

## 4.5 同步电动机的启动

### 1. 同步电动机的启动问题

- (1) 定子磁场很快就可以达到同步转速，而转子由于惯性的原因，不可能很快达到同步转速
- (2) 若定、转子磁场不同步，其平均电磁转矩为零
- (3) 同步电动机不能自行启动，必须借助于其他方法。
- (4) 常用变频启动法和异步启动法两种

## 2. 变频启动法

- (1) 开始启动时，转子先加上励磁电流；
- (2) 定子先通入频率很低的三相交流电流；
- (3) 利用变频器逐步升高加在定子上的电源频率，使转子磁极在开始启动时就与旋转磁场建立起稳定的磁场吸引力而同步旋转。
- (4) 在启动过程中频率与转速同步增加，定子电源频率达额定值后，转子也达额定转速，启动完毕。

## 2. 异步启动法

### (1) 阻尼绕组

装在转子极靴上的类似于笼形绕组的绕组，也称启动绕组。它相当地给同步电动机增加了一个异步电动机的定子绕组。在电动机运行时起到增加阻尼的作用。

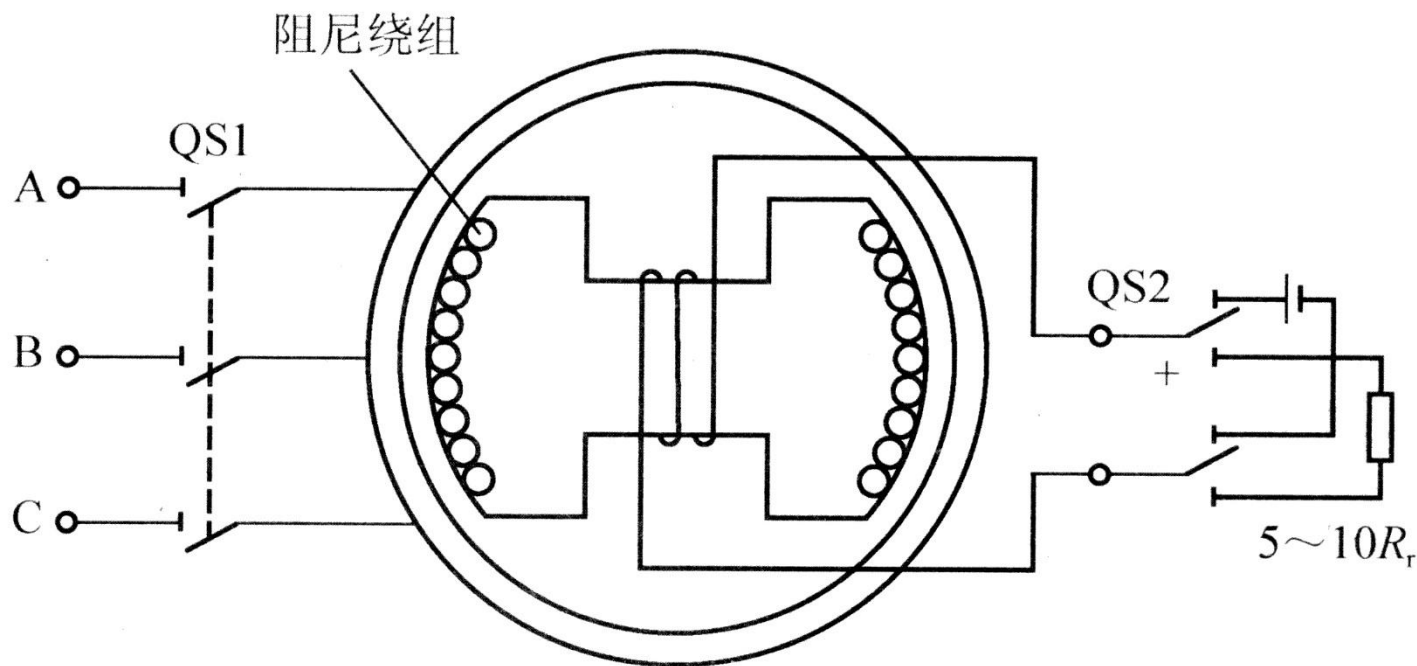


图 4.22 异步启动法原理接线图

## (2) 启动过程

- ① 先把QS2与电阻闭合，QS1接通三相交流电源；
- ② 这时定子旋转磁场在阻尼绕组中感应出电流，此电流与定子旋转磁场相互作用而产生异步电磁转矩，同步电动机便作为异步电动机而启动。

