

## 自控元件复习提纲

### 一、关于考试（从学长处获得信息，仅供大家参考）：

1、简答：eg: 1)、为什么空载实验可以测  $r_m$  ,  $X_m$ ?

2)、变压器中是否必须有无功功率?

2、论述：eg: 1)、变压器工作原理。

2)、电机基本特点。

论述时必要时要作图说明。如要论述两相伺服电机为何有无自转特性时应该作出单相工作时两相伺服电机的机械特性曲线来说明。

3、计算：两个计算，一个直流，一个交流。

### 二、各章重点内容概述（参考往届笔记）：

#### 第1章 直流磁路及其计算

重点章节：1-1, 1-2, 1-3

磁路总是闭合的；磁路计算的正反两类任务；等效磁路的画法

#### 第2章 直流电磁铁及其典型应用

重点章节：2-1, 2-2, 另外第三节中的继电器的主要技术指标大家也要注意

#### 第3章 直流电机的一般问题

重点章节：3-1, 3-2, 3-4, 3-5, 3-6

发电机、电动机的识别，电角的概念，电枢反应的概念，直流电机的电枢电动势和电磁转矩的计算方法，直流电机的电势平衡关系、转矩平衡关系、功率平衡关系，电枢绕组的具体原理如果不明白大家不必深究，只要知道概念就可以，这里不是重点。

PS：本章是比较重要的一章，计算题可能出在这一章。

#### 第4章 直流测速发电机和直流伺服电动机

重点章节：4-1, 4-2 第三节要掌握直流力矩电动机的特点，知道其应用场合以及为什么要用在这些场合。

准确理解直流伺服电动机的工作原理、四种工作状态，准确掌握直流测速发电机和直流伺服电动机的工作原理及特性（输入、输出等）

#### 第5章 变压器

重点章节：5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 5-6

空载电压平衡式和等效电路及相量图，负载运行的电压平衡式和磁动势平衡式及相量图和等效电路 P101 的图 5-12 大家仔细看。参数、额定数据和特性。磁场问题转化到电路问题。

#### 第6章 异步电动机

重点章节：6-1, 6-3, 6-4, 6-5

转差率  $S$ ，功率传递，相电动势，第三节可能考计算，注意一下习题中的最后两道计算题 6.12, 6.15

另外，第六章和第五章联系很紧密，大家可以结合起来复习效果更好。

#### 第7章 两相电机

重点章节：7-1, 7-2

分解磁场，无自转的分析，稳定运行范围大，第一节的第一（四）部分其它人家可以不用管。异步测速发电机的输出电压的特点，原理，频率与转速无关，只与电源有关。

#### 第8章 同步电动机

$$E = C_e \Phi n$$

$$C_e = \frac{PN}{60a}$$

$$T_{em} = C_T \Phi I_a$$

$$C_T = \frac{PN}{2\pi a}$$

$$i_a = \frac{I_a}{2a}$$

重点章节: 8-1, 8-2, 8-3, 8-4

原理不重要, 只需掌握最基本内容, 前三节掌握三种同步电动机的特点, 步进电动机掌握相数、齿数、矩角特性等。

### 第10章 旋转变压器和自整角机

重点章节: 10-1, 10-2

旋转变压器怎样转, 几种补偿方式, 为什么补偿, 自整角机的工作原理, 力矩式, 控制式, 输入输出什么等。

### 三、补充说明

复习时注意每一章后的小结。另外复习时可以老师留的作业(到第七章, 后两章老师还没留)为基础, 老师留过的作业如下:

1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.4, 2.5, 2.6, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.9, 3.10, 3.13, 3.14, 4.1, 4.5, 4.6, 4.9, 4.10, 4.12, 4.14, 5.1, 5.4, 5.6, 5.7, 5.11, 5.15, 5.17, 6.1, 6.4, 6.5, 6.7, 6.11, 6.12, 6.15, 7.1, 7.3, 7.5

由于这学期考期任务并不重, 时间比较充裕, 希望大家能把按照上面提到的重点章节把书仔细地过一遍, 这样效果会更好。另外上面提到的重点内容只是一部分, 由于个人水平有限并没有全部列举完, 所以希望大家认真看一下书。

最后再强调一下这些东西仅是参考前几年的复习提纲, 今年是否有变化还得等最后一节课老师的最后总结, 因此大家在参考这个复习提纲的时候要慎重。

祝大家考期顺利!

