

9.选出正确项

- A. 增量式光电编码器应用时不用寻找零位
- B. 自整角机是测量角位移的元件
- C. 感应同步器是测量电流的元件
- D. 异步电机的换向器和电刷机构较直流电机简单
- E. 力矩电机电枢（转子）长度与直径之比较小
- F. 通常三相异步电动机堵转转矩小于最大转矩
- G. 异步电动机输出最大功率出现在转子转速为同步转速时
- H. 光电编码器（光栅）是一种位移测量元件
- I. 直流电动机转子依靠定子旋转磁场旋转
- J. 将输入三相电机的三相交流电源中任意两相对掉就可以改变该电机的转向

答案（ ）

二、简答题（30分）

- 1) 推导直流电机机械特性，并根据该特性分析有几种调速方案？它们是什么？（10分）
- 2) 一电源变压器原边为 220V，50Hz 交流，有三个副边绕组，其额定值分别为：副边一为 8V，15A；副边二为 12V，5A；副边三为 24V，10A。求该变压器原边的额定电流 I_e =？（5分）
- 3) 画出直流电机的动态方框图？（5分）
- 4) 画出一个温度闭环自动控制系统原理方框图（10分）

三、计算分析题（25分）

- 1) 一交流异步电机已知额定转速 $n_e=1200(\text{rpm})$ ，电源频率为 $f=50\text{Hz}$ ，问这是几极电机？额定转差率 S_e =？（5分）
- 2) 一直流电机，额定电压 $U_a=220\text{V}$ ，额定电流 $I_a=0.8\text{A}$ ，额定转速 $n=3600(\text{rpm})$ ，电枢电阻 $R_a=50\Omega$ ，空载阻转矩 $T_0=0.02\text{N}\cdot\text{M}$ ，求该电动机的额定负载转矩 T_e 和理想空载转速 n_0 ？在上述情况下，输出转矩为 $1\text{N}\cdot\text{m}$ 时转速 n_1 =？（10分）
- 3) 一四相磁阻式步进电机，转子齿数为 $Z_r=50$ （齿），请计算出单拍制和双拍制的步距角 θ_{b1} =？和 θ_{b2} =？，并分别列出单相（或双）单拍制时，正、反向旋转要求的通电顺序和一个双拍制时的通电顺序。（10分）

四、论述（25分）

- 1) 论述三相异步电动机的调速方法（从方法、特点及控制性能等方面）（12分）
- 2) 综述驱动直流电机的功率放大器（从类型、特点及选用等方面）（13分）

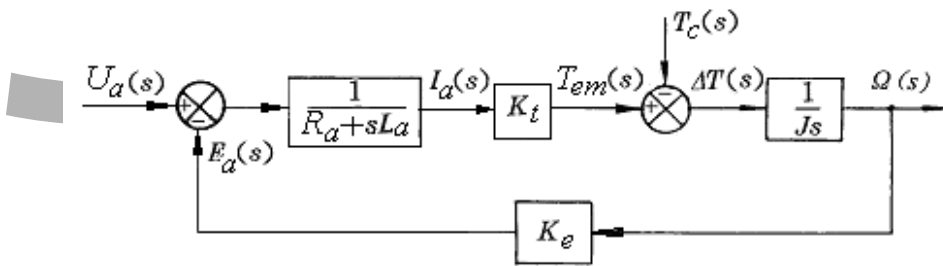
参考答案

- 一、 1 (B) 2 (A,D) 3(D) 4(D) 5(A,B,C,D,E) 6(B,D)
 7(C,D) 8(A,C,D,E) 9(B,E,F,H,J)

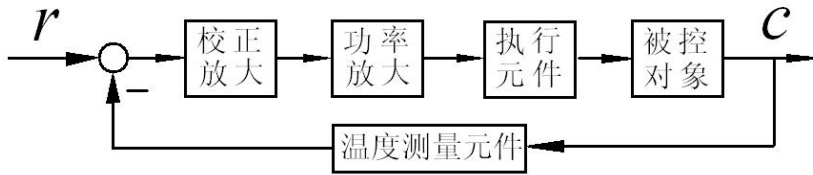
二、 1. $n = \frac{U_a}{C_e \Phi} - \frac{T_{em}}{C_t \Phi} R_a$, 调电压。磁通, 电阻。

2. $220I_e = 8 \times 15 + 12 \times 5 + 24 \times 10 = 1.91A$

3. 框图为



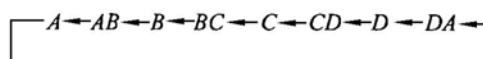
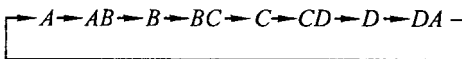
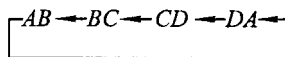
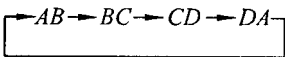
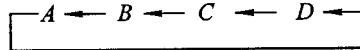
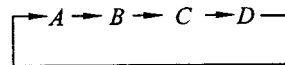
4.



三、 1. $n = \frac{60f}{p}(1-s)$, $p=2$, 4极电机, $s = \frac{1500-1200}{1500} = 0.2$

2. $T_e = 0.362N \cdot m$, $n_0 = 461rad/s = 4400r/min$, $n_1 = 236rad/s = 2255r/min$ 。

3. $\theta_{b1} = 1.8^\circ$, $\theta_{b2} = 0.9^\circ$ 。



$$\text{四、1. } n = \frac{60f_1}{p}(1-s)$$

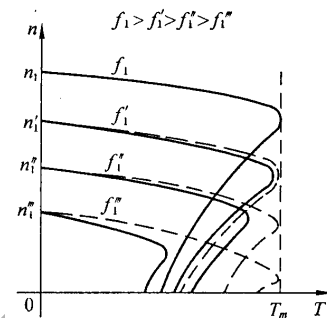
(1) 改变极对数 p 。

(2) 改变转差率 s 。

$$T = \frac{m_1 p U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f_1 [(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + x_2')^2]}$$

在恒转矩（及恒功率）时改变转差率 s 又有下列几种方法：1）改变定子绕组的端电压 U_1 ，主要用于风机类负载。2）在定子回路中串入外加电阻或电抗，以改变 r_1 或 x_1 ，用于线绕式。3）在转子回路串入外加电阻、电感或电容，以改变 r_2' 或 x_2' ，用于线绕式。4）在转子回路中引入外加电动势也可改变 s 。

(3) 改变电源频率 f_1 ，变频调速。有较高的效率，宽的调速范围和平滑的调速特性，机械特性见图。调速性能可与直流电动机相媲美，是目前应用最广的交流调速方式。变频调速需要具有调频兼调压功能的变频装置。目前市场上已出现了各种性能良好、工作可靠的变频装置，并已应用于工业各领域。



(5) 矢量控制，性能好，装置复杂。

2. 常用的直流功率放大器有三种：线性（比例式）功率放大器、开关式功率放大器和晶闸管功率放大器。

一般功率为 100W 以下时可以选用线性功率放大器，25~5000W 时可选用开关式功率放大器，500W 以上时选用晶闸管功率放大器。

线性功率放大器，线性度好，失真小，电磁干扰和噪音小，本身功耗大，输出电流和功率小，用于小功率系统。

PWM 开关功率放大器的优点是效率高，晶体管损耗小，输出功率大。缺点是由于开关动作而产生噪音和电磁干扰。常用于中小功率系统。

晶闸管功率放大器功率大，用于中、大功率装置。

哈工大 2004/2005 学年春季学期

自动控制元件及线路 考 试 题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分	附加题
分数												

注
意
行
为
规
范
，
遵
守
考
试
纪
律
！

一、 控制系统由哪几部分组成？各有什么作用？（画出系统组成框图）（8分）

二、 什么是电枢反应？对机械特性有什么影响？（画出相应的机械特性曲线）（5分）

三、 直流电机有几种工作状态？电压与反电势，电流，电磁转矩，转速，能量关系，在各状态下如何？（6分）

四、（1）变压器空载时主磁通是 ϕ_m ，当加上负载后主磁通是多少？（2）一台变比为 $k=2$ 的变压器，原边额定电压为 110 V，额定频率为 50Hz，问能否接到以下电源上，并说明原因？（6分）

- a. 直流 110V;
- b. 交流 220V, $f=50\text{Hz}$;
- c. 交流 220V, $f=100\text{Hz}$;

五、 什么是自转现象？如何消除两相伺服电机自转现象？画出相应的机械特性曲线分析。（8分）

六、交流电机有几种调速方法? 都是什么? 变频调速时为什么要变频变压? 画出变频调速时的机械特性曲线? ($T-n$) (8分)

七、用磁场的方法分析三相交流电机发生一相断相时, 机械特性和电流如何变化? (5分)

八、三相磁阻式步进电机有 62 个齿, 计算单拍、双拍制的步距角, 并写出正反转的通电顺序, 50 个脉冲后电机轴分别转过多少度? (8分)

九、分析步进电机在高频下运行时转距下降的原因, 并画出斩波恒流功放电路, 分析该电路的工作过程 (画出有关波形), 指出该电路的特点。(12分)

十、为什么要加关断缓冲网络, 画出该网络, 分析工作过程。(8分)

十一、在测量元件中, 说说精度, 分辨率的概念以及它们的关系? (6分)

十二、有一个功率管, 在感性负载下, 工作电压 200V, 电流 15 A, 工作频率 20KHz, 占空比 80%, 通态压降 1.5V, 开通时间 1.5us, 关断时间 2us, 该功率管的损耗是多少? (5分)

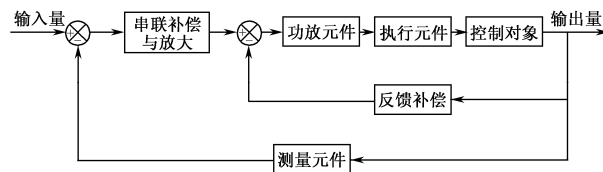
十三、有一对完全相同的直流电机组成电动机——发电机组, 激磁电压为 110V, 电枢电压 100V, 电枢电阻为 $R_a=75 \Omega$, 当电动机电枢加 100V 电压时, 电动机的电枢电流为 0.1A, 机组的转速为 3000 r/min, 问: (15分)

(1) 发电机空载时的电枢电压为多少?

(2) 电动机的供电电源为 110V 电压源, 电源的内阻为 25Ω , 而发电机接上 $0.5k \Omega$ 负载时, 机组的转速是多少?

