



电机与拖动**课件**之七

# 同步电机及同步电动机 的电力拖动

胡梦月、韩谷静

纺大电子电气



# 章节目录

6.1 同步电机的基本工作原理与结构

6.2 同步发电机的空载运行

**6.3 同步发电机的电枢反应**

6.4 同步发电机的负载运行

6.5 同步发电机的并联运行

6.6 同步电动机和同步调相机

6.7 同步电动机的电力拖动

同步发电机带负载运行时，设保持转子转速和励磁电流不变，发电机端电压会随着负载性质的不同而发生变化。

空载运行时

- 气隙中仅存在一个以同步转速旋转的主极磁场；
- 励磁磁动势 $F_{f0}$ 产生的励磁磁场；
- 在定子绕组中感应出空载电动势： $\vec{F}_{f0} \rightarrow \vec{E}_0$

接三相对称负载运行时

- 转子上主磁极直流励磁的磁动势 $F_{f0}$ ；
- 定子上交流励磁的磁动势 $F_a$ ；
- 以相同的转速同向旋转，合成气隙磁动势 $F_\delta$ 。

➤ **电枢反应：**电机带负载后，电枢磁动势的基波在气隙中使气隙磁通的大小及位置均发生变化，这种影响为电枢反应。

电枢反应的性质取决于**电枢磁动势**和**励磁磁动势**之间的相对位置，与励磁电动势 $\vec{E}_0$ 和电枢（定子）电流 $\vec{i}$ 之间的夹角 $\psi$ 有关。 $\psi$ 定义为**内功率因数角**，与负载性质有关。

励磁磁动势 $F_{f0}$ 和电枢磁动势 $F_a$ 的区别

	基波波形	大小	位置	转速	转向
励磁磁动势 $F_{f0}$	正弦波	恒定，由励磁电流决定	由转子位置决定	由原动机的转速决定	由原动机决定
电枢磁动势 $F_a$	正弦波	恒定，由电枢电流决定	由电流瞬时值决定	由磁极对数和电流频率决定	由电流相序决定





## 时间相量图中

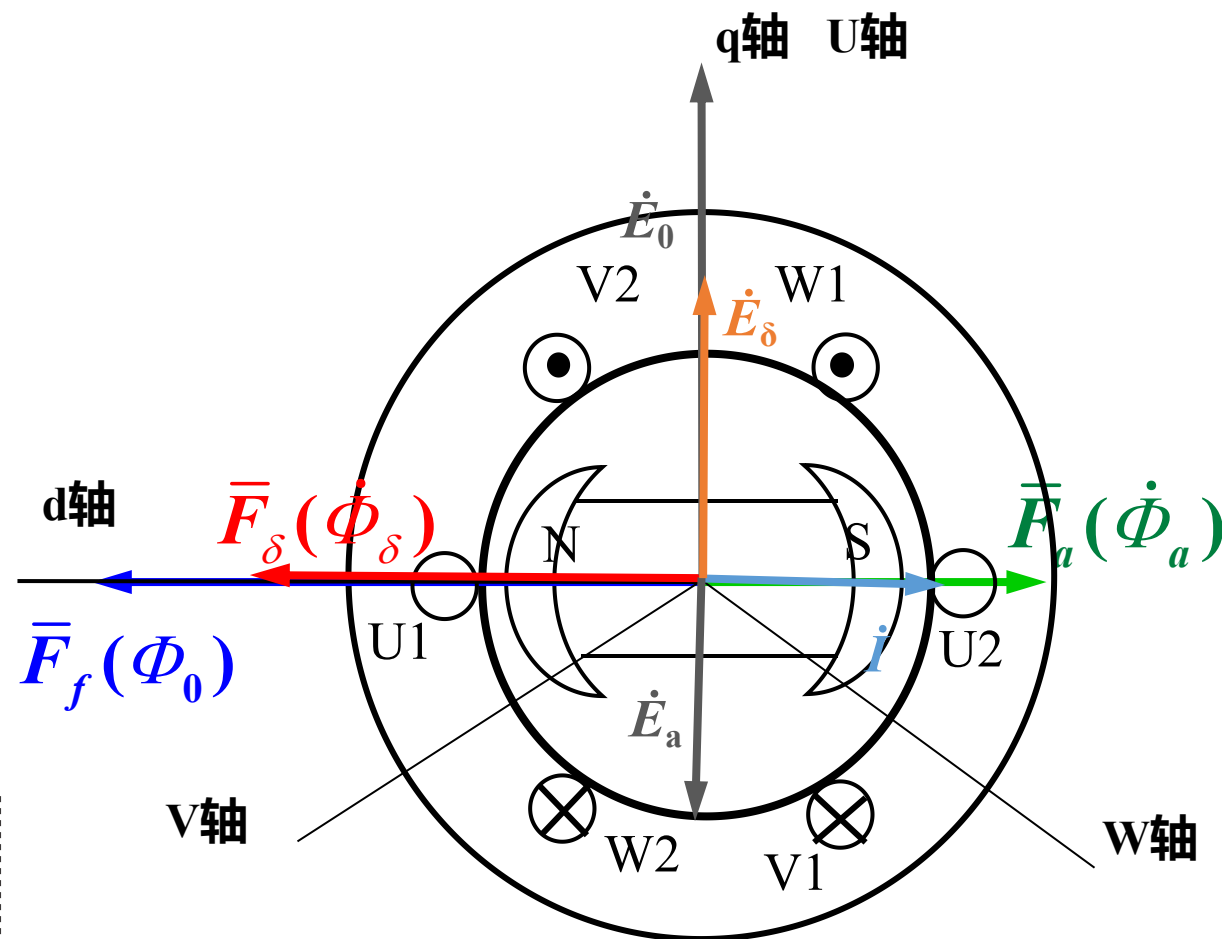
- $\dot{E}_0$  滞后于  $\dot{\Phi}_0$   $90^\circ$  ,  $\dot{I}$  滞后  $\dot{E}_0$   $90^\circ$  。

