

自动控制实践 单相异步电机

哈尔滨工业大学

伊国兴



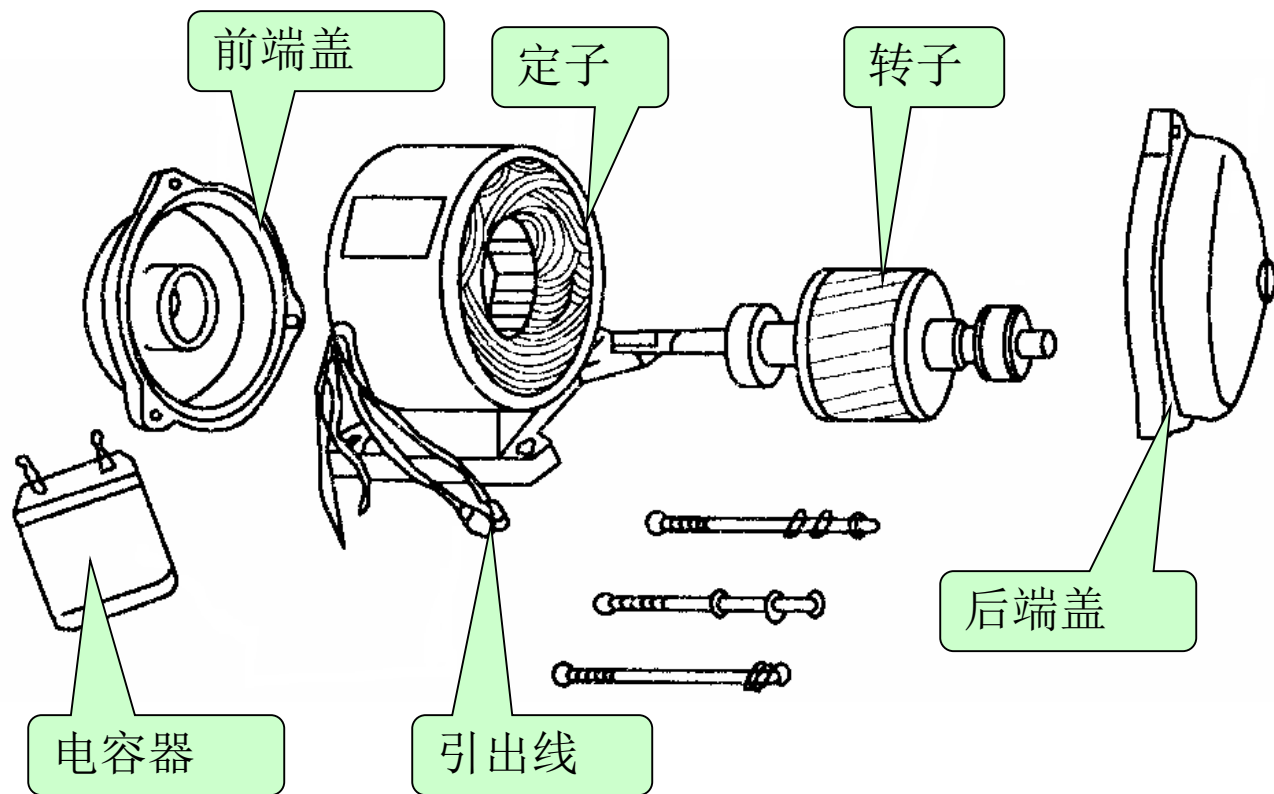
哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

单相异步电动机

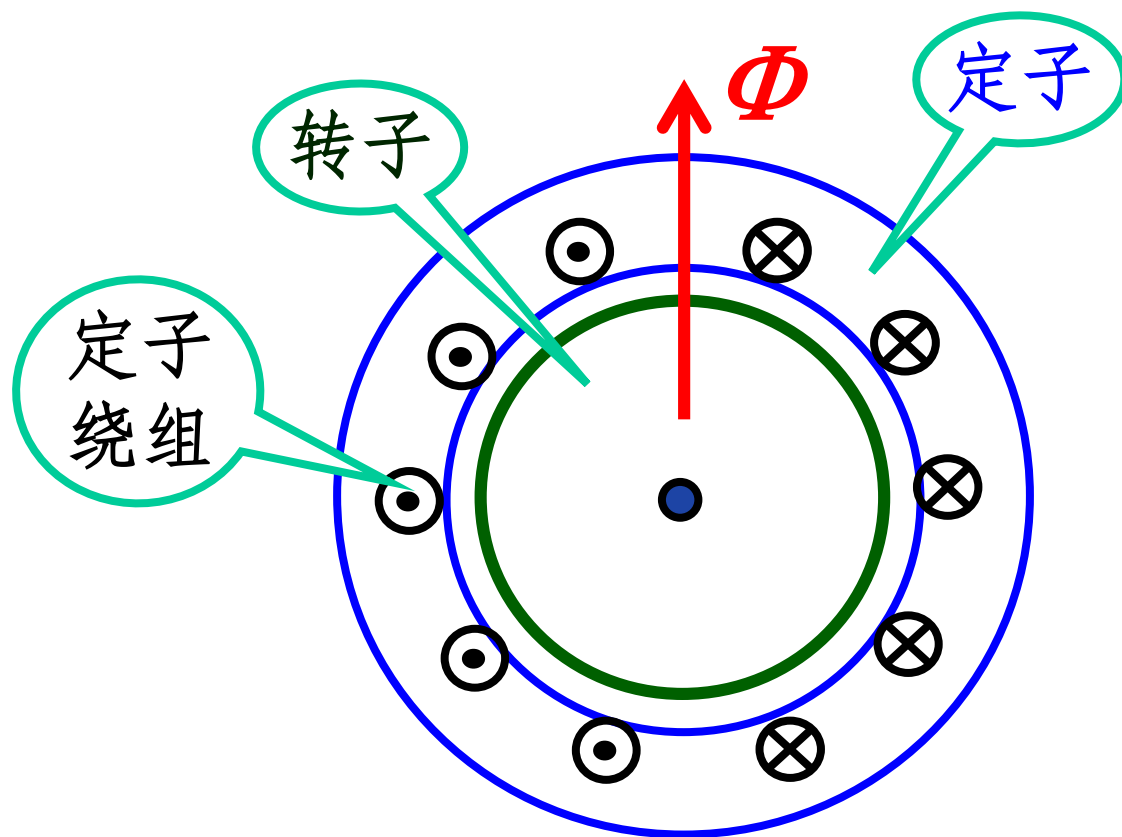
- ❖ 单相异步电动机的构造与三相笼型异步电动机相似,它的转子也是鼠笼型,主要区别在于定子绕组。
- ❖ 单相异步电动机的定子上放置有空间位置相差 90° 电角度的两相绕组,一相为主绕组(工作绕组),另一相为辅助绕组(启动绕组)。
- ❖ 单相异步电动机采用单相电源供电,功率比较小,从几瓦到几百瓦,它广泛应用于家用电器(如电风扇、电冰箱、空调、洗衣机、吸尘器等)、医疗器械和小型机械中。

