

项目二 电动机选型与基本控制电路

任务 1：电动机基本知识

任务导入

有一抽水站的水泵向高度 $H=10\text{m}$ 处送水，排水量 $Q=500\text{m}^3/\text{h}$ ，水泵的效率 $\eta_1=0.9$ ，传动装置的效率 $\eta_2=0.78$ ，水的密度 $\rho=1000\text{kg}/\text{m}^3$ ，试选择一台电动机拖动水泵。图 2-1 所示为鼠笼型三相异步电动机。

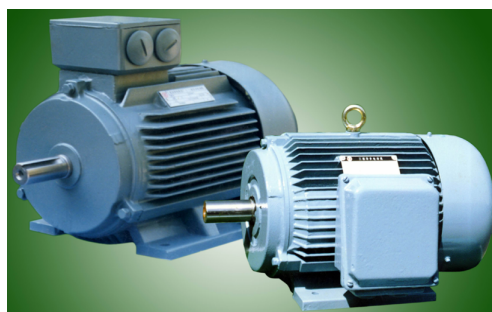


图 2-1 鼠笼型三相异步电动机

知识链接

一、三相异步电动机的结构

三相异步电动机由两个基本部分组成：一是固定不动的部分，称为定子；二是旋转部分，称为转子。定子与转子之间是空气隙，另外还有端盖、轴承、机座、风扇等部件。图 2-2 所示为鼠笼型三相异步电动机的结构图。

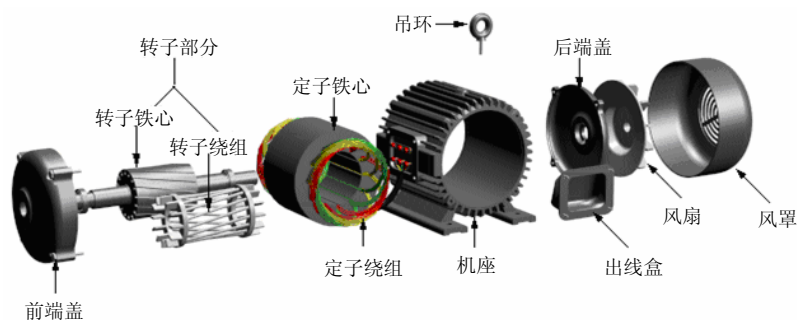


图 2-2 鼠笼型三相异步电动机的结构图

1. 异步电动机的定子结构

异步电动机的定子由机座、定子铁心和定子绕组三个部分组成。

(1) 机座：异步电动机的机座主要是固定和支撑定子铁心和绕组。中小型电动机一般采用铸铁机座，大中型电动机采用钢板焊接的机座。电动机损耗产生的热量主要通过机座散出，为了加大散热面积，机座外部有很多均匀分布的散热筋。机座两端面上安装有端盖，端盖用于支撑转子并保持定、转子之间的气隙值。为了保证转子能够自由旋转，中小型电动机的空气隙约在 0.2~1.0mm 之间。

(2) 定子铁心：定子铁心是电动机磁路的一部分，装在机座里。为了降低定子铁心的铁耗，定子铁心用 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成，硅钢片两面还应涂上绝缘漆，用以降低交变磁通在铁心中产生的涡流损耗。定子铁心内圆上开有槽，槽内放置定子绕组（也叫电枢绕组）。

(3) 定子绕组：异步电动机的定子绕组是电动机的电路部分。小型异步电动机定子绕组通常由高强度漆包圆线绕成线圈嵌入铁心槽内；大中型电动机使用矩形截面导线预先制成成型线圈，再嵌入槽内。它们在定子内圆空间的排列是彼此间相隔 120°，构成对称的三相绕组。绕组与槽壁间用绝缘隔开。三相绕组的 6 个出线引到机座接线盒内的接线板上，可按要求接成 Y 或 Δ 形，如图 2-3 所示。

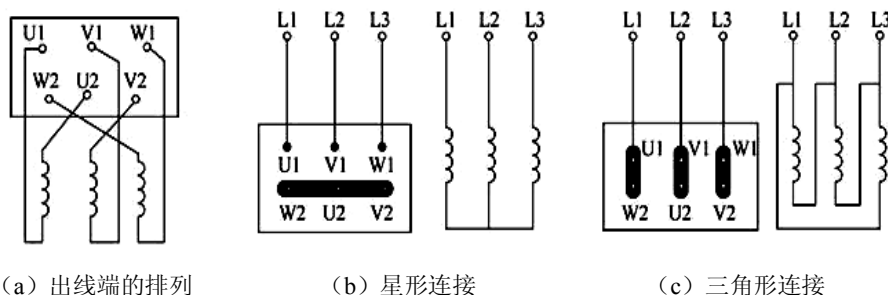


图 2-3 三相异步电动机定子绕组的接法

2. 异步电动机的转子结构

异步电动机的转子由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

(1) 转子铁心：转子铁心也是磁路的一部分，与定子铁心一样，也由 0.5mm 厚的硅钢片叠压而成，整个铁心固定在转轴上。转子铁心外圆上冲有均匀分布的槽，用以安放转子绕组。由于槽缝很小，整个转子铁心的外表面呈圆柱形。

(2) 转子绕组：三相异步电动机的转子绕组用来感应电动势和产生电流，同时与旋转磁场作用产生转矩，是电动机的重要部件之一。异步电动机的转子绕组按结构分有笼型转子和绕线转子两种。笼型转子绕组由插入转子槽中的多根导条和两个环形的端环组成，若去掉转子铁心，整个绕组的外形像一个鼠笼，故称为鼠笼绕组，如图 2-4 所示。绕线转子绕组与定子绕组类似，也是一个对称的三相绕组，一般接成星形，如图 2-5 所示。

(3) 转轴：一般由碳钢制成，两端支撑在轴承上。

思考：工厂用电气设备中哪种异步电动机使用更广泛？

二、三相异步电动机的工作原理

1. 转动原理

为了说明三相异步电动机的工作原理，我们来做演示实验，如图 2-6 所示。

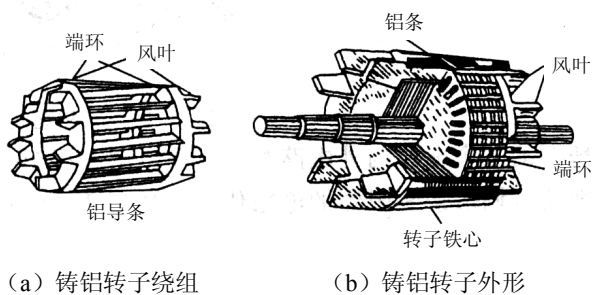


图 2-4 笼型绕组示意图

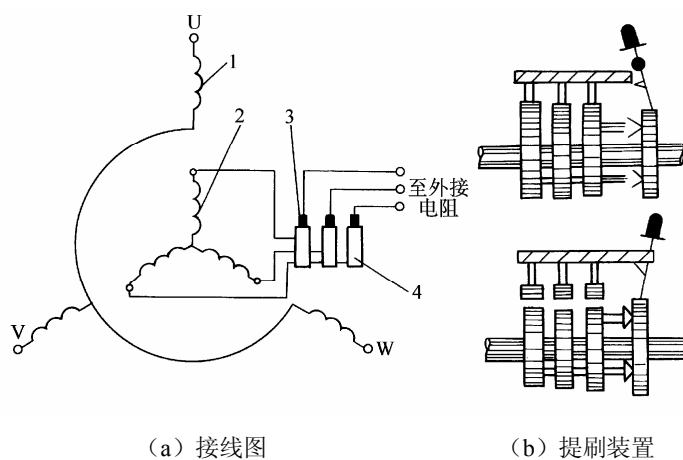


图 2-5 绕线转子示意图

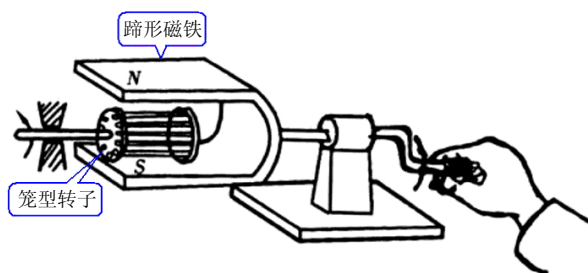


图 2-6 三相异步电动机转动原理

(1) 演示实验：在装有手柄的蹄形磁铁的两极间放置一个闭合的笼型导体，当转动手柄带动蹄形磁铁旋转时，将发现导体也跟着旋转；若改变磁铁的转向，则导体的转向也跟着改变。

(2) 现象解释：当磁铁旋转时，磁铁与闭合的导体发生相对运动，鼠笼式导体切割磁力线而在其内部产生感应电动势和感应电流。感应电流又使导体受到一个电磁力的作用，于是导体就沿磁铁的旋转方向转动起来，这就是异步电动机的基本原理。转子转动的方向和磁极旋转的方向相同。

(3) 结论：欲使异步电动机旋转，必须有旋转的磁场和闭合的转子绕组。

2. 旋转磁场

(1) 旋转磁场的产生。

电动机的三相定子绕组在空间上互差 120° （电角度），连接成星形（Y）或三角形（ Δ ），是对称三相负载，简化后如图 2-7 所示。定子绕组接通电源后流入三相对称交流电流，如图 2-8 所示。

