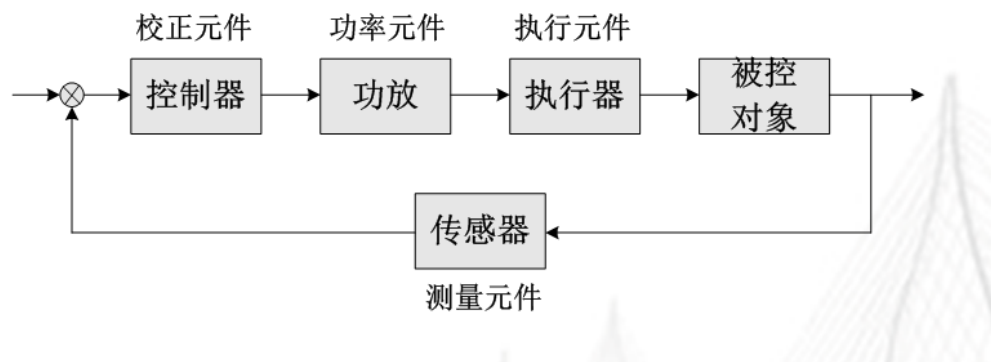


(1) 画出控制系统的组成框图，说明各部分的作用。



校正元件的作用：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

功率元件的作用：提供能量，将微弱控制信号放大驱动执行元件

执行元件的作用：驱动被控对象，控制或改变被控量

测量元件的作用：检测被控量，并转换成系统希望的另一种容易处理和使用的量

(1)、磁场简化分析中，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： B ，磁通连续定律对应的是： E ，安培环路定律对应的是： F 。

- 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. 戴维南定律

(2)、直流电路有  $I^2R$  (电流电阻) 的线路损耗，直流磁路 无 (有/无)  $\Phi^2R$  (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 不可以 (也可以/不可以) 采用叠加定理计算，原因是： 电机中的铁磁材料一般工作在磁化曲线的非线性区段。

(3) 直流电机电枢铁心采用硅钢片的冲片叠压而成，冲片之间有绝缘，这样做的原因是 ACE。

- A. 硅钢具有较高的磁导率，加入硅钢铁心，可以增加气隙磁通  
B. 硅钢属于硬磁材料，采用硬磁材料做铁心可以减小磁滞损耗  
C. 硅钢属于软磁材料，采用软磁材料做铁心可以减小磁滞损耗  
D. 采用冲片叠压而成，冲片之间有绝缘其主要目的是减小磁滞损耗  
E. 采用冲片叠压而成，冲片之间有绝缘其主要目的是减小涡流损耗

(1) 并励直流电机的定子部分包括 ADF，转子部分包括 BE。

- |         |         |            |
|---------|---------|------------|
| A. 电刷   | B. 电枢绕组 | C. 封闭的鼠笼绕组 |
| D. 激磁绕组 | E. 换向器  | F. 机壳      |

(2) 直流电动机运行中，每个元件所导通的电流是 交变（直流、交变）的，驱动电机的直流电流主要经过 电刷、换向器 和 电枢绕组 和构成闭合回路。

(3) 从直流电机外部看，它的电压、电流和电动势都是 直 流，每个绕组元件中的电压、电流和电动势都是 交 流。

(4) 下列关于直流电机说法正确的是 C。

- A. 由于转子旋转，所以转子产生的磁场属于旋转磁场，为了减小涡流损耗，电机机壳应采用硅钢片的冲片叠压而成
- B. 由于转子旋转，所以转子产生的磁场属于旋转磁场，为了减小涡流损耗，电机机壳可采用塑料制作而成
- C. 由于转子旋转，所以转子相对于励磁磁场运动，为了减小涡流损耗，电机转子铁心应采用硅钢片的冲片叠压而成
- D. 由于转子旋转，所以转子相对于励磁磁场运动，为了减小涡流损耗，电机转子铁心可采用塑料制作而成

(5) 直流电动机的电枢反应将引起后果是 BCD。

- |               |              |
|---------------|--------------|
| A. 增加气隙磁通     | B. 使物理中性面偏转  |
| C. 对气隙磁场有去磁作用 | D. 使电机输出扭矩下降 |

(1) 电动机的制动, 根据制动回路的特点, 分为 再生制动、能耗制动 和 反接制动 三种形式, 在电动汽车等希望将制动中的机械动能转换为电能的应用中, 应尽可能采用 再生制动 制动形式。

(2) 直流电动机的调速控制方法, 按照其机械特性公式可分为三种, 分别为: 电枢回路串电阻调速, 调磁调速 和 调压调速; 对于等于电机额定转矩的恒转矩负载, 可长时间工作、高效率的调速方法是: 调压调速。

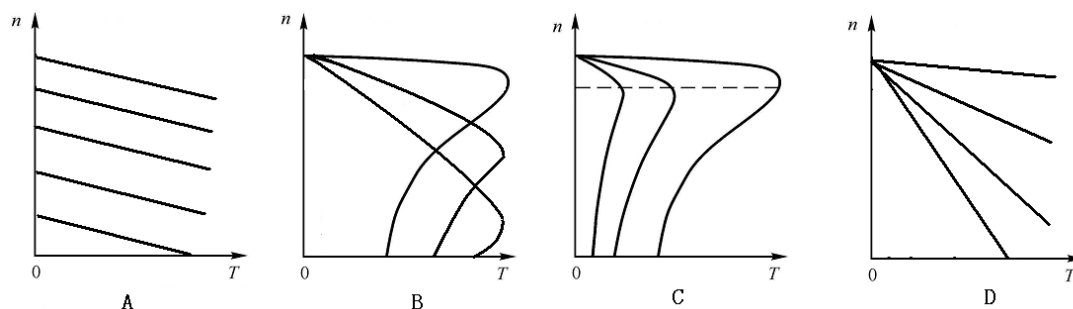
(3) 一台他励直流电动机拖动恒转矩负载时, 当电枢电压降低时, 电枢电流和转速将 C; 而拖动泵类/风机负载(转速大小与转矩平方成正比)时, 当电枢电压降低时, 电枢电流和转速将 A。