## 空间矢量图中

- 电枢磁动势  $F_a$  的方向与  $F_{fl}$  的方向相反。
- $F_a$  称为直轴电枢磁动势, 用  $F_{ad}$  表示。
- 电枢反应性质: 直轴去磁电枢反应。

## 时-空矢量图中

- $F_{fl}$  与  $\Phi_0$  位于同一方向, 即 d 轴上。
- $F_a$  与  $I$  都在 d 轴上。
- $F_a$  与  $F_{fl}$  方向相反。



## 时间相量图中

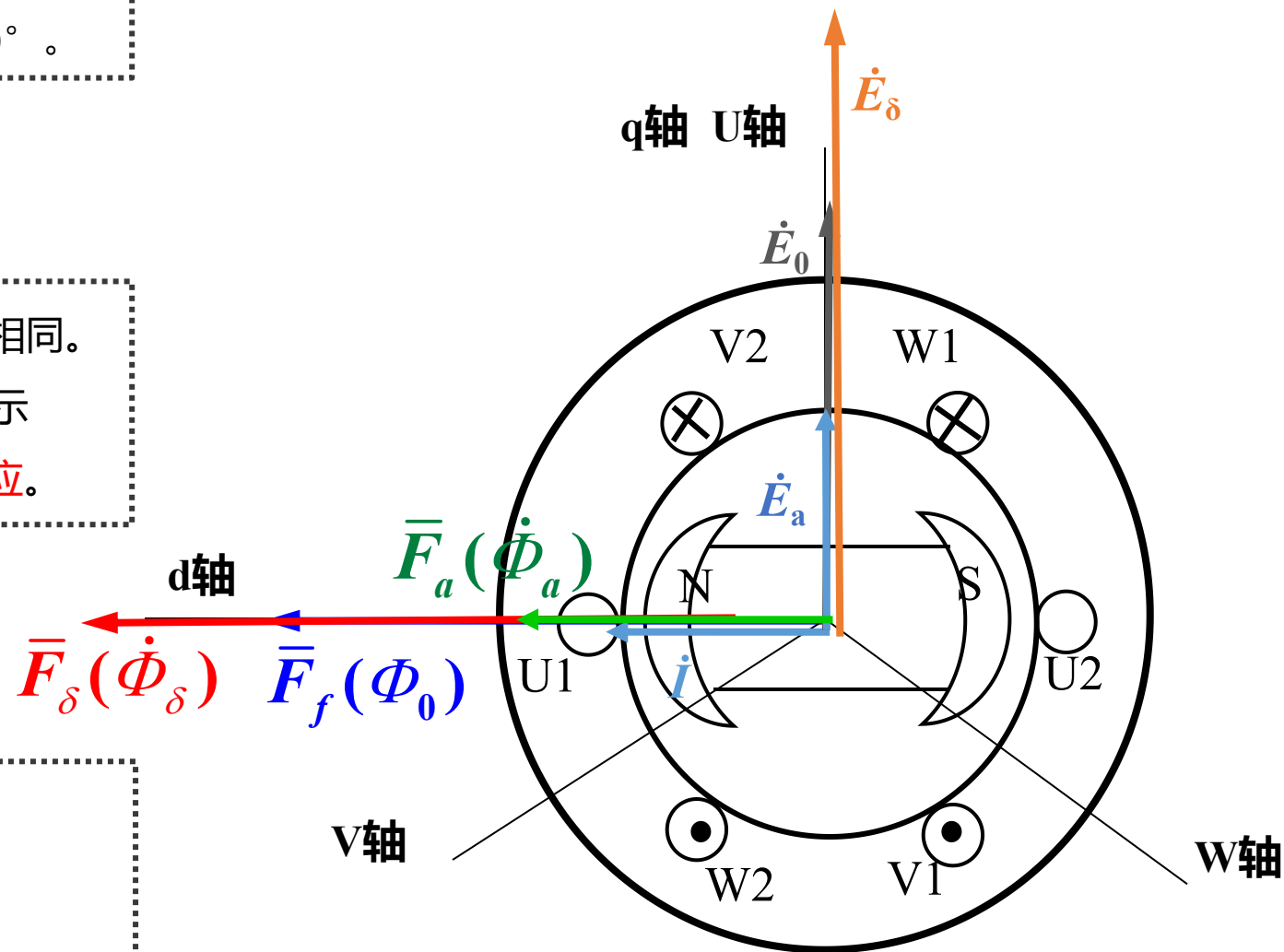
- $\dot{E}_0$ 滞后于 $\dot{\Phi}_0$   $90^\circ$ ， $i$ 超前 $\dot{E}_0$   $90^\circ$ 。

