

一、填空题

1. 直流调速系统用的可控直流电源有：旋转变流机组（G-M 系统）、静止可控整流器（V-M 统）、直流斩波器和脉宽调制变换器（PWM）。
2. 转速、电流双闭环调速系统的起动过程特点是 饱和非线性控制、准时间最优控制 和 转速超调。
3. 交流异步电动机变频调速系统的控制方式有 恒磁通控制、恒功率控制 和 恒电流控制 三种。
4. 变频器从结构上看，可分为 交交变频、交直交变频 两类，从变频电源性质看，可分为 电流型、电压型 两类。
5. 异步电动机的数学模型包括：电压方程、磁链方程、转矩方程 和 运动方程。
6. 异步电动机动态数学模型是一个 高阶、非线性、强耦合 的多变量系统。
7. 常见的调速系统中，在基速以下按 恒转矩 调速方式，在基速以上按 恒功率 调速方式。
8. 调速系统的稳态性能指标包括 调速范围 和 静差率。
9. 反馈控制系统的作用是：抵抗扰动，服从给定。
10. VVVF 控制是指逆变器输出 电压 和 频率 可变的控制
- 11、转速、电流双闭环调速系统当中，两个调节器采用 串级 联接，其中转速反馈极性为 负反馈、电流反馈极性为 负反馈。
- 12、直流斩波器的几种常用的控制方法：①T 不变，变 t_{on} —— 脉冲宽度调制（PWM）；② t_{on} 不变，变 T—— 脉冲频率调制（PFM）；③ t_{on} 和 T 都可调，改变占空比—— 混合型。
- 13、转速、电流双闭环系统，采用 PI 调节器，稳态运行时，转速 n 取决于 给定电压、ASR 的输出量取决于 负载电流。
14. 各种电力拖动自动控制系统都是通过控制 电动机转速 来工作的。
15. V-M 系统中，采用三相整流电路，为抑制电流脉动，可采用的主要措施是 设置平波电抗器。
- 16、在单闭环调速系统中，为了限制全压启动和堵转电流过大，通常采用 电流截止负反馈。
- 17、在 $\alpha = \beta$ 配合控制的直流可逆调速系统中，存在的是 直流平均 环流，可用 串接环流电抗器 抑制。
- 18、采用 PI 调节器的转速、电流双闭环系统启动时，转速调节器经历 不饱和、饱和、退饱和 三种状态。

二、选择题

1. 带有比例调节器的单闭环直流调速系统，如果转速的反馈值与给定值相等，则调节器的输出为（ A ）
A、零； B、大于零的定值
C、小于零的定值； D、保持原先的值不变
2. 无静差调速系统的 PI 调节器中 P 部份的作用是（ D ）
A、消除稳态误差； B、不能消除稳态误差也不能加快动态响应
C、既消除稳态误差又加快动态响应； D、加快动态响应
3. 异步电动机变压变频调速时，采用（ B ）控制方式，可获得一线性机械特性。
A、 $U_1 / f_1 = \text{常值}$ ； B、 $E_g / f_1 = \text{常值}$ ；
C、 $E_s / f_1 = \text{常值}$ ； D、 $E_r / f_1 = \text{常值}$
4. 一般的间接变频器中，逆变器起（ B ）作用。
A、调压； B、调频；
C、调压与逆变； D、调频与逆变
5. 转差频率控制变频调速系统的基本思想是控制（ C ）。
A、电机的调速精度； B、电机的动态转矩；
C、电机的气隙磁通； D、电机的定子电流
6. 转速电流双闭环调速系统中的两个调速器通常采用的控制方式是（ B ）
A. PID B. PI C. P D. PD
7. 静差率和机械特性的硬度有关，当理想空载转速一定时，特性越硬，则静差率（ A ）
A. 越小 B. 越大 C. 不变 D. 不确定
8. 下列异步电动机调速方法属于转差功率消耗型的调速系统是（ D ）
A. 降电压调速 B. 串级调速 C. 变极调速 D. 变压变频调速

Word 格式

9. 双闭环调速系统中, 在恒流升速阶段时, 两个调节器的状态是(A)
- A. ASR 饱和、ACR 不饱和 B. ACR 饱和、ASR 不饱和
C. ASR 和 ACR 都饱和 D. ACR 和 ASR 都不饱和
10. 在微机数字控制系统的故障保护中断服务子程序中, 工作程序正确的是(C)
- A. 显示故障原因并报警——分析判断故障——封锁 PWM 输出——系统复位
B. 显示故障原因并报警——封锁 PWM 输出——分析判断故障——系统复位
C. 封锁 PWM 输出——分析判断故障——显示故障原因并报警——系统复位
D. 分析判断故障——显示故障原因并报警——封锁 PWM 输出——系统复位
11. SPWM 技术中, 调制波是频率和期望波相同的(A)。
- A、正弦波 B、方波 C、等腰三角波 D、锯齿波
12. 无静差单闭环调速系统, 稳态时, 转速的给定值与反馈值相同, 此时调节器的输出(D)。
- A、为 0 B、正向逐渐增大
C、负向逐渐增大 D、保持恒定终值不变
13. 下列交流异步电动机的调速方法中, 应用最广的是(C)。
- A、降电压调速 B、变极对数调速
C、变压变频调速 D、转子串电阻调速
14. 在交—直—交变频装置中, 若采用不控整流, 则 PWN 逆变器的作用是(C)。
- A、调压 B、调频 C、调压调频 D、调频与逆变
15. 控制系统能够正常运行的首要条件是(B)。
- A、抗扰性 B、稳定性 C、快速性 D、准确性
16. 常用的数字滤波方法不包括(D)。
- A、算术平均值滤波 B、中值滤波 C、中值平均滤波 D、几何平均值滤波
17. 在电机调速控制系统中, 系统无法抑制(B)的扰动。
- A、电网电压 B、电机励磁电压变化 C、给定电源变化 D、运算放大器参数变化
18. 双闭环调速系统在稳定运行时, 控制电压 U_{ct} 的大小取决于(C)。
- A、 Idl B、 n C、 n 和 Idl D、 α 和 β

