

第二章 电气控制系统基本控制电路

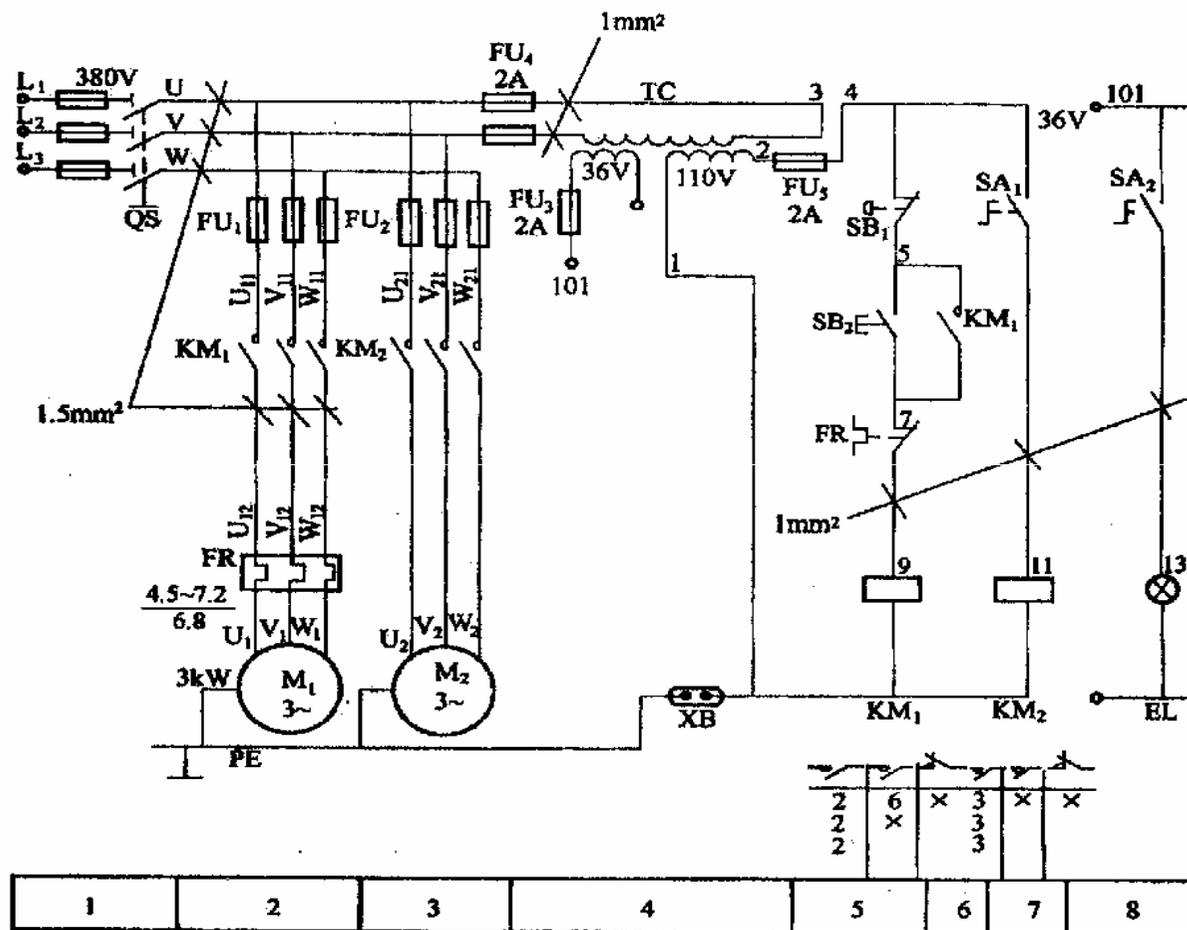
- 基本控制
- 常用基本控制电路
- 电气控制电路读图

第一节 基本控制

- 自锁控制
- 互锁控制
- 顺序控制
- 工作正常与点动连锁控制
- 多点控制连锁控制
- 自动循环控制

机床系统控制电路图

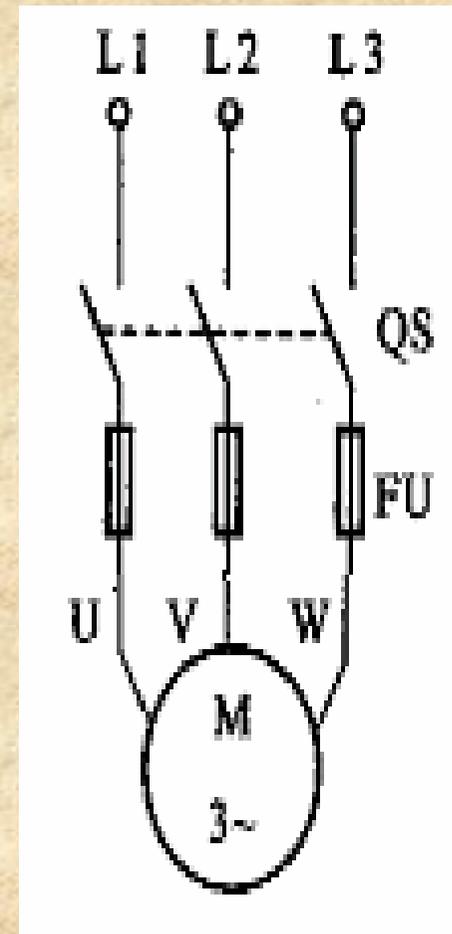
电源开关	主电动机	冷却泵电动机	控制变压器	主电动机控制	冷却泵电动机控制	照明灯
------	------	--------	-------	--------	----------	-----



(a)

一、启动、自锁控制

- 开关全压启动控制
- 通过合上或断开刀开关QS来实现电动机的全压启动或停止，
- 熔断器FU起短路保护
- 缺点：
- 不能实现远距离控制，不能实现零电压、欠电压及过载保护。



采用接触器全压启动

- 依靠接触器自身辅助触点而使其线圈保持通电的现象

----- 自锁

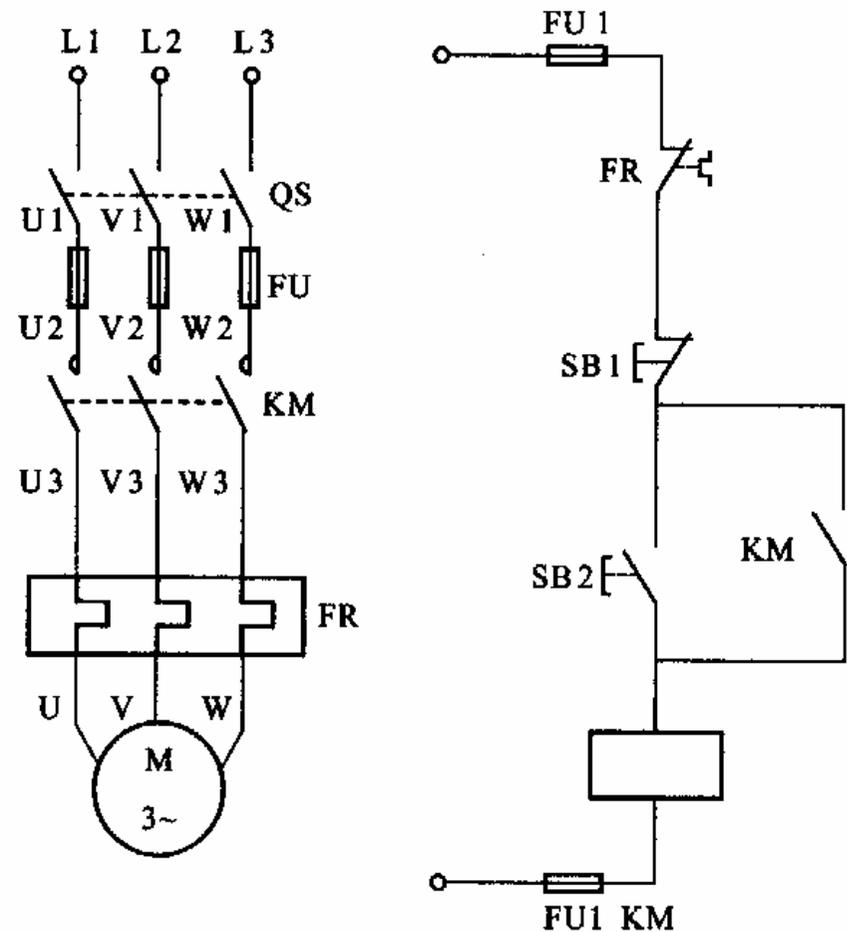


图 3.2.1 三相笼型异步电动机起、停控制线路

工作过程

合上**QS**，按下**SB2**，**KM**线圈吸合，**KM**主触点闭合，电动机运转。

KM辅助常开触点闭合，自锁。

按下**SB1**，**KM**线圈断电，主触点、辅助触点断开，电动机停止。

自锁另一作用：实现欠压和失压保护

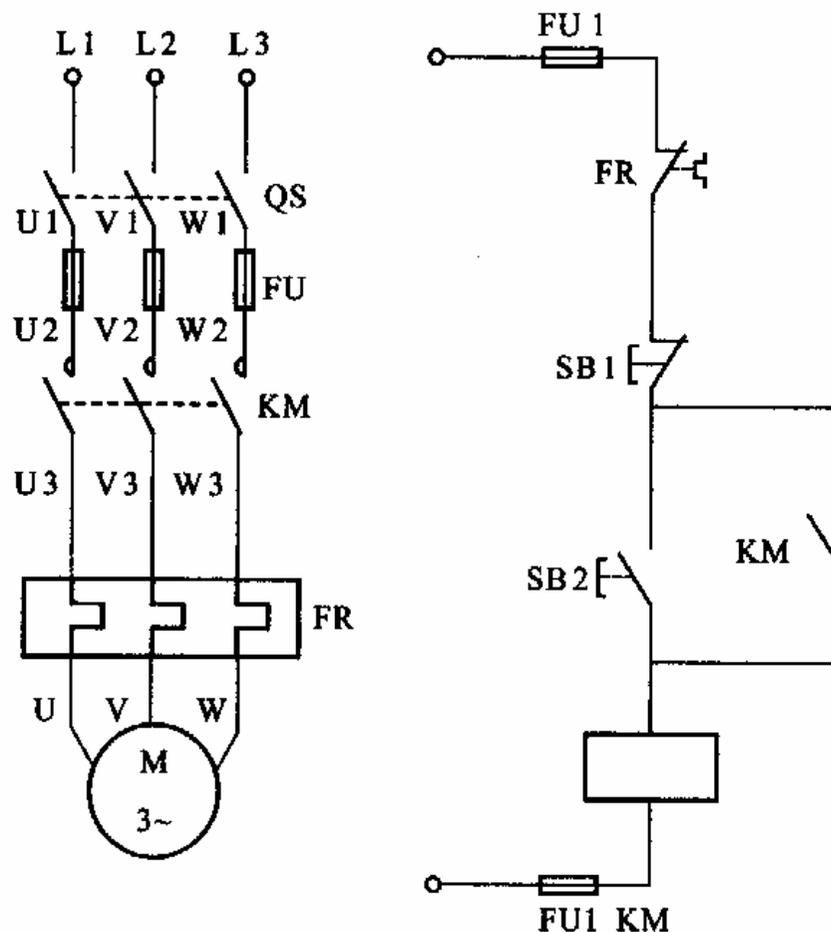


图 3.2.1 三相笼型异步电动机起、停控制线路

为什么加自锁？(优点)

- 远距离、频繁起动控制
- 保护作用：
 - (1) 短路保护
 - (2) 过载保护
 - (3) 失电压和欠电压保护

二、互锁控制

- 控制要求：
正、反转；
- 如何实现？
- 缺点：
造成电源短路
- 该电路不能使用

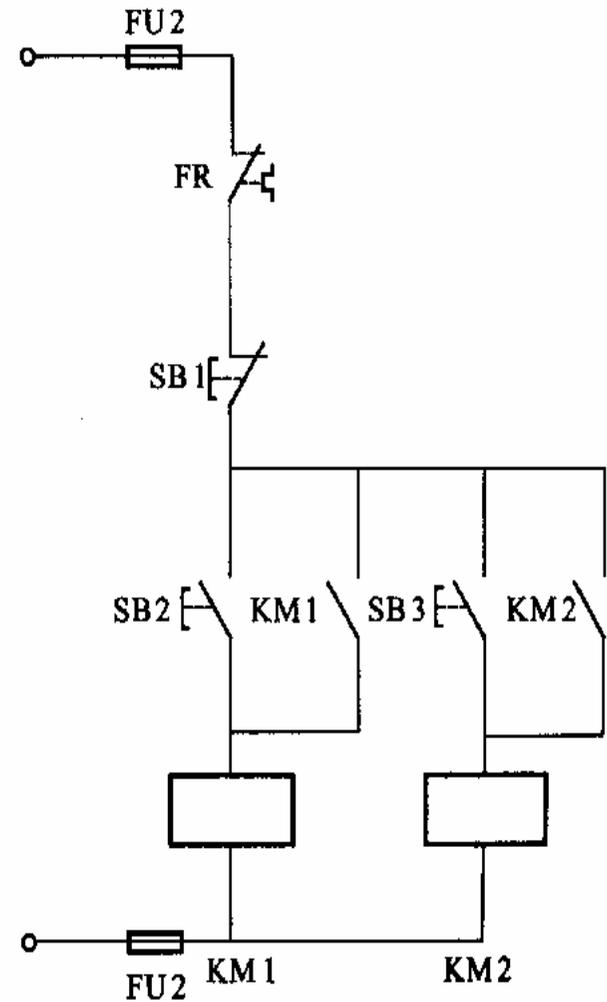
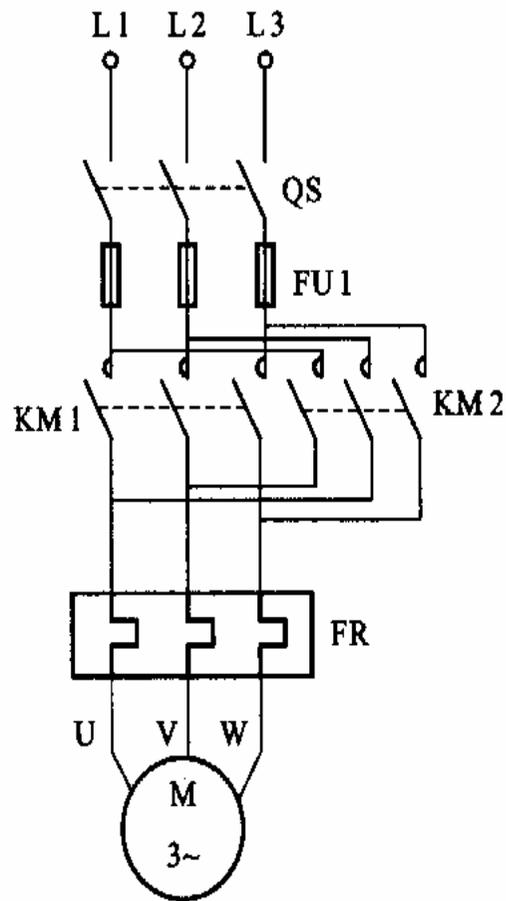


图 3.2.2 接触器正反转控制线路

解决

- 加互锁----在同一时间里两个接触器只允许一个工作的控制作用称为互锁（联锁）。
- 右图中是
- 电气互锁
- 优点：避免短路
- 缺点：
- 在改变电机方向，必须先按**SB1**，使电机停止(**KM1**常闭辅助触点)
- 正转-停止-反转过程

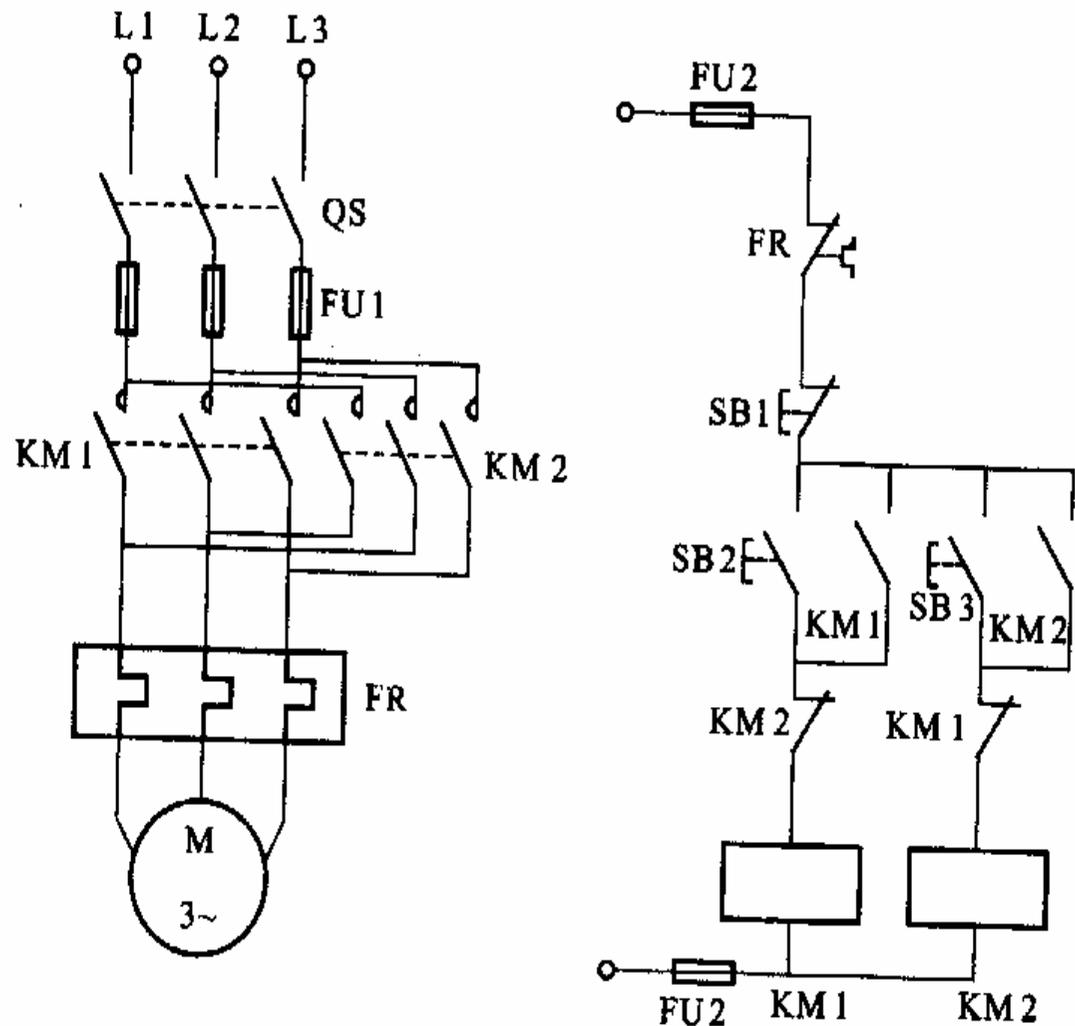


图 3.2.3 接触器联锁正反转控制线路

解决

- 复合联锁
正、反转控制

(具有电气、
机械双重互
锁电路)

优点：可以避
免短路的同时直接实现
正转-反转

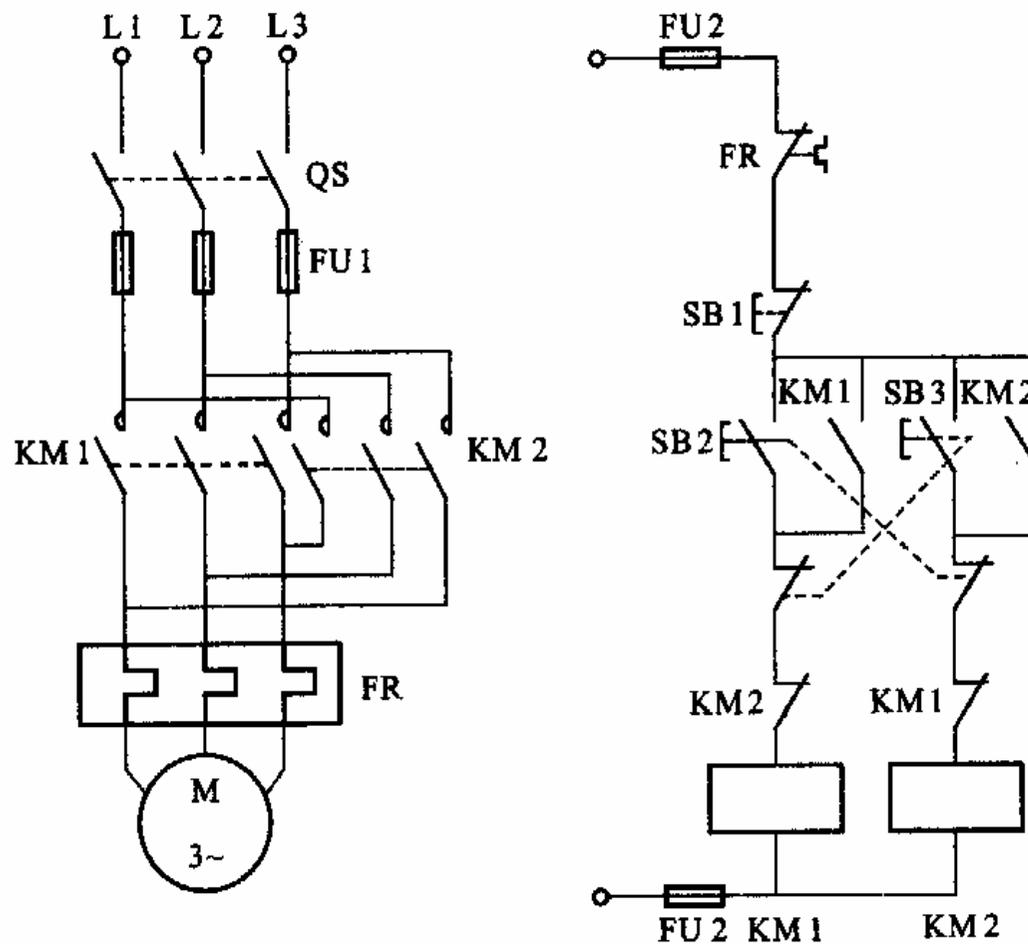


图 3.2.4 复合联锁的正反转控制线路

控制规律

- 当要求甲接触器工作时，乙接触器就不能工作，此时应在乙接触器的线圈电路中串入甲接触器的**动断触点**。
- 当要求甲接触器工作时乙接触器不能工作，而乙接触器工作时甲接触器不能工作，此时应在两个接触器的线圈电路中互串入对方的**动断触点**。

三、顺序控制

- 控制要求：
各运动部件之间
按一定的顺序进
行工作。
起动：M1 → M2
停止：M2 → M1

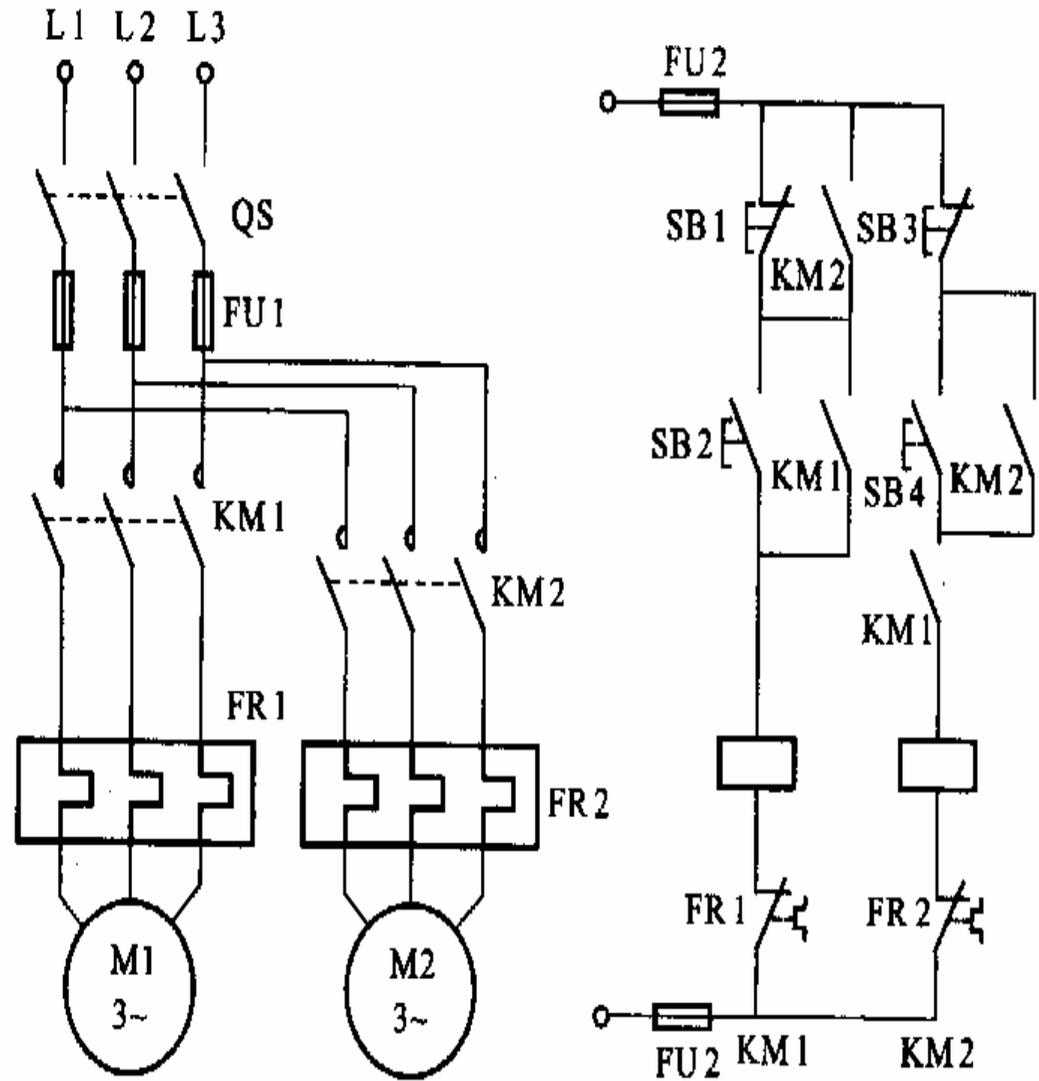


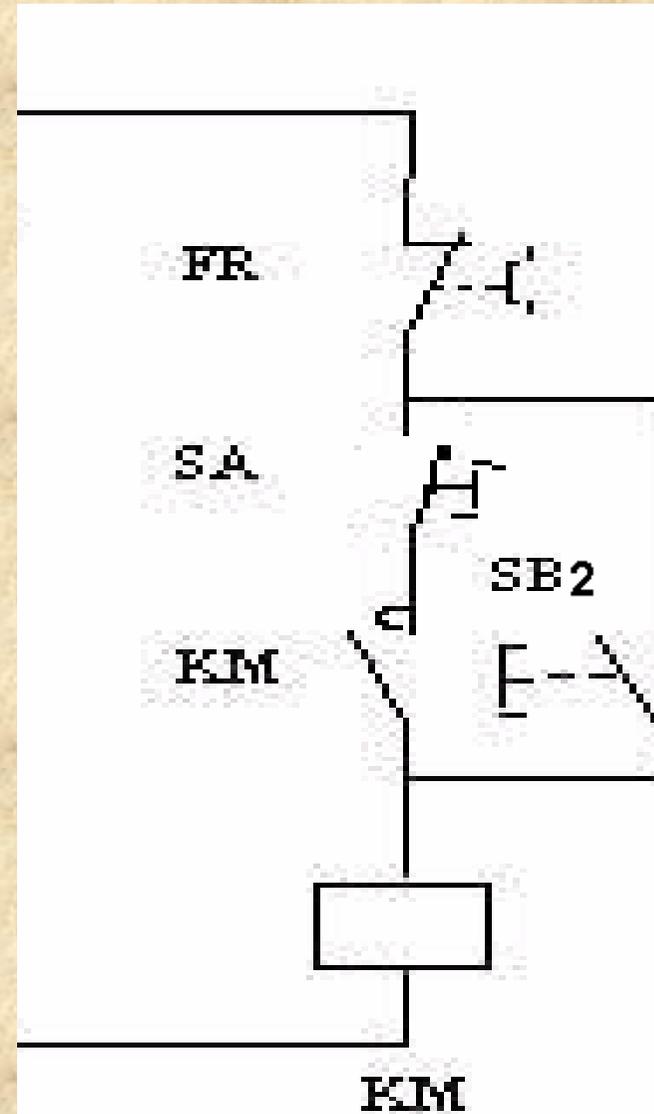
图 3.2.5 按顺序控制的线路

控制规律

- 当要求甲接触器工作后方允许乙接触器工作，则在乙接触器线圈电路中串入甲接触器的动合触点。
- 当要求乙接触器线圈断电后方允许甲接触器线圈断电，则将乙接触器的动合触点并联在甲接触器的停止按钮两端。

