

反馈控制闭环直流调速系统的 动态数学模型

主讲人：张敬南 副教授

动态分析与设计的步骤

01 系统建模

02 系统分析（稳定性、其他动态性能）

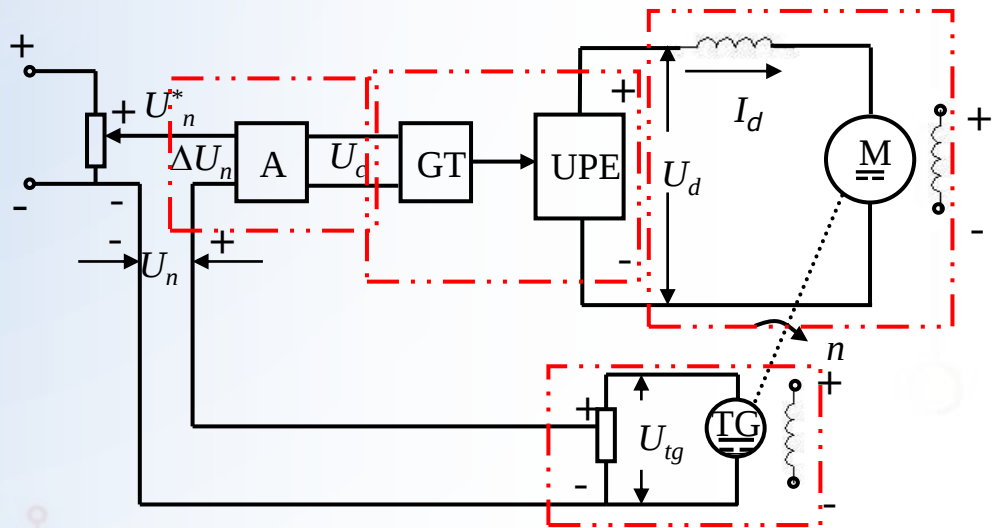
03 系统设计（校正）

主要内容

01 确定系统各环节的传递函数和动态结构图

02 系统的动态结构图和系统的传递函数

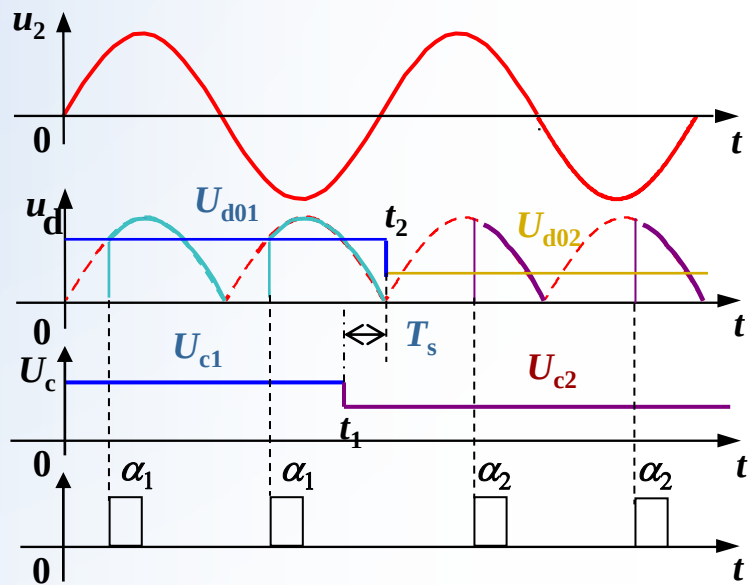
(一) 闭环系统各组成部分的传递函数



采用转速负反馈的闭环调速系统

(一) 闭环系统各组成部分的传递函数

(1) 电力电子变换器的传递函数



晶闸管触发与整流装置的失控时间

图中, T_s ——失控时间。

(一) 闭环系统各组成部分的传递函数

(1) 电力电子变换器的传递函数

最大的失控时间就是两个相邻自然换相点之间的时间：

$$T_{s \max} = \frac{1}{mf}$$

式中： f 为交流电流频率；

m 为一周内整流电压的脉冲波数。

(一) 闭环系统各组成部分的传递函数

(1) 电力电子变换器的传递函数

实际应用中, T_s 相对于整个系统的响应时间很小, 一般取 $T_{s\max}/2$ 或者 $T_{s\max}$ 作为 T_s , 并认为是常数。

各种整流电路的失控时间 ($f=50\text{Hz}$)

整流电路形式	最大失控时间 $T_{s\max}$ (ms)	平均失控时间 T_s (ms)
单相半波	20	10
单相桥式 (全波)	10	5
三相半波	6.67	3.33
三相桥式、六相半波	3.33	1.67

