

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_c =? （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）

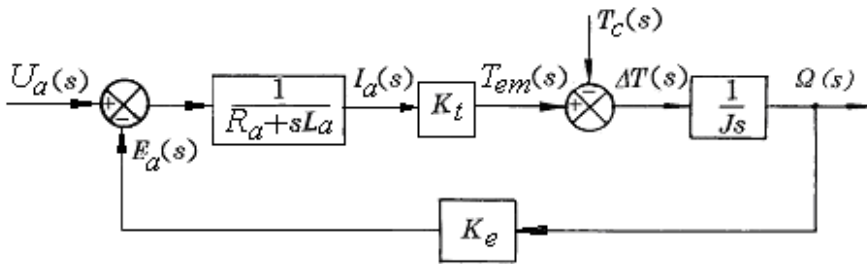
参考答案

- 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)

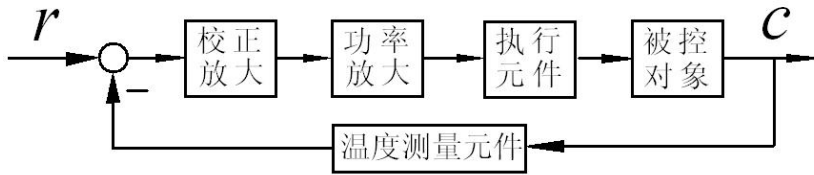
二、 1. $n = \frac{U_a}{C_e \Phi} - \frac{T_{em}}{C_t \Phi} R_a$ ，调电压。磁通，电阻。

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

3. 框图为



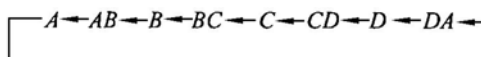
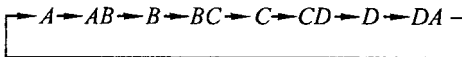
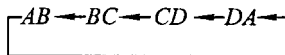
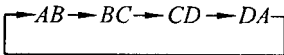
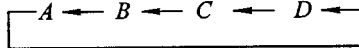
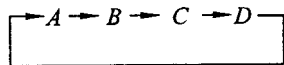
4.



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

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

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



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

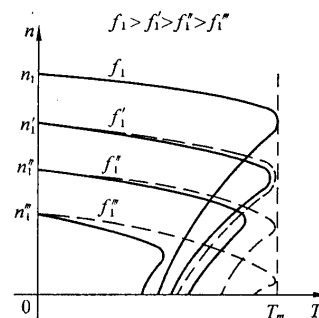
(1) 改变极对数 p 。

(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)

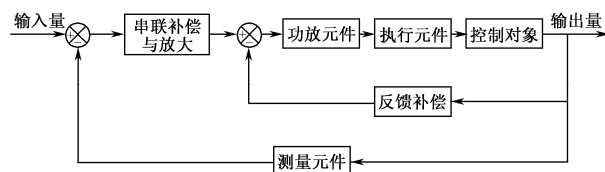
十三、有一对完全相同的直流电机组成电动机——发电机组, 激磁电压为 110V, 电枢电压 100V, 电枢电阻为 $R_a=75 \Omega$, 当电动机电枢加 100V 电压时, 电动机的电枢电流为 0.1A, 机组的转速为 3000 r/min, 问: (15分)