四、工作正常与点动

- 点动过程：
- **SA**打开，处于断开状态
- 按**SB2**，**KM**吸合，电动机运行，**KM**辅助触点闭合，但是因为**SA**已经打开，无法自锁。
- 一旦松开**SB2**，**KM**立即失电。
- 长动操作控制如何实现？
- 把**SA**合上

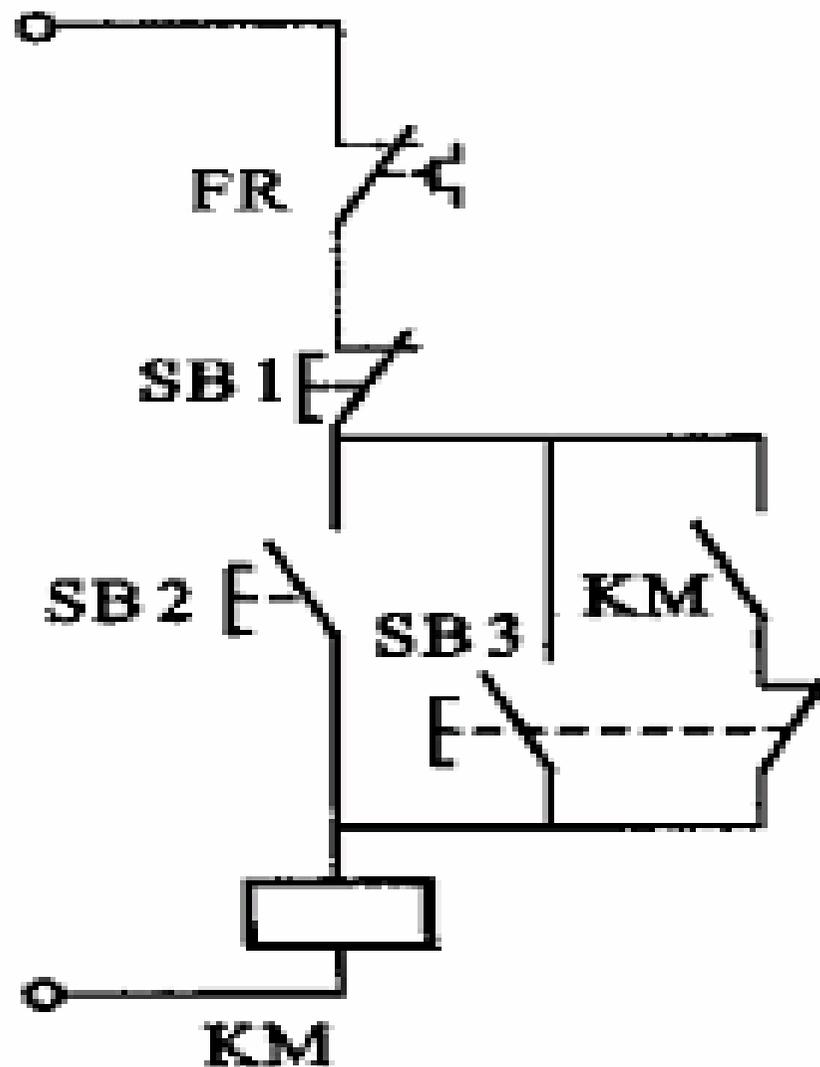


长动:

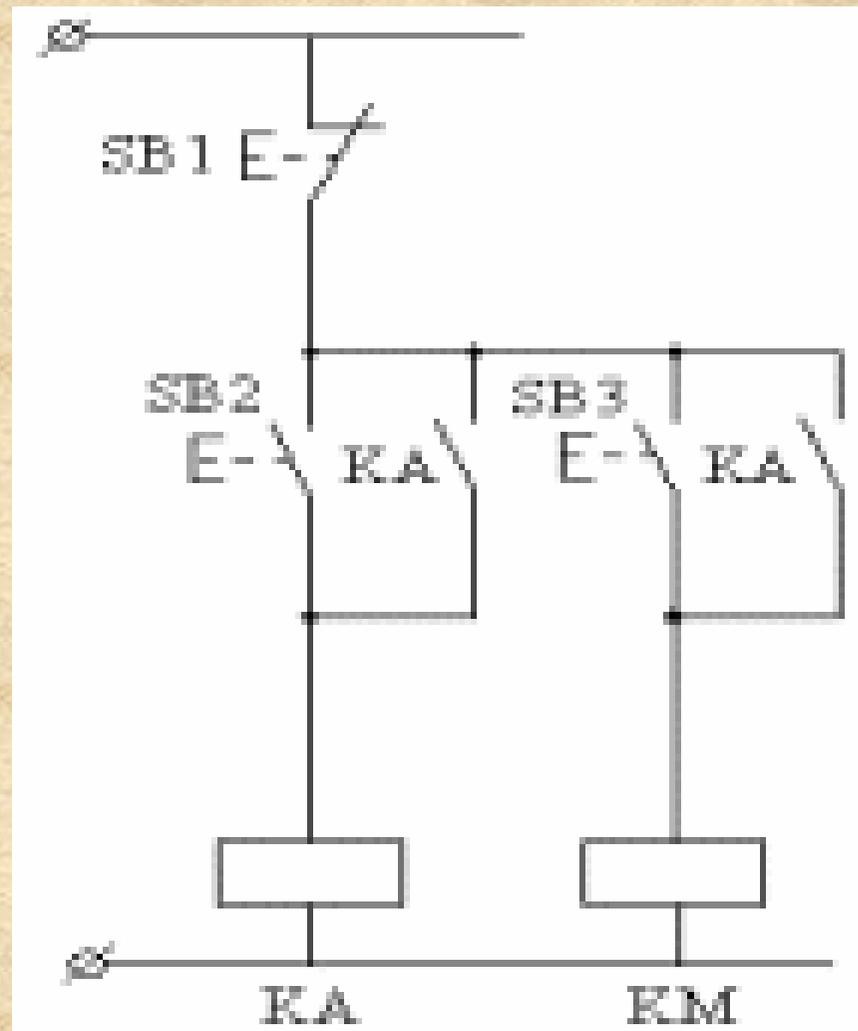
按SB2, KM得电吸合, KM辅助触点闭合, 自锁, 电动机运行。

点动:

按SB3, KM吸合, 但是SB3常闭触点断开了自锁电路, KM无法实现自锁, SB3常开触点接通时KM吸合, 松开, KM失电, 断开电源电动机停止运行。



- 中间继电器的控制:
- 长动:
- 按SB2, KA通电自锁, KM线圈通电
- 点动:
- 按SB3, KM通电, 但是无自锁电路。



五、多点控制连锁控制

- **多地点控制:**
- 要求在多个地点都能对设备的运行状态进行控制
- **原理:**
- 将控制按钮的常开按钮的常开触点并联、常闭触点串联。
- **操作:**
- 任何一个启动按钮都可以实现电动机的启动。
- 任何一个停止按钮都可以实现电动机停止

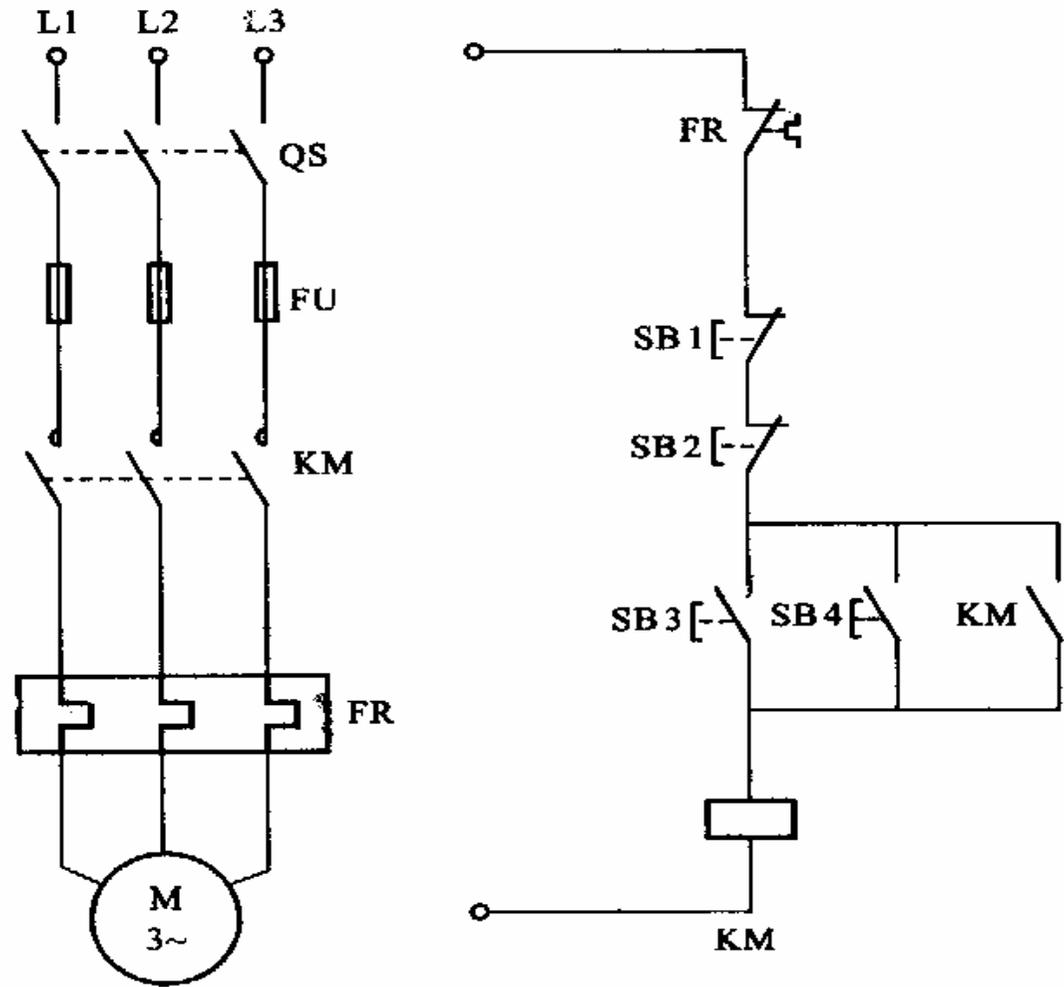
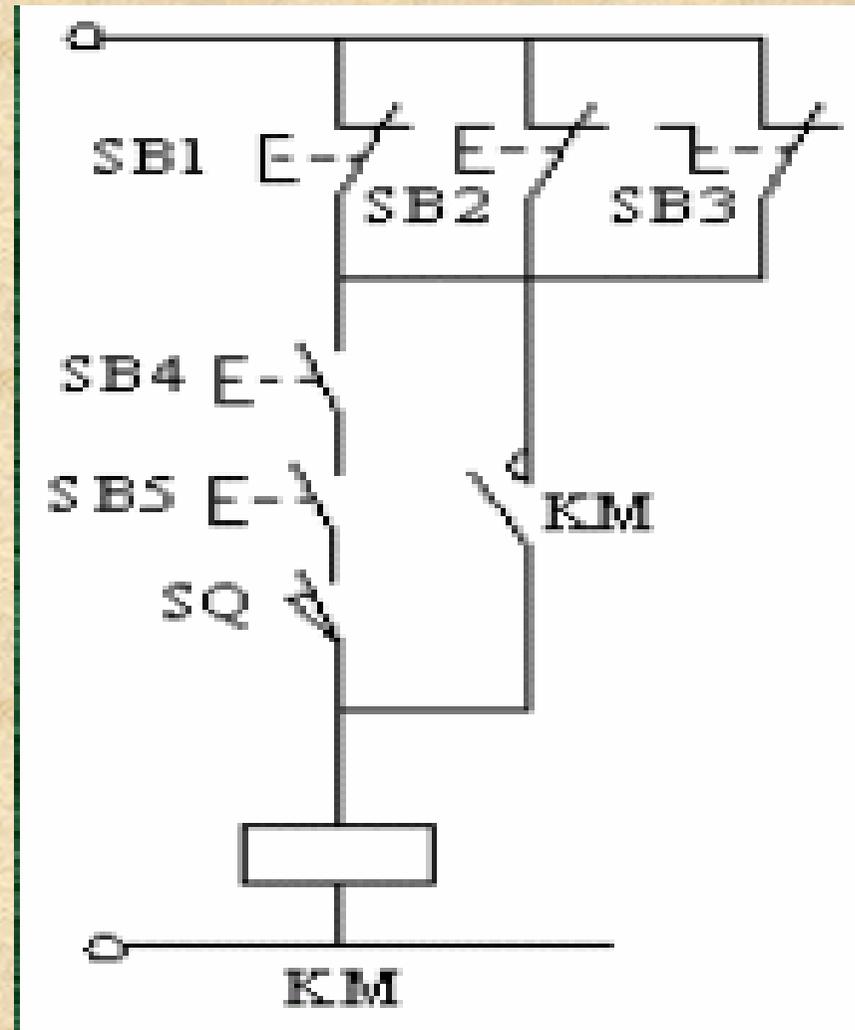


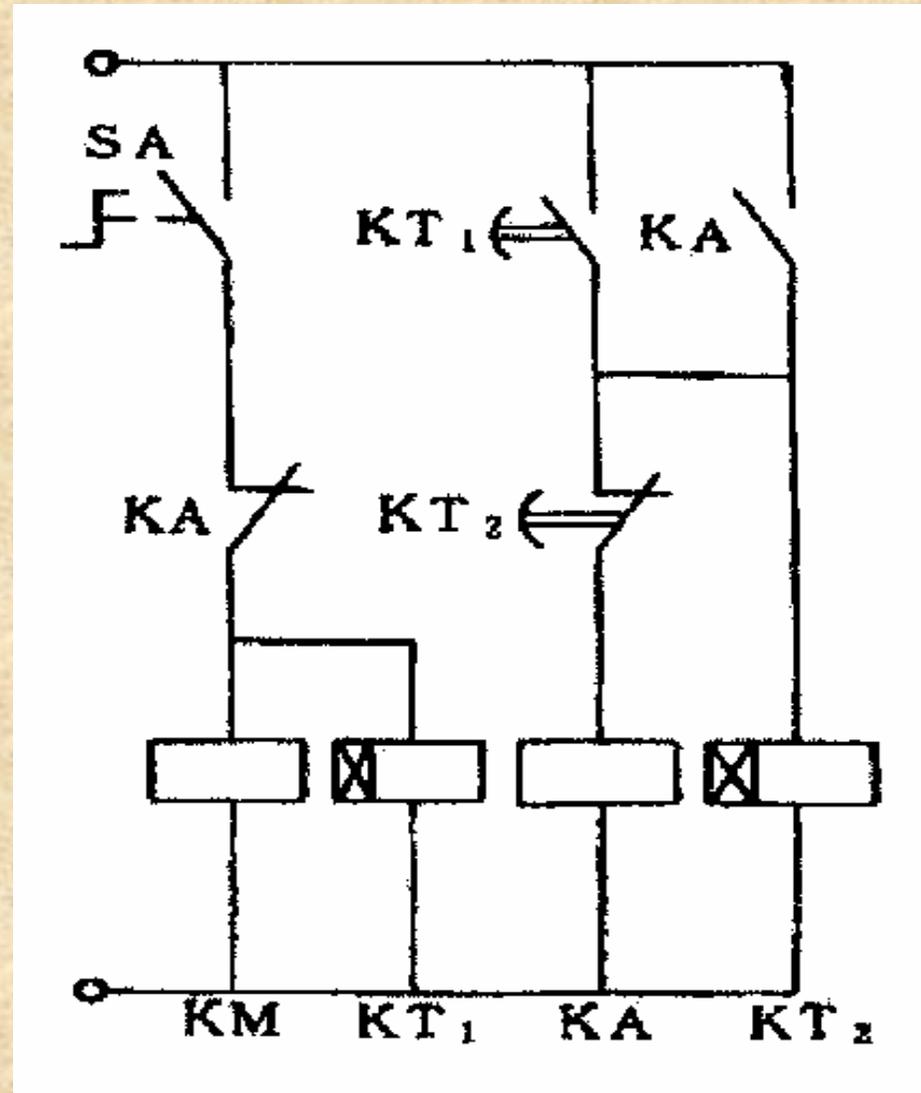
图 3.2.7 三相笼型异步电动机两地控制线路

- **多条件控制:**
- 要求必须在多个操作者都发出指令信号时, 才能对设备运行状态的改变进行控制。
- **原理:**
- 按钮或开关的常开触点串联, 常闭触点并联, 多个条件都满足, 才可以起动或停止。



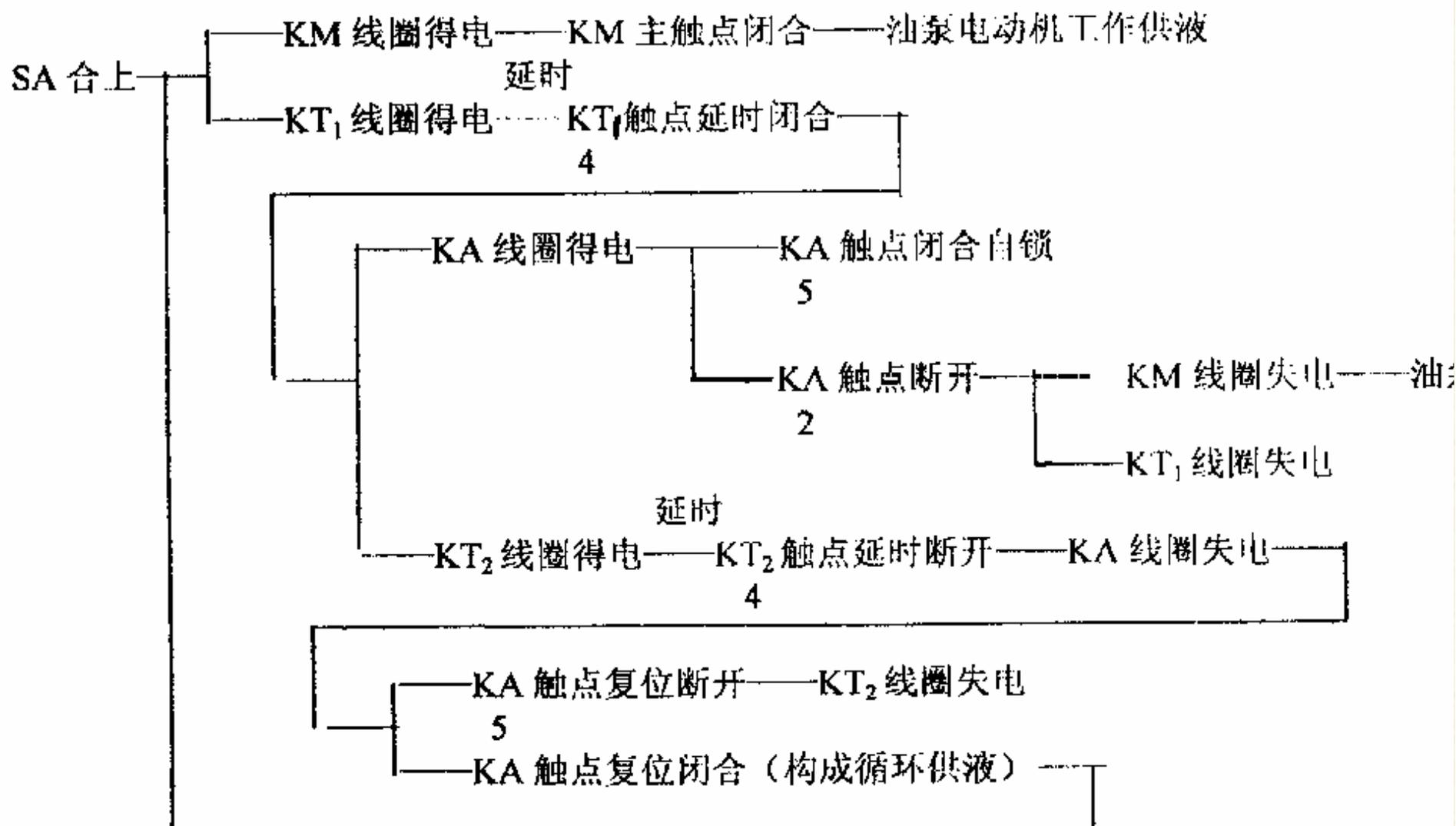
六、自动循环控制

- 闭合SA, KM得电并自锁, KT1线圈得电, 电动机运行, 当等待T1时间后, KT1常开触点动作,
- KA得电并自锁, KA常闭触点断开, 电动机停止。KT2线圈得电, 当等待T2时间后, KT2常闭触点断开, KA线圈失电, KA常闭触点闭合, KM得电, 电动机运行。



控制过程

表 2-8 电器动作顺序表



综合

基本电路的结构特点：

1. 自锁——接触器常开触点与按钮常开触点相并联。
2. 互锁——两个接触器的常闭触点串联在对方线圈的电路中。
3. 点动——无自锁环节。
4. 多地——按钮的常开触点并联、常闭触点串联。
5. 多条件——按钮的常开触点串联、常闭触点并联。

第二节 常用基本控制电路

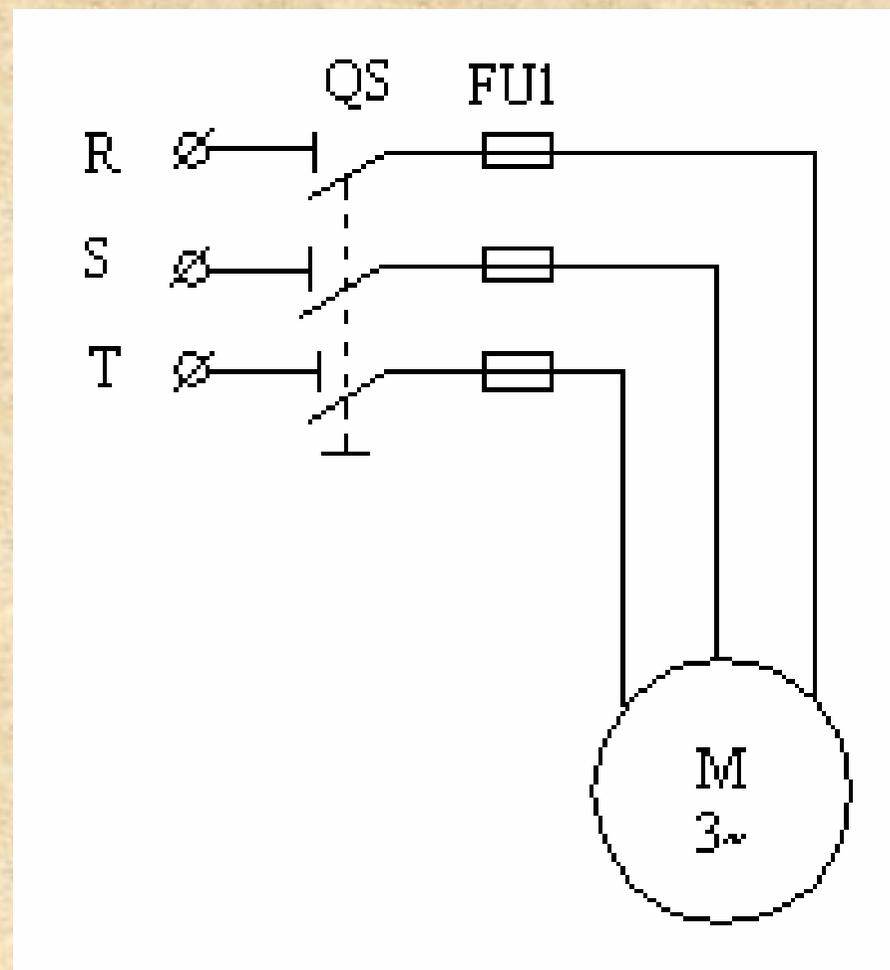
- 全压起动及其主要控制环节
- 笼型异步电动机起动控制线路
- 电路图

一、全压启动及其主要控制环节

- 主要描述小型电动机的全压启动及其主要控制环节，（电动机的启动方法和原理已由电机课程进行过理论研究）有起停控制、正反转控制电路、工作台自动循环控制等。

1 手动起停控制

- 手动控制操作方法：
 - 手动合上QS，电动机M工作；手动切断QS，电动机M停止工作。
- 电路保护措施：
 - FU——短路保护
- 电路优点：控制方法简单、经济、实用。
- 电路缺点：保护不完善，操作不方便



2、自动起停控制

- 主电路:

三相电源经QS、FU1、KM的主触点，FR的热元件到电动机三相定子绕组。

- 控制电路:

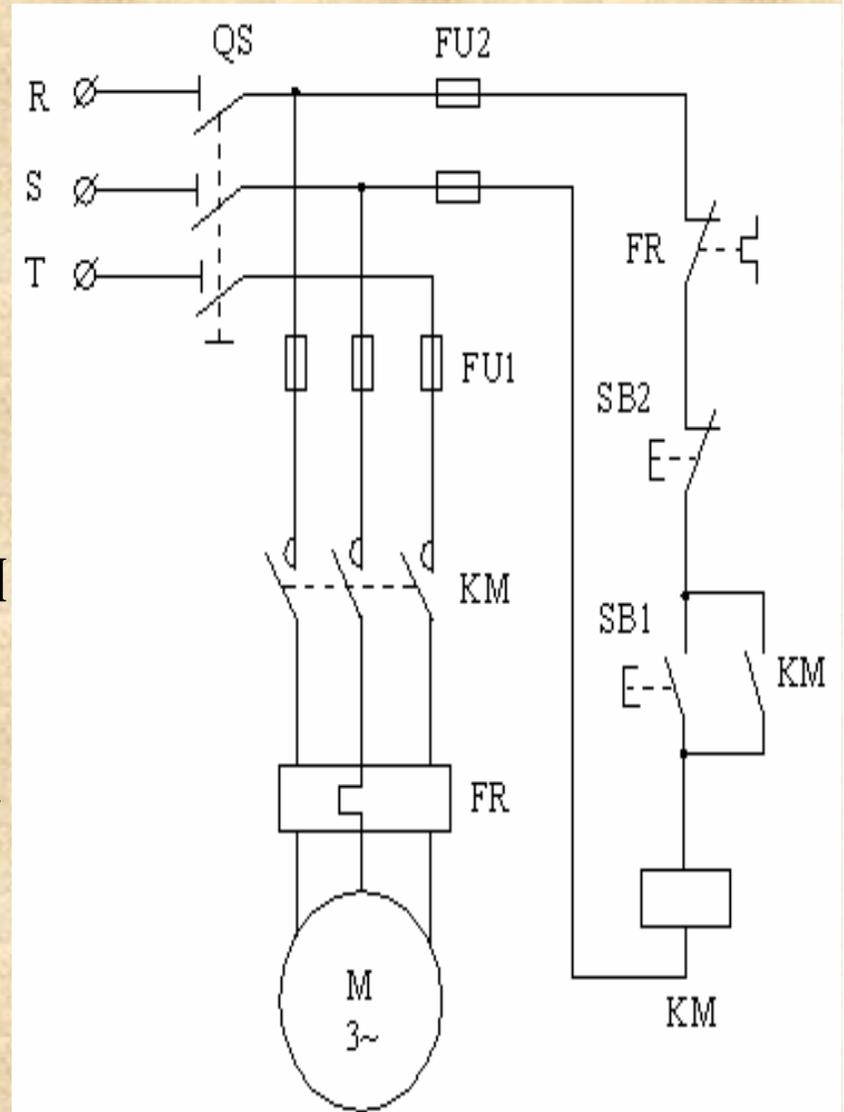
用两个控制按钮，控制接触器KM线圈的通、断电，从而控制电动机(M)启动和停止。

- 起动过程分析:

合上QS，按动起动按钮SB1—>KM线圈通电并自锁—>M通电工作。

KM自锁触点，是指与SB1并联的常开辅助触点，其作用是当按钮SB1闭合后又断开，KM的通电状态保持不变，称为通电状态的自我锁定。

停止按钮SB2，用于切断KM线圈电流并打开自锁电路，使主回路的电动机M定子绕组断电停止工作。



起停控制电路的保护分析

- 过载保护:

热继电器FR用于电动机过载时，其在控制电路的常闭触点打开，接触器KM线圈断电，使电动机M停止工作。排除过载故障后，手动使其复位，控制电路可以重新工作。

- 短路保护:

熔断器组FU1用于主电路的短路保护，FU2用于控制电路的短路保护。

- 零压保护:

电路失电复上电，不操作起动按钮，KM线圈不会再次自行通电，电动机不会自行起动。

3 正反转控制电路

- 正反转实现的方法：改变电源相序（两根火线对调）。

1、正反转基本控制电路： 主电路：

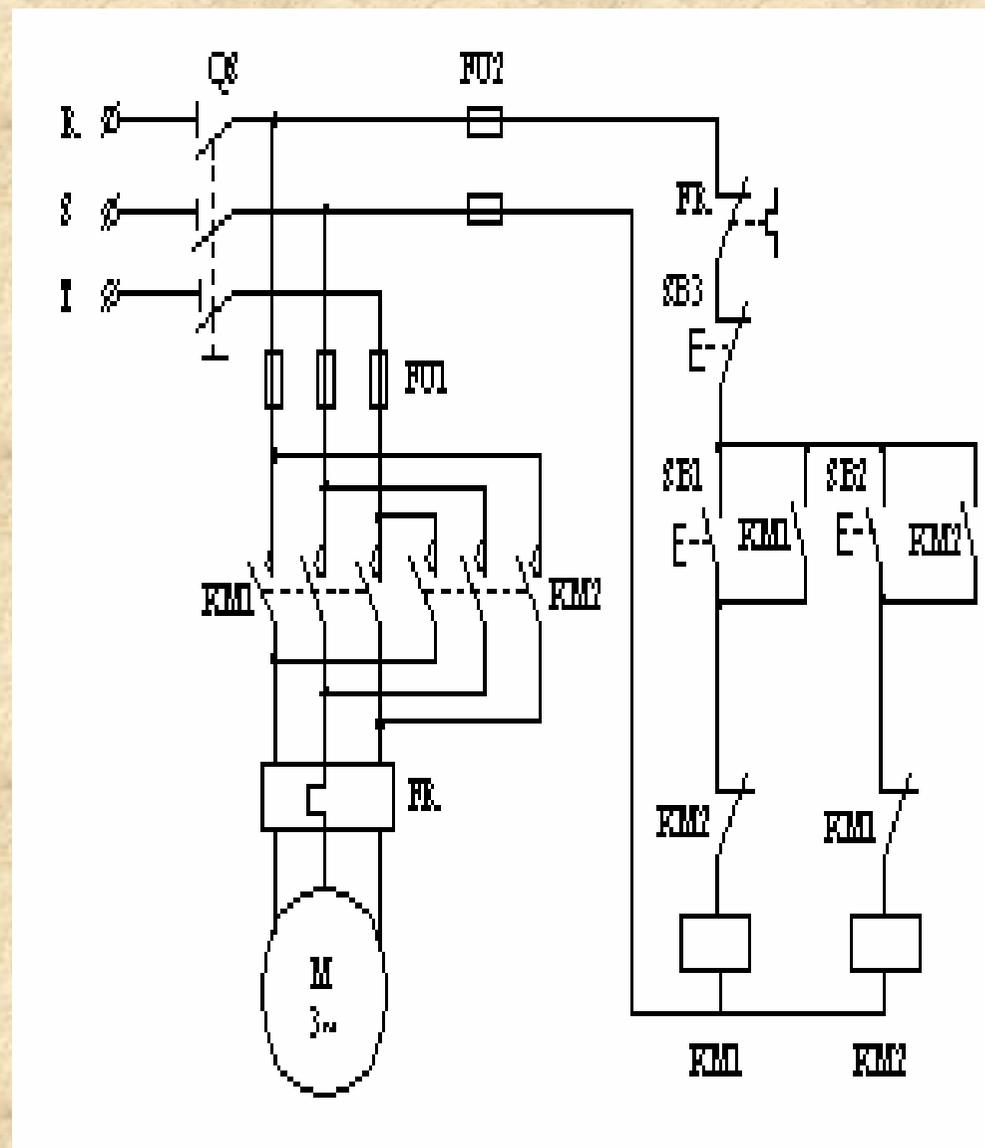
KM1主触点接通正相序电源—M正转。

KM2主触点接通反相序电源—M反转。

控制电路：

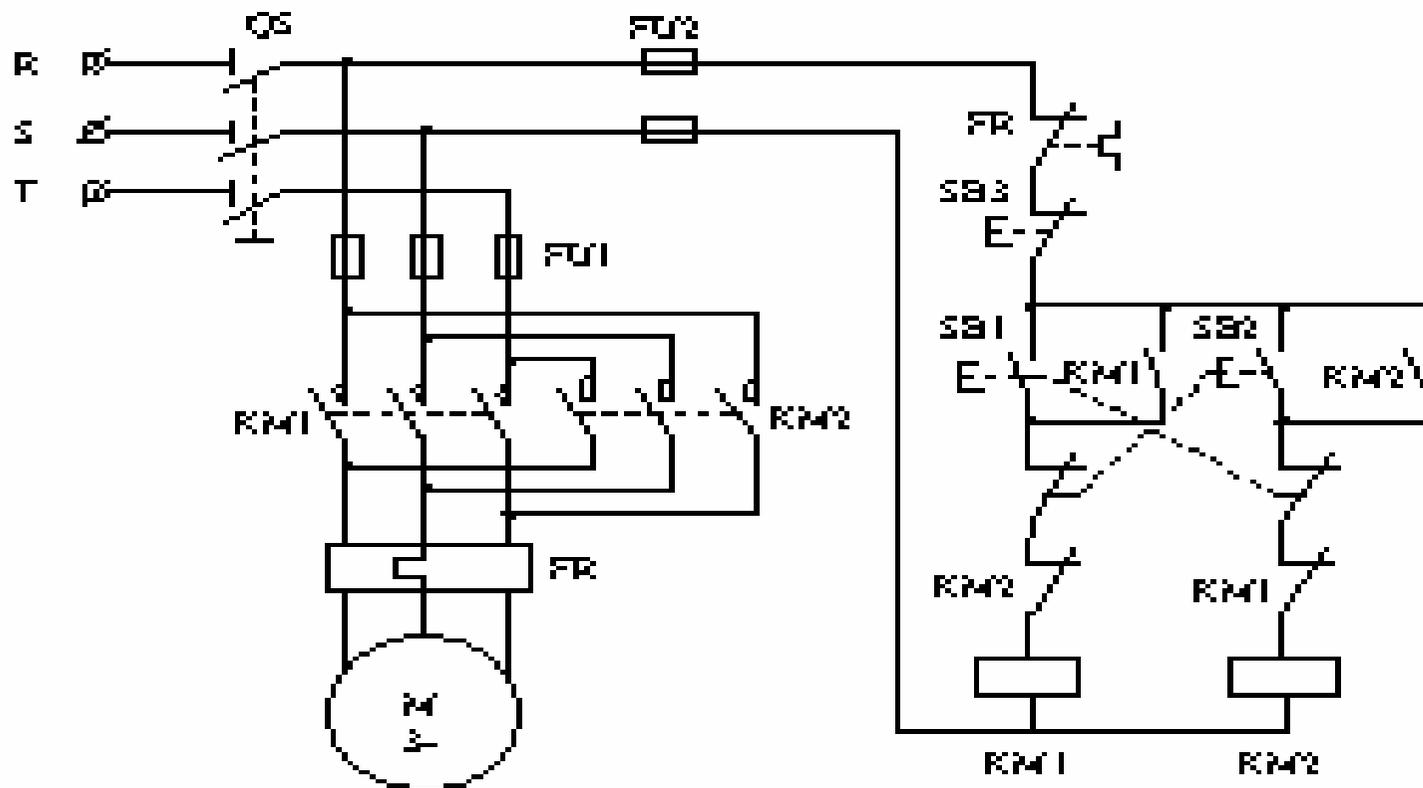
SB1控制正转，SB2控制反转，SB3用于停止控制。

KM的常闭触点用于互锁控制，即使在接触器故障情况下，也可以保证不发生主电路短路现象。



- 上图中电气操作只能按正、停、反或反、停、正的方式进行操作。电路不能正反、反正操作控制，给设备的操作带来诸多不便。

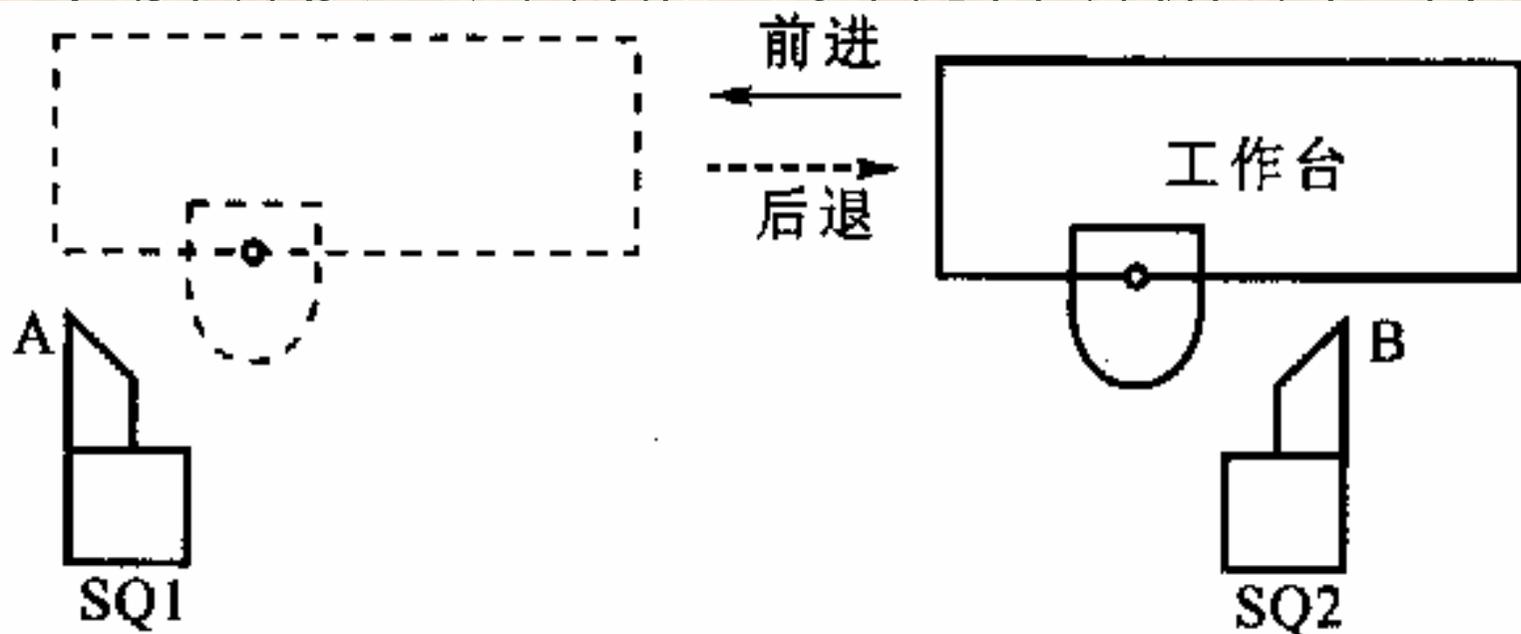
改进： 使用按钮连锁，首先使用和常开触点联动的常闭触点的断开对方支路线圈电流，再利用常开触点的闭合接通通电线圈电流。可以很方便地使电动机由正转进入反转，或由反转进入正转。



4、工作台自动循环控制

- 工作台移动机构示意（可逆行程）

在工作台的移动机构和固定部件上分别装置的行程开关和档铁（压动行程开关用），当移行机构运动到某一固定位置时，压动行程开关，取代人手接动按钮的功能，实现自动循环控制。



工作原理：右图 SQ1用于正转控制，SQ2用于反转控制，

先按下按钮，电机运行，之后行程开关取代按钮工作。

当工作台运动到某位置时，挡铁碰撞行程开关，使其动作。

缺点：没有极限位置的保护

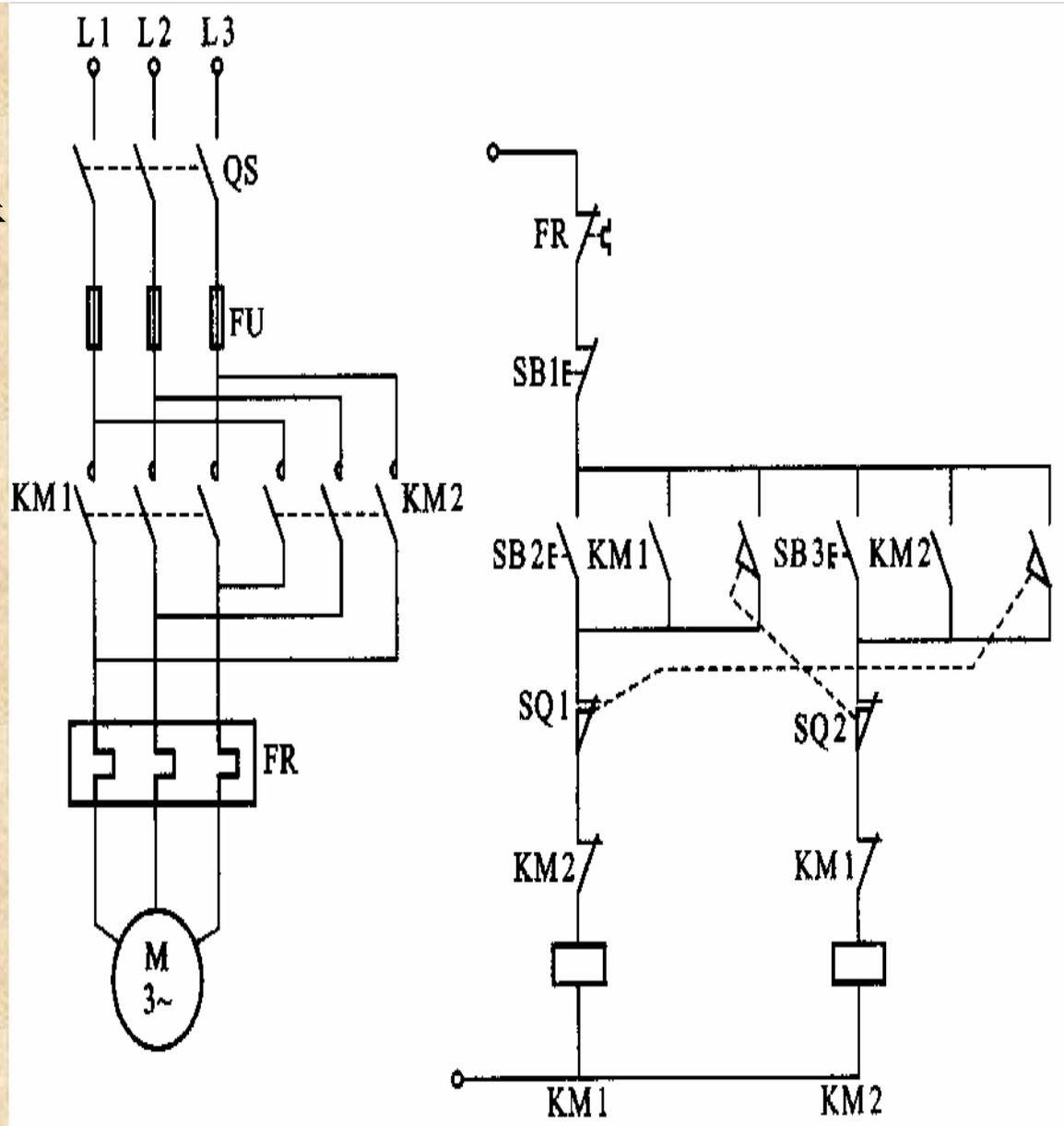
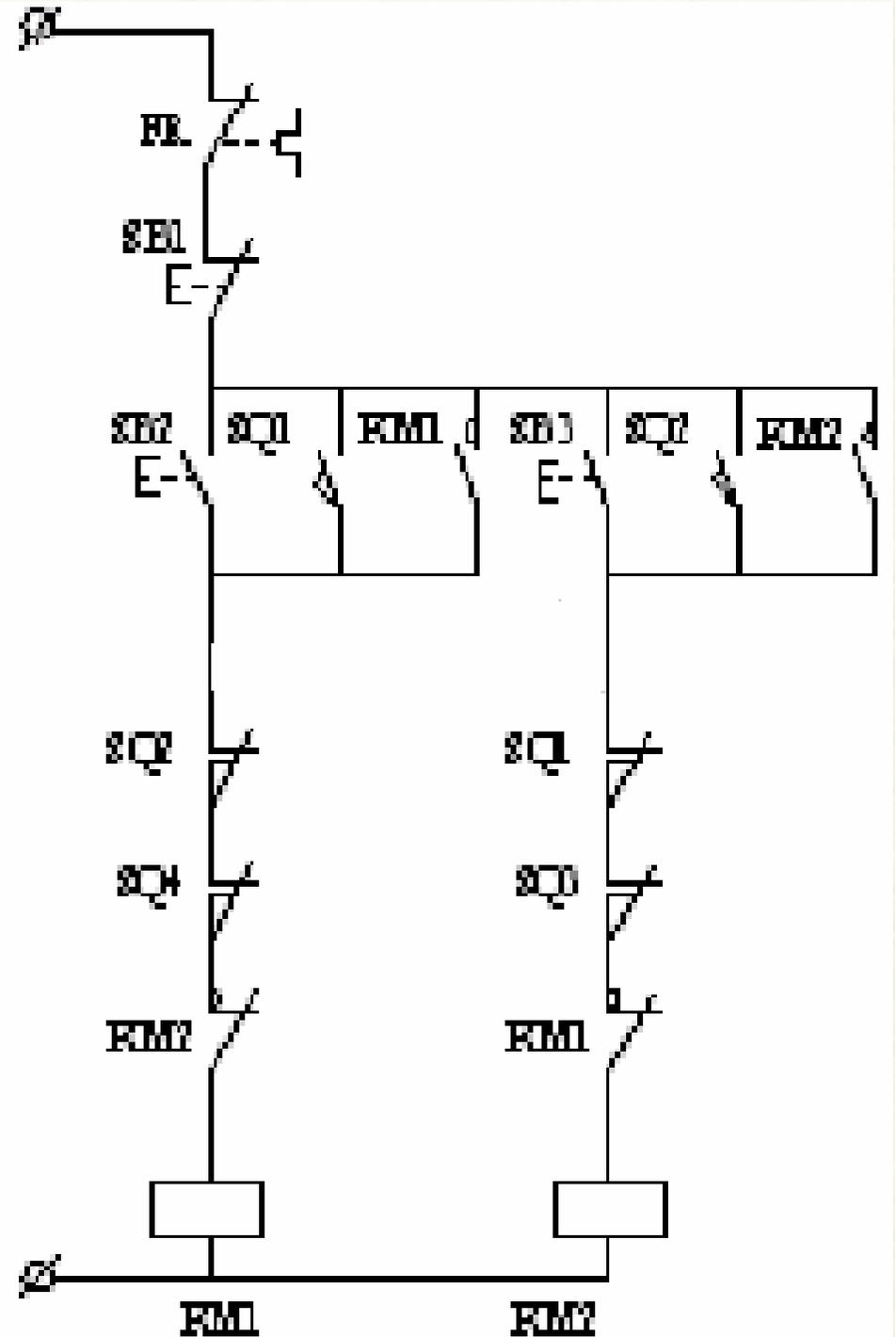


图 3.6.2 自动往复循环控制线路

- SQ3、SQ4的常闭触点用于**极限位置的保护**：他们处于工作台正常的循环行程之外，起终端保护作用，以防止SQ1、SQ2失效，造成事故。



二、笼型异步电动机降压起动控制线路

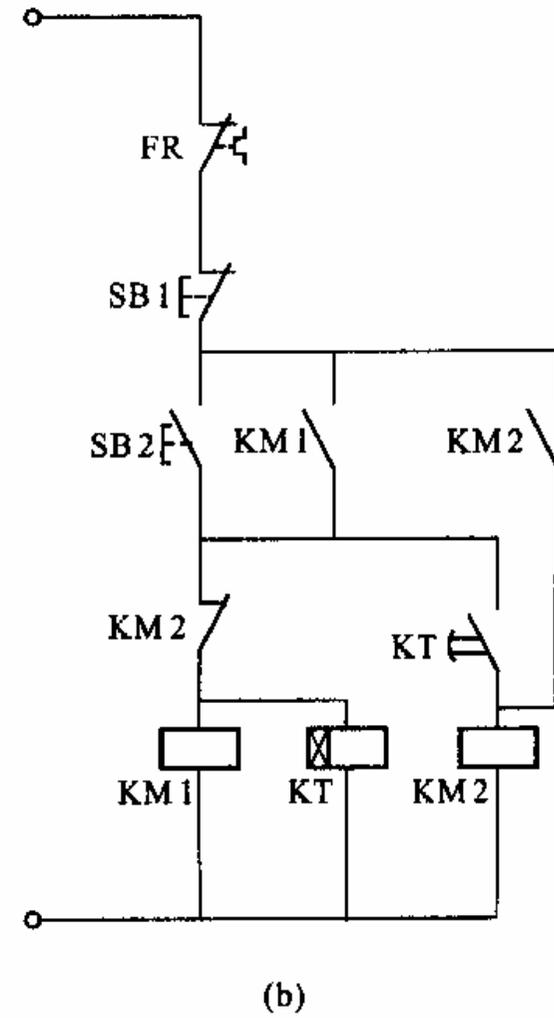
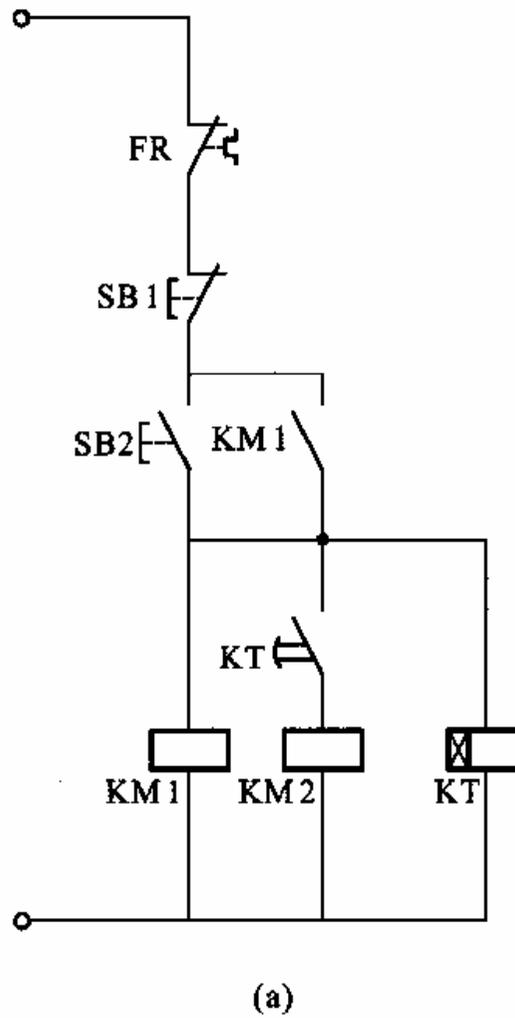
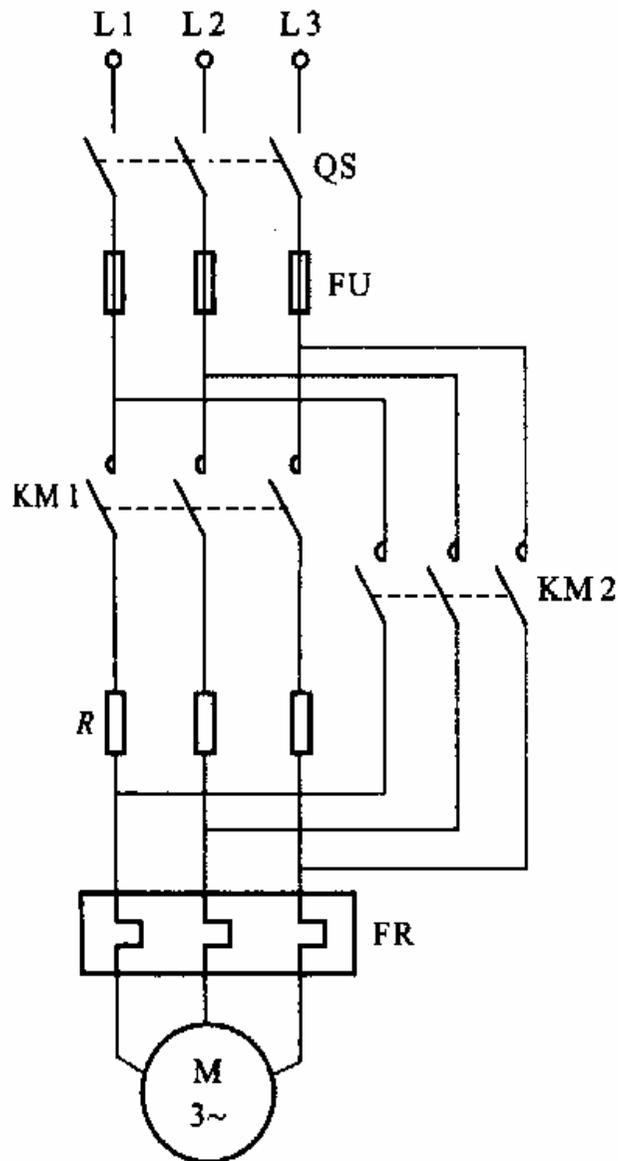
- 用途:

三相交流异步电动机的降压起动，用于大容量三相交流异步电动机空载和轻载起动时**减小起动电流**。

降压启动控制电路:

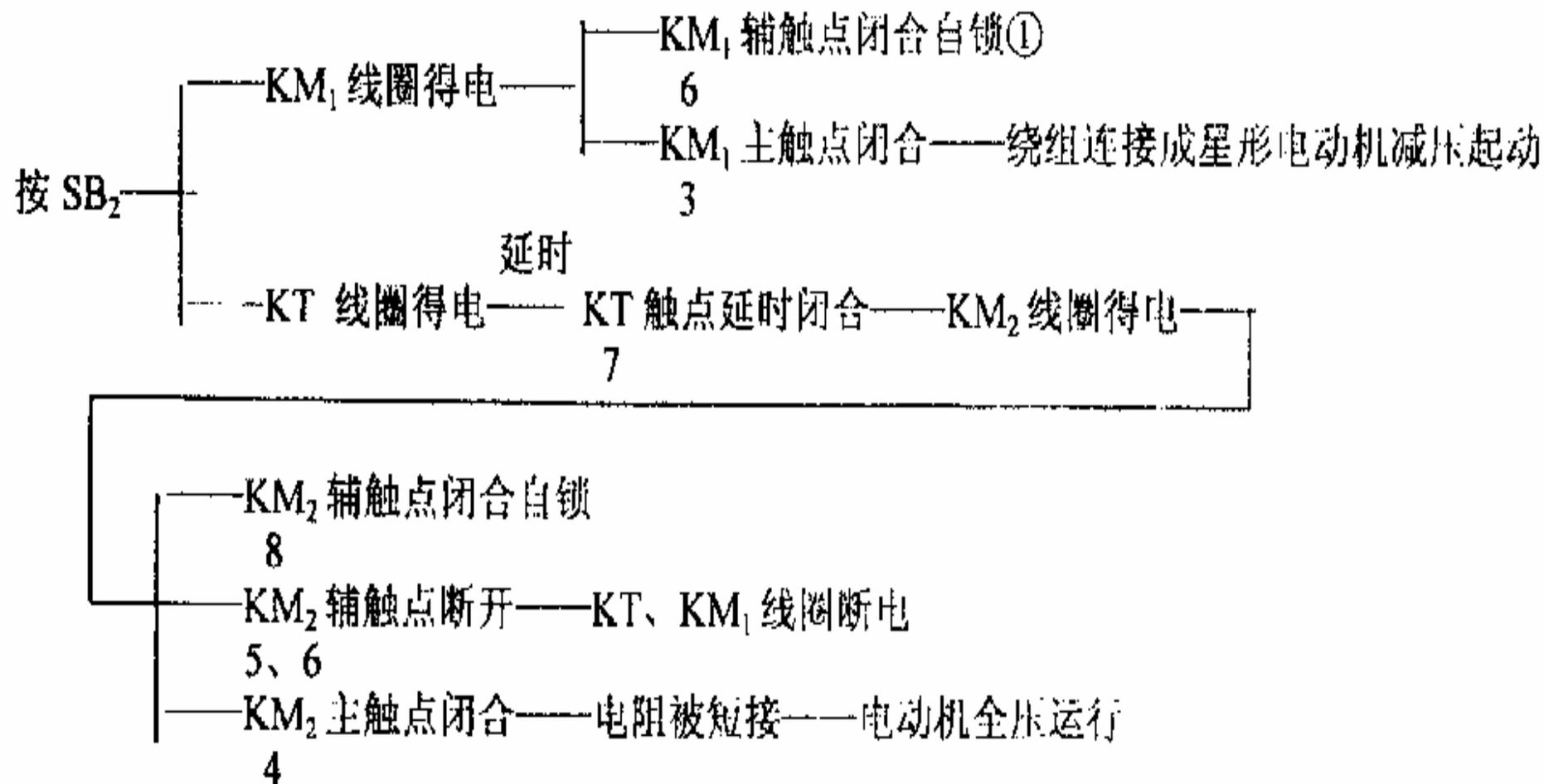
串电阻降压启动 Y- Δ 启动

1 串电阻降压启动



工作过程

表 2-4 电器动作顺序表



2 星—三角降压启动

- 工作原理
- 启动时，电动机定子绕组Y连接，运行时 Δ 连接。

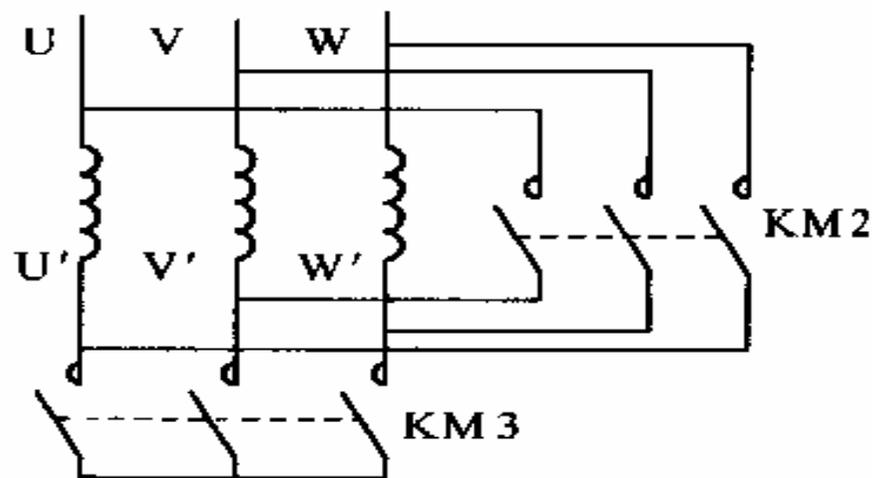
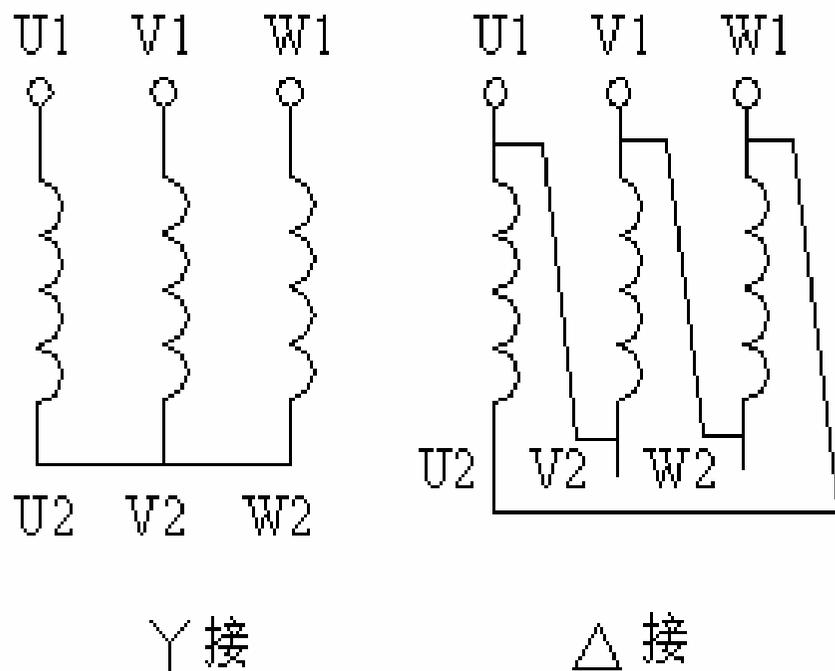


图 3.3.2 电动机定子绕组星—三角接线示意图

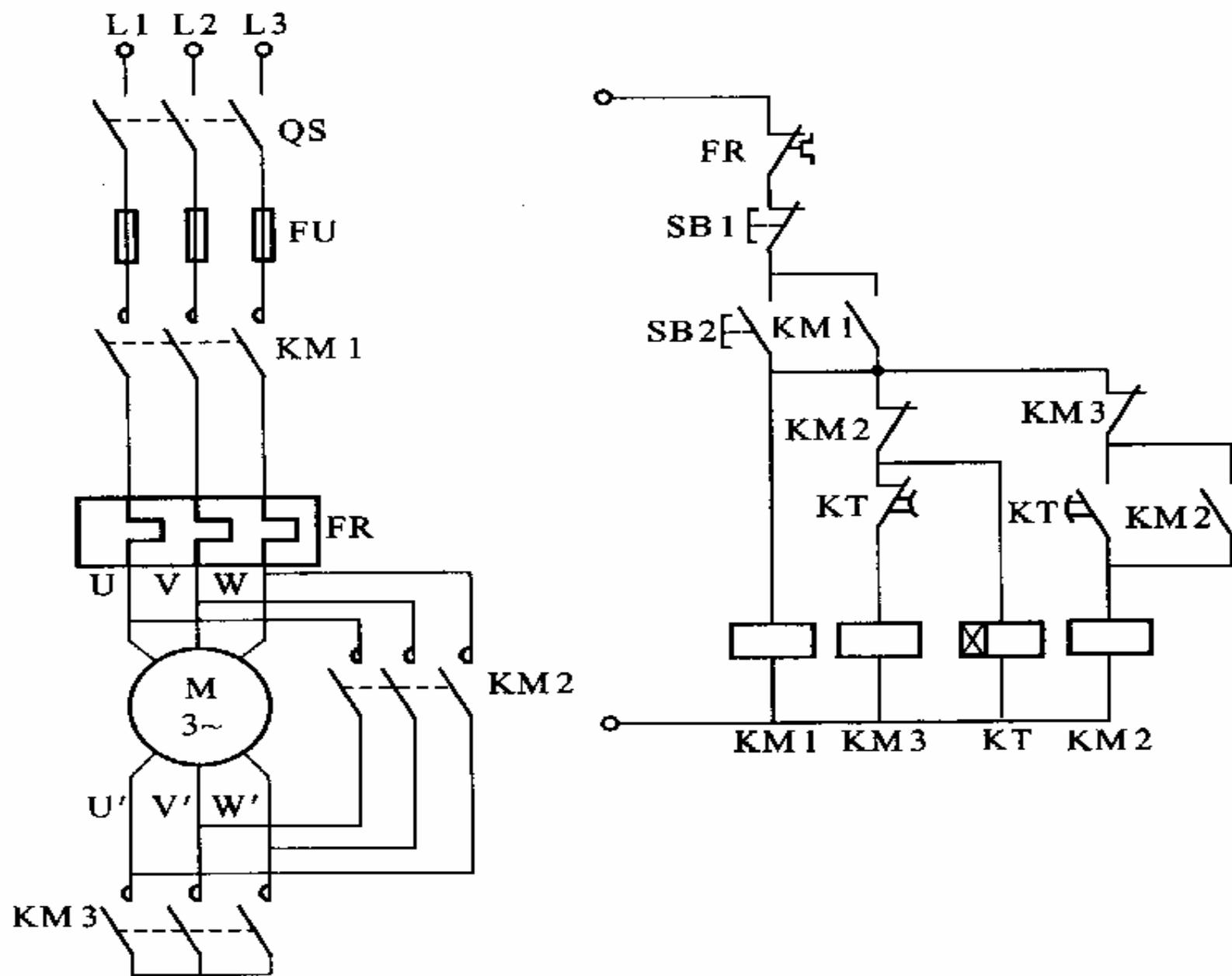
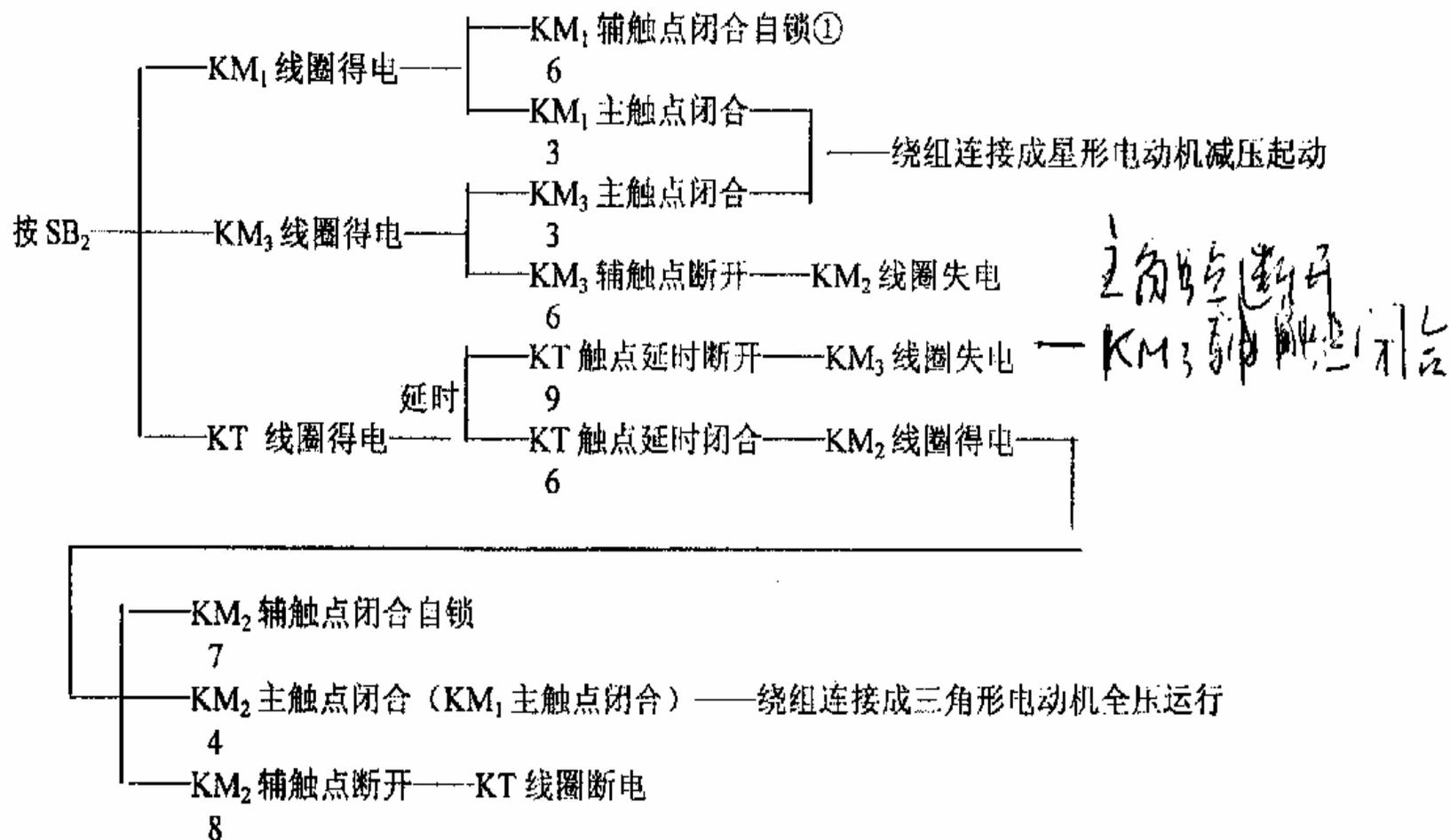


图 3.3.3 星-三角降压起动控制线路

工作过程

表 2-3 电器动作顺序表



三、电路图

- 总结前面所学的主要基本电路图

自动往返循环控制

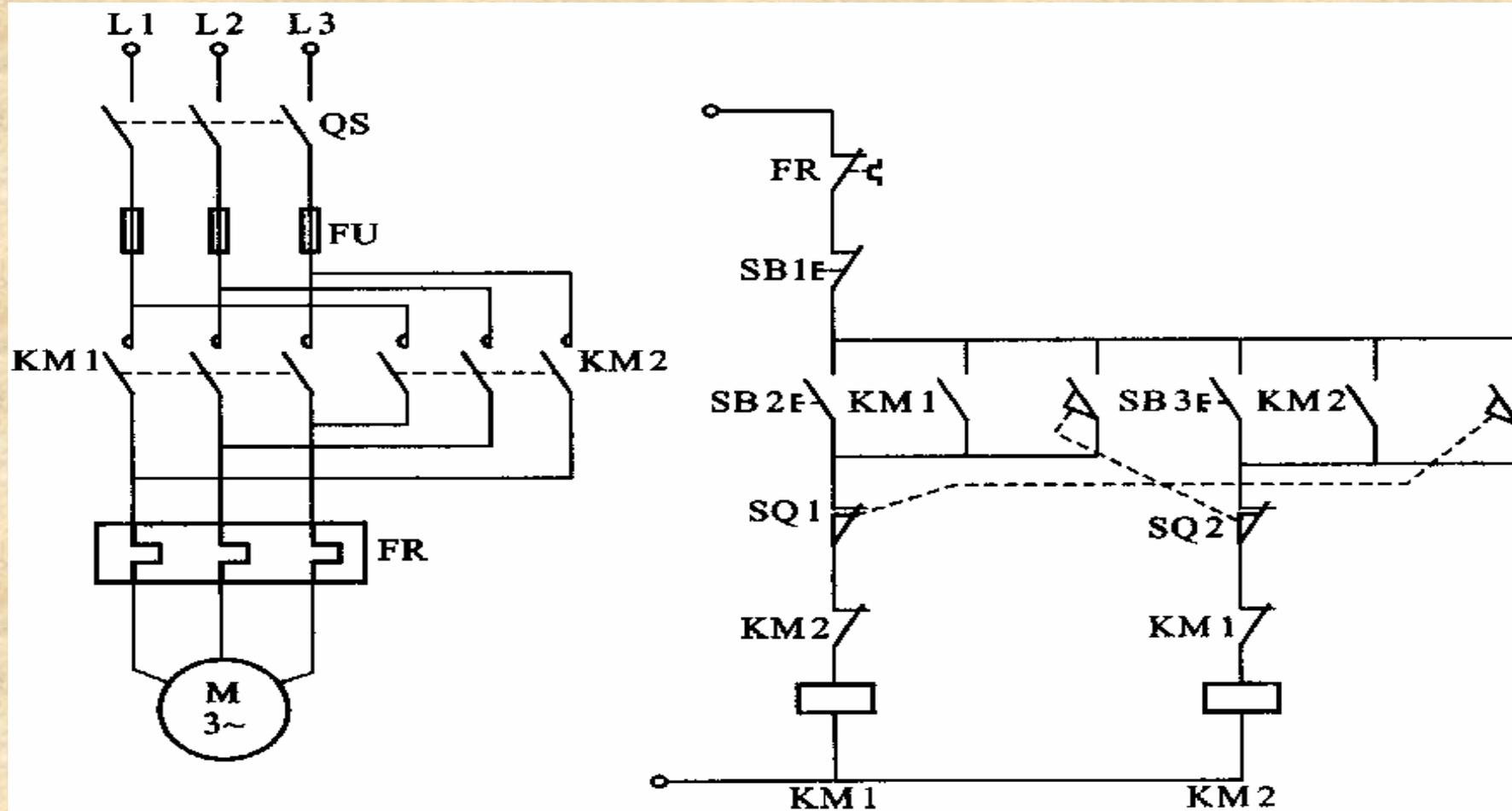


图 3.6.2 自动往复循环控制线路

正反转控制

- 控制要求:

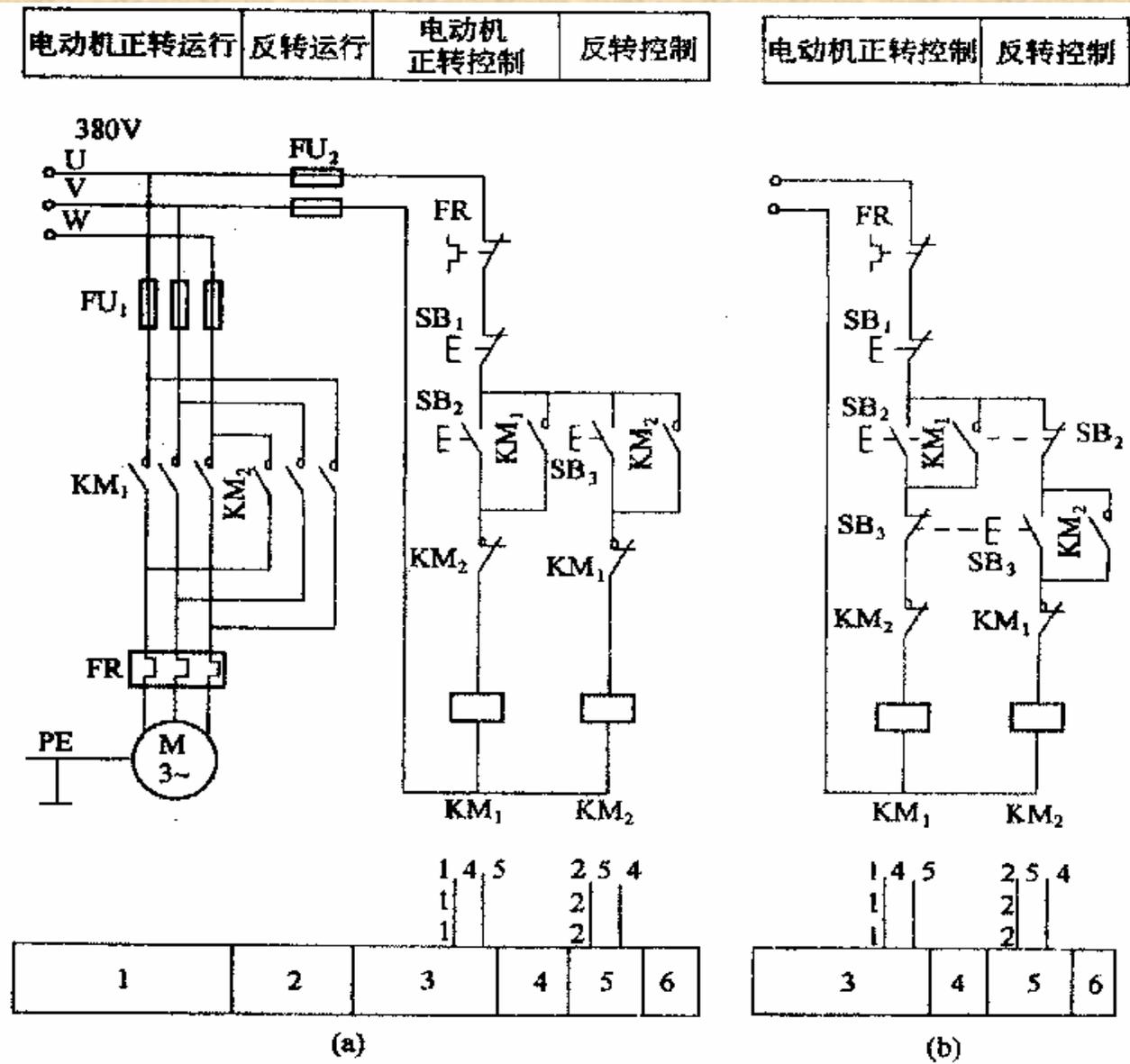


图 2-12 异步电动机正反转控制电路

(a) 方案一

(b) 方案二

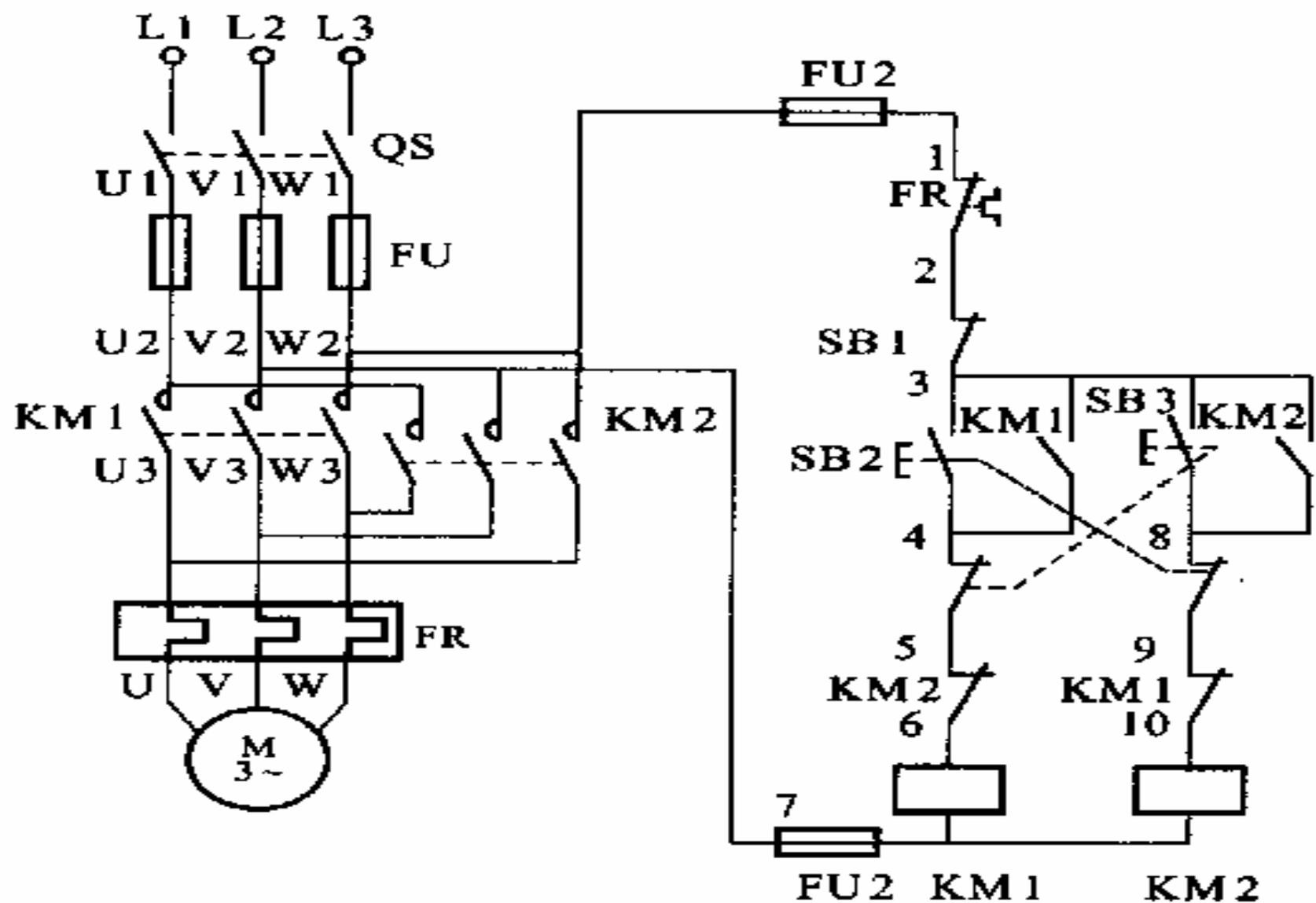


图 6.4 三相异步电动机正反转控制线路

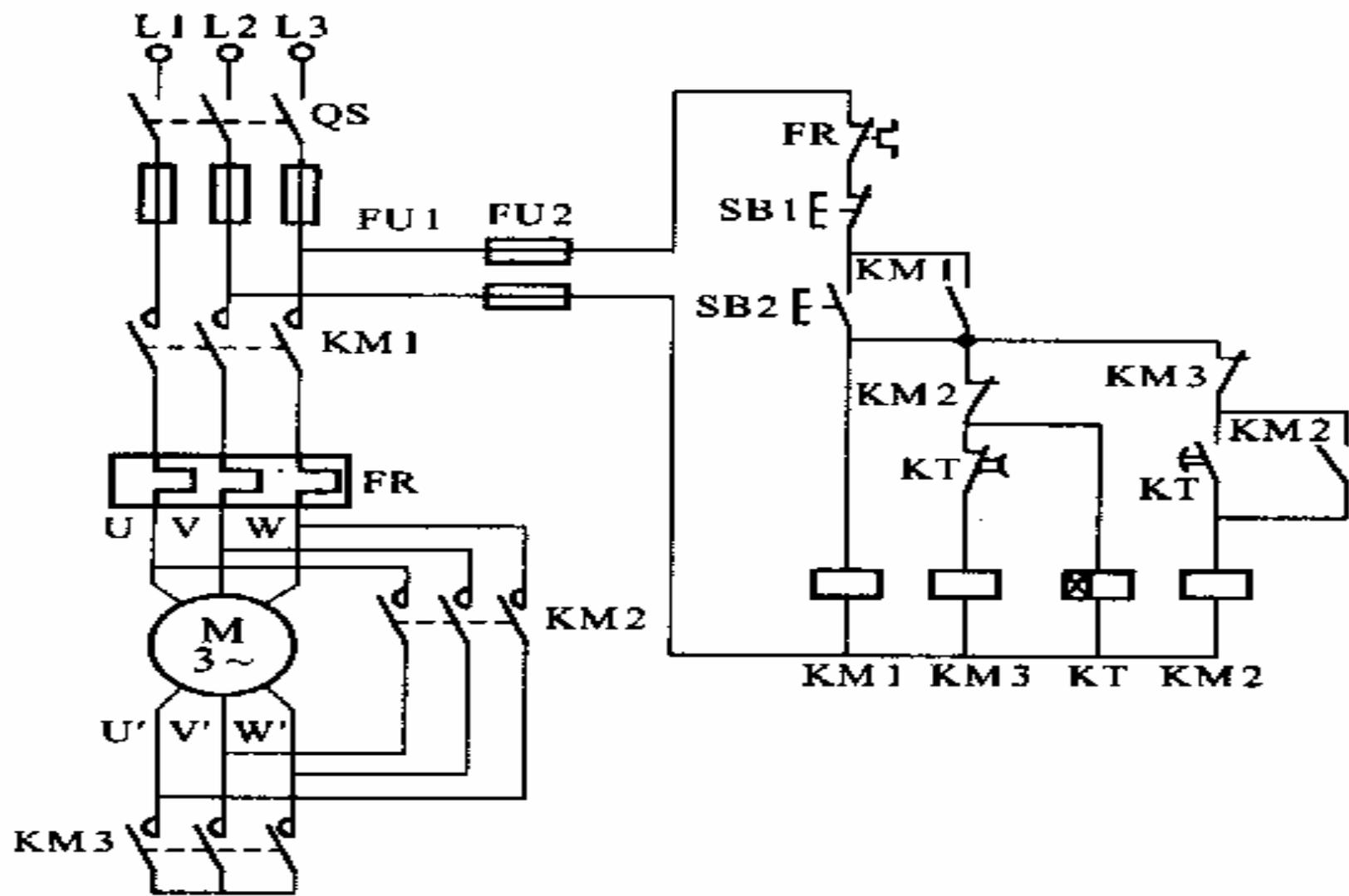


图 6.5 星-三角降压起动控制线路

第三节 三相异步电动机的制动控制

- 三相异步电动机切除电源后依惯性总要转动一段时间才能停下来。而生产中起重机的吊钩或卷扬机的吊蓝要求准确定位；万能铣床的主轴要求能迅速停下来。这些都需要对拖动的电动机进行**制动**：
- 方法有两大类：
- **机械制动**
- **电力制动**。