$$U = E + I_a R_g$$

$$E = C \phi n$$

$$\tau = J \cdot \frac{\Omega_0}{\omega}$$
$$= J$$

$$\Omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60}$$

$k_f$



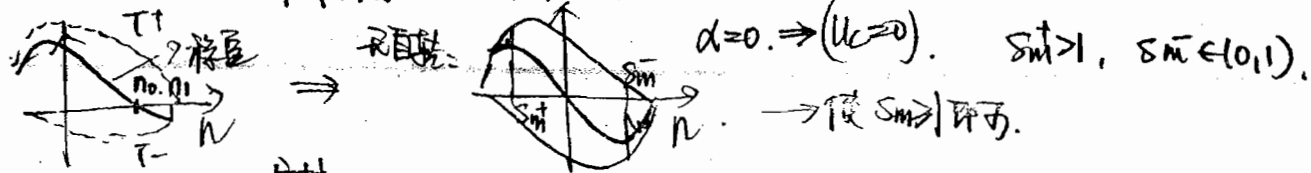
$$n = n_0 - k_f T_{em}$$

$$T_{em} = T_d = \frac{J \omega_0}{R_g}$$

$$\tau = 0.105 J k_f$$

## 两相电机

1. 两相同步电动机. 转子磁极数  $p$  大.  $\rightarrow$  稳定运行. 不自转, 快速启动.  
 椭圆磁势  $\rightarrow$  分解成正反转不同圆形磁势.

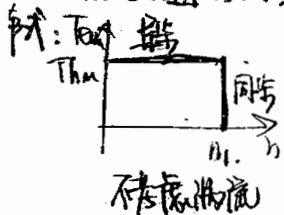


2. 异步电动机.  $U_2 = 4.44 N_2 f \Phi_{gm}$ .  $\Phi_{gm} \propto n$ .  $\Rightarrow U_2$  频率 =  $\Phi_{gm}$  即比同步慢, 与转差有关.  
 这里所以称转差为有效值.

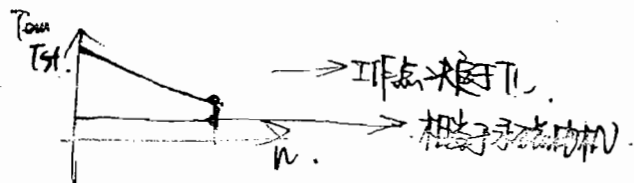
同步电动机

平均启动转矩为0.  
 不能自启动.

1. 力矩与转速关系  $\Rightarrow$  与  $T_L$  有关.



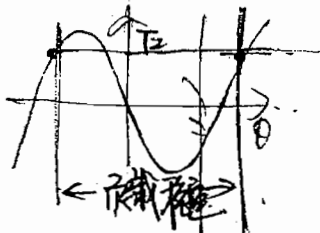
$T_{max}$ : 最大启动转矩.



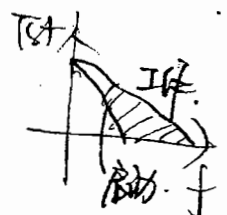
时. 因磁阻大小不同  $\rightarrow$  也极效应.

2. 异步电动机 (反式).

转差角  $\theta_b = \frac{1}{m} \theta_t = \frac{1}{m} \frac{360^\circ}{Z_2}$   $\theta_t$ : 转差角.  $N = \frac{360^\circ}{\theta_b} = m Z_2$  每转齿数,  $m$  为定子相数, 可理解为齿数.



条件:  $\begin{cases} \textcircled{1} T_L < T_{st} \\ \textcircled{2} m \geq 3 (T_{st} > 0) \end{cases}$

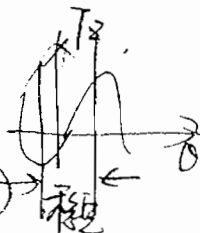


## 旋转变压器和自整角机

1. 正余弦旋转变压器. 原边励磁: 使励磁(2)短路, 消除磁势.  
 副边补偿: 负载阻抗相等.

2. 自整角机. 三相电阻转不起来.  $\rightarrow$  单相.

力矩式:  $\theta_1 \rightarrow \square \rightarrow \theta_2$ . (远距离指示装置).  
 控制式:  $\theta_1 \rightarrow \square \rightarrow U$ . 精确角. (闭环伺服系统).



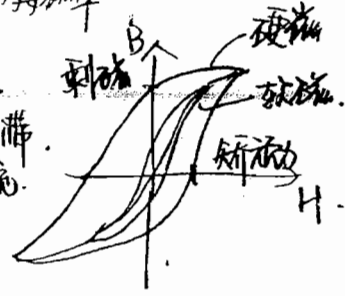
$\Rightarrow d$ , 直轴磁势有用



# 直流磁路

1.  $\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$ ,  $H = \frac{B}{\mu}$  (磁感应强度, 磁场强度),  $\mu$  为导磁率

与磁介质的磁导率有关, 也与励磁电流与导体形状有关.