(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）。

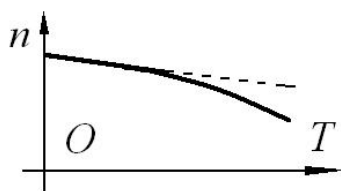
测量元件，将被测量检测出来并转换成另一种容易处理和使用的量（例如电压）。

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 。

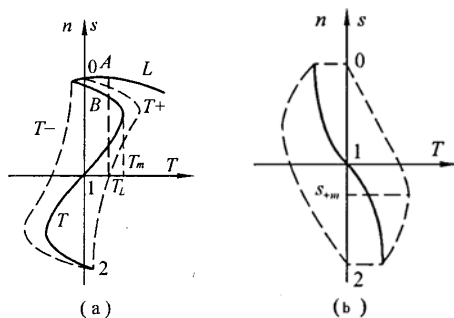
(2) 都不行。a. 变压器不能接直流。b. 电压超过额定值， Φ_m

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。

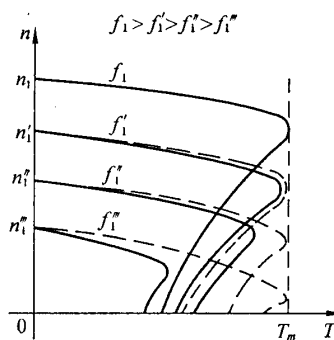
转子电阻小，有自转的机械特性见图 a。转子电阻大，无自转的机械特性见图 b。



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。

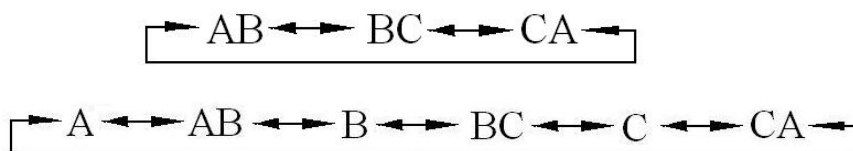
$U \approx E = 4.44fW\Phi$ ，额定值时 Φ 已接近饱和。若 f 变小而 U 不变， Φ 急剧增大，导致电流急剧增大，使电机过热损坏。



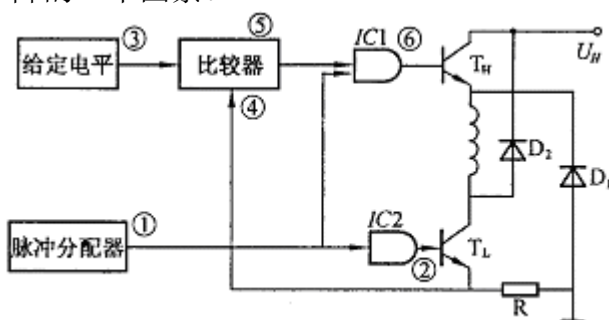
7. 一相断定时，磁场由圆磁场变为椭圆甚至脉振磁场，使机械特性的转矩峰值下降，导致电机转速下降，电流增大。应立即断电，以防烧坏电机。

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。

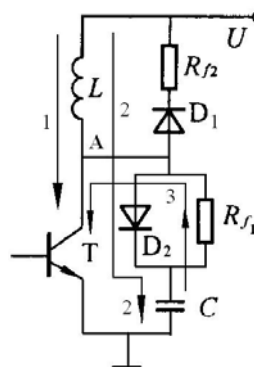
在绕组导通时间内，电源电压是间断式供电，因此具有很高的效率。

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)

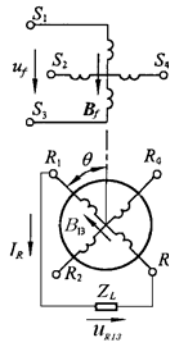
1. 画图解释传感器的重复性误差。

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?

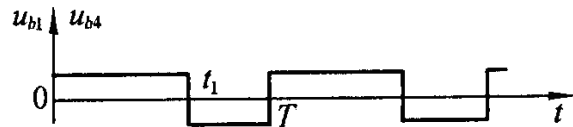
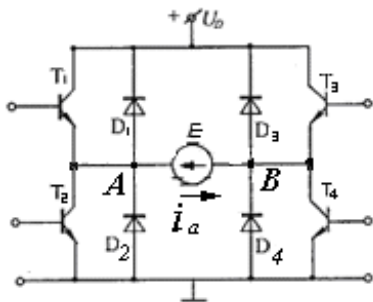
增量码盘为什么要寻零? 怎样寻零?

