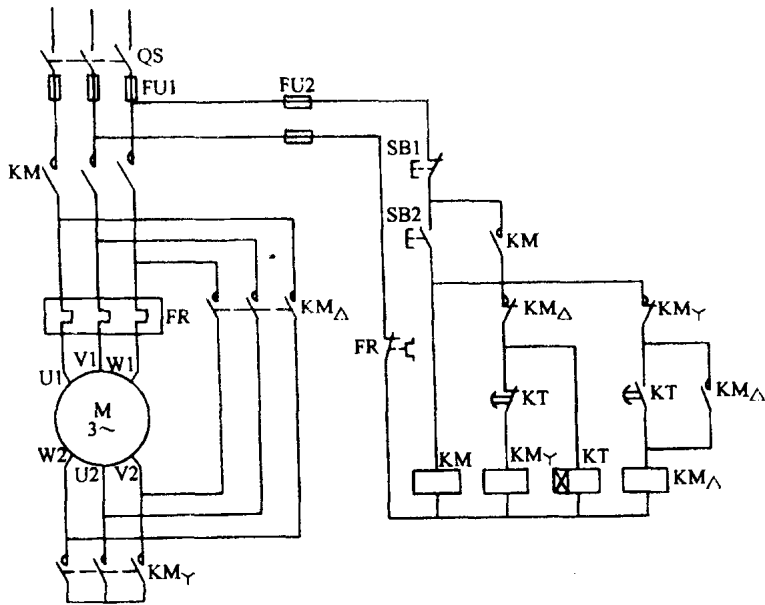


图 7-3-11 Y— Δ 降压起动控制线路

工作原理如下:合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM、KM_Y 和时间继电器 KT 线圈同时通电,接触器 KM 常开主触点和自锁触点闭合,电动机接通电源;接触器 KM_Y 常开主触点闭合,定子绕组接成 Y 形联结,电动机进入降压起动。当时间继电器 KT 到达设定的延时时间后,其延时断开的常闭触点断开,使接触器 KM_Y 断电释放;同时,延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM _{Δ} 线圈通电,KM _{Δ} 常开主触点和自锁触点闭合,定子绕组改接为 Δ 形联结,电动机进入正常运行。KM _{Δ} 线圈通电后,常闭触点断开,使时间继电器 KT 线圈断电。

控制电路中,必须保证接触器 KM_Y 和 KM _{Δ} 不能同时通电,否则会造成电源短路,因此,KM_Y 和 KM _{Δ} 之间加有互锁触点。要停车,按停止按钮 SB1。

