



# 自动控制元件习题

自动化学院

例1-1 已知某直流伺服电动机电枢电阻为  $R_a$  ( $\Omega$ )，当外加电压为  $U_a$  (V) 时，电枢电流为  $I_a$  (A)，转速为  $n$  (r/min)。

求电枢转矩  $T_{em}$ 。

解 根据静态电压平衡方程式

$$U_a = C_e \Phi n + I_a R_a$$

可得 
$$K_e = C_e \Phi = \frac{U_a - I_a R_a}{n}$$

因为 
$$K_t = C_m \Phi = 9.55 C_e \Phi = 9.55 K_e$$

故 
$$T_{em} = K_t I_a = C_m \Phi I_a$$

四大基本方程式：(1.4)、(1.5)、(1.6)、(1.7)。

例 1-2 用一对完全相同的小功率他励式直流电动机组成电动机-发电机组。它们的励磁电压  $U_j = 110\text{V}$ ，电枢电阻  $R_a = 75\Omega$ 。当发电机空载时，电动机所加的电枢电压  $U_{ad0} = 110\text{V}$ ，电动机电枢电流  $I_{ad0} = 0.12\text{A}$ ，机组转速为  $4500\text{r/min}$ 。试求：

- 1) 发电机空载时的电枢电压  $U_{af0}$  和每台电机的空载阻转矩  $T_0$ 。
- 2) 电动机电枢电压不变，此时发电机接上  $R_f = 500\Omega$  的负载，机组的转速、电动机电流  $I_{ad}$  和发电机电枢电流  $I_{af}$  各为多少？

解：  $E_{ad0} = U_{ad0} - I_{ad0}R_a = 110 - 0.12 \times 75 = 101(\text{V})$

$$C_e \Phi = \frac{E_{ad0}}{n_0} = \frac{101}{4500} = 0.02224(\text{V} \cdot \text{min}/r)$$

$$C_m \Phi = 9.55 C_e \Phi = 9.55 \times 0.02224 = 0.214(\text{N} \cdot \text{m} / \text{A})$$

$$1) \mathbf{I}_f = \mathbf{0}, \text{ 故 } U_{af0} = E_{ad0} = 101(\text{V})$$

$$T_{emd} = T_{emf} + 2T_0$$

$$\Rightarrow 2T_0 = C_m \Phi I_{ad0} - 0 = 0.214 \times 0.12 = 0.026(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$\therefore T_0 = 0.013(\text{N} \cdot \text{m})$$

$$2) \because \begin{cases} C_e \Phi n + I_{ad} R_a = U_{ad} \\ C_e \Phi n = I_{af} (R_a + R_f) \\ C_m \Phi I_{ad} = C_m \Phi I_{af} + 2T_0 \end{cases} \therefore \begin{cases} 0.0224n + 75I_{ad} = 110 \\ 0.0224n = I_{af} (75 + 500) \\ 0.214I_{ad} = 0.214I_{af} + 2T_0 \end{cases}$$

$$\therefore \begin{cases} I_{ad} = 0.277(\text{A}) \\ I_{af} = 0.155(\text{A}) \\ n = 3978.8(\text{r} / \text{min}) \end{cases}$$

例 1-3 一台直流伺服电动机电枢电阻  $R_a=40\Omega$ , 转动惯量  $J=0.15\times 10^{-3}\text{kg}\cdot\text{m}^2$ . 当电枢电压  $U_a$  为 110V 时, 理想空载转速  $n_0=3000\text{r}/\text{min}$ . 求电动机的机电时间常数  $\tau_m$ .

解: 理想空载时:  $U_a = E_0 = C_e \Phi n_0$

$$K_e = C_e \Phi = \frac{U_a}{n_0} = \frac{110}{3000} = 0.0367\text{V} \cdot \text{min}/\text{r}$$

$$\begin{aligned}\tau_m &= \frac{2\pi J R_a}{60 K_e K_t} = \frac{2\pi J R_a}{60 \times 9.55 K_e^2} \\ &= \frac{2\pi \times 0.15 \times 10^{-3} \times 40}{60 \times 9.55 \times 0.0367^2} = 0.049\text{s}\end{aligned}$$

直流伺服电机的机电时间常数P37:  $\tau_m = \frac{2\pi J R_a}{60 K_e K_t}$

例 1-4 直流电动机的电枢电压和激磁电压同时改变极性，电机转向是否改变？

答：电枢电压和激磁电压同时改变极性，相当于电枢电流和磁场同时改变方向，定、转子之间的转矩方向不变，电机转向不变。

例 1-5 直流电动机在转轴卡死的情况下能否加电枢电压？如果加额定电压将会有何后果？

答：电机卡死时有  $n = 0 \Rightarrow E_a = 0, U_a = I_a R_a$ 。只要电流不超过额定值，就可以加电枢电压，但时间不宜过长，因此时电机电扇不动，散热差，温升较高。不能加额定电压，因为此时反电势为零，电枢电流远远高于额定值，引起电机过热，甚至烧毁绕组绝缘，使电机损坏。

**1-6简答直流电机的定子由哪几部分组成，各起什么作用？（5分）**

**简答直流电机的转子由哪几部分组成，各起什么作用？（5分）**

**答：定子组成：**

**①定子铁心：主磁极：建立磁场；（0.5分）**

**磁轭：提供磁通通路；（0.5分）**

**②励磁绕组：通入励磁电流；（1分）**

**③机壳：固定定子；（1分）**

**④端盖：用来安放轴承和电刷装置，并作为转子的机械支撑；（1分）**

**⑤电刷装置：保持外接电源与换向器的滑动接触。（1分）**

**转子组成：**

**①电枢铁心：给主磁通提供低阻磁路，嵌放电枢绕组；**

**②电枢绕组：实现机电能量变换；**

**③换向器：起整流和换向作用；**

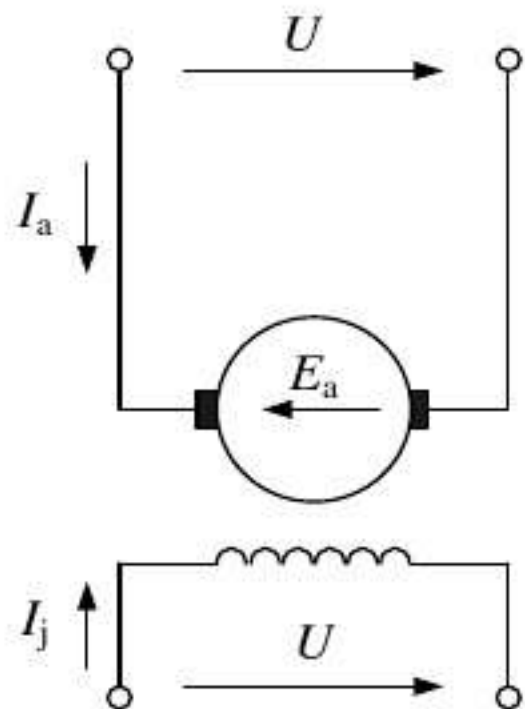
**④轴：转子绕其转动；**

**⑤风扇：冷却电机；**

**1.1.2直流电机的结构P12~P13.**

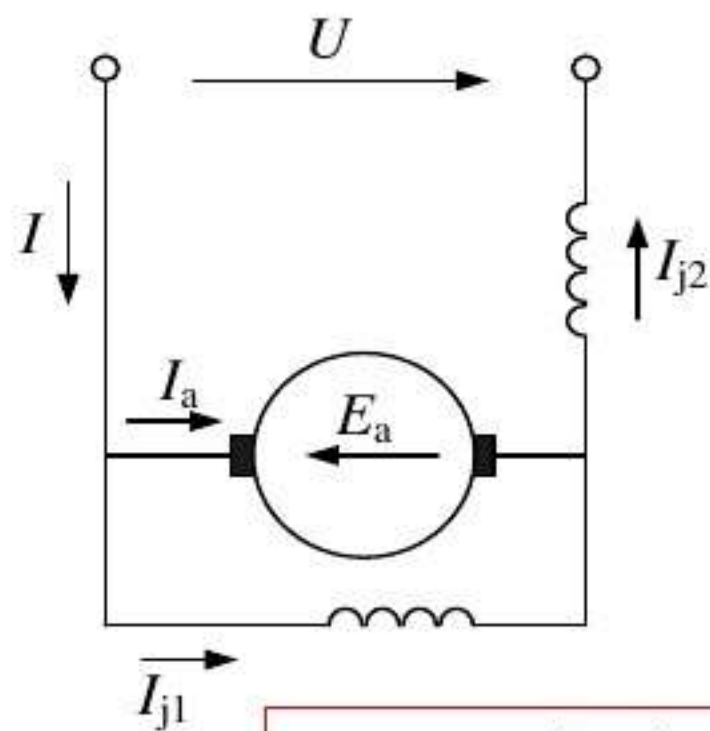
1-7画出直流电机采用他励励磁方式时的原理线路图。

答:



1-8画出直流电机采用复励励磁方式时的原理线路图。

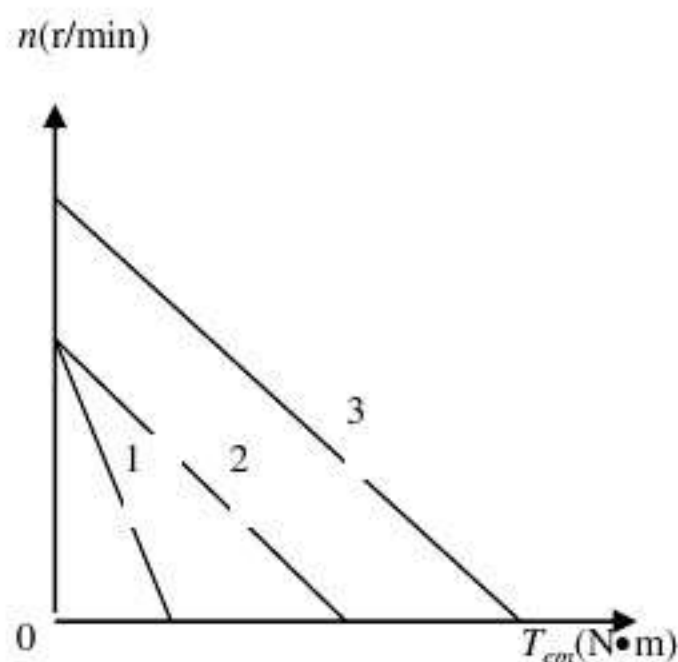
答:



1.1.3 直流电机的励磁方式 P12~P13.