- 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;

(4) 写出并励直流电机的反电动势、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。(答案参考 PPT 或者教材)

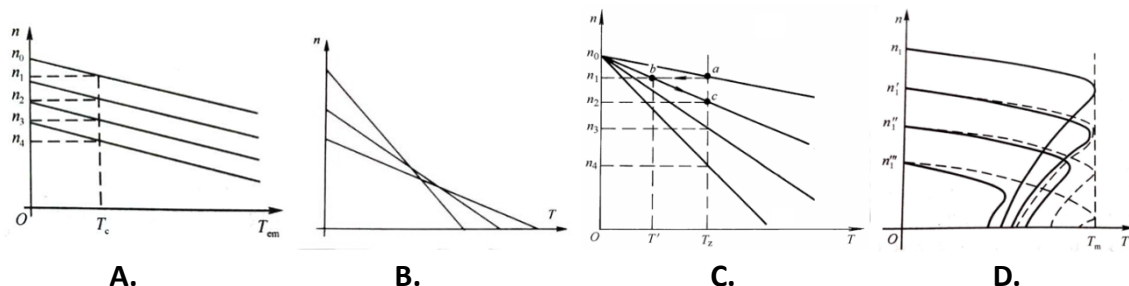
(5) 并励和他励直流电动机的机械特性较 硬 (硬 / 软), 这种机械特性在负载有较大变化时, 电机转速的变化较 小 (大 / 小)。采用弱磁调速的直流电机, 其机械特性变 软 (硬 / 软), 采用电枢回路串电阻方式调速的直流电机, 其机械特性变 软 (硬 / 软)。

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

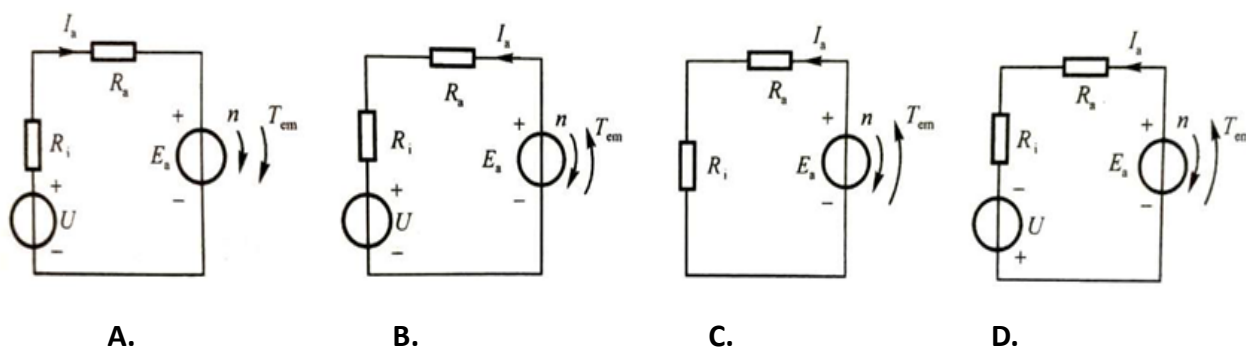


- E. 属于有级调速      F. 只能降速调速  
G. 耗能, 效率低      H. 轻载时调速范围小

(7) 下面属于直流电机调磁调速的机械特性曲线的是 B。



(8) 直流电机本身有发电机和电动机两种工作状态，但是在控制系统中，把电机和外加电压结合起来，可以把电机工作状态分为电动机状态、发电机状态、能耗制动状态和反接制动状态，下面四幅图中属于反接制动状态的是 D。



(9) 直流电动机工作于发电机状态时: ACD。

- A. 电磁转矩与转速方向相反
- B. 电磁转矩与转速方向相同
- C. 反电势  $E_a$  与电枢绕组上的电压  $U_a$  满足  $E_a > U_a > 0$
- D. 反电势  $E_a$  与电枢绕组上的电压  $U_a$  满足  $E_a < U_a < 0$

(10) 下列关于直流电机说法正确的是 BCD。

- A. 静态时，直流电机电枢电流与输出转矩成正比变化
- B. 静态时，直流电机电枢电流与电磁转矩成正比变化
- C. 直流电机的启动电压与负载大小有关
- D. 静态时，直流电机的感应电势与电机转速成正比变化

(11) 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：  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

(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。

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？

解：

1) 输入功率为  $P_1=U_N \cdot I_N=200\text{V} \cdot 200\text{A}=40000\text{W}$

输出功率为  $P_2=T_N \cdot \omega_N=330\text{Nm} \cdot 1000\text{rpm}=330 \cdot 1000 \cdot 2 \cdot \pi / 60=34557.52\text{W}$

$$\eta = P_2 / P_1 = 34557.52 / 40000 = 86.39\%$$

$$2) \quad U_N = I_N R_s + K_e n_N$$

$$\text{则 } K_e = \frac{U_N - I_N R_s}{n} = \frac{200\text{V} - 200\text{A} \cdot 0.1\Omega}{1000\text{rpm}} = 0.18\text{V} / \text{rpm}$$

$$n_2 = \frac{U_2 - I_N R_s}{K_e} = \frac{120\text{V} - 200\text{A} \cdot 0.1\Omega}{0.18\text{V} / \text{rpm}} = 555.55\text{rpm}$$

$$3) \quad I_3 = U_3 / R_s = 200\text{V} / 0.1\Omega = 2000\text{A}$$

$$2000\text{A} / 200\text{A} = 10 \text{ 倍}$$

$$4) \quad I_4 = 2I_N = 400\text{A}$$

$$U_4 = I_4 R_s = 400\text{A} \cdot 0.1\Omega = 40\text{V}$$

$$5) \quad I_5 = 2I_N = 400\text{A}$$

$$R = \frac{U_5}{I_5} - R_s = \frac{200\text{V}}{400\text{A}} - 0.1\Omega = 0.4\Omega$$