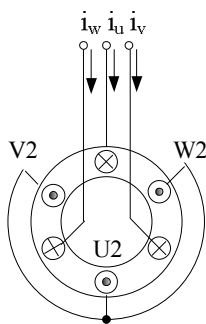


图 2-7 简化的三相定子绕组

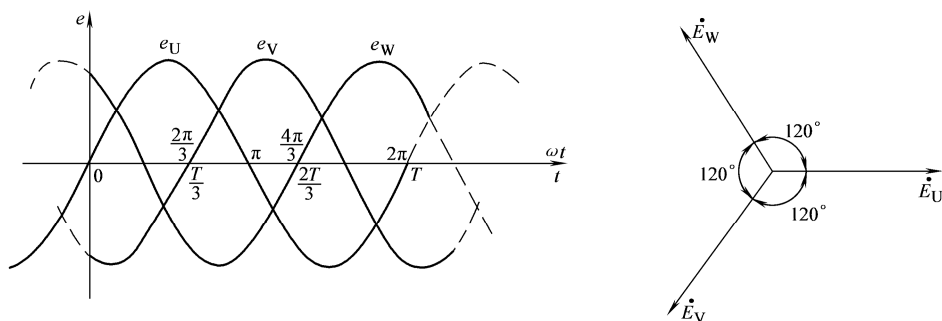


图 2-8 三相对称交流电流曲线

假设某相绕组电流瞬间为正时，电流从该相绕组的首端流入，尾端流出；电流为负时，方向相反。选取电流相位角 $\omega t=0^\circ$ 、 120° 、 240° 、 360° 这四个瞬时，对应这四个时刻的各绕组电流方向及磁场如图 2-9 所示。根据右手螺旋定则可判断相应的合成磁场为旋转磁场。

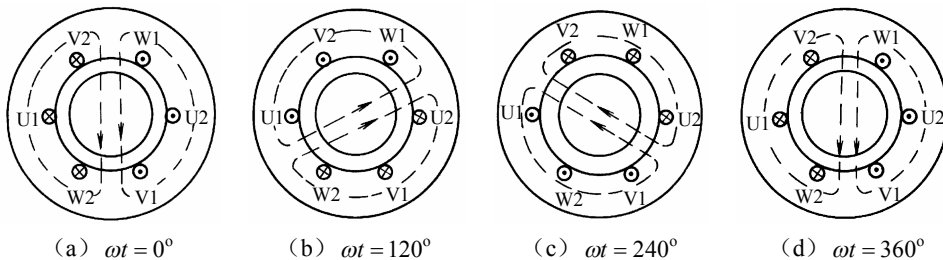


图 2-9 一对磁极的旋转磁场

可见，当定子绕组中的电流变化一个周期时，合成磁场也按电流的相序方向在空间旋转一周。随着定子绕组中的三相电流不断地作周期性变化，产生的合成磁场也不断地旋转，因此称为旋转磁场。

如果电动机的每相绕组由两个串联的线圈（组）组成，三相绕组连接成 Y 形，各相绕组的首端或尾端在空间上互差 60° 放置（电角度仍互差 120° ），如图 2-10 所示，用同样的方法可以判断出这时的磁场有两对磁极（即四个磁极），仍按绕组位置沿 U1、V1、W1 方向旋转，与电源相序相同，但电流变化一周时磁场在空间上仅旋转半周。

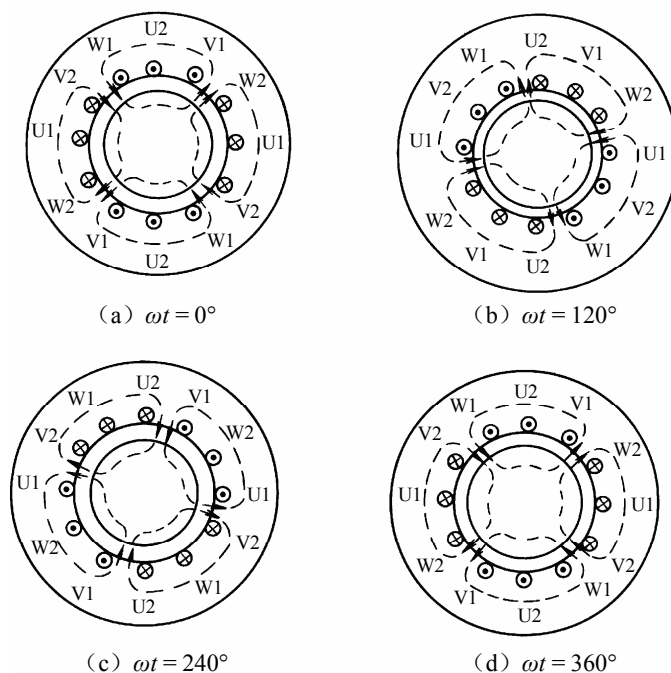


图 2-10 两对磁极的旋转磁场

（2）旋转磁场的方向。

旋转磁场的方向是由三相绕组中的电流相序决定的，若想改变旋转磁场的方向，只要改变通入定子绕组的电流相序，即将三根电源线中的任意两根对调即可。这时，转子的旋转方向也跟着改变。

由此可得出如下结论：

- 旋转磁场产生的条件是三相对称绕组通以三相对称电流。
- 旋转磁场的转向与三相电源通入定子绕组电流的相序一致。
- 旋转磁场的转速 n_0 （又称同步转速）的表达式为：

$$n_0 = \frac{60f}{p}$$

式中， f 为电源频率（Hz）； p 为电动机磁极对数，它取决于定子绕组的分布。

3. 基本工作原理

当电动机的三相定子绕组（各相差 120° 电角度）通入三相对称交流电后，将产生一个同步转速为 n_0 的旋转磁场，该旋转磁场切割转子绕组，从而在转子绕组中产生感应电流（转子绕组是闭合通路），载流的转子导体在定子旋转磁场作用下将产生电磁力，从而在电动机转轴上形成电磁转矩，驱动电动机旋转，并且电动机的旋转方向与旋转磁场方向相同。

转子转动后，其转速为 n ，则转子导体与定子旋转磁场间的相对切割速度为 $\Delta n = n_0 - n$ ，

当 $n = n_0$ 时, $\Delta n = 0$, 相应地有转子感应电动势 $e = 0$, 感应电流 $i = 0$, 即转子与旋转磁场间无相对切割运动时转子绕组中无感应电动势和电流, 也就没有驱动转子转动的电磁转矩, 可见 $n < n_0$ 是异步电动机维持运行的必要条件, 异步电动机之称也由此而得。

综上所述, 异步电动机的工作原理如下:

- 定子绕组通入三相对称电流, 在气隙中建立以同步速 n_0 旋转的基波旋转磁场 (电生磁)。
- 气隙旋转磁场在短路的转子绕组中感应电动势并产生电流 (动磁生电)。
- 转子导体中的感应电流与气隙旋转磁场相互作用产生电磁转矩, 实现异步电动机的运行 (电磁力)。

4. 转差率

同步速 n_0 和电动机转速 n 之差与同步速的比值称为转差率, 用 s 表示, 即:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

转差率 s 是反映异步电动机运行状态和负载情况的基本变量。

三、三相异步电动机的铭牌数据

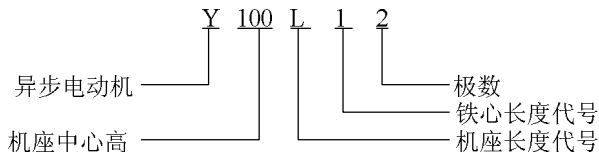
每台电动机的机座上都装有一块铭牌。铭牌上标注有该电动机的主要性能和技术数据, 如表 2-1 所示。

表 2-1 三相异步电动机的铭牌

三相异步电动机					
型 号	Y132M-4	功 率	7.5kW	频 率	50Hz
电 压	380V	电 流	15.4A	接 法	Δ
转 速	1440r/min	绝缘等级	E	工作方式	连续
温 升	80℃	防护等级	IP44	重 量	55kg
年 月		编 号		××电动机厂	

1. 型号

电动机产品的型号一般由大写印刷体的汉语拼音字母和阿拉伯数字组成。其中汉语拼音字母是根据电动机的全名选择有代表意义的汉字, 再用该汉字的第一个拼音字母组成。例如 Y 系列三相异步电动机表示如下:



2. 额定值

异步电动机的额定值包含以下内容:

(1) 额定功率 P_N : 指电动机在额定运行时轴上输出的机械功率, 单位为 W 或 kW。

(2) 额定电压 U_N : 指额定运行状态下加在定子绕组上的线电压, 单位为 V 或 kV。为了区分定、转子边的量, 定子边的量加下标 1, 如 U_{1N} , 转子边的量加下标 2, 如 U_{2N} 。一般规

定电动机的电压不应高于或低于额定值的 5%。

注意：在低于额定电压下运行时，最大转矩 $T_{\max}$ 和起动转矩 T_{st} 会显著降低，这对电动机的运行是不利的。

三相异步电动机的额定电压有 380V、3000V、6000V 等多种。

(3) 额定电流 I_N ：指电动机在定子绕组上加额定电压、轴上输出额定功率时定子绕组中的线电流，单位为 A。

(4) 额定频率 f_N ：指我国规定工业用电的频率是 50Hz。

(5) 额定转速 n_N ：指电动机定子加额定频率和额定电压且轴端输出额定功率时电动机的转速，单位为 r/min。

(6) 额定功率因数 $\cos\varphi_N$ 和额定效率 η_N ：指电动机定子加额定负载时，电动机的效率和定子边的功率因数。电动机额定运行时有 $P_N = \sqrt{3}U_N I_N \eta_N \cos\varphi_N$ ，额定输出转矩 $T_N = 9550 \frac{P_N}{n_N}$ 。

因为电动机是电感性负载，定子相电流比相电压滞后一个 φ 角， $\cos\varphi$ 就是电动机的功率因数。三相异步电动机的功率因数较低，在额定负载时约为 0.7~0.9，而在轻载和空载时更低，空载时只有 0.2~0.3。

选择电动机时应注意其容量，防止“大马拉小车”，并力求缩短空载时间。

3. 铭牌上的其他重要数据

(1) 绝缘等级与额定温升：绝缘等级指电动机主绝缘所使用的绝缘材料耐热等级。中小型异步电动机的绝缘等级从低到高依次为 A、E、B、F 和 H 级。例如 Y 系列小型异步电动机采用 B 级绝缘材料，其最高允许工作温度为 130℃，如表 2-2 所示。