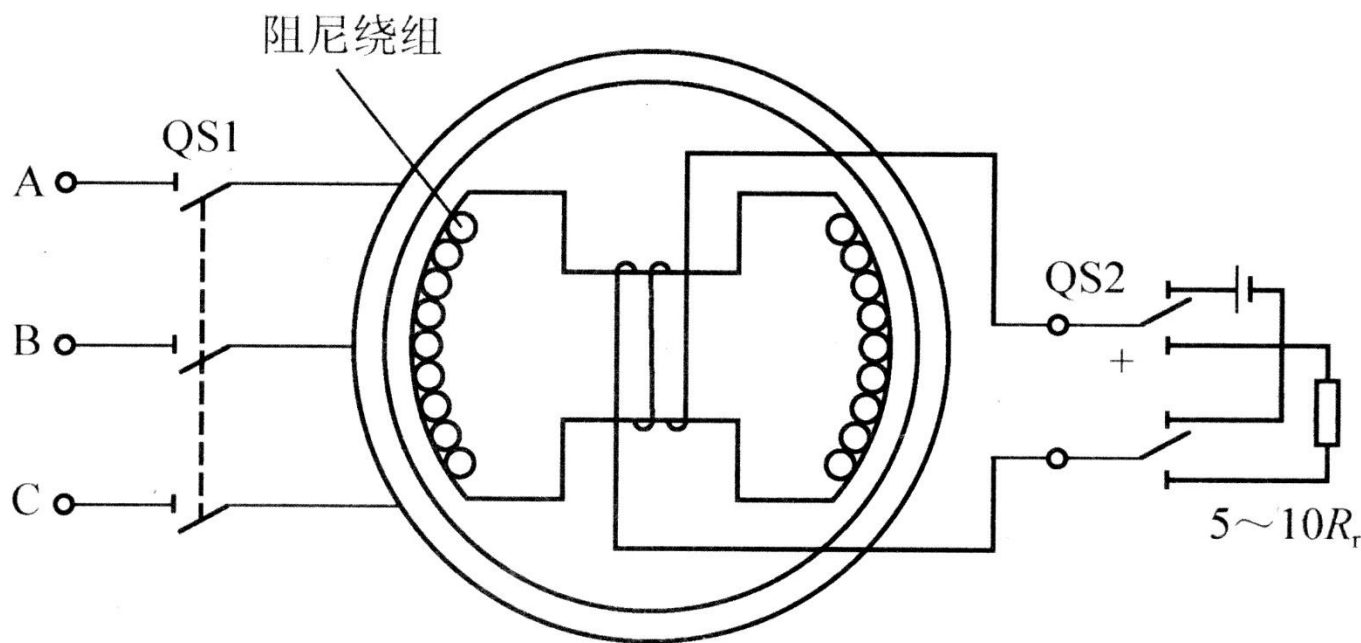


图 4. 22 异步启动法原理接线图

- ③ 同步电动机的转速达到同步转速的**95%**左右（又称准同步转速）时，再将双刀双抛开关**QS2**合向直流电源，励磁绕组与直流电源接通，转子产生恒定磁场。
- ④ 由于这时转差很小，只要磁场足够大，转子磁场与定子磁场之间的相互吸引力便能使转子提高到同步转速，跟着定子旋转磁场以同步转速旋转，从而将同步电动机牵入同步运行。

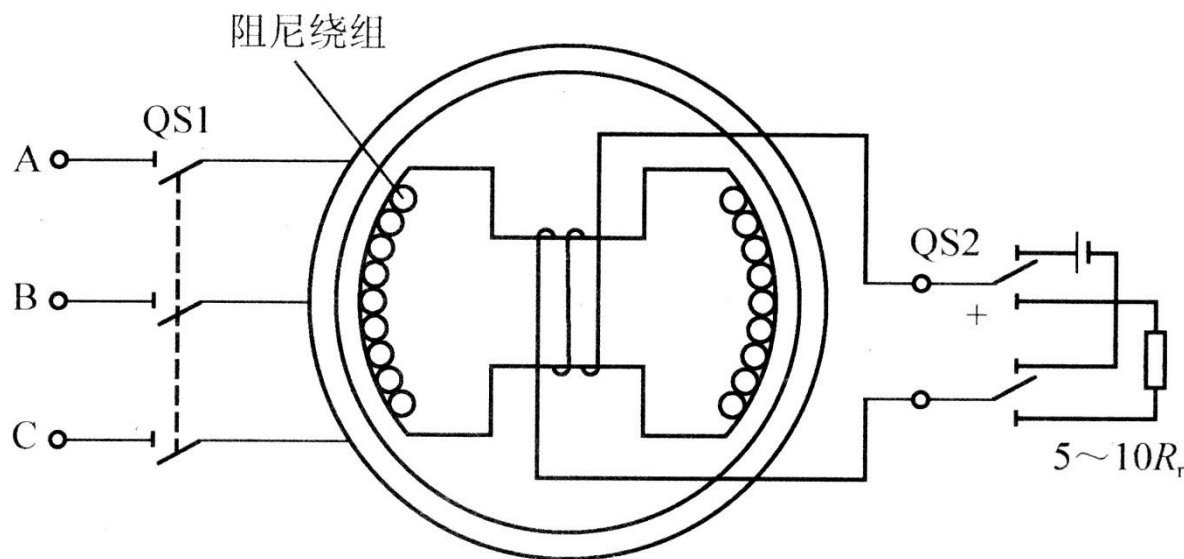


图 4.22 异步启动法原理接线图

- ⑤ 注意点：启动时先把同步电动机的励磁绕组通过一个电阻短接，这是因为启动时，励磁绕组不能开路。否则，在大转差时，气隙旋转磁场在励磁绕组里感应出较高的电动势，有可能损坏它的绝缘。但是，也不能把励磁绕组短路，这样可能电流太大。

