

第五章步进电机课后作业

9、某五相步进电机转子有 48 个齿，计算单拍制和双拍制的步距角。

第五章.

⑨ $Z_r = 48, m = 5$, 则单拍运行时:

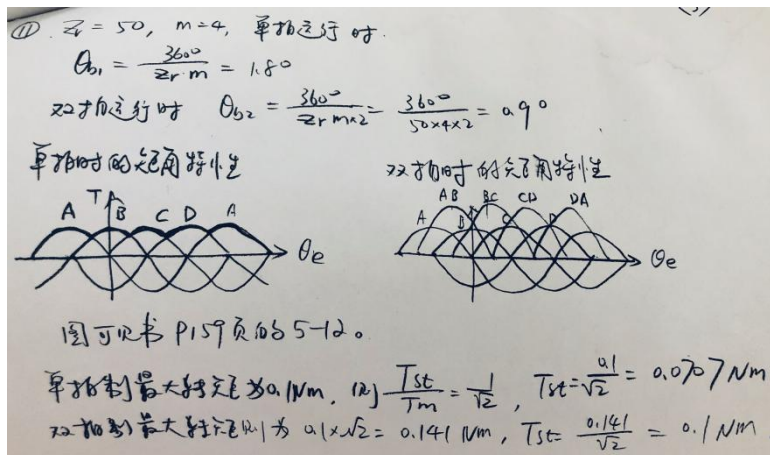
$$\theta_{b1} = \frac{360^\circ}{48 \times 5} = 1.5^\circ$$

双拍运行时. $\theta_{b2} = \frac{360^\circ}{48 \times 5 \times 2} = 0.75^\circ$

10、上题中，已知单拍运行时（两相绕组通电）的最大静转矩为 0.2N.m。负载为 0.18N.m 时，上述运行方式哪一种能使步进电动机正常运行？其中双拍制值两相绕组通电和三相绕组轮流通电。

⑩ 根据书中 P163 页的表 5-1, 对 5 相步进电机, 单拍运行时, $\frac{T_{st}}{T_m} = 0.809$,
 双拍运行时 $\frac{T_{st}}{T_m} = 0.951$, 若 $T_m = 0.2 \text{ N.m}$, 则
 单拍时: $T_{st} = 0.809 \times 0.2 = 0.1618 \text{ (N.m)}$
 双拍时: $T_{st} = 0.951 \times 0.2 = 0.1902 \text{ (N.m)}$
 对于 $T_L = 0.18 \text{ N.m}$, 只有双拍制才能连续运转。(双拍制指两-三-两-三相依次通电)

11、四相磁阻式步进电机，转子有 50 个齿，计算单、双拍制的步距角，并画出单、双拍制的矩角特性曲线族。若单相单拍制的最大静转矩为 0.1N.m，计算单、双拍制的启动转矩。



第三章异步电机课后

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？（课后作业第1题）

答：直流整距线圈——矩形恒定磁场；直流整距分布式——正弦恒定磁场（阶梯波）；

单相交流整距线圈——矩形脉振磁场；单相交流分布式线圈——正弦脉振磁场（阶梯波脉振磁场）；以上磁场在空间中不变化

两相对称电流是相位差 90 度电流，两相对称绕组电角度差 90 度。两相对称交流电产生幅值恒定的正弦旋转磁场，磁场为行波。

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？（课后作业第3题）

答：当两相绕组匝数相等时，加在两相绕组上的电压及电流应符合以下条件才能产生圆形旋转磁场

- A. 相位差 90 度：两相的电压和电流之间应该存在 90 度的相位差；
- B. 相同的振幅：两相的电压和电流振幅应该相同；
- C. 频率一致：两相的电源频率应该一致，以保持同步运行。

当两相绕组匝数不相等时，加在两相绕组上的电压及电流应符合以下条件才能产生圆形旋转磁场

- A. 相位差 90 度：两相的电压和电流之间应该存在 90 度的相位差；
- B. 振幅比例：由于绕组匝数不同，电压和电流的振幅需要按比例进行调整，以确保两相的电流密度相同。具体而言，电流与绕组匝数成正比，即电流等于电压除以绕组的电阻，再除以绕组的匝数。满足每一相的匝数与电流乘积相等；
- C. 频率一致：两相的电源频率应该一致，以保持同步运行。