一 机械制动

- 采用机械装置使电动机断开电源后迅速停转的制动方法。如电磁抱闸、电磁离合器等电磁铁制动器。
- **1 电磁抱闸制动控制电路：**
- 包括制动电磁铁（YA）和闸瓦制动器两部分。闸瓦制动器由闸轮、闸瓦、杠杆和弹簧等组成。闸轮与电动机转子装在同一轴上，当闸瓦抱住闸轮时实现制动。
- 分为电磁抱闸通电制动和断电制动。

(1) 电磁抱闸断电制动控制电路

- 电磁抱闸断电制动控制电路如图所示
- 合上电源开关**QS**和开关**K**，电动机接通电源，同时电磁抱闸线圈**YB**得电，衔铁吸合，克服弹簧的拉力使制动器的闸瓦与闸轮分开，电动机正常运转。---**通电正常运行。**

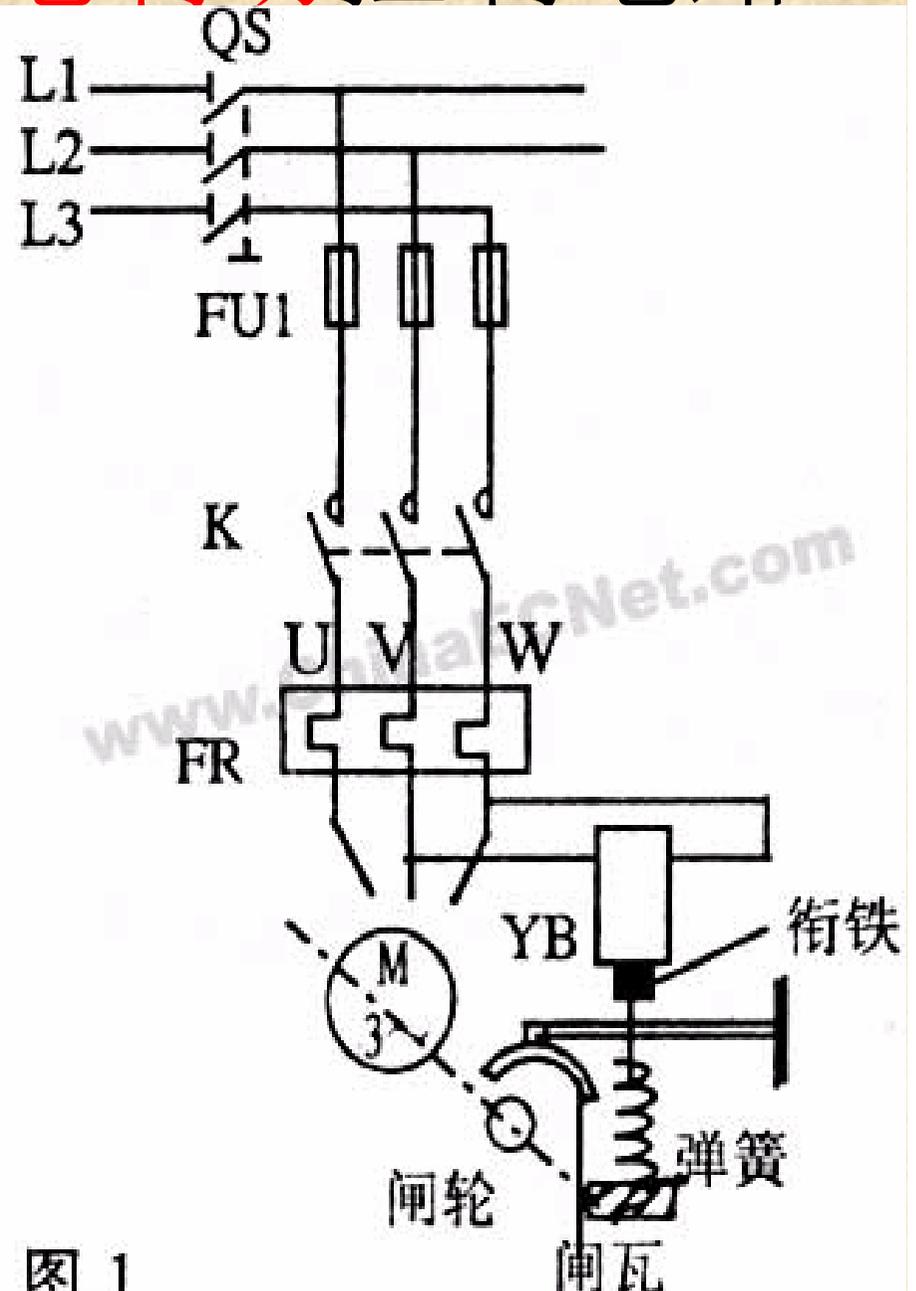


图 1

如何实现断电制动？

- 断开开关电动机失电，同时电磁抱闸线圈**YB**也失电，衔铁在弹簧拉力作用下与铁芯分开，并使制动器的闸瓦紧紧抱住闸轮，电动机被制动而停转
- --断电制动。

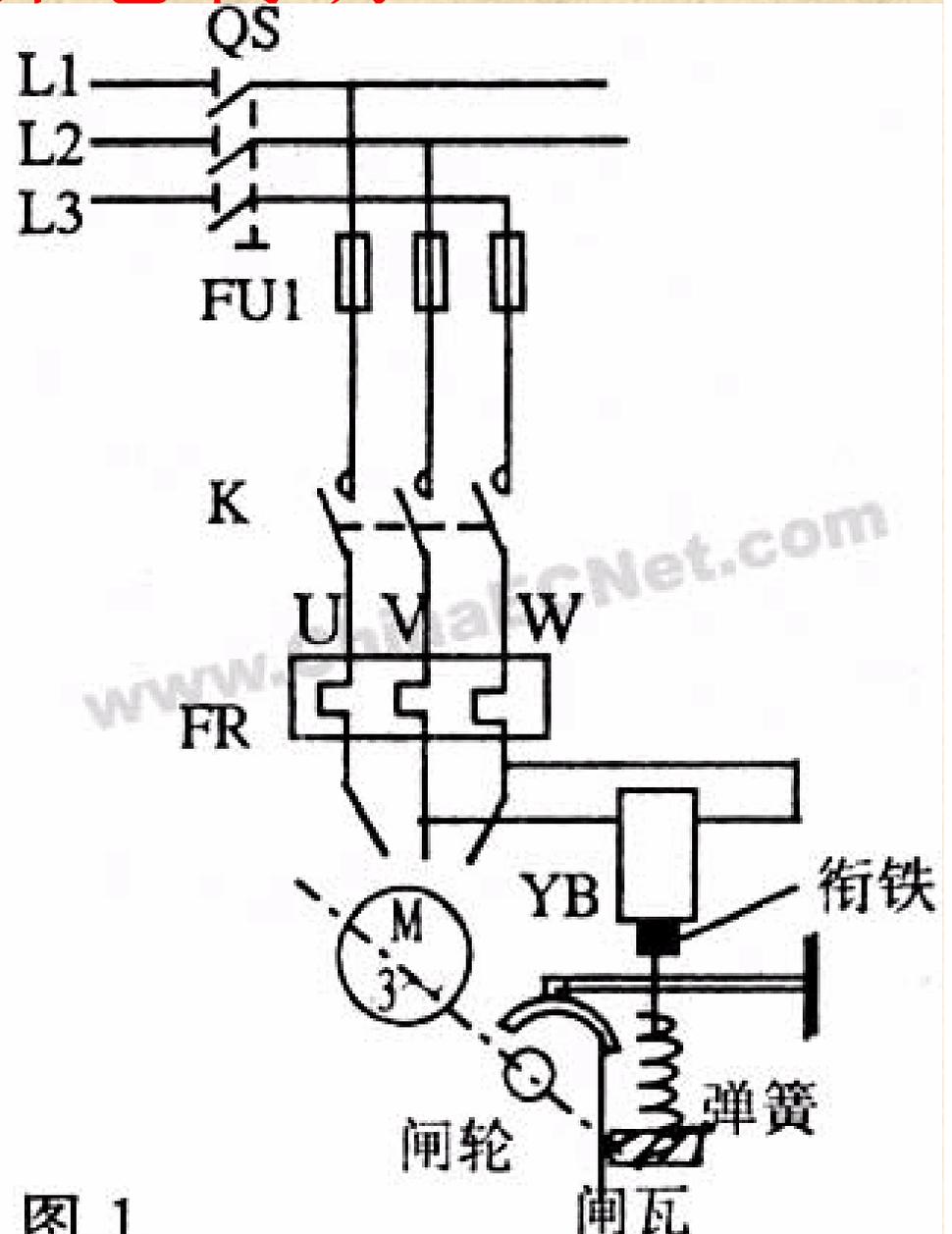


图 1

适用范围：

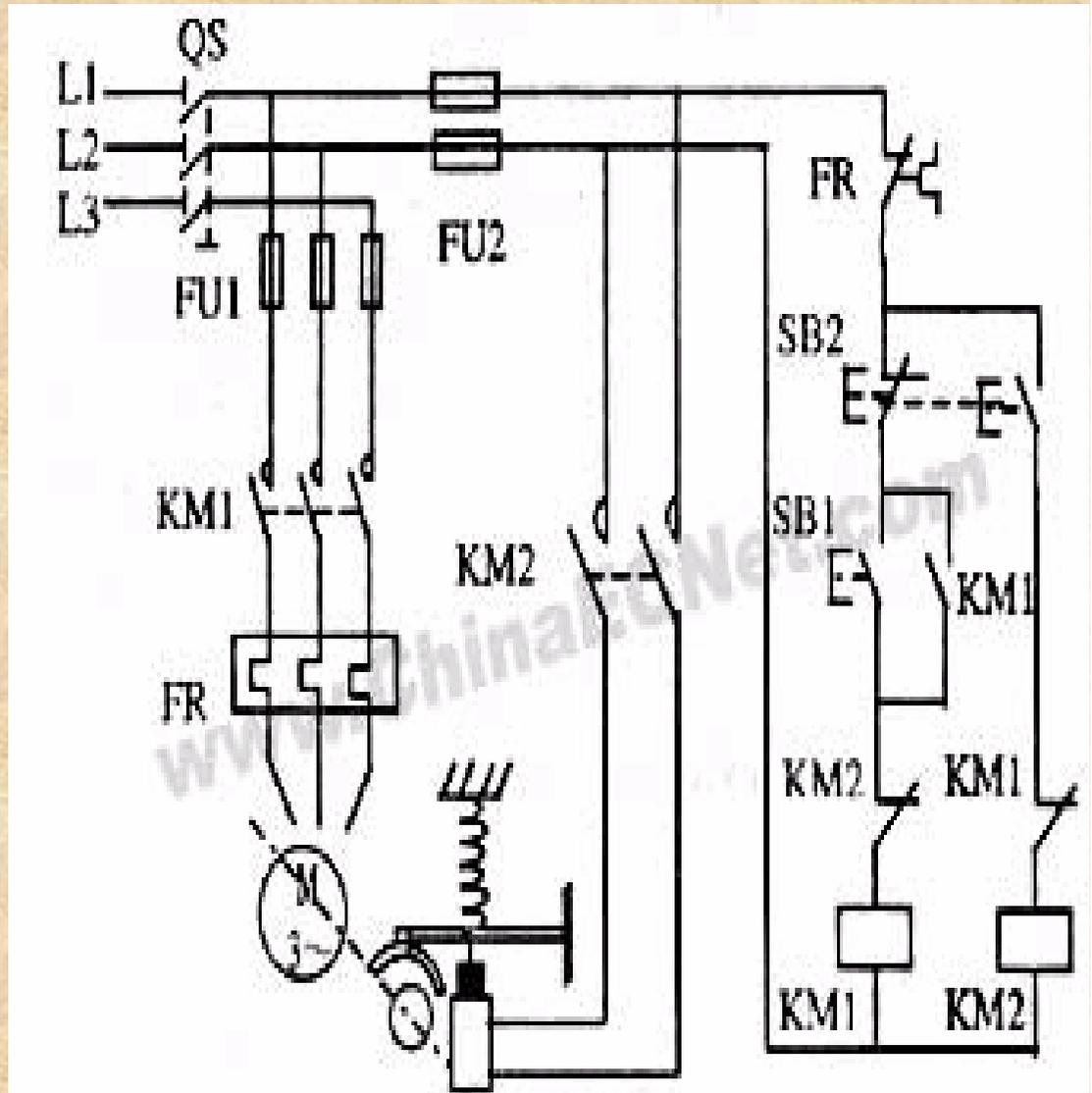
- 这种制动方法在起重机械上广泛应用，如行车、卷扬机等。其优点是能准确**定位**，可防止电动机突然断电时重物自行坠落而造成事故。

(2)电磁抱闸**通电制动**控制电路

- 电磁抱闸断电制动其闸瓦紧紧抱住闸轮，若想手动调整工作是很困难的。因此，对电动机制动后仍想调整工件的相对位置的机床设备就不能采用断电制动，而应采用**通电制动**控制。

当电动机得电运转时，电磁抱闸线圈无法得电，闸瓦与闸轮分开无制动作用；

- 当电动机需停转按下停止按钮SB2时，复合按钮SB2的常闭触头先断开切断KM1线圈，KM1主、辅触头恢复无电状态，结束正常运行并为KM2线圈得电作好准备，经过一定的行程SB2的常开触头接通KM2线圈，其主触头闭合电磁抱闸的线圈得电，使闸瓦紧紧抱住闸轮制动；



优点：当电动机处于停转常态时，电磁抱闸线圈也无电，闸瓦与闸轮分开，这样操作人员可扳动主轴调整工件或对刀等。

2 电磁离合器制动简介

- 机械制动主要采用电磁抱闸、电磁离合器制动，两者都是利用电磁线圈通电后产生磁场，使静铁芯产生足够大的吸力吸合衔铁或动铁芯(电磁离合器的动铁芯被吸合，动、静摩擦片分开)，克服弹簧的拉力而满足工作现场的要求。电磁抱闸是靠闸瓦的摩擦片制动闸轮。电磁离合器是利用动、静摩擦片之间足够大的摩擦力使电动机断电后立即制动。

二 电气制动

- 电动机在切断电源的同时给电动机一个和实际转向相反的电磁力矩(制动力矩)使电动机迅速停止的方法。最常用的方法有：**反接制动**和**能耗制动**。

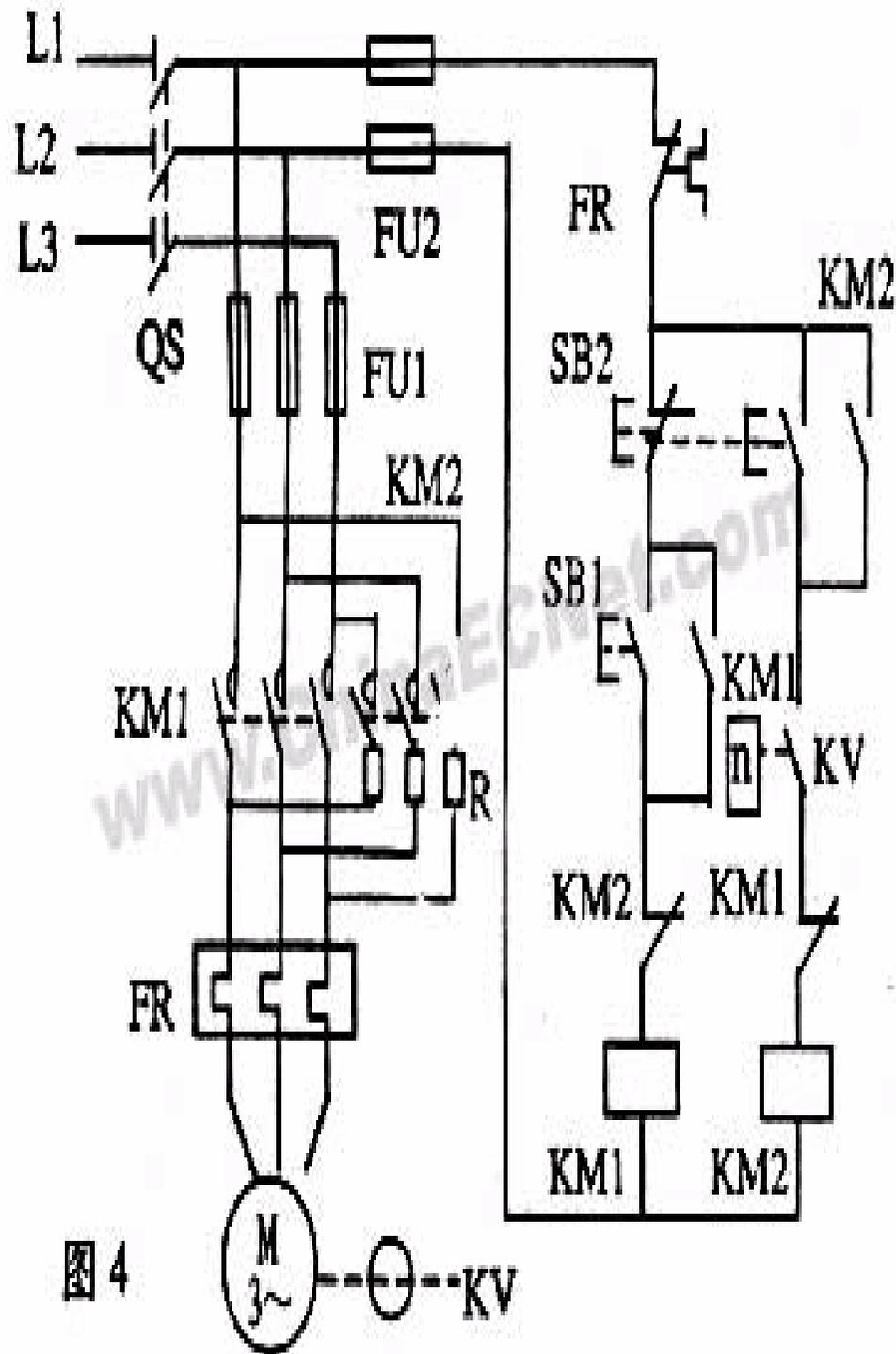
1 反接制动

- 在电动机切断正常运转电源的同时改变电动机定子绕组的电源相序，使之有反转趋势而产生较大的制动力矩的方法。反接制动的实质：使电动机欲反转而制动，因此当电动机的转速接近零时，应立即切断反接制动电源，否则电动机会反转。实际控制中采用速度继电器来自动切除制动电源。

(1) 单向反接制动的控制线路

单向反接制动的控制线路如图2-19所示，其中KS为速度继电器。

- 反接制动分析：停车时按下停止按钮**SB2**，复合按钮**SB2**的常闭先断开切断**KM1**线圈，**KM1**主、辅触头恢复无电状态，结束正常运行并为反接制动作好准备，后接通**KM2**线圈(**KM1**常开触头在正常运转时已经闭合)，其主触头闭合，电动机改变相序进入反接制动状态，辅助触头闭合自锁持续制动，当电动机的转速下降到设定的释放值时，**KV**触头释放，切断**KM2**线圈，反接制动结束。



(2) 可逆反接制动控制线路

电动机可逆运行的反接制动控制线路如图2-20所示。由于速度继电器的触点具有方向性，所以电动机的正向和反向制动分别由速度继电器的两对常开触点**KS-Z**、**KS-F**来控制。该线路在电动机正反转启动和反接制动时在定子电路中都串接电阻，限流电阻**R**起到了在反接制动时限制制动电流，在启动时限制启动电流的双重限流作用。操作方便，具有触点、按钮双重联锁，运行安全、可靠，是一个较完善的控制线路。

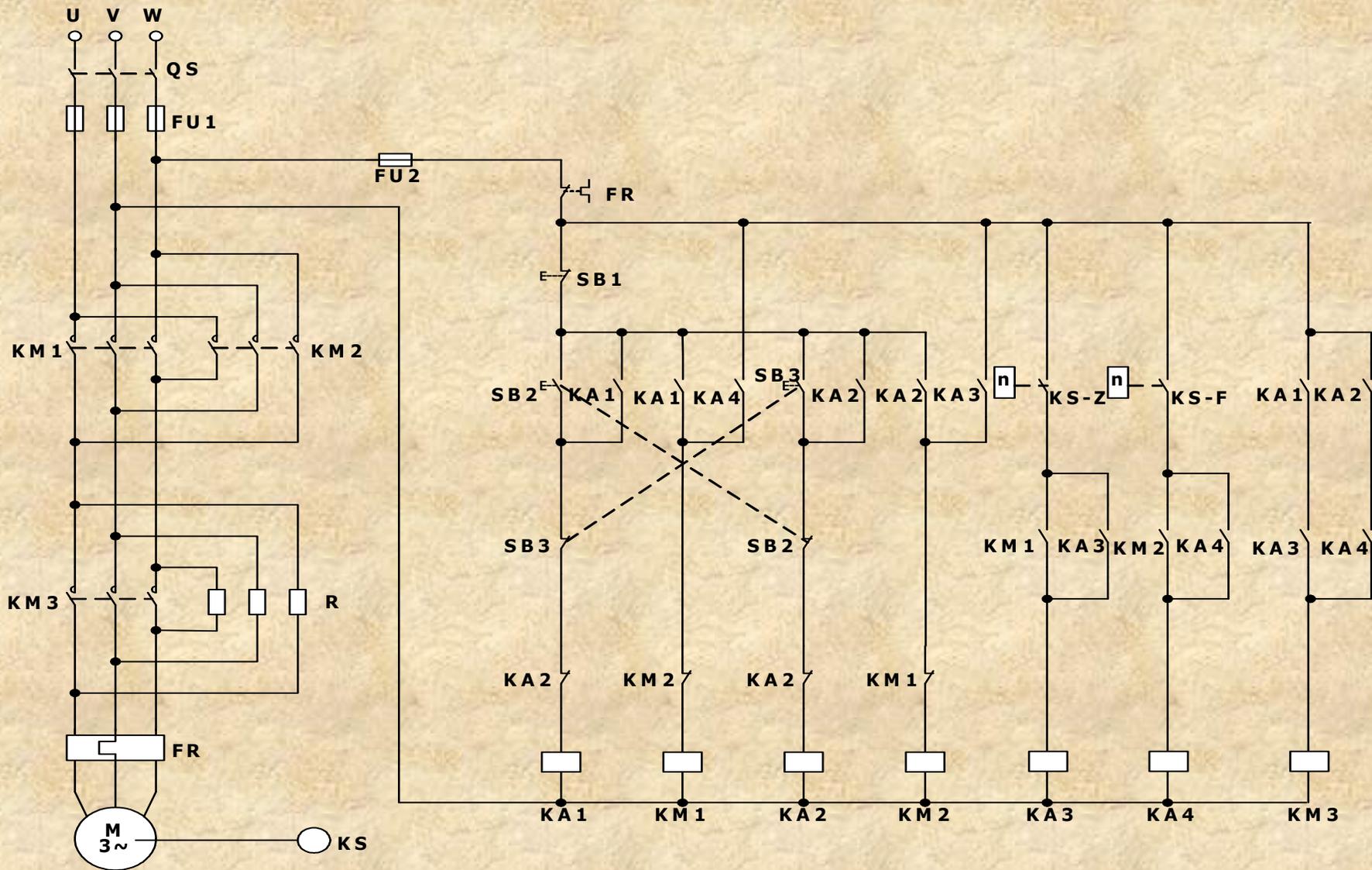
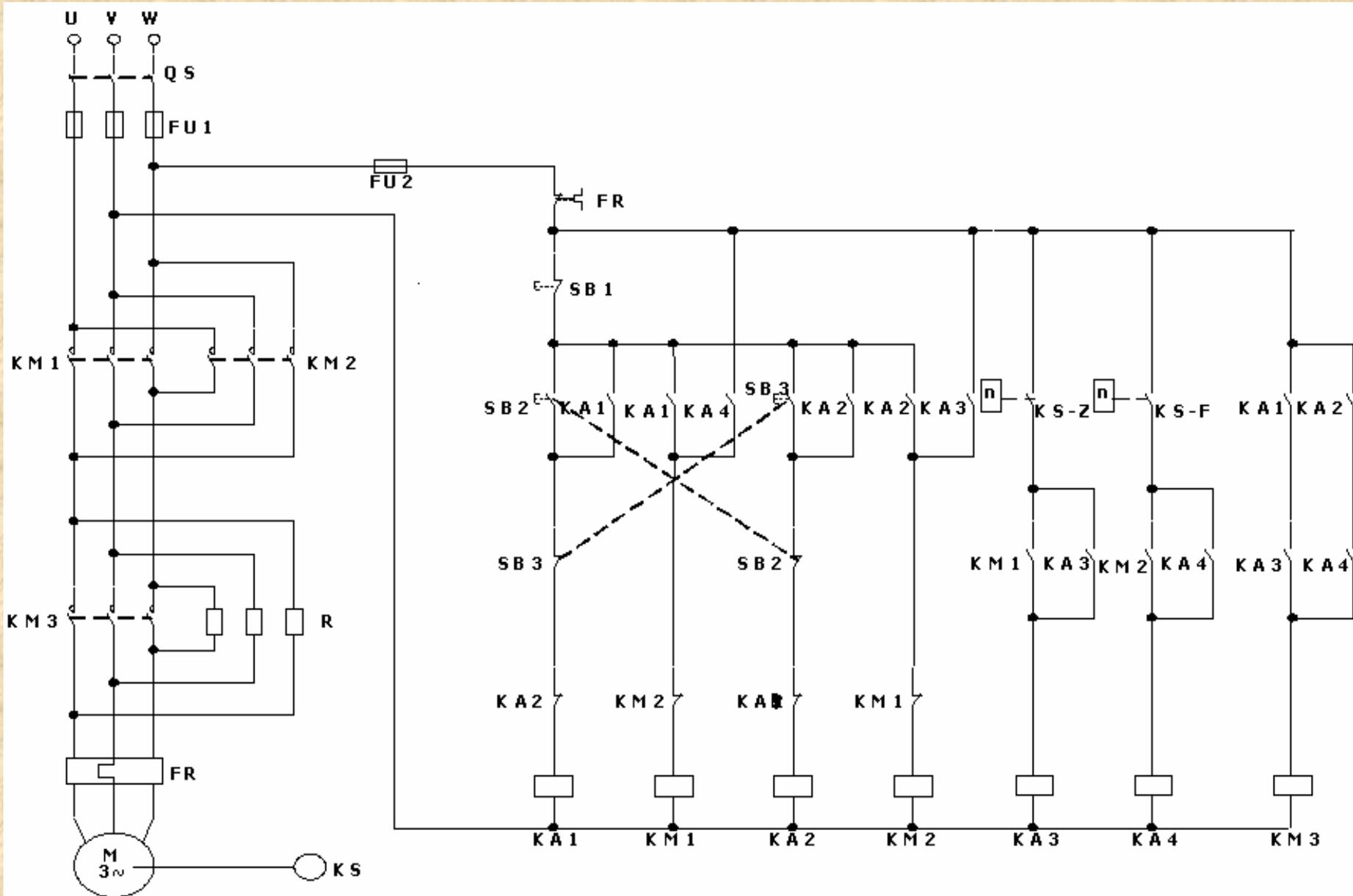