三、判断题

1. 反馈控制系统所能抑制的只是被反馈环包围的前向通道上的扰动。 (√)
2. 改变电流相序可以改变三相旋转磁通势的转向。 (√)
3. 当闭环系统开环放大系数大于系统的临界放大系数时, 系统将稳定。 (×)
4. 调速系统的静差率指标应以最低速时所能达到的数值为准。 (√)
5. 在电机调速控制系统中, 系统无法抑制电机励磁电压变化的扰动。 (√)
6. 控制系统能够正常运行的首要条件是准确性。 (×)
7. 开环系统的静特性可以比闭环系统硬得多。 (×)
8. 微机数字调速系统中, 采样频率应不小于信号最高频率的 2 倍。 (√)
9. 一般的间接变频器中, 逆变器起调频与逆变作用。 (×)
10. 无静差调速系统中, 调节器一般采用 PI 调节器。 (√)

四、问答题

1. 调速范围和静差率的定义是什么?

答: 生产机械要求电动机提供的最高转速和最低转速之比叫做调速范围, 用字母 D 表示, 即:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$$

当系统在某一转速下运行时, 负载由理想空载增加到额定值时所对应的转速降落 Δn_N 与理想空载转速 n_0 之比,

Word 格式

称作静差率 s ，即

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0}$$

2、简述恒压频比控制方式

答：绕组中的感应电动势是难以直接控制的，当电动势值较高时，可以忽略定子绕组的漏磁 阻抗压降，而认为定子相电压 $U_s \approx E_g$ ，则得

$$\frac{U_s}{f_1} = \text{常值}$$

这是恒压频比的控制方式。但是，在低频时 U_s 和 E_g 都较小，定子阻抗压降所占的份量就 比较显著，不再能忽略。这时，需要人为地把电压 U_s 抬高一些，以便近似地补偿定子压降。

3、转速、电流双闭环调速系统稳态运行时，两个调节器的输入偏差电压和输出电压各是多少？为什么？

答：当两个调节器都不饱和时，它们的输入偏差电压和输出电压都是零，转速调节器 ASR 的输出限幅电压 U_{im} 决定了电流给定电压的最大值；电流调节器 ACR 的输出限幅电压限制了电力电子变换器的最大输出电压 U_{dm} 。

4、单闭环调速系统的基本特征

答：(1) 具有比例放大器的单闭环调速系统是有静差的；

(2) 闭环系统具有较强的抗干扰性能反馈闭环系统具有很好的抗扰性能，对于作用在被负反馈所包围的前向通道上的一切扰动都能有效地抑制；

(3) 闭环系统对给定信号和检测装置中的扰动无能为力。

5、在无静差转速单闭环调速系统中，转速的稳态精度是否还受给定电源和测速发电机精度的影响？并说明理由。

答：系统的精度依赖于给定和反馈检测的精度。因此转速的稳态精度还受给定电源和测速发电机精度的影响。

6、晶闸管-电动机系统需要快速回馈制动时，为什么必须采用可逆线路？

答：当电动机需要回馈制动时，由于反电动势的极性未变，要回馈电能必须产生反向电流，而反向电流是不可能通过 VF 流通的，这时，可以通过控制电路切换到反组晶闸管装置 VR，并使它工作在逆变状态，产生逆变电压，电机输出电能实现回馈制动。

7、解释待正组逆变和反组逆变，并说明这两种状态各出现在何种场合下。

答：正组逆变电枢端电压为负，电枢电流为正，电动机逆向运转，回馈发电，机械特性在第四象限。

反组逆变电枢端电压为正，电枢电流为负，电动机正向运转，回馈发电，机械特性在第二象限。

8、有静差系统与无差系统的区别。

答：根本区别在于结构上(控制器中)有无积分控制作用，PI 控制器可消除阶跃输入和阶跃扰动作用下的静差，称为无静差系统，P 控制器只能降低静差，却不能消除静差，故称有静差系统。

9、简述泵升电压产生的原因及其抑制措施。

答：泵升电压产生的原因：采用二极管整流获得直流电源时，电机制动时不能回馈电能，只好对滤波电容充电，使电容两端电压升高，产生泵升电压。

泵升电压抑制措施：电容器吸收动能；镇流电阻消耗动能；并接逆变器。

10、什么叫环流？并说明有环流可逆系统的适用场合。

Word 格式

答：只限于两组晶闸管之间流通的短路电流称为环流。适用于中小容量系统，有较高快速性能要求的系统。

11、在转速、电流双闭环调速系统中，出现电网电压波动与负载扰动时，哪个调节器起主要调节作用？

答：电网电压波动时，ACR 起主要调节作用；负载扰动时，ASR 起主要抗扰调节作用。

五、计算题

1、某直流调速系统的电动机额定转速为 $n_N=1430\text{r/min}$ ，额定速降 $\Delta n_N=115\text{r/min}$ ，当要求静差率 $s \leq 30\%$ 时，允许多大的调速范围？如果要求静差率 $s \leq 20\%$ ，试求最低运行速度及调速范围。