表 2-2 绝缘等级与额定温升

绝缘等级	环境温度 40℃时的允许温升	极限允许温度
A	65℃	105℃
E	80℃	120℃
B	90℃	130℃

额定温升指在电动机额定状态下运行时，电动机绕组允许的温度升高值。国家标准规定：标准环境温度按 40℃计算，若电动机绕组温升为 80℃，再考虑 10℃的裕度，则达到了电动机绕组绝缘的最高允许工作温度 130℃，所以要采用 B 级绝缘。目前，一般电动机采用较多的是 E 级和 B 级。

(2) 定子绕组接法：指额定电压下电动机规定的接线方式。国标规定：Y 系列异步电动机，其额定功率 4kW 及以下者采用 Y 接法，4kW 及以上者采用 Δ 接法，以便可选用 Y— Δ 方式起动。

(3) 工作方式：指电动机额定状态运行所允许的持续时间，有连续 (S1)、短时 (S2)、断续 (S3) 三种，后两种方式指电动机只能短时、间歇地工作。

(4) 防护等级：指为满足环境要求电动机采取的外壳防护形式，通常有开启式 (IP11)、防护式 (IP22) 和封闭式 (IP44) 三类。

任务实施——三相异步电动机的选型

正确选择电动机的功率、种类、形式是极为重要的。

1. 功率的选择

电动机的功率要根据负载的情况选择,选大了虽然能保证正常运行,但是不经济,电动机的效率和功率因数都不高;选小了则不能保证电动机和生产机械的正常运行,不能充分发挥生产机械的效能,并使电动机由于过载而过热,电动机寿命会降低。

每台电动机的绝缘材料限制了它的最高允许温度,若工作温度超过允许温度,则每升高 8°C ,绝缘寿命缩短一半。

所以,要使工作过程中电动机的容量能得到充分利用,使其温升尽可能达到或接近额定温升值。

(1) 连续运行电动机功率的选择。

对连续运行的电动机,先算出生产机械的功率,所选电动机的额定功率等于或稍大于生产机械的功率即可。

(2) 短时运行电动机功率的选择。

如果没有合适的专为短时运行设计的电动机,可选用连续运行的电动机。由于发热惯性,在短时运行时可以容许过载。工作时间越短,则过载可以越大。但电动机的过载是受到限制的,通常是根据过载系数 λ 来选择短时运行电动机的功率。电动机的额定功率可以是生产机械所要求的功率的 $1/\lambda$ 。

2. 种类和形式的选择

(1) 种类的选择。

选择电动机的种类是从交流或直流、机械特性、调速与起动性能、维护及价格等方面来考虑的。

1) 交直流电动机的选择。

如果没有特殊要求,一般都应采用交流电动机。

2) 鼠笼式与绕线式的选择。

三相鼠笼式异步电动机结构简单、坚固耐用、工作可靠、价格低廉、维护方便,但调速困难、功率因数较低、起动性能较差,因此要求机械特性较硬而无特殊调速要求的一般生产机械的拖动应尽可能采用鼠笼式电动机。

只有在不方便采用鼠笼式异步电动机时才采用绕线式电动机。

(2) 结构形式的选择。

电动机常制成以下几种结构形式:

- 开启式:在构造上无特殊防护装置,用于干燥无灰尘的场所,通风非常好。
- 防护式:在机壳或端盖下面有通风罩,以防止铁屑等杂物掉入。也有将外壳做成挡板状的,以防止在一定角度内有雨水滴溅入其中。
- 封闭式:它的外壳严密封闭,靠自身风扇或外部风扇冷却,并在外壳上带有散热片。在灰尘多、潮湿或含有酸性气体的场所可以采用它。
- 防爆式:整个电动机严密封闭,用于有爆炸性气体的场所。

(3) 安装结构形式的选择。

- 机座带底脚,端盖无凸缘(B3)。
- 机座不带底脚,端盖有凸缘(B5)。
- 机座带底脚,端盖有凸缘(B35)。

(4) 电压和转速的选择。

1) 电压的选择。电动机电压等级的选择要根据电动机类型、功率以及使用地点的电源电压来决定。Y 系列鼠笼式电动机的额定电压只有 380V 一个等级。只有大功率异步电动机才采用 3000V 和 6000V。

2) 转速的选择。电动机的额定转速是根据生产机械的要求而选定的。但通常转速不低于 500r/min。因为当功率一定时，电动机的转速越低，则其尺寸越大，价格越贵，且效率较低。因此就不如购买一台高速电动机再另配减速器合算了。

异步电动机通常采用 4 个极的，即同步转速 $n_0=1500\text{r/min}$ 。

本项目中电动机的选择步骤如下：

(1) 该电动机属于恒定负载连续运行工作方式，故选择工作制为 S1 的电动机。

(2) 由水泵设计手册查得：

$$\begin{aligned} P_L &= \frac{QrH}{102\eta_1\eta_2} \\ &= 10 \times 1000 \times 500 / (102 \times 0.9 \times 0.78 \times 3600) \\ &= 19.4\text{kW} \end{aligned}$$

(3) 选择 $P_N \geq P_L$ 的电动机，查手册选择 Y200L2-6，额定功率 22kW，满载转速为 970r/min，最大转矩/额定转矩=1.8。

(4) 起动能力校验。

水泵为通风负载特性类的生产机械，起动能力不会有问题。

思考：什么是“大马拉小车”、“小马拉大车”？

知识拓展

一、异步电动机与变压器的比较

异步电动机与变压器在结构上有很大区别，它们的功能也不相同，但是它们具有类似的工作原理。在电磁关系方面，异步电动机和变压器有许多相似的方面，通过比较可以加深对它们的理解，下面从两者相似和相区别的方面加以比较分析。

1. 异步电动机和变压器相似的方面

(1) 从基本工作原理来看，异步电动机和变压器都利用电磁感应定理。变压器的一、二次绕组之间由同一交变磁场联系着，通过磁场的感应作用，将一次绕组从电源吸收的功率传送到二次绕组。异步电动机的定子绕组产生感应作用，实现机电能量向异步电动能量的转换，故异步电动机又称为感应电动机。可见，两者在工作原理上是完全相同的，异步电动机在原理上相当于二次侧可以旋转的变压器。

(2) 从励磁方面来看，两者都是“单边励磁”的电气设备。即一边（变压器的一次绕组、异步电动机的定子绕组）接电源，而另一边（变压器的二次绕组、异步电动机的转子绕组）的电动势和电流都是靠电磁感应产生的。当电源电压一定时，它们的主磁通最大值也都近似为恒定值，而与负载的大小关系不大，这也是它们的共同特点之一。

(3) 从结构上看，异步的定子绕组相当于变压器的原绕组，转子绕组相当于变压器的副绕组。

2. 异步电动机与变压器相区别的方面

- (1) 变压器是静止的电气设备，异步电动机是旋转运动的电气设备。
- (2) 变压器的主磁场是脉动磁场，而异步电动机的主磁场是旋转磁场。
- (3) 变压器中只有能量的传递，通过磁场媒介将原边的电能传送到副边；异步电动机中除了能量的传递之外，还进行能量的转换，即定子绕组中的电能通过气隙主磁场传送给转子绕组以后，有相当大的一部分要转换成机械能，从转子轴输出给机械负载。
- (4) 异步电动机的绕组是短矩分布绕组，而变压器的绕组为全距集中绕组。
- (5) 异步电动机的主磁通磁路有空气隙存在，而变压器的主磁路均为铁心。

二、三相异步电动机的使用

1. 电动机起动前的检查

- (1) 检查电动机铭牌所标电压、频率是否与使用的电源电压、频率相等，连接与铭牌所标是否相符。
- (2) 新电动机或长期不用的电动机，使用前应用兆欧表检查各相绕组间及各相绕组对地的绝缘电阻（正常值都应为无穷大），如图 2-11 所示。



(a) 兆欧表



(b) 测各相绕组间的绝缘电阻



(c) 测各相对地的绝缘电阻

图 2-11 兆欧表检查各相绕组间及各相绕组对地的绝缘电阻

2. 电动机运行中的巡查监视

- (1) 电压监视。电源电压与额定电压的偏差不应超过 $\pm 5\%$ ，三相电压不平衡度不应超过 1.5% 。
- (2) 电流监视。用钳形表测量电动机的电流，对较大的电动机还要经常观察运行中电流是否三相平衡或超过允许值。如果三相严重不平衡或超过电动机的额定电流，应立即停机检查。
- (3) 机组转动监视。检查传动带连接处是否良好，传动带松紧是否合适，机组转动是否灵活，有无卡位、蹿动及不正常的现象。

练习题

一台三相异步电动机铭牌上标明 $f = 50\text{Hz}$ 、额定转速 $n_N = 1460\text{r/min}$ ，该电动机的级数是多少？额定运行时的转差率是多少？

任务 2: 电动机的起动方式

任务导入

一台笼型三相异步电动机 $P_N = 28 \text{ kW}$, $U_{1N} = 380 \text{ V}$, $I_{1N} = 58 \text{ A}$, $\cos\varphi_{1N} = 0.88$, $n_N = 1455 \text{ r/min}$, 起动电流倍数 $K_I = 6$, 起动转矩倍数 $K_{st} = 1.1$, 过载倍数 $K_T = 2.3$, Δ 接。供电变压器要求起动电流小于等于 150 A , 起动时负载转矩为 $73.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ 。现有一台自耦变压器, 抽头有 55% 、 64% 、 73% 三种。若能用 $Y-\Delta$ 起动则不用其他方法; 若用串电抗起动, 计算电抗值; 若用自耦变压器起动, 计算使用哪一种抽头。请选择一种合适的起动方法。

知识链接

一、起动特性分析

1. 起动电流 I_{st}

在刚起动时, 由于旋转磁场对静止的转子有着很大的相对转速, 磁力线切割转子导体的速度很快, 这时转子绕组中感应出的电动势和产生的转子电流均很大, 同时, 定子电流必然也很大。一般中小型鼠笼式电动机定子的起动电流可达额定电流的 $5\sim 7$ 倍。

