

第三篇 同步电机

第十三章

同步电动机和同步调相机

第十二章 同步电动机和同步调相机

本章基本要求

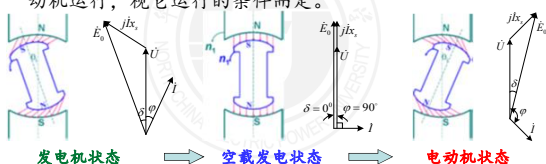
- 了解同步电动机和同步调相机的工作原理及特点
- 了解同步电动机的起动方法

第十三章 同步电动机和同步调相机

§ 13.1 同步电动机的基本方程式和相量图

一、电机的可逆原理

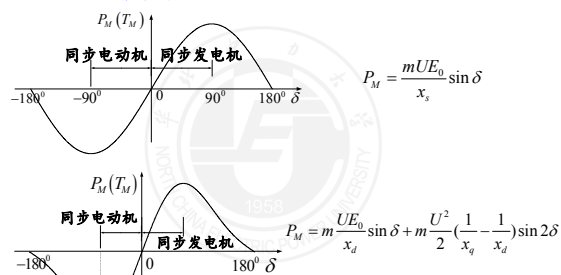
任何旋转电机既可以作为发电机运行，也可以作为电动机运行，视它运行的条件而定。



结论：发电机变为电动机运行时，功角和电磁转矩、电磁功率均由正变负，**电磁转矩由制动转矩变为驱动转矩。**

第十三章 同步电动机和同步调相机

从功角特性解释同步电机运行状态的变化：



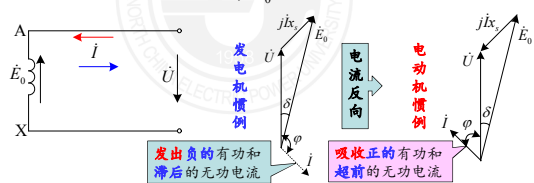
第十三章 同步电动机和同步调相机

二、同步电动机的电动势方程式和相量图

采用**发电机惯例**时，隐极同步电动机的电动势方程式为：

$$\dot{E}_0 = \dot{U} + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_s$$

对电动机而言，习惯上常采用**电动机惯例**规定正方向。这时 \dot{U} 应理解为外施电压， \dot{E}_0 为反电动势。



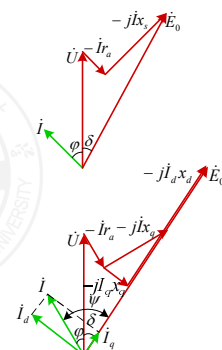
第十三章 同步电动机和同步调相机

隐极同步电动机的电动势方程式为：

$$\begin{aligned} \dot{E}_0 &= \dot{U} - \dot{I}r_a - j\dot{I}x_s \\ \dot{U} &= \dot{E}_0 + \dot{I}r_a + j\dot{I}x_s \end{aligned}$$

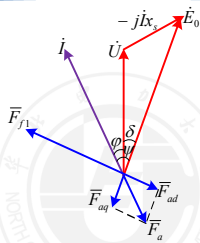
凸极同步电动机的电动势方程式为：

$$\begin{aligned} \dot{E}_0 &= \dot{U} - \dot{I}r_a - j\dot{I}_d x_d - j\dot{I}_q x_q \\ \dot{U} &= \dot{E}_0 + \dot{I}r_a + j\dot{I}_d x_d + j\dot{I}_q x_q \end{aligned}$$



第十三章 同步电动机和同步调相机

■ 时空相矢图



在电动机分析中，**电流的正方向取得相反**，正向电流与空间相轴正方向不符合右手螺旋，**正电流产生负的磁动势**，画时空相矢图时，当**电流超前于励磁电动势时，直轴电枢反应磁动势为去磁作用**。



-7-

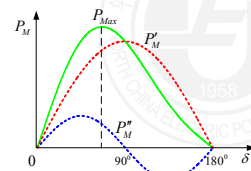
电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

三、功角特性和功率、转矩平衡关系

(1) 功角特性

定义电压 \dot{U} 超前 \dot{E}_0 的功率角为正，此时之电磁功率则为正值。



静态稳定判据：

$$\frac{dT_M}{d\delta} > 0 \quad \text{稳定}$$

$$\frac{dT_M}{d\delta} < 0 \quad \text{不稳定}$$

同步电动机的过载能力： $k_m = T_{max} / T_N$

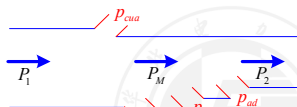


-8-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

(2) 功率关系



$$P_1 = P_{cu1} + P_M$$

$$P_M = p_{fe} + p_m + p_{ad} + P_2$$

(3) 转矩关系

$$\frac{P_M}{\Omega_1} = \frac{P_0}{\Omega_1} + \frac{P_2}{\Omega_1}$$

$$T_M = \frac{P_M}{\Omega_1} \quad \text{为电动机的电磁转矩}$$

$$T_0 = \frac{P_0}{\Omega_1} \quad \text{为电动机的空载转矩}$$

$$T_M = T_0 + T_2$$

$$T_2 = \frac{P_2}{\Omega_1} \quad \text{为电动机的输出转矩}$$



-9-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

§ 13.2 同步电动机的V形曲线

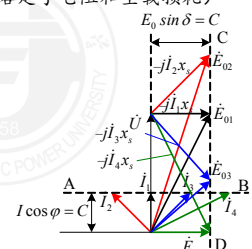
定义：负载不变，电枢电流和励磁电流之间的关系曲线。

■ 以隐极电动机为例（忽略定子电阻和空载损耗）

$$P_1 \approx P_M \approx P_2 = \text{常数}$$

$$\begin{cases} P_M = \frac{mUE_0}{x_s} \sin \delta = \text{常数} \\ P_1 = mUI \cos \varphi = \text{常数} \end{cases}$$