单相异步电动机



单相异步电动机

单相异步电机：定子放单相绕组，转子一般用鼠笼式。

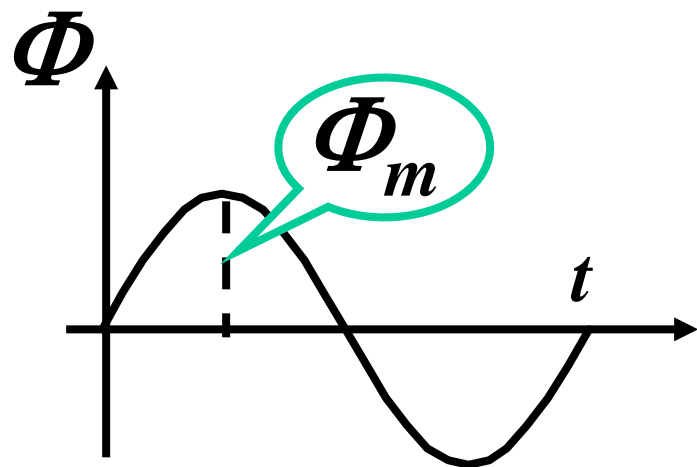


定子中通入单相交流电后，形成脉动磁场。其磁感应强度按正弦分布，且随时间按正弦变化。

单相异步电动机

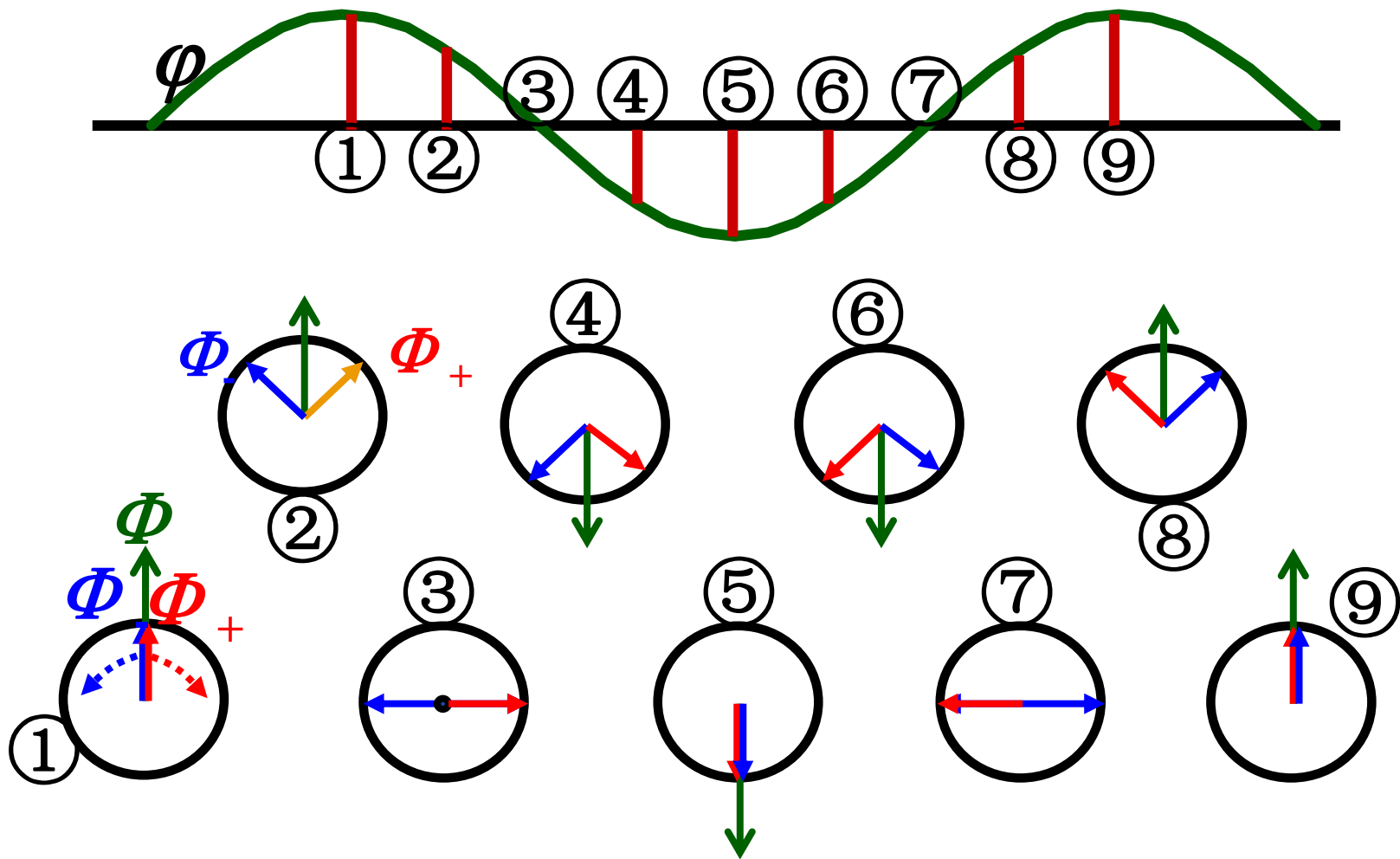
定子绕组产生的脉动磁场 (Φ)，可用正、反两个旋转磁场合成而等效。即：

$$\Phi = \Phi_+ + \Phi_-$$



$$|\Phi_-| = |\Phi_+| = \Phi_m$$

单相异步电动机

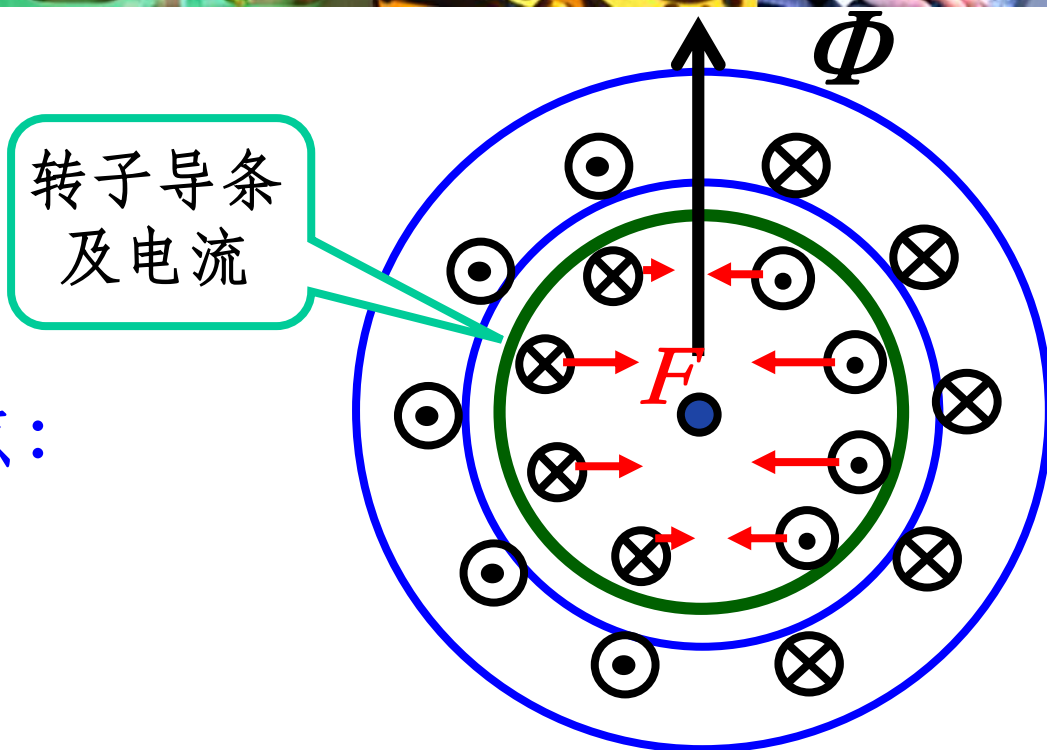


单相异步电动机

单相异步电动机的特点：

自身没有起动转矩