注意: 在实际操作时应尽可能不让电动机频繁起动。如在切削加工时, 一般只是用摩擦离合器或电磁离合器将主轴与电动机轴脱开, 而不将电动机停下来。

2. 起动转矩 T_{st}

电动机起动时, 转子电流 I_2 虽然很大, 但转子的功率因数 $\cos\varphi_2$ 很低, 由公式 $T = C_M \Phi I_2 \cos\varphi_2$ 可知, 电动机的起动转矩 T 较小, 通常 $T_{st}/T_N = 1.1\sim 2.0$ 。

起动转矩小可造成以下问题: ①延长起动时间; ②不能在满载下起动。因此应设法提高。但起动转矩如果过大, 会使传动机构受到冲击而损坏, 所以一般机床的主电动机都是空载起动(起动后再切削), 对起动转矩没有什么要求。

综上所述, 异步电动机的主要缺点是起动电流大而起动转矩小。因此, 必须采取适当的起动方法, 以减小起动电流并保证有足够的起动转矩。

二、鼠笼式异步电动机的起动方法

三相笼型异步电动机有直接起动和降压起动两种方法。

1. 直接起动

直接起动又称为全压起动, 就是利用闸刀开关或接触器将电动机的定子绕组直接加到额定电压下起动。

一般情况下, 异步电动机的功率小于 7.5 kW 时允许直接起动。如果功率大于 7.5 kW , 而电源总容量较大, 能符合下式要求, 则电动机也可允许直接起动:

$$K_I = \frac{I_{1st}}{I_{1N}} \leq \frac{1}{4} \left[3 + \frac{\text{电源总容量 (kV}\cdot\text{A)}}{\text{起动电动机总功率 (kW)}} \right]$$

如果不能满足上式的要求, 则必须采用减压起动的方法, 通过减压, 把起动电流 I_{st} 限制到允许的数值。

2. 降压起动

起动时降低加在定子绕组上的电压，以减小起动电流，待转速上升到接近额定转速时，再恢复到全压运行。降压起动虽然可以减小起动电流，但是同时起动转矩也会减小。

因此，降压起动方法一般只适用于大中型鼠笼式异步电动机的轻载或空载起动。

(1) 定子串电阻或电抗起动。

定子绕组串电阻或电抗相当于降低定子绕组的外加电压。由三相异步电动机的等效电路可知：起动电流正比于定子绕组的电压，因而定子绕组串电阻或电抗可以达到减小起动电流的目的。但考虑到起动转矩与定子绕组电压的平方成正比，起动转矩会降低得更多。因此，这种起动方法仅仅适用于空载或轻载起动场合。

对于容量较小的异步电动机，一般采用定子绕组串电阻降压；但对于容量较大的异步电动机，考虑到串接电阻会造成铜耗较大，故采用定子绕组串电抗降压起动。

如图 2-12 所示，当起动电动机时，合上开关 Q，交流接触器 KM 断开，使电源经电阻或电抗 R_{st} 流进电动机。当电动机起动完成时 KM 吸合，短接电阻或电抗 R_{st} 。

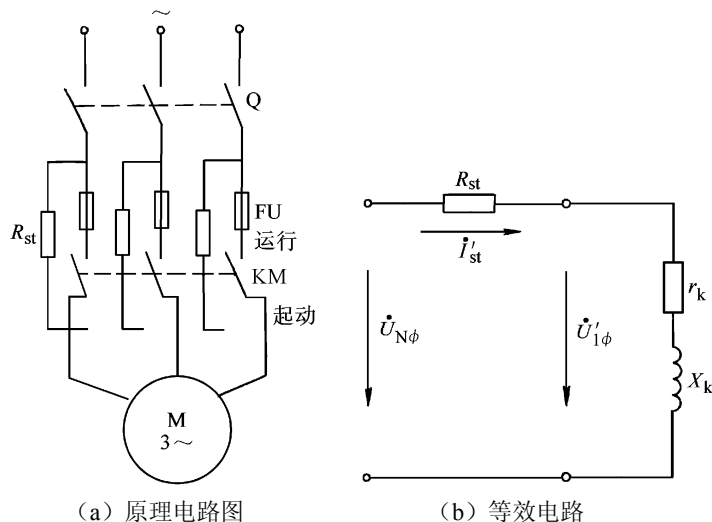


图 2-12 定子串电阻或电抗起动原理图

(2) 星形—三角形 (Y- Δ) 起动。

星形—三角形起动法是电动机起动时，定子绕组为星形 (Y) 接法，当转速上升至接近额定转速时，将绕组切换为三角形 (Δ) 接法，使电动机转为正常运行的一种起动方式。星形—三角形起动方法虽然简单，但电动机定子绕组的六个出线端都要引出来，略显麻烦。

图 2-13 所示为星形—三角形起动法的原理图。接触器 KM2 和 KM3 互锁，即其中一个闭合时，必须保证另一个断开。KM3 闭合时，定子绕组为星形接法，使电动机起动。切换至 KM2 闭合，定子绕组改为三角形接法，电动机转为正常运行。由控制电路中的时间继电器 KT 确定星形—三角切换的时间。

定子绕组接成星形连接后，每相绕组的相电压为三角形连接（全压）时的 $1/\sqrt{3}$ ，故星形—三角形起动时起动电流及起动转矩均下降为直接起动的 $1/3 \left(\frac{I_{YL}}{I_{\Delta L}} = \frac{1}{3} \right)$ 。由于起动转矩小，该方法只适合于轻载起动的场合。

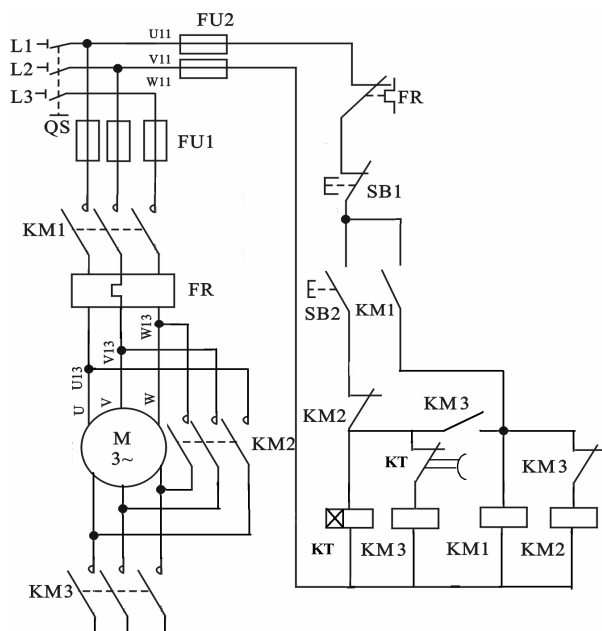


图 2-13 星形—三角形起动法的原理图

（3）自耦变压器起动。

自耦变压器起动法就是电动机起动时，电源通过自耦变压器降压后接到电动机上，待转速上升至接近额定转速时，将自耦变压器从电源切除，而使电动机直接接到电网上转化为正常运行的一种起动方法。

图 2-14 所示为自耦变压器起动的自动控制主回路。控制过程如下：合上空气开关 Q 接通三相电源。按起动按钮后 KM1 线圈通电吸合并自锁，其主触头闭合，将自耦变压器线圈接成星形，与此同时由于 KM1 辅助常开触点闭合，使得接触器 KM2 线圈通电吸合，KM2 的主触头闭合，由自耦变压器的低压抽头（如 65%）将三相电压的 65%接入电动机。当时间继电器 KT 延时完毕闭合后，KM1 线圈断电，使自耦变压器线圈封星端打开，同时 KM2 线圈断电，切断自耦变压器电源，使 KM3 线圈得电吸合，KM3 主触头接通电动机在全压下运行。自耦变压器一般有 65%和 80%额定电压的两组抽头。

若自耦变压器的变比为 k ，与直接起动相比，采用自耦变压器起动时，其一次侧起动线电流和起动转矩都降低到直接起动的 $\frac{1}{k^2}$ （ $I_1 = \left(\frac{1}{k}\right) I_2 = \left(\frac{1}{k}\right)^2 I_{st}$ ， $T'_{st} = \left(\frac{1}{k}\right)^2 T_{st}$ ）。

自耦变压器起动法不受电动机绕组接线方式（Y 接法或 Δ 接法）的限制，允许的起动电流和所需起动转矩可通过改变抽头进行选择，但设备费用较高。

自耦变压器起动适用于容量较大的低压电动机作减压起动用，应用非常广泛，有手动及自动控制线路。其优点是电压抽头可供不同负载起动时选择；缺点是质量大、体积大、价格高、维护检修费用高。

三、绕线式异步电动机的起动方法

绕线式异步电动机可以采用转子电路串接三相对称电阻或频敏变阻器的起动方法，这种起动方法不仅可以减小起动电流，还可以增加起动转矩，使起动性能大为改善，这是笼型异步

电动机所不具有的特点。下面介绍绕线式异步电动机的这两种起动方法。

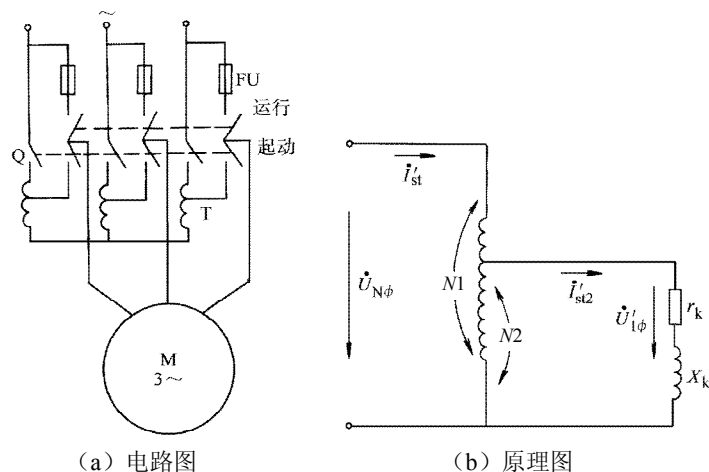


图 2-14 异步电动机的自耦变压器起动法

1. 转子回路串电阻分级起动

转子回路串电阻分级起动是指在绕线式异步电动机转子回路串多级电阻，起动时逐级切除转子串接的电阻的起动过程。图 2-15 所示为绕线式异步电动机的转子回路串三级电阻的分级起动的接线图与机械特性。