参考答案

1.框图如下。



执行元件，驱动控制对象，控制或改变被控量（输出量）。

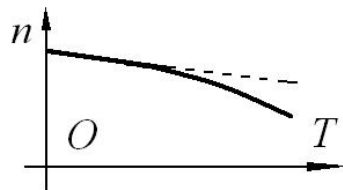
测量元件，将被测量检测出来并转换成另一种容易处理和使用的量（例如电压）。

放大元件 将微弱信号放大。功率放大元件的输出信号具有较大的功率，可以直接驱动执行元件。

补偿元件（校正元件）改善系统的性能，使系统能正常可靠地工作并达到规定的性能指标。

2.由于电枢磁场的存在，使气隙中的合成磁场与磁极磁场的大小、方向不同，这一现象叫电枢反应。

电枢反应使机械特性产生非线性，见图。



3. 1) 电动机状态

外加电压：大于电枢感应电势，方向相反。

电流：正值，小于堵转电流，与感应电势相反。

电磁转矩：方向与转速相同，电动机的特点。

能量关系：电能转化为机械能。

转速：低于空载转速。

2) 发电电动机状态

外加电压：小于感应电势，方向相反。

电流：与感应电势方向相同（负）。

电磁转矩：与电机转速 n 相反，是制动转矩（负）。

能量关系：机械能转化为电能。

转速：高于理想空载转速。发电机状态的特点。

3) 能耗制动状态

外加电压：零。

电流：与电势同向。

电磁转矩: 与电机转速 n 相反, 是制动转矩 (负)。

能量关系: 机械能转化为电能和热能。

4) 反接制动状态

外加电压: 与感应电势同向。

电流: 与外电压、感应电势同向。大于堵转电流。

电磁转矩: 大于堵转转矩。方向与转速相反。

能量关系: 电能和机械能转化成热能。

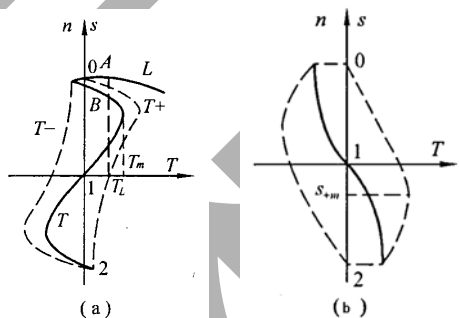
4. (1) 仍是 Φ_m 。

(2) 都不行。a. 变压器不能接直流。b. 电压超过额定值, Φ_m 升高。c. 工作频率超过额定值, 损耗增加。

5. 两相电机运行时, 当 1 相通电而另 1 相电压为零时, 电机仍继续转动不停, 称自转。

增加转子电阻可消除自转。

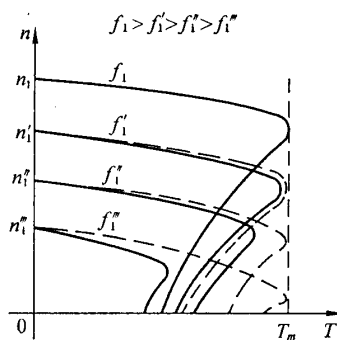
转子电阻小, 有自转的机械特性见图 a。转子电阻大, 无自转的机械特性见图 b。



6. 由 $n = \frac{60f}{p}(1-s)$ 知, (1) 变频调速。(2) 变极数调速。

(3) 变转差率调速。

$U \approx E = 4.44 fW\Phi$, 额定值时 Φ 已接近饱和。若 f 变小而 U 不变, Φ 急剧增大, 导致电流急剧增大, 使电机过热损坏。



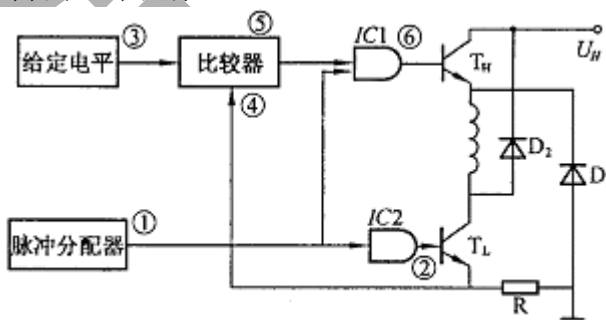
7. 一相断定时, 磁场由圆磁场变为椭圆甚至脉振磁场, 使机械特性的转矩峰值下降, 导致电机转速下降, 电流增大。应立即断电, 以防烧坏电机。

8. (62 个齿)

$$\theta_{b1} = \frac{360^\circ}{62 \times 3} = 1.935^\circ, \quad \theta_{b2} = \frac{360^\circ}{62 \times 3 \times 2} = 0.968^\circ$$



9. 由于绕组电感的影响, 电机在高频工作时, 电枢的电流达不到希望值, 从而导致转矩下降。另外, 涡流损耗增加, 也是功率和转矩下降的一个因素。



当脉冲分配器输出导通信号时, 高电压经 T_H 向电机绕组供电, 因所加电压较高, 所以电流上升较快。当电流超过给定值时, 比较器输入端的取样电压超过给定电压, 比较器输出低电平, 从而 IC1 也输出低电平, 关断高压管 T_H 。此时电流按续流回路流动, 电流下降。当取样电阻上的电压小于给定电压时, 比较器又输出高电平, 高压管 T_H 导通, 电源又开始向绕组供电, 电流又开始上升。电流就稳定在由给定电平所决定的数值附近。

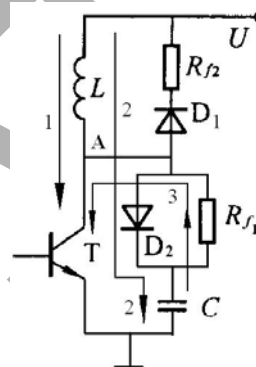
在绕组导通时间内, 电源电压是间断式供电, 因此具有很高的效率。

另一个优点是减轻电机共振现象。

10. 由于电感, 开关管工作时有高压产生, 损坏开关管。关断缓冲电路可减小高压, 减小电流冲击。

1) T 饱和导通后, 电流沿回路 1 经 T 流入地。

2) 当 A 点电压 $U_A < U + 0.7V$ 且 T 没有饱和导通时, 电流沿回路 2 流动, 包括 T 刚开始导通时 D_1 的反向冲击电流。



3) T 重新饱和导通后, L 和 C 的放电电流沿回路 1 和 3 经 T 流入地。

11. 精度: 测量值与真实值的接近程度。

分辨率: 测量时显示的最小量。

一般精度高, 分辨率也高。但分辨率高精度不一定高。

12. 饱和导通时 $P_1 = 15 \times 1.5 \times 0.8 = 18\text{W}$

关断时的动态损耗 $P_2 = \frac{200 \times 15}{2} \times 2 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3 = 60\text{W}$

开启时的动态损耗 $P_3 = \frac{200 \times 15}{2} \times 1.5 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3 = 45\text{W}$

总损耗 $P = P_1 + P_2 + P_3 = 18 + 60 + 45 = 123\text{W}$

12. (1) $100 = E_a + 75 \times 0.1 \Rightarrow E_a = 92.5\text{V}$

(2) $E_a = K_e \times \frac{2\pi \times 3000}{60} \Rightarrow$

$K_e = 0.295\text{V}/(\text{rad/s}), K_t = 0.295\text{N} \cdot \text{m}/\text{A}$

对电动机有

$$\begin{cases} U_{a1} = E_a + I_a R \\ T_{e1} = K_t I_{a1} \\ T_{e1} = T_0 + T_L \end{cases}$$

对发电机有

$$\begin{cases} E_a = I_{a2} (R_a + R_L) \\ T_{L2} = K_t I_{a2} \\ T_{L2} = T_L \end{cases}$$

代入数据得 $n = 2765\text{r}/\text{min}$

自动控制元件及线路

试 题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

一. (20分) 1.1 台永磁直流力矩电机, 反电势系数 $K_e = 2 \text{ V}/(\text{rad/s})$, 摩擦转矩 $T_f = 0.2 \text{ N}\cdot\text{m}$, 转动惯量 $J = 4 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, 电感 $L_a = 0.02 \text{ H}$. 连续堵转时电流 $I_1 = 5 \text{ A}$, 电压 $U_1 = 20 \text{ V}$.

注
意
行
为
规
范

- (1) 求机电时间常数 τ_m , 电磁时间常数 τ_e , 连续堵转的电磁转矩 T_1 .
- (2) 电枢电压 $U_2 = 25 \text{ V}$, 求起动时的输出转矩 T_{20} 和此电压对应的空载转速 ω_{20} .
- (3) 电机转速 $\omega_3 = 10 \text{ rad/s}$, 电磁转矩 $T_3 = 2 \text{ N}\cdot\text{m}$ 时, 求电枢电压 U_3 和输出转矩 T_{30} .
- (4) 写出该电机的传递函数 $\Omega(s)/U_a(s)$.

遵
守
考
场
纪
律

2. 输入信号是电枢电压 u_a , 输出信号是电机转角 θ . 绘出直流电动机动态框图, 标出 $I_a(s)$, $E_a(s)$, $T_{em}(s)$, 及扰动力矩 $T_c(s)$.

主管
领导
审核
签字

3. 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。

4. 直流电动机的主要优点和缺点是什么?

5. 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?

6. 性能优良的永磁直流力矩电动机现在一般采用什么永磁材料?

7. 与直流伺服电动机相比,直流力矩电动机的 K_e 、 K_t 有什么特点? 电枢的几何形状有什么特点?

二. (20分)

1. 异步电动机等效电路图中 $r_2 \frac{1-s}{s}$ 上的热损耗表示什么?

2. 简述两相对称绕组产生椭圆形旋转磁场的条件。

3. 画出两相电机幅相控制时的电路图。

3. 磁场 $F = A\sin(\omega t - x)$ 表示什么磁场? 为什么?

4. 绘出圆形旋转磁场时异步电动机的两条典型机械特性曲线 (转子电阻大和小)。

5. 推导两相伺服电动机传递函数 $G(s) = \Omega(s)/U(s)$, 并说明其中的参数与静态特性曲线的关系。

6. 绘出三相异步电动机从基频向下变频调速时的机械特性。

7. 异步电动机从基频向下变频调速时, 若电压保持不变将产生什么现象? 用公式说明。

8. 一台三相异步电动机空载转速是 1450 r/min, 电源频率 50 Hz。这是几极电机? 为什么?

三、(7分)

1. 简述永磁同步电机同步运行时的工作原理, 画出必要的图形, 写出电磁转矩公式。

2. 写出磁阻同步电动机电磁转矩表达式并说明参数的含义。

3. 哪种同步电动机不加鼠笼绕组就能自行起动并具有较大的起动转矩?