当定子绕组产生的合成磁场增加时，根据右手螺旋定则和左手定则，可知转子导条左、右受力大小相等方向相反，所以没有起动转矩。



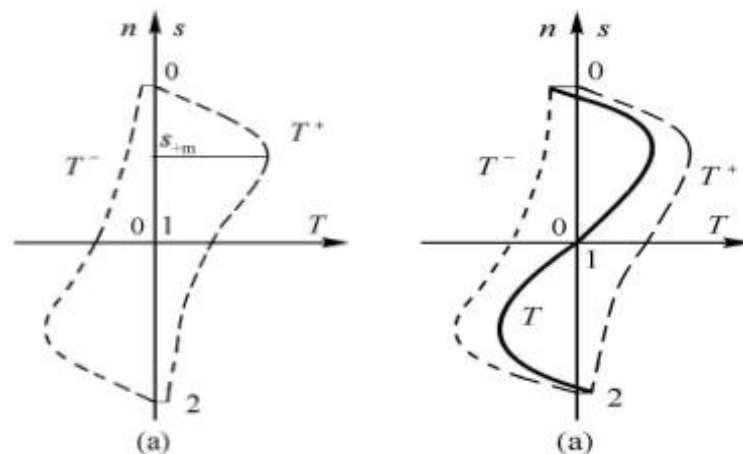
单相异步电动机

单相脉振磁场的机械特性

- ▣ 绘出脉振磁场对应的正、反转磁场的机械特性曲线。
- ▣ 然后叠加，即可获得单相异步电机的机械特性。

$$T = T^+ + T^-$$

- ▣ 单相异步电机启动后，有维持旋转的电磁力矩。



$$T^-(s) = -T^+(2-s)$$

$$T^-(n) = -T^+(-n)$$

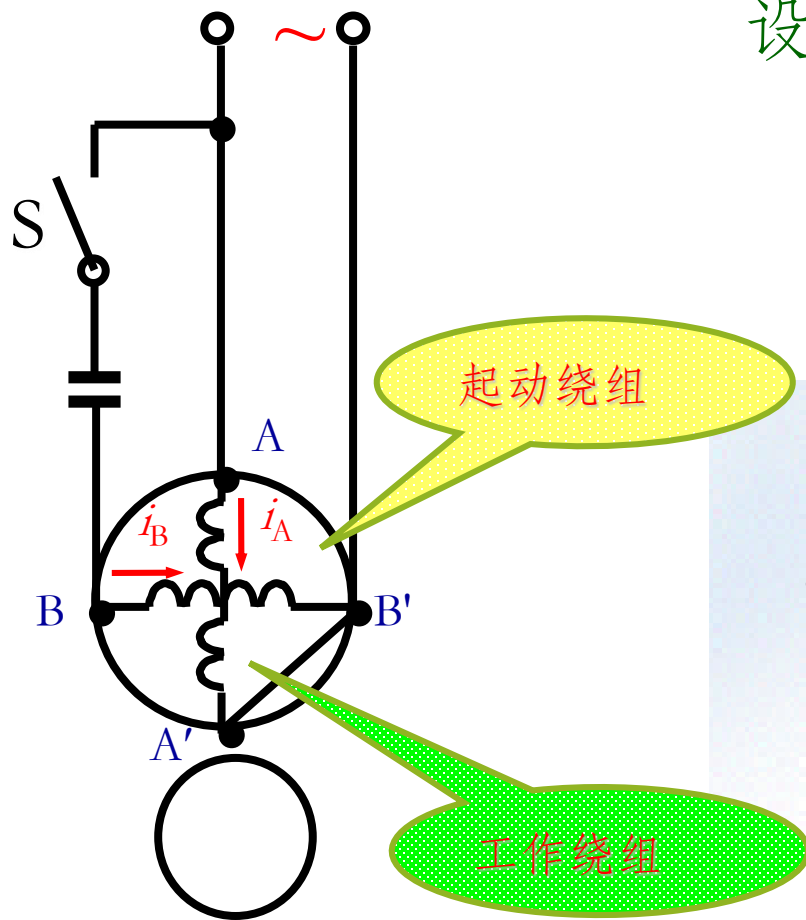
单相异步电动机