解：要求 $s \leq 30\%$ 时，调速范围为

$$D = \frac{n_N s}{\Delta n_N (1-s)} = \frac{1430 \times 0.3}{115 \times (1-0.3)} = 5.3$$

若要求 $s \leq 20\%$ 时，最低空载转速为

$$n_{0\min} = \frac{\Delta n_N}{s} = \frac{115}{0.2} \text{r/min} = 575 \text{r/min}$$

最低运行转速为

$$n_{\min} = n_{0\min} - \Delta n_N = (575 - 115) \text{r/min} = 460 \text{r/min}$$

调速范围为

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1430}{460} = 3.1$$

2、某一调速系统，测得的最高转速特性为 $n_{0\max} = 1500\text{r/min}$ ，最低转速特性为 $n_{0\min} = 150\text{r/min}$ ，带额定负载时的速度降落 $\Delta n_N = 15\text{r/min}$ ，且在不同转速下额定速降 Δn_N 不变，试问系统能够达到的调速范围有多大？系统允许的静差率是多少？

解：思路一：

系统能够达到的调速范围为：

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{n_{0\max}}{n_{0\min} - \Delta n_N} = \frac{1500}{150 - 15} = 11$$

系统允许的静差率：

$$s = \frac{D \Delta n_N}{n_N + D \Delta n_N} \times 100\% = \frac{11 \times 15}{1500 + 11 \times 15} \times 100\% = 10\%$$

思路二：

系统允许的静差率：

$$s = \frac{\Delta n_N}{n_0} \times 100\% = \frac{\Delta n_N}{n_{0\min}} \times 100\% = \frac{15}{150} \times 100\% = 10\%$$

系统能够达到的调速范围为：

$$D = \frac{n_N s}{\Delta n_N (1-s)} = \frac{n_{0\max} s}{\Delta n_N (1-s)} = \frac{1500 \times 0.1}{15 \times (1-0.1)} = 11$$

3. 在转速、电流双闭环系统中，两个调节器 ASR、ACR 均采用 PI 调节器。已知参数：电动机： $P_{nom}=3.7kW$ ， $U_{nom}=220V$ ， $I_{nom}=20A$ ， $n_{nom}=1000r/min$ ，电枢回路总电阻 $R=1.5\Omega$ ，设 $U_{nm}^*=U_{im}^*=U_{cm}=8V$ ，电枢回路最大电流 $I_{dm}=40A$ ，电力电子变换器的放大系数 $K_s=40$ 。试求：

(1) 电流反馈系数 β 和转速反馈系数 α ；

(2) 当电动机在最高转速发生堵转时的 U_d0 、 U_i 、 U_c 值。

解：(1) $\beta = U_{im}^*/I_{dm}=8/40=0.2$

$$\alpha = U_{nm}^*/n_{nom}=8/1000=0.008$$

$$(2) U_{d0}=I_{dm}R=40\times 1.5=60V$$

$$U_i = U_{im}^*=8V \text{ (极性相反)}$$

$$U_c = U_{d0}/K_s=60/40=1.5A$$

4. 已知某调速系统电动机数据为： $P_N=18KW$ ， $U_N=220V$ ， $I_N=94A$ ， $n_N=1000r/min$ ， $R_a=0.15\Omega$ 整流装置内阻 $R_{rec}=0.3\Omega$ 触发整流环节的放大倍数 $K_s=40$ 。最大给定电压 $U_{nm}^*=15V$ ，当主电路电流达到最大值时，整定电流反馈电压 $U_{im}=10V$ (p29)

计算：(1) 转速反馈系数 α 。(2) 调节器放大系数 K_p 。

解：(1) 转速负反馈系数 α 应该是

$$\alpha = \frac{U_n^*}{n} = \frac{U_n^*}{n_N} = \frac{15}{1000} = 0.015$$

先计算电动机的电动势系数

$$C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 94 \times 0.15}{1000} = 0.2059V \cdot \min / r$$

则开环系数额定速降为

$$\Delta n_{op} = \frac{I_N R}{C_e} = \frac{94 \times (0.15 + 0.3)}{0.2059} = 205.4r / \min$$

$$\Delta n_{cl} = \frac{n_N s}{D(1-s)} \leq \frac{1000 \times 0.01}{20 \times (1-0.1)} = 5.56r / \min$$

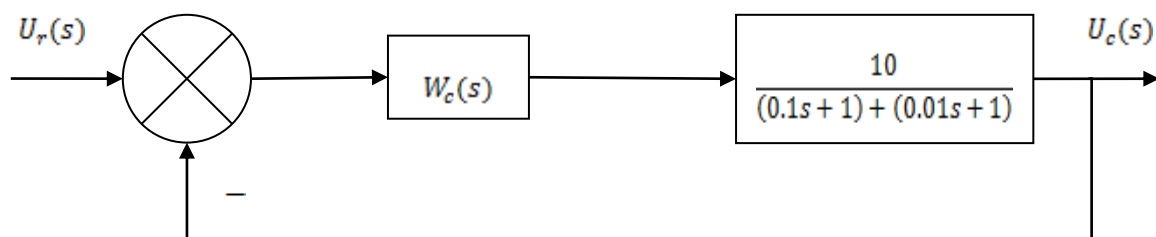
闭环系统的开环放大系数应为

$$K = \frac{\Delta n_{op}}{\Delta n_{cl}} - 1 = \frac{205.4}{5.56} - 1 = 35.9$$

运算放大器所需的放大倍数

$$K_p = \frac{K}{\alpha K_s / C_e} = \frac{35.9}{0.015 \times 40 / 0.2059} = 12.3$$