(一) 闭环系统各组成部分的传递函数

(1) 电力电子变换器的传递函数

用单位阶跃函数表示滞后，则电力电子变换器的传递函数为

$$W_s(s) = K_s e^{-T_s s}$$

K_s ——放大系数。

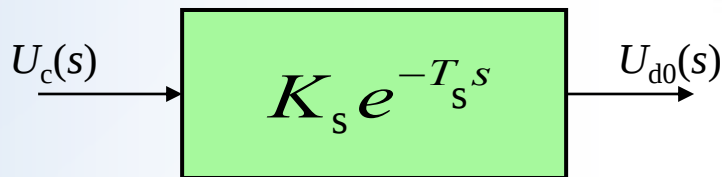
考虑到 T_s 很小，则传递函数便近似成一阶惯性环节。

$$W_s(s) \approx \frac{K_s}{T_s s + 1}$$

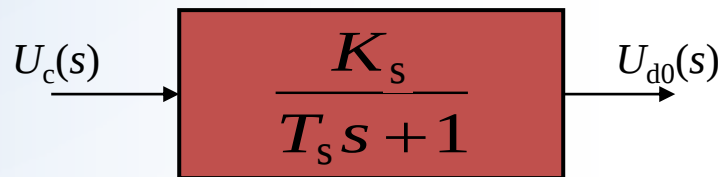
近似处理条件： $\omega_c \leq \frac{1}{3T_s}$

(一) 闭环系统各组成部分的传递函数

(1) 电力电子变换器的传递函数



(a) 准确的



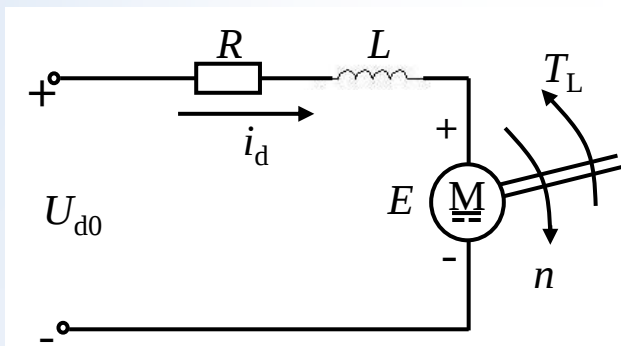
(b) 近似的

电力电子变换器的动态结构图

近似处理条件: $\omega_c \leq \frac{1}{3T_s}$

(一) 闭环系统各组成部分数学模型

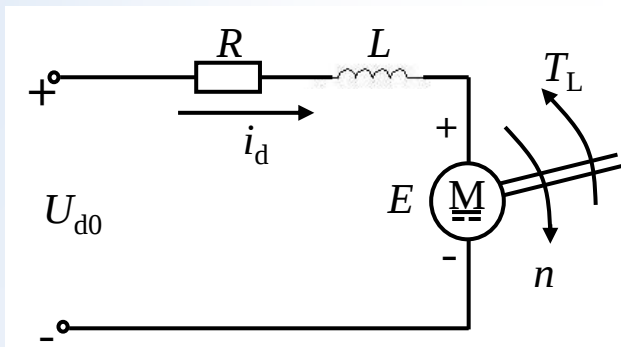
(2) 直流电动机的传递函数



$$U_{d0} = RI_d + L \frac{dI_d}{dt} + E \quad E = C_e n$$

(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数



$$U_{d0} = RI_d + L \frac{dI_d}{dt} + E \quad E = C_e n$$

$$T_e - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad T_e = C_m I_d$$

$$T_L = C_m I_{dL} \quad I_{dL} = \frac{T_L}{C_m} \text{ 为负载电流。}$$

(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

➤ 定义时间常数

$$T_l = \frac{L}{R}$$

——电枢回路电磁时间常数，s；

$$T_m = \frac{GD^2 R}{375 C_e C_m}$$

——电力拖动系统机电时间常数，s。

(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

➤ 直流电动机的微分方程

$$U_{d0} - E = R(I_d + T_l \frac{dI_d}{dt})$$

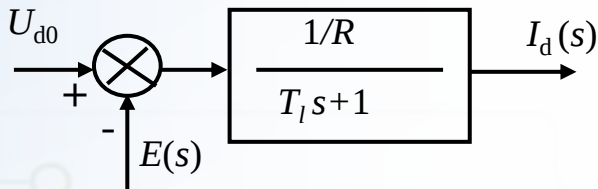
$$I_d - I_{dL} = \frac{T_m}{R} \frac{dE}{dt}$$