为了获得所需的起动转矩，单相异步电动机的定子进行了特殊设计。常用的单相异步电动机有电容分相式异步电动机和罩极式异步电动机。他们都采用鼠笼式转子，但定子结构不同。

电容分相式异步电动机

电容分相式异步电动机的定子中放置有两个绕组，一个是工作绕组 $A-A'$ ，另一个是起动绕组 $B-B'$ ，两个绕组在空间相隔 90° 。起动时， $B-B'$ 绕组经电容接电源，两个绕组的电流相位相差近 90° ，即可获得所需的旋转磁场。

单相异步电动机

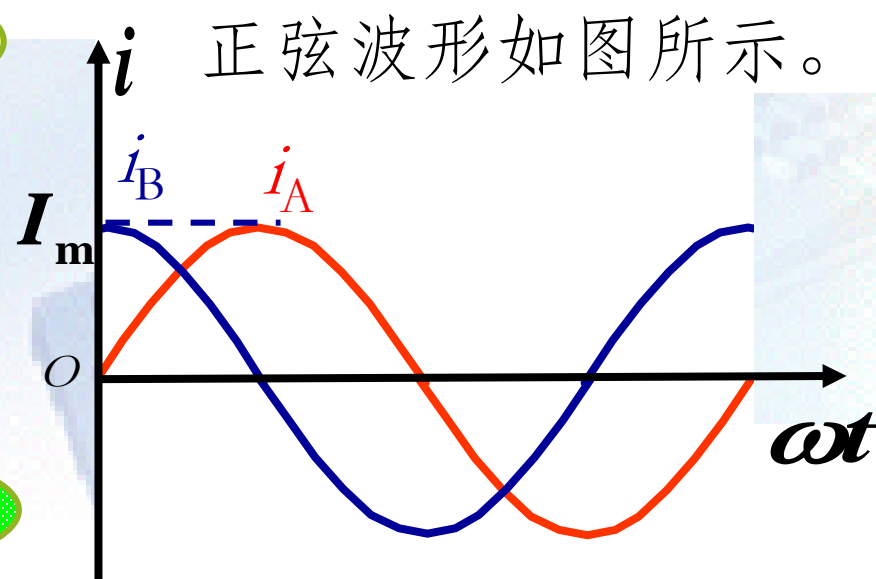


电容分相式异步电动机

设两相电流为

$$i_A = I_{Am} \sin \omega t$$

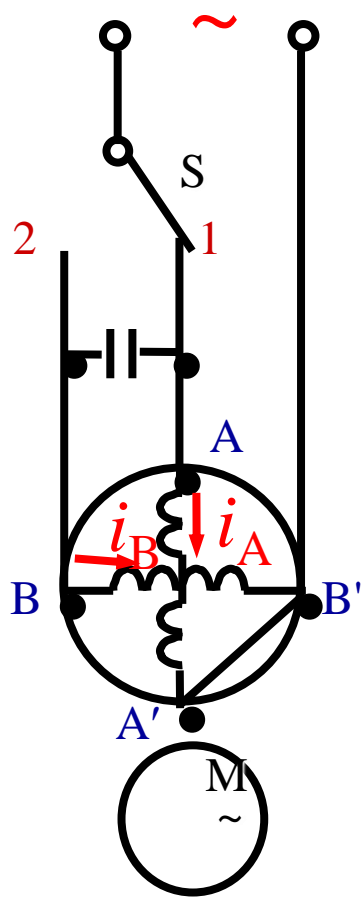
$$i_B = I_{Bm} \sin(\omega t + 90^\circ)$$



