

# 2024 年下半年期考——电机

## 第七章 同步发电机

### 7-1 同步发电机的原理

1. 同步发电机定义：
  - 同步机指的是以同步转速运转的电机，包含同步发电机与交流发电机。
  - 原理与直流发电机相似，但换向器由滑环取代。
2. 基本原理：
  - 交流发电机和直流发电机的磁场绕组都需要直流激磁。
  - 交流发电机的转速需配合频率与极数，以维持固定的同步转速 ( $n = \frac{120f}{P}$ )。
  - 导体切割磁场会产生感应电势，电枢绕组的感应电压直接输出。
  - 绕组每经一对磁极,导体即产生一周交流电压。
  - 每相感应电势的平均值与有效值分别为：
    - $E_{av} = 4Nf\phi$
    - $E_{rms} = 4.44Nf\phi$
3. 大型交流机的定子：
  - 定子中附有散热水管的电枢绕组，并且在导体内或导体边有洞或通孔，用于冷却铜损所产生的热量以降低温度。。
4. 三相交流电机：
  - 电枢绕组的各相线圈互隔  $120^\circ$  电工度。
  - 高压大型机通常采用 Y 接线，以提高线电压、降低线电流。
5. 分布绕组：
  - 每相每极线圈分散在多个槽中，改善散热，有较大的空间容纳线圈和绝缘材料，增加电机容量，改善电压波形。
6. 转子类型：
  - 隐极式转子：轴长、风阻小，适合高速机使用（如涡轮发电机）。
  - 凸极式转子：风阻大，适用于低速多极的同步机（如水力发电机），磁极面上设有与轴平行的槽孔插入两端阻尼绕组，用于防止追逐作用。

### 7-2 同步发电机的分类及构造

1. 依转子型式分类：
  - 旋转电枢式同步发电机（转电式）：
    - 电枢绕组在转子，磁场绕组在定子。
    - 缺点：易产生火花及磨损，绕组空间有限，需顾及离心力及机械平衡问题。
  - 旋转磁场型同步发电机（转磁式）：
    - 磁场绕组在转子，电枢绕组在定子。
    - 优点：空间宽敞易容纳线圈和绝缘材料，易产生高电压大电流，减少滑环及碳刷的维护。
  - 旋转感应铁芯式（感应式交流发电机）：
    - 转子为铁芯，无绕组，适合高速运转，产生高频交流电。
2. 依原动力分类：
  - 水轮发电机：多极、低转速、凸出磁极式转子，垂直式装置。100rpm 至 1000rpm 之间。水轮机放在最下层。
  - 涡轮发电机：由汽轮机或气轮机驱动，少极高转速，横轴装置。1500rpm 至 3600rpm 之间。

- 引擎发电机：由内燃机驱动，多为备用发电机，转速范围在 300rpm 至 1800rpm 之间。
3. 依外型分类：
    - 轻便型、拖车型、定置型。
  4. 依激磁方式分类：
    - 直流激磁机式：与主发电机同轴运转。
    - 交流激磁机式：通过小型交流发电机整流后提供直流。
    - 复式激磁式：大容量同步机使用。
    - 自激式：利用自身产生的交流电整流后激磁。
  5. 同步交流发电机的构造：
    - 定子与感应电动机相同。
    - 转子有凸极式和隐极式两种型式，带有阻尼绕组以抑制追逐现象。
    - 冷却方式有空气冷却、氢气冷却、水冷式和油冷式。

#### 7-4 同步发电机的并联运用

1. 并联运用的好处：
  - 不受单机容量限制，提高系统效率。
  - 便于轮流维护，增强供电可靠性。
2. 并联运用的条件：
  - 感应电势大小、相位、波形必须相同，且频率相等。
  - 三相同步发电机的相序必须相同。
3. 频率不同的影响：
  - 两台并联同步发电机之间会产生差频电压，可能导致大循环电流和全面停机。
4. 同步检定方法：
  - 同步检定器：用于检测相位和频率的差异。
  - 同步检验灯三暗法：利用三个电灯，三点全暗时表示同步。
5. 追逐现象：
  - 负载突然变动时，转子会来回振荡前后摆动，严重时可能脱步，无法运转。
  - 阻尼绕组的作用是抑制追逐现象，确保同步机稳定运转。