图2-20电动机可逆运行的反接制动控制线路



- 反接制动制动力强，制动迅速，控制电路简单，设备投资少，但制动准确性差，制动过程中冲击力强烈，易损坏传动部件。因此适用于10kw以下小容量的电动机制动要求迅速、系统惯性大，不经常启动与制动的设备，如铣床、镗床、中型车床等主轴的制动控制。

2 能耗制动

- 电动机切断交流电源的同时给定子绕组的任意二相加一直流电源，以产生静止磁场，依靠转子的惯性转动切割该静止磁场产生制动力矩的方法。

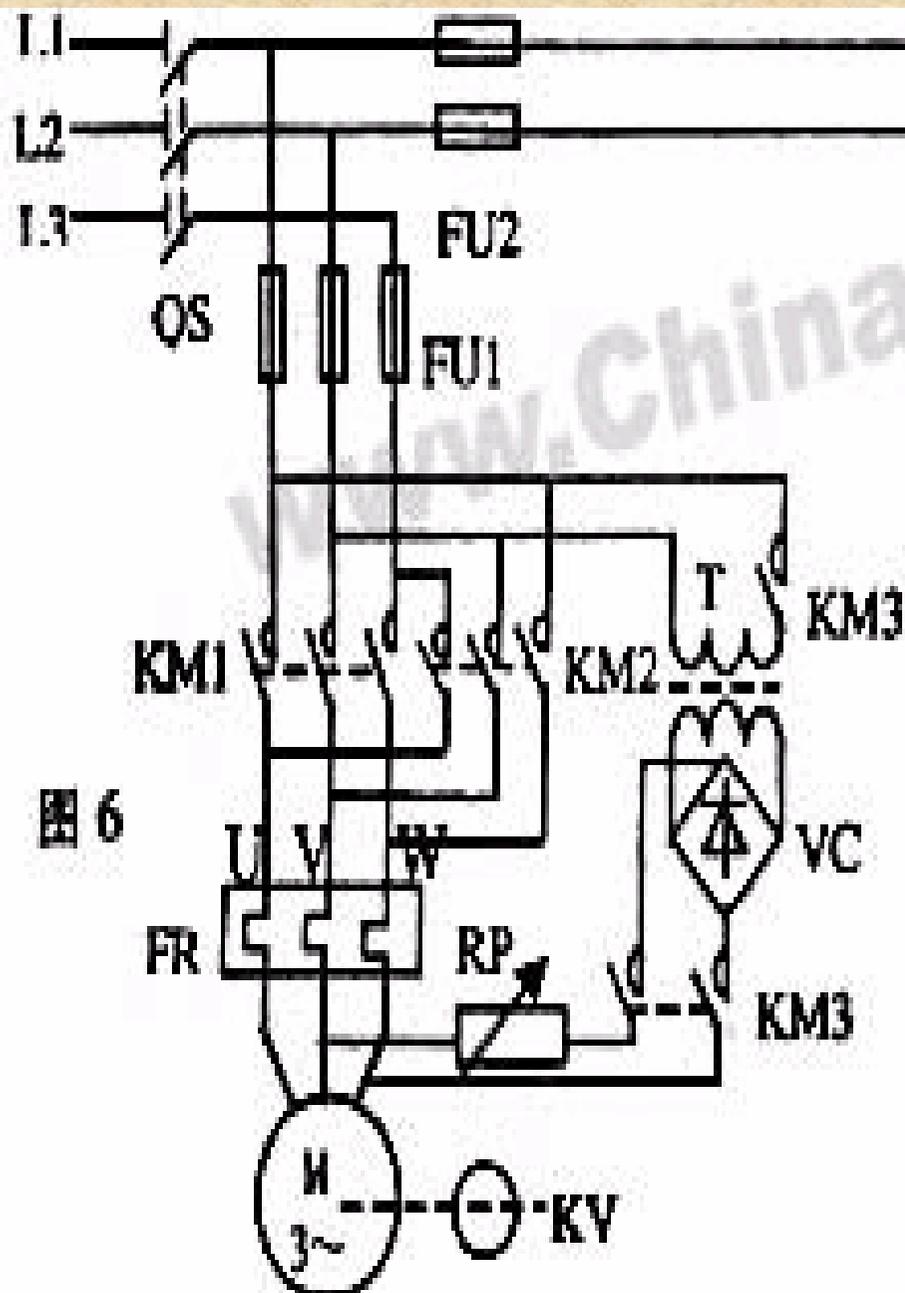


图 6

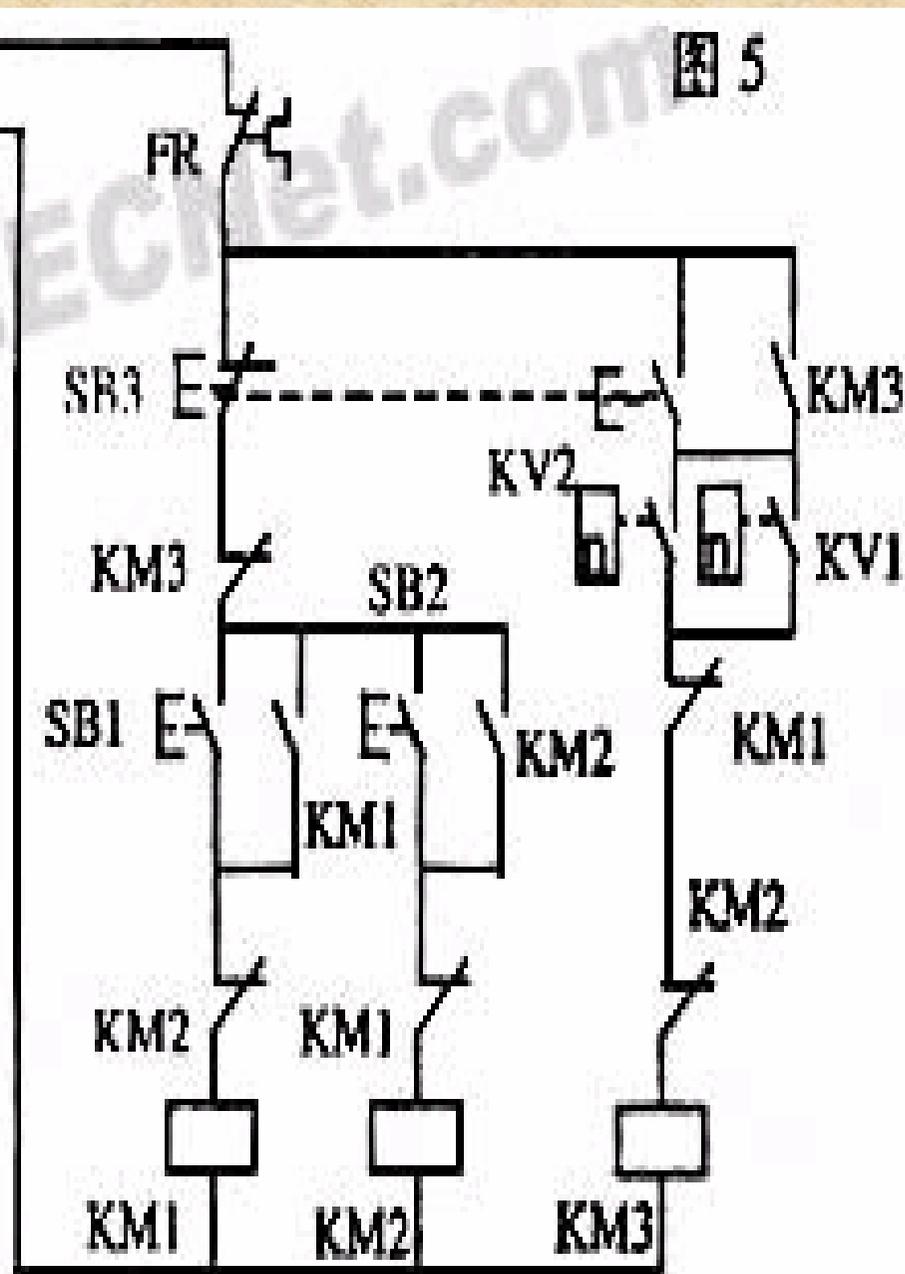
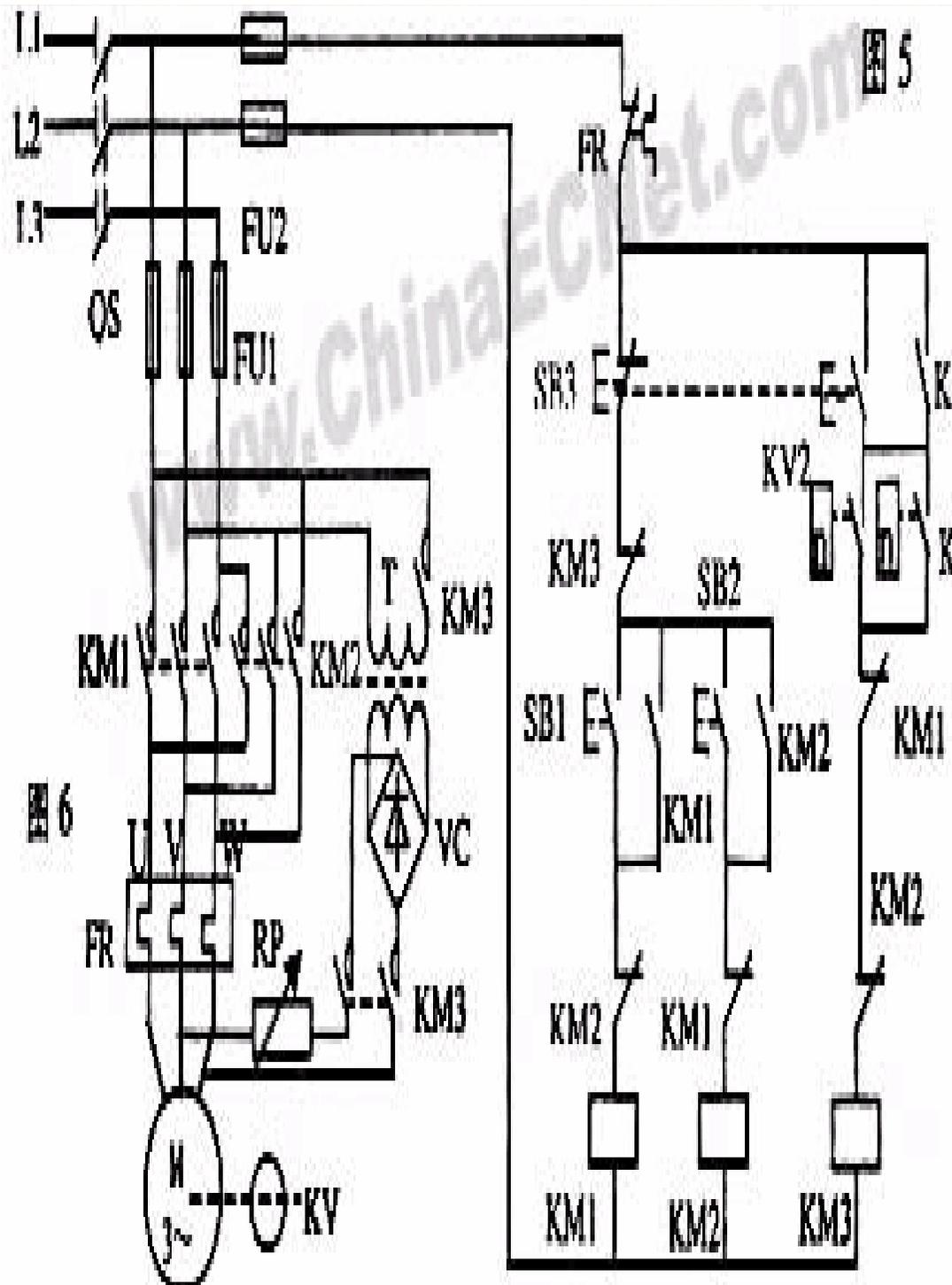


图 5

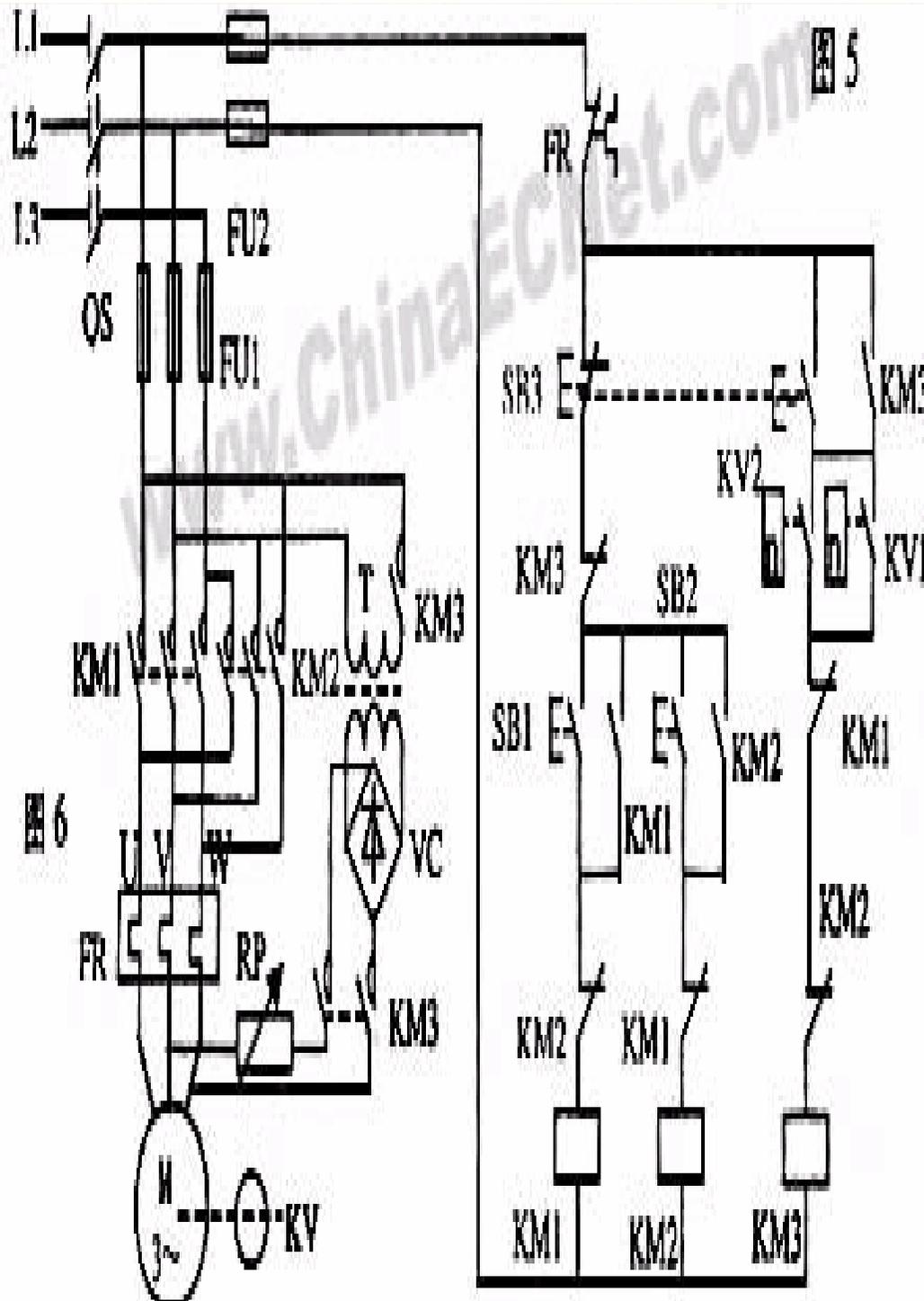
原理分析：电动机切断电源后，转子仍沿原方向惯性转动，如图5设为顺时针方向，这时给定子绕组通入直流电，产生一恒定的静止磁场，转子切割该磁场产生感生电流，

用右手定则判断其方向。该感生电流又受到磁场的作用产生电磁转矩，由左手定则知其方向正好与电动机的转向相反而使电动机受到制动迅速停转。可逆运行能耗制动的控制电路如图所示。

KV1、KV2分别为速度继电器KV的正、反转动作触头，接触器KM1、KM2、KM3之间互锁，防止交流电源、直流制动电源短路。



- 停车时按下停止按钮SB3，复合按钮SB3的常闭先断开切断正常运行接触器KM1或KM2线圈，后接通KM3线圈，KM3主、辅触头闭合，交流电流经变压器T，全波整流器VC通入V、W相绕组直流电，产生恒定磁场进行制动。RP调节直流电流的大小，从而调节制动强度。



- 能耗制动平稳、准确，能量消耗小，但需附加直流电源装置，设备投资较高，制动力较弱，在低速时制动力矩小。主要用于容量较大的电动机制动或制动频繁的场所及制动准确、平稳的设备，如磨床、立式铣床等的控制，但不适合用于紧急制动停车。

能耗制动还可用时间继电器代替速度继电器进行制动控制

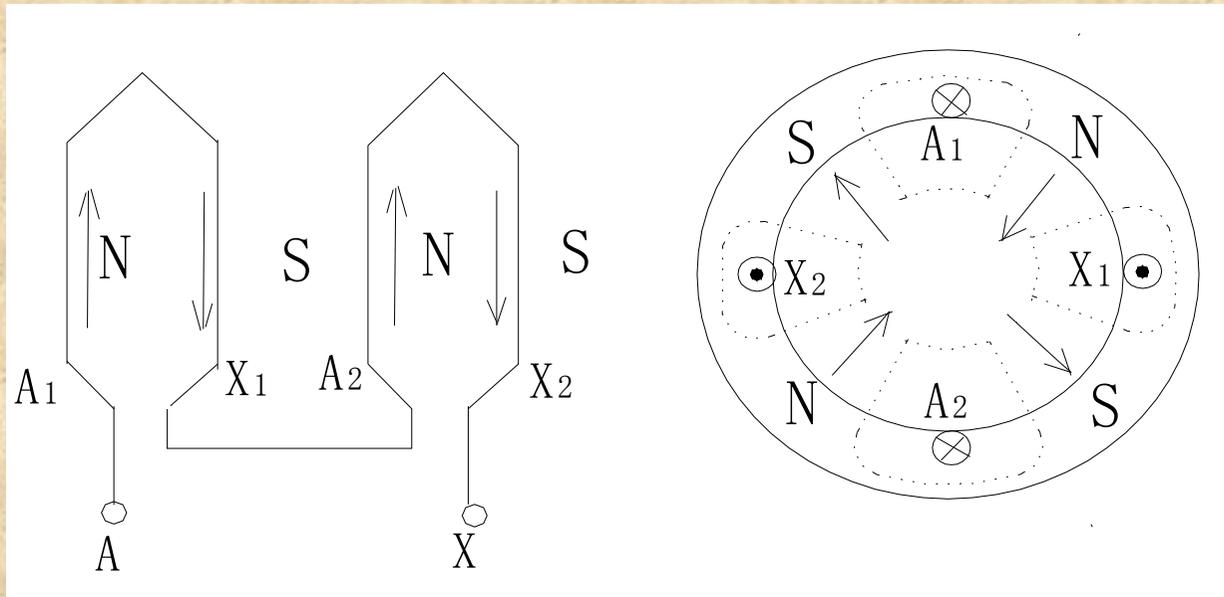


1. 变极调速

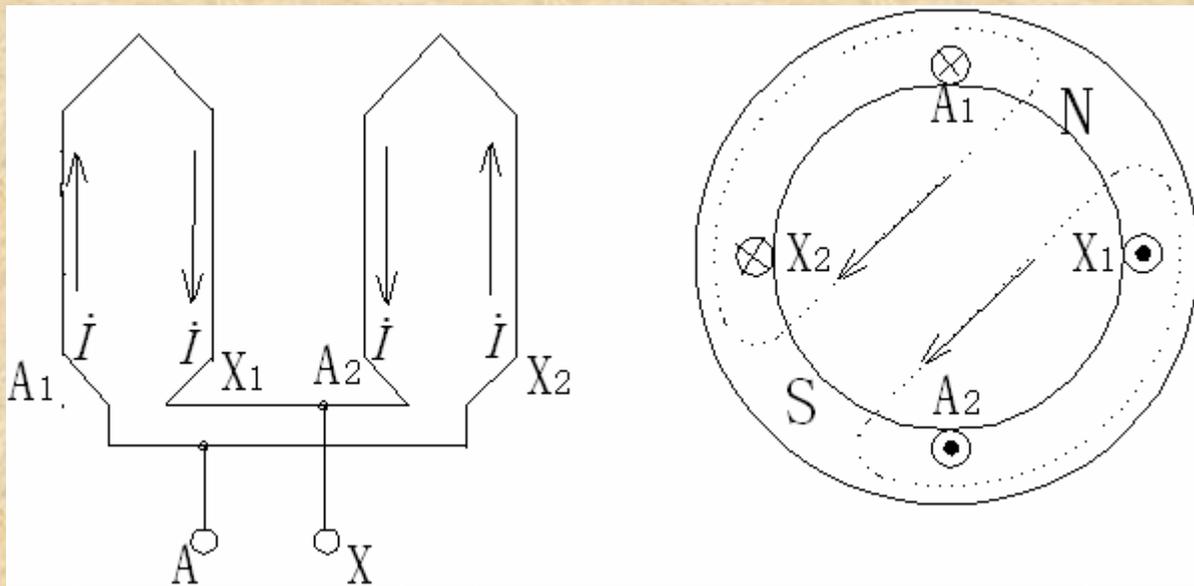
根据电动机转速公式可知，改变极对数，可以改变同步转速，从而达到调速的目的

例如，把极对数从 $P=1$ 变到 $P=2$ ，同步转速就下降到 $1/2$ 。这种调速方法的特点不是平滑而是有极的调速，因此不宜在要求平滑调速的场合使用。

变极调速对于绕线式异步电动机来说，要改变转子的极对数相当复杂，需增加集电环数量和选配大电流变换设备等，所以一般不采用，而鼠笼电动机的转子能随定子极数自动改变，因此，变极调速仅适用于鼠笼式电动机



三相四级异步电机A相绕组 $2P=4$



三相两级异步电机A相绕组 $2P=2$

- 结论：只要改变“半相绕组”电流方向，就可使极对数改变一半。如可将**2**对极→**1**对极；**4**对极→**2**对极；**8**对极→**4**对极等。
- 多极电机变极调速通常有两种基本形式：**Y/YY**和 **Δ /YY**

鼠笼式异步电动机常用的变极调速方法有两种，一种是改变定子绕组的接法，即变更定子绕组每相的电流方向；另一种是在定子上设置具有不同极对数的两套互相独立的绕组，又使每套绕组具有变更电流方向的能力。

变极调速是有级调速，速度变换是阶跃式的。用变极调速方式构成的多速电动机一般有双速、三速、四速之分。这种调速方法简单、可靠、成本低，因此在有级调速能够满足要求的机械设备中，广泛采用多速异步电动机作为主拖动电机如镗床、铣床等。

双速电动机

①双速电动机 $\Delta / Y Y$ 调速控制线路

双速电动机 $\Delta / Y Y$ 接法的三相定子绕组接线示意图如图2-25所示。

应当强调指出，当把电动机定子绕组的 Δ 接线变更为 $Y Y$ 接线时，接线的电源相序必须反相，从而保证电动机由低速变为高速时旋转方向一致。 $\Delta / Y Y$ 接线属于恒功率调速。图2-26为双速电动机 $\Delta / Y Y$ 调速控制线路。

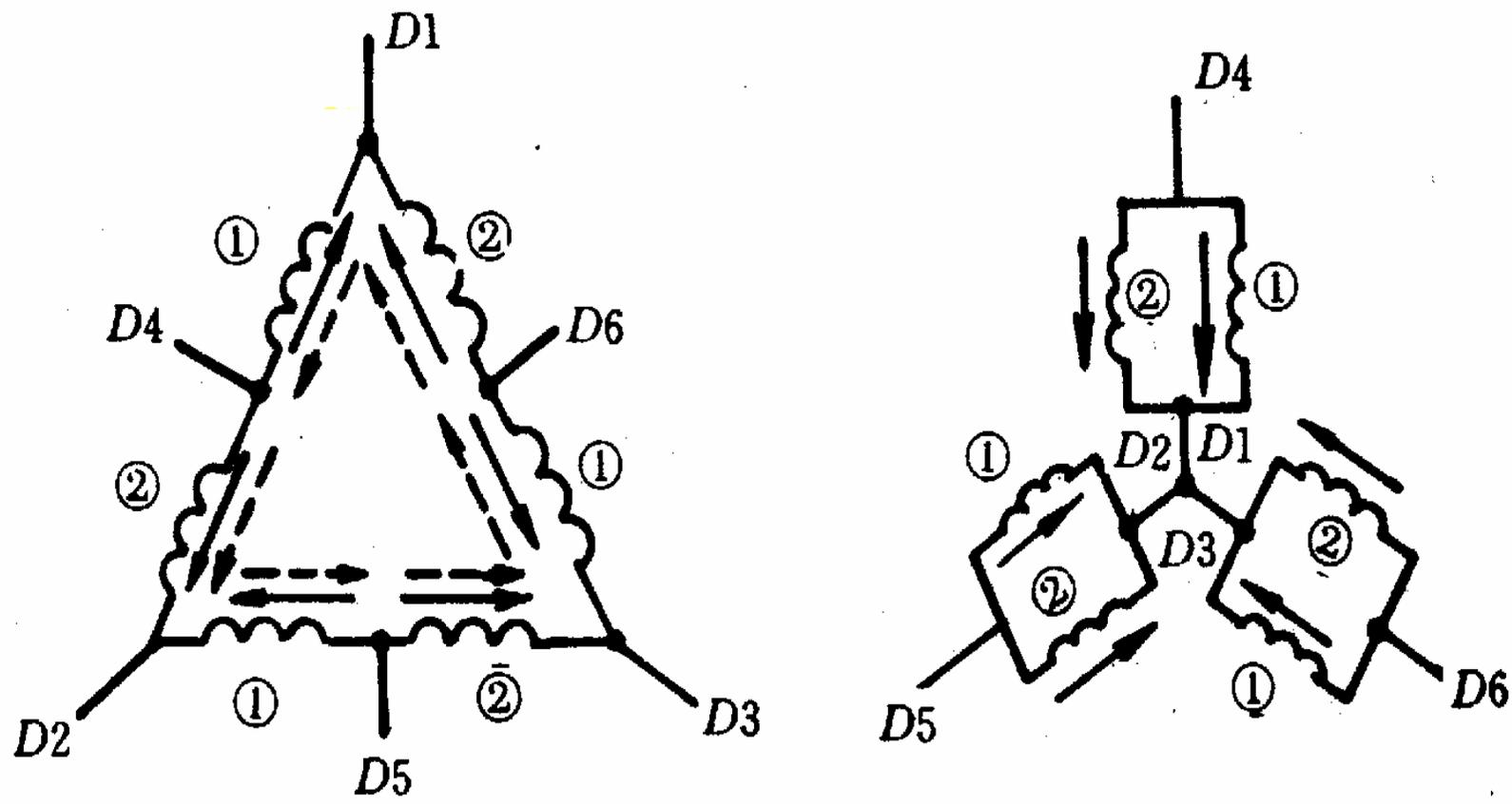


图2-25双速电动机 Δ /YY三相定子绕组接线图

- Δ/YY 变极调速方式：三相定子绕组接成 Δ 形，极对数多，为低速档；接成 YY 形，极对数少一半，为高速档。接线如图
- 注意：在变极调速时，接成 YY 形时，为了不改变原先的相序，保持转速不变，就必须交换相序，即将任意两个接线端交换。