正弦波形如图所示。

两相电流

单相异步电动机



实现正反转的电路

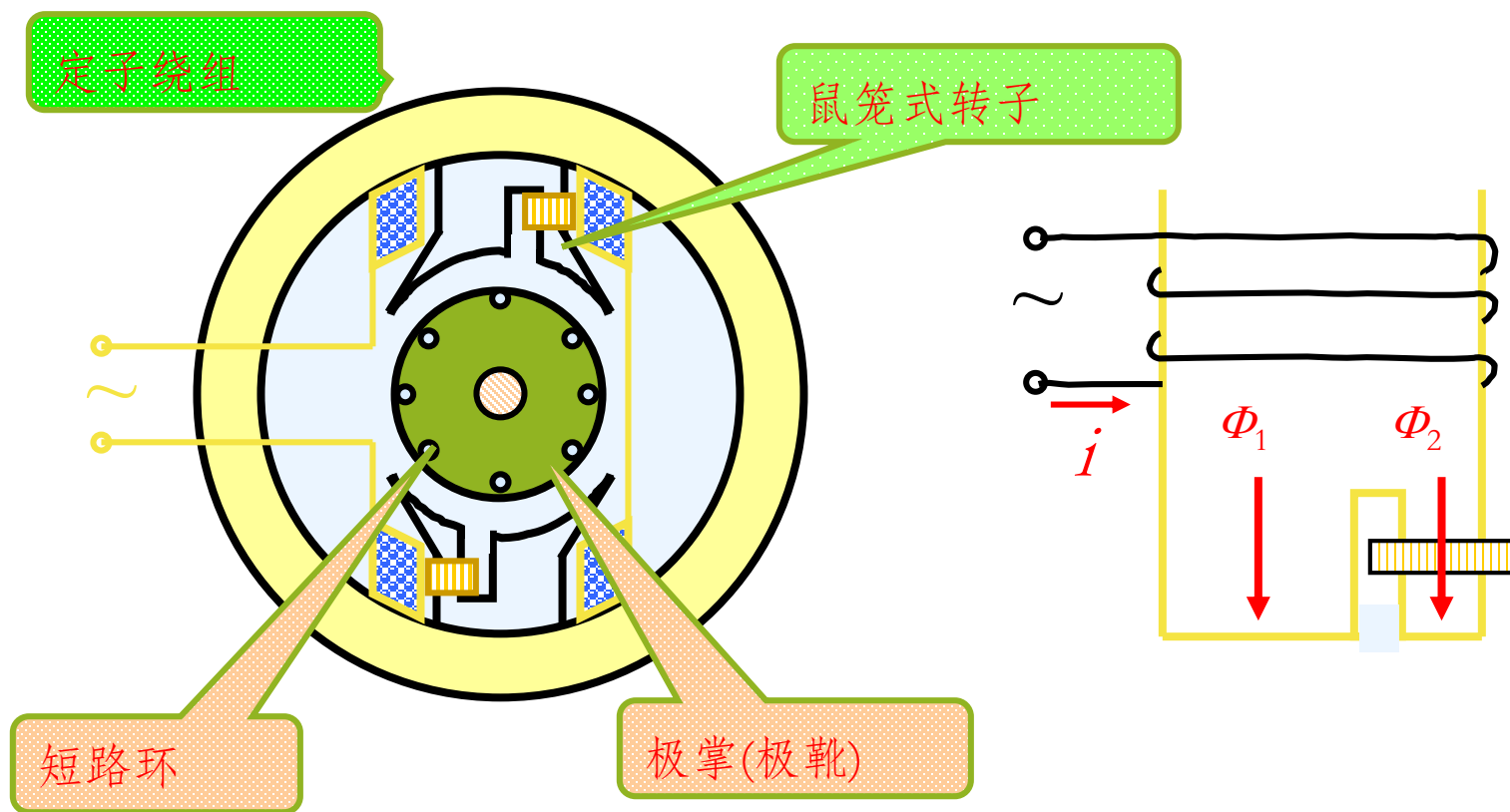
电动机转子转动起来后，利用离心力将开关S断开(S是离心开关)，使起动绕组B-B'断电。

改变电容C的串联位置，可使单相异步电动机反转。

将开关S合在位置1，电容C与B绕组串联，电流 i_B 较 i_A 超前近 90° ；当将S切换到位置2，电容C与A绕组串联，电流 i_A 较 i_B 超前近 90° 。这样就改变了旋转磁场的转向，从而实现电动机的反转。

单相异步电动机

罩极式单相异步电机



单相异步电动机



- 当电流 i 流过定子绕组时，产生了一部分磁通 Φ_1 ，同时产生的另一部分磁通与短路环作用生成了磁通 Φ_2 。由于短路环中感应电流的阻碍作用，使得 Φ_2 在相位上滞后 Φ_1 ，从而在电动机定子极掌上形成一个向短路环方向移动的磁场，使转子获得所需的起动转矩。
- 罩极式单相异步电动机起动转矩较小，转向不能改变，常用于电风扇、吹风机中；电容分相式单相异步电动机的起动转矩大，转向可改变，故常用于洗衣机等电器中。