这种降压起动方法线路简单、投资少,但是起动电流减小的同时,起动转矩也减小为 Δ 形联结起动转矩的 1/3。因此,该方法仅适用于电动机空载或轻载起动。

三、自耦变压器降压起动控制线路

起动时,电动机定子串入自耦变压器,定子绕组得到的电压为自耦变压器的二次电压,待起动完毕后,切除自耦变压器,额定电压直接加于定子绕组,电动机进入全电压正常工作。

自耦变压器降压起动控制线路如图 7-3-12 所示。

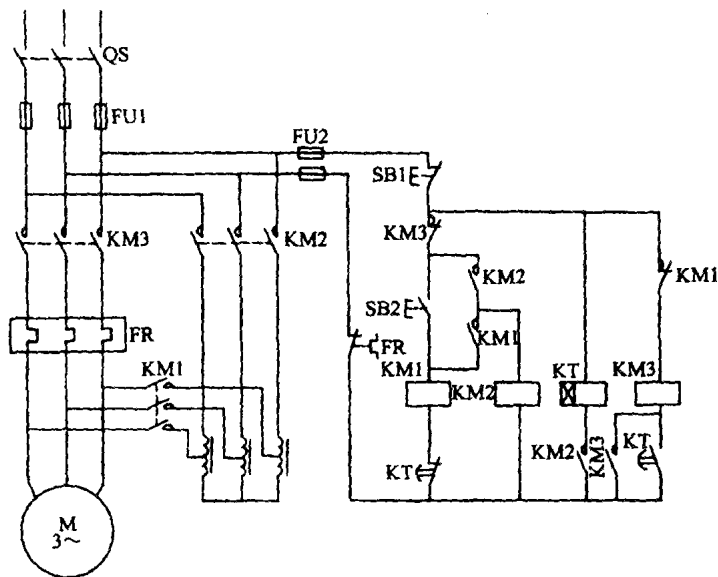


图 7-3-12 自耦变压器降压起动控制线路

工作原理如下:合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,其常开主触点和辅助触点闭合,接触器 KM2 线圈通电,常开主触点和自锁触点闭合,自耦变压器接入定子绕组,电动机开始降压起动。KM2 线圈通电后,时间继电器 KT 线圈也通电,经过一段延时后,KT 延时断开的常闭触点断开,使接触器 KM1 断电;延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,KM3 常闭辅助触点断开,使接触器 KM2 断电释放,切除自耦变压器,而 KM3 常开主触点和自锁触点闭合,电动机接入全电压正常运行。停车时,只需按下停止按钮 SB1。

自耦变压器通常有两个不同的抽头(60%、80%),利用不同抽头的电压比可得到不同的起动电压和起动转矩,可根据需要选择。

自耦变压器降压起动方法适用于起动较大容量的电动机,起动转矩可以通过改变抽头的连接位置得到改变,它的缺点是自耦变压器价格较贵,而且不允许频繁起动。

四、延边三角形降压起动控制线路

延边三角形降压起动是在电动机起动过程中,将电动机绕组接成延边三角形,以减小起动电流。待起动完毕后,将其绕组改接成三角形正常运行,其电动机定子绕组接线如图 7-3-13 所示。

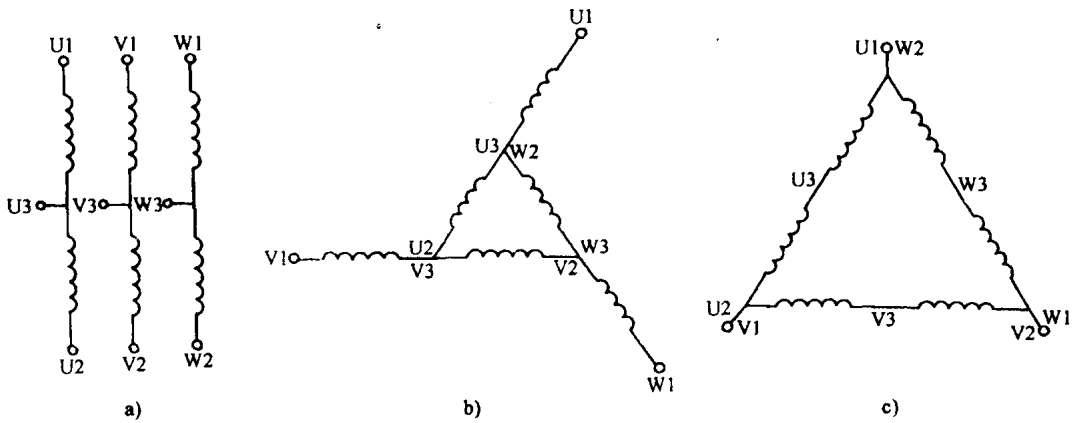


图 7-3-13 延边三角形联结

a—出线端；b—起动运行时接线法；c—正常运行时接线法

当电动机定子绕组接成延边三角形时,定子绕组可以看成一部分接成 Y 形联结,另一部分接成 Δ 形联结。Y 形接线部分的三个绕组是各相定子绕组的一部分。同时它又是另一部分定子绕组的降压绕组,它的匝数越多,起动时加在另一部分定子绕组上的电压就越低。改变定子绕组抽头的位置,就可调节起动时定子绕组上电压的大小,从而改变起动电流和起动转矩。