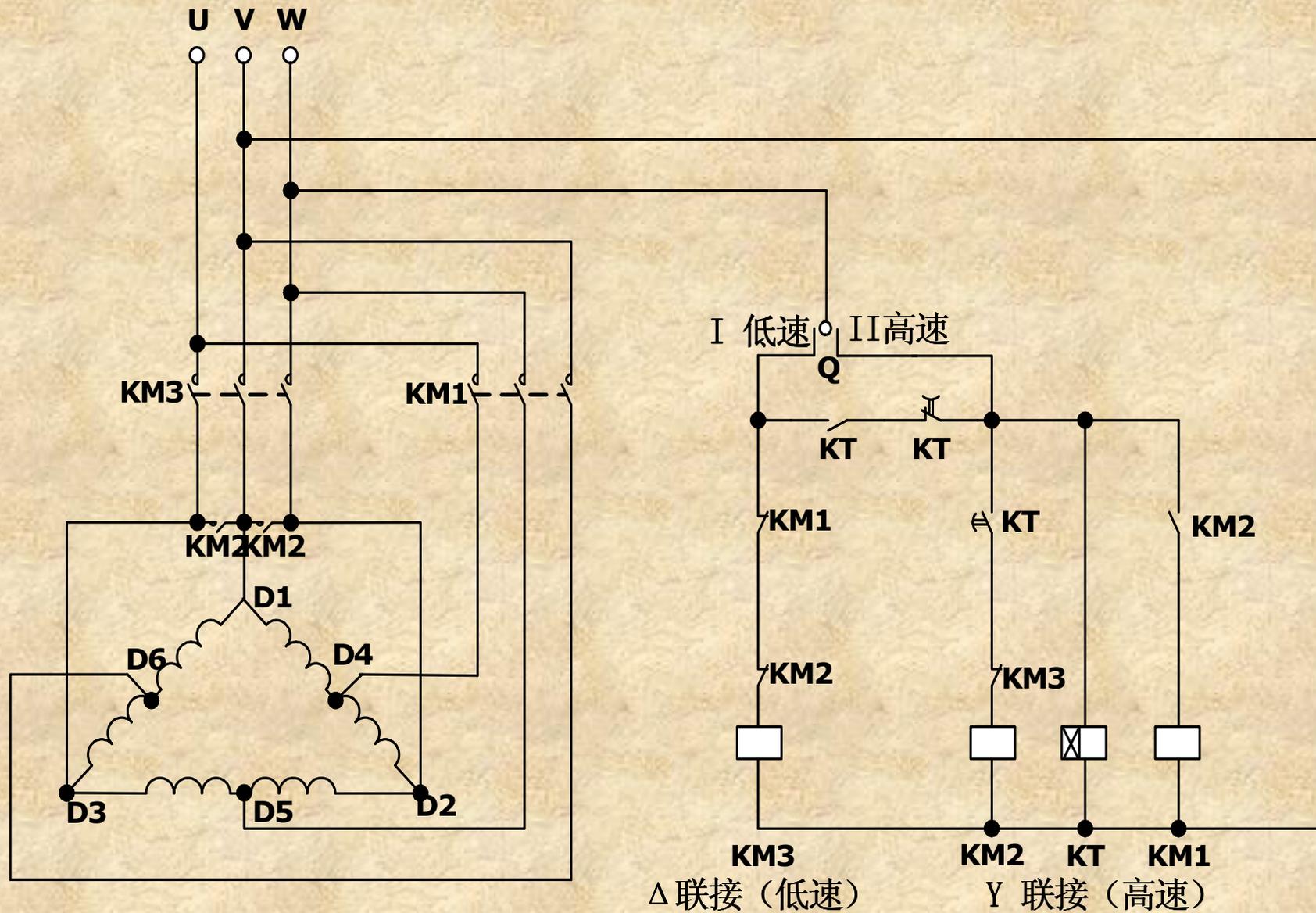


图2-26双速电动机调速控制线路*

这种先低速启动，经一定延时后自动切换到高速运行的控制，目的是限制启动电流。

②双速电动机Y/YY接法的接线变换

双速电动机Y/YY接法的接线变换如图2-27，电机极数四极/二极变换，对应电动机的低速和高速。它属于恒转矩调速。

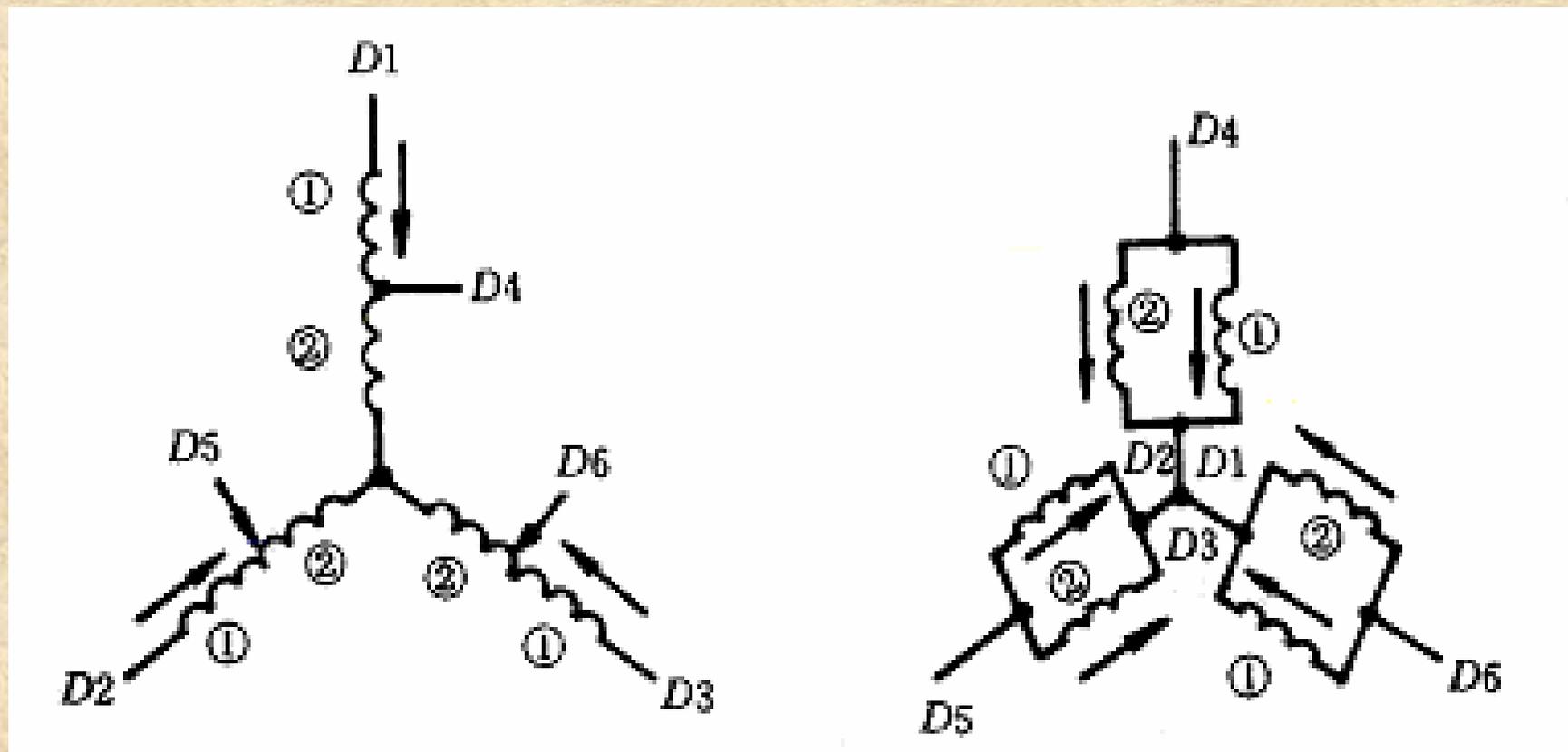
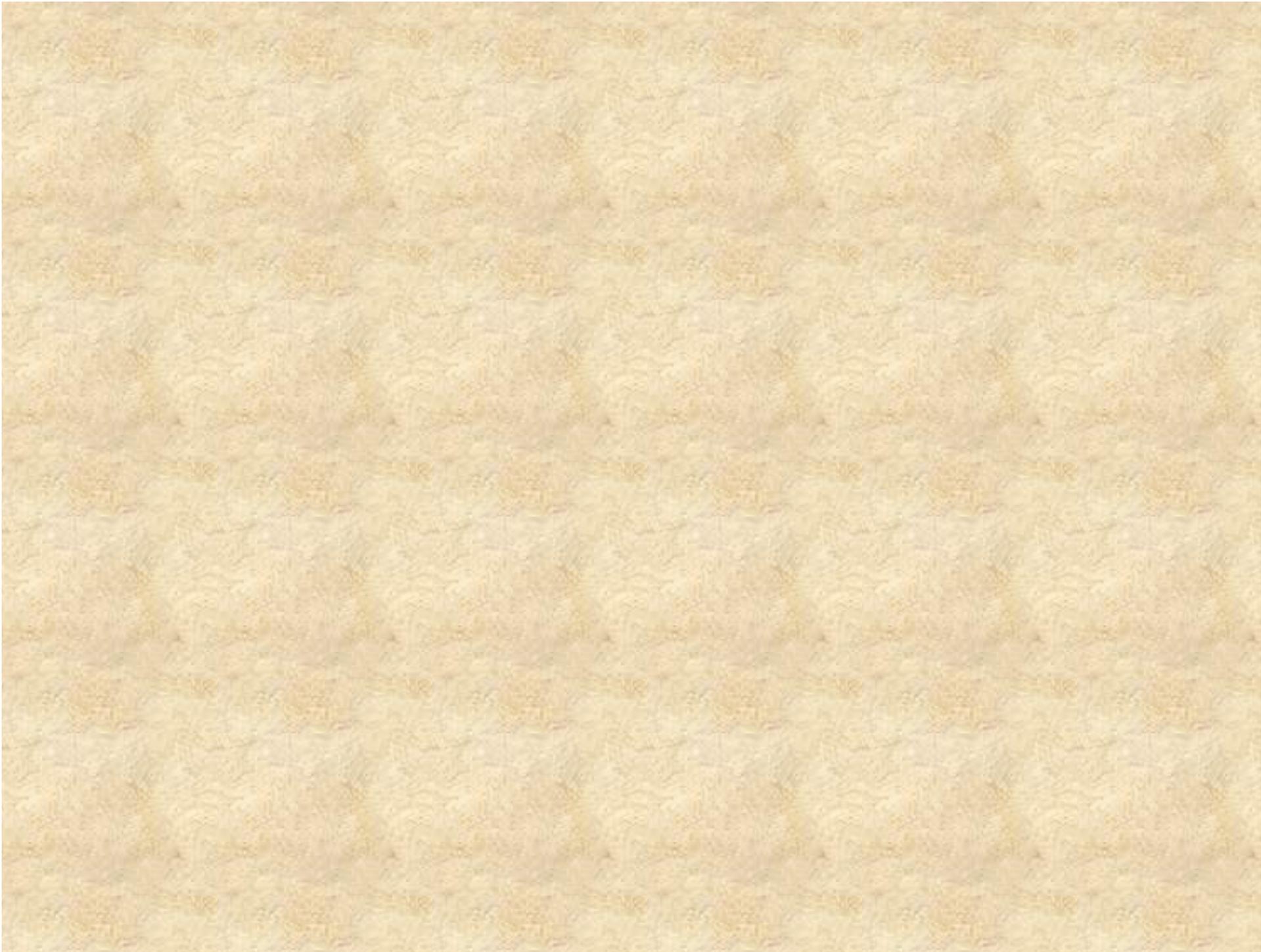


图2-27 双速电动机Y/YY三相定子绕组接线图



2. 变频调速

由式（2-2）可见，变频调速就是**改变异步电动机的供电频率 f** ，利用电动机的同步转速随频率变化的特性进行调速。在交流异步电动机的诸多调速方法中，变频调速的性能最好，调速范围大，稳定性好，运行效率高。采用通用变频器对鼠笼式异步电动机进行调速控制，由于使用方便、可靠性高并且经济效益显著，所以逐步得到推广应用。

3. 变转差率S调速

变转差率调速包括调压调速、转子串电阻调速、串级调速和电磁调速等调速方法，在电力拖动控制系统已作介绍。

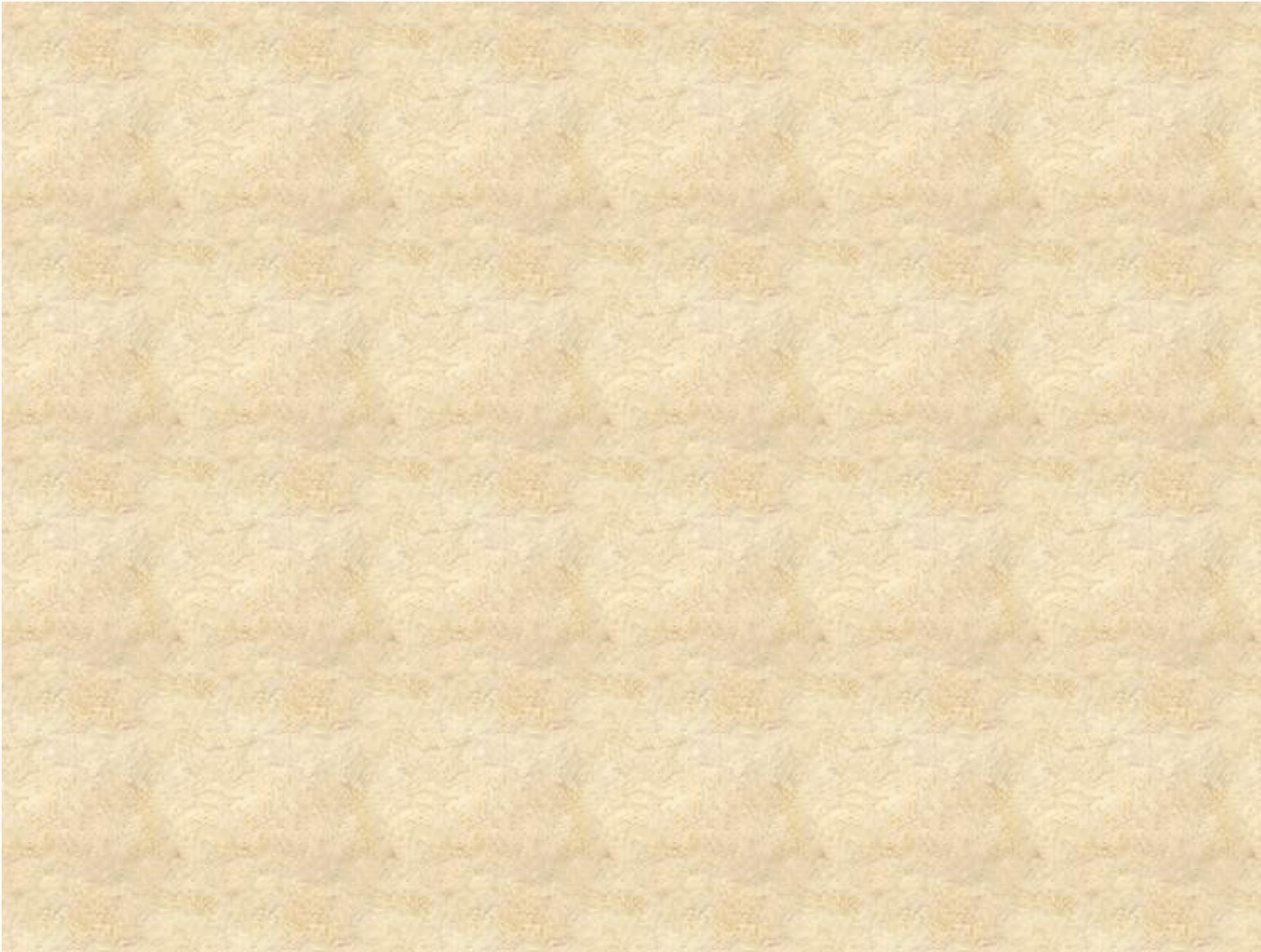
调压调速是异步电机调速系统中比较简便的一种，就是改变定子外加电压来改变电机在一定输出转矩下的转速。调压调速目前主要通过调整晶闸管的触发角来改变异步电动机端电压进行调速。这种调速方式仅用于小容量电动机。

转子串电阻调速是在绕线式异步电动机转子外电路上接可变电阻，通过对可变电阻的调节来改变电动机机械特性斜率实现调速。电机转速可以有级调速，也可以无级调速，其结构简单，价格便宜，但转差功率损耗在电阻上，效率随转差率增加等比下降，故这种方法目前一般不被采用。

电磁转差离合器调速是在鼠笼式异步电动机和负载之间串接电磁转差离合器(电磁耦合器)，通过调节电磁转差离合器的励磁来改变转差率进行调速。这种调速系统结构适用于调速性能要求不高的小容量传动控制场合。

串级调速：

转子电路串联电阻 R 调速，在电阻 R 中要消耗电能，不经济。如果能在转子电路中串入一个附加电动势，以代替 R 上的电压降，既能节能，又可以将这部分功率回馈到电网中去。就是在绕线式异步电动机的转子侧引入控制变量如附加电动势来改变电动机的转速进行调速。基本原理是在绕线转子异步电动机转子侧通过二极管或晶闸管整流桥，将转差频率交流电变为直流电，再经可控逆变器获得可调的直流电压作为调速所需的附加直流电动势，将转差功率变换为机械能加以利用或使其反馈回电源而进行调速。



(3) 造成电网电压下降，波及其它用户和设备，使正常工作和生产遭到破坏甚至使事故扩大，造成整个配电系统瘫痪。

(4) 最常见的不正常工作情况是过负荷。长时间过负荷会使载流设备和绝缘的温度升高，而使绝缘加速老化或设备遭受损坏，甚至引起故障。

电气控制线路在事故情况下，应能保证操作人员、电气设备、生产机械的安全，并能有效地制止事故的扩大。为此，在电气控制电路中应采取一定的保护措施，以避免因误操作而发生事故。完善的保护环节包括过载、短路、过流、过压、失压等保护环节，有时还应设有合闸、断开、事故、安全等必须的指示信息。下面从电气设备角度讨论电气故障的类型以及相应的保护。

一、电流型保护

电气元件在正常工作中，通过的电流一般在额定电流以内。短时间内，只要温升允许，超过额定电流也是可以的，这就是各种电气设备或电气元件根据其绝缘情况条件的不同，具有不同的过载能力的原因。电气元件由于电流过大引起损坏的根本原因是温升超过**绝缘材料**的承受能力。

电流型保护的基本原理是：将保护电器检测的信号，经过变换或放大后去控制被保护对象，当电流达到整定值时保护电器动作。**电流型保护主要有过流、过载、短路和断相几种，如图2-29所示。**

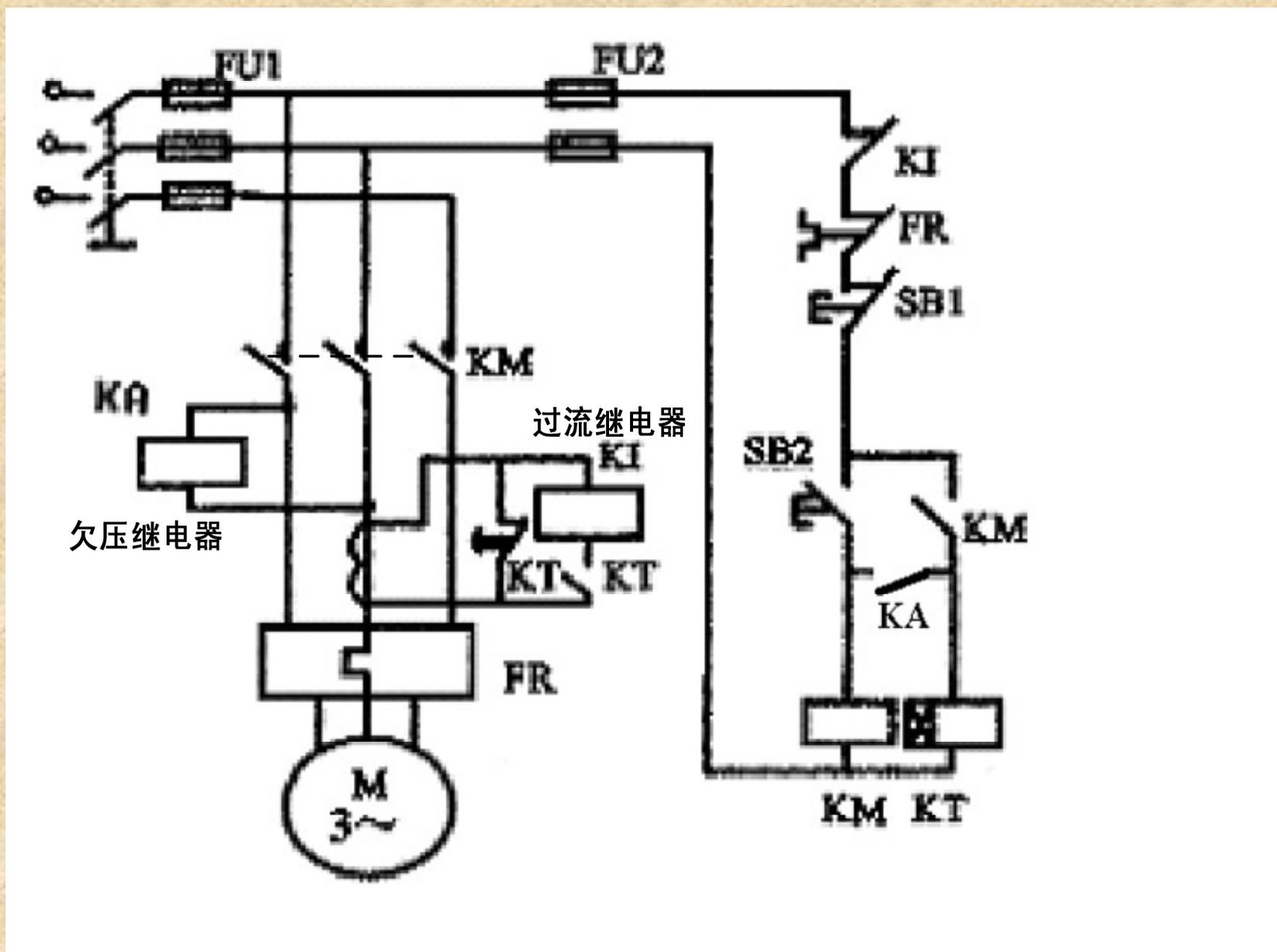


图2-29 控制电路的欠压、过流、过载、短路保护

1. 短路保护

绝缘损坏、负载短接、接线错误等故障，都可能产生短路现象而使电气设备损坏，短路保护的常用方法是采用熔断器FU。短路的瞬时故障电流可达到额定电流的几倍到几十倍。短路保护要求具有瞬动特性，即要求在很短时间内切断电源。

如图2-29电路中的FU1，在对主电路采用三相四线制或对变压器采用中点接地的三相三线制的供电线路中，必须采用三相短路保护。FU2是当主电机容量较大在控制电路单独设置短路保护熔断器，如果主电机容量较小，其控制电路不需要另外设置熔断器，主电路中的熔断器可作为控制电路的短路保护。

也可采用空气自动开关，既作为短路保护，又作为过载保护的电路。其中过流线圈具有反时限特性，用作短路保护；热元件用作过载保护。线路出故障时自动开关动作，事故处理完毕，只要重新合上开关，线路就能重新运行。

2. 过电流保护

过电流保护是区别于短路保护的另一种电流型保护，一般采用过电流继电器KI，过电流继电器的特点是动作电流值比短路保护的小，一般不超过 $2.5I_e$ 。因为电动机或电气元件超过其额定电流的运行状态，时间长了同样会过热损坏绝缘。过电流保护也要求有瞬动保护特性，即只要过电流值达到整定值，保护电器立即切断电源。

如图2-29所示，按下SB2后，时间继电器KT的瞬动触点立即闭合，将过流继电器KI接入电路。但当电动机起动时，延时继电器KT的常闭触点闭合着，过电流继电器的过电流线圈被短接，这时虽然起动电流很大，但过电流保护不动作。起动结束后，KT的常闭触点经过延时已断开，过电流继电器KI开始起保护作用。当电流值达到整定值时，过电流继电器KI动作，其常闭触点断开，接触器KM失电，电机停止运行。

这种方法，既可用于保护目的，也可用于一定的控制目的，一般用于绕线式异步电动机。

3. 过载保护

过载也是指电动机运行电流大于其额定电流，但超过额定电流的倍数更小些，通常在 $1.5 I_e$ 以内。过载保护是采用热继电器FR与接触器KM配合动作的方法完成保护的。引起过载的原因很多，如负载的突然增加，缺相运行以及电网电压降低等。长期处于过载也将引起电动机的过热，使其温升超过允许值而损坏绝缘。过载保护要求保护电器具有反时限特性，即根据电流过载倍数的不同，其动作时间是不同的，它随着电流的增加而减小。

如图2-29中的热继电器FR在过载时其常闭触点动作，使接触器KM失电，电动机停转而得到保护。

4. 断相保护

异步电动机在正常运行中，由于电网故障或一相熔断器熔断引起对称三相电源缺少一相，使定子电流变得很大，造成电动机绝缘及绕组烧毁。断相保护通常采用专门为断相运行而设计的断相保护热继电器。对于正常运行采用三角形接法的电动机，如负载在53%~67%之间发生断相故障，会出现故障相的线电流小于对称性负载保护电流动作值，但相绕组中最大的一相电流却已超过其额定值(Δ 形接法时线电流是相电流的 $\sqrt{3}$ 倍)。而普通三相式热继电器的热元件是串接在三相电流进线中起不到保护作用。