5、如图所示的系统，要求 $\sigma \leq 5\%$ ，试设计调节器。



解：根据题意，该系统可以校正为典型Ⅰ型系统，也可以校正为典型Ⅱ型系统后加给定滤波器。

校正成典型Ⅱ型系统时，若取 $h=5$ ，则 $T_1=0.1$ ， $hT_1=5 \times 0.01=0.05$ ， $T_1 > hT_2$ 。因此可以把大惯性环节 $1/(0.1s+1)$ 近似处理为积分环节 $1/(0.1s)$ ，故系统控制对象的传递函数为

$$W_1(s) \approx \frac{10}{0.1s(0.01s+1)}$$

采用 PI 调节器校正，则开环传递函数为

$$W(s) = \frac{K_p \times 10 \times (\tau s + 1)}{0.1\tau s^2(0.01s + 1)}$$

按 M_{pmin} 准则

$$K = \frac{K_p \times 100}{\tau} = \frac{h+1}{2h^2 \times 0.01^2} \quad (h=5)$$

$$\tau = h \times 0.01$$

故调节器参数

$$K_p = \frac{h+1}{2h^2 \times 0.01 \times 100} = \frac{6}{10 \times 0.01 \times 100} = 0.6$$

$$\tau = 0.05$$

这时超调量 $\sigma=37.6\%$ ，为了减小超调量，输入通道加一给定滤波器 $W_g(s) = \frac{1}{T_0s + 1}$

取滤波时间常数 $T_0 = \tau = 0.05$ ，超调量 $\sigma=2.8\% < 5\%$ ，满足要求。最后还要校验一下近似条件是否满足

$$W_c = \frac{K}{\omega_1} = K\tau = K_p \times 100 = 60 \quad \frac{3}{T_1} = \frac{3}{0.1} = 30$$

即 $\omega_c > \frac{3}{T_1}$ ，满足近似条件。

1. 常用的可控直流电源有 旋转交流机组、静止式可控整流器、直流斩波器或脉宽调制变换器
2. 调速系统的稳态性能指标包括 调速范围 和 静差率
3. 反馈控制系统的作用是：抵抗扰动，服从给定
4. 当电流连续时，改变控制角，V—M 系统可以得到一组 平行的 机械特性曲线。
5. 常见的调速系统中，在基速以下按 恒转矩调速方式，在基速以上按恒功率调速方式
6. 自动控制系统的动态性能指标包括对给定输入信号的跟 随性能指标 和对扰动输入信号的 抗扰性能指标
12. 电流截止负反馈的作用是 限流

Word 格式

14. 静态环流可以分为 **直流平均环流** 和 **瞬时脉动环流**
15. 自动控制系统的动态性能指标包括对给定输入信号的 **跟随性能指标** 和对扰动输入信号的 **抗扰性能指标**。
16. PWM 变换器可以通过调节 **电力电子开关** 来调节输出电压。
18. PWM 逆变器根据电源类型不同可以分为 **电压型** 和 **频率型**
20. 转速单闭环直流控制系统可以通过引入 **电流环** 控制以提高系统动态性能。
21. 转速电流双闭环调速系统在启动过程中, 转速调节器 ASR 将经历 **不饱和**、**饱和**、**退饱和** 三种情况。
22. 交流调速的基本类型中最好的一种节能省力型调速方案是**变压变频调速**
1. 转速电流双闭环调速系统中的两个调速器通常采用的控制方式是
A. PID **B. PI** C. P D. PD
2. 静差率和机械特性的硬度有关,当理想空载转速一定时,特性越硬,静差率
A. 越小 B. 越大 C. 不变 D. 不确定
3. 下列异步电动机调速方法属于转差功率消耗型的调速系统是
A. 降电压调速 B. 串级调速 C. 变极调速 **D. 变压变频调速**
4. 可以使系统在无静差的情况下保持恒速运行, 实现无静差调速的是
A. 比例控制 **B. 积分控制** C. 微分控制 D. 比例微分控制
5. 控制系统能够正常运行的首要条件是
A. 抗扰性 **B. 稳定性** C. 快速性 D. 准确性
6. 在定性的分析闭环系统性能时, 截止频率 ω_c 越低,则系统的稳定精度
A. 越高 B. 越低 C. 不变 D. 不确定
7. 常用的数字滤波方法不包括
A. 算术平均值滤波 B. 中值滤波
C. 中值平均滤波 **D. 几何平均值滤波**
8. 转速电流双闭环调速系统中电流调节器的英文缩写是
A. ACR B. AVR C. ASR D. ATR
9. 双闭环直流调速系统的启动过程中不包括
A.转速调节阶段 B.电流上升阶段 C.恒流升速阶段 **D.电流下降阶段**
11. 下列不属于双闭环直流调速系统启动过程特点的是
A. 饱和非线性控制 B. 转速超调
C. 准时间最优控制 **D. 饱和线性控制**
12. 下列交流异步电动机的调速方法中, 应用最广的是
A. 降电压调速 B. 变极对数调速
C. 变压变频调速 D. 转子串电阻调速
13. SPWM 技术中, 调制波是频率和期望波相同的
A. 正弦波 B. 方波 C. 等腰三角波 D. 锯齿波
14. 下列不属于异步电动机动态数学模型特点的是
A. 高阶 **B. 低阶** C. 非线性 D. 强耦合
15. 在微机数字控制系统的中断服务子程序中中断级别最高的是
A. 故障保护 B. PWM 生成 C. 电流调节 D. 转速调节
16. 比例微分的英文缩写是
A. PI **B. PD** C. VR D. PID
17. 调速系统的静差率指标应以何时所能达到的数值为准
A. 平均速度 B. 最高速 **C. 最低速** D. 任意速度
19. 在定性的分析闭环系统性能时, 截止频率 ω_c 越高,则系统的稳定精度
A. 越高 B. 越低 C. 不变 D. 不确定
20. 采用旋转编码器的数字测速方法不包括
A. M 法 B. T 法 C. M/T 法 **D. F 法**

