

# 2025 异步电机课后作业题 - 参考解答

## 一、问答题

1. 单相绕组通入直流电、单相绕组通入交流电、以及两相对称绕组通入两相对称交流电，各形成什么磁场？它们的气隙磁通密度的基波在空间怎样分布？在时间上又怎么变化？

知识点来源： LEC16 (旋转磁场原理)

- 单相绕组通入直流电：
  - 磁场性质：恒定磁场。
  - 空间分布：位置固定不动。基波按正弦规律在空间分布（如果是整距分布绕组）。
  - 时间变化：大小和方向恒定不变。
- 单相绕组通入交流电：
  - 磁场性质：脉振磁场（驻波）。
  - 空间分布：磁场轴线位置固定不动。基波在空间按正弦分布。
  - 时间变化：磁场的大小随时间按正弦规律脉动（即在正负最大值之间变化），但轴线位置不旋转。
- 两相对称绕组通入两相对称交流电：
  - 磁场性质：圆形旋转磁场（行波）。
  - 空间分布：合成磁场的幅值恒定，波形在空间按正弦分布。
  - 时间变化：磁场轴线随时间在空间连续旋转，大小（幅值）保持不变。

2. 当两相绕组匝数相等和不相等时，加在两相绕组上的电压及电流应符合怎样条件才能产生圆形旋转磁场？

知识点来源： LEC16 (椭圆与圆形磁场条件)

产生圆形旋转磁场的必要条件是：两相合成的磁动势矢量在空间幅值恒定且匀速旋转。

- 空间条件：两相绕组在空间上互差  $90^\circ$  电角度。
- 时间条件（电流条件）：
  - 当匝数相等 ( $N_\alpha = N_\beta$ ) 时：只需两相电流大小相等 ( $I_\alpha = I_\beta$ )，且在时间相位上互差  $90^\circ$ 。
  - 当匝数不相等 ( $N_\alpha \neq N_\beta$ ) 时：需要两相产生的磁动势幅值相等，即  $N_\alpha I_\alpha = N_\beta I_\beta$ 。因此，电流的大小必须与匝数成反比，且时间相位仍需互差  $90^\circ$ 。

3. 当电机的轴被卡住不动，定子绕组仍加额定电压，为什么电流会很大？电动机从启动到接近同步转速时，转子绕组电流的频率、电势及电抗会有什么变化？为什么会有这些变化？

知识点来源： LEC17 (转差率s对转子参数的影响)

### • 为什么堵转电流很大？

- 当轴被卡住 ( $n = 0$ ) 时，转差率  $s = 1$ 。此时旋转磁场以最大相对速度切割转子导体，转子感应电动势  $E_2$  达到最大值。
- 同时，转子频率  $f_2$  最高（等于电源频率），但转子漏抗  $X_2$  虽大，转子侧等效电阻  $R_2/s = R_2$  最小（相当于变压器副边短路）。
- 由于电磁感应作用，巨大的转子电流产生的去磁磁动势，迫使定子从电源吸取很大的电流分量来平衡它（维持主磁通）。这类似于变压器的副边短路状态，因此定子电流非常大（通常是额定电流的 4-7 倍）。

### • 从启动到同步转速的变化及原因：

随着转速  $n$  升高，转差率  $s = (n_1 - n)/n_1$  逐渐减小（从  $1 \rightarrow 0$ ）。

- 转子电流频率  $f_2 = sf_1$ ：减小。因为转子与旋转磁场的相对速度减小。
- 转子感应电势  $E_{2s} = sE_{20}$ ：减小。因为切割磁感线的速度变慢。
- 转子感应电抗  $X_{2s} = sX_{20} = 2\pi(sf_1)L_2$ ：减小。因为频率  $f_2$  降低。

## 4. 三相异步电动机转子从定子中取出后，给定子绕组短时加额定电压，定子电流如何变化？为什么？

知识点来源： LEC17 (磁路与励磁电流)

