

6  
2/13

哈工大 2012 年 秋 季 学 期  
自动控制系统及线路 试题

班号	10401
姓名	

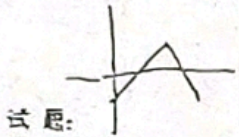
题号	一	二	三	四	实验	课程设计	总分
满分值	13	14	18	15	15	25	100
得分值	10.9	10.2	17	9.5	13.2	21	81.9

- 一、填空题 (13 分) 10.9
- 注意：行为规范
- 1.1 异步电动机的调速有三种方法，分别为：变频调速、变极调速和变转差率调速。定、转子绕组串接电阻或电抗器、定子绕组的调压调速等都属于变转差率调速方法，恒压频比  $V/f = \text{const}$  的调速方法属于变频调速调速方法。
- 1.2 直流电路有  $I^2R$  (电流电阻) 的线路损耗，直流磁路有铁心 (有/无)  $\Phi^2 R$  (磁阻磁阻) 的磁路损耗，磁路中的漏磁通一般比电路中的漏电流要远大 (大/小)；电感电路可以采用叠加定理计算，而电动机的磁路一般不取 (取/不取) 采用叠加定理计算；原因是：磁路中磁阻也是变量，不能简单叠加。
- 1.3 直流电动机运行中，每个绕组元件所导通的电流是交流 (直流、交流) 的，驱动电机的直流电流主要经过电刷、换向器和电枢绕组构成闭合回路。
- 1.4 并励和他励直流电动机的机械特性较硬 (硬/软)，这种机械特性在负载有较大变化时，电机转速的变化较小 (大/小)；采用弱磁调速的直流电机，其机械特性变软 (硬/软)，采用电枢回路串电阻方式调速的直流电机，其机械特性变软 (硬/软)。
- 1.5 步进电动机按照实现结构分为三种：磁阻式、永磁式和混合式。其中，混合式兼有了其他两种类型步进电机的优点而获得广泛应用。混合式是步进电机驱动器中实现各相驱动脉冲序列的分配的环节。
- 1.6 旋转变压器的补偿方式包括副边补偿和原边补偿。
- 1.7 对于电容感这类传感器，通常会采用差动技术来提高传感器的灵敏度和线性度。
- 1.8 在进行测速时，传感器每转产生脉冲 1000 个，在检测时间受 1ms 中测得脉冲

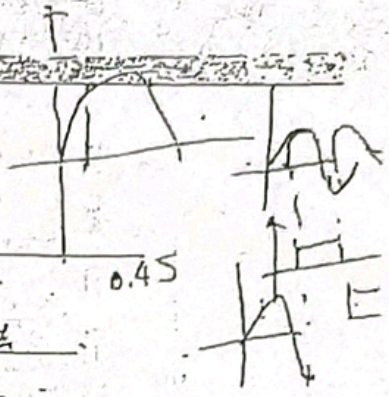
主管  
领导  
审核  
签字

60  
 $\frac{4000}{6000} \times 1000 \times 60$





400 x 60 r/min  
1000



式题: \_\_\_\_\_ 班号: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_

数为 400, 则利用 M 法测速所得转速为 24000 r/min.

① 热电偶常用的自由端 (冷端) 温度处理和补偿方法包括: 冰点补偿法  
电桥补偿法、补偿电桥法、和 热敏电阻法.

1.10 p 对极的多级旋转变压器 180° 电角度所对应的机械角度为  $\frac{180^\circ}{p}$ .

1.11 利用 H 型桥式电路驱动电机负载时其两个主要的工作状态包括:  
电动机状态 和 发电状态.

1.12 触发角为 30° 的单相半波可控整流电路直流输出的平均电压值为  $0.9 U_2 \frac{1+\cos\alpha}{2} \approx 0.84 U_2$ .

② PWM 调制方式的理论依据是 面积等效原理 和 电压等效原理.