()

绘出它的机械特性曲线。

四、(11分)

1. 步进电动机转角的大小取决于控制脉冲的(), 转速大小取决于控制脉冲的()。

控制脉冲频率增高, 步进电机的负载能力下降, 主要原因是:

2. 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.磁阻式步进电动机小失调角时的传递函数（输出是转角 θ ）是：

4.两相混合式步进电动机，产品说明书给出步距角为 1.8° ，若采用8细分驱动电路，步距角是（ ）。

5.从用户使用角度看，在位置伺服系统中，全数字交流伺服系统与直流伺服电动机有什么不同之处？

6.目前批量生产的无刷直流电动机(交流伺服电动机)常用的位置传感器有哪两类？

五、(20分)

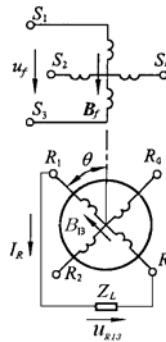
1.画图解释传感器的重复性误差。

2.旋转变压器如右图。完成原边补偿和副边补偿的连线。

电压有效值 $U_{R13} =$ _____

感应同步器鉴相型信号处理方式中，输出电压 $e_2 =$ _____。

3.画出直流测速发电机理想输出电压与实际输出电压曲线，并在图中说明误差产生的原因。



4. 光电增量码盘每转产生 1000 个脉冲，分辨率为_____。
 增量码盘为什么用两个光电转换器而不是一个？

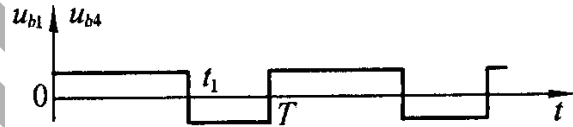
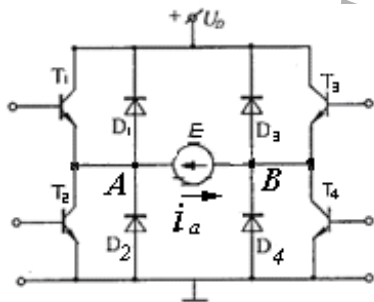
增量码盘为什么要寻零？怎样寻零？

5. 画出采用电位器测量正、负位移的线路图。

6. 螺杆型差动变压器用来_____。
 输出电压表达式是_____。

7. 热敏电阻传感器是根据_____（材料）电阻与温度之间的关系制成的。它的主要优点是什么？

六、(9分) 1. PWM 功放电路和双极性输出时的输入电压如图。设电流连续。

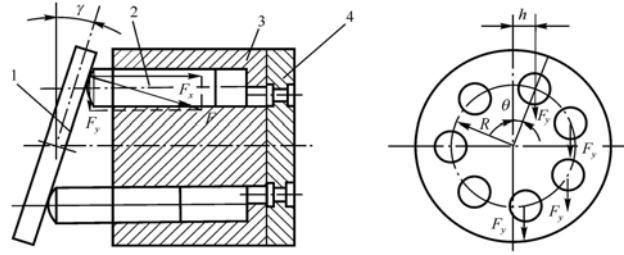


- 1) 绘出输出电压 u_{AB} 波形。
- 2) 分别绘出电动机状态、发电机状态和轻载时电流 i_a 波形。
- 3) $E_a > 0$ ，电动机状态，指出一周期内电流流经的路线。

2. PWM 功率放大器包括_____和_____两部分。
3. PWM 电路中, 提高频率将使晶体管功耗_____。
(1) 减小 (2) 不变 (3) 增加。
4. 异步电动机变频器输出的电压是_____波形。
5. 用数据说明线性功放的主要缺点。

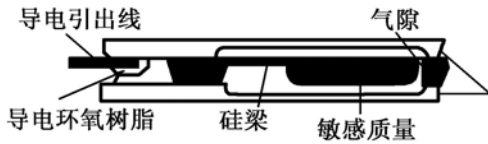
七、(13分)

1. 写出阀控液压马达的传递函数, 说明输入量和输出量的含义并说明传递函数参数的特点。
2. 与电动机相比, 液压动力机构的主要优、缺点是什么?
3. 标示出图示液压马达的旋转方向。这是_____向_____式液压马达。



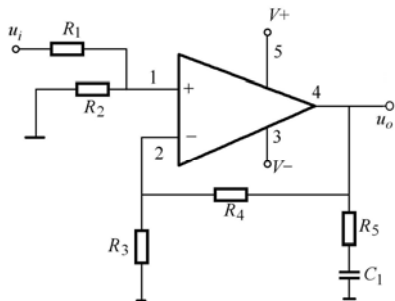
4. 航天器中陀螺传感器有哪两项作用?

5. 图示为电容式微加速度传感器结构示意图。简述工作原理。若采用静电力平衡式的工作方式，解释“静电力平衡式的工作方式”，并说明它的优点。



八、附加题

1. 求图示功率放大器的稳态放大系数 $\frac{u_o}{u_i} =$



2. 两相绕组匝数都是 W ，电流分别为 $i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t$ ， $i_j = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ)$ 。证明合成磁场是圆形旋转磁场。(提示 $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)$)

参考答案

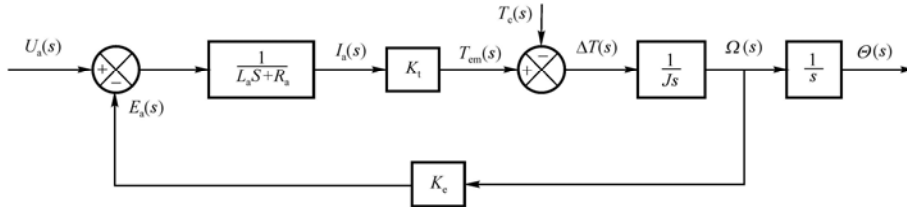
一、1. (1) $\tau_m = 4 \times 10^{-3} \text{ s}$, $\tau_e = 5 \times 10^{-3} \text{ s}$, $T_1 = 10 \text{ N} \cdot \text{m}$

(2) $T_{20} = 12.3 \text{ N} \cdot \text{m}$, $\omega_{20} = 12.3 \text{ rad/s}$

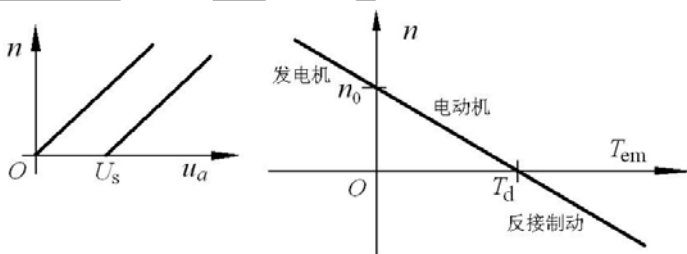
(3) $U_3 = 24 \text{ V}$, $T_{30} = 1.8 \text{ N} \cdot \text{m}$

(4) $\frac{\Omega(s)}{U_a(s)} = \frac{0.5}{(0.04s+1)(0.005s+1)} \approx \frac{0.5}{0.00002s^2 + 0.04s+1}$

2. 框图如下。



3. 特性曲线如下。



4. 优点：力矩大，控制容易。

缺点：有机械换向器，有火花，摩擦大，维护较复杂，价高，结构复杂。

5. 减小涡流损耗。

6. 钕铁硼。

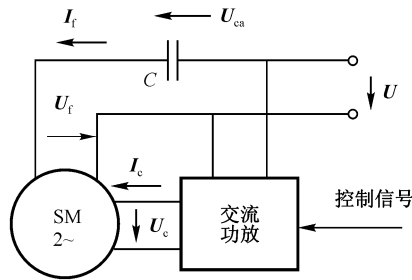
7. K_e 、 K_t 大，电枢扁平状。

二、1. 电机一相绕组产生的机械功率。

2. 两相电流相位差： $0^\circ < \theta < 90^\circ$

两相电压相位差 90° ，幅值不等。

3.

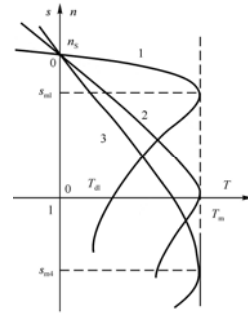


4. 特性曲线见图。

5. $T = J \frac{d\omega}{dt}$, $\omega = \omega(U, T) \Rightarrow$

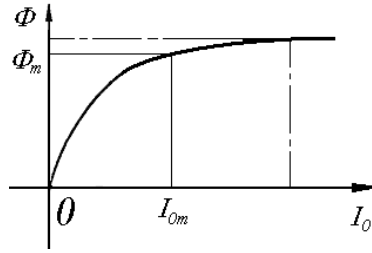
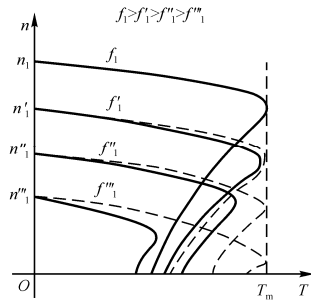
$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{\partial \omega}{\partial U}}{-J \frac{\partial \omega}{\partial T} s + 1}$$

$\frac{\partial \omega}{\partial U}$: 调节特性斜率。 $\frac{\partial \omega}{\partial T}$: 机械特性斜率。



6. 特

性曲线见图。



7. $U \approx E = 4.44 f W \Phi$ 电机额定工作状态时铁心磁密接近饱和, 如图。
 U 不变, $f \downarrow \Rightarrow \Phi \uparrow \Rightarrow I \uparrow$ 。电流过大, 电机过热损坏。

8. 4 极, $n_s = \frac{60f}{p}$, $p = 2 \Rightarrow n_s = 1500 \text{r/min}$

三、1. $T_{em} = K \sin \theta$

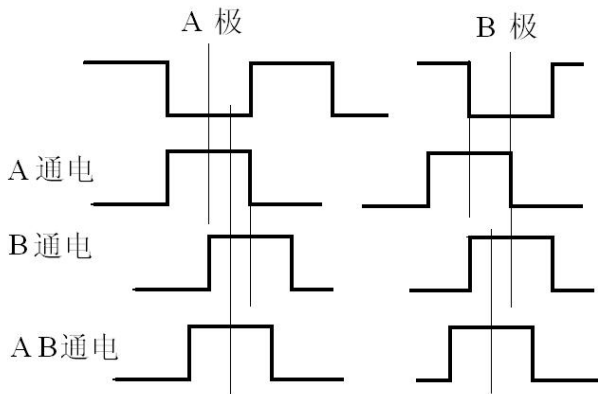
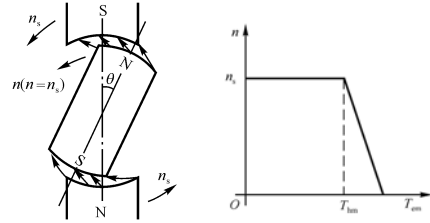
2. 工作原理见图。 $T = K(R_{mq} - R_{md}) \sin 2\theta$

R_{mq} 、 R_{md} : 交轴和直轴磁阻。

3. 磁滞同步电机。特性曲线见图。

四、1. 个数; 频率; 绕组电感的影响。

2.



$$3 \quad \frac{\frac{T_m z_r}{J}}{s^2 + \frac{B}{J}s + \frac{T_m z_r}{J}}$$

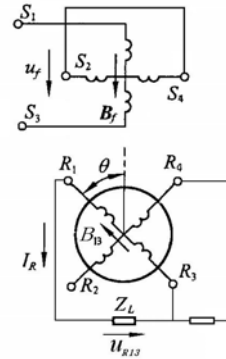
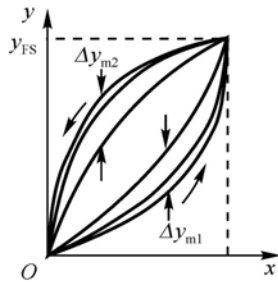
4. 0.225°

5. 数字交流伺服系统: 控制简单, 用脉冲做输入信号, 直接控制位置。内部结构复杂, 产生高频电压扰动。

直流电动机: 需要另外配置传感器, 功率放大器, 补偿电路组成系统。

6. 霍尔元件; 旋转变压器, 光电码盘。

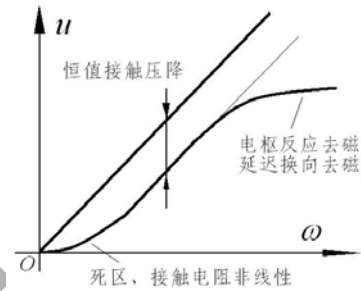
五、1. 输入按同一方向多次变化时的误差。



2. $U_{R13} = K \cos \theta$

$e_2 = kU_m \sin(\omega t + \theta_e)$

3. 曲线见图。



4. 0.36°。

辨别转动方向。

寻找转角的基准位置, 以便求绝对位置。无限位时, 开机后向某一方向转动, 直到产生零位脉冲。有限位时, 开机后向一方向转动, 找不零位时再反转。

5. 线路见图。

6. 测线位移。 $u = Kx$ 。

7. 半导体 (金属氧化物)。

灵敏度高, 热惯性小, 体积小, 价格低。

六、1. (1), (2) 波形见图。

(3) $0 \square t_1: U_D \rightarrow T_1 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow T_4 \rightarrow \text{地}$