三. PID 控制器各环节的作用是什么？

答：PID 控制器各环节的作用是：

(1) 比例环节 P：成比例地反映控制系统的偏差信号，偏差一旦出现，控制器立即产生控制作用，以便减少偏差，保证系统的快速性。

(2) 积分环节 I：主要用于消除静差，提高系统的控制精度和无差度。

(3) 微分环节 D：反映偏差信号的变化趋势，并能在偏差信号变得过大之前，在系统中引入一个早期修正信号，从而加快系统的动作速度，减少调节时间。

2、在无静差转速单闭环调速系统中，转速的稳态精度是否还会给定电源和测速发电机精度的影响？并说明理由。

答：系统的精度依赖于给定和反馈检测的精度。

因此转速的稳态精度还受给定电源和测速发电机精度的影响。

四、名词解释

1. V—M 系统--晶闸管-电动机调速系统

3. 静差率--负载由理想空载增加到额定值所对应的转速降落与理想空载转速的比

4. ASR--转速调节器

5. 测速方法的分辨率--衡量一种测速方法对被测转速变化的分辨能力

6. PWM--可逆脉冲宽度调制

1、某闭环调速系统的开环放大倍数为 15 时，额定负载下电动机的速降为 8r/min，如果将开环放大倍数提高到 30，它的速降为多少？在同样静差要求下，调速范围可以扩大多少倍？

解 (1) 因为
$$\Delta n_{cl} = \frac{RI_d}{C_e(1+K)}$$

所以
$$\frac{RI_d}{C_e} = \Delta n_{cl}(1+K) = 8 \times (1+15) = 128$$

则
$$\Delta n_{cl} = \frac{RI_d}{C_e(1+K)} = \frac{128}{1+30} = 4.13 \text{ r/min}$$

(2) 由
$$D = \frac{n_N S}{\Delta n_N (1-S)}$$
，可知在 s 和 n_N 不变的情况下， D 只与 Δn_N 有关

调速范围扩大 1.94 倍。

2、有一个 V—M 系统，已知：电动机 $P_N=2.8\text{KW}$, $U_N=220\text{V}$, $I_N=15.6\text{A}$, $n_N=1500\text{r/min}$, $R_a=1.5\Omega$ ，整流装置内阻 $R_{rec}=1\Omega$ ，触发整流环节的放大倍数 $K_s=35$ 。

(1) 系统开环工作时，试计算调速范围 $D=30$ 时的静差率 S 值。

(2) 当 $D=30$ 时， $S=10\%$ ，计算系统允许的稳态速降。

(3) 如组成转速负反馈有静差调速系统，要求 $D=30$ ， $S=10\%$ ，在 $U_n^*=10\text{V}$ 时， $I_d=I_n$, $n=n_N$ ，计算转速负反馈系数 α 和放大器放大系数 K_p 。

解：（1）系统开环工作时，

$$C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 15.6 \times 1.5}{1500} = 0.1311 V \cdot \min / r$$

则开环系数额定速降为

$$\Delta n_{op} = \frac{I_N R}{C_e} = \frac{15.6 \times (1.5 + 1)}{0.1311} = 297.5 r / \min$$

$$\text{则 } s = \frac{D \Delta n_N}{n_N + D \Delta n_N} \times 100\% = \frac{30 \times 297.5}{1500 + 30 \times 297.5} \times 100\% = 85.6\%$$

（2）当 $D=30$, $s=10\%$, 系统允许的稳态速降

$$\Delta n_N = \frac{n_N s}{D(1-s)} = \frac{1500 \times 0.1}{30 \times (1-0.1)} = 5.56 r / \min$$

（3）当 $U_n^* = 10V$ 时, $I_d = I_N$, $n=n_N$, 则转速负反馈系数 α 应该是

$$\alpha = \frac{U_n^*}{n} = \frac{U_n^*}{n_N} = \frac{10}{1500} = 0.007$$

闭环系统的开环放大系数应为

$$K = \frac{\Delta n_{op}}{\Delta n_{cl}} - 1 = \frac{297.5}{5.56} - 1 = 52.51$$

运算放大器所需的放大倍数

$$K_p = \frac{K}{\alpha K_s / C_e} = \frac{52.51}{0.007 \times 35 / 0.1311} = 30.6$$