5. 欠电流保护

所谓欠电流保护是指被控制电路电流低于整定值时动作的一种保护。欠电流保护通常是用欠电流继电器KI来实现的。欠电流继电器线圈串联在被保护电路中，正常工作时吸合，一旦发生欠电流时释放以切断电源。其线圈在线路中的接法同过电流继电器一样，但串联在控制电路中的KI触点应采用常开触点，并与时间继电器的常闭延时断开触点相并联。

例如：用欠电流保护可以实现弱磁保护，对于直流电动机来说，必须有一定强度的磁场才能确保正常启动运行。在启动时，如果直流电动机的励磁电流太小，产生的磁场也就减弱，将会使直流电动机的起动电流很大；当正常运转时，如直流电动机的磁场突然减弱或消失，会引起电动机转速迅速升高，损坏机械，甚至发生“飞车”事故。因此必须采用欠电流继电器KI及时切断电源，实现弱磁保护。

二、电压型保护

电动机或电气元件都是在一定的额定电压下正常工作，电压过高，过低或者工作过程中非人为因素的突然断电，都可能造成生产机械的损坏或人身事故，因此在电气控制线路设计中，**应根据要求设置失压保护、过电压保护及欠压保护。**

1. 失压保护

电动机正常工作时，如果因为电源电压的消失而停转，那么在电源电压恢复时就可能自行起动而造成人身事故或机械设备损坏。为防止电压恢复时电动机的自行起动或电气元件的自行投入工作而设置的保护，称为失压保护。如图2-29所示采用接触器KM及按钮SB2控制电动机的起停具有失压保护作用。当突然断电时，接触器KM失电触点释放，当电网恢复正常时，由于接触器自锁电路已断开不会自行起动。

2. 欠电压保护

电动机或电气元件在正常运行中，**电网电压降低到 U_e 的60%~80%时**，就要求能自动切除电源而停止工作，这种保护称为**欠电压保护**。因为当电网电压降低时，在负载一定的情况下，电动机电流将增加；另一方面，如电网电压降低到 U_e 的60%，控制线路中的各类交流接触器、继电器既不释放又不能可靠吸合，**处于抖动状态**（有很大噪声），线圈电流增大，既不能可靠工作，又可能造成电气元件和电动机的烧毁。

上面图2-29中接触器KM及按钮SB2控制方式具有欠电压保护作用外，还可以采用空气开关或专门的**电磁式欠电压继电器KA与接触器KM配合来进行欠电压保护**，欠电压继电器用其**常开触点来完成保护任务**，当电网低于整定值时，欠电压继电器KA释放，其常开触点断开使接触器释放，电动机断电。

3. 过电压保护

电磁铁、电磁吸盘等大电感负载及直流电磁机构、直流继电器等，在通断时会产生较高的感应电动势，较高的感应电动势易使工作线圈绝缘击穿而损坏。因此，必须采用适当的过电压保护措施。

通常过电压保护的方法可以采用专门的电磁式过电压继电器与接触器配合来进行过电压保护，其线圈和触点的接法与欠电压继电器KA相同。

三、其他保护

在现代工业生产中，控制对象千差万别，所需要设置的保护措施很多。例如电梯控制系统中的越位极限保护（防止电梯冲顶或撞底），高炉卷扬机和矿井提升机设备中，则必须设置超速保护装置来控制速度等。

1. 位置保护

一些生产机械的运动部件的行程和相对位置，往往要求限制在一定范围内，必须有适当的位置保护。例如工作台的自动往复运动需要有行程限位，起重设备的上、下、左、右和前、后运动行程都需要位置保护，否则就可能损坏生产机械并造成人身事故。

位置保护可以采用行程开关、干簧继电器，也可以采用非接触式接近开关等电气元件构成控制电路。通常是将开关元件的常闭触点串联在接触器控制电路中，当运动部件到达设定位置时，开关动作常闭触点打开而使接触器失电释放，于是运动部件停止运行。

2. 温度、压力、流量、转速等物理量的保护

在电气控制线路设计中，常要对生产过程中的温度、压力（液体或气体压力）、流量、运动速度等设置必要的控制与保护，将以上各物理量限制在一定范围以内，以保证整个系统的安全运行。例如对于冷冻机、空调压缩机等，因其电动机的散热条件较差，为保证电机绕组温升不超过允许温升，而直接将热敏元件预埋在电机绕组中，来控制其运行状态，以保护电动机不至因过热而烧毁；大功率中频逆变电源、各类自动焊机电源的晶闸管、变压器等水冷循环系统，当水压、流量不足时将损坏器件，可以采用压力开关和流量继电器进行保护。

在电力拖动系统中，应根据不同的工作情况，对电动机设置一种或几种保护措施。保护元件有多种，对于同一种保护要求，可选用不同的保护元件。在选用保护元件时，应考虑保护元件自身的保护特性、电动机的容量和电路复杂情况，以及经济性问题。同时，在电动机的控制线路中设置电气联锁和机械联锁。为保证生产工艺要求的实现和电路安全可靠地运行，一般在控制线路出现故障时，要迅速切断电源，防止故障进一步扩大。

表2—4列出了电动机各种保护的元件及故障原因。

表2—4 电动机的保护

保护名称	故障原因	采用的保护元件
短路保护	电源负载短路	熔断器，自动开关
过电流保护	不正确启动，过大的负载转矩，频繁正反向启动	过电流继电器
过载保护	长期过载运行	热继电器、热敏电阻、自动开关、热脱扣器
零电压、欠电压保护	电源电压突然消失或降低	零压、欠压继电器或利用接触器、中间继电器
弱磁保护	直流励磁电流突然消失或减小	欠电流继电器
超速保护	电压过高、弱磁场	过电压继电器，离心开关、测速发电机

第六节 绘制电气控制线路的若干规则

电气控制线路是用导线将电机、继电器、接触器等电气元件按一定的要求和方法连接起来，并能实现某种控制功能的线路。

电气控制线路图是将各电气元件的连接用图来表达，各种电气元件用不同的图形符号表示，并用不同的文字符号来说明其所代表电气元件的名称、用途、主要特征及编号等。

绘制电气控制线路图必须清楚地表达生产设备的电气控制系统的结构、原理等设计意图，并且以便于进行电气元件的安装、调整、使用和维修为原则。因此，电气控制线路应根据**简明易懂**的原则，采用**统一规定的图形符号、文字符号和标准画法**来进行绘制。

一、电气控制线路图和常用符号

电气控制线路的表示方法有两种：**安装图和原理图**。

（一）常用电气图形符号和文字符号

在绘制电气线路图时，**电气元件的图形符号和文字符号必须符合国家标准的规定**。

(二) 电气原理图

电气原理图一般分为主电路和辅助电路两个部分。

主电路是电气控制线路中强电流通过的部分，是由电机以及与它相连接的电气元件如组合开关、接触器的主触点、热继电器的热元件、熔断器等组成的线路。

辅助电路中通过的电流较小，包括**控制电路、照明电路、信号电路及保护电路**。其中，控制电路是由按钮、继电器和接触器的吸引线圈和辅助触点等组成。一般来说，信号电路是附加的，如果将它从辅助电路中分开，并不影响辅助电路工作的完整性。

1. 绘制电气原理图的原则

根据简单清晰的原则，它包括所有电气元件的导电部件和接线端点，但并不按照电气元件的实际位置来绘制，也不反映电气元件的尺寸大小。绘制电气原理图应遵循以下原则：

(1) 所有电机、电器等元件都应采用国家统一规定的图形符号和文字符号来表示。

(2) 主电路用粗实线绘制在图的左侧或上方，辅助电路用细实线绘制在图的右侧或下方。

(3) 无论是主电路还是辅助电路或其元件，均应按功能布置，各元件尽可能按动作顺序从上到下、从左到右排列。

(4) 在原理图中，同一电路的不同部分（如线圈、触点）应根据便于阅读的原则安排在图中，**为了表示是同一元件，要在电器的不同部分使用同一文字符号来标明。**对于同类电器，必须在名称后或下标加上数字序号以区别，如KM1、KM2等。

(5) 所有电器的可动部分均以自然状态画出，**所谓自然状态是指各种电器在没有通电和没有外力作用时的状态。**对于接触器、电磁式继电器等是指其线圈未加电压，触点未动作；控制器按手柄处于零位时的状态画；按钮、行程开关触点按不受外力作用时的状态画。

(6) 原理图上应尽可能减少线条和避免线条交叉。**各导线之间有电的联系时，在导线的交点处画一个实心圆点。**根据图面布置的需要，可以将图形符号旋转 90° 、 180° 或 45° 绘制。

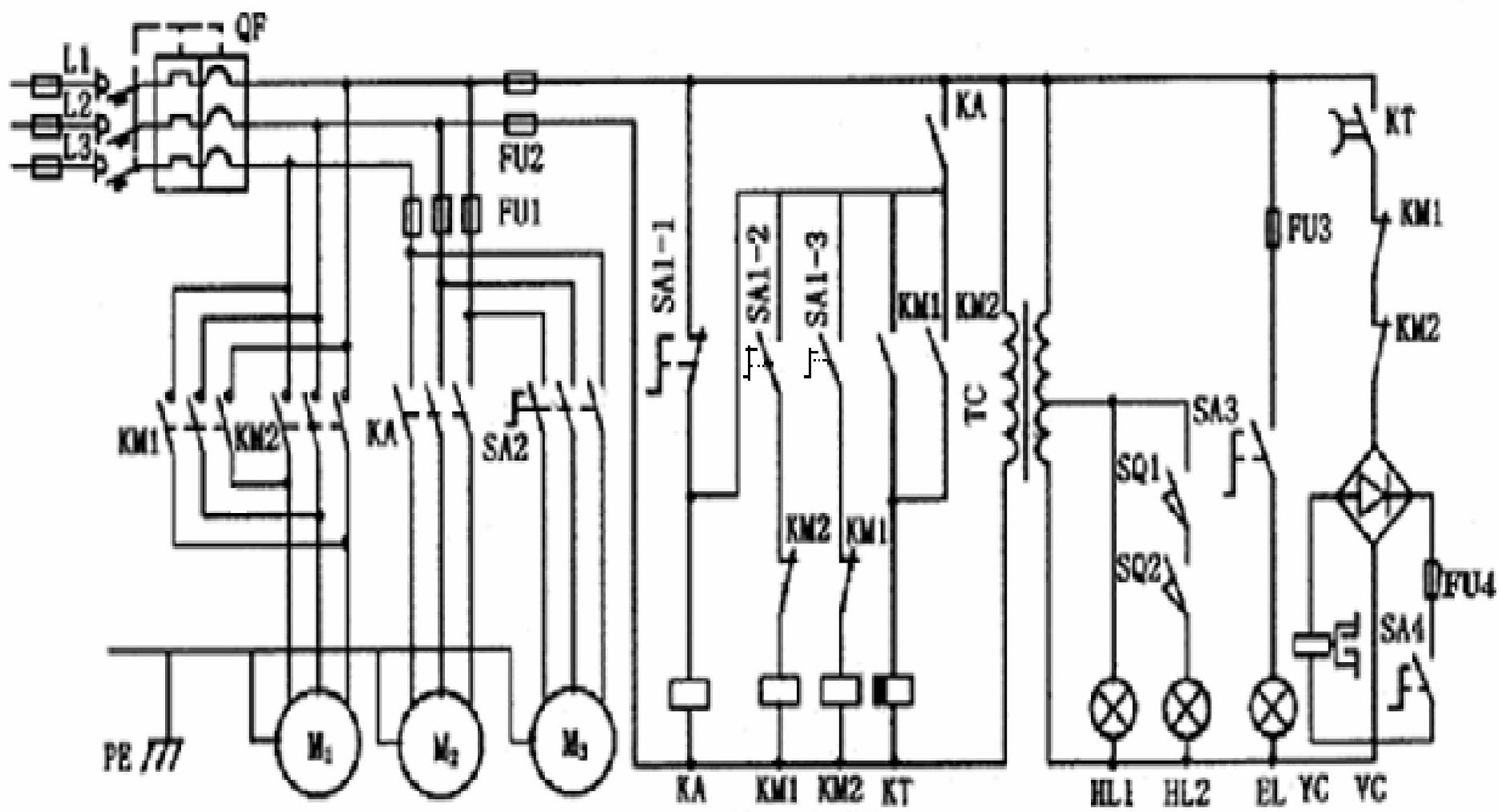
一般来说，原理图的绘制要求是层次分明，各电气元件以及它们的触点安排要合理，并保证电气控制线路运行可靠，节省连接导线，以及施工、维修方便。

2. 图面区域的划分

为了便于检索电气线路，方便阅读电气原理图，应将图面划分为若干区域，**图区的编号一般写在图的下部**。图的**上方设有用途栏**，用文字注明该栏对应电路或元件的功能，以利于理解原理图各部分的功能及全电路的工作原理。

例如，图2-1为CM6132普通车床电气原理图，在图2-1中图面划分为18个图区。

电源 保护	电源 开关	主电机		液压泵 电机	冷却泵 电机	主电机控制				变压器	指示灯	照明灯	电磁离合器 制动装置
		正向	反向			停止	正转	反转	制动延时				



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

主回路

- 主电机：KM1正转、KM2反转
- 液压泵：液压泵是液压动力元件，它是将电动机（或其他原动机）输入的机械能转变成液压能的能量转换装置。其作用是向液压系统提供压力油。
- 冷却泵：冷却油泵（三相、单相电泵）主要供各种机床及设备输送肥皂水、苏打水、乳化液、轻矿物及无严重腐蚀性的其他液体。适用于各种机床或其它设备作循环冷却润滑液之用

- 控制回路：

- 六个组合开关
- SA1-1:停止控制开关
- SA1-2:正转开关
- SA1-3:反转开关
- SA2: 控制冷却泵电机
- SA3: 控制照明灯线路
- SA4: 控制电磁离合器制动（必须是在主电机的KMI、KM2已经停止通电的前提下，通过机械制动来实现）

（三）电气安装图

电气安装图是用来表示电气控制系统中各电气元件的**实际安装位置**和**接线情况**，它有**电器位置图**和**互连图**两部分。

1、电器位置图

电器位置图详细绘制出**电气设备零件的安装位置**。图中各电气元件的代号应与有关电路图对应的元器件代号相同，在图中往往留有**10%**以上的备用面积及导线管（槽）的位置，以供改进设计时用。

2、电气互连图

电气互连图是用来表明**电气设备各单元之间的连接关系**。它清楚地表示了电气设备外部元件的相对位置及它们之间的电气连接，是实际安装接线的依据，在具体施工和检修中能够起到电气原理图所起不到的作用，因此在生产现场中得到了广泛应用。

二、阅读和分析电气控制路线图的方法

阅读电气线路图的方法主要有两种：**查线读图法和逻辑代数法。**

1. 查线读图法

查线读图法**又称直接读图法或跟踪追击法。**查线读图法是按照线路根据生产过程的工作步骤依次读图，查线读图法按照以下步骤进行：

(1) 了解生产工艺与执行电器的关系

在分析电气线路之前，应该熟悉生产机械的工艺情况，充分了解生产机械要完成哪些动作，这些动作之间又有什么联系**(冷却泵和主电机关系举例)**；必要时可以画出简单的工艺流程图，给分析电气线路提供方便。

例如，车床主轴转动时，要求油泵先给齿轮箱供油润滑，即应保证在润滑泵电动机起动后才允许主拖动电动机起动，对控制线路提出了按顺序工作的联锁要求。图2-2为主拖动电动机M1与润滑油泵电机M2的联锁控制线路图，其中润滑泵电动机是拖动油泵供油的。

(2) 分析主电路

在分析电气线路时，一般应先从电动机着手，根据主电路中有哪些控制元件的主触点、电阻等大致判断电动机是否有正反转控制、制动控制和调速要求等。

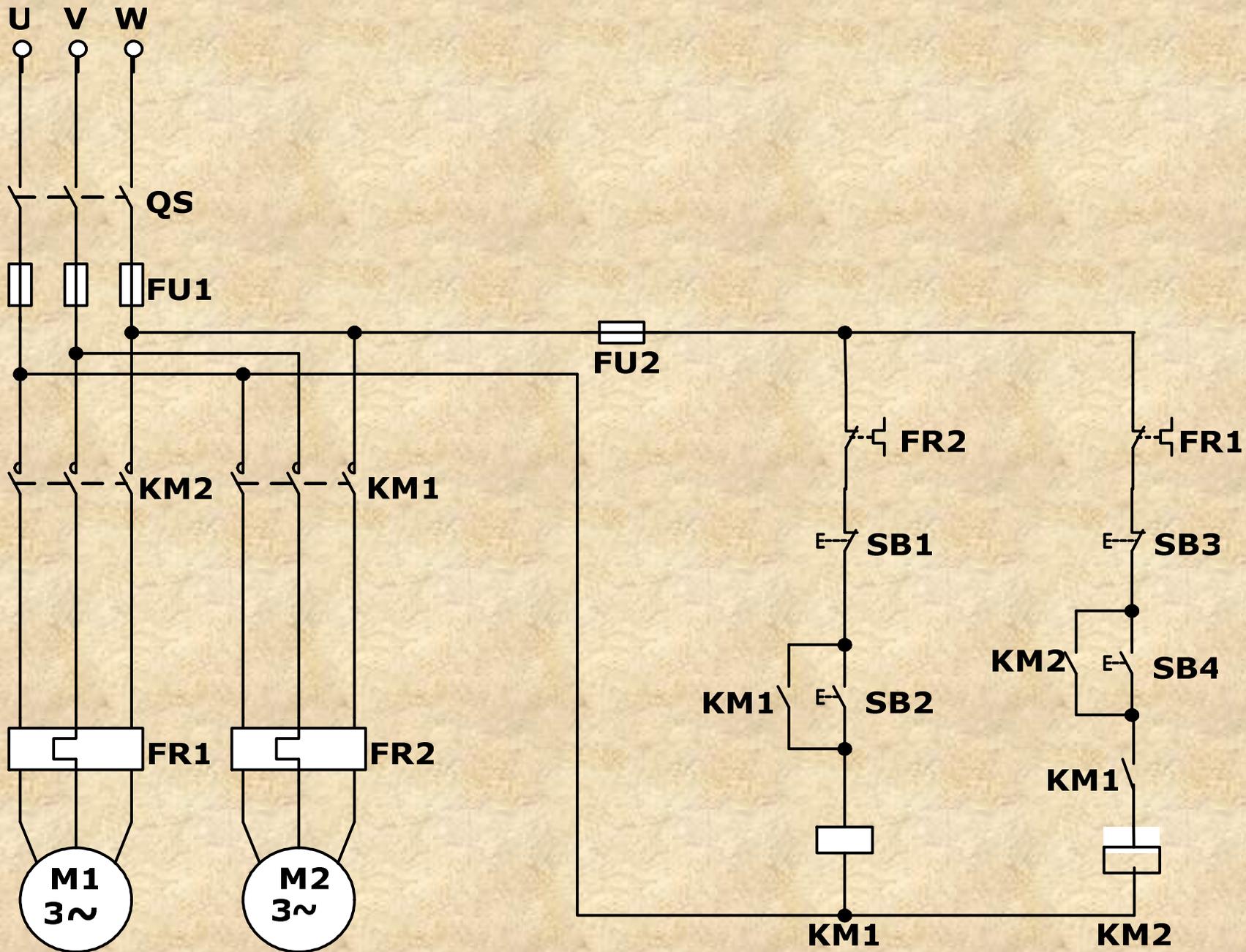


图2-2 车床主电路和控制线路图

例如，在图2-2所示的电气线路的主电路中，主拖动电动机M1电路主要由接触器KM2的主触点和热继电器FR1组成。从图中可以断定，主拖动电动机M1采用全压直接起动方式。热继电器FR1作电动机M1的过载保护，由熔断器FU作短路保护。油泵电动机M2电路由接触器KM1的主触点和热继电器FR2组成，该电动机也是采用直接起动方式，并由热继电器FR2作其过载保护，由熔断器FU作其短路保护。

(3) 分析控制电路

通常对控制电路按照由上往下或由左往右依次阅读，可以按主电路的构成情况，把控制电路分解成与主电路相对应的几个基本环节，一个环节一个环节地分析，然后把各环节串起来。首先，记住各信号元件、控制元件或执行元件的原始状态；然后，设想按动了操作按钮，线路中有哪些元件受控动作；这些动作元件的触点又是如何控制其他元件动作的，进而查看受驱动的执行元件有何运动；再继续追查执行元件带动机械运动时，会使哪些信号元件状态发生变化……在读图过程中，特别要注意相互的联系和制约关系，直至将线路全部看懂为止。

例如，图2-2电气线路的主电路，可以分成电动机M1和M2两个部分，其控制电路也可相应地分解成两个基本环节。其中，停止按钮SB1和启动按钮SB2、热继电器触点FR2、接触器KM1构成直接启动电路；不考虑接触器KM1的常开触点，接触器KM2、热继电器触点FR1、按钮SB3和SB4也构成电动机直接启动电路。这两个基本环节分别控制电动机M2和M1。

其控制过程如下：

合上刀闸开关**QS**，按启动按钮**SB2**：接触器**KM1**吸引线圈得电，其主触点**KM1**闭合，油泵电动机**M2**启动。同时，**KM1**的一个辅助触点对启动按钮**SB2**自锁闭合，使电动机**M2**正常运转；另一个串在**KM2**线圈电路中的辅助触点闭合，为**KM2**通电作好准备。

按下停止按钮**SB1**：接触器**KM1**的吸引线圈失电，**KM1**主触点断开，油泵电动机**M2**失电停转。

同理，可以分析主拖动电动机**M1**的起停控制线路。工艺上要求**M1**必须在油泵电动机**M2**正常运行后才能启动工作，因此，应将油泵电动机接触器**KM1**的一个常开辅助触点串入主拖动电动机接触器**KM2**的线圈电路中，以实现只有接触器**KM1**通电后，**KM2**才能通电的顺序控制，即只有在油泵电动机**M2**启动后主拖动电动机**M1**才能启动。

查线读图法的优点是直观性强，容易掌握，因而得到广泛采用。其缺点是分析复杂线路时容易出错，叙述也较长。

2. 逻辑代数法

逻辑代数法又称间接读图法，是通过对电路的逻辑表达式的运算来分析控制电路的，其关键是正确写出电路的逻辑表达式。

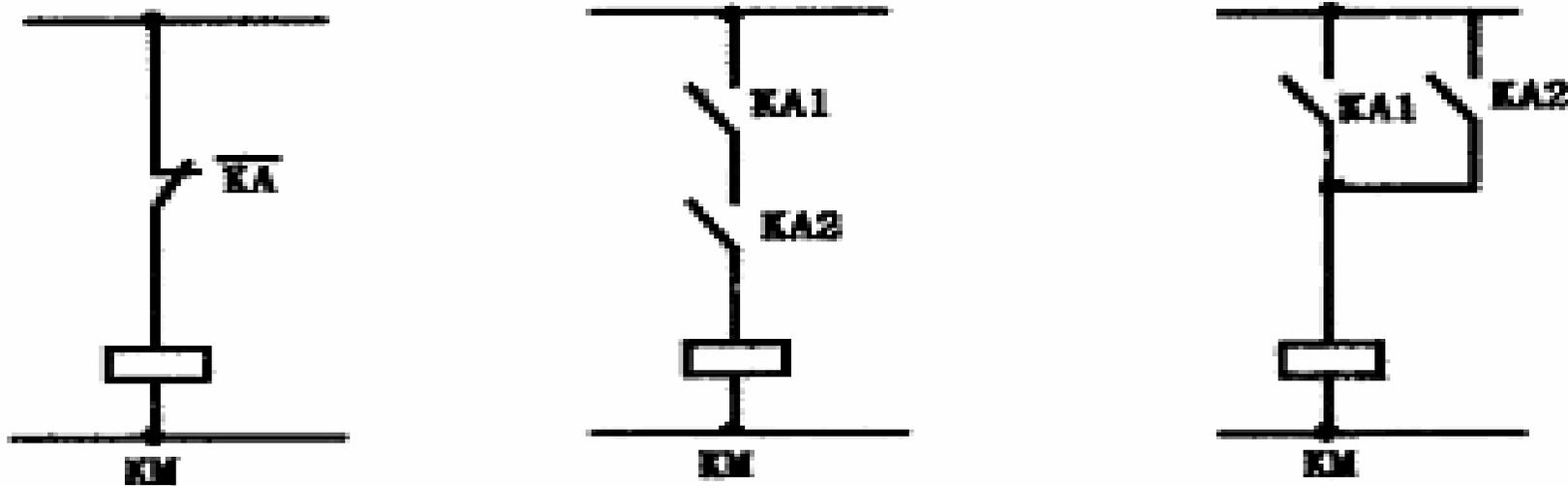
在继电器接触器控制线路中逻辑代数规定如下：

继电器、接触器线圈得电状态为“1”，线圈失电状态为“0”；

继电器、接触器控制的按钮触点闭合状态为“1”，断开状态为“0”。

为了清楚地反映元件状态，元件线圈、常开触点（动合触点）的状态用相同字符（例如接触器为KM）来表示，而常闭触点（动断触点）的状态以KM表示。若KM为“1”状态，则表示线圈得电，接触器吸合，其常开触点闭合，常闭触点断开。得电、闭合都是“1”状态，而断开则为“0”状态。若KM为“0”状态，则与上述相反。

在继电器接触器控制线路中，把表示触点状态的逻辑变量称为输入逻辑变量；把表示继电器、接触器等受控元件的逻辑变量称为输出逻辑变量。输出逻辑变量是根据输入逻辑变量经过逻辑运算得出的。输入、输出逻辑变量的这种相互关系称为逻辑函数关系，也可用真值表来表示。



(a) 逻辑非

(b) 逻辑与

(c) 逻辑或

1) 逻辑非

图2-3 (a) 所示电路实现逻辑非运算。其公式为：

$$KM = \overline{KA}$$

该公式的含意是：当 $KA=1$, $\overline{KA}=0$ ，常闭触点 KA 断开，则 $KM=0$ ，线圈不得电；当 $KA=0$, $\overline{KA}=1$ ，常闭触点 KA 闭合，则 $KM=1$ ，线圈得电吸合。

逻辑非运算规则：

$$\overline{0}=1 \quad 1=\overline{0}$$

(2) 逻辑与

逻辑与用触点串联实现，图2-3 (b) 所示的KA1和KA2触点串联电路实现了逻辑与运算，逻辑与运算用符号“·”表示。其公式为：

$$KM = KA1 \cdot KA2$$

该公式的含意是：只有当KA1=1与KA2=1时，KM=1，否则便为0。

对于电路来说，只有当触点KA1与KA2都闭合时，线圈KM才得电，为“1”状态。

显然，逻辑与的运算规则是：

$$0 \cdot 0 = 0 \quad 0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0 \quad 1 \cdot 1 = 1$$

(3) 逻辑或

逻辑或用触点并联电路实现，图2-3 (c) 所示的并联电路实现逻辑或运算，逻辑或运算用符号“+”表示。其公式为：

$$KM = KA1 + KA2$$

该公式的含意是：当 $KA1 = 1$ 或 $KA2 = 1$ 时， $KM = 1$ 。对于电路来说，触点 $KA1$ 或 $KA2$ 任一个闭合时，线圈 KM 都得电为“1”。

逻辑或的运算规则是：

$$0 + 0 = 0 \quad 0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1 \quad 1 + 1 = 1$$

逻辑代数法读图的优点是，各电气元件之间的联系和制约关系在逻辑表达式中一目了然。通过对逻辑函数的具体运算，一般不会遗漏或看错电路的控制功能。而且采用逻辑代数法后，对电气线路采用计算机辅助分析提供了方便。该方法的主要缺点是，对于复杂的电气线路，其逻辑表达式很繁琐冗长。