1-9 如图所示为同一台直流伺服电动机在不同情况下的机械特性曲线，由图中看出电枢电阻  $R_{a1}$ 、 $R_{a2}$  和  $R_{a3}$  的关系为  $R_{a2} = R_{a3} < R_{a1}$ ，控制电压  $U_{a1}$ 、 $U_{a2}$  和  $U_{a3}$  的关系为  $U_{a1} = U_{a2} < U_{a3}$ ，动态响应快速性的情况为 2与3相同，1最慢。



## 1.2 直流伺服电动机的静态特性 P25.

1-10 直流力矩电动机与普通直流直伺服电动机相比有何特点？

答：直流力矩电机：①结构：直流力矩电动机极对数多，形状扁平，外径大；

②特性：低速、输出大转矩。

## 1.5 直流力矩电动机 P42.

1-11试比较直流伺服电动机在电动机状态和发电机状态时的电源电压、电枢电流、电磁转矩、转速以及能量关系。（10分）

答：①电动机状态

电源电压：大于电枢的感应电势，即 $U_a > E_a$ ； $U_a$ 的方向（外加电源电势的方向）与 $E_a$ 相反。（1分）

电流：方向与电枢感应电势 $E_a$ 相反，数值小于堵转电流。（1分）

电磁转矩：方向与转速 $n$ 相同，数值小于堵转转矩。（1分）

能量关系：电能转化为机械能。（1分）

转速：低于空载转速。（1分）

②发电机状态

电源电压：小于电枢中的感应电势，即 $U_a < E_a$ ； $U_a$ 的方向仍与 $E_a$ 相反。（1分）

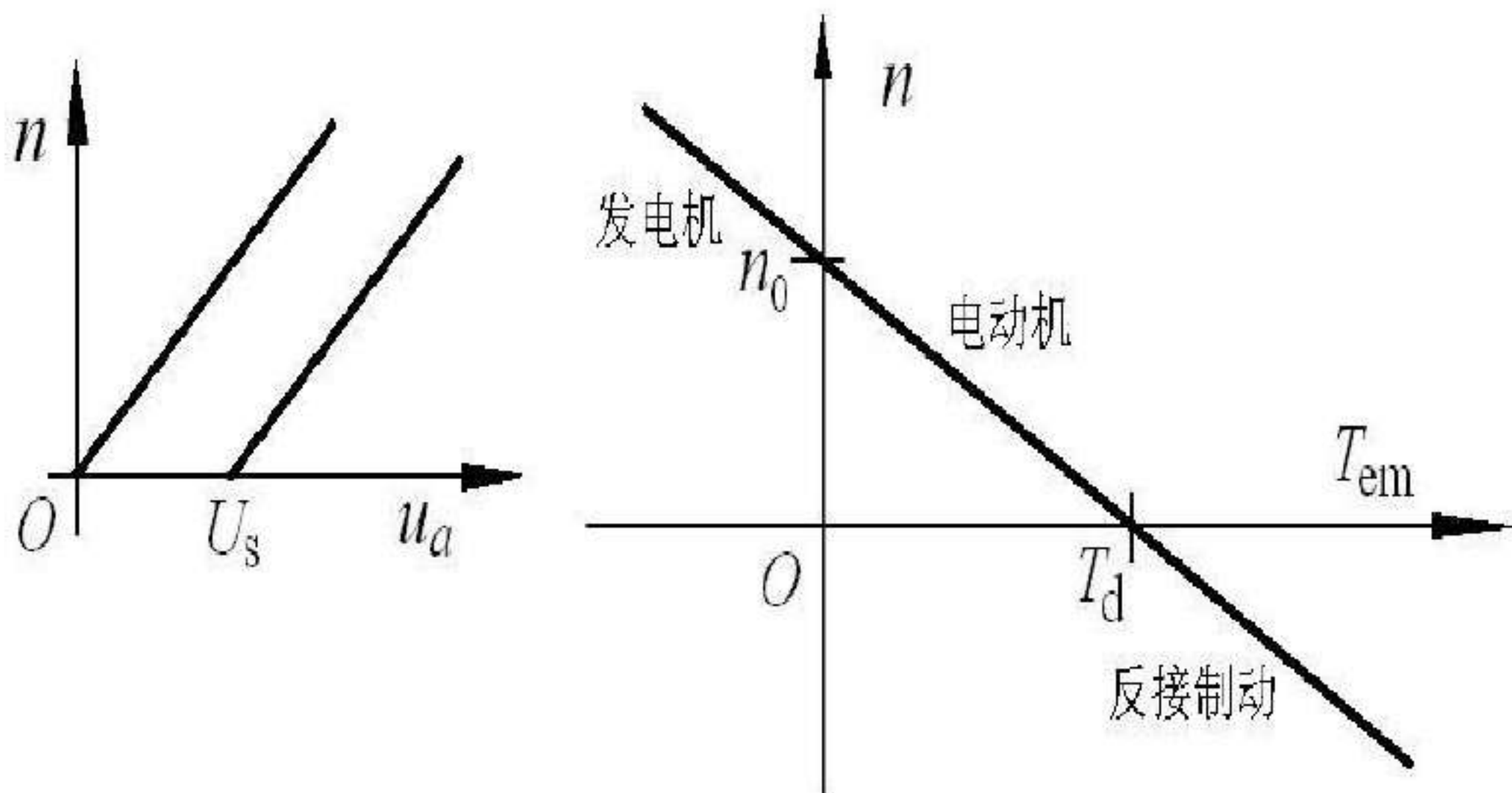
电流：方向与电枢感应电势 $E_a$ 相同。（1分）

电磁转矩：方向与转速 $n$ 相反，电磁转矩起制动作用。（1分）

能量关系：机械能转化为电能。（1分）

转速：高于理想空载转速。（1分）

1-12 绘出直流电动机电枢控制的调节特性和机械特性曲线，标出始动电压、理想空载转速和堵转转矩，标出电动机、发电机和反接制动状态。



**1.2 直流伺服电动机的静态特性 P25.**

**1-13**当电枢绕组流过负载电流时，直流伺服电动机和直流测速发电机都会产生电枢反应，试比较它们电枢反应的异同。**1.1.6 直流电机的磁场P18-P19.**

答①电枢反应使气隙合成磁场的物理中性面顺着直流测速发电机的旋转方向转过一个角度；而在直流伺服电动机中，是逆着旋转方向偏转一个角度。

②电枢反应对磁极磁场有去磁效应，这点直流测速发电机和直流伺服电动机是完全相同的。

**1-14**换向器是直流电机的关键部件，它起整流和换向的作用。在直流测速发电机中，换向器的作用是将电枢绕组内部的交流变为电刷上的直流；在直流伺服电动机中，换向器的作用是电刷上的直流变为绕组内部的交流。

**1.1.6 直流电机的磁场P18-P19.**

1-15哪种方式不能改变直流伺服电动机机械特性的硬度（）。

A、电枢串电阻

B、改变励磁电压

C、改变电枢电压

D、改变放大器的内阻

1-16在直流伺服电动机电枢上加50V和100V的阶跃电压启动时，所测得的机电时间常数 $\tau_m$ 是否相同？为什么？

答：1.相同。

2.机电时间常数  $\tau_m = \frac{2\pi J R_a}{60 K_e K_t}$ ，与电枢电压 $U_a$ 无关。

1-17电枢控制的直流伺服电动机，当控制电压和励磁电压不变时，如果电动机上负载增大，那么稳定后的控制电流、电磁转矩和转速都将怎样变化？为什么？

答：稳定时电磁转矩与负载转矩相等（或答电磁转矩由负载决定也正确），当负载增大，电磁转矩增大； $T_{em} = K_t I_a$ ，控制电流 $I_a$ 增大； $U_a = I_a R_a + C_e \Phi n$ ， $U_a$ 不变，转速 $n$ 减小。

**1-18**电机铁心多用硅钢片叠压而成。采用片状材料的目的是什么？

答：减小涡流损耗。

**1-19**一台直流伺服电动机额定数据是：电枢电压为**24V**，电枢电流为**2.5A**，转速为**3000r/min**，激磁电压为**24V**。如果电枢电压和激磁电压均为额定值，该电机是否允许在转速 **$n=2500\text{r/min}$** 下长期运转？为什么？如果必须在**2500r/min**下长期运行，电枢电压和电流应如何变动（定性说明）？

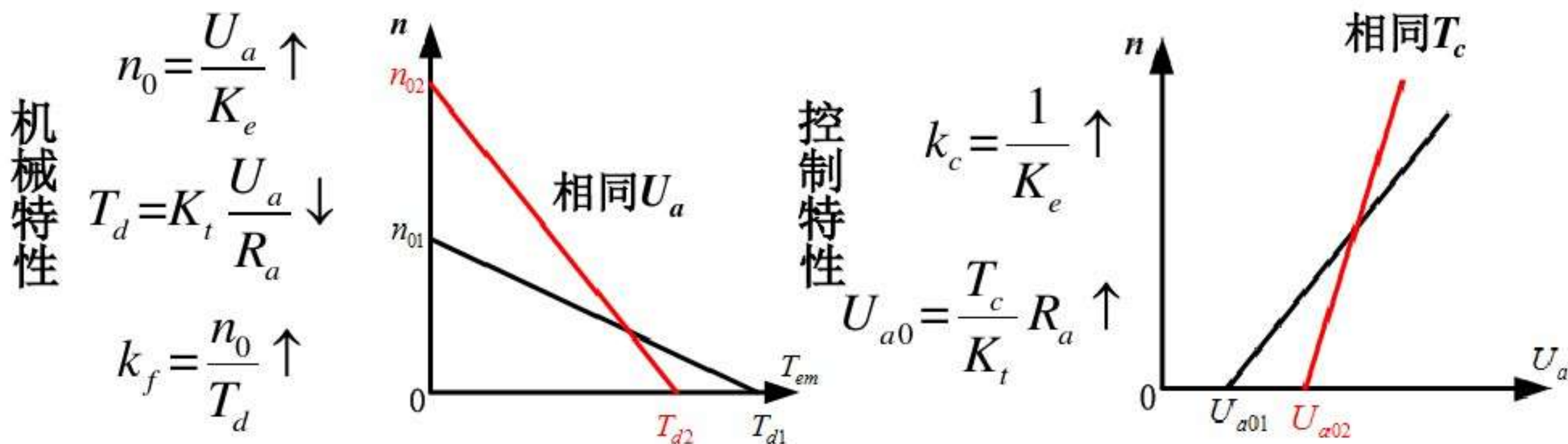
答：由 $U_a = I_a R_a + C_e \Phi n$ ，当 $U_a$ 和 $\Phi$ 不变， $n \downarrow \rightarrow I_a \uparrow$ ，使电机过热，损坏绝缘，减少电机寿命。若 $n$ 下降，长期运行，电流不能超过额定值，应使电枢电压下降。

**1-20** 直流伺服电动机空载时调节特性有无死区？如果有死区，它的大小是什么原因造成的？

答：直流伺服电动机空载时，轴上存在摩擦转矩等阻转矩，所以其调节特性有死区。死区是由摩擦转矩形成的。摩擦转矩大，为使电机转动所要产生的电磁转矩和电流就越大，由启动时  $U_a = I_a R_a$  知，所要加的电压就越大。故摩擦转矩越大，死区电压就越大。

**1-21** 如果直流伺服电动机的励磁电压下降，试分析将对它的机械特性和控制特性产生怎样的影响？

答：励磁电压下降  $\rightarrow \Phi \downarrow \rightarrow K_e \downarrow, K_t \downarrow$ 。