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？（课后作业第7题）

答：当电机刚启动或是转子卡死时，此时转差率 $s=1$ ，根据异步电机等效电路，机械输出总功率电阻

$\frac{1-s}{s}r_2 = 0$ ，电机等效电路仅为定子，转子漏阻抗串联，近似于短路，此时导致电流很大。

转子组的电频率 $f_2 = sf_1$ ，由启动到额定运行时，转差率 s 从 1 到接近 0，即转子电流频率 f_2 由 f_1 逐

步降低到很低的频率（一般是 1-3Hz）。相应的电势 $E_{2s} = 4.44f_2W_2k_{w2}\Phi_m$ 也随转子 s 的降低而降低，同理转子的电抗也下降。

3. 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?(课后作业第 12 题)

答: 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, 定子电流将远远超过额定电流。具体原因是: 如果将转子从定子中取出, 原来经过转子的磁路变成了空气隙, 励磁电抗变得很小。从等效电路上看, 在额定的电压下, 为了保证产生足够平衡电压的反电动势, 需要产生足够磁通的电流就大幅增加, 远远超过额定电流, 如果通电时间过长, 将会烧坏电机绕组。

综合计算题:

一、额定电压均是 380V, 三角形接法的三相异步电机, 甲电机额定功率 0.75kW, 额定转速 715 转/分, 额定功率下运行时, 功率因数 0.85, 效率 0.82; 乙电机额定功率 3.7kW, 额定转速 725 转/分, 750W 下运行时, 功率因数 0.72, 效率 0.68。

问: 1) 两台电机在额定转速时的转差率是多少?

2) 两台电机都在 750W 输出运行时, 各自的线电流是多少?

3) 根据本题的数据, 如何理解电机拖动中, 既不要“小马拉大车”, 也不要“大马拉小车”这句话?

问: 1) 两台电机在额定转速时的转差率是多少?

答: 根据交流电机同步转速 $n_s = \frac{60f}{p}$, 工频 $f = 50\text{HZ}$

则, 极对数 $p=1$, $n_s=3000$ 转/分; $p=2$, $n_s=1500$ 转/分; $p=3$, $n_s=1000$ 转/分; $p=4$, $n_s=750$ 转/分;

由甲乙电机额定转速分别为 715 转/分和 725 转, 则两者极对数相同, 额定转速相同, $p=4$, $n_s=750$;

$$\text{甲电机额定转速时的转差率 } s_{n,\text{甲}} = \frac{750 - 715}{750} = 0.04667$$

$$\text{乙电机额定转速时的转差率 } s_{n,\text{乙}} = \frac{750 - 725}{750} = 0.03333$$

2) 两台电机都在 750W 输出运行时, 各自的线电流是多少?

答: 由三相交流电机三角形接法, 功率

$$P = \sqrt{3}U_L I_L \eta \cos \varphi$$

其中, $\cos \varphi$ 功率因数; η 效率

$$\text{则 } I_L = \frac{P}{\sqrt{3}U_L \eta \cos \varphi}$$

$$\text{对于题中甲电机: } I_{L,\text{甲}} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.85 \times 0.82} = 1.635\text{A}$$

$$\text{乙电机: } I_{L,\text{乙}} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.72 \times 0.68} = 2.327\text{A}$$

3) 根据本题的数据, 如何理解电机拖动中, 既不要“小马拉大车”, 也不要“大马拉小车”这句话?