## 第八章 同步电动机

### 8-1 同步电动机的原理及构造

- 构造与旋转磁场：
  - 同步电动机的构造与同步发电机相同，转子采用凸极式，有电磁转矩和磁阻转矩两种。
  - 同步发电机不需改变结构即可成为同步电动机。
- 同步运转：
  - 磁化的磁极与旋转磁场相互吸引，使转子以同步转速运行，不论负载大小，转速始终为同步转速 ( $n_s = \frac{120f}{P}$ )。
  - 同步电动机的转子磁场由直流激磁，转子极性不变，跟随旋转磁场同步运转。
- 起动特性：
  - 起动时，转子无法跟上旋转磁场的速率，需要外力或其他方式使转速接近同步，再加直流电源进行激磁。
- 负载特性：
  - 无载时，转子紧随定子的旋转磁场。负载时，磁力线拉长，转子与定子磁场之间存在滞后角度（负载角或转矩角）。
  - 负载越大，转矩角越大；激磁电流增大则转矩角减小。
- 反电势：
  - 无载时，反电势与电源电压大小相等而相位相反。
  - 负载时，转矩角形成电压差，驱使负载电流流入电枢绕组，负载增加则电压差和电枢电流增加。

### 8-2 同步电动机的特性及等效电路

- 功率计算：
  - 每相输入功率： $P_i = VI_a \cos \theta$
  - 每相输出功率： $P_o = P_m = VI_a \cos \theta - I_a^2 R$
- 转矩计算：
  - 电磁转矩： $\tau = \frac{P_m}{\omega_s} = \frac{3VE_b}{\omega_s X_s} \sin \delta_m$
  - 同步角速率： $\omega_s = \frac{4\pi f}{P} = 2\pi \left( \frac{n_s}{60} \right)$
  - 负载角范围： $0^\circ \sim 70^\circ$ ，满载时约为  $20^\circ$ ，脱出转矩角在  $50^\circ \sim 70^\circ$ 。
- 同步电抗与电枢反应：
  - $X_s$  为同步电抗，负载增大时，负载角增大，但转速保持不变。
  - 电枢反应分为助磁、去磁和交磁效应，取决于激磁情况。
- 功率因数与调节：
  - 三相同步电动机有效总功率  $P = \sqrt{3}VI_a \cos \theta$
  - 调整激磁电流可以调整同步电动机的功率因数，达到最小电枢电流时功率因数为 1。

### 8-3 同步电动机的起动方法

- 阻尼绕组起动法：
  - 又称自动起动法，适用于无载或轻载同步机。
  - 转速达到同步转速的 95% 以上时加直流激磁。
- 变频起动法：
  - 通过变频控制提供逐步增加的频率，使定子产生从慢到快的旋转磁场，带动转子起动。
- 他机带动起动法：
  - 通过其他电动机或原动机驱动同步电动机至接近同步转速，再加电源运转。
- 激磁机起动法：
  - 利用激磁机作为直流电动机起动同步电动机。

## 8-4 同步电动机的运用

1. 优点：
  - 固定频率下转速恒定，可调整功率因数，效率高，机械故障率低。
2. 缺点：
  - 需要直流励磁，起动转矩小，操作复杂，构造复杂且费用高，不适合频繁起动和停止的场合。
3. 应用领域：
  - 带动定速负载、提高功率因数、调整线路电压，小型同步电动机用于计时器等。
4. 同步调相机：
  - 专门用于改善功率因数，通常用于过激状态，作用类似于电容器。
  - 通过同步调相机改善功率因数，减少线路电流、压降及损失，增加系统容量。
  - 功率因素由  $\cos \theta_1$  改善至  $\cos \theta_2$  所需之容量为
 
$$Q = P_L \left( \frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} - \frac{\sin \theta_2}{\cos \theta_2} \right) = P_L (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$
  - 线路电容计算公式：
    - 单相电路：  $C = \frac{Q_C}{2\pi f V^2}$
    - 三相 Y 接线：  $C = \frac{Q_C}{2\pi f V^2}$
    - 三相  $\Delta$  接线：  $C = \frac{Q_C}{6\pi f V^2}$