**1-22** 一台直流伺服电动机其电磁转矩为**0.2**倍额定电磁转矩时，测得始动电压为**4V**，并当电枢电压 $U_a=49V$ 时，电机转速 $n=1500r/min$ 。试求电机为额定电磁转矩，转速为**3000r/min**时，应加多大电枢电压？

**1-23** 欲使用某直流伺服电动机，需要取得其机械特性。现测得控制电压 $U_a=100V$ 时的两组数据，即

转速 (r/min)	控制电流 (A)	备注
<b>4500</b>	<b>0.05</b>	空载
<b>3000</b>	<b>0.2</b>	负载

试画出 $U_a=110V$ 相应的机械特性。

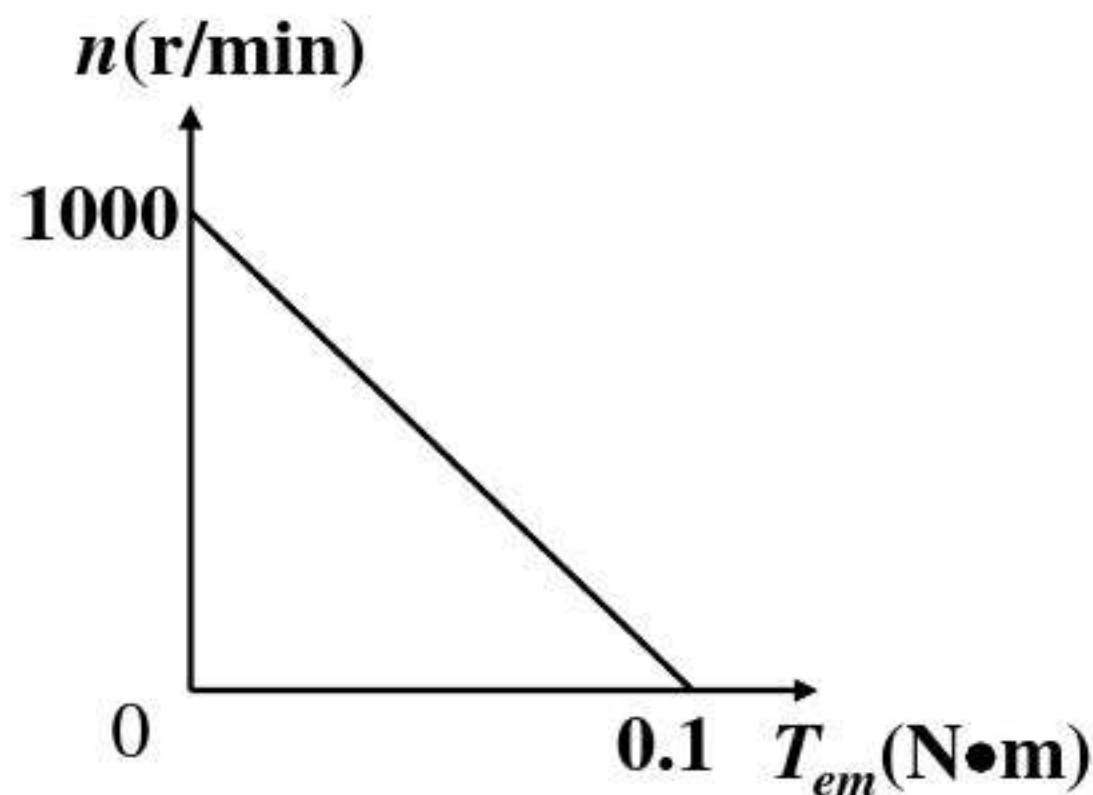


**1-24** 一台直流伺服电动机，额定电压  $U_{aN} = 24\text{V}$ ，额定电流  $I_{aN} = 0.5\text{A}$ ，额定电磁转矩为  $T_{emN} = 0.015\text{N}\cdot\text{m}$ ，空载摩擦转矩  $T_0 = 0.003\text{N}\cdot\text{m}$ ，额定转速  $n = 3000\text{r}/\text{min}$ 。

- 1) 电枢电压为  $18\text{V}$  时，画出此时的机械特性曲线。
- 2) 当电磁转矩  $T_{em} = 0.02\text{N}\cdot\text{m}$ ，转速为  $2500\text{r}/\text{min}$  时，电枢电压是多少？电机输出的机械转矩是多少？

**1-25** 某直流伺服电动机机械特性如图所示。已知其空载阻转矩  $T_0 = 0.005\text{N}\cdot\text{m}$ ，

- 求：
- ① 该电动机堵转转矩  $T_d$ ；
  - ② 该电动机理想空载转速  $n_0$ ；
  - ③ 该电动机实际空载转速  $n_0'$ ；
  - ④ 该电动机机械特性硬度  $\beta$ 。



## 2-1 直流测速发电机为什么有最高限速和最小负载电阻的额定指标规定？

答：转速升高，负载电阻越小，使输出电压的线性误差增大，最高限速和最小负载电阻的额定指标规定是保证非线性误差不超过允许值。

2-2 直流测速发电机是一种把机械转速变换成电压信号的测量元件。除了作为测量元件，在实际使用时根据需要直流测速发电机还可以被用作阻尼元件或解算元件。

2-3 直流测速发电机的误差分析。

**3-1**步进电机可按单拍制和双拍制两类方式运行。单拍制是指运行拍数等于相数；双拍制是指运行拍数等于相数的2倍。步进电机的起动转矩是指步进电动机单步运行所能带动的最大负载转矩。

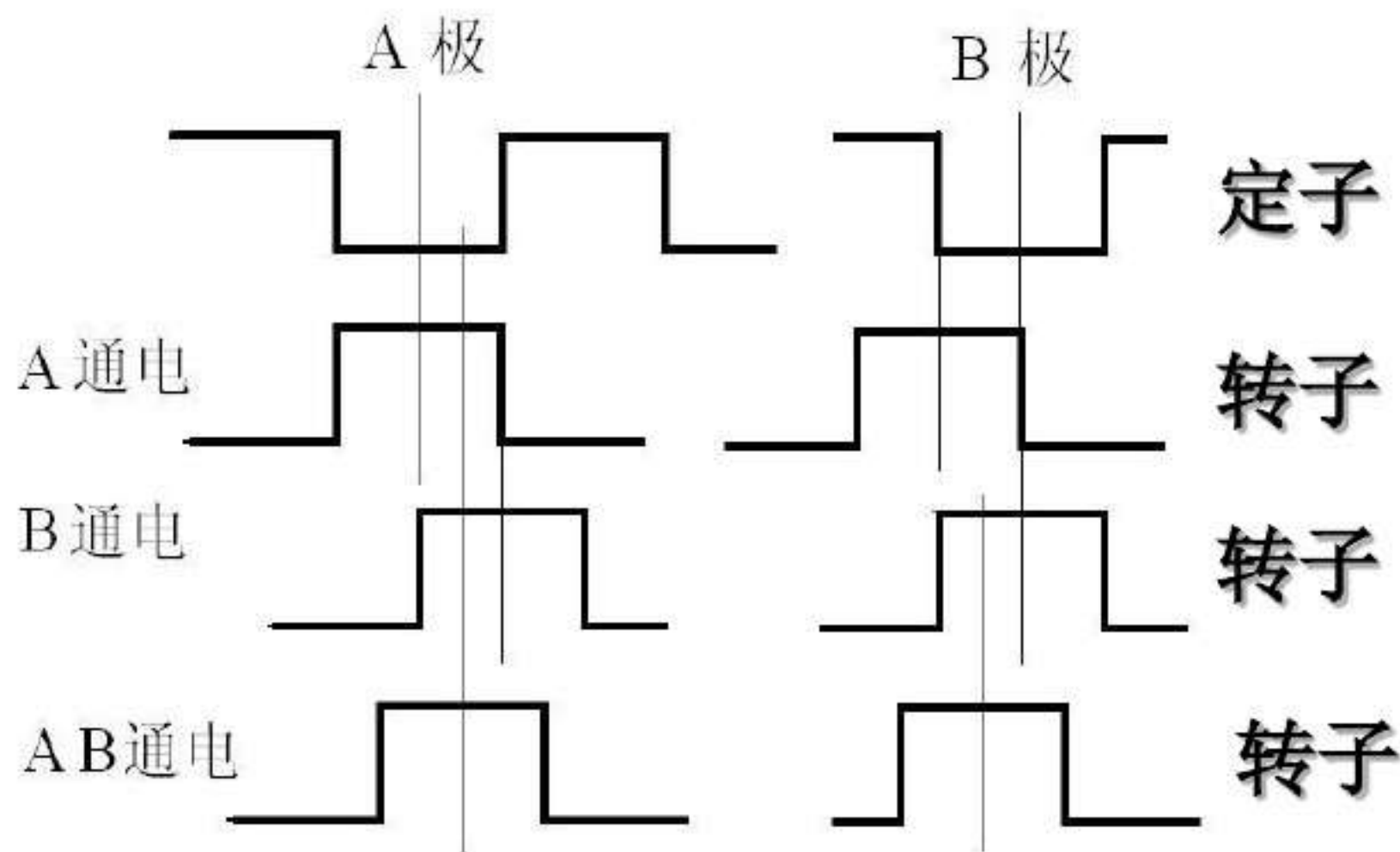
**3-2**什么是步进电机的运行矩频特性、起动矩频特性和起动惯频特性？什么是运行频率？

答：步进电机最大输出转矩与运行频率的关系称为运行矩频特性。起动频率与负载转矩的关系是起动矩频特性，起动频率与负载转动惯量的关系是起动惯频特性。在负载条件下能无失步运行的最高控制频率称为运行频率。

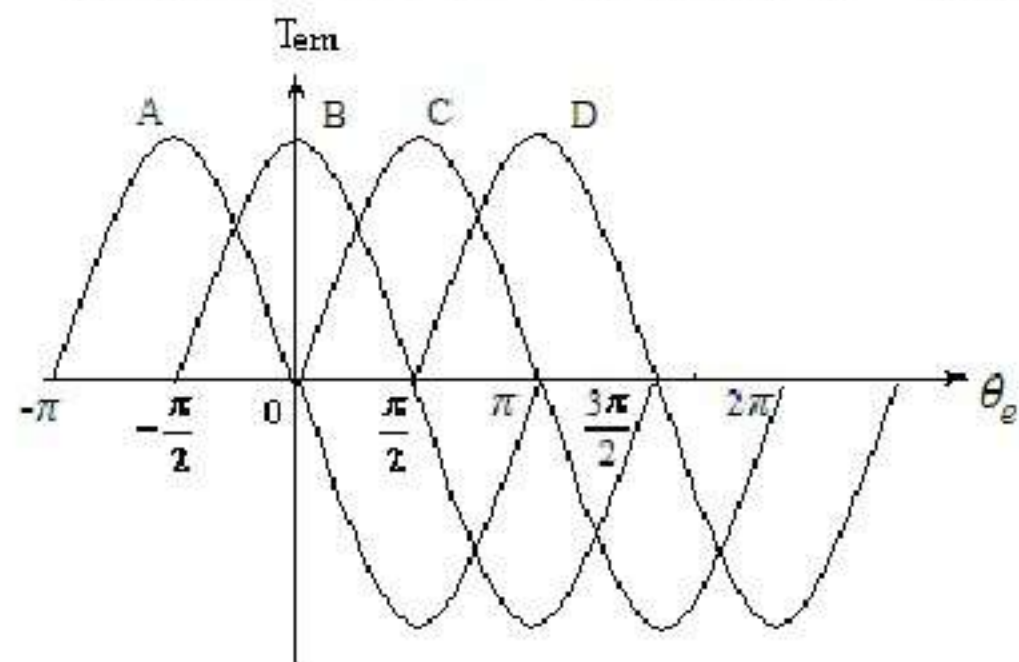
**3-3**步进电动机转角的大小取决于控制脉冲的（**个数**），转速大小取决于控制脉冲的（**频率**）。控制脉冲频率增高，步进电机的负载能力下降，主要原因是（**绕组电感的影响**）。

