

6
2/13

哈工大 2012 年 秋 季 学 期

自动控制元件及线路 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 (有/无) Φ^2R (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); 在往电路可以采用叠加定理计算, 而电动机的磁路一般 不 (不/可) 采用叠加定理计算; 原因是: 磁路中磁阻也是变量, 且非线性, 所以不能采用叠加定理计算。

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, 是步进电机驱动器中实现各相驱动脉冲序列的分配环节。

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。

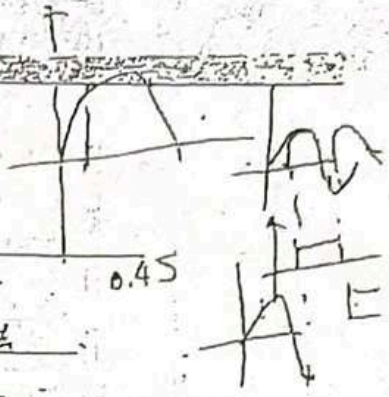
1.8 在进行测速时, 传感器每转产生脉冲 1000 个, 在检测时间受 1ms 中测得脉冲

主管
领导
审核
签字

4000 / 6000 * 1000 * 60



$\frac{400}{1000} \times 60 \text{ r/min}$



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 发电机状态.

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 电磁感应定律 和 电压平衡原理.

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 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.

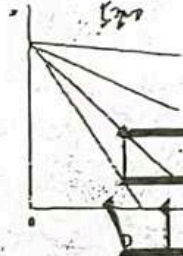
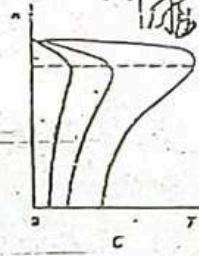
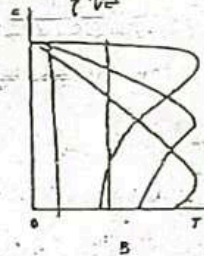
纸张记忆

姓名: 李

学号: 111111

姓名: 李

(7)



FG FH

- E. 属于有级调速 R. 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, 一般可直接投切于交流电网运行的是: 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. 提高步进电机的最高转矩 D. 提高步进电机的最高转速

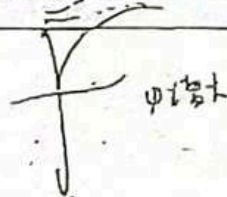
29. 一电源变压器匝边空载电流随以下情况 B, D, E 增大。

- A. 铁芯磁阻减小 B. 铁芯磁阻增加

$I = E / Z$

$E = 4.44 f N \Phi$

$I = \Phi / R$



$E = 4.44 f N \Phi$

$\Phi = E / 4.44 f N$

第3页 (共9页)

$\Phi R = I R$

$I = \Phi / R$

W69个

题号:

班号:

姓名:

- A. 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

2.10 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 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. (3分)

纸张记忆复印

试题:

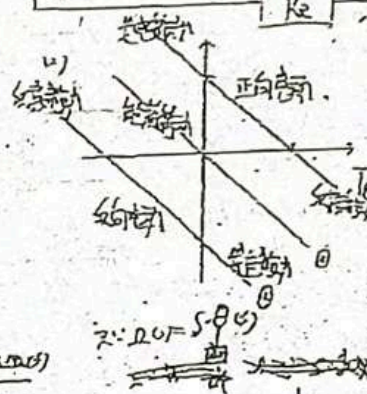
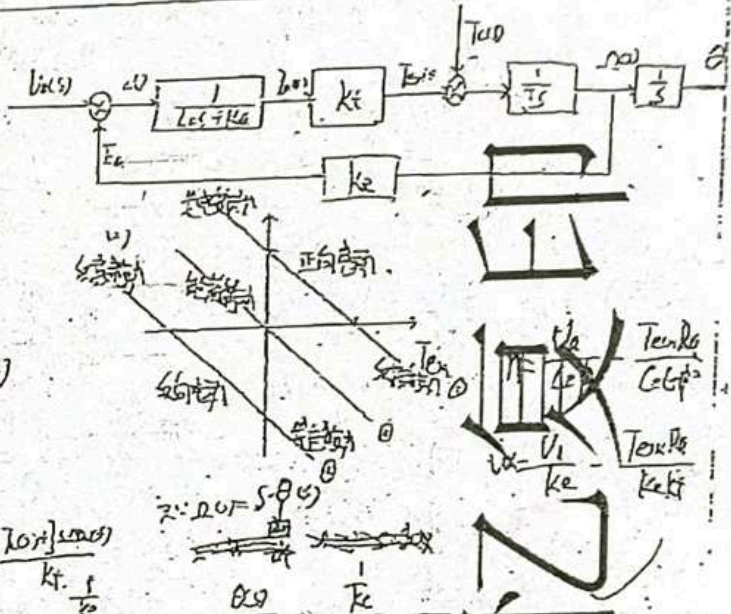
班号:

姓名:

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

$$\begin{aligned}
 V_a(s) &= (R_a s + L_a) i_a(s) + L_a s^{-1} \omega(s) \\
 &= k_e \omega(s) + (R_a + L_a s) i_a(s) \\
 k_t i_a(s) &= T_c(s) + J s \omega(s)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_a(s) &= k_e \omega(s) + (L_a s + R_a) \frac{T_c(s) + J s \omega(s)}{k_t} \\
 \omega(s) &= \frac{T_c(s)}{k_t} \frac{1}{1 + \frac{L_a J s^2 + R_a J s + k_e}{k_t}}
 \end{aligned}$$



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

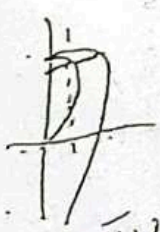
3.2 简述三相异步电动机恒压变频调速控制方法。简要分析三相异步电动机在启动前和运行中两种条件下，一相断路发生时，会出现什么现象？为什么三相异步电动机不允许长时间缺相运行？（3分）

U-f 调速
 $E \propto \omega \propto f$



- 恒压变频调速是根据 $V/f = 4.44 f \Phi_m$ 原理。
 其保持磁通 Φ_m 不变，所以使 V/f 保持常数。
 变频调速，减小 f 减小，恒压变频，其 Φ_m 减小，但 V 不变。
 所以为变频，低速时启动转矩小，转速 n 随 f 减小而减小，转速 n 也减小。

运行中，磁通 Φ_m 减小，转矩 T_{em} 减小，转速 n 减小。
 低速时，电机启动转矩小，转速 n 减小，转矩 T_{em} 减小。



启动前，一相断线，两相作，在空载时启动转矩小，启动转矩小，启动转矩小。
 启动时，提供启动转矩。由于缺一相，其启动转矩可能比三相异步电动机启动转矩小，启动转矩小。

启动时 J 大

启动时 J 大

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

$$P_2 = \frac{1}{2} U_a \cdot I_m \cdot (1 \mu\text{s} + 2 \mu\text{s}) \cdot \frac{1}{T} \times 1000 \times 30 \times 3 \times 10^{-4}$$

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)

$$P_1 = 30 \cdot \frac{1}{2} \cdot 80\% = 24 \text{ W}$$

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

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

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

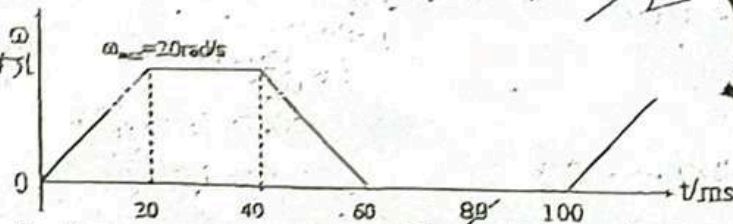
品
复
习
课

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)



$\frac{20}{2\pi} \times 60 = \frac{600}{\pi} \text{ rpm} \approx 217 \text{ rpm}$
 $\frac{20}{2\pi} \times 100 = \frac{1000}{\pi} \text{ rpm}$
 $\alpha = \frac{20}{20 \times 10^{-3}} = 1000 \text{ rad/s}^2$
 $\frac{J_L \alpha}{2} + T_f + J_M \frac{\alpha}{2} di$

$T_{\text{峰值}} = T_f + J_M \omega_{\text{峰值}} = 0.4 + 2 \times 10^{-4} \times 2000 = 0.44 \text{ Nm}$
 $T_{\text{额定}} = T_f + J_M \omega_{\text{额定}} = 0.4 + 2 \times 10^{-4} \times 314 = 0.4628 \text{ Nm}$
 $\omega_{\text{峰值}} = 20 \text{ rad/s} \Rightarrow \omega_{\text{峰值}} = 200 \text{ rad/s} \approx 1911 \text{ r/min}$

$$= 0.44 + \frac{J_L + J_M}{I^2} \times 1000 \times 10 = 44 \text{ Nm}$$

10KHz
= 45W

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

试題:

五号:

姓名:

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

$$3.17 \quad \tau = \left(\frac{J}{2} + \frac{J_m}{\omega} \right) \dot{\omega}$$

2.27

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

$$0.4 + \left(\frac{2 \times 10^{-4}}{4.4 \times 10^{-2}} + 1 \right) \times 1000$$

$$\begin{aligned} P_{em} &= W_{me} = 200 \times 10^{-3} \times 1000 \\ T_m &= 20 \text{ Nm} \\ \omega &= \frac{T_m}{k_t} = \frac{20}{0.1} = 200 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