三相异步电动机的单相运行



三相异步电动机在运行过程中，若其中一相与电源断开，就成为单相电动机运行。此时电动机仍将继续转动。若此时还带动额定负载，则势必超过额定电流，时间一长，会使电动机烧坏。这种情况往往不易察觉，在使用电动机时必须注意。如果三相异步电动机在起动前就断了一线，则不能起动，此时只能听到嗡嗡声，这时电流很大，时间长了，也会使电动机烧坏。

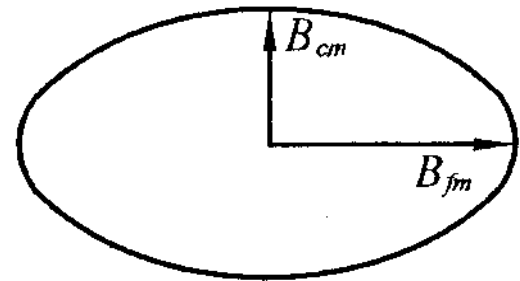
两相绕组的非圆形旋转磁场

一、两相绕组的非圆形旋转磁场

1、两相绕组电流相位相同，产生脉振磁场。

2、两相绕组电流相位差是 90° ，

也形成旋转磁场，但磁密向量 B 或磁势向量 F 的端点轨迹是椭圆，称为椭圆旋转磁场。



$$\alpha = I_c W_c / (I_f W_f) \neq 1$$

椭圆度： $\alpha = \frac{B_{cm}}{B_{fm}}$ ， α 越小，椭圆度越大。

3、两相绕组电流相位差大于 0° 小于 90° ，产生椭圆旋转磁场。

两相绕组的非圆形旋转磁场

椭圆旋转磁场具有下述特点。

- ▣ **转向** 与圆形旋转磁场相同。
- ▣ **幅值** 磁密幅值不断变化。若 $\alpha < 1$ ，幅值变化范围从 αB_{fm} 至 B_{fm} 。当 $\alpha = 0$ 时变成脉振磁场，当 $\alpha = 1$ 时变成圆形旋转磁场。
- ▣ **转速** 电流变化一个周期，磁场在空间旋转了 360° 电角，平均转速是 $60f/p$ r/min。但椭圆旋转磁场的瞬时转速是变化的。

二、椭圆旋转磁场的分解

- 椭圆旋转磁场可以分解为两个转向相反、转速相同的圆形旋转磁场。其中与椭圆磁场转动方向相同的正向旋转磁场的磁密为 B^+ ，转向相反的反向圆磁场的磁密为 B^- ，则有

$$B^+ = \frac{1+\alpha}{2} B_{fm} \quad B^- = \frac{1-\alpha}{2} B_{fm}$$

两相电动机



两相电动机的分类

- 两相电机：定子具有两相绕组。
- 驱动和伺服两大类。
- 两相驱动电动机：大部分家用电器和小型电器中使用的（单相）异步电动机。气隙磁场接近圆形旋转磁场，转子电阻小。
- 两相伺服电动机：定子两相绕组，分别称为激磁绕组和控制绕组，在空间相差 90° 电角。

两相电动机

□ 特点：

1. 稳定运行的转速范围大，而驱动电动机稳定运行的速度范围很小。
2. 一相绕组电压（流）为零时，伺服电机将产生制动转矩而迅速停转，而驱动用电机在运转后，一相电压（流）为零也可能继续运转（自转）。
3. 快速响应，机电时间常数小。两相伺服电机采用细长转子，惯量小，转子电阻大，使堵转转矩高，起动速度快。
4. 不能用驱动电动机代替两相伺服电动机。

圆形旋转磁场时两相电机的机械特性

$$T = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r'_2}{s}}{2\pi f_1 [(r_1 + \frac{r'_2}{s})^2 + (x_1 + x'_2)^2]}$$

- 转子电阻增大时，最大转矩 T_m 不变，临界转差率 s_m 增大。
 - 驱动电机要求效率高，所以转子电阻小，稳定运行的转速范围小。
 - 两相伺服电动机，要求第1象限稳定运行，机械特性下垂的，即要求转子电阻足够大，保证 $s_m \geq 1$ 。
- 转子电阻大，机械特性下垂。

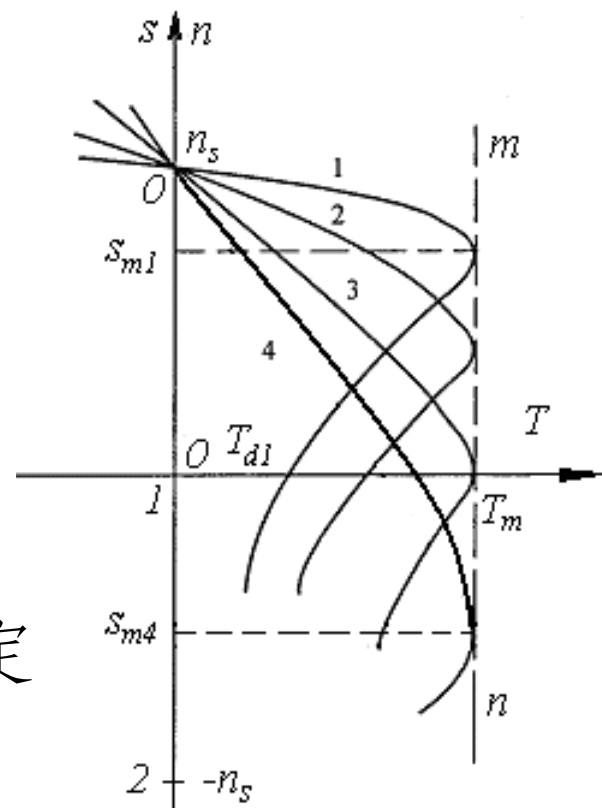


图 3-34 不同转子电阻的机械特性

1- r_{21} ; 2- r_{22} ; 3- r_{23} ; 4- r_{24}
($r_{24} > r_{23} > r_{22} > r_{21}$)