5. 画出采用电位器测量正、负位移的线路图。

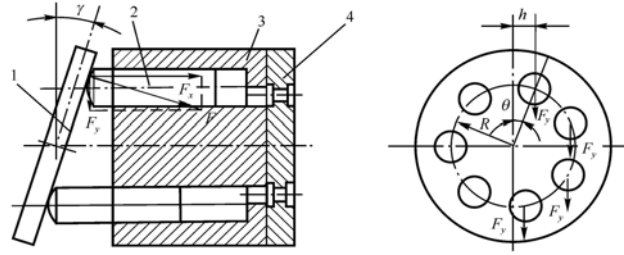
6. 螺杆型差动变压器用来_____。
 输出电压表达式是_____。

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。

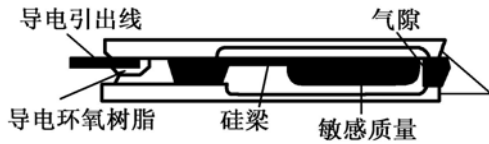


- 1) 绘出输出电压 u_{AB} 波形。
- 2) 分别绘出电动机状态、发电机状态和轻载时电流 i_a 波形。
- 3) $E_a > 0$, 电动机状态, 指出一周期内电流流经的路线。



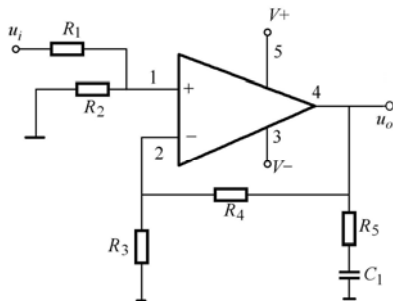
4. 航天器中陀螺传感器有哪两项作用?

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

参考答案

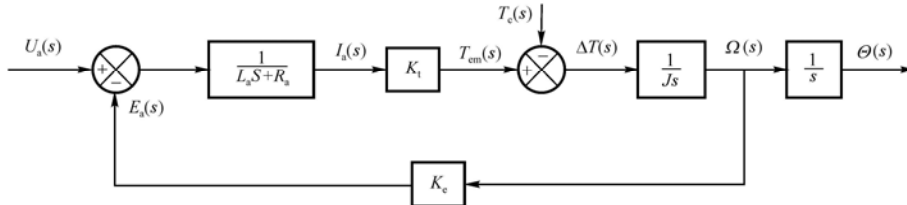
一、1. (1) $\tau_m = 4 \times 10^{-3} \text{ s}$, $\tau_e = 5 \times 10^{-3} \text{ s}$, $T_1 = 10 \text{ N} \cdot \text{m}$

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

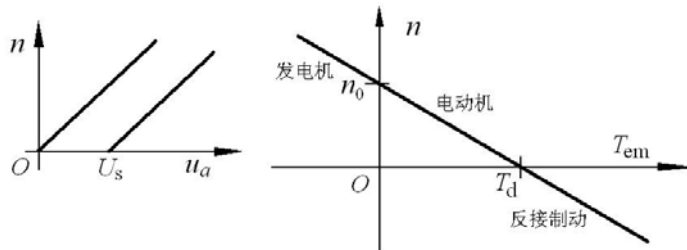
(3) $U_3 = 24 \text{ V}$, $T_{30} = 1.8 \text{ N} \cdot \text{m}$

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

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. 钹铁硼。

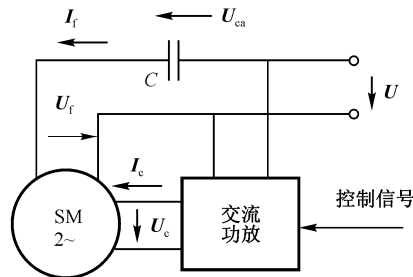
7. K_e 、 K_t 大，电枢扁平状。

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.