## 空间矢量图中

- 电枢磁动势 $F_a$ 的方向与 $F_{fl}$ 的方向相同。
- $F_a$ 称为直轴电枢磁动势，用 $F_{ad}$ 表示
- 电枢反应性质：**直轴助磁电枢反应**。

## 时-空矢量图中

- $F_{fl}$ 与 $\Phi_0$ 位于同一方向，即d轴上。
- $F_a$ 与 $i$ 都在d轴上。
- $F_a$ 与 $F_{fl}$ 方向相同。



## 时间相量图中

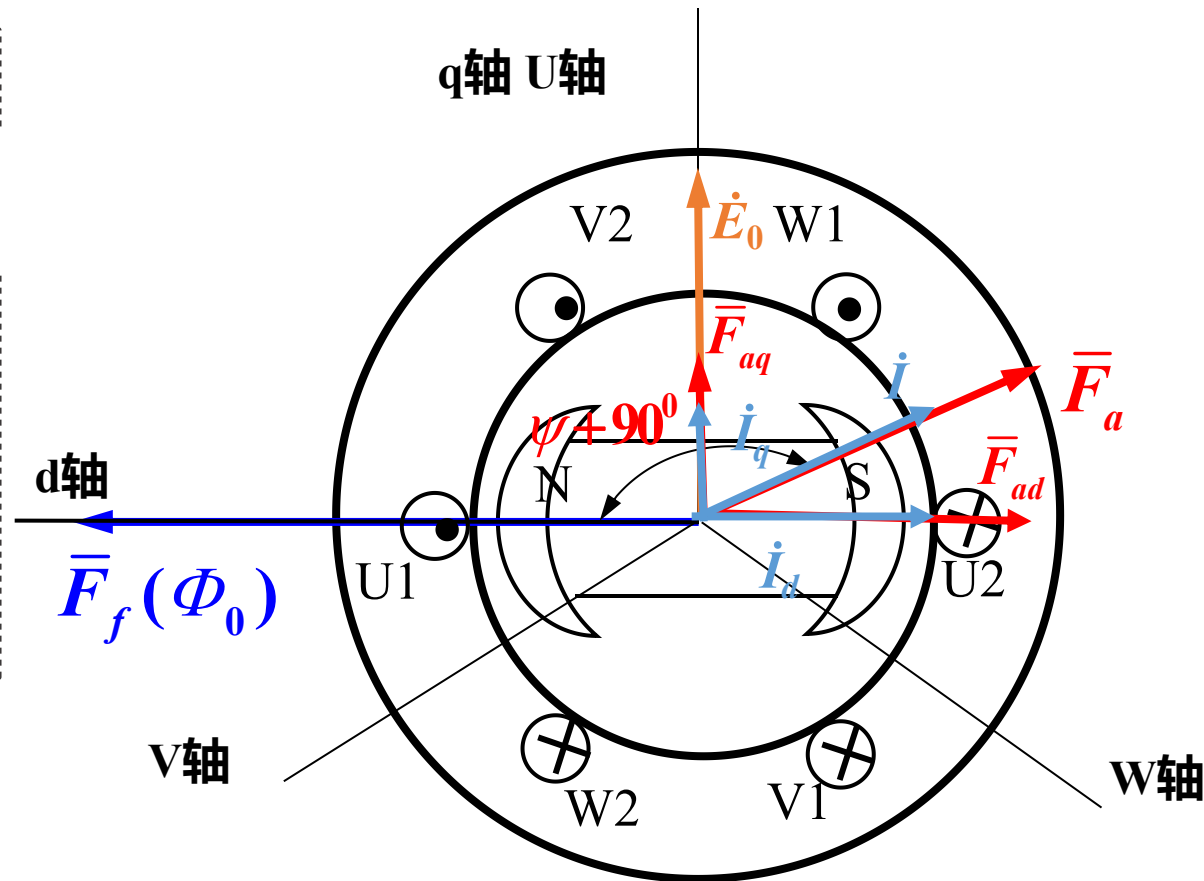
- $\dot{E}_0$  滞后于  $\dot{\Phi}_0$   $90^\circ$ ， $\dot{I}$  滞后  $\dot{E}_0$  一个锐角。

## 空间矢量图中

- 电枢磁动势  $F_a$  的滞后  $F_{fl}$   $\psi + 90^\circ$ 。
- 把  $F_a$  分解成直轴电枢反应磁动势  $F_{ad}$  和交轴电枢反应磁动势  $F_{aq}$  两个分量。
- 电枢反应性质：既有交轴，还有直轴去磁电枢反应