(2) 四轮自动运输车采用两台直流伺服电机，各经 1:10 的减速器驱动一个前轮运行，两个后轮仅起支撑作用。车辆及负载总质量 800kg，车轮半径 0.25m，每个车轮的转动惯量为  $0.25\text{kgm}^2$ ，车轮与地面的摩擦阻力系数为 0.2，水平路面直线行驶要求 8s 内车辆可匀加速到最大速度 16m/s，同时，运输车要求具有爬上  $10^\circ$  坡道，并在  $10^\circ$  坡道上行驶有  $0.2\text{m/s}^2$  的加速能力，车辆要求长时间运输行驶。仅从直线运输要求，提出对驱动电机的额定力矩和额定转速指标需求。

解：

$$\frac{\omega_{\text{机}}}{\omega_{\text{前}}} = 10, \quad \frac{\omega_{\text{前}}}{v} = \frac{1}{r} = 4, \quad \text{则传动比为 } i = \frac{\omega_{\text{机}}}{v} = 40$$

$$v_{\text{水平}} = 16\text{m/s}, a_{\text{水平}} = 2\text{m/s}^2, \omega = 40 * v_{\text{水平}} = 40 * 16 = 640\text{rad/s}$$

$$F_{\text{水平}} = ma + mg * 0.2 = 800\text{kg} * 2\text{m/s}^2 + 800\text{kg} * 9.8\text{m/s}^2 * 0.2 = 3168\text{N}$$

$$T_{\text{水平}} = \frac{F_{\text{水平}}}{i} + \frac{4 * J}{100} * i * a_{\text{水平}} = \frac{3168}{40} + \frac{4 * 0.025}{100} * 40 * 2 = 79.2 + 0.08 = 79.28\text{Nm}$$

$$F_{\text{水平}1} = mg * 0.2 = 800\text{kg} * 9.8\text{m/s}^2 * 0.2 = 1568\text{N}$$

$$T_{\text{水平}2} = \frac{F_{\text{水平}}}{i} = \frac{1568}{40} = 39.2\text{Nm}$$

$$\begin{aligned} F_{10} &= ma + mg * \sin 10^\circ + mg * \cos 10^\circ * 0.2 \\ &= 800\text{kg} * 0.2\text{m/s}^2 + 800\text{kg} * 9.8\text{m/s}^2 * \sin 10^\circ + 800\text{kg} * 9.8\text{m/s}^2 * \cos 10^\circ * 0.2 \\ &= 160 + 1361.40 + 1554.18 = 3075.58\text{Nm} \end{aligned}$$

$$T_{10} = \frac{F_{10}}{i} + \frac{4 * J}{100} * i * a_{10} = \frac{3075.58}{40} + \frac{4 * 0.025}{100} * 40 * 0.2 = 76.97\text{Nm}$$

则最大转矩为  $79.28/2 = 39.64\text{Nm}$

$$\text{额定转矩为 } T_N = 76.97/2 = 38.49\text{Nm}$$

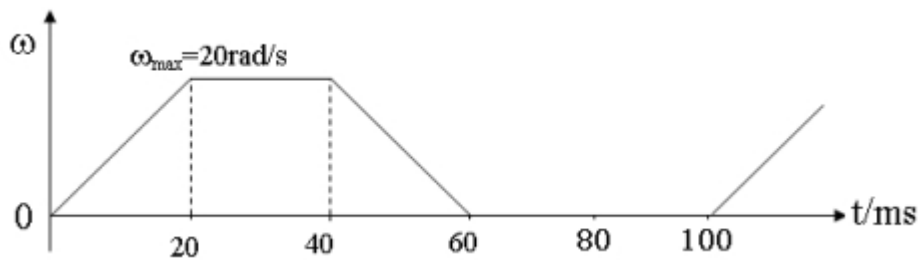
注：水平加速只有 8s，其转矩不能当作最大转矩。所以额定转矩需要从水平匀速运动以及  $10^\circ$  加速运动两种情况中选择。

$$\text{最大转速为 } \omega_N = 640\text{rad/s}$$



(3) 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  $J_L=2\times 10^{-2}\text{kgm}^2$ ，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）



解：

$$\alpha_L = \frac{\omega_L}{t} = \frac{20\text{rad/s}}{0.02\text{s}} = 1000\text{rad/s}^2$$

$$T_1 = T_f + (J_M + \frac{J_L}{i^2})i\alpha_L = 0.4\text{Nm} + (2*10^{-4}\text{kgm}^2 + \frac{2*10^{-2}\text{kgm}^2}{10^2}) * 10 * 1000\text{rad/s}^2 = 4.4\text{Nm}$$

$$T_2 = T_f = 0.4\text{Nm}$$

$$T_3 = T_f - (J_M + \frac{J_L}{i^2})i\alpha_L = 0.4\text{Nm} - (2*10^{-4}\text{kgm}^2 + \frac{2*10^{-2}\text{kgm}^2}{10^2}) * 10 * 1000\text{rad/s}^2 = -3.6\text{Nm}$$

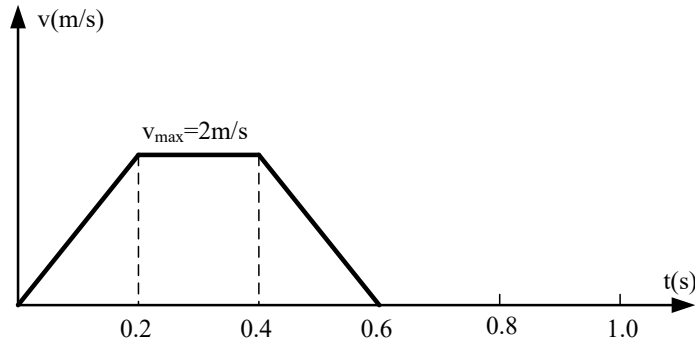
$$T_N = \sqrt{\frac{T_1^2 * 0.02 + T_2^2 * 0.02 + T_3^2 * 0.02}{0.1}} = 2.55\text{Nm}$$