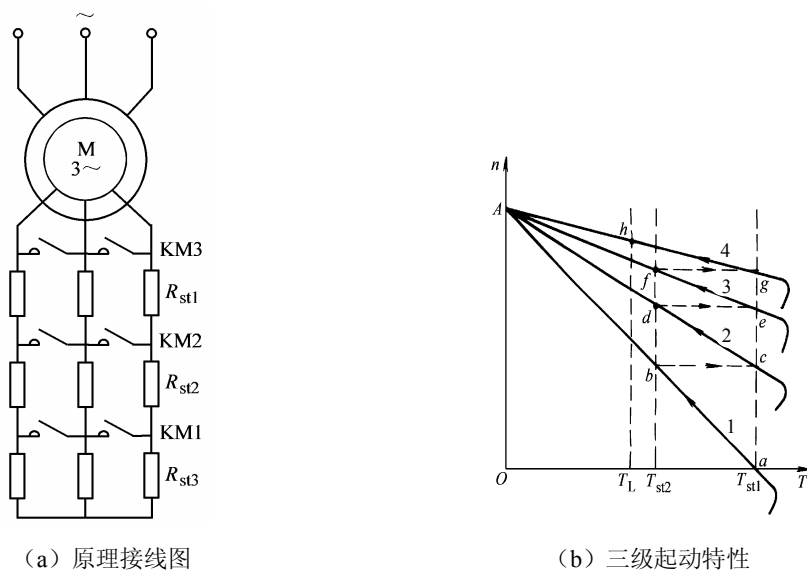


图 2-15 绕线转子电动机串电阻多级起动接线及其起动特性

起动过程如下：闭合 KM 接通定子绕组电源，KM1、KM2、KM3 全断开，三级起动电阻 R_{st1} 、 R_{st2} 、 R_{st3} 全部串入转子回路，其机械特性如图 2-15 (b) 中的曲线 1 所示。从图中可见，起动转矩 $T_{st1} = T_m > T_N$ ，如果电动机在额定负载 T_N 下起动，此时 $T_{st1} > T_N$ ，绕线式异步电动机拖动负载转动，转速 n 沿曲线 1 上升。为了追求更大的起动加速度，当起动转矩降到 T_{st2} ，转速升到 b 点时，KM1 闭合，转子回路串接的三相电阻 R_{st3} 同时被短接，电动机立即切换到特性曲线 2，运行点从 b 点平移到 c 点，转速 n 再沿曲线 2 上升。当转速升到 d 点时，切除电阻 R_{st2} 。

这样电阻逐段切除,电动机逐段加速,直到在固有特性上的 h 点稳定运行时起动过程结束。为了保证起动过程平稳快速,一般使起动转矩的最大值 T_{st1} 取 $(1.5\sim 2)T_N$,起动转矩最小值 T_{st2} 取为 $(1.1\sim 1.2)T_N$ 。

转子回路串多级电阻起动,可以增大起动转矩。但是异步电动机功率较大时,转子电流很大,当切除一级电阻时,会产生较大转矩冲击,如 $b \rightarrow c$ 的转矩变化。如要在起动过程中始终保持较小的转矩冲击,使起动过程平稳,就要增加起动级数,导致起动设备更加复杂。

转子回路串电阻分级起动方式的优点是起动电流小、起动转矩大。起动频繁的机械设备如起重吊车、卷扬机等广泛采用这种起动方式。

2. 转子回路串频敏变阻器起动

对于容量较大的绕线式电动机,常采用频敏变阻器来替代起动电阻。因为频敏变阻器的等效电阻是随着起动过程的转速升高自动减小的。

频敏变阻器实际上是一个三相铁心线圈,它的铁心由钢板或铁板叠成,其厚度大约是普通变压器硅钢片厚度的100倍,三个铁心柱上绕着连接成Y接的三个绕组,像一个没有二次侧绕组的三相变压器,其结构如图2-16(a)所示。与变压器空载时的原边等效电路类似,频敏变阻器的等效电路是由一个线圈电阻 R_1 、一个电抗 X_m 和一个反映铁心铁耗的等效电阻 R_m 串联而成,如图2-16(b)所示。

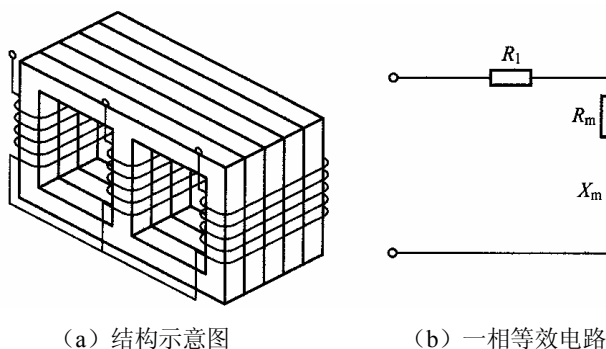


图 2-16 频敏变阻器

由于频敏变阻器铁心钢板很厚,所以反映铁心铁耗的等效电阻 R_m 比一般电抗器要大,并且铁心等效电阻 R_m 与铁心绕组电流频率的平方成正比。当频敏变阻器铁心线圈中电流频率增加时,涡流损耗将随之急剧增大,铁心等效电阻 R_m 也显著增加,反之亦然。

如果把频敏变阻器接入电动机转子绕组回路,用来起动绕线式异步电动机,则可以获得无级起动的效果。图2-17所示为绕线式三相异步电动机串频敏变阻器起动原理线路。

起动开始,KM断开,频敏变阻器串入转子回路,由于 $n=0$, $s=1$,三相转子电流频率 $f_2 = sf_1 = 50\text{Hz}$ 最大,其等效电阻 R_m 也最大,所以可以有效地限制起动电流,提高起动转矩。在起动过程中随着转速 n 的上升, s 下降,转

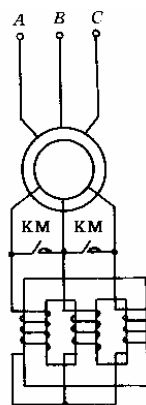


图 2-17 绕线式三相异步电动机
串频敏变阻器起动原理

子电流频率 $f_2 = sf_1$ 逐渐下降, R_m 值自动逐渐减小, 起动电流和起动转矩平滑变化。为了不影
响电动机的正常工作性能, 起动结束后, KM 闭合, 频敏变阻器被短接。

任务实施

异步电动机的起动方法有多种, 选择什么起动方法与电动机的功率、电网容量、起动负
载等诸多因素有关。下面通过实例来说明起动设备的选择与计算。

【例 1】一台笼型三相异步电动机 $P_N = 28 \text{ kW}$, $U_{IN} = 380 \text{ V}$, $I_{IN} = 58 \text{ A}$, $\cos \varphi_{IN} = 0.88$,
 $n_N = 1455 \text{ r/min}$, 起动电流倍数 $K_I = 6$, 起动转矩倍数 $K_{st} = 1.1$, 过载倍数 $K_T = 2.3$, Δ 接。供
电变压器要求起动电流小于等于 150 A , 起动时负载转矩为 $73.5 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。现有一台自耦变压器,
抽头有 55%、64%、73% 三种。若能用 Y— Δ 起动, 不用其他方法; 若用串电抗起动, 计算
电抗值; 若用自耦变压器起动, 计算使用哪一种抽头。请选择一种合适的起动方法。

解:

电动机额定转矩

$$T_N = 9550 \times \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{28}{1455} = 183.78 \text{ N} \cdot \text{m}$$

正常起动转矩应不小于

$$T_{stL} = 1.1 T_L = 1.1 \times 73.5 = 80.85 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(1) 计算能否采用 Y— Δ 起动。

Y— Δ 起动时的起动电流为

$$I'_{st} = \frac{1}{3} I_{st} = \frac{1}{3} \times 6 \times 58 = 116 \text{ A}$$

供电变压器要求起动电流小于 150 A , 116 A 的电流满足要求。

Y— Δ 起动时的起动转矩为

$$T'_{st} = \frac{1}{3} T_{st} = \frac{1}{3} \times K_{st} \times 183.78 = \frac{1}{3} \times 1.1 \times 183.78 = 67.39 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$T'_{st} < T_{stL}$, 即起动转矩小于负载转矩, 不能采用 Y— Δ 起动。

(2) 计算能否采用串电抗起动。

由于供电变压器要求起动电流小于等于 150 A , 先按限定最大起动电流 150 A 计算起动转
矩, 即

$$T''_{st} = \left(\frac{I''_{st}}{I_{st}} \right)^2 T_{st} = \left(\frac{I''_{st}}{I_{st}} \right)^2 \times K_{st} \times T_N = \left(\frac{150}{6 \times 58} \right)^2 \times 1.1 \times 183.78 = 37.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$T''_{st} < T_{stL}$, 显然当起动电流满足供电变压器要求时, 起动转矩不能满足负载要求, 因此不
能采用串电抗起动。

(3) 计算能否采用自耦变压器起动。

抽头为 55% 时的起动电流为

$$I_1 = \left(\frac{1}{K_A} \right)^2 I_{st} = 0.55^2 \times 6 \times 58 = 105.27 \text{ A}$$

通过降压起动自耦变压器 55% 的抽头, 自耦变压器一次侧电流小于 150 A , 电流满足要求。

抽头为 55% 时的起动转矩为

$$T'_{st} = \left(\frac{1}{K_A}\right)^2 T_{st} = \left(\frac{1}{K_A}\right)^2 K_{st} T_N = 0.55^2 \times 1.1 \times 183.78 = 61.15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$T'_{st} < T_{stL}$ ，不满足负载转矩的起动要求，不能采用 55% 的抽头。