## 时-空矢量图中

- $F_{fl}$  与  $\Phi_0$  位于同一方向，即 d 轴上。
- $F_a$  与  $I$  的方向在 q 轴与 d 轴反方向之间。



此种情况下

$$\dot{I} = \dot{I}_d + \dot{I}_q$$

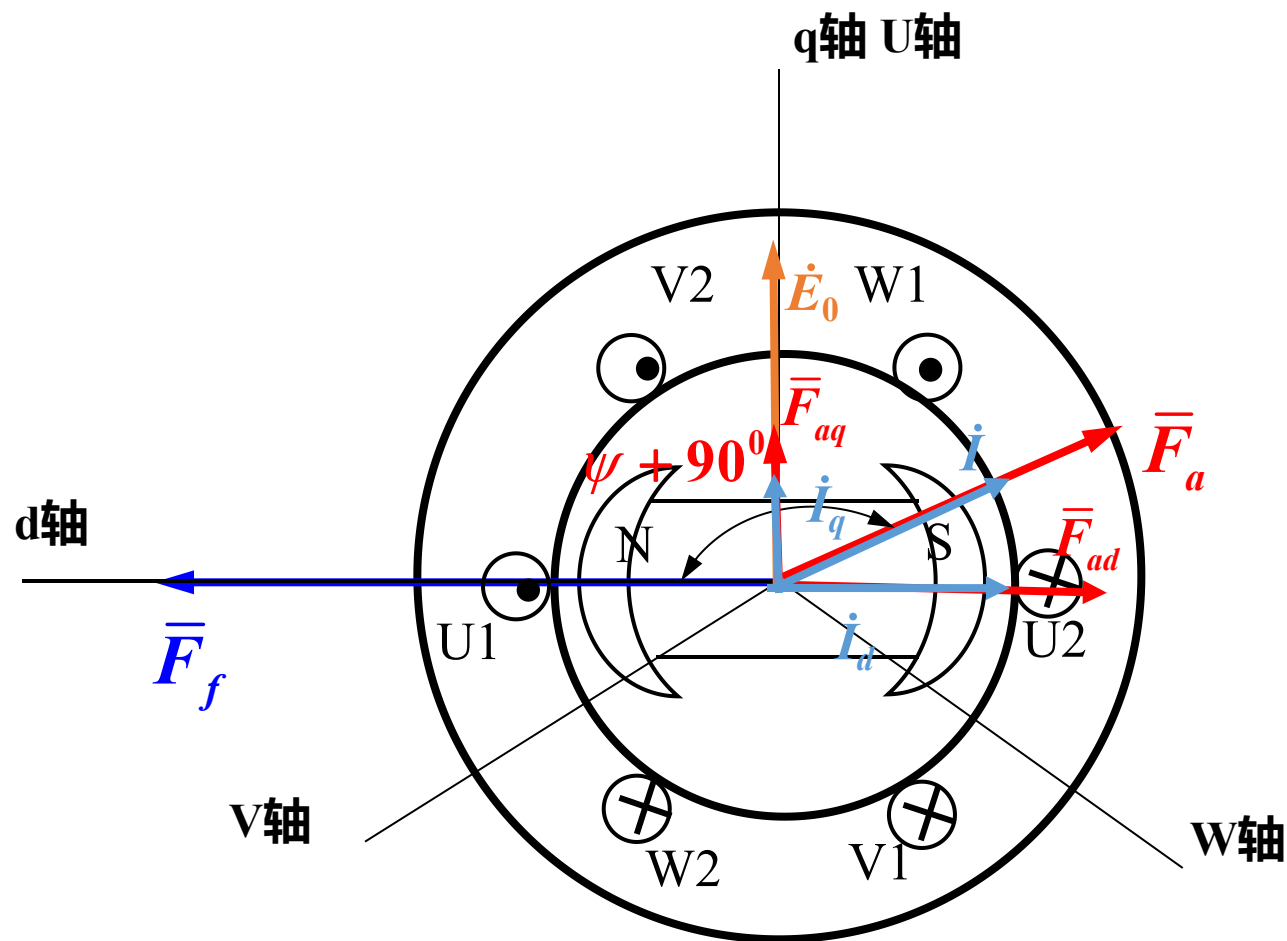
$$I_d = I \sin \psi \quad \text{--- 直轴分量} \quad \dot{I}_d \text{ 与 } \dot{E}_0 \text{ 成 } 90^\circ$$

$$I_q = I \cos \psi \quad \text{--- 交轴分量} \quad \dot{I}_q \text{ 与 } \dot{E}_0 \text{ 同相位}$$

$$\bar{F}_a = \bar{F}_{ad} + \bar{F}_{aq}$$

$$F_{ad} = F_a \sin \psi \quad \text{--- 直轴分量电流产生的合成磁动势}$$

$$F_{aq} = F_a \cos \psi \quad \text{--- 交轴分量电流产生的合成磁动势}$$





	$\overline{F}_a$ 位置	$\overline{F}_f$ $\overline{F}_a$ 夹角	$\overline{F}_a$ 记作	电枢反应 性质	对电机的影响			$\psi \approx \varphi$ 负载性质
					$\overline{F}_\delta$	$n(f)$	$U$	
$\psi = 0^\circ$	q轴	$\psi + 90^\circ$	$\overline{F}_{aq}$	交轴	波形畸 变	下降		R
$\psi = 90^\circ$	d轴		$\overline{F}_{ad}$	直轴去磁	削弱	不变	下降	L
$\psi = -90^\circ$	d轴		$\overline{F}_{ad}$	直轴助磁	增强	不变	上升	C
$0^\circ < \psi < 90^\circ$	d、q轴		$\overline{F}_{ad} + \overline{F}_{aq}$	交轴直轴 去磁	削弱	下降	下降	R、L
$-90^\circ < \psi < 0^\circ$	d、q轴		$\overline{F}_{ad} + \overline{F}_{aq}$	交轴直轴 助磁	增强	下降	上升	R、C