二、选择题 (14 分, 单选或多选) / 0.2

21 一步进电机正常运行时步距误差率不大于 0.1%。若该步进电机正常运行 100 步, 最大误差角的范围是 A.

- A. 不大于 10°
- B. 不大于 5°
- C. 大于 5°
- D. 不大于 0.1°

22 直流电机的换向火花将随以下情况 A, C, D, E 增大.

- A. 电枢电流增大 ✓
- B. 电机转速增大
- C. 电机负载转矩增大 ✓
- D. 电枢电压提高 ✓
- E. 换向器表面粗糙 ✓
- F. 电机电流减小

23 真正的单相异步电动机的绕组所产生的空间磁场是 B, 无法实现电机的启动; 日常生活和生产中所使用的单相异步电动机, 一般采用 D, F 方法, 使得电机启动或运行中, 呈现两相电机的运行特征.

- A. 圆形旋转磁场
- B. 脉振磁场
- C. 恒定磁场
- D. 罩极结构 ✓
- E. 变频变压
- F. 电容分相 ✓

24 直流电动机电枢回路串电阻调速的特性曲线是 B, 这种方法的特点是: C.

纸张记忆

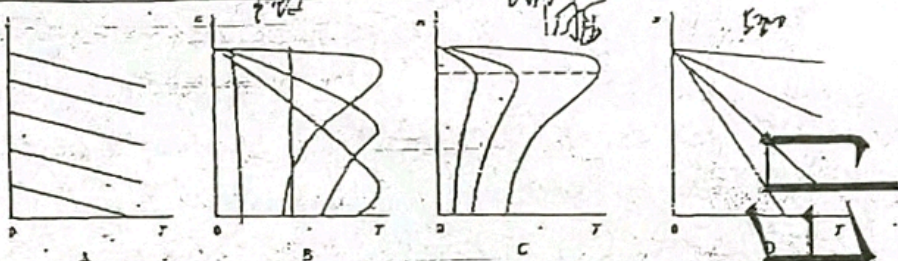


姓名: 李

学号: 111111

姓名: 李

(7)



FG FH

- E. 属于有级调速
- F. 只能降速调速
- G. 耗能, 效率低
- H. 轻载时调速范围小

25. 通常三相异步电动机具有以下特性 B-C

- A. 启动转矩就是最大转矩
- B. 启动转矩小于最大转矩
- C.  $s=0$  时, 无电磁转矩
- D. 效率高于直流电机

26. 电机的四象限运行曲线中, 横坐标为电机的输出转矩, 纵坐标为电机的转速。其中电机在第一象限是: A 状态, 在第二象限是: B 状态, 在第四象限是: D 状态。

- A. 正向电动
- B. 正向制动
- C. 反向电动
- D. 反向制动

27. 在日常生产和生活中, 下列电动机中, 一般可直接投切到交流电网运行的是: BC

- A. 步进电动机
- B. 同步电动机
- C. 异步电动机
- D. 直流电动机

28. 对步进电动机采用细分驱动, 可以: AB

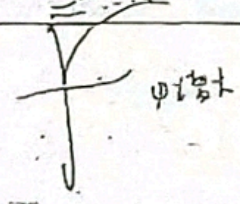
- A. 获得更小的步距角
- B. 减小步进电机的振动与噪声
- C. 提高步进电机的最大转矩
- D. 提高步进电机的最高转速

29. 一电源变压器匝间短路电流随以下情况 B, D, E 增大。

- A. 铁芯磁阻减小
- B. 铁芯磁阻增加

$U = E + I R$   
 $E = 4.44 f N \Phi$

$I = \frac{U}{R}$



$$E = 4.44 f N \Phi$$

$$D = \frac{E}{R} = \frac{4.44 f N \Phi}{R}$$

至3页 (共9页)

$$\Phi R = I R$$

$$I = \frac{\Phi R}{R}$$

Wd 9个



题号:

班号:

姓名:

- 原边线圈匝数增加     原边线圈匝数减小  
 变压器铁芯气隙增大     变压器铁芯气隙减小

2.10 在启动时, 增大异步电动机转子绕组回路的电阻, 可以 CB

- A. 提高电机效率    B. 增加电机启动转矩  
 C. 限制启动电流过倍数     D. 提高理想空载转速

2.11 设某直线式感应同步器绕组的节距为  $L$ , 则正弦和余弦绕组的中心线间距可以

- 是 BCD  
 A.  $(1/4)L$      B.  $(1/2)L$      C.  $(3/4)L$      D.  $(5/4)L$

2.12 以下 C 因素不是引起测速机输出特性的误差的原因:

- A. 电枢反应    B. 延迟换向去磁     C. 刻线密度不均    D. 纹波    E. 电磁干扰

2.13 根据电容传感器的原理, 以下 BDE 可以实现测量:

- A. 变极板厚度    B. 变介电常数    C. 变极板材料    D. 变极板相对面积    E. 变极板间距离

2.14 以下测量元件, CF 没有用到电磁感应原理。

- A. 多极旋转变压器     B. 直线式感应同步器  
 C. 透射式光栅     D. 螺管型差动变压器  
 E. 杯形转子异步测速机     F. 热电阻  
 G. 热敏电阻     H. 量感器

三、简答题 (18分) 17

3.1 直流电机的电枢绕组电压为  $U_a$ , 电机输出角位移为  $\theta$ , 1) 画出直流电机的控制框图并推导直流电动机的数学模型 (传递函数), 2) 画出调压调速控制时的四象限运行的机械特性图, 在图中标出电机正反向运转的电动、能耗制动、发电制动和反接制动状态所对应的区域或线条, 写出电机调速控制的机械特性表达式。(3分)

纸张记忆复印



试题:

班号:

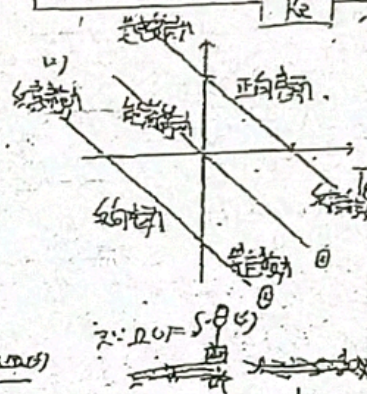
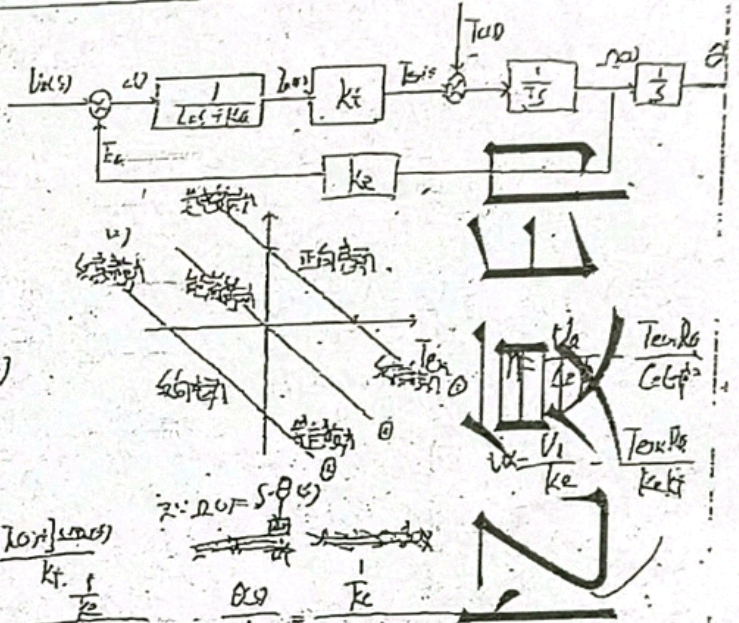
姓名:

$$\begin{cases}
 V_a = E_a + R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \\
 T_{em} = T_c + J \frac{d\omega}{dt} \\
 E_a = k_e \omega \quad T_{em} = k_t i_a
 \end{cases}$$