3-4 已知步进电机某相绕组矩角特性曲线的初始相位角为0，则其静稳定区为  $-\pi < \theta_e < \pi$ ，动稳定区为  $-\pi + \theta_{be} < \theta_e < \pi + \theta_{be}$ ，稳定裕度为  $-\pi + \theta_{be} < \theta_e < 0$ 。

3-5 磁阻式步进电动机有A、B、C、D四相。绘出A和B极下，当A通电，B通电，和AB通电时，定子、转子齿的相对位置。



**3-6**画出四相反应式步进电动机单相通电时的矩角特性。指出C相的静稳定区和动稳定区。已知单相通电时矩角特性的最大静转矩为 $0.2\text{N}\cdot\text{m}$ ，负载为 $0.18\text{N}\cdot\text{m}$ 时，哪种运行方式能使该步进电动机正常运行？



答：C相的静稳定区为 $(0, 2\pi)$ ，动稳定区为 $(\pi/2, 5\pi/2)$ 。

四相单四拍：

$$T_{em} = T_{j\max} \cos \frac{\pi}{N} = 0.2 \times \cos \frac{\pi}{4} = 0.141\text{N}\cdot\text{m} < T_f$$

四相双四拍： $T_{emq} = \sqrt{2}T_{j\max} \cos \frac{\pi}{N} = 0.2 \times \sqrt{2} \cos \frac{\pi}{4} = 0.2\text{N}\cdot\text{m} > T_f$

**P83：式 (3.15) 。 P85最大静态转矩结论。 P89：式 (3.25) 。**

四相八拍：
$$\begin{cases} T_A = T_{j\max} \sin \theta_e \\ T_{AB} = \sqrt{2}T_{j\max} \sin(\theta_e - \frac{\pi}{4}) \end{cases} \Rightarrow T_q = T_{j\max} = 0.2\text{N}\cdot\text{m} > T_f$$

**P83：式 (3.15)**

**P84：式 (3.16)**

**或者作图**

∴ 四相双四拍和四相八拍可以使该步进电机正常运行。

**3-7**某五相步进电动机转子有48个齿，当该电机分别采用五相单五拍和五相双五拍工作制工作时的步距角。已知五相单五拍工作时的最大静态转矩为0.2 N·m，而负载为0.21 N·m，试定量分析上述两种工作制条件下，步进电机能否正常运行。

答：五相单五拍和五相双五拍的步距角相同（1分）： $\theta_e = \frac{360^\circ}{NZ_r} = \frac{360^\circ}{5 \times 48} = 1.5^\circ$ （2分）

如果写电角度 $\theta_{be} = \frac{2\pi}{5}$ 也给分

五相单五拍：

$$\begin{cases} T_A = -T_{j\max} \sin \theta_e \\ T_B = -T_{j\max} \sin(\theta_e - \frac{2\pi}{5}) \end{cases} \Rightarrow T_q = T_{j\max} \cos \frac{\pi}{5} = 0.2 \cos \frac{\pi}{5} = 0.19999(N \cdot m) < 0.21N \cdot m$$

∴五相单五拍工作制时，该步进电机不能正常运行，不能自己起动。（2分）

五相双五拍：

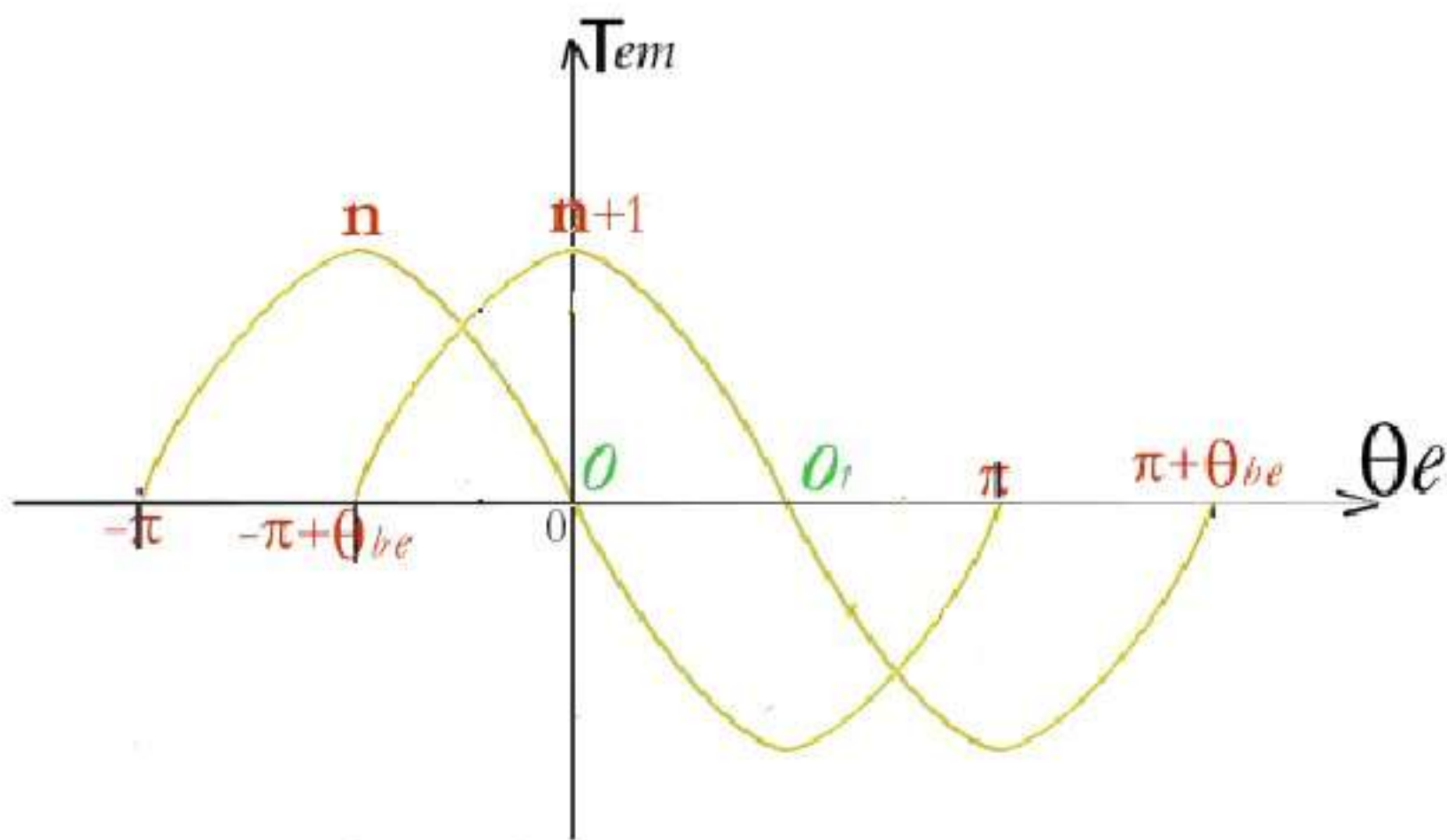
$$T_{AB} = T_A + T_B = -2 \cos \frac{\pi}{5} T_{j\max} \sin(\theta_e - \frac{\pi}{5}) \quad (1 \text{分})$$

$$T_q = 2 \cos \frac{\pi}{5} T_{j\max} \cos \frac{\pi}{5} = 2 \times 0.2 \times \cos^2 \frac{\pi}{5} = 0.39993(N \cdot m) > 0.21N \cdot m$$

∴五相双五拍工作制时，该步进电机可能够正常运行。（2分）

3-8某四相单四拍运行方式下的步进电动机相邻两个通电状态的矩角特性如图示，设步进电动机空载运行，求：

- ① 标出第 $n$ 个通电状态的静稳定区；
- ② 标出从第 $n$ 个通电状态换接为第 $n+1$ 个通电状态的动稳定区；
- ③ 步距角（电角度） $\theta_{be} = ?$
- ④ 设矩角特性 $n$ 上转矩幅值为 $T_{max}$ ，负载转矩 $T_f$ 满足什么条件才能保证步进电动机以四相双四拍方式正常运行？



答：③  $\theta_{be} = \frac{360^\circ}{N} = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$