最大转速为  $10*20\text{rad/s}=200\text{rad/s}=1909.9\text{rpm}$

最大转矩为 4.4Nm

额定转矩为 2.55Nm

(4) 有一小车，采用直流有刷电机直接驱动车轮转动，车轮半径为  $0.1\text{m}$ ，小车质量为  $1\text{kg}$ 。若要求小车完成下图所示、以  $1\text{s}$  为周期的运动，假设总阻力矩为  $0.1\text{Nm}$ ，忽略车轮与电机转轴的转动惯量，计算驱动电机需要提供的转速、最大转矩、额定转矩。



解：传动比为  $i = \frac{w}{v} = \frac{1}{r} = 10$ ，

小车最大速度为  $v_{\max} = 2\text{m/s}$ ，

小车加速度为  $a = \frac{v_{\max}}{t_1} = \frac{2\text{m/s}}{0.2\text{s}} = 10\text{m/s}^2$ ，

电机需要提供的最大转速为  $\omega_{\max} = iv_{\max} = 10 * 2\text{m/s} = 20\text{rad/s}$

在  $0$  至  $0.2\text{s}$  器件，电机所需转矩为

$$T_1 = \frac{1}{i}(ma) + T_f = \frac{1}{10}(1\text{kg} * 10\text{m/s}^2) + 0.1\text{Nm} = 1.1\text{Nm}$$

在  $0.2\text{s}$  至  $0.4\text{s}$  器件，电机所需转矩为

$$T_2 = T_f = 0.1\text{Nm}$$

在  $0.4\text{s}$  至  $0.6\text{s}$  器件，电机所需转矩为

$$T_3 = \frac{1}{i}(ma) + T_f = \frac{1}{10}(1\text{kg} * (-10\text{m/s}^2)) + 0.1\text{Nm} = -0.9\text{Nm}$$

所以电机所需最大转矩为  $1.1\text{Nm}$

电机所需额定扭矩为

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 t_1 + T_2^2 t_2 + T_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{(1.1\text{Nm})^2 0.2\text{s} + (0.1\text{Nm})^2 0.2\text{s} + (-0.9\text{Nm})^2 0.2\text{s}}{1\text{s}}} = 0.6372\text{Nm}$$

(5) 写出并励直流电机的反电动势、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。

(PPT 中有答案)

(6) 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段，写出电机调速控制的机械特性表达式。

(PPT 中有答案)

(1) 线性功率放大器优点是 线性度好，失真小，噪声和电磁干扰小，简单；  
缺点是 效率低，自身损耗大，输出功率小。

(2) 电力电子器件按驱动特性可分为电压驱动型和电流驱动型，例如：电力晶体管属于 电流驱动型，绝缘栅双极晶体管(IGBT)属于 电压驱动型。

(3) 关于开关器件发热散热，下列说法正确的是 B。

A. 增大器件 PN 结到环境之间的热阻有利于器件的散热

B. 器件与散热片之间涂有导热硅脂可减小接触热阻

C. 由于器件的开关速度很快，器件的开通损耗和关断损耗都很小，因此在计算器件的总损耗时往往可以忽略器件的开通损耗和关断损耗

D. 较大的安装力可以减小器件的接触热阻，所以器件安装时安装力越大越好

(4) 采用 PWM 功率放大器驱动直流电动机，关于电枢电流波动说法正确的是 B、C、D。

A. 在其他条件不变的情况下，电源电压越大电枢电流波动越小

B. 在其他条件不变的情况下，电枢电感越大电枢电流波动越小

C. 在其他条件不变的情况下，开关频率越高电枢电流波动越小

D. 在其他条件不变的情况下，单极性驱动比双极性驱动时电枢电流波动小

(5) 开关功率放大器的损耗有几种？其中与开关频率有关的损耗有哪些？同样条件下，电阻性负载与感性负载对功率损耗的影响有何不同？

答：开关功率放大器的损耗包括：通态损耗、断态损耗、开通损耗、关断损耗及驱动损耗。

其中与开关频率有关的损耗包括：开通损耗和关断损耗

同样条件下，电阻性负载和感性负载的通态损耗、断态损耗及驱动损耗相同；

同样条件下，电阻性负载与感性负载相比开通损耗和关断损耗小。

(6) 按可控程度可以将电力电子器件分为：不可控器件、半控器件和全控器件。

(7) 开关器件的功率损耗包括：通态损耗、断态损耗、开通损耗和关断损耗。

(8) PWM 调制方式可以分为单极性调制和双极性调制两种。

(9) 关于晶闸管正常工作时的特性，下列说法错误的有 B、C、D。

- A. 当晶闸管承受正向电压时，仅在门极有触发电流的情况下才会导通。
- B. 晶闸管导通后门极仍然具有控制作用。
- C. 若要使晶闸管关断需要通过门极电流控制。
- D. 晶闸管承受反向电压时门极触发电流足够大时也会使其导通。

(10) 下列关于开关器件损耗的说法正确的有 C、D、F。

- A. 开关功放的损耗一定小于线性功放的损耗。
- B. 开关器件中开关损耗的计算与其所驱动的负载关系不大。
- C. 开关器件的功率损耗与其工作频率相关。
- D. 相同的工作条件下感性负载时的功率损耗较大。
- E. 选择开通和关断时间较长的器件有助于减小开关损耗。
- F. 选择热阻小的散热器有助于开关器件的散热。

(11) 画图简要分析 GTR 驱动电感负载时的开关过程，并推导开关过程损耗？

(PPT 中有答案)

(12) 需要实现一个 500W 直流伺服电机的位置伺服系统，请画出这一闭环控制系统的原理方框图，电机转速范围在-500 至+500rpm 以内，希望采用的功率管尽可能少，选择何种驱动电路？系统驱动效率要求优于 70%，驱动电路应采用什么方式？

答：希望功率管少则采用半桥式结构

系统驱动效率要求优于 70%，驱动电路可以采用开关式功放。

(13) 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：功率管导通和续流二极管续流。

(14) PWM 调制方式的理论依据是香农采样定理和面积等效原理。

(15) 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  $1\mu\text{s}$ ，关断时间  $2\mu\text{s}$ ，试计算工作时 GTR 的功率损耗。