(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

$$U_{d0} - E = R(I_d + T_l \frac{dI_d}{dt})$$

$$\frac{I_d(s)}{U_{d0}(s) - E(s)} = \frac{1}{T_l s + 1}$$

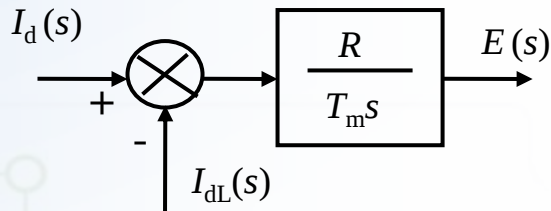


(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

$$I_d - I_{dL} = \frac{T_m}{R} \frac{dE}{dt}$$

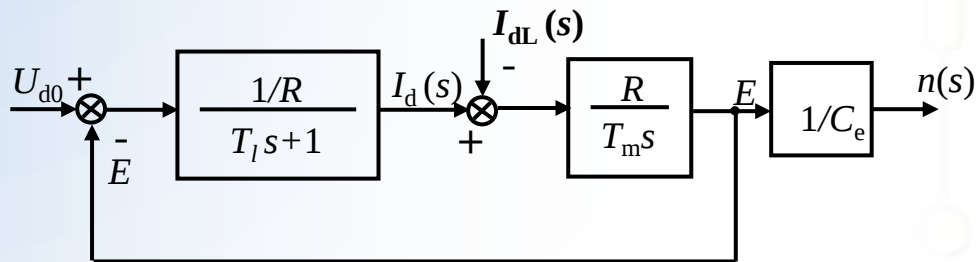
$$\frac{E(s)}{I_d(s) - I_{dL}(s)} = \frac{R}{T_m s}$$



(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

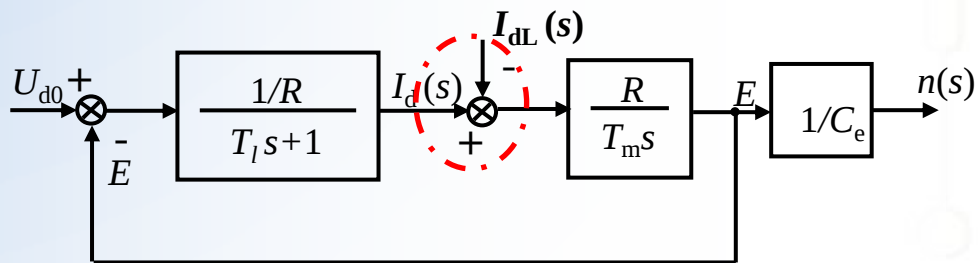
➤ 直流电动机的动态结构图



(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

➤ 直流电动机的动态结构图

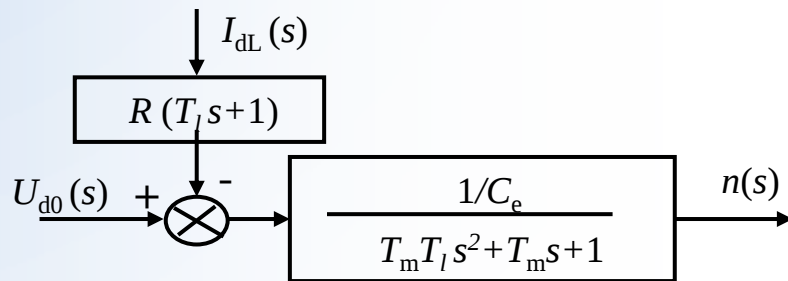


综合点前移。

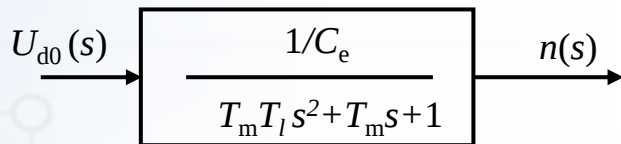
(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(2) 直流电动机的传递函数

➤ 直流电动机的动态结构图



当不考虑负载扰动时，可获得：



(一) 闭环系统各组成部分数学模型

(3) 控制与检测环节的传递函数

➤ 放大器

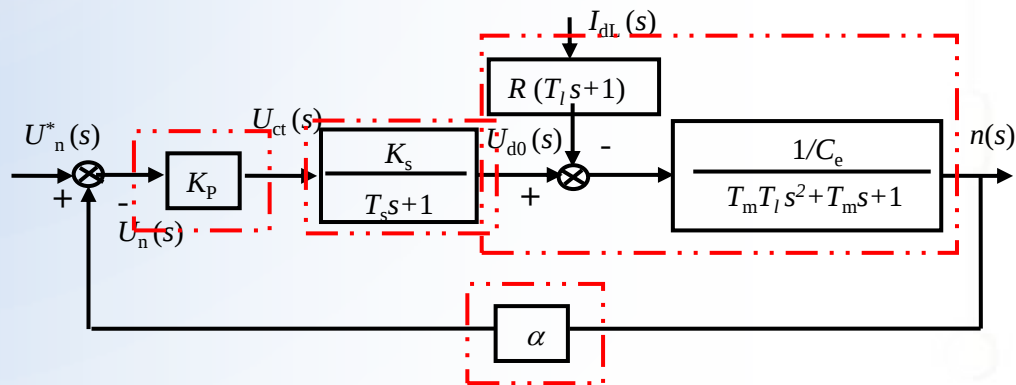
$$W_a(s) = \frac{U_c(s)}{\Delta U_n(s)} = K_p$$