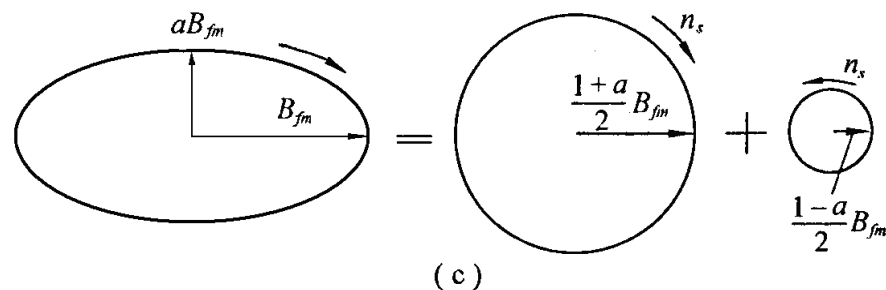
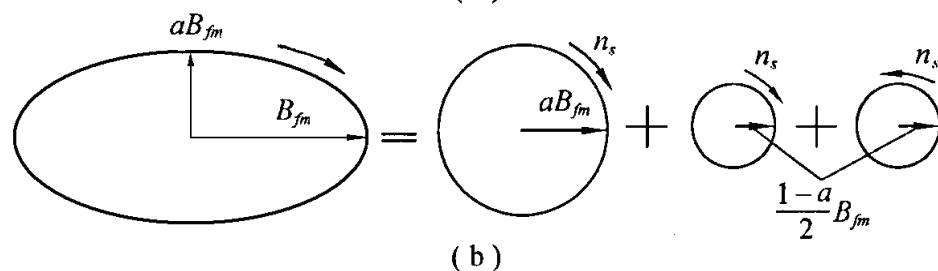
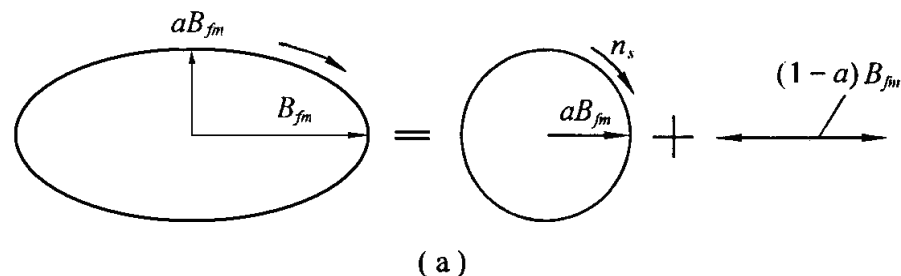
非圆形旋转磁场时两相电机的机械特性

两相伺服电动机主要工作在椭圆形旋转磁场

一、正反转磁场法

椭圆形磁场可以分解为两个圆形旋转磁场，它们转向相反，并且正向（与椭圆磁场转向相同）磁场大于反向磁场。

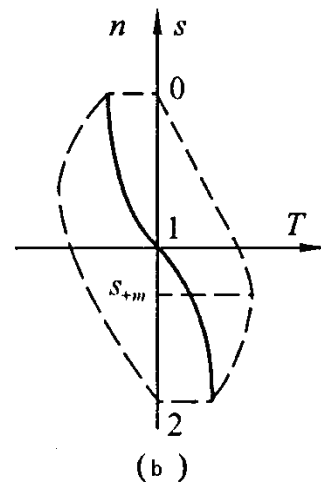
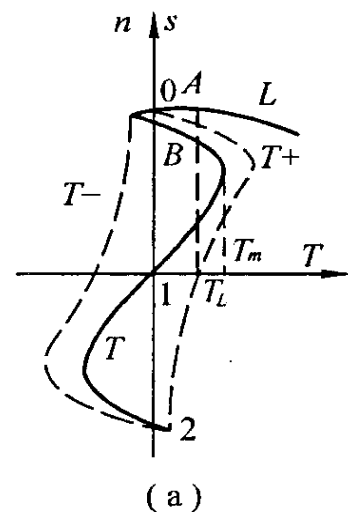
$$B_+ = \frac{1+\alpha}{2} B_{fm} \quad B_- = \frac{1-\alpha}{2} B_{fm}$$



非圆形旋转磁场时两相电机的机械特性

二、脉振磁场的机械特性

- 定子绕组产生脉振磁场：两相电机一相通电或三相电机一相断电，又称单相运行。
- 叠加法求转矩。 $T = T^+ + T^-$
- 曲线过原点，没有起动转矩。
- 驱动用电机：转子电阻小。原来转动的两相或三相电机，在一相断电后仍可转动。有自转。
- 伺服电动机：转子电阻大，机械特性在2，4象限。电磁转矩总是与转向相反，控制绕组电流（压）为零电机将很快停转。无自转。