图 7-3-14 所示为延边三角形降压起动控制线路。

工作原理如下:合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1、KM2 和时间继电器 KT 线圈同时通电,KM1、KM2 常开主触点均闭合,使电动机绕组的 U1、V1、W1 与电源相连接,U2、V2、W2 分别与 V3、W3、U3 相连接,电动机接成延边三角形降压起动。经过一段时间后,时间继电器延时断开的常闭触点断开,使接触器 KM2 断电释放;同时,延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,KM3 常开主触点闭合,使电动机绕组的 U1、V1、W1 分别与 W2、U2、V2 相连接,电动机接成三角形进入正常运行。要停车,则按停止按钮 SB1。

控制电路中,KM2 与 KM3 必须有互锁环节。KM3 必须有自锁环节。

延边三角形降压起动方法的优点是起动转矩比 Y— Δ 降压起动的起动转矩大,但与自耦变压器起动时最高转矩相比仍有一定差距,而且延边三角形联结时,电动机定子绕组必须有九个出线端,这在一定程度上限制了它的使用范围。

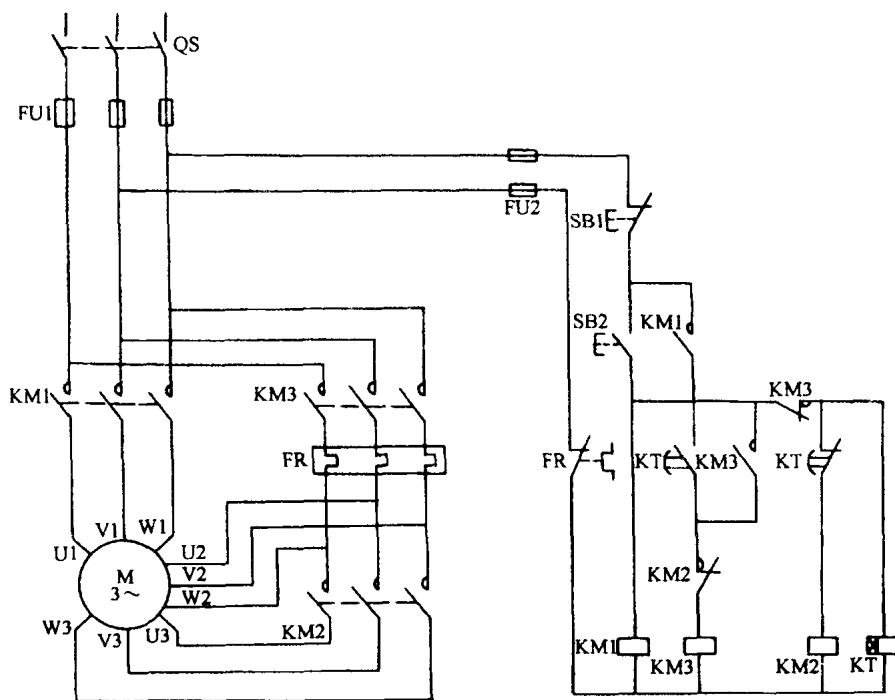


图 7-3-14 延边三角形降压起动控制线路

五、三相绕线转子异步电动机的起动控制线路

三相绕线转子异步电动机可以在转子绕组中通过集电环串联外加电阻起动,达到减小起动电流、增大起动转矩的目的。因而在要求起动转矩较大的场合获得了广泛的应用。

1. 转子绕组串接电阻起动控制线路

转子绕组串接的起动电阻,一般都接成 Y 形联结。起动开始时,起动电阻全部接入电路,以减小起动电流,随着电动机转速的上升,起动电阻逐级切除。起动结束时,起动电阻全部切除,电动机进入稳态运行。

图 7-3-15 所示为采用时间继电器控制的绕线转子异步电动机转子串电阻起动控制线路。该线路通过三个时间继电器 KT_1 、 KT_2 、 KT_3 和三个接触器 KM_2 、 KM_3 、 KM_4 的相互配合来依次自动切除转子绕组串入的三级起动电阻,自动完成起动过程。三个时间继电器各自的延时时间满足 $t_1 < t_2 < t_3$ 。