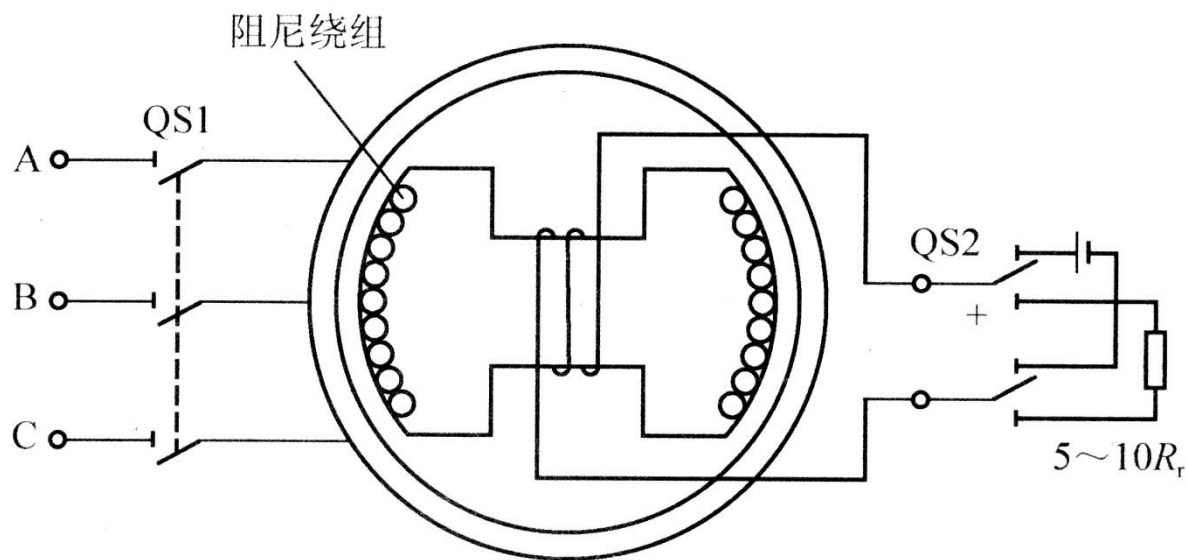


图 4.22 异步启动法原理接线图

## 4.6 微型同步电动机

根据其转子的结构型式不同，微型同步电动机主要分为永磁式微型同步电动机、反应式微型同步电动机和磁滞式微型同步电动机。用于在自动控制中，要求电动机转速恒定，且转速不随负载或电源电压变化而改变の場合。如：录音机等。