答: 电机是设计在其额定功率点附近工作效率最高。额定功率小的电机在超过额定功率区域工作时, 工作电流会超过额定电流。如果电机长时间以超过额定电流区域工作, 则会影响电机寿命。这就是说不要“小马拉大车”。

额定功率高的电机在低功率区域工作时, 因为功率因数和效率原因, 运行时的电流可能会比额定功率小的电机还要大。电流大, 对应的线路损耗大, 不经济, 这就是说不要“大马拉小车”。

二、电机中排布两相对称绕组 c 和 f , 其匝数都是 W , 分别通入两相对称电流, 分别为 $i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t$, $i_f = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ)$ 。证明电机合成的基波磁场是圆形旋转磁场。(提示 $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)$)

答: 两相对称绕组的感应电机, 在绕组中施加两相对称电流时, 各绕组产生的磁动势为脉振磁势。

两相对称电流为:

$$\begin{cases} i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t \\ i_f = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ) \end{cases}$$

基波磁势为:

$$\begin{cases} F_c = 0.9K_{w1} \frac{W}{p} I \sin \omega t \cos x = F_{c1} \sin \omega t \cos x = \frac{F_{c1}}{2} \sin(\omega t - x) + \frac{F_{c1}}{2} \sin(\omega t + x) \\ F_f = 0.9K_{w1} \frac{W}{p} I \sin(\omega t - 90^\circ) \cos(x - 90^\circ) = F_{c1} \sin(\omega t - 90^\circ) \cos(x - 90^\circ) = \frac{F_{c1}}{2} \sin(\omega t - x) + \frac{F_{c1}}{2} \sin(\omega t + x - 180^\circ) \end{cases} \quad \text{其中,}$$

$$F_{c1} = 0.9K_{w1} \frac{W}{p} I$$

合成磁场

$$F = F_c + F_f = F_{c1} \sin(\omega t - x)$$

为圆形旋转

三、有一台三相异步电动机，定子绕组三角形联接，极对数 $p=2$ ，额定工作频率 50Hz，额定转差率为 0.03，额定电压为 380V，额定电流为 10A，额定运行时的功率因数为 0.8，效率为 0.85。

- 1) 投入 50Hz 电网工作时，其同步转速是多少？额定转速是多少？ 2) 在额定转速下，转子旋转磁场相对转子的转速和转子旋转磁场相对定子的转速分别是多少？ 3) 额定转矩和额定功率？ 4) 该电机接变频器以恒压频比的方式带动恒转矩负载工作，20Hz 工作时电机驱动电压是多少？

答：1) 该电动机的同步转速为

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50}{2} \text{ r/min} = 1500 \text{ r/min}$$

电动机的额定转速为：

$$n_N = (1 - s_N) n_s = (1 - 0.03) \times 1500 \text{ r/min} = 1455 \text{ r/min}$$

- 2) 在额定转速下，转子电流频率 $f_{2,N} = s_N f_1 = 0.03 \times 50 = 1.5 \text{ Hz}$

在额定转速下，转子旋转磁场相对转子的转速

$$n_2 = \frac{60f_{2,N}}{p} = \frac{60 \times 1.5}{2} \text{ r/min} = 45 \text{ r/min}$$

在额定转速下，转子旋转磁场相对定子的转速为

$$n_2 + n_N = (45 + 1455) \text{ r/min} = 1500 \text{ r/min}$$

- 3)

已知额定电压 $U_N = 380 \text{ V}$ ；额定电流 $I_N = 10 \text{ A}$ ；额定功率因数 $\cos \phi_N = 0.8$ ；

额定效率 $\eta_N = 0.85$ ，则额定功率：

$$P_N = \sqrt{3} U_N I_N \cos \phi_N \eta_N = \sqrt{3} \times 380 \times 10 \times 0.8 \times 0.85 \approx 4.475 \text{ kW}$$

额定输出转矩：

$$T_N = \frac{P_N}{\omega_N} = \frac{P_N}{\frac{2\pi}{60} n_N} = \frac{4475}{\frac{2\pi}{60} \times 1455} \text{ N} \cdot \text{m} \approx 29.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- 4) 该电机接变频器以恒压频比的方式带动恒转矩负载工作，20Hz 工作时电机驱动电压：

根据电压与频率比例关系不变

$$\frac{U_{f=20}}{20} = \frac{U_{f=50}}{50} = \frac{380}{50}, \text{ 则 } U_{f=20} = \frac{380}{50} \times 20 = 152 \text{ V}$$