解:  $P_{on} = \frac{1}{2} f V_{cc} I_m t_{on} = \frac{1}{2} \times 10 \text{kHz} \times 100 \text{V} \times 30 \text{A} \times 1 \mu\text{s} = 15 \text{W}$

$$P_{off} = \frac{1}{2} f V_{cc} I_m t_{off} = \frac{1}{2} \times 10 \text{kHz} \times 100 \text{V} \times 30 \text{A} \times 2 \mu\text{s} = 30 \text{W}$$

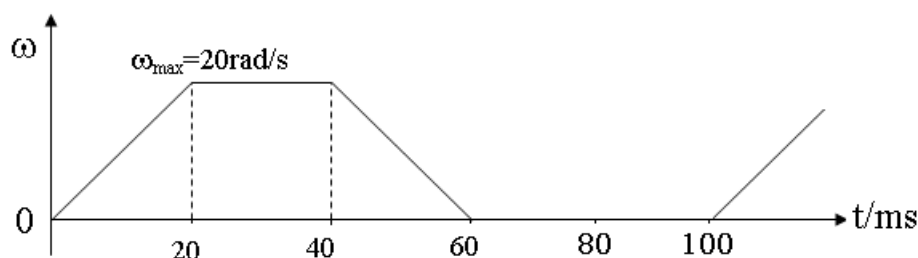
$$P_{通} = V_F I_m \delta = 1 \text{V} \times 30 \text{A} \times 0.8 = 24 \text{W}$$

在忽略断态功率损耗和驱动功率损耗时, 器件的功耗为

$$P_{all} = P_{on} + P_{off} + P_{通} = 15 \text{W} + 30 \text{W} + 24 \text{W} = 69 \text{W}$$

(16) 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  $J_L = 2 \times 10^{-2} \text{kgm}^2$ , 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)



- 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)

解:

考虑甲电机:

$$\text{电枢电流为: } I_a = \frac{T}{K_t} = \frac{2 \text{Nm}}{0.4 \text{Nm/A}} = 5 \text{A}$$

感应电势为:  $E_a = K_e \omega = 0.4V / rad / s * 200rad / s = 80V$

电枢电压:  $U_a = E_a + I_a R_a = 80V + 5A * 2\Omega = 90V$

铜损  $P_{cu} = I_a^2 R_a = 5A * 5A * 2\Omega = 50W$

考虑乙电机:

电枢电流为:  $I_a = \frac{T}{K_t} = \frac{2Nm}{0.1Nm / A} = 20A$

感应电势为:  $E_a = K_e \omega = 0.1V / rad / s * 200rad / s = 20V$

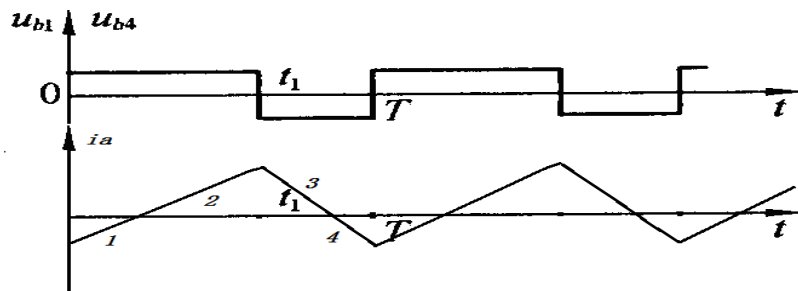
电枢电压:  $U_a = E_a + I_a R_a = 20V + 20A * 0.5\Omega = 30V$

铜损  $P_{cu} = I_a^2 R_a = 20A * 20A * 0.5\Omega = 200W$

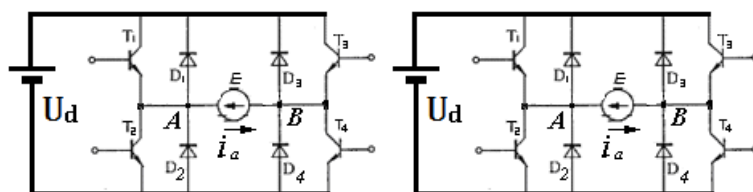
根据上述计算可知, 若从反电势和电阻压降考虑, 两种电机都可以选择。

若从铜损考虑, 则应选择甲电机。

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  $u_{AB}$  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)

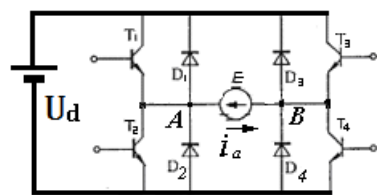


在此图标出电动机四个状态的电流路径:

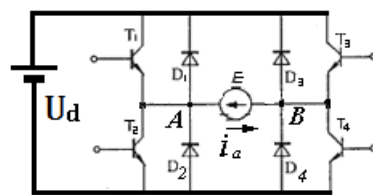


(1)

(2)



(3)



(4)

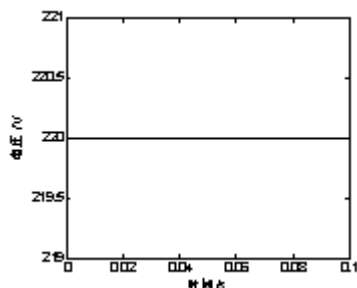
(PPT 中有答案)



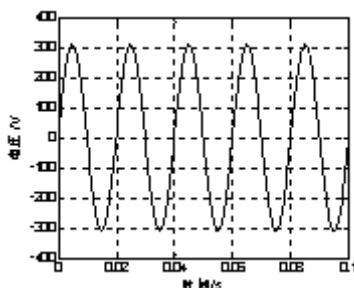
(1) 一电源变压器原边空载电流随以下情况 BDE 增大。

- A. 铁芯磁阻减小
- B. 铁芯磁阻增加
- C. 原边线圈匝数增加
- D. 原边线圈匝数减小
- E. 变压器铁芯气隙增大
- F. 变压器铁芯气隙减小

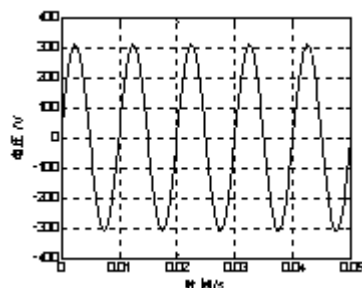
(2) 额定电压为 220V、额定频率为 50Hz 的变压器可以通入下面哪种电压波形? B



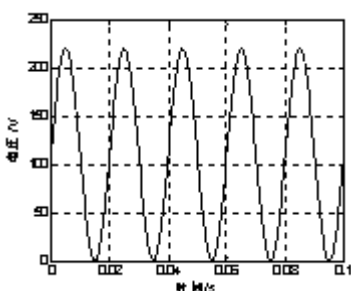
A.