2. 导磁材料特点: ① 高导磁率 ② 磁饱和 ③ 磁滞 ④ 铁损耗 (磁滞损耗).

3. [Gauss]:  $\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$ ,  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_N$

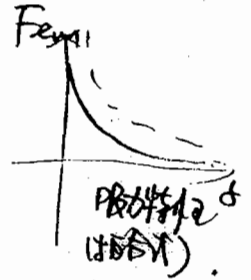
[Ω]:  $\Phi \cdot R = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_N \Rightarrow \Lambda S = \frac{\mu_0 S}{l}$

[Ampere]:  $\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum I_N$

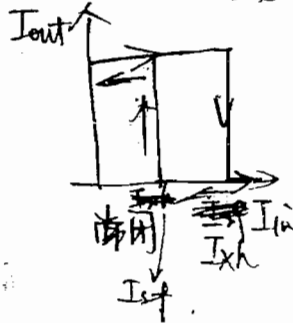
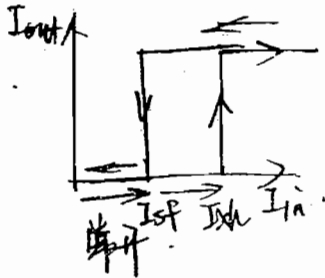
4. 电磁铁: 吸入式 (吸力大, 行程大). 排斥式. 漏磁通过衔铁则能对衔铁作用.

5. 磁力:  $W_c = \int_0^{\Phi_s} i_N d\Phi$ ,  $\Delta W = \frac{1}{2} U_s^2 \Delta \Lambda_s$

$F_{em} = -\frac{1}{2} I_s^2 \frac{d\Lambda_s}{ds} = -\frac{dW}{ds} = \frac{1}{2} \Phi_s^2 \frac{dR_s}{ds} = \frac{C}{s^2}$



6. 继电器: 继电器特性.



$K_{fh} = \frac{I_{sf}}{I_{xh}} < 1$

直流电机 → 变频: 交流 变频: 直流

1.  $p \propto m = \alpha$ . 机械角, 电角度. (齿数) (极数)  $\tau = \frac{\pi p a}{2p}$  极距.  $S = K = \frac{2}{p}$  (槽数)

2.  $\alpha$  对支路数  $p$ : 极对数  $\Rightarrow$  单管绕组:  $a=p$  单波绕组:  $a=1$

3. 电枢反应: 磁通:  $\Phi = \Phi_0$  磁通:  $\Phi = \Phi_0 + \Phi_a$  电枢反应对主磁场的削弱作用.  $\Rightarrow B_{av} = \frac{\Phi}{\tau l}$

4.  $E_a = C_E \Phi n$ ,  $T_{em} = C_T \Phi I_a$  其中  $C_E = \frac{PN}{60a}$ ,  $C_T = \frac{PN}{2\pi a}$  机电常数 转矩常数

5. 电机: 电路:  $e, i$  同向 平衡:  $E_a = U + I_a R_a$  /  $e_a = u_e + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt}$  机械平衡:  $T_1 = T_{em} + T_0 + J \frac{d\omega}{dt}$  功率关系:  $P_1 = P_2 + P_{cu} + P_a$  ( $P_0 = P_{fe} + P_{me}$ )  $P_N = U_N I_N$  额定功率

电动机:  $e, i$  反向 平衡:  $U = E_a + I_a R_a$  /  $u = e_a + i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt}$   $T_{em} = T_2 + T_0 + J \frac{d\omega}{dt}$   $P_1 = P_2 + P_0 + P_{cu}$   $P_N = U_N I_N$