建立其数学模型

$$\begin{aligned}
 V_a(s) &= (R_a + sL_a) I_a(s) + E_a(s) \\
 &= (R_a + sL_a) I_a(s) + k_e \omega(s) \\
 k_t I_a(s) &= T_c(s) + J s \omega(s)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_a(s) &= k_e \omega(s) + (R_a + sL_a) \frac{T_c(s) + J s \omega(s)}{k_t} \\
 \omega(s) &= \frac{T_c(s)}{k_t} \frac{1}{1 + \frac{J s (R_a + sL_a)}{k_t}}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \omega &= \frac{V_a}{k_e} - \frac{T_{em} R_a}{k_e k_t} \\
 \omega &= \frac{V_a}{k_e} - \frac{T_{em} R_a}{k_e k_t}
 \end{aligned}$$

U-11.2  
E + R\_a = k\_e \omega + L\_a \frac{d\omega}{dt}



1. 恒压变频调速是根据  $V/f = 44 \mu\text{Hz}$ 。  
 其保持磁通不变，所以使  $E/f$  为常数，  
 磁通不变，转矩不变，恒转矩调速，其  $T_c$  不变，但  $R_a$  不变。  
 所以为定转矩，低速时启动转矩最小，转速  $\omega$  随  
 于成比例减小，转速  $\omega$  也减小。

运行中，磁通  $\Phi$  恒定，  
 磁通  $\Phi$  恒定，转矩  $T_c$  恒定，  
 转矩  $T_c$  恒定，转速  $\omega$  随  
 于成比例减小。

启动前，一相断线，两相作，在空载时启动转矩  
 足够，提供启动转矩。自由于缺一相，其启动转矩可能应失相  
 而一步一步启动，启动会不稳。



启动  $J$  大

启动  $J$  大



$$k U_m \sin(\omega t + \theta)$$

$$U_1$$

3.3 感应同步器的信号处理方式有哪几种，并选择其中一种具体描述。(3分)

鉴相式 鉴幅式 鉴频法

鉴相式原理

鉴幅式

$$U_c = E V_1 \sin \omega t$$

$$U_s = E V_1 \cos \omega t$$

$$e_c = E V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

$$e_s = E V_1 \cos(\omega t + \theta)$$

$$e_c = e_c + e_s = E V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

$$= k V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

鉴频法

$$U = E V_1 \cos \omega t$$

$$e_c = E V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

$$e_s = E V_1 \cos(\omega t + \theta)$$

对正弦的电势移相90°

$$e_c' = E V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

$$e_c' = e_c' \sin \theta$$

$$= E V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

$$= k V_1 \sin(\omega t + \theta)$$

3.4 热电偶在使用时为什么要进行参考端补偿，列举3种补偿方法。(3分)

进行参考端补偿，使所测温度与标准温度进行比较，所得的电势通过补偿得到电势，从而更

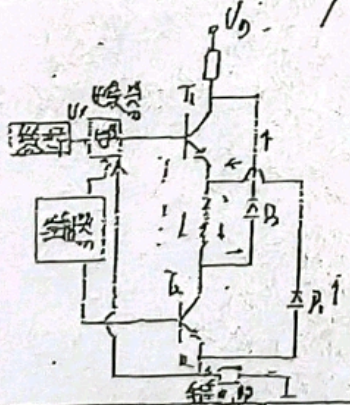
准确地测得被测温度。

导线补偿法,  $E(T, 0) = E(T, T_0) + E(T_0, 0)$

冰浴补偿法, 使  $T_0 = 0^\circ$   $E(T, T_0)$

桥式补偿法,  $E(T, 0) = E(T, T_0) + U_{AB}$

3.5 画图并分析说明降压斩波电路工作情况。(3分)