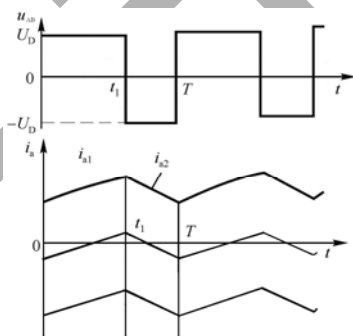
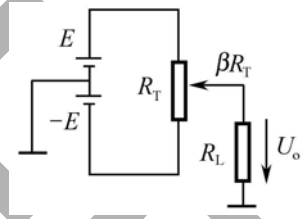
$t_1 \square T: \text{地} \rightarrow D_2 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D_3 \rightarrow U_D$

2. 脉宽调制器; 开关放大器。

3. 增加。

4. SPWM

5. 效率低, 晶体管功耗大, 不能输出大功率。例如, 电源电压 50V, 电流 20A, 功率 1000W。电机电压 10V, 晶体管管耗 $20 \times 40 = 800W$ 。



七、1. 传递函数为

$$\Theta(s) = \frac{K_1 X(s) - K_2 (Ts + 1) T_L(s)}{s \left(\frac{s^2}{\omega^2} + \frac{2\zeta}{\omega} s + 1 \right)}$$

θ : 输出, 转角。

x : 输入、滑阀位移。

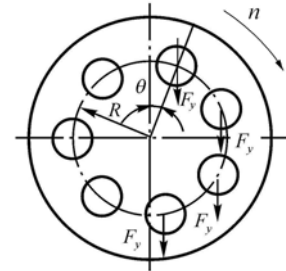
T_L : 外负载力矩。

特点: K_2 小, 刚度大。 ζ 小, 阻尼小, 不利。非线性严重, 某些参数变化大。

2. 优点: 力矩大; 尺寸小, 重量轻; 刚度大。

缺点: 需要专门液压源; 漏油; 维护麻烦。

3. 轴: 柱塞。顺时针转动, 见图。



4. 测运动体的角位置和角速度。

5. 加速度使质量块产生位移。 $C = \frac{\epsilon S}{\delta}$, δ 变化, 引起电容变化, 测出电容可知位移 δ 和加速度。

静力平衡: 加电压, 静电力使质量块不动, 由电压可知加速度。

优点: 灵敏度高, 精度高。

八、1. $\frac{u_o}{u_i} = \frac{R_2}{R_3} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2}$

2. $F_c = \frac{\sqrt{2}}{2} kWI \sin(\omega t + x) + \frac{\sqrt{2}}{2} kWI \sin(\omega t - x)$

$$F_f = -\frac{\sqrt{2}}{2} kWI \sin(\omega t + x) + \frac{\sqrt{2}}{2} kWI \sin(\omega t - x)$$

$$F = F_c + F_f = \sqrt{2} kWI \sin(\omega t - x)$$

自动控制元件及线路 试题

班学号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	卷面分	平时分	总分
满分值	20	20	8	10	20	10	12						
得分值													

一. (20分) 1. 两台完全相同的永磁直流电动机的轴连在一起组成电动机-发电机组。每台电机，电阻 $R_a = 8\Omega$ ，电感 $L_a = 0.02\text{H}$ ，转动惯量 $J = 2 \times 10^{-3}\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

(1) 电动机电压 $U_{m1} = 20\text{V}$ ，电流 $I_{m1} = 0.25\text{A}$ 。发电机不接负载，此时机组转速 $\omega_1 = 20\text{rad/s}$ 。求发电机电枢电压 U_{g1} 和每台电机的空载阻转矩 T_f 。

(2) 电动机电压 $U_{m2} = 30\text{V}$ ，发电机电枢端接负载电阻 $R_L = 160\Omega$ 。求机组转速 ω_2 ，电动机电流 I_{m2} ，发电机电枢电流 I_{g2} 。

(3) 求电机本身的机电时间常数 τ_m 、电磁时间常数 τ_e 和传递函数（转角为输出量）。

注
意
行
为
规
范

遵
守
考
场
纪
律

主管
领导
审核
签字

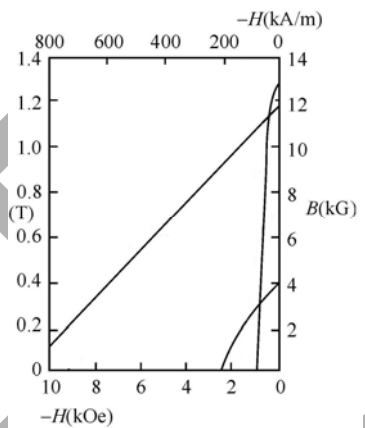
--

2. 输入信号是电枢电压 u_a ，输出信号是电机转角 θ 。绘出直流电动机动态框图，标出 $I_a(s)$ ， $E_a(s)$ ， $T_{em}(s)$ ，及扰动力矩 $T_c(s)$ 。

3. 绘出直流电动机电枢控制的机械特性曲线，标出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。

4. 在右侧 3 条去磁曲线上添写适当的材料名称。

5. 为了获得大转矩，直流力矩电机电枢形状为 ()。设电枢体积、磁密、电流和导线总长度不变，用物理知识给予解释。



6. 直流电机电枢绕组一般放在定子上还是转子上？为什么这么安排？

二. (20分)

1. 绘出异步电动机的等效电路并说明如何利用等效电路求电机电磁转矩。

2. 电机绕组通入交流电 $i = \sqrt{2}I \sin \omega t$ 。单相集中绕组产生 () 磁场。任一固定时刻, 磁势在空间的分布波形是什么形状? ()。单相分布绕组产生 () 磁场。任一时刻磁势在空间的分布波形是什么形状? () 注: 磁场 (椭圆旋转, 圆形旋转, 脉振, 其它); 分布波形 (正余弦波, 方波, 阶梯波, 三角波, 其它)

3. 一台三相异步电机额定转速是 940r/min, 这是几极电机? 说明理由并求转差率。

4. 绘出三相异步电动机从基频向下变频调速时的机械特性。此时电压应如何变化? 用公式说明。

5. 画出两相电机幅相控制时的电路图并说明电容器的作用。

6. 绘出驱动用和伺服系统用两相异步电动机在圆形旋转磁场时的典型机械特性曲线。它们的转子电阻有何不同? 驱动用电机的曲线中, 指出稳定区与不稳定区。

7. 两相绕组匝数都是 W ，电流分别为 $i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t$ ， $i_f = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ)$ 。证明合成磁场是圆形旋转磁场。(提示 $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)$)

8. 推导两相伺服电动机传递函数 $G(s) = \Omega(s)/U(s)$ ，并说明其中的参数与静态特性曲线的关系。

三、(8分) 1. 同步电动机中“同步”的含义是什么?

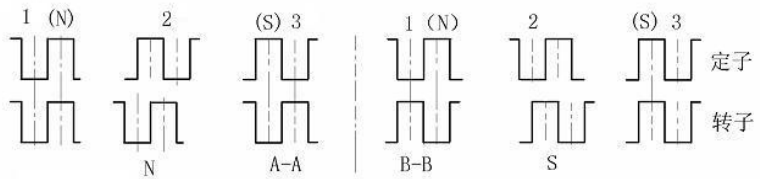
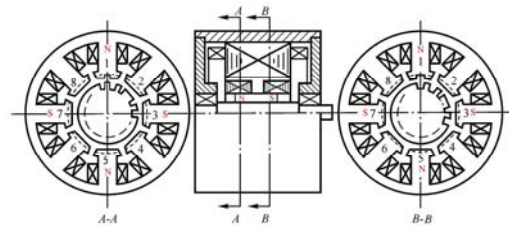
2. 永磁同步电动机中基本电磁转矩的公式是_____。

3. 写出电机磁阻转矩 T 与电角 θ 、直轴磁阻 R_{md} 、交轴磁阻 R_{mq} 的关系式。

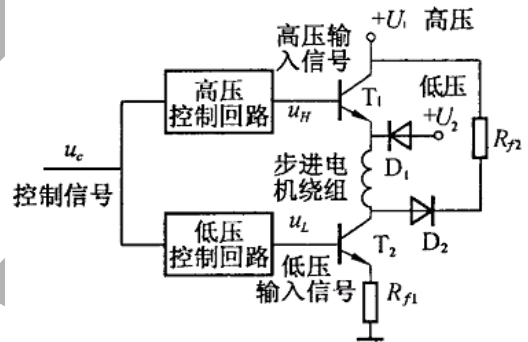
4. 哪种同步电动机不加鼠笼绕组就能自行起动并具有较大的起动转矩?

四、(10分) 1. 推导磁阻式步进电动机小失调角时的传递函数(输出是转角 θ)。

2. 两相混合式步进电机结构示意图和A相通电的平衡位置见图。在平衡位置图上,使转子左转,B相通电时,标出定子磁极2的极性,并说明理由。



3. 简述图示步进电机功放电路工作过程。若将 D_2 断开,会产生什么现象?



4. 目前市场上流行的全数字交流伺服系统响应快,精度高。供货的两大部件是()。它的电机的名称是(),采用()波电流驱动,传感器多用()。这种电机在应用中,可能产生什么问题?

五、(20分) 1. 解释传感器的静态特性和静态误差。

2. 旋转变压器如右图。完成原边补偿和副边补偿的连线。

电压有效值 $U_{R13} = (\quad)$

感应同步器鉴相型信号处理方式中,

输出电压 $e_2 = (\quad)$ 。

3. 画出直流测速发电机理想输出电压与实际输出电压曲线,并在图中说明误差产生的原因。

4. 光电增量码盘每转产生 3000 个脉冲,分辨率为 ()。
增量码盘为什么用两个光电转换器而不是一个?