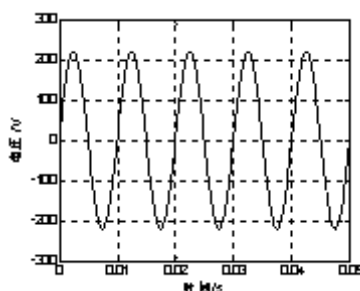
B.



C.



D.



E.

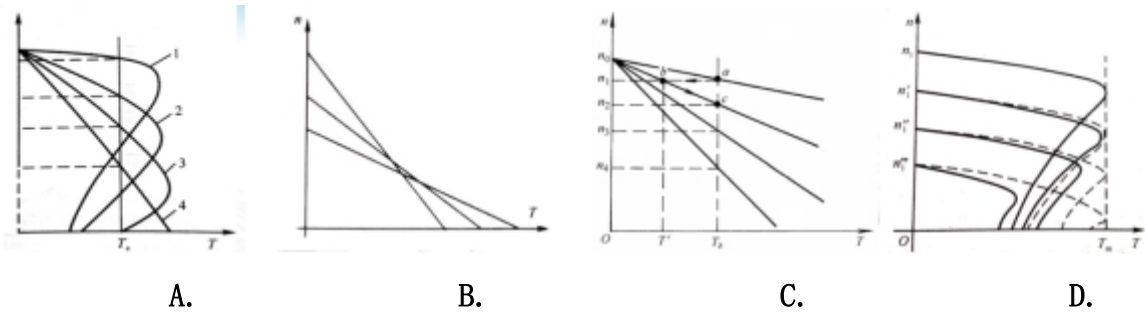
(3) 某系统中采用一个变比为 1:1 的变压器, 采用该变压器的可能原因是 C。

- A. 多此一举
- B. 变换输入输出阻抗
- C. 利用变压器的隔离作用
- D. 提高系统效率

(4) 下面关于变压器说法正确的是 B。

- A. 变压器负载运行时, 原边输入电压与副边输出电压的比值与变压器匝数比相等
- B. 变压器即使原边和副边没有导线连接, 也可以传递大量的电功率
- C. 由于交变的电流产生交变的磁场, 而交变的磁场可以感应交变的电势, 因此变压器只能实现交流的电压变换, 而且交流电的频率越高变压器的损耗越小
- D. 变压器可以改变交流电的电压、电流、相数和频率

(1) 下面属于异步电动机转子回路串电阻调速的机械特性曲线的是 A。



(2) 当前工业调速控制中，直流电机最常采用的调速方法是 B，感应电机最常用的调速方法是 F。

- |             |              |         |
|-------------|--------------|---------|
| A. 弱磁调速     | B. 电枢电压的调压调速 | C. 变极调速 |
| D. 电枢串电阻调速  | E. 励磁回路调压调速  | F. 变频调速 |
| G. 调整电刷位置调速 | H. 转差率调速     |         |

(3) 两相对称绕组通入不同的电流时，可产生如下哪种磁场 ABCD。

- |           |           |
|-----------|-----------|
| A. 恒定磁场   | B. 脉振磁场   |
| C. 圆形旋转磁场 | D. 椭圆旋转磁场 |

(4) 针对普通三相异步电动机以下正确的是 ACD。

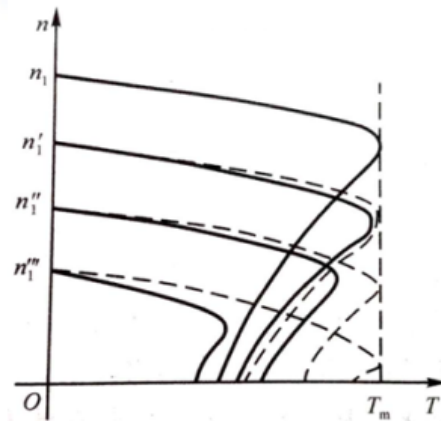
- A. 转动过程中断了某一相，也可能持续旋转
- B. 鼠笼式异步电机可以转子串电阻调速
- C. 绕线式异步电机可以串电阻调速
- D. 采用变频调速时，电机工作于圆形旋转磁场下
- E. 采用变频调速时，电机工作于脉振磁场下

(5) 单相异步电动机的启动方式有 ABC。

- |           |             |
|-----------|-------------|
| A. 电阻分相启动 | B. 电容分相启动   |
| C. 罩极启动   | D. 脉冲宽度调制启动 |

(6) 异步电机从基频向下变频调速时，请分别画出保持  $E/f$  等于常数的机械特性曲线族和保持  $U/f$  等于常数的机械特性曲线族，并分析两种情况的区别。

如下图，其中虚线为  $E/f$  等于常数的机械特性曲线族其中实线为  $U/f$  等于常数的机械特性曲线族



$E/f$  为常数时，主磁通  $\Phi_m$  等于常数，是恒磁通控制方式，其特点是不同频率的各机械特性曲线彼此平行，最大转矩  $T_m$  不变，与频率无关。优点是机械特性硬，调速范围宽，稳定性好，并且能无极调速，效率高。

$U/f$  为常数时，主磁  $\Phi_m$  通接近常数，最大转矩  $T_m$  随  $f$  降低而减小，低频时，启动转矩减小。

(7) 三相对称绕组的感应电机，在绕组中施加三相对称电流时，各绕组产生的磁动势为何种形式？请通过公式推到的方式说明三相绕组磁场叠加后产生的基波磁动势为何种形式？

答：三相对称绕组的感应电机，在绕组中施加三相对称电流时，各绕组产生的磁动势为脉振磁势。

三相对称电流为：

$$\begin{cases} i_a = \sqrt{2}I_a \sin \omega t \\ i_b = \sqrt{2}I_b \sin(\omega t - 120^\circ) \\ i_c = \sqrt{2}I_c \sin(\omega t - 240^\circ) \end{cases}$$