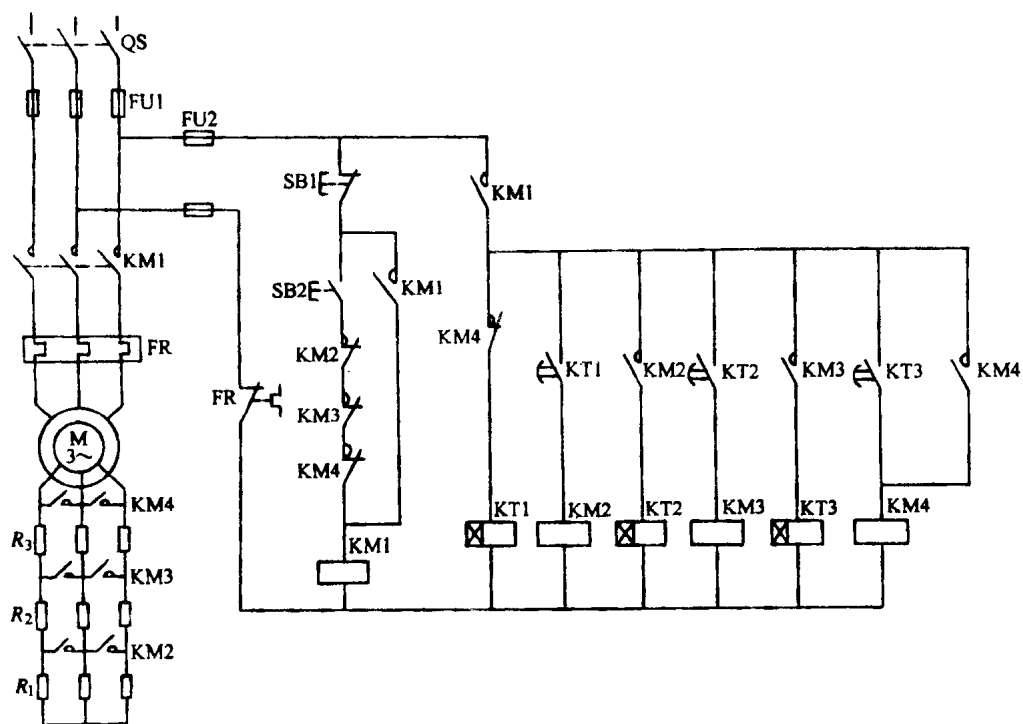


图 7-3-15 时间继电器控制转子串电阻起动控制线路

工作原理如下:合上电源开关 QS,按下起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈通电,其常开主触点和自锁触点闭合,电动机在转子串入全部电阻的情况下起动。KM1 线圈通电后,时间继电器 KT1 线圈也通电,经过一段延时后,KT1 延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM2 线圈通电,其常开主触点闭合,切除起动电阻 R_1 。KM2 线圈通电后,时间继电器 KT2 线圈也通电,经过一段延时后,KT2 延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM3 线圈通电,其常开主触点闭合,切除起动电阻 R_2 。同样,KM3 线圈通电后,时间继电器 KT3 线圈也通电,经过一段延时后,KT3 延时闭合的常开触点闭合,使接触器 KM4 线圈通电,其常开主触点闭合,切除全部起动电阻。同时,KM4 常闭触点断开,使时间继电器 KT1 断电释放,接触器 KM2、时间继电器 KT2、接触器 KM3、时间继电器 KT3 也依次断电释放。此时,电动机通过仍然闭合的接触器 KM1、KM4 主触点进入正常稳定运行。停车时,只需按下停止按钮 SB1。

2. 转子回路串接频敏变阻器起动控制线路

频敏变阻器实际上是一个铁损很大的三相电抗器,其阻抗值随着流过绕组的电流频率的变化而变化。刚起动时,转子电流频率最高,频敏变阻器的阻抗最大,使转子电流受