### • 变化：定子电流会急剧增大，甚至烧毁绕组。

### • 原因：

- 异步电机依靠定子产生的主磁通  $\Phi_m$  来感应电势，根据公式  $U_1 \approx E_1 = 4.44fN_1\Phi_m$ ，当外加电压  $U_1$  不变时，主磁通  $\Phi_m$  基本保持不变。
- 取出转子后，磁路中原本很小的气隙变成了巨大的空气隙。空气的磁导率远小于铁心，导致磁阻  $R_m$  剧增。
- 根据磁路欧姆定律  $\Phi_m = F/R_m = (N_1I_m)/R_m$ ，为了维持同样的磁通  $\Phi_m$ ，励磁磁动势  $F$ （即励磁电流  $I_m$ ）必须成倍增加。此时定子电流几乎全部变为巨大的励磁电流。

## 二、计算和证明题

证明电机合成的基波磁场是圆形旋转磁场。

(注：题目中  $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$  和  $i = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ)$ ，设绕组轴线在空间也互差  $90^\circ$ ，例如 A 相在  $0^\circ$ ，B 相在  $-90^\circ$ )

证明过程：

### 1. 写出两相电流产生的脉振磁动势表达式：

设两相绕组 A 和 B 的有效匝数相同，产生的磁动势幅值为  $F_m$ 。

- A 相磁动势（轴线在空间角  $\theta = 0$  处）：

$$f_A(\theta, t) = F_m \sin(\omega t) \cos(\theta)$$

- B 相磁动势（轴线在空间角  $\theta = -90^\circ$  处，电流滞后  $90^\circ$ ）：

$$f_B(\theta, t) = F_m \sin(\omega t - 90^\circ) \cos(\theta - 90^\circ)$$

## 2. 利用三角公式化简：

- 对于 B 相：

$$\sin(\omega t - 90^\circ) = -\cos(\omega t)$$

$$\cos(\theta - 90^\circ) = \sin(\theta)$$

所以：

$$f_B(\theta, t) = F_m [-\cos(\omega t)] \sin(\theta) = -F_m \cos(\omega t) \sin(\theta)$$

## 3. 求合成磁动势 $f$ ：

$$f(\theta, t) = f_A + f_B = F_m [\sin(\omega t) \cos(\theta) - \cos(\omega t) \sin(\theta)]$$

## 4. 应用三角恒等式 $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$ ：

这里  $\alpha = \omega t$ ,  $\beta = \theta$ 。

$$f(\theta, t) = F_m \sin(\omega t - \theta)$$

## 5. 结论分析：

- 合成磁动势的幅值恒为  $F_m$ （不随时间变化）。
- 波幅的位置满足  $\omega t - \theta = \text{常数}$ ，即  $\theta = \omega t - \text{常数}$ 。这表明磁场的最大值位置随时间  $t$  线性增加，即磁场在空间以角速度  $\omega$  旋转。
- 因此，合成磁场为圆形旋转磁场。

# 复习建议

- **LEC16 (8.1-旋转磁场...)**：重点看 **第 3 部分（多相对称绕组产生的旋转磁场）**，这是解答 Q1, Q2, Q5 的基础。
- **LEC17 (8.2-运行分析...)**：重点看 **第 1 部分（运行分析）** 和 **第 2 部分（等效电路）**，特别是关于转差率  $s$ 、堵转 ( $s = 1$ )、空载以及磁势平衡的内容，这是解答 Q3, Q4 的关键。

以下回答来自grok

# 第三章异步电机课后作业题

## 问答题

1. 单相绕组通入直流电、单相绕组通入交流电以及两相对称绕组通入两相对称交流电各形成什么磁场？它们的气隙磁通密度的基波在空间怎样分布？在时间上又怎么变化？

- 单相绕组通直流电  $\rightarrow$  产生固定磁场

气隙磁通密度基波：在空间**正弦分布**（沿绕组轴线最大），在时间上**完全不变化**。

- 单相绕组通交流电  $i = I_m \sin \omega t \rightarrow$  产生脉振磁场

气隙磁通密度基波：在空间**固定正弦分布**，在时间上**按正弦规律脉振**（幅度随  $\sin \omega t$  变化）。

- 两相对称绕组（空间 $90^\circ$ ）通两相对称交流电

$i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t, i_f = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ) \rightarrow$  产生**圆形旋转磁场**