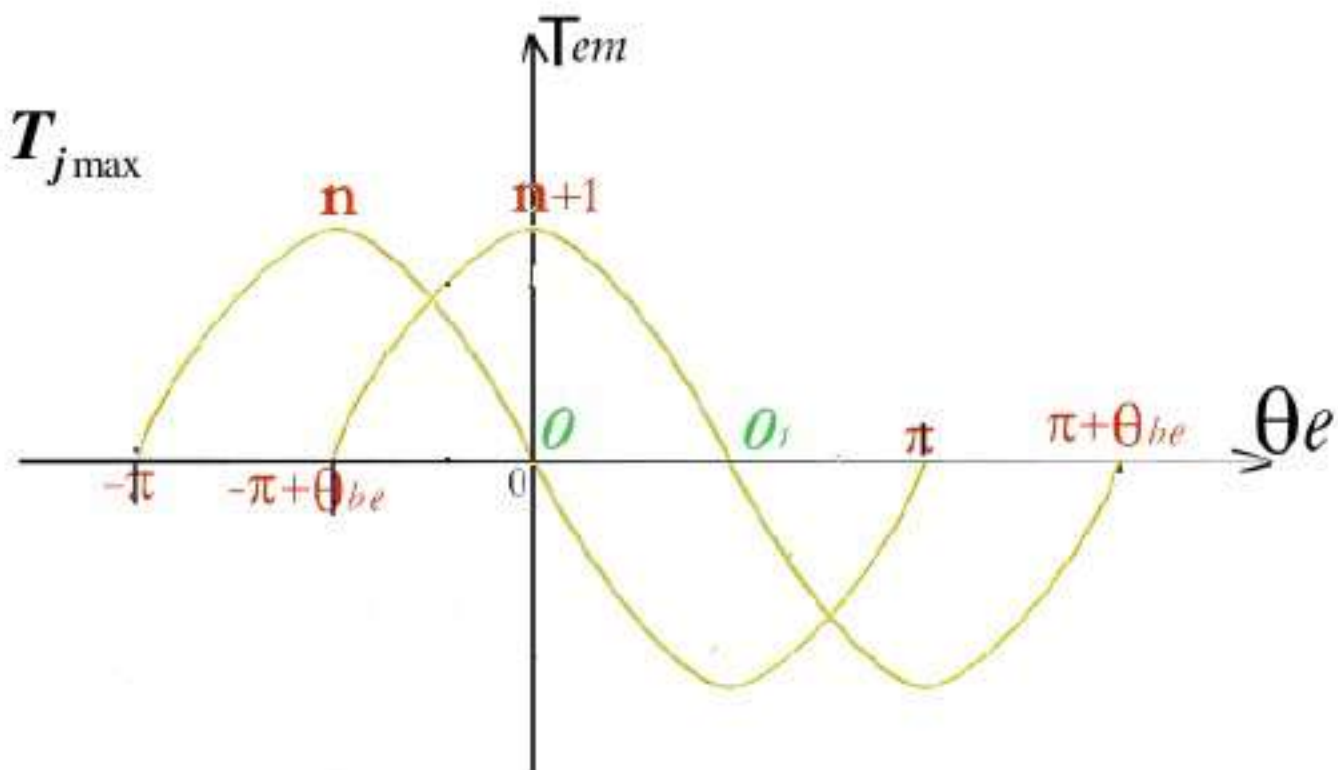
④ 四相双四拍方式下最大静态转矩：

$$T_{j\max(2)} = \frac{\sin \frac{n \cdot \theta_{be}}{2}}{\sin \frac{\theta_{be}}{2}} \cdot T_{j\max} = \sqrt{2} \cdot T_{j\max}$$

起动转矩：

$$T_q = T_{j\max(2)} \cdot \cos \frac{\pi}{N} = \sqrt{2} \cdot T_{j\max} \cdot \cos \frac{\pi}{4} = T_{j\max}$$

当  $T_f < T_{j\max}$  时刻正常运行；





**3-9**采取何种方法可提高反应式步进电动机的负载能力？

答：增加运行的拍数；增加通电的相数。

**3-10**四相反应式步进电动机的技术数据中表明了步距角为  $1.8^\circ / 0.9^\circ$ ，则可知转子的齿数为（ ）。已知采用电源脉冲频率为  $400\text{Hz}$ ，双拍制的转速为（ ）。

**P77: 式 (3.3)。**

**P79: 式 (3.6)。**

**4-1**正余弦旋转变压器负载运行时会造成输出特性的畸变，造成这种畸变的重要原因是副边电流所产生的交轴磁通。消除输出特性畸变的方法称为补偿。补偿的方法有原边补偿、副边补偿和原、副边补偿。

**P120~P125: 4.3.2正、余弦旋转变压器的负载运行。**

**4-2**脉振磁场有何特点？如何表示？

**P119: 脉振磁场的一般规律。**

**4-3**证明：二次侧（副边）补偿的正余弦旋转变压器的输入阻抗（或励磁电流，或输入功率）和转角 $\theta$ 无关。

**P123~P124有详细证明。**

■ **4-4** 说明原边（一次侧）补偿时励磁电流是否会随转角变化而变化？

**P124~P125, 有变化。**

■ **4-5** 课本第144页题4.6.