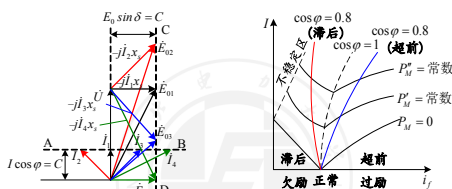
$$\Rightarrow \begin{cases} E_0 \sin \delta = \text{常数} \\ I \cos \varphi = \text{常数} \end{cases}$$



-10-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机



电网上主要的负载是异步电动机和变压器，它们都要从电网中吸收电感性无功功率，如果运行在电网上的同步电动机工作在**过励状态**，它们从电网中**吸收电容性无功功率**（即向电网发出感性无功功率），从而提高了电网的功率因数。

改变励磁可以调节同步电动机的功率因数是其最可贵的特性。



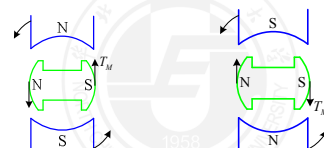
-11-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

§ 13.3 同步电动机的起动方法

一、同步电动机起动能力分析



接通励磁后起动电动机的电磁转矩

结论：转子承受交变的脉振转矩，同步电动机**不具有**自起动能力。



-12-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

二、同步电动机的起动方法

(1) 辅助电动机起动

方式一：选用和同步电机有**相同极数的异步电动机**作为辅助电机，带动同步电动机转子**接近同步速**，然后合闸并立即加上励磁，利用**自整步**拉入同步。

方式二：选用比同步电机**少两极的异步电动机**作为辅助电机，拖动同步电动机转子**高于同步速**后拉断电源，当转速降到同步速时再将其投入电网。

缺点：不能在负载下起动，否则需要辅助电机很大容量。

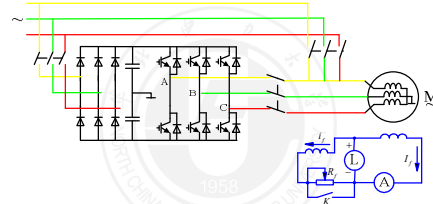


-13-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

(2) 调频起动



方法：起动时需要把调频电源的频率调得很低，然后逐渐增加电源频率直至额定频率为止。

缺点：需要一套变频电源，设备昂贵。

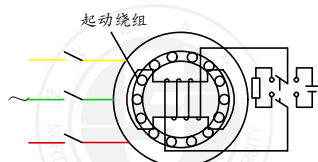


-14-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

(3) 异步起动



方法：加装一套采用类似于异步电动机笼型绕组的起动绕组。起动时励磁回路串接10倍的附加电阻，转速升到接近同步速时，再接入励磁电流。



-15-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

§ 13.5 同步调相机

一、同步调相机应用的必要性

◆ **问题：**电网的负载（主要是异步电动机和变压器）需要从电网吸取感性无功功率，而使**电网的功率因数降低，减少了有功功率的传输能力。**

◆ **方法：**在适当地点把负载所需的**感性无功功率就地供给**，避免远距离输送，则既减小线路损耗和电压降，又可减轻发电机的负担而充分利用它的容量，应用**同步调相机**便是解决这一问题的一个很有效的方法。



-16-

电力工程系

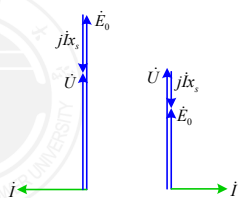
第十三章 同步电动机和同步调相机

二、同步调相机的原理

定义：不带机械负荷，运行于电动机状态，专用来改善电网功率因数的同步电机。

忽略全部损耗，则电枢电流全是无功分量，其电动势方程式为： $\dot{U} = \dot{E}_0 + j\dot{I}x_s$

原理：过励时可看作是电网的一个电容性无功负载，而欠励时则为一个电感性的无功负载，只要调节励磁电流，就能灵活地调节它的无功功率。



-17-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

三、同步调相机的特点

- 1) 同步调相机的**额定容量**是指它在**过励时的视在功率**。励磁绕组是根据最大励磁电流引起的发热来设计的，而**欠励运行时的容量只有过励容量的0.5~0.65倍**。
- 2) 由于同步调相机不拖动机械负荷，它的气隙比同步发电机和同步电动机的都要**小些**，因此，它的**直轴同步电抗 x_d 较大**，其标么值往往可达2以上。
- 3) 同步调相机**极数较少，转速较高**，由于它不带机械负载它的**转轴**可以设计得**细些**。



-18-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

四、同步调相机的起动问题

- ◆ 同步调相机与同步电动机一样，面临**无法自启动**问题。可采用辅助电动机法或**异步启动**法起动，以后者为多。
- ◆ 由于同步调相机容量较大，在**异步启动投入电网时**，**相当于投入一个很大的电感负载**，将显著地降低同步调相机接入处电压，而严重影响附近其它用电设备的正常运行。因此，通常要在**定子回路中串入电抗器起动**，以限制起动电流。



-19-

电力工程系

第十三章 同步电动机和同步调相机

五、同步调相机的装设

- 1) 为了减小无功电流在线路上产生损耗和压降，一般把同步调相机**装设在受电端**。
- 2) 在**长距离输电线路**中，为了提高输电的稳定性，也有在**输电线中间加装**同步调相机的，叫做中间补偿。



-20-

电力工程系