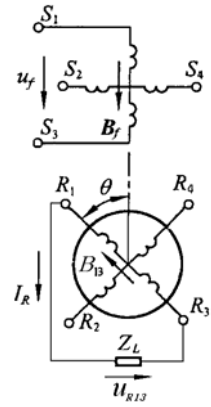
简述增量码盘“寻零”的原因和过程。

简述绝对值光电码盘的主要优、缺点。

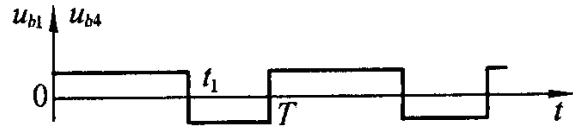
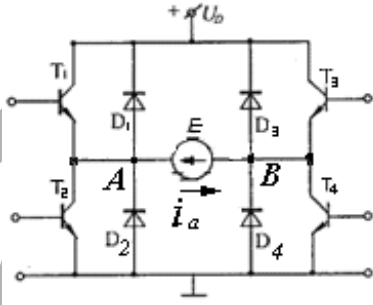
5. 画出采用电位器测量正、负位移的线路图。

6. 螺管型差动变压器在控制系统中的传递函数是 ()。

7. 为家用电冰箱的温度控制系统选择温度传感器并简述理由。



六、(10分) 1. PWM 功放电路和双极性输出时的输入电压如图。设电流连续。



- 1) 绘出输出电压 u_{AB} 波形。
- 2) 分别绘出电动机状态、发电机状态和轻载时电流 i_a 波形。
- 3) $E_a > 0$ ，电动机状态，指出一周期内电流流经的路线。

2. PWM 功率放大器中的桥式电路为什么会产生同侧晶体管直通现象？如何避免？

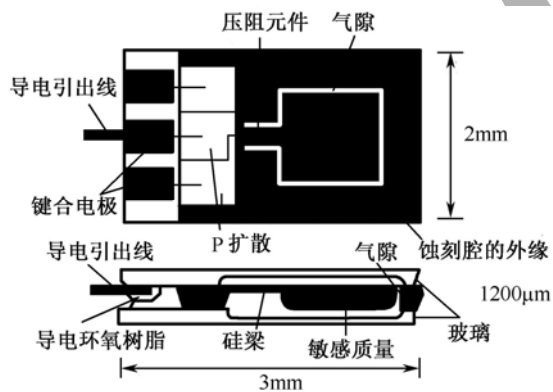
3. PWM 电路中，提高频率将使晶体管功耗_____。
 (1) 减小 (2) 增加 (3) 不变。

4. 解释正弦波脉宽调制 (SPWM) 波形的特点及应用场合。

5. 线性功率放大器为什么不能应用于较大功率？

七、(12分)

1. 写出阀控液压马达的传递函数，说明输入量和输出量的含义并说明传递函数参数的特点。
2. 解释术语液压马达的“排量”。
3. 如何改变液压马达的转动方向？
4. 写出电液伺服阀的传递函数。在什么条件下可看成是比例环节和一阶环节？
5. 探月卫星的姿态是用什么传感器检测的？
6. 图示为压阻式微加速度传感器。简述其工作原理。



八、附加题

1. 为探月卫星上众多的电动机控制系统选择一种电机类型，并简述理由。
2. 直线感应同步器节距为 2mm，激磁电压频率为 2.5kHz，采用鉴相型信号处理方式，时钟脉冲源频率为 5MHz，求感应同步器的分辨率 x_1 。

提示 感应同步器电角 $\theta_e = 2\pi f N t_n$ rad, f 为激磁电压频率, N 为计入的时钟脉冲个数, t_n 为时钟脉冲周期。

自动控制元件及线路 试题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	实验	课程设计	总分
满分值	12	7	7.5	12.5	16	15	30	100
得分值								

一、 填空题 (12 分)

1.1 直流电动机的调速控制方法有：_____，_____，_____；而异步电动机的调速控制方法有：_____，_____。

1.2 直流电路有 I^2R (电流电阻)的线路损耗，直流磁路_____ (有/无) ϕ^2R (磁通磁阻)的激磁损耗；磁路中的漏磁通一般比电路中的漏电流要_____ (大/小)；线性电路可以采用叠加定理计算，而电磁元件的磁路一般_____ (可以/不可以) 采用叠加定理计算，原因是：_____。

1.3 步进电动机转角的大小取决于控制脉冲的_____，转速大小取决于控制脉冲的_____。两相混合式步进电动机，产品说明书给出步距角为 $1.8^\circ/0.9^\circ$ ，其中 1.8° 是指_____拍驱动下的步距，而 0.9° 是指_____拍驱动下的步距，若采用 4 细分驱动电路，步距角是_____。

1.4 无刷直流电机的反电势波形一般是_____波，相应理想的驱动电流波形是_____波；而永磁同步电机的反电势波形一般是_____波，相应理想的驱动电流波形是_____波。

1.5 1024 线的增量码盘，有 A、B 两组输出脉冲，四倍频下角位置测量的分辨率为_____；而 15 位的绝对式码盘，其测角的分辨率为_____。

1.6 三相异步电动机，当转差率 S 在_____范围内,运行于电动机状态,此时电磁转矩性质为_____；在_____范围内运行于发电机状态,此时电磁转矩性质为_____。

1.7 电容式传感器可以分为_____、_____和_____等三种类型，其中_____可以用来测量粮食的湿度。

1.8 某热电偶的分度表如下，已知该热电偶的冷端置于恒温 20°C 环境中，用该热

注
意
行
为
规
范

遵
守
考
场
纪
律

主管
领导
审核
签字

电偶测量 860℃ 的温度时其热电势输出为_____mV。

分度号: S (参考端温度为 0℃)

测量端 温度/℃	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	热电动势/mV									
0	0.000	0.055	0.113	0.173	0.235	0.299	0.365	0.432	0.502	0.573
100	0.645	0.719	0.795	0.872	0.950	1.029	1.109	1.190	1.273	1.356
200	1.440	1.525	1.611	1.698	1.785	1.873	1.962	2.051	2.141	2.232
300	2.323	2.414	2.506	2.599	2.692	2.786	2.880	2.974	3.069	3.164
400	3.260	3.356	3.452	3.549	3.645	3.743	3.840	3.938	4.036	4.135
500	4.234	4.333	4.432	4.532	4.632	4.732	4.832	4.933	5.034	5.136
600	5.237	5.339	5.442	5.544	5.648	5.751	5.855	5.960	6.064	6.169
700	6.274	6.380	6.486	6.592	6.699	6.805	6.913	7.020	7.128	7.236
800	7.345	7.454	7.563	7.672	7.782	7.892	8.003	8.114	8.225	8.336
900	8.448	8.560	8.673	8.786	8.899	9.012	9.126	9.240	9.355	9.470
1000	9.585	9.700	9.816	9.932	10.048	10.165	10.282	10.400	10.517	10.635
1100	10.754	10.872	10.991	11.110	11.229	11.348	11.467	11.587	11.707	11.827
1200	11.947	12.067	12.188	12.308	12.429	12.550	12.671	12.792	12.913	13.034
1300	13.155	13.276	13.397	13.519	13.640	13.761	13.883	14.004	14.125	14.247
1400	14.368	14.489	14.610	14.731	14.852	14.973	15.094	15.215	15.336	15.456
1500	15.576	15.697	15.817	15.937	16.057	16.176	16.296	16.415	16.534	16.653
1600	16.771	16.890	17.008	17.125	17.245	17.360	17.477	17.594	17.711	17.826

1.9 对于采用单相激磁鉴幅工作方式的感应同步器,如果在单相绕组上施加的激磁电压为 $u = U_m \sin \omega t$ (U_m 为激磁电压的幅值),记电角为 β 、变比为 k ,则在正弦绕组中感应电势为_____,正弦绕组和余弦绕组的输出经函数变压器(记指令角为 α)和加法器处理后,可以得到系统的输出信号为_____。

1.10 电动机的输出功率是指:_____,电动机的起动瞬间,转速为零,此时,输出功率为_____,起动时电动机的效率为_____。

二、 选择题 (7分)

2.1 磁场的简化分析中,建立了类似于电路的磁路模型,其中与电路模型中电流相对应的物理量是:_____,磁通连续定律对应的是:_____,安培环路定律对应的是:_____。

- A. 磁场强度
- B. 磁通
- C. 磁感应强度
- D. 磁动势
- E. 基尔霍夫第一定律
- F. 基尔霍夫第二定律
- G. 戴为南定律

2.2 一台他励直流电动机拖动恒转矩负载时,当电枢电压降低时,电枢电流和转速

将_____；而拖动泵类/风机负载时，当电枢电压降低时，电枢电流和转速将_____。

- A. 电枢电流减小、转速减小； B. 电枢电流减小、转速不变；
C. 电枢电流不变、转速减小； D. 电枢电流不变、转速不变；

2.3 同步电动机中，_____不加鼠笼绕组就能自行起动，并具有较大的起动转矩。

- A. 磁阻同步电机 B. 磁滞同步电机 C. 永磁同步电机 D. 感应子式同步电机

2.4 电机 PWM 驱动电路，提高开关频率将使晶体管功耗_____，将使电机电流纹波_____。

- A. 减小 B. 增加 C. 不变 D. 随机变化

2.5 一磁阻式步进电机正常运行时每步步距误差小于 0.1 度，若该电机正常运转 100 步，未发生丢步或过冲，总的转角误差应是_____。

- A. 约 10 度 B. 约 5 度 C. 大于等于 1 度 D. 小于 0.1 度

2.6 如果某三相异步电动机的极对数为 4 对极，额定同步转速为 1800 转/分，那么电机驱动电流的额定频率为_____。

- A. 50Hz B. 60 Hz C. 120 Hz D. 400 Hz

2.7 一台耐压为 500V，变比为 $k=2$ 的变压器，原边额定电压为 110 V，额定频率为 50Hz，在功率允许范围内（不考虑铁损），可以接到_____电源中使用。

- A. 直流 110V B. 交流 220V， $f=50\text{Hz}$
C. 交流 220V， $f=100\text{Hz}$ D. 交流 110V， $f=100\text{Hz}$

2.8 单相异步电动机的单相绕组所产生的空间磁场是_____，无法实现电机的起动；日常生活和生产中所使用的单相异步电动机，一般采用_____方法，使得电机起动

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

2.9 下面给出的选项中, _____不是常用的航天器姿态测量传感器, _____在航天器姿态测量中精度最高。

- A.陀螺 B.旋转变压器
C.太阳角计 D.星敏感器

2.10 以下内容中, _____不是测量元件在控制器系统中起到的作用。

- A.检测需要测量的物理量
B.将被测信号转换成系统容易识别的信号
C.构成系统闭环, 抑制干扰
D.防止引入测量噪声

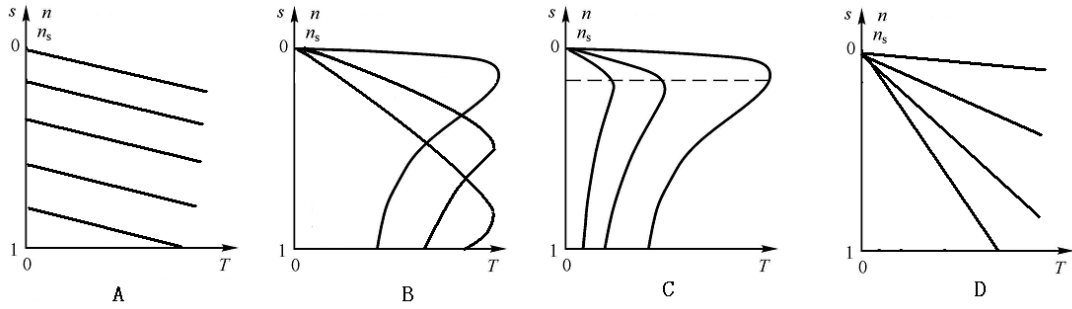
2.11 以下测量元件, _____没有用到电磁感应原理。

- A.旋转变压器 B.感应同步器
C.透射式光栅 D.螺管型差动变压器

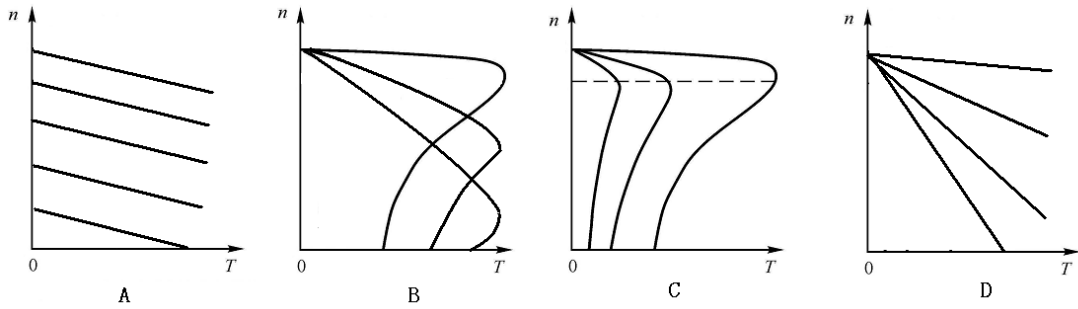
2.12 同一台四相步进电动机, 四相四拍运行和四相八拍运行, 在相同的驱动电流下, 两者起动转矩的关系是_____。