# 直流伺服电机/伺服电动机 他励!

增益环节 执行环节 比例环节

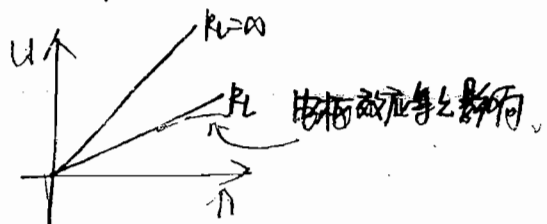
## 1. 直流伺服电动机

输出特性:  $U = U_n \cdot n$   $U_n = \frac{C_e \Phi}{1 + \frac{R_a}{R_L}}$

①  $R_L \uparrow$ , 电枢效应  $\downarrow$

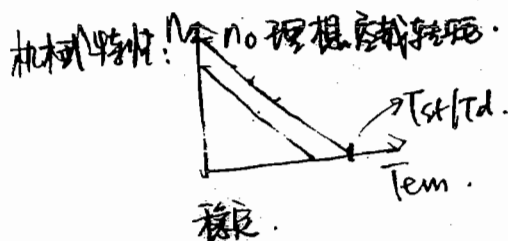
② 减小电刷接触压降  $\Rightarrow$  可减小死区

③ 使磁钢工作在磁化饱和的状态  $\Rightarrow$  减小温度的影响

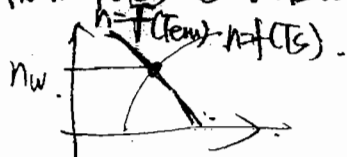


## 2. 直流伺服电动机: 可控性良好 $\rightarrow$ 控制位置/速度/转矩

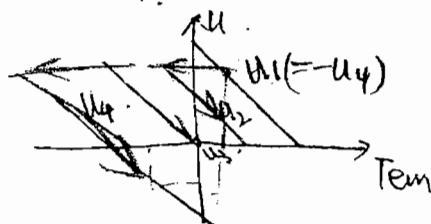
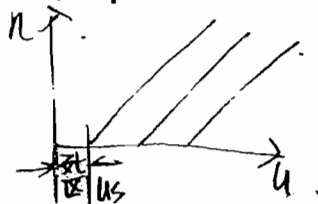
①  $n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e C_t \Phi^2} T_{em} = K_1 U - K_2 T_{em}$



对于负载  $n = f(T_{em})$   $E = T_{em} \cdot \Phi$  总是斜率为零



调速特性



## ② 四种工作状态: 改变电枢电压 $U$ 大小方向, 电枢方向, $T_{em}$ 方向, 电动机, 发电机, 电动机+反接制动

发电:  $T_{em}$  与  $n$  反向,  $U$  与  $n$  同向; 电动:  $T_{em}$  与  $n$  同向,  $U$  与  $n$  同向.  $I_a$  较大

③ 机械时间常数  $T_m = 0.105 J \frac{R}{C_e C_t \Phi^2} = J \frac{R}{C_e C_t \Phi^2}$   $[R = R_a + R_i]$   $T_m = J \frac{\Omega_0}{T_d}$  机械特性斜率

## 3. 直流力矩电动机

长期处于低速状态下, 大转矩

变压器 能量守恒

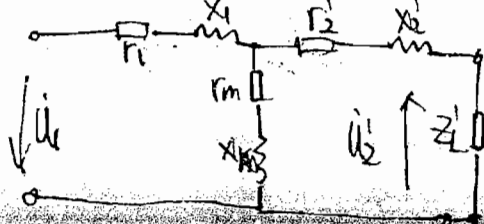
1. 磁路:  $E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$ ,  $E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$

$E_{r1} = I_{01} X_1$ ,  $E_{r1} = -j I_{01} X_1$

② 励磁电流  $I_0$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{磁滞与铁损} \\ \text{涡流铁损} \end{array} \right.$   $\rightarrow$  磁滞与铁损:  $I_0$  与  $\Phi$  同相位, 正弦波  
涡流铁损:  $I_0$  超前  $\Phi$ , 尖顶波

磁化电流  $\downarrow$   
 $I_0 = I_{0m} + I_{0s} \rightarrow$  铁耗电阻  
与一次绕组电阻无关

## 2. 带负载: $I_2 = \frac{I_1}{k}$ , $E_2' = k E_2$ , $Z' = k^2 Z$ , 功率, 铜耗



T型等效电路





参数,  $r_1, B, X_1, Y_2, Y_m, X_m$ . ( $Y_1 + K^2 Y_2 = Y_K, X_2 X_1 + K^2 X_2 = X_K$ : 短路阻抗).

空载实验:  $U_1 = U_{1N}$ . 忽略铜损.  $\Rightarrow K, r_m, X_m$ .

短路实验:  $I_1 = I_{1N}$ .  $I_0 \approx 0$ .  $\Rightarrow r_K, X_K \Rightarrow r_1, X_1, r_2, X_2$ .

稳态. 基本方程:

$$\begin{cases} U_1 = -E_1 + I_1 Z_1 \\ U_2 = E_2 - I_2 Z_2 \\ \frac{E_1}{E_2} = K \\ I_1 n_1 + I_2 n_2 = I_0 n_1 \\ I_0 = -\frac{E_1}{Z_m} \\ U_2 = I_2 Z_L \end{cases}$$

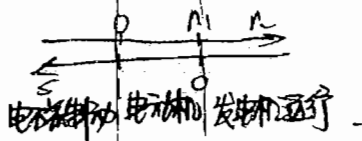
### 异步电动机. 转子短路.