基波磁势为：

$$\begin{cases} F_a = 0.9K_{w1} \frac{W_a}{p} I_a \sin \omega t \cos x = F_{a1} \sin \omega t \cos x = \frac{F_{a1}}{2} \sin(\omega t - x) + \frac{F_{a1}}{2} \sin(\omega t + x) \\ F_b = 0.9K_{w1} \frac{W_b}{p} I_b \sin(\omega t - 120^\circ) \cos(x - 120^\circ) = F_{b1} \sin(\omega t - 120^\circ) \cos(x - 120^\circ) = \frac{F_{b1}}{2} \sin(\omega t - x) + \frac{F_{b1}}{2} \sin(\omega t + x - 240^\circ) \\ F_c = 0.9K_{w1} \frac{W_c}{p} I_c \sin(\omega t - 240^\circ) \cos(x - 240^\circ) = F_{c1} \sin(\omega t - 240^\circ) \cos(x - 240^\circ) = \frac{F_{c1}}{2} \sin(\omega t - x) + \frac{F_{c1}}{2} \sin(\omega t + x - 480^\circ) \end{cases}$$

若  $F_{a1} = F_{b1} = F_{c1} = F_1$ ，则

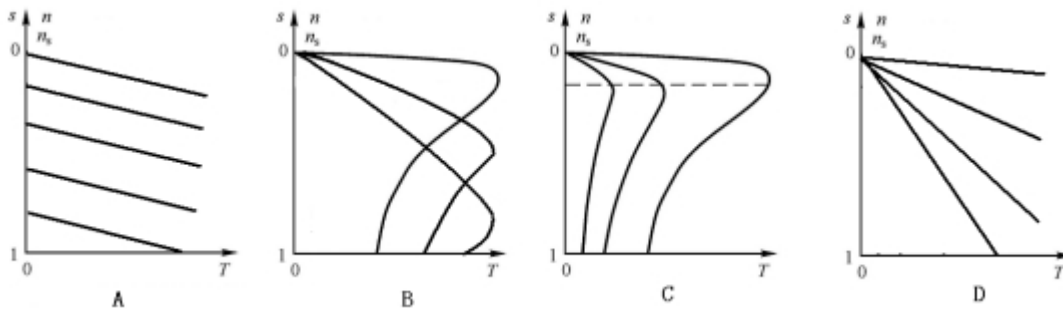
$$F = F_a + F_b + F_c = \frac{3}{2} F_1 \sin(\omega t - x)$$

为旋转磁场

(8) 单相异步电动机的单相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 DF 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

(9) 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 C，转子绕组串电阻的调速特性是 B。



(10) 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。

(11) 通常三相异步电动机具有以下特性 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

(12) 在启动时，增大异步电动机转子绕组回路的电阻，可以 BC。

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

(13) 简述三相异步电动机恒压频比调速控制方法。简要分析三相异步电动机在起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)

答:

1 恒压频比调速控制方法教材和 PPT 中有答案

2 三相异步电机一相发生断路，则会产生脉振磁场。当启动前一相发生断路时，由于脉振磁场没有启动转矩，所以电动机不会转动；当运行中一相发生断路时，如果负载转矩大于脉振磁场最大转矩时，电机将逐渐停止转动，如果负载转矩小于脉振磁场的最大转矩时，电机将继续旋转，不过转速小于断路之前的转速。

3 三相异步电机缺相运行属于脉振磁场状态下运行，此时效率低，长时间运行可能会烧毁电机。

(1) 磁滞同步电动机起动过程中，在达到同步转速之前的磁滞转矩是 C。

- A. 逐渐变大
- B. 逐渐变小
- C. 恒定不变
- D. 随定子磁场夹角而时大时小变化

(2) 下列关于永磁同步电机说法正确的是 AC。

- A. 纯粹的永磁同步电机运行过程中，当转子转速和旋转磁场转速之间出现较大的转速差，会出现平均转矩接近于零的情况
- B. 永磁同步电机可以采用降压的启动方式
- C. 永磁同步电机可以采用降频的启动方式
- D. 永磁同步电机采用异步结构具有很多优点，除了有助于启动外，异步启动绕组还可以在电机同步运行时提供额外转矩，提高电机输出转矩

(3) 同步电动机中， B 不加鼠笼绕组就能自行起动，并具有较强的起动转矩。

- 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

(4) 需要安装启动绕组的同步电机包括 BC。

- A. 鼠笼型三相电动机
- B. 永磁式同步电机
- C. 磁阻式同步电机
- D. 磁滞式同步电机

(5) 一般所说的同步电动机起动困难，是指 C；解决起动困难的方法有 EF。

- A. 定、转子励磁磁场幅值不一致
- B. 定、转子电压频率不一致
- C. 定、转子磁场速度相对差过大
- D. 定、转子磁场速度相对差过小
- E. 变频起动
- F. 采用转子鼠笼起动绕组
- G. 降低驱动电压
- H. 定子绕组串电阻

(1) 有一工作在步距角为  $1.8^\circ$  模式的步进电机，给电机发 100 个正转脉冲后，电机正向旋转了  $147.6^\circ$ ，分析产生问题的可能原因，并给出可能的解决方法。

答：问题是出现了丢步现象，可能是输入脉冲频率过高或频率变化率过高造成的，解决方法，a.降低输入脉冲频率和频率变化率。b.如可以，减小负载的转动惯量

(2) 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频率。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  $1.8^\circ$  是指单拍驱动下的步距，而  $0.9^\circ$  是指双拍驱动下的步距，若采用 8 细分驱动电路，步距角是 $0.225^\circ$ 。