- A. 八拍运行起动转矩大 B. 四拍运行起动转矩大
C. 两者的起动转矩一样大 D. 关系复杂, 无法比较

2.13 下面的电机调速控制曲线中, 反映了异步电动机调压调速特性的曲线是_____。



2.14 直流电动机电枢回路串电阻调速的特性曲线是_____，这种方法的特点是：_____。



- 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

三、 辨析对错并说明理由，错误的进行改正 (7.5分)

3.1 电枢是指电机中实现机械能和电能转换的环节，因此它必然是旋转的，这样才能将旋转机械动能与电网电能进行转化，所以对直流电机和交流电机来讲，电枢实际就是指电机的转子电回路。

3.2 电动机的再生制动,也叫发电机制动,就是对电动机同轴外接一台发电机,将外接的发电机绕组短路或连接到电网上,这样外接的发电机就可以对运转中的电动机进行可控的制动。

3.3 为了保证在电机可能的运行范围内进行调速控制,无论直流电机的 H 桥驱动,还是交流电机的三相六管半桥驱动,驱动桥电路的母线电压一般都高于电机可能最高转速下对应的反电动势幅值,而只有电机反电动势幅值高于外加电压时,电机才能进行发电机运行,因此,常见的 PWM 驱动电路一般只能进行降压的电动驱动,而不能进行电能回馈的发电机运行。

3.4 同步电动机，顾名思义，就是其转速和驱动电压频率保持良好同步性的电机，因此在纺织、印染等需要多台电机转速保持很好一致性的场合得到广泛应用，对于这些同步电动机，一般都是直接将电机接入工频电网，靠电机自动同步于电网工频的能力，实现迅速可靠的起动。

3.5 由位置传感器脉冲信号求转速的方法有三种：M 法，T 法和 M/T 法，其中 M 法是一种定角测时的方法，利用两个位置脉冲之间的间隔计算速度，在高速时测量精度较高；T 法是一种定时测角的方法，通过记录给定时间内位置脉冲的个数计算速度，在低速时测量精度较高；M/T 法则结合了两种方法的优点，高速时采用定角测时方法，低速采用定时测角方法，提高了速率计算的精度。

四、 简答题 (12.5 分)

4.1 写出直流电机的反电势、力矩表达式, 和静态的电压平衡、力矩平衡表达式, 由此推导出直流电动机的机械特性表达式, 并绘出他励直流电动机的机械特性曲线, 标出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所对应的线段。

4.2 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 $i_c = \sqrt{2}I \sin \omega t$, $i_f = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 90^\circ)$ 。证明电机合成磁场是圆形旋转磁场。(提示 $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)$)

4.3 两相混合式步进电机转子有 50 个齿，计算单拍、双拍制的步距角，并写出单、双拍正反转的通电顺序。什么是步进电机的矩角特性和矩频特性？画出这两种特性的示意图。

4.4 试述旋转变压器带载后输出特性发生畸变的原因，并给出补偿措施的接线简图和完全补偿条件。

4.5 实际应用中，热电偶的冷端为什么要进行补偿？列出 3 种补偿方法。

五、 计算分析题（16 分） 所有计算保留两位小数即可。

5.1 有一台并励直流电动机，它的额定力矩为 $T_N=330\text{Nm}$ ，额定转速 $n_N=1000$ 转/分，额定电压 $U_N=200$ 伏，额定电流 $I_N=200$ 安，电枢回路总电阻 $R_S=0.1$ 欧，不计电刷压降以简化考虑。（5 分）

- 问：1) 这台电机的额定效率是多少？
- 2) 额定负载力矩下，电机端电压为 100V 时，电机转速是多少？
- 3) 不考虑电感影响，200V 全压直接起动时的电流为额定电流的几倍？
- 4) 采用降压起动来限制起动电流为额定电流的 2.5 倍，起动电压应为多少？
- 5) 电枢串电阻以限制起动电流为额定电流的 2.5 倍，所串电阻应为多少？

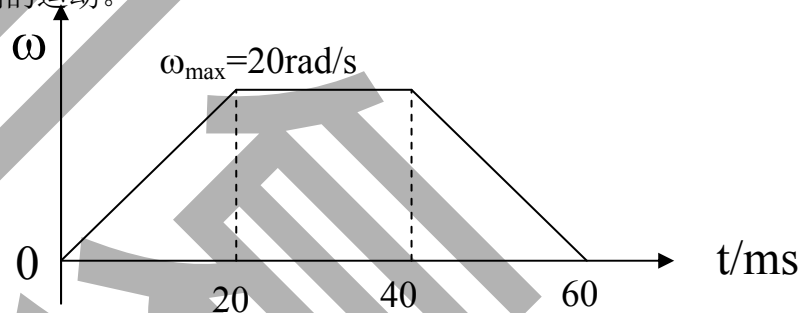
5.2 额定电压均是 380V 的三相异步电机，甲电机额定功率 0.75kW，额定转速 715 转/分，在额定功率下运行时，功率因数 0.85，效率 0.82；乙电机额定功率 3.7kW，额定转速 725 转/分，在 750W 下运行时，功率因数 0.72，效率 0.68。（4 分）

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？

5.3 机床加工中,工件的运动采用伺服电机系统驱动,要求工件机动运动具备重复完成下图所示以 60ms 为周期的运动。



工件的转动惯量 $J_L = 2 \times 10^{-2} \text{kgm}^2$, 工件运动的摩擦力矩 $T_f = 4 \text{Nm}$; 确定采用 1:10 的减速器驱动方案, 有两种直流伺服电机可供选择, 两种电机的转动惯量都是 $J_M = 2 \times 10^{-4} \text{kgm}^2$, 额定转速都是 3000rpm;

问:

1) 不考虑减速器的转动惯量和效率, 根据工件驱动需要, 对驱动电机的最高转速、峰值力矩、额定转矩如何要求? (2分)

2) 在两种电机峰值扭矩和额定转矩都满足驱动需求的前提下, 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 $R = 0.5\Omega$ 。

假设机床驱动供电电压为 110V DC, 两种电机是否都能采用? 从高效率运行的角度,

你选择哪一种电机并说明原因 (2 分)

3) 为了实现工件驱动达到定位精度 0.2° 的要求, 可以在电机侧安装光电码盘进行转角负反馈控制, 减速器环节会产生 0.04° 以内的驱动传输误差, 现在有 8 位、10 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? (1 分)

4) 上述电机采用 H 桥双极性 PWM 驱动, 画出完整的 H 桥驱动电路, 以电机减速制动阶段为例, 绘出 PWM 周期内功率管的控制电压与电流、续流二极管通过电流、电机端电压、电机电流的波形图 (2 分)

自动控制元件及线路 试题

						班号		
						姓名		
题号	一	二	三	四	五	实验	课程设计	总分
满分值	12	7	7.5	12.5	16	15	30	100
得分值								

一、 填空题 (12 分)

1.1 电动机的制动，根据制动回路的特点，分为_____、_____和_____制动三种形式。

1.2 直流电动机运行中，每个元件所导通的电流也是交变的，改变线圈中电流方向是_____和_____完成的。

1.3 并励和他励直流电动机的机械特性较_____(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_____ (大 / 小)。

1.4 反电势波形为_____波，相应驱动电流波形为_____波的永磁交流电机称为无刷直流电机；而反电势波形是_____波，相应驱动电流波形是_____波的永磁交流电机被称为永磁同步电机。

1.5 异步电动机的调速主要有三种方法，分别为：_____、_____和_____。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_____调速方法。

1.6 有一直线光栅，每毫米刻线数目为 100，主光栅和指示光栅的的夹角为 0.9 度，莫尔条纹能够将栅距放大_____倍，放大后的栅距为_____毫米。

1.7 对于阻容感这类传感器，通常会采用_____技术来提高传感器的灵敏度和线性度。

1.8 热电偶测量回路中应用补偿导线是利用了热电偶的_____性质。

1.9 对于采用双相激磁鉴相工作方式的感应同步器，如果在正弦绕组上施加的激磁电压为 $u = U_m \sin \omega t$ (U_m 为激磁电压的幅值)，在余弦绕组上施加的激磁电压为 $u = U_m \cos \omega t$ ，记电角为 β 、变比为 k ，则正弦绕组上施加的激磁电压在单相绕组中感应电势为_____，单相绕组总感应电势可以整理

注
意
行
为
规
范

遵
守
考
场
纪
律

主管
领导
审核
签字

为_____。

1.10 从直流电机外部看,它的电压,电流和电动势都是_____流,但每个绕组元件中的电压,电流和电动势都是_____流。

1.11 步进电动机转角的大小取决于控制脉冲的_____, 转速大小取决于控制脉冲的_____。三相混合式步进电动机,产品说明书给出步距角为 $1.5^\circ/0.75^\circ$, 其中 1.5° 是指拍驱动下的步距, 而 0.75° 是指_____拍驱动下的步距, 若采用 4 细分驱动电路, 步距角是_____。

1.12 单相交流绕组的基波磁势是_____, 它可以分解成大小_____, 转向_____, 转速_____ 的两个旋转磁势。

1.13 功率半导体器件的工作区域可分为: _____区、 _____区和 _____区; 线性功率放大器是工作在 _____区的。

二、 选择题 (7分)

2.1 直流电动机在串电阻调速过程中, 若负载转矩不变, 则_____。

- A. 输入功率不变 B. 输出功率不变
C. 总损耗功率不变 D. 电磁功率不变

2.2 一台他励直流电动机拖动恒转矩负载时, 当电枢电压降低时, 电枢电流和转速将_____; 而拖动泵类/风机负载时, 当电枢电压降低时, 电枢电流和转速将_____。

- A. 电枢电流减小、转速减小; B. 电枢电流减小、转速不变;
C. 电枢电流不变、转速减小; D. 电枢电流不变、转速不变;