$\equiv$  相对称电流 +  $\equiv$  相对称绕组 = 圆形磁场.

幅值  $F = 1.35 I_N \cdot \text{KN/P}$

同步转速  $n_1 = 60f/p$ .

转差率  $s = \frac{n_1 - n}{n_1}$



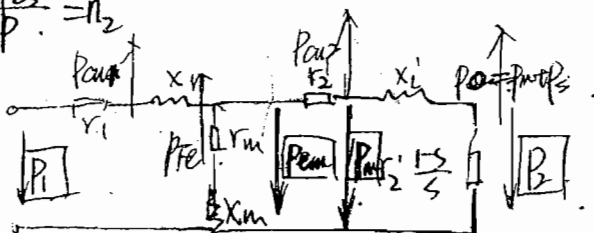
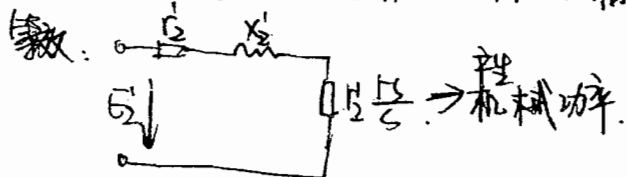
相对静止.

$$\begin{cases} U_1 = -E_1 + I_1 Z_1 \\ E_2 = I_2 Z_2 \\ E_1 = E_2 = -I_0 Z_m \\ I_1 + I_2 = I_0 \\ I_1 + I_2 = I_0 \end{cases}$$

2. 异步电动机.

转子磁场相对静止:  $f_s = \frac{p n_2}{60} = f_s$ .  $n_{2s} = \frac{60f_s}{p} = n_2$

定子:  $n_{2s} + n = n_1 \Rightarrow$  相对静止.

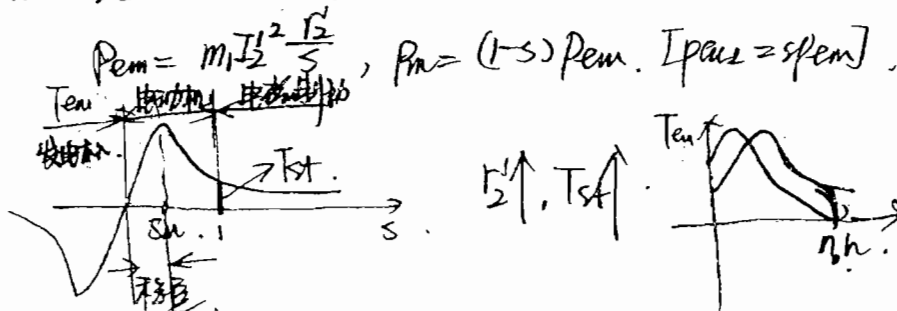


分解转矩.  $T_{em} = G_T \phi_m I_2 \cos \phi_2$ . 电路有功分量 (转子回路的功率因数).

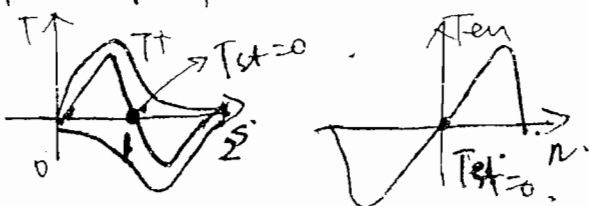
$T_{em} = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_{em}}{\Omega_1}$

4.  $T_{em} = f(s)$ .  $\frac{dT_{em}}{ds} > 0$  才为稳定.

$S_n$  与转子阻抗  $Z_2$  有关.



单相. 分解为两个旋转磁场.  $s^+ + s^- = 2$ . 没有启动转矩.