工作时，控制器控制，T1, D1 导通，续流电感电流迅速下降

斩波电压由电感电压平衡，当  $U_c > U_2$ ，即  $U_c$  由此致导通

时，下管关断，续流电感续流，电流经  $D_1, L$  形成回路，

使  $U_c$  下降，当  $U_c < U_2$ ，T1 开通，如此反复。

关断时，T1, D1 关断，电流经  $D_1, L$  回路，流进电源，续流下管



$$P_1 = 30 \text{ A} \times 10 \text{ V} \times 80\% = 24 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} U_c \cdot I_m \cdot (1 \mu\text{s} + 2 \mu\text{s})$$

$$= \frac{1}{2} \times 100 \times 30 \times 3 \times 10^{-6}$$

试题:

班号:

姓名:

3.6 设 GTR 工作条件为: 开关电流 30A, 工作电压 100V, 工作频率 10kHz, 占空比 80%, 电感负载, 通态压降 1V, 开通时间 1μs, 关断时间 2μs, 试计算工作时 GTR 的功率损耗。(3分)

$$P_1 = 30 \cdot 10 \cdot 80\% = 24 \text{ W}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} U_c I_m f = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 100 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6} = 15 \text{ W}$$

$$P_3 = \frac{1}{2} U_c I_m f = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 30 \text{ W}$$

$$\therefore P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 = 30 + 15 + 24 = 69 \text{ W}$$

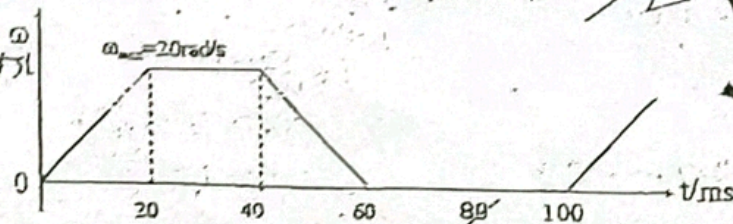
品  
复  
习  
中

四、综合题 (15分)

9.5

机床加工中, 采用直流伺服电机经 1:10 的减速器驱动被加工工件, 工件的转动惯量  $J_L = 2 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$ , 折算到电机侧的摩擦阻力矩  $T_f = 0.4 \text{ Nm}$ . 有一系列直流伺服电机可供驱动选择, 其转动惯量都是  $J_M = 2 \times 10^{-4} \text{ kgm}^2$ , 额定转速都是 3000rpm. 问:

1) 如果要求工件运动按各重复完成下图所示, 以 100ms 为周期的运动, 考虑减速器的转动惯量、效率和电机电气时间常数的影响) 根据工件运动需要, 对驱动电机的最高转速、峰值力矩、额定转矩如何要求? (4分)



$\frac{20}{2\pi} \times 60 = \frac{600}{\pi} \text{ rpm} \approx 191 \text{ rpm}$   
 $\frac{20}{2\pi} \times 100 = \frac{1000}{\pi} \text{ rpm} \approx 318 \text{ rpm}$   
 $\frac{20}{2\pi} \times 100 = 100 \text{ rad/s}$   
 $\frac{J_L \cdot d}{2} + T_f + J_M \cdot \frac{d}{2}$

$T_{\text{峰值}} = T_f + J_M \omega_{\text{max}} = 0.4 + 2 \times 10^{-4} \times 20 = 0.44 \text{ Nm}$   
 $T_{\text{额}} = T_f + J_M \omega_{\text{额}} = 0.4 + 2 \times 10^{-4} \times 314 = 0.4628 \text{ Nm}$   
 $\omega_{\text{额}} = 200 \text{ rad/s} \approx 1911 \text{ r/min}$

$$= 0.4 + \frac{J_L + J_M}{2} \cdot \frac{d}{2} \quad (2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4}) \times 1000 \times 10 = 44 \text{ Nm}$$