2.3 电机 PWM 驱动电路, 提高开关频率将使晶体管功耗_____, 将使电机电流纹波_____。

- A. 减小 B. 增加 C. 不变 D. 随机变化

2.4 一磁阻式步进电机正常运行时每步步距误差小于 0.2 度, 若该电机正常运转 100 步, 未发生丢步或过冲, 总的转角误差应是_____。

- A. 约 20 度 B. 约 10 度 C. 大于等于 2 度 D. 小于 0.2 度

2.5 如果某三相异步电动机的极对数为 4 对极, 额定同步转速为 1500 转/分, 那么电机驱动电流的额定频率为_____。

- A. 50Hz B. 60 Hz C. 120 Hz D. 100 Hz

2.6 一台单相变压器, 如果其输入和输出的变压比为 20, 当它正常工作时, 副边电流为 100A, 那么它的原边绕组中的电流应为_____安。

- A. 2000 B. 5 C. 50 D. 2.5

2.7 下面关于太阳敏感器的论述中错误的是_____。

- A. 太阳敏感器可以用于保护星敏感器
B. 太阳敏感器可以用于太阳帆板的定位
C. 太阳敏感器可以用于对航天器的轨道控制和姿态控制
D. 和数字式太阳敏感器相比, 模拟式太阳敏感器具有视场大、精度高的特点。

2.8 下面措施中, _____不可以提高增量式码盘的分辨率, _____可以提高绝对式码盘的分辨率。

- A. 增大码盘直径, 提高窄缝或码道的密度 B. 采用倍频细分技术
C. 增加码盘转一周产生的脉冲数 D. 采用循环码盘

2.9 同一台四相步进电动机, 四相四拍运行和四相八拍运行, 在相同的驱动电流下, 两者起动转矩的关系是_____。

- A. 八拍运行起动转矩大 B. 四拍运行起动转矩大
C. 两者的起动转矩一样大 D. 关系复杂, 无法比较

2.10 电机的四象限运行曲线中，横坐标为电机的输出力矩，纵坐标为电机的转速，其中电机在第一象限是：_____状态，在第二象限是：_____状态，在第四象限是：_____状态。

- A. 正向电动 B. 正向制动 C. 反向电动 D. 反向制动

2.11 单相异步电动机的单相绕组所产生的空间磁场是_____，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_____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

2.12 在日常的生产和生活应用中，下列电动机中，一般可直接投切进交流电网运行的是：_____。

- A. 步进电动机 B. 同步电动机 C. 异步电动机 D. 直流电动机

2.13 对步进电动机采用细分驱动，可以_____。

- 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静转矩 D. 提高步进电机的最高转速

三、 辨析对错并说明理由，错误的进行改正（7.5分）

3.1 伺服驱动系统由伺服电机和伺服驱动器组成，其输出特性由电机和驱动器的特性和性能共同决定，电机的机械特性和运行极限参数（最大转矩、最高转速）决定了电机的可运行区域，而相应的伺服驱动特性主要由驱动器的控制结构与性能决定。

3.2 电动机的再生制动，也叫发电机制动，就是对电动机同轴外接一台发电机，将外接的发电机绕组短路或连接到电网上，这样外接的发电机就可以对运转中的电动机进行可控的制动。

3.3 为了保证在电机可能的运行范围内进行调速控制，无论直流电机的 H 桥驱动，还是交流电机的三相六管半桥驱动，驱动桥电路的母线电压一般都高于电机可能最高转速下对应的反电动势幅值，而只有电机反电动势幅值高于外加电压时，电机才能进行发电机运行，因此，常见的 PWM 驱动电路一般只能进行降压的电动驱动，而不能进行电能回馈的发电机运行。

3.4 同步电动机，顾名思义，就是其转速和驱动电压频率保持良好同步性的电机，因此在纺织、印染等需要多台电机转速保持很好一致性的场合得到广泛应用，对于这些同步电动机，一般都是直接将电机接入工频电网，靠电机自动同步于电网工频的能力，实现迅速可靠的起动。

3.5 由位置传感器脉冲信号求转速的方法有三种，M法，T法和M/T法，其中M法是一种定时测角的方法，通过记录给定时间内位置脉冲的个数计算速度，在高速时测量精度较高；T法是一种定角测时的方法，利用两个位置脉冲之间的间隔计算速度，在低速时测量精度较高；M/T法则结合了两种方法的优点，高速时采用定时测角方法，低速采用定角测时方法，提高了速率计算的精度。

四、简答题 (12.5 分)

4.1 写出并励直流电机的反电势、力矩表达式，和静态的电压平衡、力矩平衡表达式，由此推导出直流电动机的机械特性表达式，并绘出并励直流电动机的机械特性曲线，标出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所对应的线段。

4.2 简要分析在起动前和运行中两种条件下，三相异步电动机一相断路发生时，会出现什么现象?为什么三相异步电动机不允许长时间缺相运行?

4.3 电机中排布三相对称绕组 A、B 和 C，其匝数都是 N，分别通入三相对称电流，分别为 $i_A = \sqrt{2}I \sin \omega t$ ， $i_B = \sqrt{2}I \sin(\omega t - 120^\circ)$ ， $i_C = \sqrt{2}I \sin(\omega t + 120^\circ)$ 。证明电机合成磁场是圆形旋转磁场。（提示 $2 \sin \alpha \cos \beta = \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta)$ ）

4.4 测量元件在控制系统中起什么作用，在控制系统设计中测量元件的选择一般需要考虑哪些因素？

4.5 结合莫尔条纹的特征简述光栅的测量原理。

五、 计算分析题（16分） 所有计算保留两位小数即可。

5.1 有一台他励直流电动机，它的额定力矩为 $T_N=330\text{Nm}$ ，额定转速 $n_N=1000$ 转/分，额定电压 $U_N=200$ 伏，额定电流 $I_N=200$ 安，电枢回路总电阻 $R_S=0.1$ 欧，不计电刷压降以简化考虑。（6分）

问: 1) 这台电机的额定效率是多少?

2) 额定负载力矩下, 电机端电压为 120V 时, 电机转速是多少?

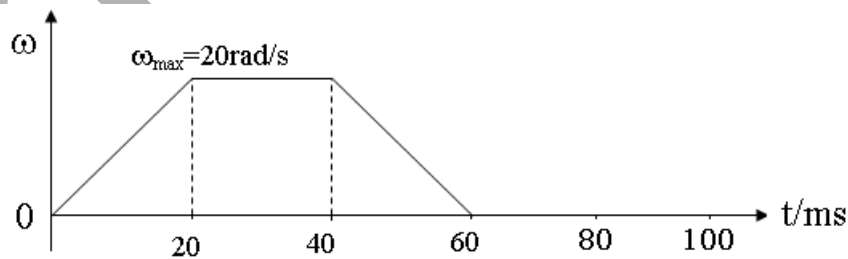
3) 不考虑电感影响, 200V 全压直接起动时的电流为额定电流的几倍?

4) 采用降压起动来限制起动电流为额定电流的 2 倍, 起动电压应为多少?

5) 电枢串电阻以限制起动电流为额定电流的 2 倍, 所串电阻应为多少?

5.2 若交流电网的频率为 60Hz, 那么一对磁极和两对磁极的三相异步电动机的同步转速各为多少?, 若这两台电机的转差率都是 0.05, 相应两台电动机的额定转速分别是多少? 上述两对极的三相异步电机的额定电压为 380V, 额定电流为 10A, 额定点运行时的功率因数为 0.8, 效率为 0.85, 则这台电机的额定转矩为多少 Nm? (4 分)

5.3 机床加工中，工件的运动采用伺服电机系统驱动，要求工件运动具备重复完成下图所示、以 100ms 为周期的运动。



工件的转动惯量 $J_L=2 \times 10^{-2} \text{kgm}^2$ ，工件运动的摩擦力矩 $T_f = 4 \text{ Nm}$ ；确定采用 1:10 的减速器驱动方案，有两种直流伺服电机可供选择，两种电机的转动惯量都是 $J_M=2 \times 10^{-4} \text{kgm}^2$ ，额定转速都是 3000rpm；

问：

1) 不考虑减速器的转动惯量和效率，根据工件驱动需要，对驱动电机的最高转速、峰值力矩、额定转矩如何要求？（2分）

2) 在两种电机峰值扭矩和额定转矩都满足驱动需求的前提下，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 $R=0.5\Omega$ 。

假设机床驱动供电电压为 110V DC，两种电机是否都能采用？从高效率运行的角度，你选择哪一种电机并说明原因（2分）

3) 为了实现工件驱动达到定位精度 0.2° 的要求，可以在电机侧安装光电码盘进行转角负反馈控制，减速器环节会产生 0.04° 以内的驱动传输误差，现在有 10 位、14 位、16 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？（2分）

哈工大 2012 年 秋季学期

自动控制元件及线路 试题

班号	1404102			
姓名	[Handwritten Name]			
题号	一	二	三	四
满分值	13	14	18	15
得分值	10.9	10.2	17	13.2
总分	81.8			

一、填空题 (13分)

1.1 异步电动机的调速有三种方法，分别为：变频调速、反极调速和串级调速。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串级调速调速方法，但压频比 $V/f = \text{const}$ 的调速方法属于变频调速调速方法。

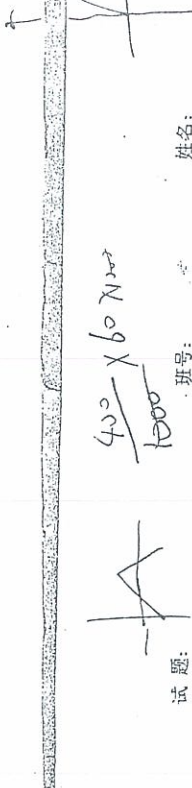
1.2 直流电路有 I^2R (电流电阻) 的线路损耗，直流磁路有 $(\text{有/无}) \phi^2 R$ (磁通电阻) 的激磁损耗；磁路中的磁通一般比电路中的漏电流要远 大 (大小)；线性电路可以采用叠加定理计算，而电动机的磁路一般 不能 (可以/不可以) 采用叠加定理计算，原因是：磁路中存在磁饱和现象。

1.3 直流电动机运行中，每个绕组元件所通过的电流是 交变 (直流、交变) 的，驱动电动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。电刷 的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，其机械特性变化 软 (硬/软)，采用电枢回路串电阻方式调速的直流电机，其机械特性变化 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 兼顾了其他两种类型步进电机的优点而获得广泛应用。

1.6 旋转变压器的补偿方式包括 剩磁补偿 和 原边补偿。
1.7 对于阻容感这类传感器，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，在检测时间段 T_{ms} 中测得脉冲



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、机械补偿 和 补偿器补偿。
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 180/p。
1.11 利用 H 型桥式电路驱动电动机负载时其两个主要的工作状态包括：电制动状态 和 制动状态。

1.12 触发电角为 30° 的单相半波可控整流电路直流输出的平均电压值为 0.716 U₂。
① PWM 调制方式的理论依据是 电磁感应原理 和 电动机定转子物理过程。

二、选择题 (14分。单选或多选) 10.2
2.1 一步进电机正常运行时步距误差不得大于 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°

2.2 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. 换向器表面变粗糙 F. 电机电流减小

2.3 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

2.4 直流电动机电枢回路串电阻调速的特征曲线是 0.3，这种方法的优点是：0.5。
A. 0.3 B. 0.5 C. 0.7 D. 0.9

主管 审核 签字 [Handwritten Signature]

试题: 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

2.19 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 \times
- B. 增加电机启动转矩
- C. 限制启动电流过倍数 \times
- D. 提高理想空载转速

2.21 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

- 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

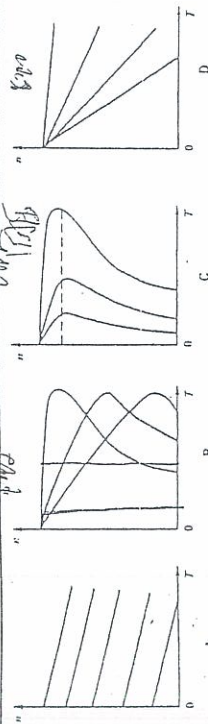
2.14 以下测量元件, CF 没有用到电磁感应原理.