(3) 磁阻式步进电机的定、转子铁芯均采用B

- A. 硬磁材料
- B. 软磁材料
- C. 顺磁材料
- D. 抗磁材料

(4) 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C。

- 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

(5) 步进电动机按照实现结构分为三种：磁阻式（反应式）、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。脉冲分配器(环形分配器)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。

(6) 一步进电机正常运行时步距误差不大于  $0.1^\circ$ 。若该步进电机正常运行 100 步，最大误差角的范围是D。

- A. 不大于  $10^\circ$
- B. 不大于  $5^\circ$
- C. 大于  $5^\circ$
- D. 不大于  $0.1^\circ$

(7) 在日常生产和生活中，下列电动机中，一般可直接投切进交流电网运行的是：C。

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

(8) 对步进电动机采用细分驱动, 可以: ABC

- 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



(1) 无刷直流电动机由 电动机本体， 位置传感器 和 电子控制与开关电路 组成。

(1) 测量元件通常由 敏感元件 , 转换元件 和 转换电路 三部分组成。

(2) 感应同步器采用鉴相编码处理时, 设激磁电压为  $u = U_m \sin(200000\pi t)$ , 如果节距  $L=2\text{mm}$ , 脉冲源频率为  $200\text{MHz}$ , 则分辨力为  $1\mu\text{m}$ 。

(3) 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  $0.7$  度, 莫尔条纹能够将栅距放大  $82$  倍, 放大后的栅距为  $0.82$  毫米。

(4) 热电偶的输出电势由 接触电势 和 温差电势 两个分量组成, 适合测量高温;

(5)  $4096$  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力为  $0.022^\circ$ ; 而  $16$  位的绝对式码盘, 其测角的分辨力为  $0.0055^\circ$ 。

(6) 以下 ABCE 常用于描述测量元件的静特性:

A 灵敏度    B 精度    C 重复性    D 带宽    E 非线性度    F 响应时间

(7) 以下说法中正确的是 ABDEG

A 定时测角法测量高速时相对误差小;

B 对于定角测时法, 转速越高, 分辨率越低;

C 通过电子细分电路可以提高绝对式码盘的分辨率;

D 通过增加刻线密度可以提高增量式码盘的分辨率;

E 进行电子细分提高码盘的分辨率后, 有可能降低码盘所能测量的最高速度;

F 自感式和互感式电感传感器的区别在于自感式传感器具有单独的磁场感应线圈;

G 利用热电偶的工作原理可以鉴别两种材料是否相同

H 循环编码可以避免绝对式码盘使用中的非单值性误差, 起到提高分辨率的作用。

(8) 简述旋转变压器带载后输出特性畸变的原因和补偿方法。(3 分)  
(PPT 中有答案)

(9) 旋转变压器的补偿方式包括 原边补偿 和 副边补偿。

(10) 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。

(11) 在进行测速时,传感器每转产生脉冲 1000 个,在检测时间段 1ms 中测得脉冲数为 400,则利用 M 法测速所得转速为 24000 r/min。

(12) 热电偶常用的自由端(冷端)温度处理和补偿方法包括: 自由端温度计法、补偿导线法、冰点补偿法、和 补偿电桥法。

(13)  $p$  对极的多级旋转变压器  $180^\circ$  电角度所对应的机械角度为  $180^\circ/p$

(14) 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 CD:

A  $(1/4)L$     B  $(1/2)L$     C  $(3/4)L$     D  $(5/4)L$

(15) 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

(16) 以下测量元件, CEF 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.热敏电阻

(17) 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。

(PPT 中有答案)

(18) 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。

热电偶回路中的热电势与两端温度差有关。如果要反映被测温度，必须保持自由端温度不变，同时由于自由端温度不是  $0^{\circ}\text{C}$ ，所以对自由端要采取必要的补偿措施。  
自由端温度计算法、补偿导线法、冰点补偿法、补偿电桥法

(19) 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  $J_L=2\times 10^{-2}\text{kgm}^2$ ，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：  
(d)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负反馈控制，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 4 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？

答：因为减速器会产生  $0.04^{\circ}$  的误差，因此需要理想减速器输出的精度优于  $0.06^{\circ}$ ，由于减速比为 10，因此需求电机的精度优于  $0.6^{\circ}$ 。

采用 4 倍频时，256 线的分辨力为： $360/256/4=0.35^{\circ}$

512 线的分辨力为： $360/512/4=0.18^{\circ}$

1024 线的分辨力为： $360/1024/4=0.088^{\circ}$

如果采用增量式编码器，选择 512 线即可

考虑绝对式编码器：8 位分辨力为： $360/2^8=1.4^{\circ}$

11 位分辨力为： $360/2^{11}=0.18^{\circ}$

13 位分辨力为： $360/2^{13}=0.044^{\circ}$

如果采用增量式编码器，选择 11 位即可

(20) 一个 512 线的增量式光电编码器，采用 4 细分的倍频方式，测量分辨力为 0.18 度。一个 12 位的绝对式光电编码器，测量分辨力为 0.088 度。

(21) 若设计电路实现增量式光栅数据的计数，你认为采用以下哪种计数方式有可能避免较大误差？ D。

A. 二进制计数器

B. 十进制计数器

C. 八进制计数器

D. 格雷码计数器

(22) 下列传感器有可能用于测量线位移的是 ABC。

A. 电阻式传感器

B. 电感式传感器

C. 电容式传感器

D. 热电式传感器

(23) 用感应同步器作为一旋转轴系转角测量元件，信号处理电路采用鉴相式方法，在轴系旋转过程中，分析能否实时得到准确的位置信息？

答：不能在轴系旋转时得到准确的位置信息，

因为在转动过程中，转子输出的信号频率随转速变化，

与定子激磁频率不同

因此不能准确测量相位，进而无法得到准确的位置信息。

(24) 简述 M 法测速的原理和适用场合。

答：

在规定的检测时间内，检测传感器输出的脉冲数并计算速度，称为 M 法测速。设传感器每转产生的脉冲数为 P，在检测时间段  $T_g(s)$  内测得的脉冲数为  $m_1$ ，则转速  $n$  为

$$n = 60 \frac{m_1}{PT_g} (r / \min)$$

M 法测速，适用于高速场合。