非圆形旋转磁场时两相电机的机械特性

三、椭圆磁场的机械特性与调节特性

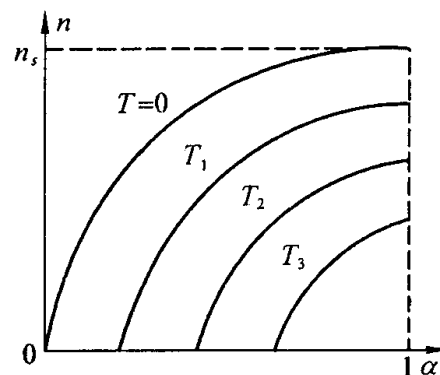
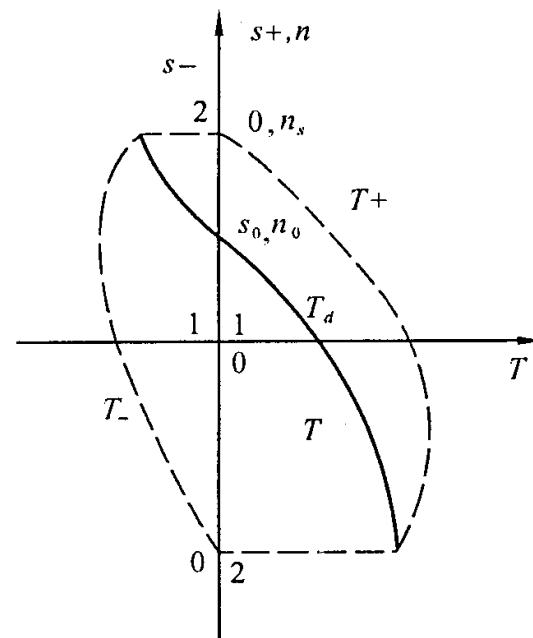
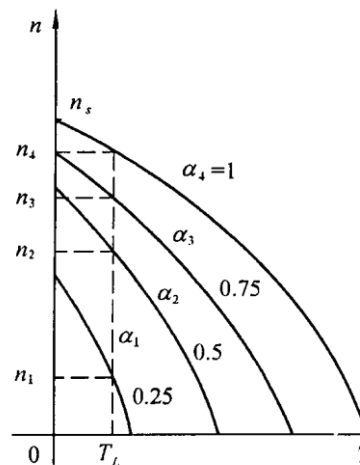
□ 叠加法求转矩。 $T = T^+ + T^-$

□ $n=0, s=1, T = T^+ + T^- > 0$

□ 以椭圆度 α 为参变量的机械特性

- 当负载不变时， α 越小，转速越小。
- 椭圆磁场理想空载转速低于磁场转速。

□ 根据机械特性曲线可绘出调节特性。

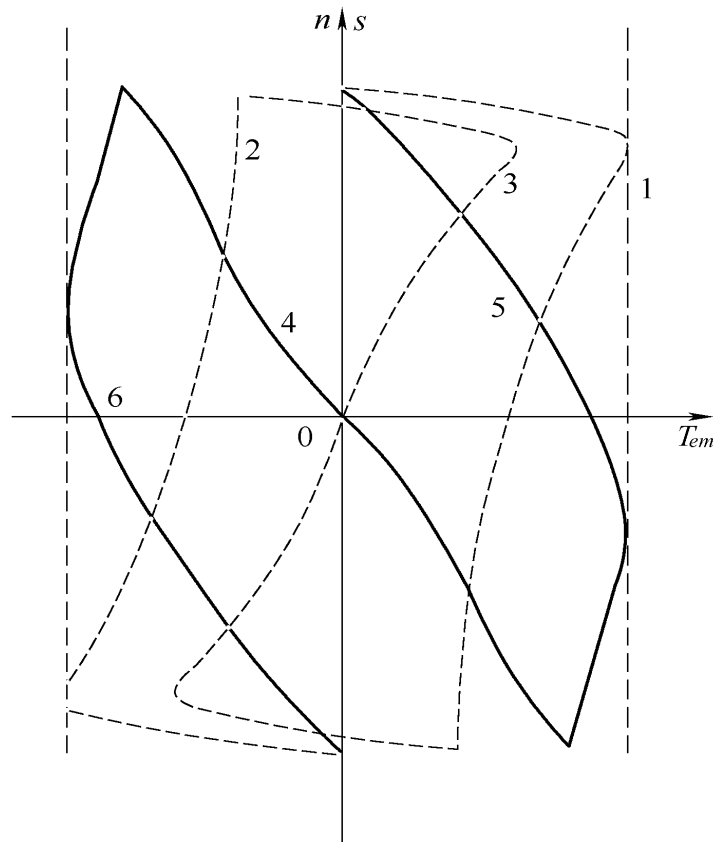


两相交流伺服电动机

- ▣ 交流伺服电动机的工作原理和电容分相式单相异步电动机相似。没有控制电压时，气隙中只有励磁绕组产生的脉动磁场，转子上没有启动转矩而静止不动。
- ▣ 当有控制电压且控制绕组电流和励磁绕组电流不同相时，则在气隙中产生一个旋转磁场并产生电磁转矩，使转子沿旋转磁场的方向旋转。
- ▣ 但是对伺服电动机要求不仅是在控制电压作用下就能启动，且电压消失后电动机应能立即停转。如果伺服电动机控制电压消失后像一般单相异步电动机那样继续转动，则出现失控现象，我们把这种因失控而自行旋转的现象称为自转。

两相交流伺服电动机

- ❖ 当控制电压消失，伺服电机处于单相运行。为消除自转，加大转子电阻 r_2 ，使临界转差率 $s_m > 1$ ，合成转矩特性曲线如图所示。
- ❖ 合成转矩的方向与电机旋转方向相反，是一个制动转矩，这就保证了当控制电压消失后转子仍转动时，电动机将被制动而停下。
- ❖ 转子电阻加大后，不仅可以消除自转，还具有扩大调速范围、改善调节特性、提高反应速度等优点。



伺服电动机单相运行时的M-S曲线

Thank You !

伊国兴

ygx@hit.edu.cn