## (2010年考题)

如图所示为正余弦旋转变压器带负载工作的情况。

(1) 请完成原边（一次侧）补偿和副边（二次侧）补偿的连线。

(2) 如果只采用原边（一次侧）补偿，则分析说明励磁电流是否与转子转角无关。

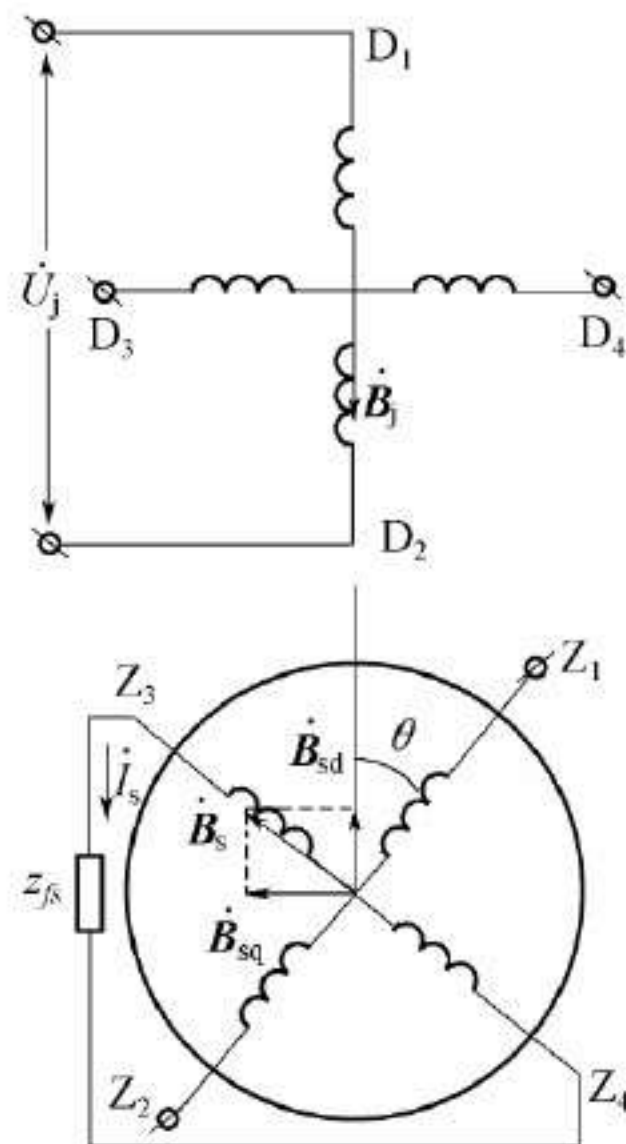


图 4-13 正弦绕组接负载

- **5-1**失调角、整步转矩、协调位置、失调、比整步转矩、比电压等名词解释。力矩式自整角机与控制式自整角机的失调角有什么不同？

**P153~P154; P162。**

- **5-2**力矩式差动自整角机（两种）工作原理分析。

**P155: 图5-11; P156: 图5-12。**

- **5-3**控制式差动自整角机工作原理分析。

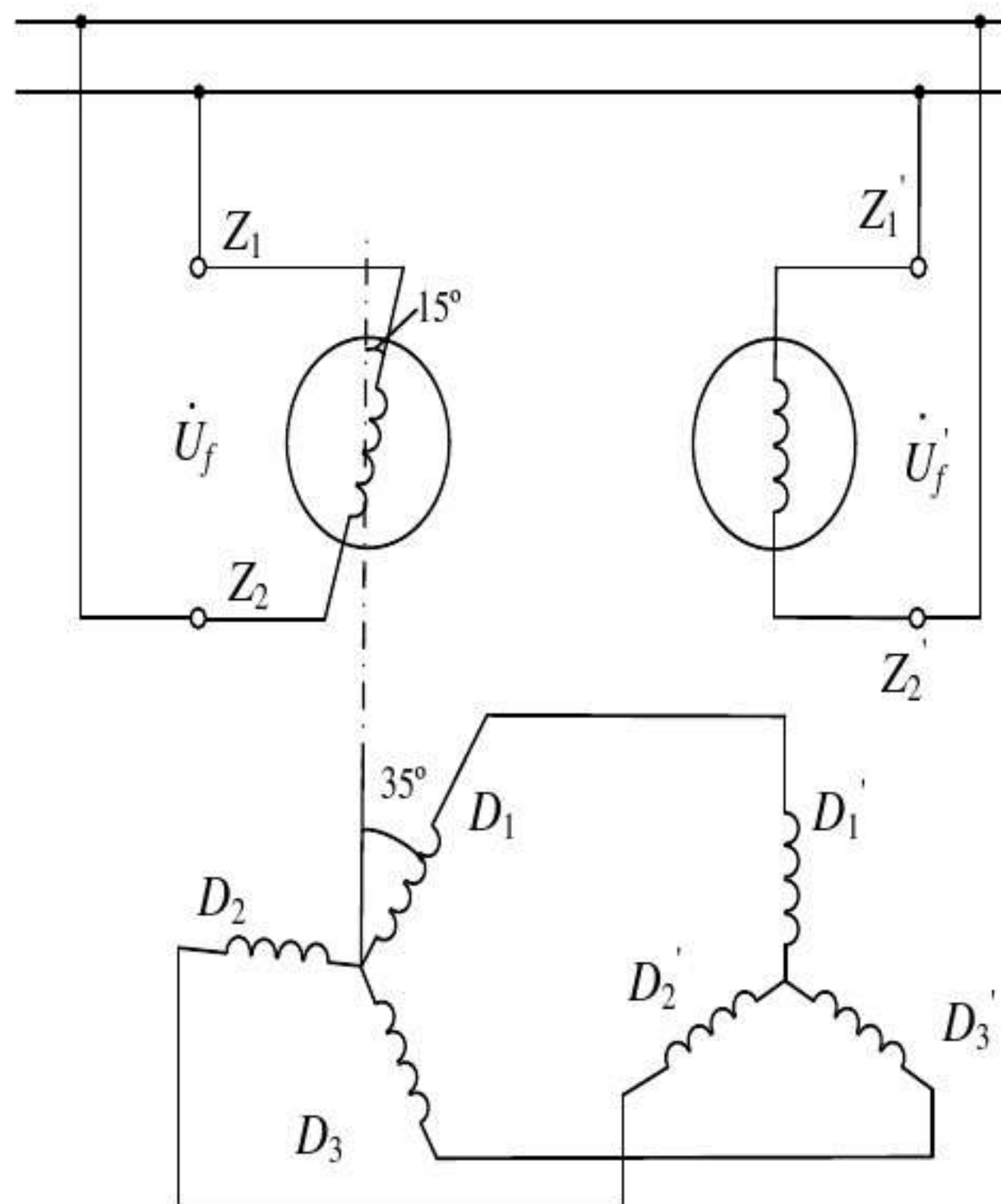
**P160: 图5-17; P161: 图5-18。**

- **5.4** 力矩式自整角接收机的零位相比发送机的零位（相同）；控制式自整角变压器的零位相比发送机的零位（偏转过 $90^\circ$ ）。

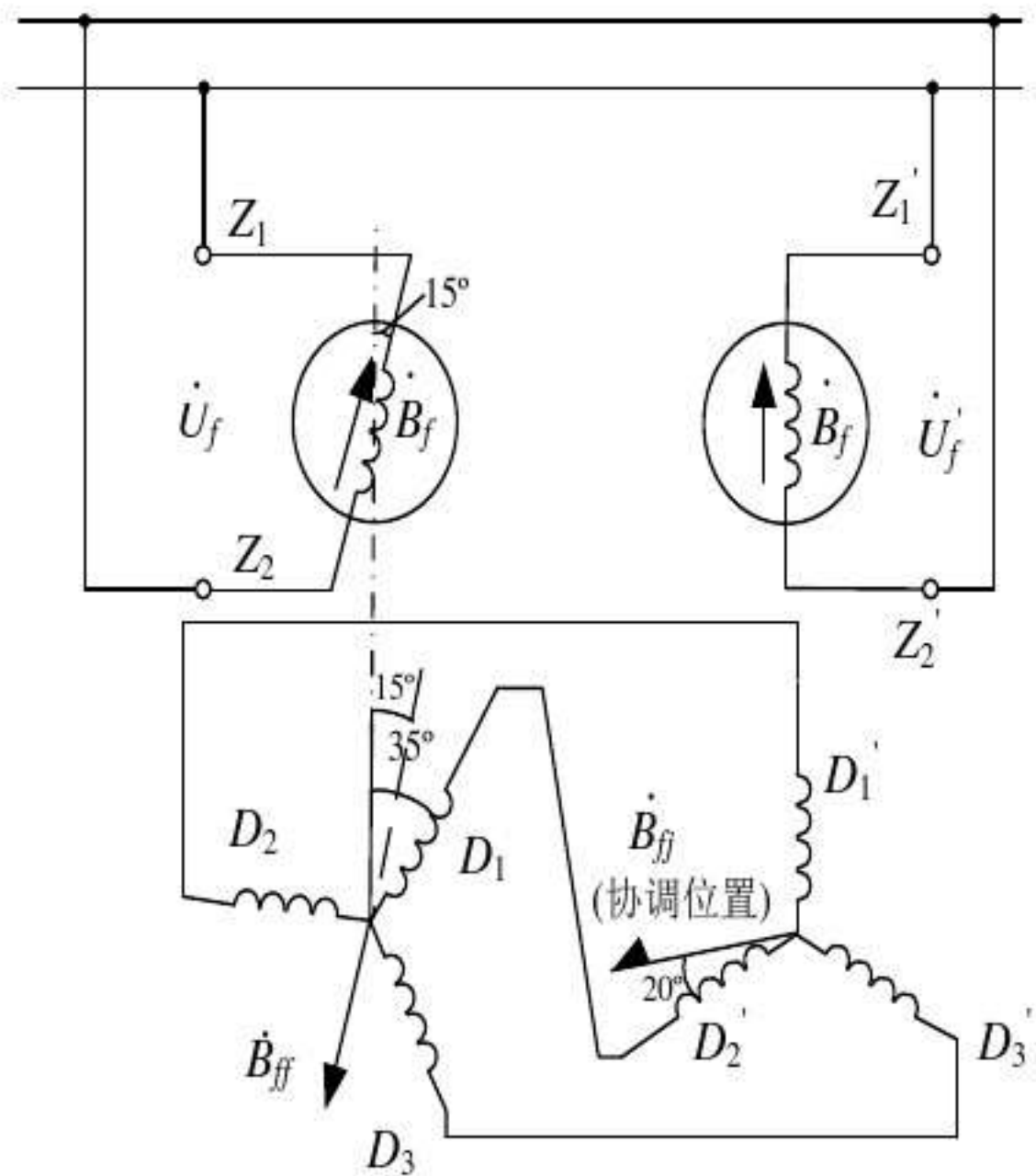
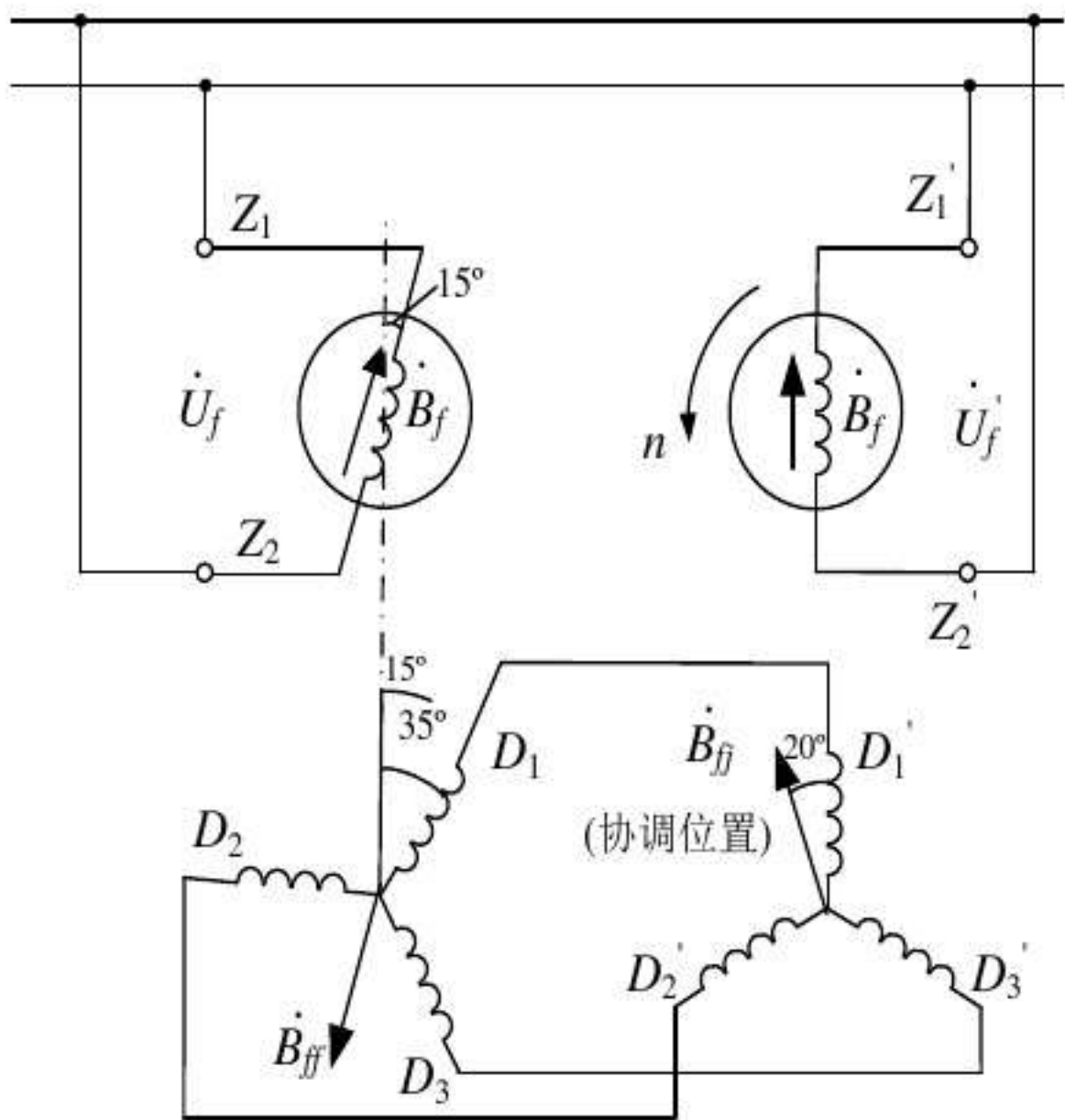
## 5-5 力矩式自整角机各种故障分析。

## 5-6 某力矩式自整角机接线如图所示，要求：

- ① 画出接收机转子所受转矩方向；
- ② 画出接收机转子的协调位置；
- ③ 若把 $D_1$ 和 $D_2'$ ， $D_2$ 和 $D_1'$ ， $D_3'$ 和 $D_3$ 连接，再画出接收机转子的协调位置；
- ④ 在第③问中错接的情况下的失调角？



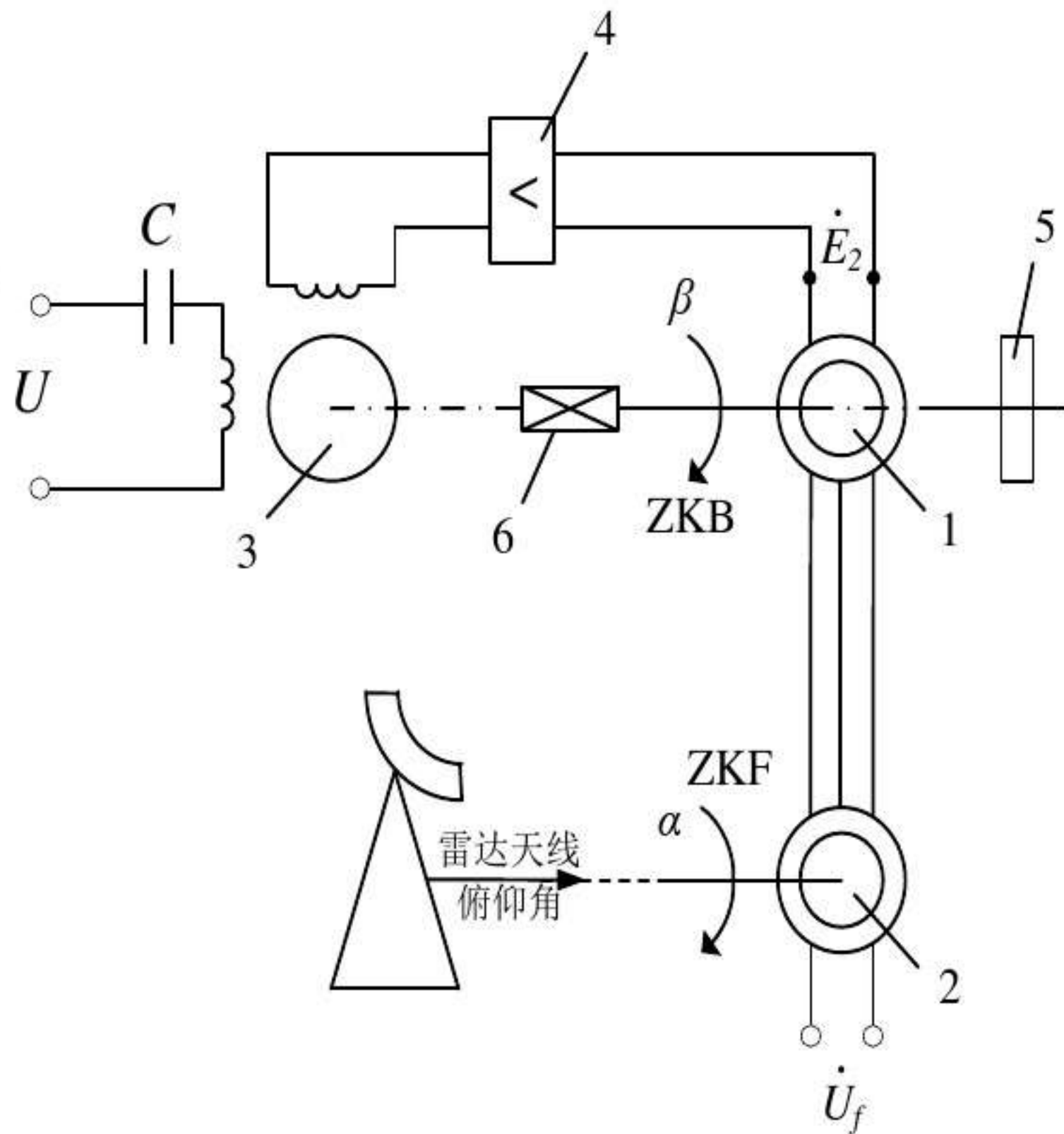
旧版书中。



④从 $D_1'$ 轴线方向逆时针转 $100^\circ$ 位置;