抽头为 64% 时的起动电流为

$$I'_1 = \left(\frac{1}{K_A}\right)^2 I_{st} = 0.64^2 \times 6 \times 58 = 142.5 \text{ A}$$

通过降压起动自耦变压器 64% 的抽头，自耦变压器一次侧电流小于 150A，电流满足要求。

抽头为 64% 时的起动转矩为

$$T''_{st} = \left(\frac{1}{K_A}\right)^2 T_{st} = \left(\frac{1}{K_A}\right)^2 K_{st} T_N = 0.64^2 \times 1.1 \times 183.78 = 82.80 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$T''_{st} > T_{stL}$ ，满足负载转矩的起动要求，可以采用 64% 的抽头。

抽头为 73% 时的起动电流为

$$I''_1 = \left(\frac{1}{K_A}\right)^2 I_{st} = 0.73^2 \times 6 \times 58 = 185.45 \text{ A}$$

电流不满足供电变压器的要求，不能采用 73% 的抽头。

【例 2】某绕线式异步电动机拖动机械负载，电动机的技术数据为： $P_N = 40 \text{ kW}$ ， $I_{2N} = 61.5 \text{ A}$ ， $K_T = 2.6$ ， $n_N = 1460 \text{ r/min}$ ， $E_{2N} = 420 \text{ V}$ 。起动负载转矩 $T_L = 0.75T_N$ ，求采用转子串电阻三级起动时各级起动电阻值。

解：

$$\text{额定转差率} \quad s_N = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0.027$$

$$\text{转子每相电阻} \quad R_2 = \frac{s_N E_{2N}}{\sqrt{3} I_{2N}} = \frac{0.027 \times 420}{\sqrt{3} \times 61.5} = 0.106$$

$$\text{最大起动转矩} \quad T_1 \leq 0.85T_m = 0.85K_T T_N = 0.85 \times 2.6 \times T_N = 2.21T_N$$

$$\text{取} \quad T_1 = 2.21T_N$$

$$\text{起动转矩比} \quad \alpha = \sqrt[m]{\frac{T_N}{s_N T_1}} = \sqrt[3]{\frac{T_N}{0.027 \times 2.21T_N}} = 2.56$$

$$\text{校核切换转矩} \quad T_2 = \frac{T_1}{\alpha} = \frac{2.21T_N}{2.56} = 0.863T_N$$

$$1.1T_L = 1.1 \times 0.75T_N = 0.825T_N$$

$T_2 > 1.1T_L$ ，满足要求。

计算各级起动特性曲线所需串接的外电阻为

$$R_{2c1} = R_2(\alpha - 1) = 0.106 \times (2.56 - 1) = 0.165 \Omega$$

$$R_{2c2} = (R_2 + R_{2c1})\alpha = R_2(\alpha^2 - 1) = 0.106 \times (2.56^2 - 1) = 0.589 \Omega$$

$$R_{2c3} = \alpha(R_2 + R_{2c2}) = R_2(\alpha^3 - 1) = 0.106 \times (2.56^3 - 1) = 1.672 \Omega$$

在实际工程中，常常采用三个电阻组成三级起动特性，第三级串 R_{c1} ，第二级需要在 R_{c1} 基础上串电阻 R_{c2} ，第一级需要在 R_{c2} 与 R_{c1} 上再串电阻 R_{c3} ，即第一级为 R_{c1} 、 R_{c2} 、 R_{c3} 之和。这三个电阻分别为：

$$R_{c1} = 0.165\Omega$$

$$R_{c2} = R_{2c2} - R_{2c1} = 0.589 - 0.165 = 0.424\Omega$$

$$R_{c3} = R_{2c3} - R_{2c2} = 1.672 - 0.589 = 1.083\Omega$$

知识拓展——软起动

软起动器是一种集电动机软起动、软停车、轻载节能和多种保护功能于一体的新颖电动机控制装置，国外称为 **Soft Starter**。软起动器采用三相反并联晶闸管作为调压器，将其接入电源与电动机定子之间。这种电路如三相全控桥式整流电路。使用软起动器起动电动机时，晶闸管的输出电压逐渐增加，电动机逐渐加速，直到晶闸管全导通，电动机工作在额定电压的机械特性上，实现平滑起动，降低起动电流，避免起动过流跳闸。待电动机达到额定转速时，起动过程结束，软起动器自动用旁路接触器取代已完成任务的晶闸管，为电动机正常运转提供额定电压，以降低晶闸管的热损耗，延长软起动器的使用寿命，提高其工作效率，又使电网避免了谐波污染。软起动器同时还提供软停车功能，软停车与软起动过程相反，电压逐渐降低，转速逐渐下降到零，避免自由停车引起的转矩冲击，能有效地避免水泵停止时所产生的“水锤效应”。但是晶闸管软起动产品也有缺点：一是高压产品的价格太高，是液阻软起动产品的 5~10 倍；二是晶闸管引起的高次谐波比较严重。下面简单介绍几种电子软起动器的起动方式。

- 限流或恒流起动方式：用电子软起动器实现起动时限制电动机的起动电流或保持恒定的起动电流，主要用于轻载软起动。
- 斜坡电压起动法：用电子软起动器实现电动机起动时定子电压由小到大斜坡线上升，主要用于重载软起动。
- 转矩控制起动法：用电子软起动实现电动机起动时起动转矩由小到大线性上升，起动的平滑性好，能够降低起动时对电网的冲击，是较好的重载软起动方式。
- 电压控制起动方式：用电子软起动器控制电压以保证电动机起动时产生较大的起动转矩，是较好的轻载软起动方式。

练习题

一台三相笼型异步电动机， $P_N = 75\text{kW}$ ， $n_N = 1470\text{r/min}$ ， $U_N = 380\text{V}$ ，定子为 Δ 连接， $I_N = 137.5\text{A}$ ，起动电流倍数 $K_I = 6.5$ ，起动转矩倍数 $K_T = 1.0$ ，拟带半载起动，试选择适当的减压起动方法。

任务 3：基本控制电路

任务导入

如图 2-18 所示，已知运煤小车采用额定功率为 3kW、额定电压为 380V、额定电流为 6.4A、额定转速为 2880r/min、额定频率为 50Hz、接法为星形（Y）的三相笼型异步电动机进行控制。

具体控制要求：按下起动按钮 SB1，小车首先向右运行，当到达煤场时，碰到行程开关 SQ1，小车停止并开始装煤，10s 后，小车自动改变运行方向，改为向左行驶；当到达煤仓时，碰到行程开关 SQ2，小车停止并开始卸煤，5s 后，小车再次改变运行方向，开始向右行驶，准备下一次的运煤过程；按下停止按钮 SB2，则小车停止。设计其电气控制电路。

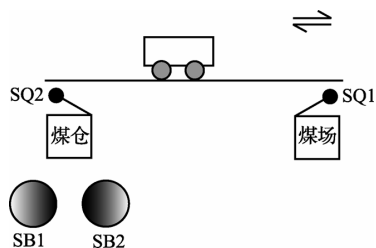


图 2-18 运煤小车两地往返控制示意图

知识链接

一、单向运转控制电路

电动机的单向运转电气控制电路主要有开关控制电路和接触器控制电路两种。

1. 开关控制电路

如图 2-19 所示为电动机单向直接起动开关控制电路。

工作原理：合上刀开关 QS，电动机接通三相交流电源，开始单向运转；断开刀开关 QS，电动机断开三相交流电源，停止运转。

此种开关控制电路结构简单、经济，但由于刀开关的控制容量有限，仅适用于不频繁起动的小容量电动机（通常额定功率 $\leq 5.5\text{kW}$ ），且不能实现远距离的自动控制。

2. 单向点动控制

对于容量稍大或者起动频繁的电动机，接通与断开电路应采用交流接触器。如图 2-20 所示为接触器控制的电动机单向点动控制电路。

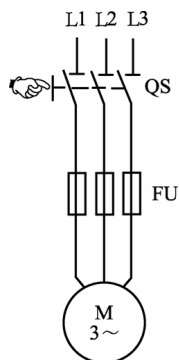


图 2-19 电动机单向直接起动开关控制电路

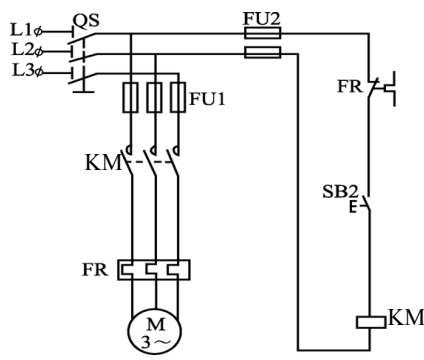


图 2-20 点动控制电路

工作原理：合上开关 QS，三相电源被引入控制电路，但电动机还不能起动。按下按钮 SB，接触器 KM 线圈通电，衔铁吸合，常开主触点接通，电动机定子接入三相电源起动运转。松开按钮 SB，接触器 KM 线圈断电，衔铁松开，常开主触点断开，电动机因断电而停转。

按下按钮时电动机转动，松开按钮时电动机停转，这种控制就叫点动控制。点动控制可以实现电动机短时运转，常用于机床的对刀调整和电动葫芦等。

3. 单向连续运动控制

在实际生产中，往往要求电动机长时间连续运转（即长动控制），点动控制显然无法实现。如图 2-21 所示为电动机单向连续控制电路。

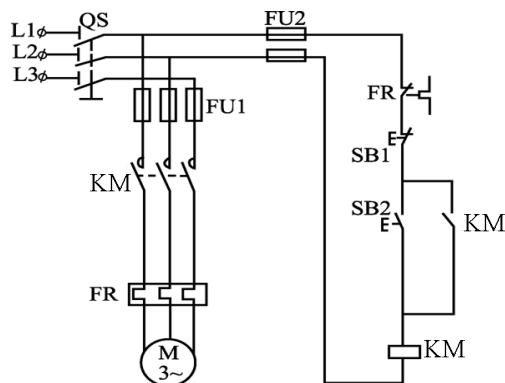


图 2-21 连续控制电路

工作原理：

(1) 起动过程：按下起动按钮 SB2，接触器 KM 线圈通电，与 SB2 并联的 KM 的辅助常开触点闭合，以保证松开按钮 SB2 后 KM 线圈持续通电，串联在电动机回路中的 KM 的主触点持续闭合，电动机连续运转，从而实现连续运转控制。