Word 格式

- 1、在伯德图上，截止频率越高，则系统的（ ）。
A、稳定性越好 B、快速性越好 C、稳态精度越高
- 2、在可逆运行系统当中，抑制瞬时脉动环流的措施为（ ）。
A、采用均衡电抗器 B、采用平波电抗器 C、采用 $\alpha=\beta$ 配合控制
- 3、笼型异步电动机变压变频调速系统中基频以下调速，下列哪种方式控制性能最好（ ）。
A、恒 U_s/ω_1 控制 B、恒 E_g/ω_1 控制 C、恒 E_r/ω_1 控制
- 4、 $\alpha=\beta$ 配合控制双闭环可逆直流调速系统制动过程主要阶段是（ ）。
A、本组逆变阶段 B、它组反接制动阶段 C、它组逆变阶段
- 5、 $\alpha=\beta$ 配合控制双闭环可逆直流调速系统制动过程，本组逆变阶段的能量流向为（ ）。
A、电网到电动机 B、电动机到电网 C、平波电抗器到电网
- 6、逻辑控制无环流可逆系统中，下面不能作为逻辑控制环节输入信号的是（ ）。
A、“零电流检测”信号 U_{i0} B、“转矩极性鉴别”信号 U_i^* C、转速给定信号 U_n^*
- 7、 $\alpha=\beta$ 配合控制双闭环可逆直流调速系统制动过程，正组 VF 由整流状态进入本组逆变阶段时，反组的工作状态变化为（ ）。
A、待逆变状态变为待整流 B、待逆变状态变为整流 C、待逆变状态变为逆变
- 8、采用准 PI 调节器的目的是（ ）。
A、提高系统增益 B、减小高频干扰 C、抑制运算放大器零点漂移
- 9、在转速、电流双闭环调速系统带额定负载启动过程中，转速 n 达到峰值时，电枢电流值为（ ）。
A、 $I_d=0$ B、 $I_d=I_{dL}$ C、 $I_d=I_{dm}$
- 10、在转速、电流双闭环调速系统中，以下哪一项影响最大电流 I_{dm} 的设计（ ）。
A、运算放大器 B、稳压电源 C、电动机允许的过载能力

二、填空题（每小题 2 分，2×5=10 分）

- 1、转速、电流双闭环直流调速系统中，电流调节器输出限幅的作用是_____。
- 2、直流调速系统的稳态性能指标有_____、_____。
- 3、转速、电流双闭环系统，采用 PI 调节器，稳态运行时，转速 n 取决于_____,ASR 的输出量取决于_____。
- 4、异步电动机的动态模型由电压方程、磁链方程、_____和_____组成。
- 5、异步电动机动态数学模型的性质是一个_____、_____、强耦合的多变量系统。

三、判断题（每小题 2 分，2×5=10 分）

- 1、异步电动机基频以上变频调速属于恒转矩调速。
- 2、异步电动机恒压恒频正弦波供电时，其机械特性在 s 很小时，是一段直线。
- 3、当三相 ABC 坐标系中的电压和电流是交流正弦波时，变换到的 dq 坐标系上就成为直流。
- 4、从两相静止坐标系到两相旋转坐标系的变换简称为 2s/2r 变换。
- 5、通过坐标系变换，可以找到与交流三相绕组等效的直流电动机模型。

四、问答题（每小题 10 分，10×3=30 分）

- 1、在转速、电流双闭环调速系统中，两个调节器都采用 PI 调节器。系统稳定运行时，转速给定信号 U_n^*

未改变，若增大转速反馈系数 α ，系统稳定后转速反馈电压 U_n 是增加还是减少？为什么？

- 2、在转速负反馈调速系统中，当电网电压、负载转矩、电动机励磁电流、电枢电阻、测速发电机励磁各量发生变化时，都会引起转速的变化，问系统对上述各量有无调节能力？为什么？
- 3、异步电动机基频以下变压变频调速采用电压频率协调控制，其常用配合方式有哪几种？它们的机械特性各有何特点？

五、综合题（每小题 15 分，15×2=30 分）

- 1、有一 V-M 调速系统，电动机参数为 $P_N=2.5\text{Kw}$ 、 $U_N=220\text{V}$ 、 $I_N=15\text{A}$ 、 $n_N=1500\text{r/min}$ 、 $R_a=2\Omega$ ，整流装置内阻 $R_{\text{rec}}=1\Omega$ ，触发整流环节的放大系数 $K_s=30$ ，要求调速范围 $D=20$ ，静差率 $s=10\%$ 。试：

- (1) 计算开环系统的稳态速降和要求所允许的稳态速降；（6 分）
- (2) 采用转速负反馈组成闭环系统，试画出系统的稳态结构图；（4 分）
- (3) 调整该系统，使 $U_n^*=20\text{V}$ 时转速 $n=1000\text{r/min}$ ，此时转速反馈系数应为多少？
（可以认为 $U_n \approx U_n^*$ ）（5 分）

- 2、有一闭环系统，其控制对象传递函数为：

$$W_{obj}(s) = \frac{K_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$$

其中， $T_1 > T_2$ ， K_2 为控制对象的放大系数。

设计任务为校正成典型 I 型系统。试：

- (1) 写出典型 I 型系统开环传递函数；（4 分）
- (2) 选择调节器结构并写出校正后系统的开环传递函数；（6 分）
- (3) 选择合理的参数配合形式。（5 分）

