

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励。
 - 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°电角度。
 - 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. 依激励方式分类：
 - 直流励磁机式：与主发电机同轴运转。
 - 交流励磁机式：通过小型交流发电机整流后提供直流。
 - 复式励磁式：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励。
- 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°~70°，满载时约为 20°，脱出转矩角在 50°~70°。
- 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

- 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。
- 缺点：
 - 需要直流激磁，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。
- 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。
- 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： $C = \frac{Q_C}{2\pi fV^2}$
 - 三相 Y 接线： $C = \frac{Q_C}{2\pi fV^2}$
 - 三相 Δ 接线： $C = \frac{Q_C}{6\pi fV^2}$

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:
 - 每步仅有一相激励时，转子振荡剧烈。
 - 一般采用二相激励方式，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:
 - 转轴机械强度高，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励。
 - 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：激励绕组和控制绕组。
 - 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，电极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。