## 5-7简述图示系统的工作原理。

答：雷达天线带动与其同轴的自整角发送机转 $\alpha$ 角，自整角接收机输出与失调角 $(\alpha-\beta)$ 成比例的控制电压 $\dot{E}_2$ ，经放大加给两相交流伺服电动机控制绕组，电动机带动同轴指示装置及自整角接收机转动，直至 $\beta=\alpha$ ，此时指示装置指示出雷达俯仰角。



**6-1单相绕组通入直流电流、单相绕组通入交流电流及两相对称绕组通入两相对称电流各形成什么磁场？它们的气隙磁密空间怎样分布？随时间又怎样变化？**

**答：单相绕组通入直流电形成恒定磁场，气隙磁密基波在空间按正弦分布，位置和大小不随时间变化。**

**单相绕组通入交流电形成脉振磁场，基波在空间按正余弦分布，位置（对称轴、幅值位置）固定，振幅（大小与符号）随时间正弦变化。**

**两相对称绕组通入两相对称电流形成圆形旋转磁场，在空间按正弦分布，波形最大幅值不变，幅值所在位置随时间匀速变化。**



## 6-2 何为对称状态?两相圆形旋转磁场有何特点?如何改变旋转磁场的转向?

答: 1.当交流伺服电动机的两相绕组建立起圆形旋转磁场时,就称交流伺服电动机处于对称状态。

2.两相圆形旋转磁场的特点: (P181)。

(1) 转向: 旋转磁场的转向是从流过超前电流的绕组轴线转向流过落后电流的绕组轴线。

(2) 转速: 同步转速 $n_t = 60f/p$ 。转速均匀。

(3) 幅值: 圆形旋转磁场的幅值是恒定不变的, 其值与每相脉振磁场的幅值相等, 即:  $B = B_{km} = B_{jm} = B_m$

3. 改变旋转磁场的转向: 使一相绕组上电流或电压相位改变 $180^\circ$ 。

**6-3**当电机的轴被卡住不动，定子绕组仍加额定电压，为什么转子电流会很大？伺服电动机从起动到运转时，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。

答：1.电机的轴被卡住不动，定子绕组仍加额定电压，此时磁场以同步转速切割转子绕组， $s=1, T_{em}=T_d$ ，因此转子电流很大。

2.伺服电动机从起动到运转时，转子绕组的频率、电势及电抗会变为s倍。

$$3. f_{zn} = sf, E_{zn} = sE_{z0} (E = 4.44 fW\Phi_m)$$

$$x_{zn} = sx_{z0} (x_{zn} = \omega L_{zn} = 2\pi f_{zn} L_{z0})$$

其中 $E_{z0}$ 和 $X_{z0}$ 分别为空载时转子的电势及电抗。

6-4当有效信号系数 $\alpha_e$ 从0~1变化时,电机磁场的椭圆度怎样变化?被分解成的正、反向旋转磁场的大小怎样变化?

答:  $\alpha \approx \alpha_e$      $\alpha_e : 0 \rightarrow 1$      $\Rightarrow \alpha : 0 \rightarrow 1$

$$B_+ = \frac{1+\alpha}{2} B_{jm} \qquad B_- = \frac{1-\alpha}{2} B_{jm}$$

$$\alpha_e : 0 \rightarrow 1 \qquad \Rightarrow B_+ \uparrow \quad B_- \downarrow$$

$\alpha_e$ 从0~1变化时,电机磁场的椭圆度变小。正向旋转磁场变大,反向旋转磁场变小。

**6-5**两相伺服电动机的转子电阻为什么都选得比较大？如果转子电阻选得过大又会产生什么不利影响？

答：1.转子电阻大可使 1) 圆形旋转磁场时的机械特性在第1象限是下垂的，在 $0 \rightarrow n_t$ 内可稳定运行。2) 避免单相自转现象。3) 机械特性线性度好。

2.转子电阻过大，效率太低，电机发热；堵转转矩过小。

**6-6**什么是自转现象？为了消除自转，两相伺服电动机单相供电时应具有怎样的机械特性？

答：1.两相电机空载运转时，当一相控制信号为0( $I_k=0$ 或 $U_k=0$ )，转子仍旋转不止，就称为自转。

2.为了消除自转，两相伺服电动机单相供电时，机械特性应分布在2、4象限（不在1、3象限），且通过 $s=1, n=0$ 及 $T=0$ 的坐标原点。

6-7 交流伺服电动机幅值控制时,  $\alpha_e$  代表有效信号系数, 当  $\alpha_e = 1$  时理想空载转速为  $n_t$ , 堵转转矩为  $T_{dm} = 0.3 N \cdot m$ 。电机手册给出, 电源频率  $f = 50\text{Hz}$ , 旋转磁场极对数  $p = 1$ , 电机时间常数为  $\tau_{m0} = 0.03\text{s}$ , 空载转速  $n'_0 = 2700\text{ r/min}$ 。试求:

- ① 旋转磁场的同步转速;
- ② 定性画出  $\alpha_e = 1$  及  $\alpha_e = 0.5$  时的机械特性;
- ③ 电机空载运行且  $\alpha_e = 0.5$  时的机电时间常数  $\tau'_m$ ;
- ④  $\alpha_e = 1$  时的空载转差率?
- ⑤ 列些转子侧电势平衡方程式;
- ⑥  $\alpha_e = 0$  时, 电动机停转, 此时电动机的机械特性有什么特点。

答：①  $n_t = \frac{60f}{p} = 3000 \text{ r/min}$

② 图中：

$$T_d = \alpha_e \cdot T_{dm} = 0.5T_{dm}$$

$$n_0 = \frac{2\alpha_e}{1+\alpha_e^2} n_t = \frac{1}{1.25} n_t$$

③

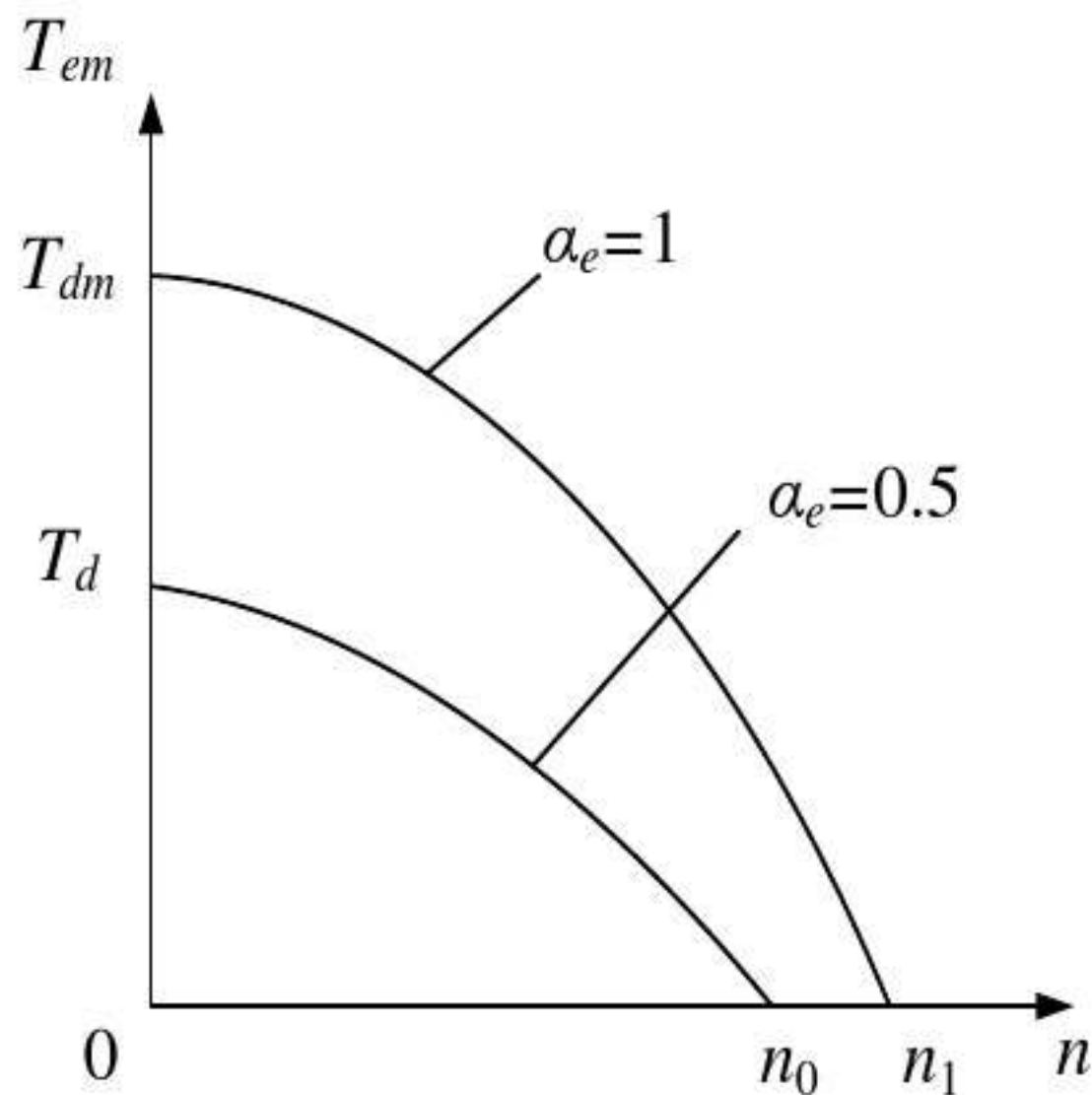
$$\tau_m = \tau_{m0} \frac{J_0 + J_f}{J_0} \cdot \frac{n_t}{n_0}$$

$$\tau_m' = \frac{2}{1+\alpha_e^2} \cdot \tau_m = \frac{2}{1.25} \times 0.03 \times \frac{3000}{2700}$$