# 1. 永磁式同步电动机

## (1) 组成特点

- ① 转子由永久磁钢组成，可以是两极，也可以是多极，N、S极沿圆周方向交替排列。
- ② 转子上有鼠笼式启动绕组。

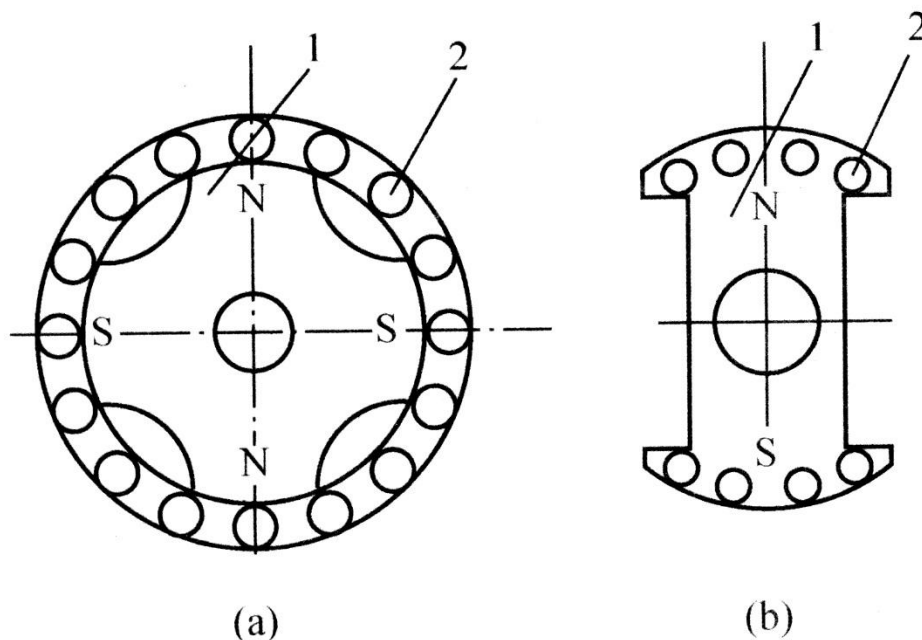


图 4.23 永磁式微型同步电动机转子形式

1—永久磁铁；2—鼠笼启动绕组



## (2) 工作原理

- ① 启动绕组驱动电机启动
- ② 接近同步时依靠同步转矩拖入同步
- ③ 同步转动时鼠笼绕组起抑制振荡作用

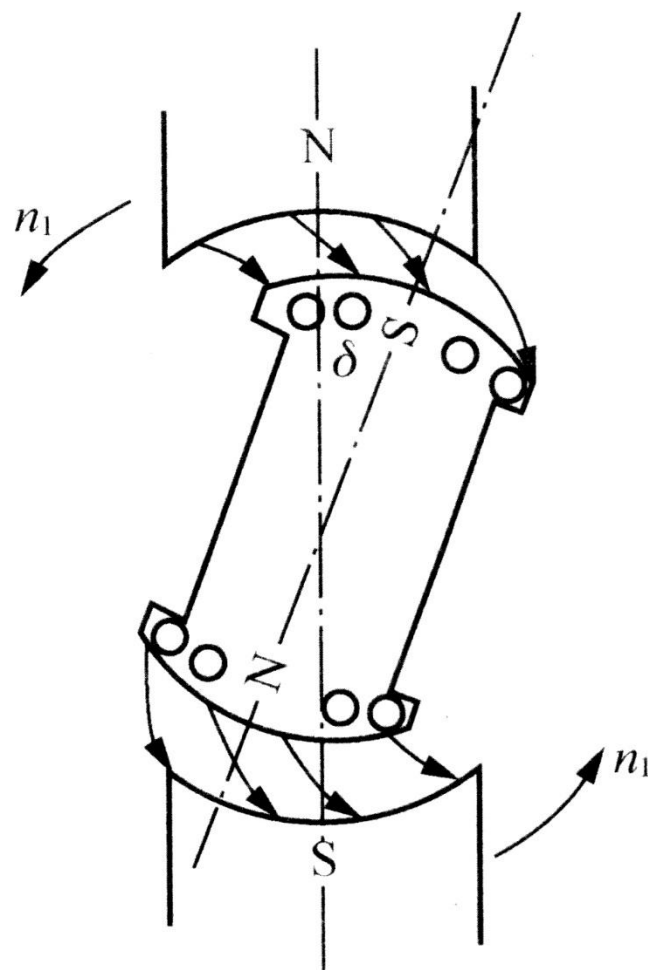


图 4.24 永磁式微型同步电动机工作原理图

### (3) 优点

- ① 功率因数和效率较高
- ② 有效材料利用率高，与同体积的其它类同步电机相比，出力大、体积小、耗电少。

### (4) 缺点：

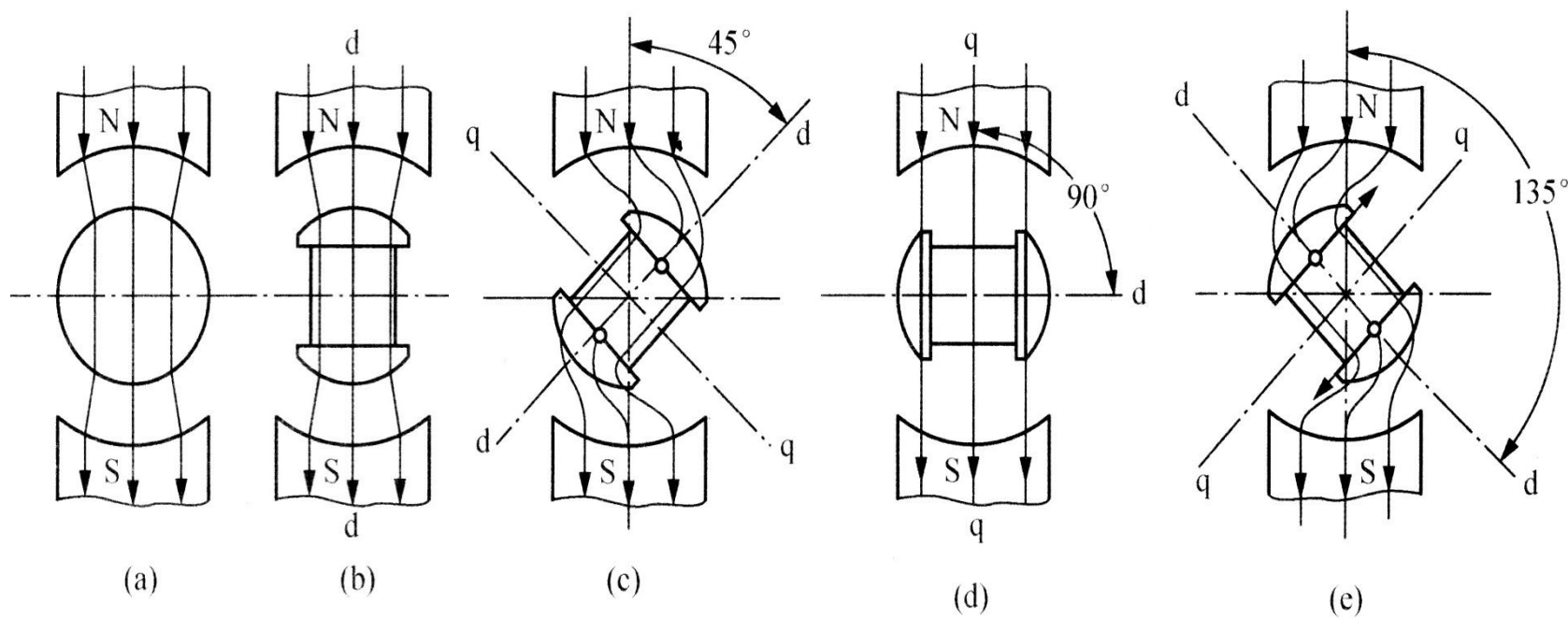