(2) 停止过程：按下停止按钮 SB1，接触器 KM 线圈断电，与 SB2 并联的 KM 的辅助常开触点断开，以保证松开按钮 SB1 后 KM 线圈持续失电，串联在电动机回路中的 KM 的主触点持续断开，电动机停转。像这种当松开起动按钮 SB2 后，接触器 KM 通过自身常开触头而使线圈保持得电的作用叫做自锁（或自保）。与起动按钮 SB2 并联起自锁作用的常开触头叫自锁触头（也称自保触头）。

图示的控制电路还可以实现短路保护、过载保护和零压保护。

- 短路保护：由熔断器 FU1、FU2 分别实现主电路和控制电路的短路保护，一旦电路发生短路故障，熔体立即熔断，电动机立即停转。熔断器通常安装在电源开关下方。
- 过载保护：由热继电器 FR 实现电动机的长期过载保护。当过载时，热继电器的发热元件发热，将其常闭触点断开，使接触器 KM 线圈断电，串联在电动机回路中的 KM 的主触点断开，电动机停转。同时 KM 辅助触点也断开，解除自锁。故障排除后若要重新起动，需要按下 FR 的复位按钮，使 FR 的常闭触点复位（闭合）。
- 零压（或欠压）保护：由接触器 KM 本身的电磁机构来实现。当电源暂时断电或电压严重下降时，接触器 KM 线圈的电磁吸力不足，衔铁自行释放，使主、辅触点自行复位，切断电源，电动机停转，同时解除自锁。

二、双向运转控制电路

在实际应用中，往往需要生产机械改变运动方向（如电梯上升、下降等），这就要求电动机能够实现正反转。对三相异步电动机而言，可以通过两个接触器改变电动机定子绕组的电源相序来实现正反转控制。

1. 电动机的“正—停—反”控制电路

如图 2-22 所示为电动机的“正—停—反”控制电路。

工作原理：

(1) 正向起动过程：按下起动按钮 SB2，接触器 KM1 线圈通电，与 SB2 并联的 KM1 的辅助常开触点闭合，以保证 KM1 线圈持续通电，串联在电动机回路中的 KM1 的主触点持

续闭合,电动机连续正向运转。

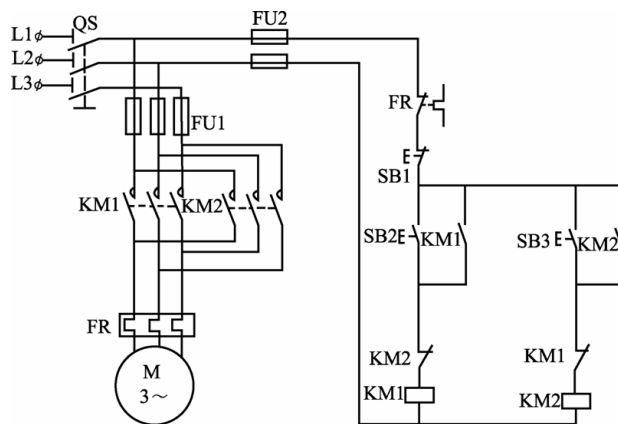


图 2-22 电动机的“正—停—反”控制电路

(2) 停止过程: 按下停止按钮 SB1, 接触器 KM1 线圈断电, 与 SB2 并联的 KM1 的辅助触点断开, 以保证 KM1 线圈持续失电, 串联在电动机回路中的 KM1 的主触点持续断开, 切断电动机定子电源, 电动机停转。

(3) 反向起动过程: 按下起动按钮 SB3, 接触器 KM2 线圈通电, 与 SB3 并联的 KM2 的辅助常开触点闭合, 以保证线圈持续通电, 串联在电动机回路中的 KM2 的主触点持续闭合, 电动机连续反向运转。

缺点: KM1 和 KM2 线圈不能同时通电, 因此不能同时按下 SB2 和 SB3, 也不能在电动机正转时按下反转起动按钮, 或在电动机反转时按下正转起动按钮, 而要先停车再换向。如果操作错误, 将引起主回路电源短路, 故称之为“正—停—反”控制电路。

电气互锁: 为防止两个接触器 KM1、KM2 同时得电而导致电源短路, 将两个接触器 KM1、KM2 的常闭辅助触点分别串接在对方的工作线圈电路中, 构成相互制约关系, 以保证电路安全可靠地工作, 这种相互制约的关系称为互锁, 实现互锁的常闭辅助触点称为互锁触点。

2. 电动机的“正—反—停”控制电路

在实际应用中, 为提高工作效率、减少辅助工时, 要求直接实现电动机正反转的控制。如图 2-23 所示为电动机的“正—反—停”控制电路。

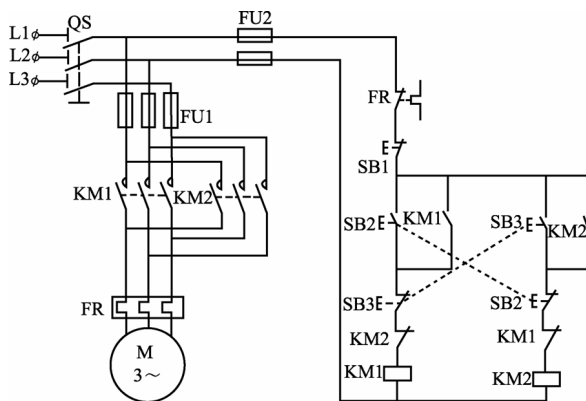


图 2-23 电动机的“正—反—停”控制电路

采用复式按钮，将 SB2 按钮的常闭触点串接在 KM2 的线圈电路中，将 SB3 的常闭触点串接在 KM1 的线圈电路中，这样无论何时，只要按下反转起动按钮，在 KM2 线圈通电之前就首先使 KM1 断电，从而保证 KM1 和 KM2 不同时通电；从反转到正转的情况也是一样。这种由机械按钮实现的互锁也叫机械互锁或按钮互锁。具有双重互锁的控制电路具有工作可靠性高、操作方便、可实现正反转的自由切换等优点。

三、Y—△降压起动控制

凡是正常运行时定子绕组接成三角形(△)的笼型异步电动机，均可采用星形—三角形(即 Y—△)降压起动方式。4kW 以上三相笼型异步电动机的定子绕组大都设计成三角形(△)接法，以便采用 Y—△降压起动方式限制起动电流。Y—△降压起动控制系统的基本控制环节是电动机单向连续运行的“起—保—停”控制电路。如图 2-24 所示为 Y—△降压起动控制电路。

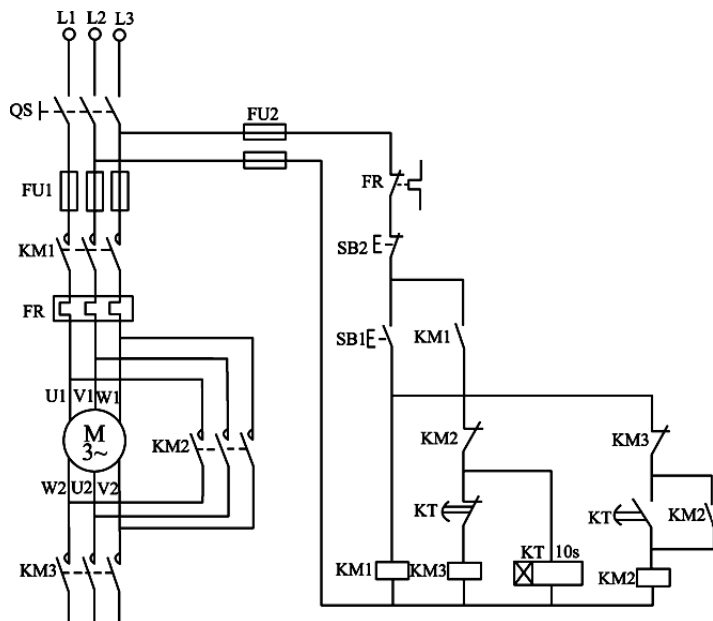


图 2-24 三相异步电动机 Y—△降压起动接触器控制电路

工作原理：合上电源开关 QS，按下起动按钮 SB1，接触器 KM1 得电自锁，时间继电器 KT 和接触器 KM3 同时通电吸合，把定子绕组连接成星形，经过 10s，时间继电器 KT 延时常闭触点 KT 断开，接触器 KM3 失电，电动机三相绕组的星形连接断开，时间继电器 KT 延时常开触点闭合，即初期 KM2 得电并自锁，将电动机三相绕组接成三角形(△)运行。当 KM2 得电后，KM2 常闭触点断开，使时间继电器 KT 失电，以降低能耗。与按钮 SB1 串联的 KM3 的常闭辅助触点的作用是：当电动机正常运行时，该常闭触点断开，切断了 KT、KM2 的通路，即使误按 SB1，KT 和 KM2 也不会通电，以免影响电路正常运行。若要停车，则按下停止按钮 SB2，接触器 KM1、KM2 同时断电释放，电动机脱离电源停止转动。