## 电枢反应的意义

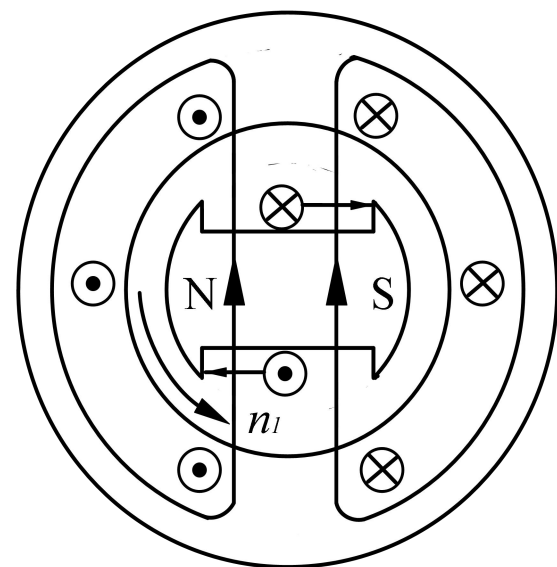
- 同步电机在负载运行时的重要物理现象；
- 不仅是引起端电压变化的主要原因（直轴）；
- 也是电机实现机—电能量转换的枢纽（交轴）。

## 1、交轴电枢反应

- 当  $\psi = 0^\circ$  时，交轴电枢反应磁动势是与空载电动势同相的  $I_q$  产生的， $I_q$  可以认为是  $I$  的有功分量。
- 交轴的电枢反应磁场与励磁电流共同作用，在转轴上产生制动性质的电磁转矩  $T_{em}$ 。

发电机要输出有功功率，原动机就必须克服由  $I_q$  所引起的阻力转矩。

输出有功功率  $\uparrow \rightarrow$  有功电流  $I_q \uparrow \rightarrow$  交轴电枢反应  $\uparrow \rightarrow T_{em} \uparrow \rightarrow$  原动机输入转矩  $\uparrow$ ，维持电机的转速不变。



$\psi = 0^\circ$

- 交轴电枢反应的存在是实现机——电能量转换的关键。



## 2、直轴电枢反应

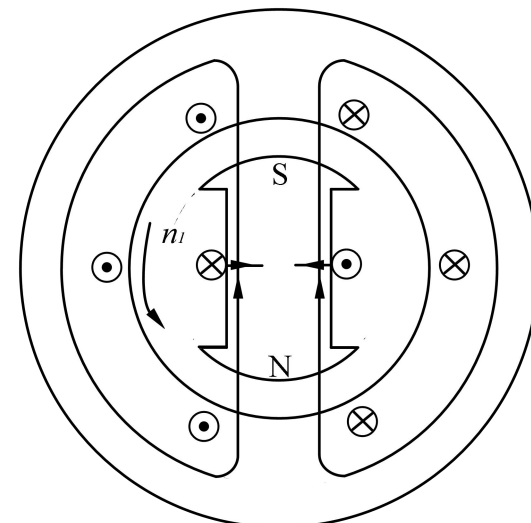
➤ 当 $\psi = 90^\circ$  (或 $-90^\circ$ ) 时, 直轴电枢反应磁动势是与 $E_0$ 成 $90^\circ$ 的 $I_d$ 产生的, 可以认为 $I_d$ 是 $I$ 的无功分量。

➤ 直轴电枢反应磁场与励磁电流共同作用, 在励磁绕组上产生电磁力, 但不能形成电磁转矩。

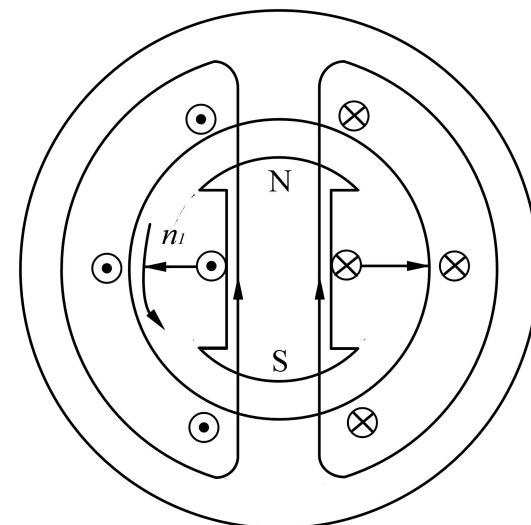
➤ 说明发电机带感性(或容性)无功负载时, 不需要原动机增加能量。

➤ 但是直轴去磁 (或助磁) 电枢反应对气隙磁场有去磁 (或助磁) 作用, 致使电压下降 (或上升)。为维持电压恒定所需的励磁电流也需要相应增加 (或减小)。

➤ **直轴电枢反应的存在是引起端电压变化的主要原因。**



$\psi = 90^\circ$



$\psi = -90^\circ$



#### 3、一般情况下

- 一般情况下，发电机既带有功负载，又带感性无功负载，既有交轴电枢反映，也有直轴电枢反映；
- 有功电流的变化影响发电机的转速及频率，无功电流的变化影响发电机的电压。