⑤

# 数学作业纸

班级:

姓名:

编号:

第 页

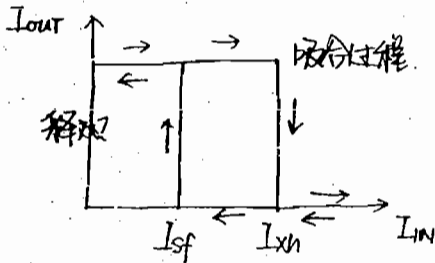
铁磁材料

描述磁滞回线的形状

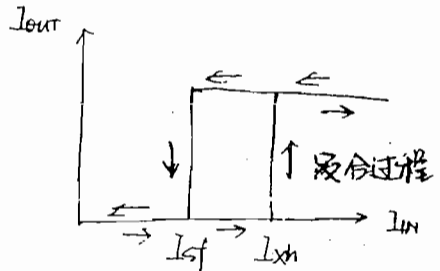
软磁材料: 磁滞回线包围的面积小.  
磁导率高, 易于磁化, 剩磁易消失.  
硬磁材料: 磁滞回线宽, 包围面积大.  
具有较高剩磁.  
一经磁化即能保持较强烈的磁性, 又称永磁材料.  
主要用于扬声器, 磁电式仪表, 永磁发电机等电器以产生恒定磁场.

多用交流磁路, 易于制作电机, 变压器铁芯, 如脉冲器铁芯.

组合式继电器 常闭触点的继电特性



常开触点



继电器可靠工作的两个条件

- ① 在吸合时电磁吸力必须始终大于反力
- ② 在释放时电磁吸力必须始终小于反力

直流发电机: 电枢电动势  $E_a$  与电枢电流  $I_a$  同向  $E_a$  为电枢电动势,  $E_a = U + I_a R_a$

直流电动机:

反向  $E_a$  反电动势,  $U = E_a + I_a R_a$

直流电机

电枢电动势  
电磁转矩

$$E_a = C_E \phi n$$

$$T_{em} = C_T \phi I_a$$

电机常数  $C_E = \frac{PN}{60a}$ , 为极对数,  $a$  为支路数,  $N$  为导体数,  $\phi$ ,  $n$

电机常数  $C_T = \frac{PN}{2\pi a}$

$$i_a = \frac{I_a}{2a}$$

直流伺服电动机

$U_c > E_a$ ,  $I_a$  反向  $E_a$ ,  $T_{em}$  反向, 电→机

电动机

发电机

动能制动状态

( $U_c > E_a$  不是电动机, 也不是发电机状态)

反接制动状态

反向电动机状态

$$U_c \leq U_c < E_a$$

$$U_c = 0$$

$$T_{em} = C_T \phi I_a$$

$$I_a \text{ 不变 } n \text{ 增大}$$

$$U = E_a + I_a R_a$$

$$n = \frac{U_c}{C_E \phi} - \frac{R_a}{C_E C_T \phi^2} T_{em}$$

$$E_a = C_E \phi n$$

$$E_a = C_E \phi n$$

$n$  不能突变 so  $E_a$  不变  $U \uparrow \rightarrow I_a \uparrow \rightarrow T_{em} \uparrow \rightarrow n \uparrow \rightarrow E_a \uparrow \rightarrow I_a \downarrow$

# 数学作业纸

班级:

姓名:

编号:

第

页

$$U_1 \approx E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

一次电压  $U_1 \downarrow$   $\Phi_m \downarrow$

一次电压频率  $f \downarrow$   $\Phi_m \uparrow$

铁心截面  $S \uparrow$   $\Phi_m$  不变

|    | $U_1$ | $I_1$ | $\Phi$ |
|----|-------|-------|--------|
| 空载 | 额定    | 小     | 正常     |
| 轻载 | 小     | 额定    | 小      |
| 额定 | 额定    | 额定    | 正常     |

单相绕组通入直流电  $\rightarrow$  恒定磁通 恒定磁场  $\checkmark$

单相绕组通入交流电  $\rightarrow$  脉振磁场  $\checkmark$

三相对称绕组通入三相同相电流  $\rightarrow$  无/脉振磁场

三相对称绕组通入三相对称电流  $\rightarrow$  无

三相对称绕组通入三相不对称电流  $\rightarrow$  圆形旋转磁场

永磁式

磁滞式同步电动机: 能够自启动、启动转矩大、启动时间短

磁阻式 可稳定工作在异步状态  $\rightarrow$  靠磁滞转矩工作

同步状态  $\rightarrow$  相当于永磁同步电动机

1. 伺服电机

目的: 为了使旋转变压器输出电压与转角有严格的正余弦关系

伺服电机 { 力矩式 输出量 接收机的转角  $\rightarrow$  远距离指示装置

控制式 伺服电机变压器的输出电压  $\rightarrow$  闭环伺服系统

# 数学作业纸

班级:

姓名:

编号:

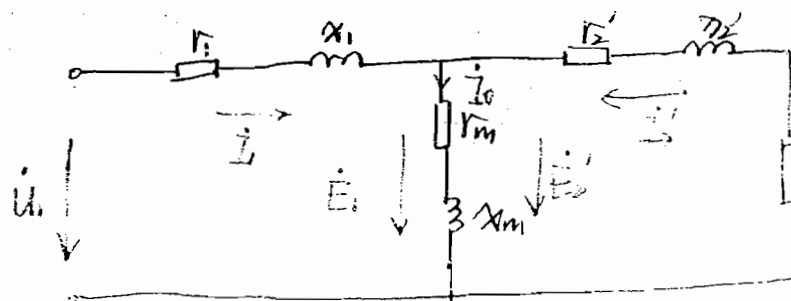
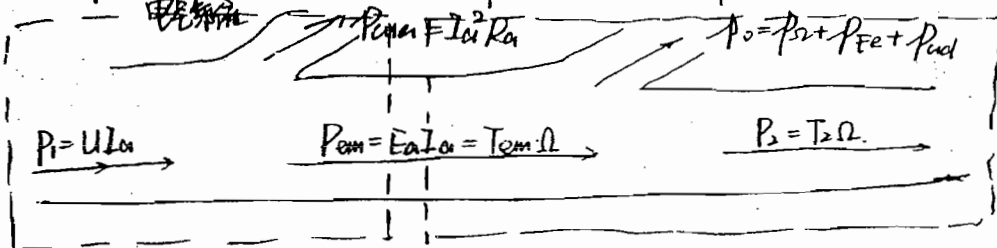
第 页

他励直流电动机

电势平衡关系式:  $U = E_a + I_a R_a$

转矩平衡:  $T_{em} = T_2 + T_0$

功率:  $P_{em} = P_2 + p_0$   $P_1 = P_{em} + p_{cu}$



磁势平衡式:  $F_1 = F_0 + (-F_2)$

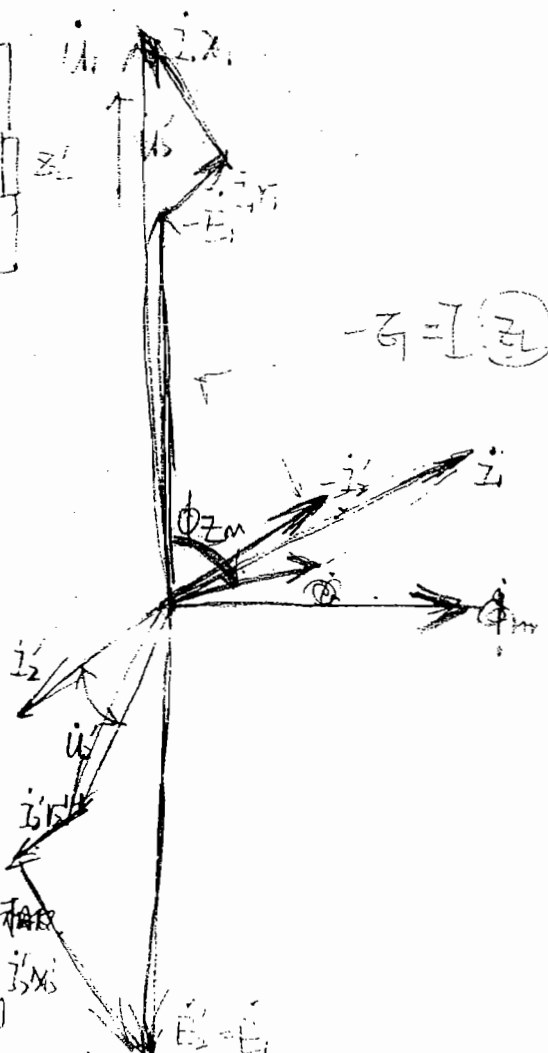
电流:  $I_1 = I_0 - I_2'$

电压:  $U_1 = -E_1 + I_1 Z_1$

$U_2 = E_2 - I_2' Z_2'$

$E_1 = E_2 = -I_0 Z_m$

$U_2 = I_2' Z_2'$



转子电阻非常大, 无自转, 稳速运行, 快速响应

无自转, 即控制电压  $U_c$  突变为 0 时, 相当于单相脉

动磁场, 单相脉动的磁场可分解为两个转速相同, 转向相反

大小相等的圆形旋转磁场, 这两个圆形旋转磁场都将

在转子中产生感应电动势, 形成电流, 产生电磁转矩, 在图中分别

画出  $T^+$ ,  $T^-$  的曲线, 合成转矩  $T_{em}$ , 因此相同脉动电动机的转子电阻

很大, 所以其机械特性曲线最大特点是转差  $s_m$  的不同,  $s_m^+ > 1$ ,  $T_{max}^+$  在象限  $s_m > 0$ ,  $T_{max}^-$  在象限  $s_m < 0$ , 所以合成转矩  $T_{em}$  在第四象限中

$$E_a = C_e \phi n$$

$$C_e = \frac{PN}{60a}$$

$$T_{em} = C_T \phi I_a$$

$$U = E_a + I_a R_a$$

$$P_{em} = T_{em} \omega$$

$$P_{em} = P_2 + P_0$$

$$P_1 = P_{em} + P_{cu}$$

$$C_T = \frac{PN}{2\pi a}$$

# 数学作业纸

班级:

学号: 姓名:

编号:

第

页

## 1. 他励直流电动机

$$a=1, p=2, N=372, n=1500 \text{ r/min}, \phi=1.1 \times 10^{-2}$$

$$U=220 \text{ V}, E_a = C_e \phi n = \frac{PN}{60a} \phi n = \frac{2 \times 372}{60 \times 1} \times 1.1 \times 10^{-2} \times 1500 = 204.6 \text{ V}$$

$$U > E_a \text{ 电动机}$$

$$T_{em} = C_T \phi I_a = \frac{PN}{2\pi a} \phi \cdot$$

$$U = E_a + I_a R_a, I_a = \frac{U - E_a}{R_a} = \frac{220 - 204.6}{0.208} = 74.04 \text{ A}$$

$$T_{em} = \frac{PN}{2\pi a} \phi I_a = \frac{2 \times 372}{2\pi \times 1} \times 10^{-2} \times 74.04 = 96.44 \text{ N.m}$$

$$P_{em} = T_{em} \omega = 96.44 \times \frac{2\pi n}{60} = 15.149 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_{em} + P_{cu} = 15.149 + I_a^2 R_a = 15.149 + 1.140 \text{ kW} = 16.289 \text{ kW}$$

$$P_2 = P_{em} - P_{fe} - P_{\Omega} = 15.149 - 0.362 - 0.200 = 14.587 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{14.587}{16.289} = 0.895$$

$$(10) p=3$$

$$(12) n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000 \text{ r/min}$$

$$(13) s = \frac{n_1 - n_N}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} \times 100\% = 5\%$$

$$(14) P_{cu2} = P_{em} - P_m = P_{em} - (1-s)P_{em} = sP_{em} = s(P_1 - P_{cu1} - P_{fe}) = 0.05(9 - 0.4 - 0.26) = 0.417 \text{ kW} = 417 \text{ W}$$

$$(15) P_2 = P_m - P_0 = 0.95 \times (9 - 0.66) - 0.2 = 7.723 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{7.723}{9} \times 100\% = 85.81\%$$

$$\eta = \eta_1 (1-s)$$

$$(16) f_2 = sf_1 = 0.05 \times 50 = 2.5 \text{ kHz}, s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

$$(17) T_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_1} = \frac{P_{em}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{(1-s)P_{em}}{\frac{2\pi n_1}{60}} = \frac{P_{em}}{\frac{(1-s)2\pi n_1}{60}} = \frac{8.34 \times 60}{2\pi \times 1000} = 79.64 \text{ N.m}$$

$$(18) T_2 = T_{em} - T_0 = T_{em} - \frac{P_0}{\omega} = \frac{79.64 \times 60}{2\pi \times 950} - 2.01 = 77.63 \text{ N.m}$$



$$F_{t2} \cdot \tan \beta = F_{a2} = F_{a3} = F_{t4} = \frac{2T_4}{d_4} = \frac{2 \times 9.55 \times 10^6 \times \frac{P_4}{n_4}}{m z_4}$$

$$F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2}$$

$$z_4 = \frac{z_3}{z_2} \Rightarrow z_4 = 26$$

$$= \frac{n_3}{n_4} = \frac{n_2}{n_4} = 13$$

$$d_2 = m_n \cdot z_2$$

$$= \frac{m_n \cdot z_2}{\cos \beta}$$

$$z_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{2}{17}$$

$$n_2 = 1440 \times \frac{17}{2} = 1166$$

$$n_4 = \frac{n_2}{5} = 90$$

$$\frac{2 \times 10^6 \cdot T_2}{m_n z_2} \sin \beta$$

$$13.9^\circ$$

$$1.$$

$$P_1 = P_2 = P_3 = 4 \text{ kW}$$

$$P_4 = P_1 \times 59\%$$

$$= 2.36 \text{ kW}$$

$$g' = \frac{\tan \delta}{\tan \alpha + \frac{P}{F}}$$

$$\tan \delta = \frac{1}{14}$$

$$0.096 = 59\%$$

$$\frac{0.2}{0.328} =$$