10KHz  
= 45W

$$\alpha - L = \frac{W_{me}}{Dms} = (200 \times 2.5 \times 10^{-3})^{-1}$$

试题:

学号:

姓名:

- $T_{em} \geq 0.468 \text{ Nm}$
- $T_{me} \geq 0.04 \text{ Nm}$
- $\omega_{me} \geq 200 \text{ rad/s}$

(2.2)

$$s = J \frac{d\omega}{dt} + t_1 + t_2$$

2.5 s

2) 另一种工况下, 要求电机长时间运行于 200rad/s 转速, 输出 2Nm 力矩, 有两种电机供选择, 如果

甲电机力矩系数  $K_t = 0.4 \text{ Nm/A}$ , 电势系数  $K_e = 0.4 \text{ V/rad/s}$ , 电枢电阻  $R = 2\Omega$ .

乙电机力矩系数  $K_t = 0.1 \text{ Nm/A}$ , 电势系数  $K_e = 0.1 \text{ V/rad/s}$ , 电枢电阻  $R = 0.5\Omega$ .

假设机床供电母线电压为 110V DC, 采用 H 桥功放电路驱动电机, 从电机运行的反电势和电阻压降考虑, 这两种电机可否采用? 假定两种电机运行的铁损相近, 从铜损(电阻损耗)角度考虑, 你选择哪一种电机并说明原因。(3分)

$$\frac{1}{3} (1 + 0.4 + 0.1)$$

$$V_a = E_a + R_a I_a$$

$$= k_e \omega + R_a I_a$$

$$T_{em} = T_f + T_r$$

$$k_t I_a = J \dot{\omega} + T_r = 2 \cdot 0.4 = 2.4 \text{ Nm}$$

$$\therefore I_{a1} = 6 \text{ A}, I_{a2} = 24 \text{ A}$$

$$E_{a1} = k_e \omega = 80 \text{ V}$$

$$E_{a2} = k_e \omega = 20 \text{ V}$$

$$U_{a1} = 80 + 6 \cdot 2 = 92 \text{ V}$$

$$U_{a2} = 20 + 24 \cdot 2 = 32 \text{ V}$$

$$U_a = 110 \text{ V DC}$$

新桥功放驱动电机

乙电机的电枢电阻小, 铜损小, 发热小, 有利于电机。

由铜耗说明

$$P_{cu1} = I_{a1}^2 R_1 = 6^2 \cdot 2 = 72 \text{ W}$$

$$P_{cu2} = I_{a2}^2 R_2 = 24^2 \cdot 0.5 = 288 \text{ W}$$

$$P_{cu1} < P_{cu2}$$

乙电机铜损小, 发热小。

张记复印

$$\omega = \sqrt{\frac{4.9^2 + (0.4)^2}{2.5}} + 0.6$$

2.5

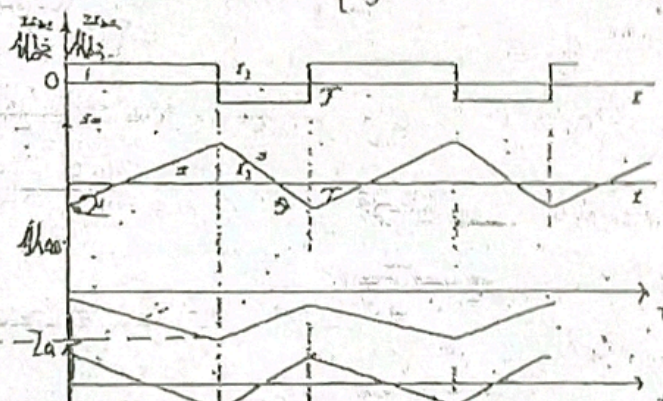


试题

班号

姓名

3) 若桥式电路采用双极性 PWM 驱动所选择的直流电机, 如图, 给出了 T1、T4 管基极驱动波形。根据此图: A. 不考虑死区时间, 画出 T2/T3 的基极驱动波形, 画出输出电压  $u_a$  波形并表示出其幅值。B. 根据所示电动机电流  $i_a$  波形, 说明电动机的状态和机电流流经路径。(4分)