**为了保持发电机的频率和电压的稳定，必须随负载变化及时调节原动机的输入功率和励磁电流！**



# 小结

励磁磁动势 $F_{f0}$ 和电枢磁动势 $F_a$ 的区别

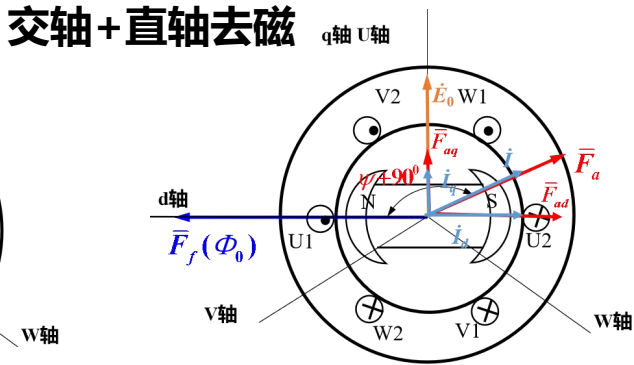
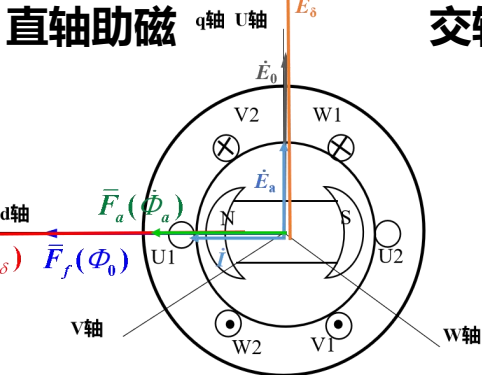
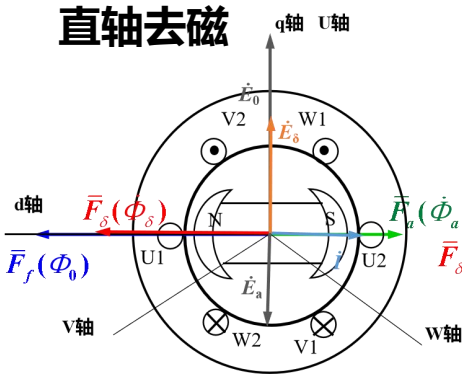
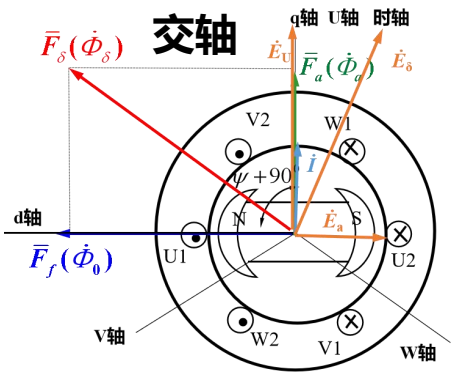
	基波波形	大小	位置	转速	转向
励磁磁动势 $F_{f0}$	正弦波	恒定，由励磁电流决定	由转子位置决定	由原动机的转速决定	由原动机决定
电枢磁动势 $F_a$	正弦波	恒定，由电枢电流决定	由电流瞬时值决定	由磁极对数和电流频率决定	由电流相序决定

1、两个磁动势

2、电枢反应的性质

电枢反应的性质取决于电枢磁动势和励磁磁动势之间的相对位置，与励磁电动势 $\dot{E}_0$ 和电枢（定子）电流 $\dot{i}$ 之间的夹角 $\psi$ 有关。 $\psi$ 定义为内功率因数角，与负载性质有关。

电枢反应



3、电枢反应的意义

➤ 电枢反应不仅是引起端电压变化的主要原因（直轴）；也是电机实现机—电能量转换的枢纽（交轴）。

交轴电枢反应—有功分量—频率—原动机（机电能量转换）

直轴电枢反应—无功分量—电压—励磁电流