永磁同步电机除多极、小转动惯量的电机外，无自起动能力，且不能在异步状态下运行。



## (2) 工作原理

① 转子各向磁阻不等

② 若转子直轴与定子磁极成锐角关系，将产生反应式转矩，使电机保持同步转速



- (3) 启动：加鼠笼式启动绕组
- (4) 优点：结构简单、运行成本低廉、运行可靠。
- (5) 缺点：功率因数低，不能自启动。

### 3. 磁滞式同步电动机

#### (1) 结构特点

- ① 没有直流励磁的隐极式同步电动机
- ② 转子用硬磁材料构成，但未进行预充磁

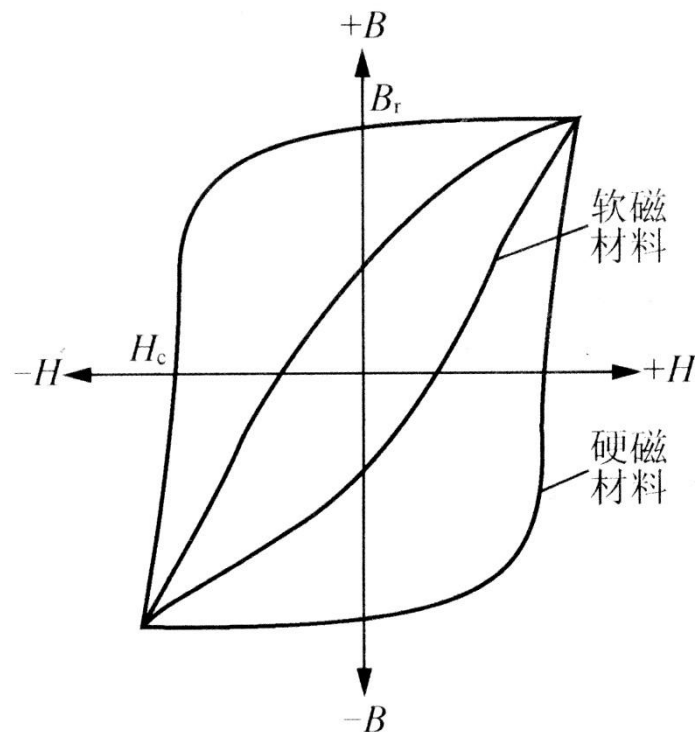


图 4. 26 铁磁材料的磁滞回线

## (2) 工作原理

- ① 转子在定子磁场的作用下被磁化，由于硬磁材料的原因，转子磁极将**落后**定子磁极一个角度  $\delta$ ，称为**磁滞角**
- ② 转子、定子磁极间有磁滞角，产生**磁滞转矩**