四、行程控制

1. 限位控制

当生产机械的运动部件到达预定的位置时压下行程开关的触杆，将常闭触点断开，接触

器线圈断电,使电动机断电而停止运行。如图 2-25 所示为限位控制电路。

2. 行程往返控制

按下正向起动按钮 SB1,电动机正向起动运行,带动工作台向前运动。当运行到 SQ2 位置时,挡块压下 SQ2,接触器 KM1 断电释放,KM2 通电吸合,电动机反向起动运行,使工作台后退。工作台退到 SQ1 位置时,挡块压下 SQ1,KM2 断电释放,KM1 通电吸合,电动机又正向起动运行,工作台又向前进,如此一直循环下去,直到需要停止时按下 SB3,KM1 和 KM2 线圈同时断电释放,电动机脱离电源停止转动。如图 2-26 所示为行程往返控制电路。

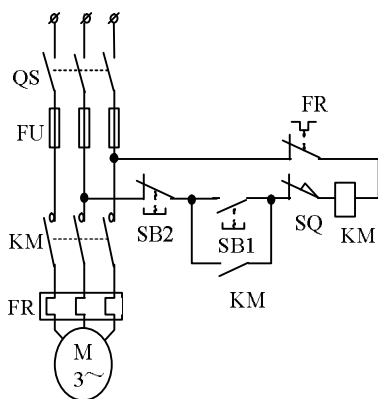


图 2-25 限位控制电路

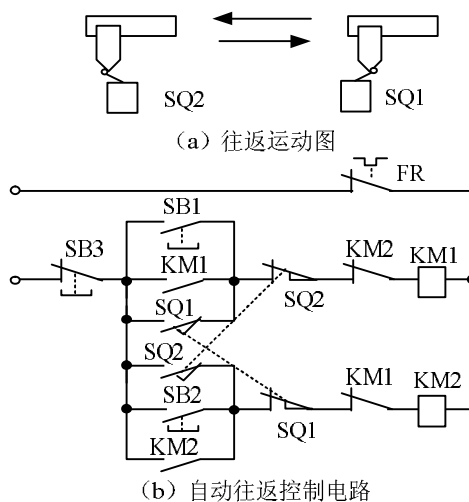


图 2-26 行程往返控制电路

任务实施

分析:运煤小车具有左右两个运动方向,通过对三相笼型异步电动机进行正反转控制即可实现。两个接触器分别控制电动机正转、反转,小车相应地向左、向右行驶。在继电器接触器控制电路中,两个接触器不能同时通电,否则会造成电源短路,这就要求两个接触器必须互锁。

运煤小车的停止与左右位置有关,所以在左右位置处设立两个行程开关 SQ1 和 SQ2,运煤小车运行方向的改变与停留时间有关,所以还要引入两个时间继电器。

实施:由于运煤小车采用的是“正—停—反”运行方式,所以用具有电气互锁的电动机正反转控制电路即可实现。如图 2-27 所示为运煤小车两地自动往返控制系统的继电器接触器控制电路。

说明:在图 2-27 中,左半部分为主电路,右半部分为控制电路。接触器 KM1 控制电动机正转,运煤小车右行;接触器 KM2 控制电动机反转,运煤小车左行。SQ1 和 SQ2 为行程开关。KT1 和 KT2 为通电延时型时间继电器。热继电器 FR 用作电动机过载保护。

工作原理:按下右行起动按钮 SB2,接触器 KM1 线圈得电,电动机正转,小车右行,当碰到右侧的行程开关 SQ1 时,接触器 KM1 失电,小车停止,同时通电延时继电器 KT1 的线圈得电,开始延时,在延时 10s 期间,运煤小车装煤,10s 延时结束,时间继电器 KT1 的延时闭合触点闭合,接触器 KM2 的线圈得电,电动机反转,小车开始左行。

同理,当小车左行碰到左侧的行程开关 SQ2 时,接触器 KM2 线圈失电,小车停止,同时

通电延时继电器 KT2 的线圈得电, 开始延时, 在延时 5s 期间, 运煤小车卸煤, 5s 延时结束, 时间继电器 KT2 的延时闭合触点闭合, 接触器 KM1 线圈得电, 电动机改为正转, 小车开始右行。如此一直持续下去, 当需要完全停车时, 只要按下停车按钮 SB1 即可。

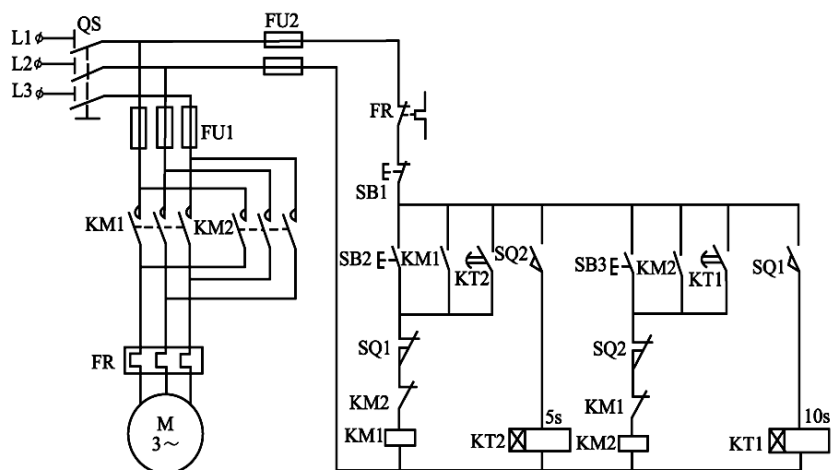


图 2-27 运煤小车两地往返控制系统的继电接触器控制电路

思考: 接触器与继电器的区别是什么? 电气控制电路的一般设计方法是什么?

知识拓展

1. 点动与连续运行混合控制

机床设备在正常运行时, 一般都处于连续运行状态, 但在试车或调整刀具与工件的相对位置时, 又需要能点动控制, 实现这种控制要求的电路是点动与连续运行混合控制的控制电路, 如图 2-28 所示。

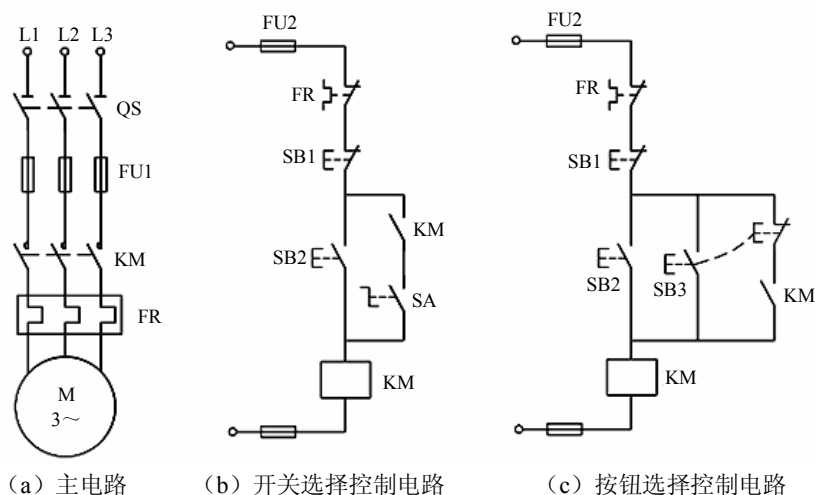


图 2-28 点动与连续运行混合控制电路

图 (b) 为开关选择的点动与连续运行控制电路, 闭合电源开关 QS, 当选择开关 SA 断开时, 按下按钮 SB2→KM 线圈得电→KM 主触头闭合→电动机 M 实现单向点动; 如果选择开

关 SA 闭合, 按下按钮 SB2→KM 线圈得电并自锁→KM 主触头闭合→电动机 M 实现单向连续运行。

图 (c) 为按钮选择的单向点动与连续运行控制电路, 在电源开关 QS 闭合的条件下, 按下 SB3 电动机 M 实现点动, 按下 SB2, 电动机则实现连续运行。

2. 多地联锁控制

在两地或多地控制同一台电动机的控制方式称为电动机的多地联锁控制。在大型生产设备上, 为使操作人员在不同方位均能进行起、停操作, 常常要求组成多地联锁控制电路。如图 2-29 所示为电动机的两地联锁控制电路。

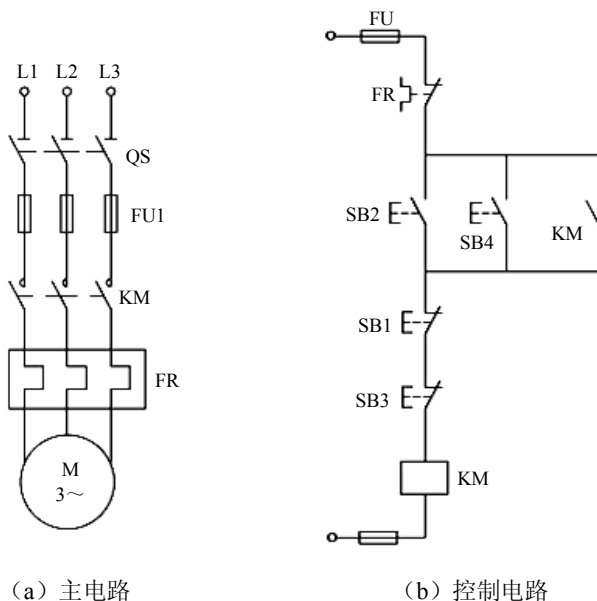


图 2-29 两地联锁控制电路

图中, SB2、SB1 为安装在甲地的起动按钮和停止按钮, SB4、SB3 为安装在乙地的起动按钮和停止按钮。电路的特点是起动按钮并联在一起, 停止按钮并联在一起。这样就可以分别在甲地和乙地控制同一台电动机, 达到操作方便的目的。对于三地或多地联锁控制, 只要将各地的起动按钮并联、停止按钮串联即可实现。

练习题

为某异步电动机设计一个自耦变压器降压起动控制系统。

具体控制要求: 按下起动按钮 SB1, 电动机接入自耦变压器进行降压起动, 5s 后切除自耦变压器, 电动机进入全压运行; 按下停止按钮 SB2, 系统停止运行。