气隙磁通密度基波：在空间呈**圆形分布**（任意时刻幅值处处相等），时间上**幅度恒定、以同步转速  $n_1 = 60f/p$  匀速旋转**。

2. 当两相绕组匝数相等和不相等时，加在两相绕组上的电压及电流应符合怎样条件才能产生圆形旋转磁场？

产生圆形旋转磁场的**充分必要条件**：两相基波磁动势幅值相等且时间相位差严格 $90^\circ$ 。

- 匝数相等 ( $W_1 = W_2$ ) 时

必须  $I_1 = I_2$ （有效值相等），且两相电流时间相位差 $90^\circ$ 。

- 匝数不相等 ( $W_1 \neq W_2$ ) 时

必须  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{W_2}{W_1}$ （电流与匝数反比），且时间相位差仍为 $90^\circ$ 。

电压也近似按相同比例分配： $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{W_2}{W_1}$ 。

3. 当电机的轴被卡住不动，定子绕组仍加额定电压，为什么电流会很大？电动机从启动到接近同步转速时，转子绕组电流的频率、电势及电抗会有什么变化？为什么？

(1) 堵转 ( $s = 1$ ) 时电流极大原因

转子频率  $f_2 = sf_1 = 50 \text{ Hz}$ ，转子电势  $E_2 \approx E_{20}$ （最大），虽电抗也最大，但异步电机转子电阻设计较大，短路阻抗仍很小，**相当于变压器二次短路**，定子电流达额定值的5~8倍。

## (2) 从启动到接近同步速的变化

- 频率：  $f_2 = s f_1 \rightarrow 50 \text{ Hz} \rightarrow \text{接近} 0 \text{ Hz}$
- 电势：  $E_2 = s E_{20} \rightarrow \text{最大} \rightarrow \text{接近} 0$
- 电抗：  $X_2 = s X_{20} \rightarrow \text{最大} \rightarrow \text{接近} 0$
- 电流：启动时最大，随后迅速减小

**根本原因：**转差率  $s$  减小  $\rightarrow$  转子导体切割磁场相对速度降低  $\rightarrow$  感应电势、频率、电抗同步成比例下降。

## 4. 三相异步电动机转子从定子中取出后，给定子绕组短时加额定电压，定子电流如何变化？为什么？

定子电流将急剧增大，远超正常空载电流，甚至接近或超过堵转电流（可达8~12倍额定电流）。

原因：转子取出后磁路中无高导磁铁芯闭合，只有全空气隙，磁阻增大数百倍。要维持相近的主磁通，必须大幅增加定子电流（励磁电流）来克服巨大磁阻。

## 计算和证明题

**证明：**两相电机两相对称绕组  $c$ 、 $f$ ，匝数均为  $W$ ，通入

$$i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t$$

$$i_f = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ) = -\sqrt{2}I \cos \omega t$$

**证明合成基波磁场为圆形旋转磁场**

$c$ 相轴线取  $\alpha = 0^\circ$ ， $f$ 相轴线  $\alpha = 90^\circ$ 。

基波磁势（每极）：

$$F_c(\alpha, t) = \frac{\sqrt{2}WI}{p} \sin \omega t \cdot \cos \alpha$$

$$F_f(\alpha, t) = -\frac{\sqrt{2}WI}{p} \cos \omega t \cdot \sin \alpha$$

合成磁势：

$$\begin{aligned} F(\alpha, t) &= \frac{\sqrt{2}WI}{p} (\sin \omega t \cdot \cos \alpha - \cos \omega t \cdot \sin \alpha) \\ &= \frac{\sqrt{2}WI}{p} \sin(\omega t - \alpha) \end{aligned}$$

令  $F_m = \frac{\sqrt{2}WI}{p}$  (恒值)，则：

$$F(\alpha, t) = F_m \sin(\omega t - \alpha)$$

此式表明：

- 空间正弦分布
- 幅值  $F_m$  恒定
- 最大值位置以角速度  $\omega$  逆时针旋转

⇒ 幅值恒定、匀速旋转的圆形旋转磁场

证毕。

掌握这几题，异步电机旋转磁场部分就彻底无敌了，期末考试随便秒！