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)

$$\begin{aligned} V_a &= E_a + R_a I_a \\ &= k_e \omega + R_a I_a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -U_{aq} &= 80 = 6 \cdot I_a = 92 \text{ V} \\ U_{aL} &= 20 + 0 = 32 \text{ V} \\ U_a &= 110 \text{ V DC} \end{aligned}$$

由铜耗说明

$$\begin{aligned} P_{cuq} &= I_{aq}^2 R_a \\ P_{cul} &= I_{al}^2 R_a \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{em} &= T_1 + T_2 \\ k_t I_a &= 1.5 + 1.1 = 2.6 \times 2 = 2.4 \text{ Nm} \\ \therefore I_{a1} &= 6 \text{ A}, I_{a2} = 24 \text{ A} \\ E_{a1} &= k_e \omega = 80 \text{ V} \\ E_{a2} &= k_e \omega = 20 \text{ V} \end{aligned}$$

铜耗说明
乙电机的电枢电阻小, 铜耗小, 有利于电机。

$P_{cuq} < P_{cul}$
选甲电机, 铜耗小, 效率高。

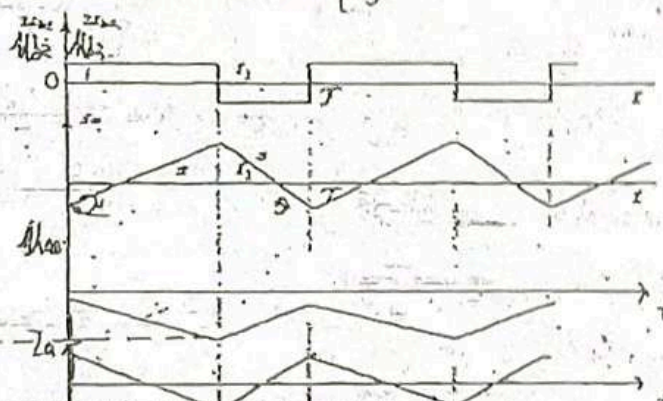
$$R = \frac{4.4^2 + (2.4)^2}{1000} + 2 \Omega$$

试题

班号

姓名

3) 且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, 绘出输出电压 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

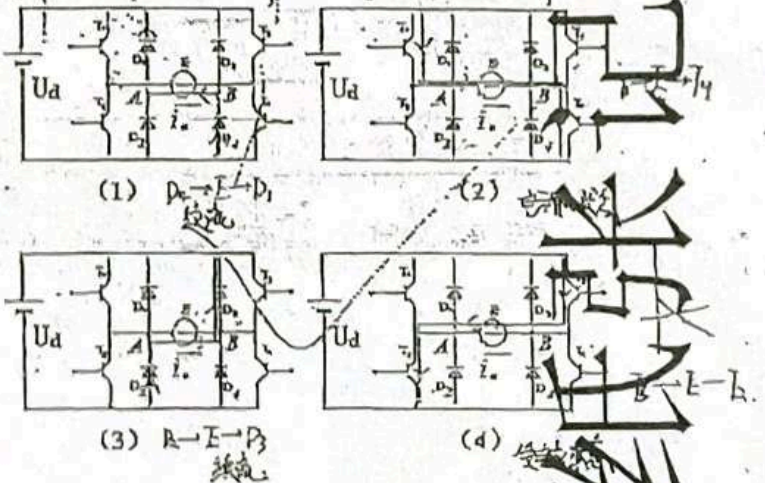
$T_2 \rightarrow D_4 \rightarrow D_1 \rightarrow D_3 \rightarrow U_d$

2. 电动机

$U_d \rightarrow T_1 \rightarrow D_2 \rightarrow T_4 \rightarrow i_a$

3. 电动机反接

4. 反接制动



4) 为了实现工件驱动达到定位精度 0.1° 的要求, 可以在电机侧安装光电码盘进行转角或反馈控制, 减速器环节会产生 0.04° 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° 0.6

纸张记忆复印

精度要达到 0.1° 的要求且减法器对 2^4 的误差 $\theta = \frac{360^\circ}{2^4}$

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

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

$$\therefore 2^4 \approx 90$$

考虑到减法器的 0.1° 误差，

选择使用102位的增计数器

可以达到稳定性精度。

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

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

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

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

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

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

比较后，选择15位二进制计数器
可以达到稳定性精度要求。

1112

$$\frac{2.1^\circ}{\text{电机轴}}$$

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

$$0.06$$

$$0.6$$

$$\frac{0.65}{4 \times 0.6}$$

$$\frac{0.6}{25 \times 4}$$

$$0.6$$

$$600 \times 2 \times 11$$

256/36

11位

$$\frac{1^\circ}{0.1^\circ}$$

$$10$$