$$= 0.053 \text{ s}$$

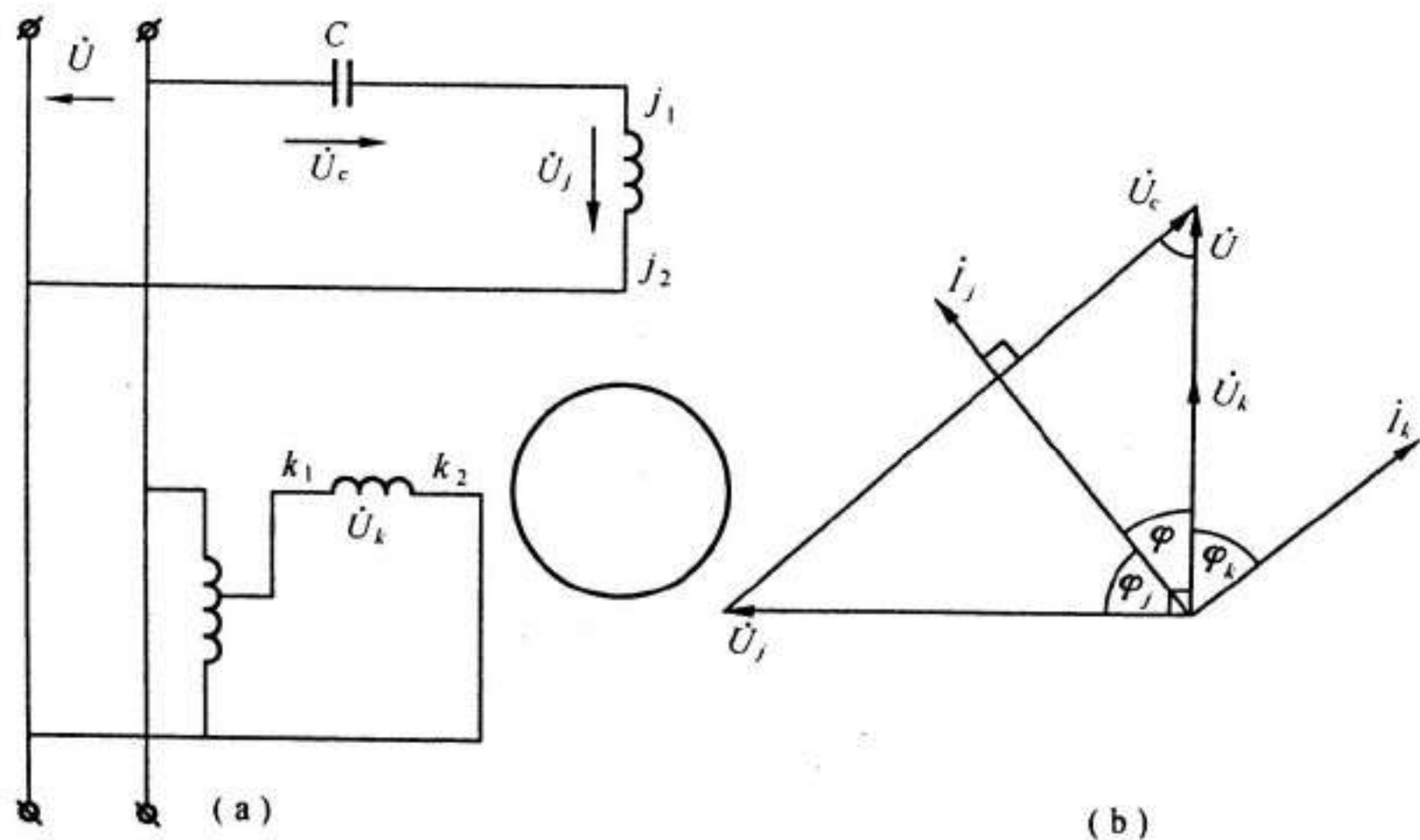
④

$$s_0 = \frac{n_t - n_0'}{n_t} = \frac{3000 - 2700}{3000} = 0.1$$



## 6-8 阐述幅相控制交流伺服电动机的电容移相原理。

答：



由于电动机绕组都有电感，因此 $i_j$ 和 $i_k$ 分别落后 $\dot{U}_j$ 和 $\dot{U}_k$ 一个相位角 $\varphi_j$ 和 $\varphi_k$ 。在励磁回路串联适当的电容  $C$ ，使励磁回路总阻抗呈容性。于是 $i_j$ 超前 $\dot{U}$ 一个角度 $\varphi$ ，而 $\dot{U}_c$ 落后于 $i_j$ 相位 $90^\circ$ ，且 $\dot{U} = \dot{U}_j + \dot{U}_c$ ，只要电容  $C$  的数值适当，就可以使 $\dot{U}_j$ 和 $\dot{U}$ 相位差为 $90^\circ$ 。

**6-9**两相交流伺服电机**对称运行**时，已知励磁绕组和控制绕组的匝数比为**5**，则两相绕组所加电压应满足什么样的关系？两相绕组通入的电流呢？

答：1.所加电压关系：
$$\dot{U}_k = \pm \frac{1}{5} j \dot{U}_j$$

2.通入的电流关系：
$$\dot{I}_k = \pm 5 j \dot{I}_j$$

**6-10**为什么交流伺服电动机又称为两相异步电动机？如果有一台电机，技术数据上标明空载转速是**1200r/min**，电源频率为**50**赫兹，这是几极电机？空载转差率是多少？



**7-1**在进行器件选择时，直流伺服电动机和交流伺服电动机各有何优缺点？

**答：1.直流伺服电动机：**

**优点：**静态特性线性，硬度大，无自转现象，精度高，起动转矩大，调速范围大，适用于大功率系统；

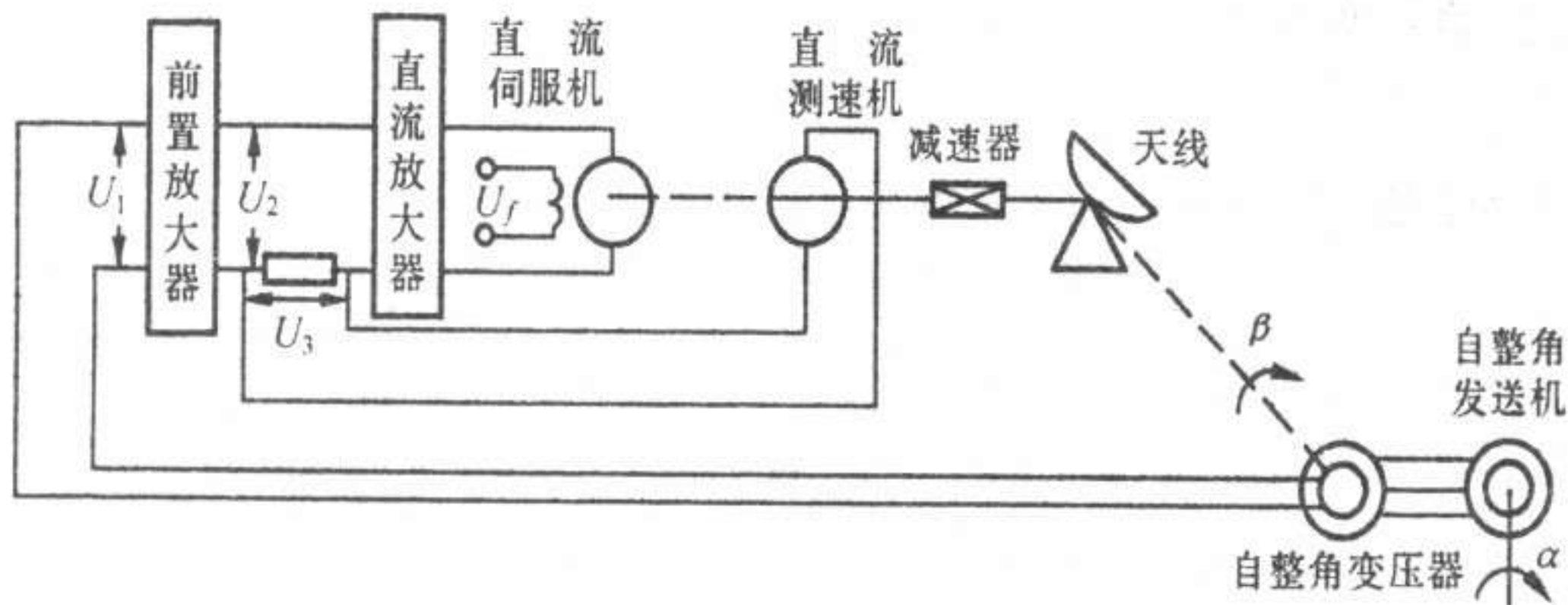
**缺点：**有电刷和换向器，易产生火花，成本高

**2.交流伺服电动机：**

**优点：**结构简单，成本低，无电刷和换向器，

**缺点：**易产生自转现象，特性非线性，特性软，效率低，适用于小功率系统。

## 7-2 试说明图中雷达天线系统各元件的作用。



答：直流伺服电动机：执行元件，经减速器带动天线运动；

直流测速发电机：起阻尼作用，减少系统机械惯性引起的震荡； $U_3 = K_3 n$  或  $U_3 = K d\beta/dt$ 。

自整角机对：自整角发送机接受输入角  $\alpha$ ，自整角变压器被驱动的转角为  $\beta$ ，产生正比于  $(\alpha - \beta)$  的交流电压，起检测作用；

前置放大： $U_2 = K_1 (\alpha - \beta)$  起放大信号的作用。

### 7-3 无刷直流电动机的原理框图。

常用的位置传感器有哪几种结构形式？

如何改变电机转子的转向。

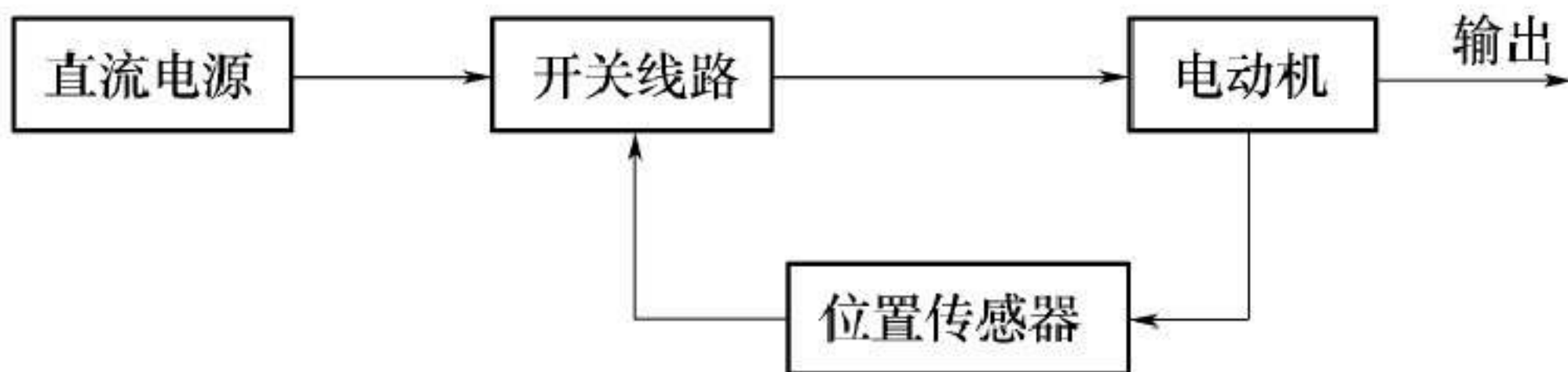


图 7-1 无刷直流电动机原理

### 7-4 增量式码盘与绝对式码盘的分辨率。