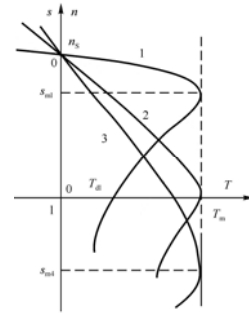


4. 特性曲线见图。

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

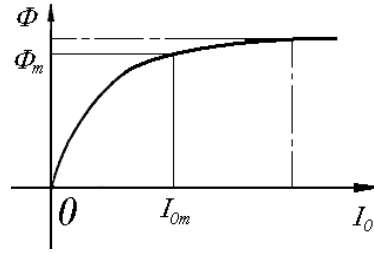
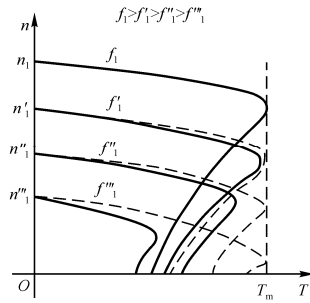
$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{\frac{\partial \omega}{\partial U}}{-J \frac{\partial \omega}{\partial T} s + 1}$$

$\frac{\partial \omega}{\partial U}$: 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. $T_{em} = K \sin \theta$

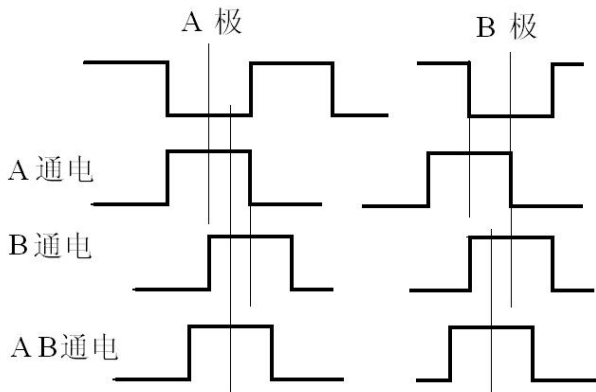
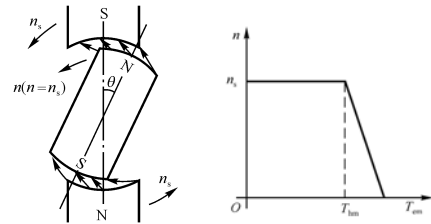
2. 工作原理见图。 $T = K(R_{mq} - R_{md}) \sin 2\theta$

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.



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

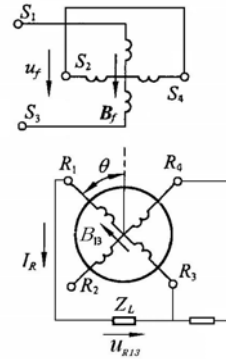
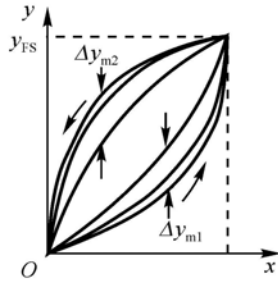
4. 0.225°

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

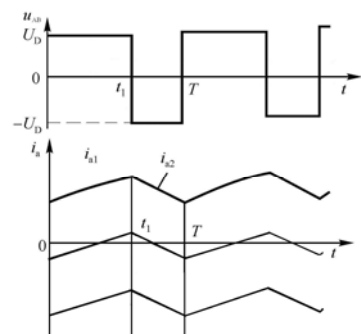
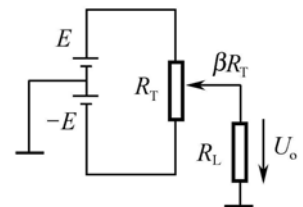
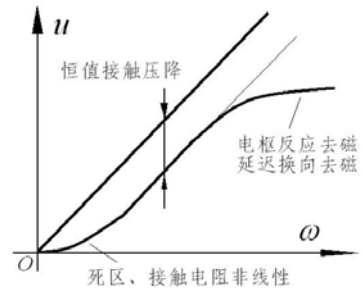
$t_1 \square T: \text{地} \rightarrow D_2 \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow D_3 \rightarrow U_D$

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。

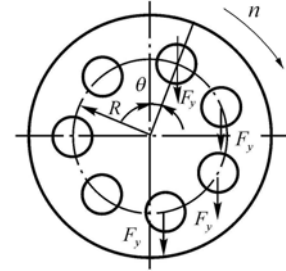
T_L : 外负载力矩。

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

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

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