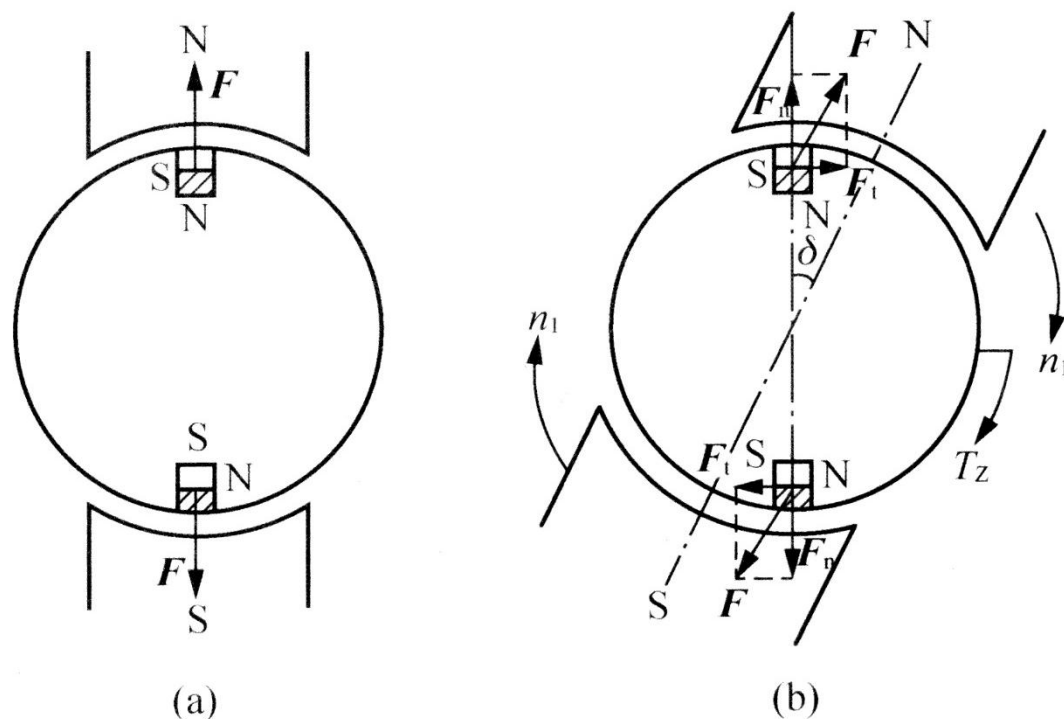
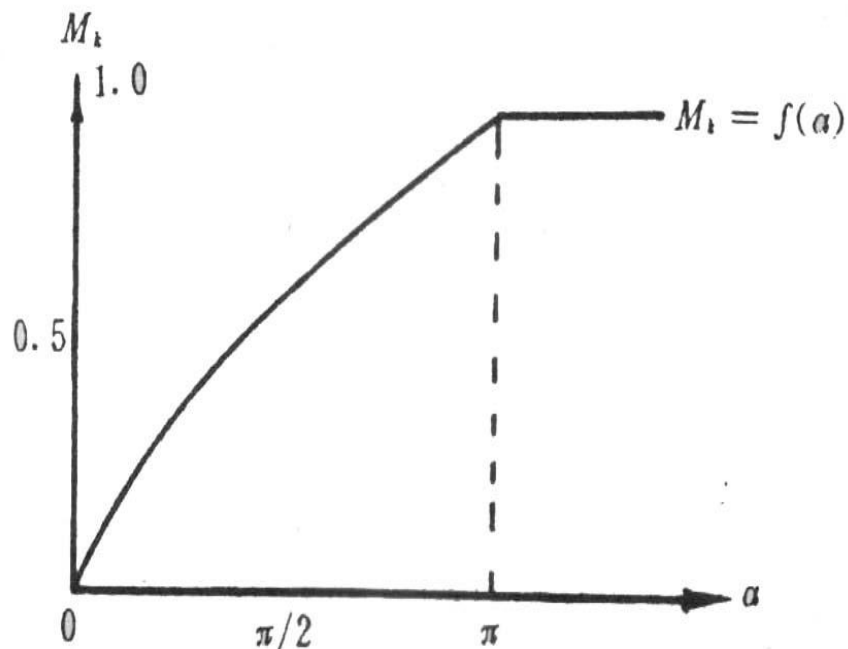


图 4.27 磁滞式同步电动机的工作原理

### ③ 最大磁滞转矩

当定子磁极转过  $\pi$  角度后，磁滞转矩增加到最大值，且磁滞角将保持不变，磁滞转矩也保持不变。这个转矩最大值就是最大磁滞转矩。

它与转子的转速无关，仅决定于磁滞材料的磁状态（即一定磁密时的比磁滞损耗）、材料的有效磁滞层体积及极对数。为一特征值。



磁滞转矩随定子磁极转动增长的曲线图



#### ④ 起动过程

- 定转子有转速差，产生磁滞转矩
- 转矩加大至最大磁滞转矩
- 在最大磁滞转矩作用下，转子加速
- 当速度大于同步转速后，失调角减少，磁滞转矩减少
- 当磁滞转矩减少至与负载相等时，电机以同步转速稳定运行。