一、选择题（每小题 2 分，2×10=20 分）

- 1、B 2、A 3、C 4、C 5、C 6、C 7、A 8、C 9、B 10、C

二、填空题（每小题 2 分，2×5=10 分）

- 1、限制电力电子变换器的最大输出电压 2、静差率、调速范围 3、给定电压 U_n^* 、负载电流 I_{dL}
4、转矩方程、运动方程 5、高阶、非线性

三、判断题（每小题 2 分，2×5=10 分）

- 1、× 2、√ 3、√ 4、√ 5、√

四、问答题（每小题 10 分，10×3=30 分）

- 1、答：转速反馈电压 U_n 不变。(5 分)
由比例积分控制规律，积分部分最终消除稳态偏差，即 $U_n=U_n^*$ 。(5 分)
- 2、答：(1) 电网电压、负载转矩、电动机励磁电流、电枢电阻发生变化时系统对其有调节能力。(4 分)
(2) 测速发电机励磁发生变化时系统对其没调节能力。(1 分)
原因：反馈控制系统所能抑制的只是被反馈环包围的前向通道上的扰动。(5 分)
- 3、答：三种：恒 U_s/w_1 控制、恒 E_g/w_1 控制和恒 E_r/w_1 控制。(3 分)
(1) 恒 U_s/w_1 控制：特性基本是上下平移，硬度也较好，当转矩增大到最大值以后，转速再降低，特性就折回来了。而且频率越低时最大转矩值越小，能够满足一般的调速要求，但低速带载能力有些差强人意，须对定子压降实行补偿。(3 分)
(2) 恒 E_g/w_1 控制：是通常对恒压频比控制实行电压补偿的标准，可以在稳态时达到 $\Phi_m = \text{Constant}$ ，从而改善了低速性能，但机械特性还是非线性的，产生转矩的能力仍受到限制。(2 分)
(3) 恒 E_r/w_1 控制：可以得到和直流他励电机一样的线性机械特性，按照转子全磁通 Φ_m 恒定进行控制，而且，在动态中也尽可能保持 Φ_m 恒定是矢量控制系统的目标。(2 分)

五、综合题（每小题 15 分，15×2=30 分）

1、解：（1）先计算电动机的 C_e ：.....(2 分)

$$C_e = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 15 \times 2}{1500} \text{ v} \cdot \text{min} / \text{r} = 0.127 \text{ v} \cdot \text{min} / \text{r}$$

开环系统稳态速降为：.....(2 分)

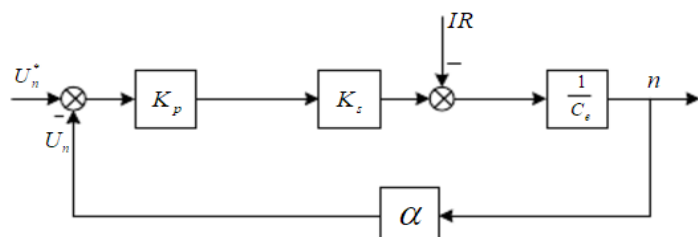
$$\Delta n_{op} = \frac{I_N R}{C_e} = \frac{I_N (R_a + R_{rec})}{C_e} = \frac{15 \times (2 + 1)}{0.127} \text{ r} / \text{min} = 354.33 \text{ r} / \text{min}$$

系统要求所允许的稳态速降：.....(2 分)

（2）采用转速负反馈系统的稳态结构

$$\Delta n_{cl} = \frac{n_N s}{D(1-s)} = \frac{1500 \times 0.1}{20 \times (1-0.1)} \text{ r} / \text{min} = 8.33 \text{ r} / \text{min}$$

图：.....(4 分)



（3）当 $U_n^* = 20\text{V}$ 时转速 $n = 1000\text{r/min}$ ，此时转速反馈系数为：.....(5 分)

$$\alpha = \frac{U_n}{n} \approx \frac{U_n^*}{n} = \frac{20}{1000} \text{ v} \cdot \text{min} / \text{r} = 0.02 \text{ v} \cdot \text{min} / \text{r}$$

2、解：（1）典型 I 型系统开环传递函数：(4 分)

$$W(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$$

（2）对于双惯性环节控制对象，若要校正成典型 I 型系统，调节器必须具有一个积分环节，并含有一个比例微分环节。因此，选择 PI 调节器，其传递函数为：

$$W_{pi}(s) = \frac{K_{pi}(\tau_1 s + 1)}{\tau_1 s} \quad \text{.....(2 分)}$$

校正后系统的开环传递函数为：

$$W(s) = W_{pi}(s)W_{obj}(s) = \frac{K_{pi}K_2(\tau_1 s + 1)}{\tau_1 s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad \text{.....(4 分)}$$

（3）参数配合：取 $\tau_1 = T_1$ ，并令 $K_{pi}K_2 / \tau_1 = K$ ，则有

$$W(s) = \frac{K}{s(T_2 s + 1)}$$

这就是典型 I 型系统。

三、问答题（本题 24 分，每小题 8 分）

文档



- 1、试述转速反馈闭环调速系统的三个基本特征。
- 2、试述双闭环直流调速系统起动过程的三个阶段和三个特点，以及动态性能。
- 3、试回答三相异步电机应如何通过坐标变换等效成直流电机？

四、计算题（本题 36 分）

1、有一 V-M 系统，已知： $P_N = 2.8KW$ ， $U_N = 220V$ ， $I_N = 15.6A$ ， $n_N = 1500r/min$ ， $R_a = 1.5\Omega$ ， $R_{rec} = 1\Omega$ ，触发器 $K_s = 35$ 。