➤ 测速反馈

$$W_{fn}(s) = \frac{U_n(s)}{n(s)} = \alpha$$

(二) 闭环调速系统的传递函数

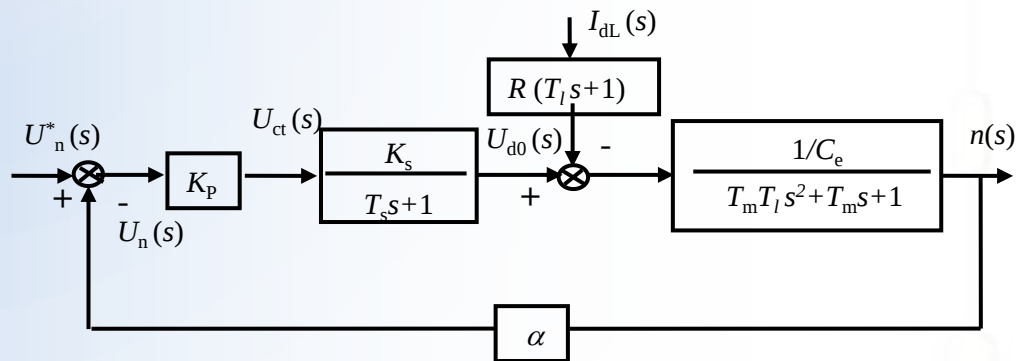
(1) 闭环调速系统的动态结构图



反馈控制闭环调速系统的动态结构图

(二) 闭环调速系统的传递函数

(2) 闭环调速系统的开环传递函数



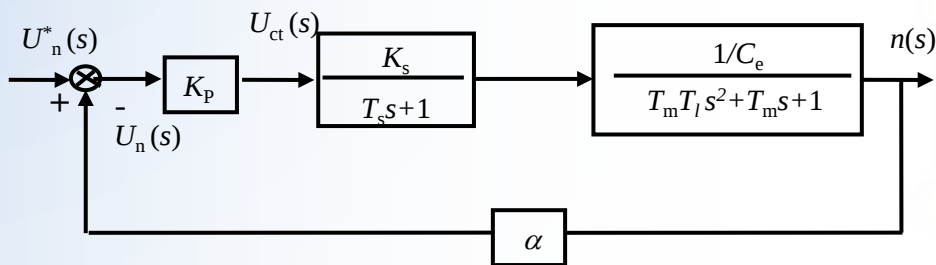
开环传递函数:

$$W(s) = \frac{K}{(T_s s + 1)(T_m T_l s^2 + T_m s + 1)}$$

(二) 闭环调速系统的传递函数

(3) 闭环调速系统的闭环传递函数

设 $I_{dl}=0$ ，从给定输入作用上看，闭环直流调速系统的闭环传递函数为：

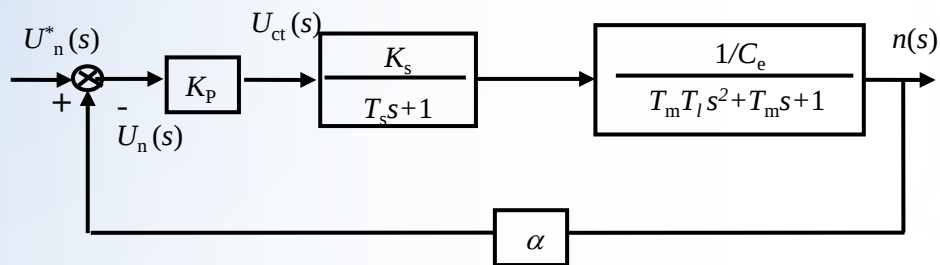


$$W_{cl}(s) = \frac{\frac{K_p K_s}{C_e}}{1 + \frac{K_p K_s \alpha / C_e}{(T_s s + 1)(T_m T_l s^2 + T_m s + 1)}}$$

(二) 闭环调速系统的传递函数

(3) 闭环调速系统的闭环传递函数

设 $I_{dl}=0$ ，从给定输入作用上看，闭环直流调速系统的闭环传递函数为：



$$W_{cl}(s) = \frac{\frac{K_p K_s}{C_e(1+K)}}{\frac{T_m T_l T_s}{1+K} s^3 + \frac{T_m(T_l + T_s)}{1+K} s^2 + \frac{T_m + T_s}{1+K} s + 1}$$

主要内容

01 确定系统各环节的传递函数和动态结构图

02 系统的动态结构图和系统的传递函数

反馈控制闭环直流调速系统的 动态数学模型

主讲人：张敬南 副教授