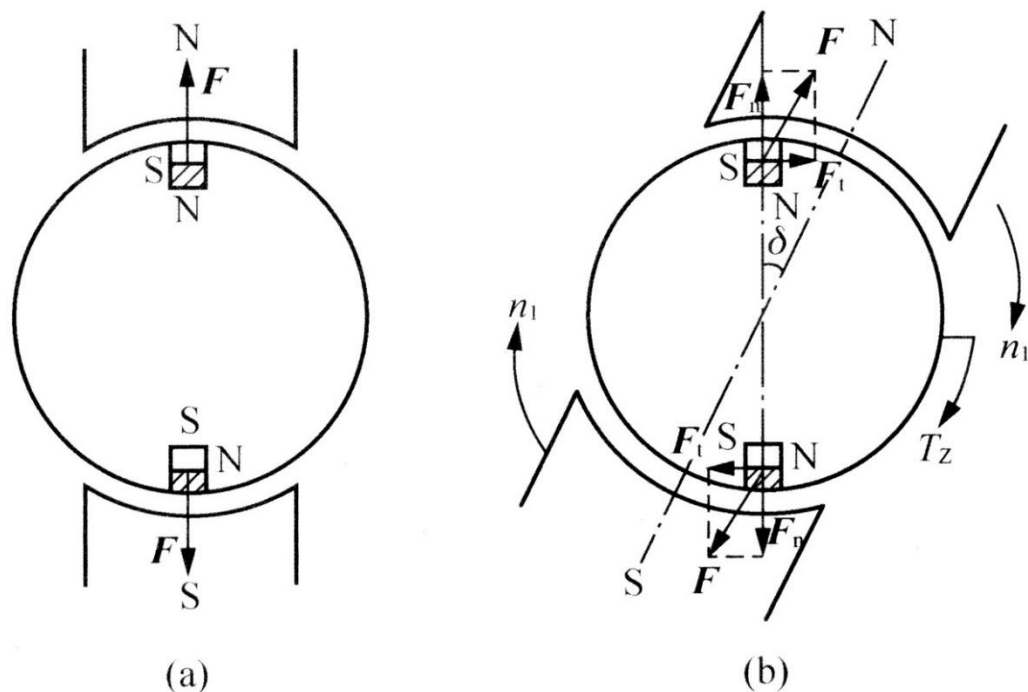


图 4.27 磁滞式同步电动机的工作原理

### (3) 优点

具有很大的起动转矩，不需要附设任何起动绕组就能很快自己起动；结构简单、工作可靠、运行噪音小、既可同步运行，又能异步运行。

### (4) 缺点

效率和功率因数较低，磁滞材料的利用率不高，重量和尺寸比其它类电动机大，价格也较高。

## 4. 微型同步电动机的应用

### (1) 反应式（磁阻式）微型同步电动机

适用于大容量转速恒定的系统中

### (2) 永磁式微型同步电动机

适用于要求转速恒定的系统或装置中，如自动记录仪等，主要用作驱动元件

### (3) 磁滞式微型同步电动机

适用于恒速传动的自动装置和自动控制系统，如精确的自动计时装置等，主要用作驱动元件；在异步状态运行时，还可用作伺服系统驱动元件。