(1)系统开环工作时，试计算调速范围 $D=20$ 时的静差率 s 的值。

(2)当 $D=20$ ， $s=10\%$ 时，计算系统允许的稳差速降。

(3)如组成转速负反馈有静差调速系统，要求 $D=20$ ， $s=10\%$ ，在 $U_n^* = 10V$ 时， $I_d = I_N$ ， $n = n_N$

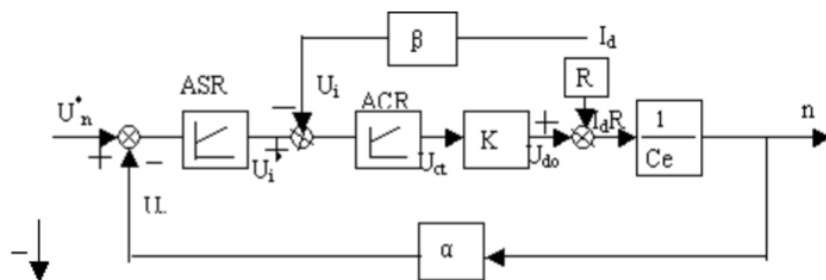
计算放大器放大系数 K_p 和 转速反馈系数 α 。

 拖拽

$R=1.5\ \Omega$ 设 $U_{rm}=U_{im}=U_{cm}=8V$ 。试求：

(1) 电流反馈系数 β 和电压反馈系数 α 。

(2)当电动机在最高转速发生堵转时的 U_{d0}, U_i^*, U_i 和 U_{ct} 值。



三、问答题 (本题 24 分 , 每小题 8 分)

1、(1) 具有比例放大器的反馈控制系统其被调量总是有静差的。

(2) 抵抗扰动与服从给定。

(3) 系统的精度依赖于给定电源和反馈检测的精度。

2、(1) 三个阶段：第 1 阶段为电流上升阶段，第 2 阶段为恒流升速阶段，第 3 阶段为转速调节阶段。

(2)三个特点：饱和非线性控制，准时间最优控制，转速超调。

(3)动态性能：动态跟随性能；动态抗扰性能。

3、三相电机的电流 i_A, i_B, i_C ,通过三相——二相变换,可以等效成两相静止坐标系下的交流电流 $i_{\alpha 1}, i_{\beta 1}$;

再通过按转子磁场定向的旋转变换，可以等效成同步旋转坐标系下的直流电流 i_{m1}, i_{t1} 。 i_{m1} 相当于励磁电流， i_{t1} 相当于与转矩成正比的电枢电流，从而构成直流电机。

四、计算题 (本题 36 分)

文档

1 . (1) 计算电动机的 C_e :

$$C_e = \frac{U_N - I_N \cdot R_a}{n_N} = \frac{220 - 15.6 \times 1.5}{1500} \approx 0.131 \quad (2 \text{ 分})$$

开环系统的静态速降为 :

$$\Delta n_N = \frac{I_N \cdot R}{C_e} = \frac{I_N (R_a + R_{rec})}{C_e} = \frac{15.6 \times (1.5 + 1)}{0.131} = 297.71 (r/min) \quad (2 \text{ 分})$$

$$s = \frac{D \Delta n_N}{n_N + D \Delta n_N} = \frac{20 \times 297.71}{1500 + 20 \times 297.71} = 0.799 = 79.9\% \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 当 $D=20$, $s=10\%$ 时 , 系统所允许的稳差速降为 :

$$\Delta n_{cl} = \frac{n_N \cdot s}{D(1-s)} = \frac{1500 \times 0.1}{20(1-0.1)} \approx 8.33 (r/min) \quad (2 \text{ 分})$$

$$K = \frac{\Delta n_N}{\Delta n_{cl}} - 1 = \frac{297.71}{8.33} - 1 = 34.74 \quad (2 \text{ 分})$$

由 $n = \frac{K_p K_s U_n^*}{C_e(1+K)} - \Delta n_{cl}$ 得 _____

$$\frac{(n + \Delta n_d) C_e (1 + K)}{K_s U_n^*} = \frac{(1500 + 8.33) \times 0.131 \times (1 + 34.74)}{35 \times 10} = 20.17 \quad (3 \text{ 分})$$

$$\alpha = \frac{K C_e}{K_s K_p} = \frac{34.74 \times 0.131}{35 \times 20.17} = 0.0064 (r \cdot \min / r) \quad (2 \text{ 分})$$

2 .

$$(1) \quad C_e = \frac{U_N - I_N \cdot R_a}{n_N} = \frac{220 - 20 \times 1.5}{1000} = 0.19 \quad (2 \text{ 分})$$

$$(2) \quad \beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} = 0.2 V / A \quad (3 \text{ 分})$$

$$\alpha = \frac{U_{nm}^*}{n_N} = 0.008 V \cdot \min / r \quad (3 \text{ 分})$$

(3) 电机在最高转速发生堵转时，转速为 $n=0$ ，则 $U_{d0} = C_e \Phi n + I_{dm} R_a = 60V$

ASR 输出电压为 $U_i^* = U_{im}^* = 8V$ ，则 $U_i = -8V$ (6 分)

ACR 输出电压为 $U_a = \frac{U_{d0}}{K_s} = 1.5V$ (3 分)