- 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. 热电阻
- F. 杯形转子异步测速机
- G. 热敏电阻
- H. 星敏感器

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 θ , 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段, 写出电机调速控制的机械特性表达式. (3分)

试题: 班号: 姓名:



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

2.5 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 \times
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

2.6 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

2.7 在日常生产和生活中, 下列电动机中, 一般可直接投入交流电网运行的是: 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

2.8 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

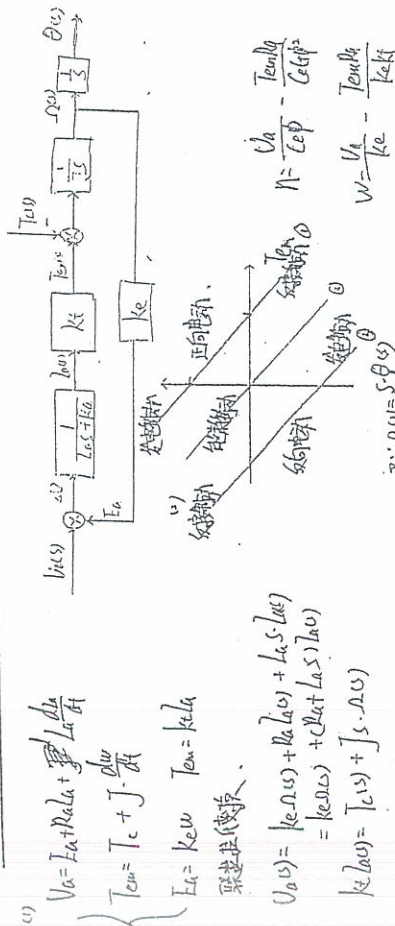
2.9 一电源变压器原边空载电流随以下情况 B, D, E 增大.

- A. 铁芯磁阻减小
- B. 铁芯磁阻增加

试题:

班号:

姓名:



3.2 简述三相异步电动机恒压变频调速控制方法。简要分析三相异步电动机在启动前和运行中两种条件下，一相断路发生时，会出现什么现象？为什么三相异步电动机不允许长时间缺相运行？(3分)

恒压变频调速是根据 $V/f = 44 \mu$ 原理。其他正转调速方法不变，所以使 f 随转速变化。当 f 减小，恒转矩，转矩减小，但 T_m 不变。当 f 增大，恒转矩，转矩减小，且 T_m 随 f 减小而减小，转速也减小。

启动前，一相断路，另一相作在空载运行，在空载时启动转矩较大，启动转矩可能比额定转矩大，使电机过热。在空载时启动，启动转矩大。

运行中，电机定子绕组发生短路，电机定子磁通减小，电机定子电流增大，电机转矩减小，产生电磁转矩，实现转矩减小。

长时缺相，电机转矩减小，且定子电流过大，电机发热严重。

8.7

试题:

班号:

姓名:

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

$$u_1$$

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、鉴频鉴幅式。

$$e_c = \int u_1 \sin \theta_e \cos \omega t$$

$$e_c = \int u_1 \cos \theta_e \sin \omega t$$

$$e_c = e_{c1} + e_{c2} = \int u_1 \sin \theta_e \cos \omega t + \int u_1 \cos \theta_e \sin \omega t$$

鉴相式应用鉴幅鉴频。

$$V = \int u_1 \cos \omega t$$

$$e_c = \int u_1 \sin \theta_e \cos \omega t$$

$$e_c = \int u_1 \cos \theta_e \sin \omega t$$

鉴幅式应用鉴相鉴频。

$$V = \int u_1 \cos \omega t$$

$$e_c = \int u_1 \sin \theta_e \cos \omega t$$

$$e_c = \int u_1 \cos \theta_e \sin \omega t$$

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一致，所得热电势通过补偿得准确电势，防止误差。

查表法、冰点法、电桥法。

冰点法：将热电偶一端置于冰水混合物中，使 $T_0 = 0^\circ C$ 。

电桥法：将热电偶接入电桥，通过电桥平衡原理进行补偿。

补偿导线法：将热电偶的冷端延长到参考温度处。

3.5 画图并分析说明降压斩波电路工作情况。(3分)

降压斩波电路工作情况：当开关导通时，电感储能，当开关关断时，电感释放能量，使电流连续。

$P_1 = 30A \times 1V \times 80\% = 24W$

$P_2 = U_{ce} \cdot I_m \cdot (1 + 2 \times 0.5) \cdot 10KHz$

$P_3 = 1000 \times 30 \times 3 \times 10^{-4} = 9W$

试题: 姓名: 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)

$P_1 = 30 \cdot 1 \cdot 80\% = 24W$

$P_{on} = \frac{1}{2} U_{ce} I_m t_{on} f = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 15W$

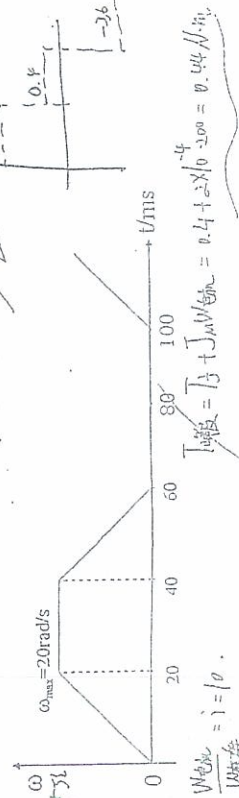
$P_{off} = \frac{1}{2} U_{ce} I_m t_{off} f = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 3W$

$P_{sw} = P_{on} + P_{off} = 30 + 15 + 3 = 48W$

四、综合题 (15分)

机床加工中, 采用直流伺服电机经 I: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(重)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: J_M

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



$T_{max} = J_M \omega_{max} = 2 \times 10^{-4} \cdot 20 = 4 \times 10^{-3} \text{Nm}$

$T_{avg} = J_M \omega_{avg} = 2 \times 10^{-4} \cdot 10 = 2 \times 10^{-3} \text{Nm}$

$U_{max} = 200 \text{V}$

$(2 \times 10^{-4} + 2 \times 10^{-4}) \times 1000 \times 10 = 4W$

试题:

姓名:

班号:

姓名:

班号:

$\alpha = L = \frac{W_{max}}{I_{rms}} = 1000 \cdot 0.01 = 10$

$T_{max} \geq 0.468 \text{ Nm}$

$T_{max} \geq 0.44 \text{ Nm}$

$U_{max} \geq 200 \text{ V}$

2.15

$T_{em} = J \frac{d\omega}{dt} + t_0 + t_L$

0.4

0.4

2.15

2) 另一种情况下, 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 2.7 Nm

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, 从电机运行的反电动势和电阻压降考虑, 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)

$U_a = E_a + R_a I_a$

$= K_e \omega + R_a I_a$

$T_{em} = I_a + I_f$

$K_T I_a = J \frac{d\omega}{dt} + t_0 + t_L$

$I_a = \frac{J \frac{d\omega}{dt} + t_0 + t_L}{K_T}$

$E_{em} = K_e \omega = 20 \text{ V}$

$P_{cu} = I_a^2 R$

$P_{cu} = 20^2 \times 2 = 800 \text{ W}$

$P_{cu} = 80^2 \times 0.5 = 3200 \text{ W}$

由铜损说明, $P_{cu} = I_a^2 R = 36 \times 2 = 72$

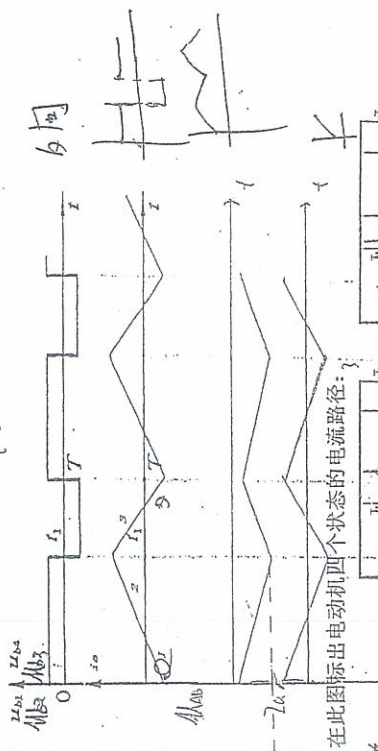
$P_{cu} = I_a^2 \cdot R = 24^2 \cdot 0.5 = 288$

$P_{cu} < P_{cu}$

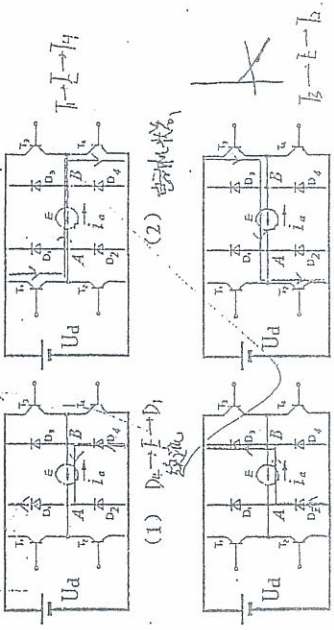
选甲电机, 甲电机铜损小, 效率高。

试 题:

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



在此图标出电动机四个状态的电流路径:



1. 电动机
 $T1 \rightarrow D4 \rightarrow D1 \rightarrow D3 \rightarrow U_d$
 2. 电动机
 $T2 \rightarrow D3 \rightarrow T4 \rightarrow D2$
 3. 电动机
 $T1 \rightarrow D3 \rightarrow T4 \rightarrow D2$
 4. 电动机
 $T2 \rightarrow D4 \rightarrow T3 \rightarrow D1$

精度要求达到 0.1° 的精度且减速器科位在 0.04° 的误差。 $\theta = \frac{360}{2 \times 4}$

$\theta = \frac{360}{2 \times 4} \approx 0.1^\circ$
 $\therefore 2 \times 4 = 360^\circ$
 $\therefore 2 \times 4 \approx 90^\circ$

考虑列成减速器 0.04° 误差,
 选择使用 102 线的增量式光电编码器
 取进列其定位精度。

$\theta_1 = \frac{360^\circ}{2 \times 0.4} = 450^\circ$
 $\theta_2 = \frac{360^\circ}{2 \times 11} = 16.36^\circ$
 $\theta_3 = \frac{360^\circ}{2 \times 13} = 13.85^\circ$

比较后, 选择 13 位绝对式光电编码器
 也可以达到精度要求。

2.1' 电机
 $\frac{110}{4 \times 10.6}$
 $\frac{256}{11}$
 $\frac{110}{256 \times 4}$
 $\frac{110}{256}$
 $\frac{110}{256}$