## 第九章 特殊电机

### 9-1 步进电动机

1. 工作原理:
  - 步进电动机工作于脉冲电压，每接收到一个脉冲，电机转动一个固定角度。
  - 电机连续运转需要持续加脉冲，其转速与脉冲频率成正比。
  - 停止脉冲供应时，步进电动机会急速停止，并保持在固定位置，对外力产生大阻力。
2. 角度误差:
  - 步进电动机的转子偏转角度误差不会累积，每次转动都会针对下一个磁场，不延续之前的误差。
3. 步进角计算:
  - 步进角  $\theta = \frac{360^\circ}{mN}$
  - 转速频率  $f = \frac{nN}{60}$
4. 依转子构造分类:
  - 变阻型 (VR) 又称磁阻型。
  - 永久磁铁型 (PM)。
  - 混合型 (HB): 转矩大、步进角小、精度高，是目前最广泛使用的机种。
5. 驱动方式:
  - 每步仅有一相激磁时，转子振荡剧烈。
  - 一般采用二相激磁方式，使步进时振动较小，转矩较强。
6. 步进电动机的应用:
  - 常用功率半导体固态元件如 BJT、MOSFET 作为开关。
  - 用于电脑周边设备，如印表机的纸张输送。
  - 应用于数值控制的工具机及自动化设备。
  - 步进电动机的转矩随转速上升而下降，不适于高转速场所。

### 9-2 伺服电动机

1. 伺服系统:
  - 控制机械位移、转速、角度的闭环控制系统。
  - 伺服电动机用于操作机械负载的驱动马达。
2. 伺服电动机特性:
  - 起动转矩大。
  - 转子惯性小。
  - 能正反转。
  - 摩擦小，在很小的电压下即可运转。
3. 直流伺服电动机结构:
  - 转轴机械强度强，应付较大的机械应力。
  - 采用低惯性转子，能够急转急停，缩短反应延迟时间。
  - 采用细长转子，转子直径与换向器相同大小。
4. 控制方式:
  - 电枢控制式：磁场大小固定，由伺服放大器供给电枢电压和电流。
    - ▶ 优点：起动转矩大、响应快、再生制动快、控制特性线性良好。
  - 磁场控制法：电枢电流一定，由伺服放大器控制磁场的激磁。
    - ▶ 缺点：电枢一直有电流流通，铜损大，效率低；响应较差；无再生制动。
5. 直流伺服电动机的优缺点:
  - 优点：控制性佳，控制装置价廉。
  - 缺点：因电刷和换向器装置存在，易有电刷磨损和火花问题。

6. 交流伺服马达:

- 二相伺服电动机又名平衡马达，定子具有二相绕组：激磁绕组和控制绕组。
- 转矩大小和转向由控制绕组电流大小或相位差控制，类似单相电容运转式感应电动机。

7. 控制方式:

- 电压控制方式：控制绕组电压大小，控制转矩及转速，电路简单，但易受干扰。
- 相位控制方式：改变主绕组与控制绕组的相位差控制转矩及转向，较不受电源杂讯影响，但消耗电力大、温度高。
- 电压相位混合控制方式：目前最常使用的方式。

8. 优缺点:

- 优点：无需电刷、换向器，摩擦小、不生火花，故障少；转子直径小，结构坚固。
- 缺点：转子绕组电阻高，易发热，效率低，需要散热装置。

### 9-3 无刷马达

1. 特点:

- 使用电子固态电路取代电刷和换向器。
- 优点：寿命长、可以密封、减少摩擦、高效率。

2. 工作原理:

- 采用转磁式，电枢为定子而转子为磁铁。
- 具有转子磁场位置感测器，反馈位置信息给切换电路，使转子持续转动。
- 常用的转子位置感测器为霍尔效应检测器。

3. 霍尔效应:

- 根据佛来铭左手定则，半导体内多数载子受磁场作用会偏移，产生称为霍尔电压的电动势。
- 磁场方向不同，电动势极性不同。无刷马达内使用 2 个或更多的霍尔元件。

### 9-4 线性电动机

1. 分类:

- 线性感应马达
- 线性同步马达
- 直流线性马达
- 线性步进马达
- 线性磁阻马达
- 线性往复运动马达

2. 线性感应电动机:

- 次级侧称为反作用板，初级侧接多相电流产生移动磁场，两者之间有相对运动的推力。
- 不需机械传动机构即可产生直线方向的驱动力。

3. 应用:

- 适用于需要直线运动的场合，如电动门、输送带、布帘移动、电脑周边装置、磁浮火车等。