## 4.7 同步电动机的控制原理

同步电动机的使用控制，既可以进行开环控制也可进行闭环控制。

### 1. 同步电动机使用电压型变频器的开环控制

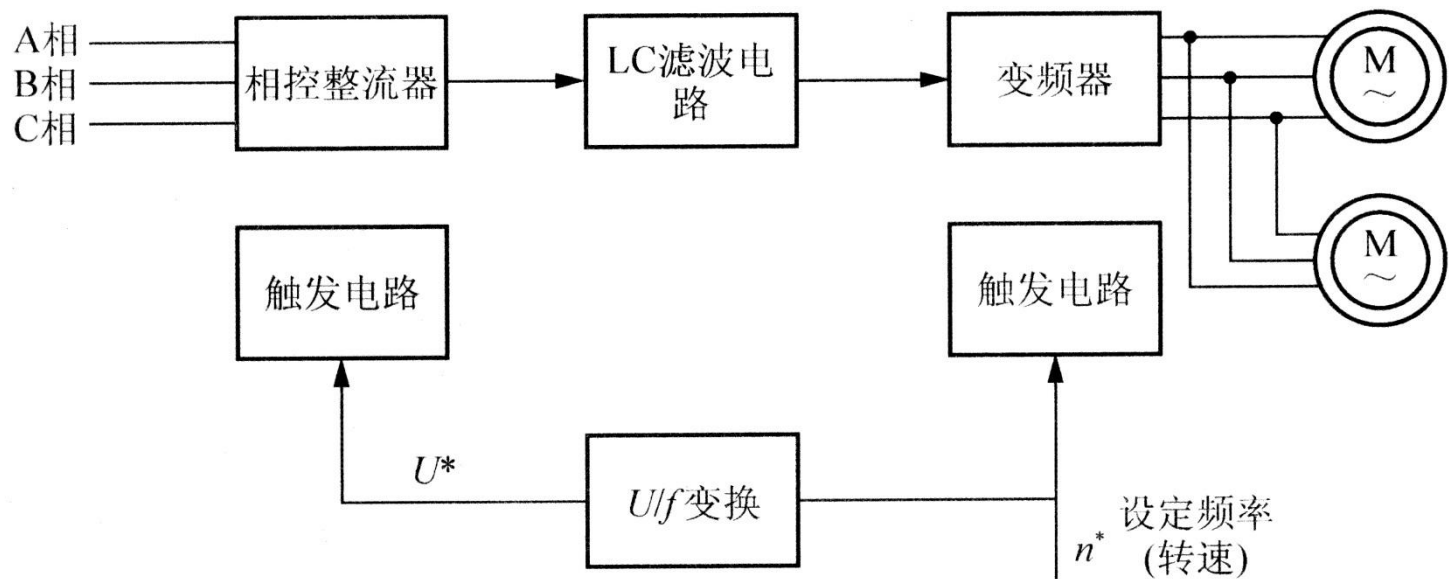
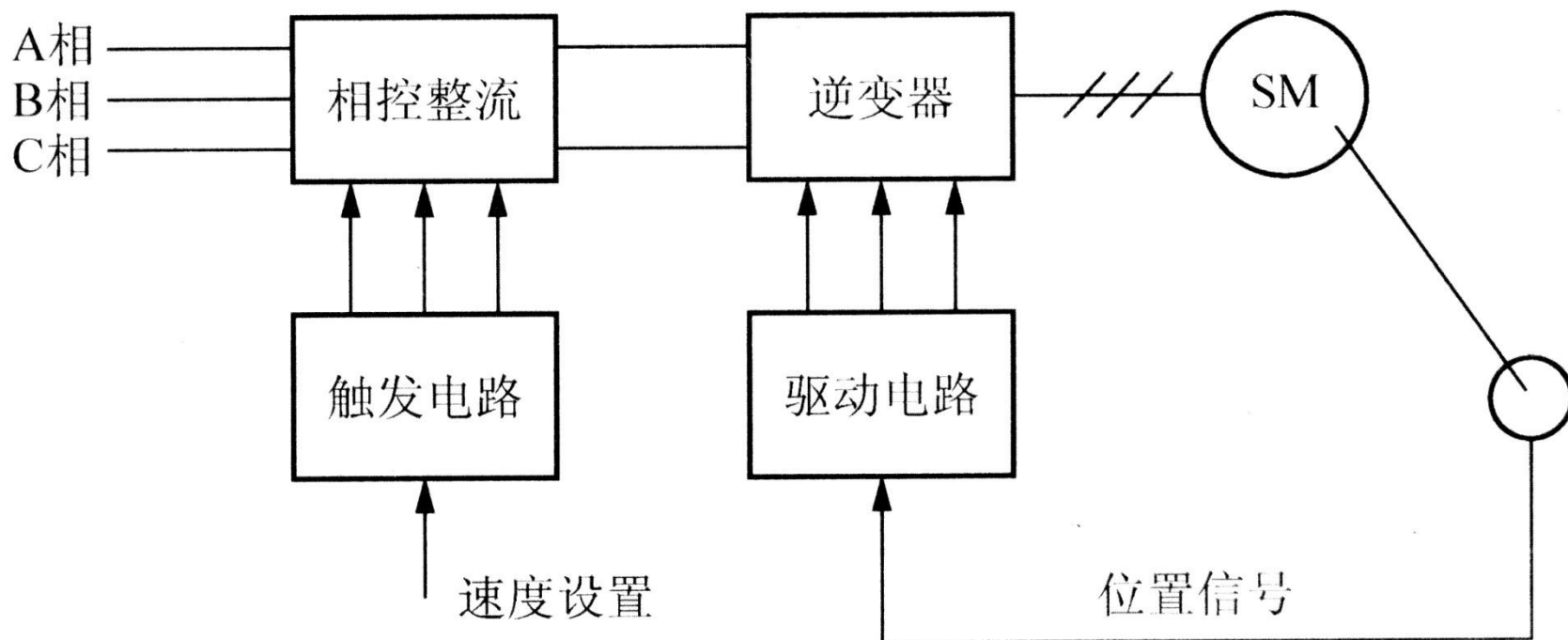


图 4.29 多台同步电动机的开环拖动控制

## 2. 同步电动机使用电压型变频器的闭环控制



## 本章小结

- 1、同步电动机的工作原理、磁动势、磁通和双反应原理、电动势相量图等、凸极同步电动机的电压平衡方程和隐极同步电动机的电势方程的含义；
- 2、同步电动机的功率关系方程及转矩方程、功角特性、矩角特性和运行；
- 3、同步电机的功率因数调节和 V 形曲线；
- 4、同步电动机的变频和异步起动两种方法起动；
- 5、永磁式、反应式、和磁滞式三种同步电动机的工作原理；
- 6、同步电动机的开、闭环控制原理。