在此图标出电动机四个状态的电流路径:

1. 由电动机反接

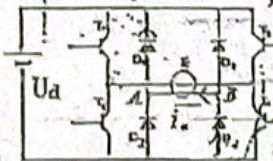
$T_2 \rightarrow D_4 \rightarrow D_1 \rightarrow T_1, +U_d$

2. 电动机

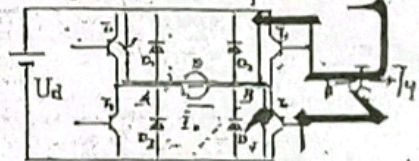
$U_d \rightarrow T_1 \rightarrow D_1 \rightarrow T_4 \rightarrow -U_d$

3. ~~电动机~~

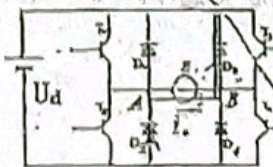
4. 反接制动



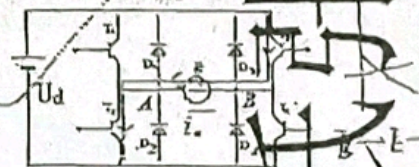
(1)  $D_4 \rightarrow D_1$



(2)



(3)  $R \rightarrow E \rightarrow P_3$



(4)

4) 为了实现工件驱动达到定位精度  $0.1^\circ$  的要求, 可以在电机侧安装光电码盘进行转角反馈控制, 减速器环节会产生  $0.04^\circ$  以内的驱动传输误差, 如果有 256 线、512 线、1024 线的增量式光电编码器可作为电机侧位置检测传感器, 测角时采用  $\times$  倍频的方式, 合理的选择应是哪一种? 如果有 8 位、11 位、13 位的绝对式光电编码器可作为电机侧位置检测传感器, 合理的选择应是哪一种? (4分)

0.06

A →

10:1

6. 06



# 纸张记忆复印

精度要达到 $0.1^\circ$ 的精度，减法器对每 $0.07^\circ$ 的误差， $\theta = \frac{360^\circ}{2^4}$

$$\theta = \frac{360^\circ}{2^4 \cdot 4} \approx 0.1^\circ$$

$$\therefore 2^4 \cdot 4 = 360^\circ$$

$$\therefore 2^4 \approx 900$$

考虑到减法器 $0.04^\circ$ 误差，

... 这里使用1024位的增计数器编码器

可以达到其精度。

$$\theta_1 = \frac{360^\circ}{2^8 \cdot 4}$$

$$\theta_1 = \frac{360^\circ}{2^8} = 1.41^\circ$$

$$\theta_2 = \frac{360^\circ}{2^{11} \cdot 4}$$

$$\theta_2 = \frac{360^\circ}{2^{11}} = 0.176^\circ$$

$$\theta_3 = \frac{360^\circ}{2^{15} \cdot 4}$$

$$\theta_3 = \frac{360^\circ}{2^{15}} = 0.044^\circ$$

... 比较后，选择13位二进制编码器  
可以达到其精度要求。

1112

$$\frac{2.1^\circ}{\text{电机轴}}$$

256/15

$$\frac{165}{4 \times 206}$$

11位

$$\frac{0.06^\circ}{0.06}$$

$$\frac{165}{255 \times 4}$$

$$\frac{600}{255 \times 4}$$

$$\frac{1^\circ \cdot 07^\circ}{1}$$

$$0.06$$

$$0.60$$

$$0.6$$