

---

# 运动控制系统

## 第4章

### 转速、电流双闭环控制的直流调速系统

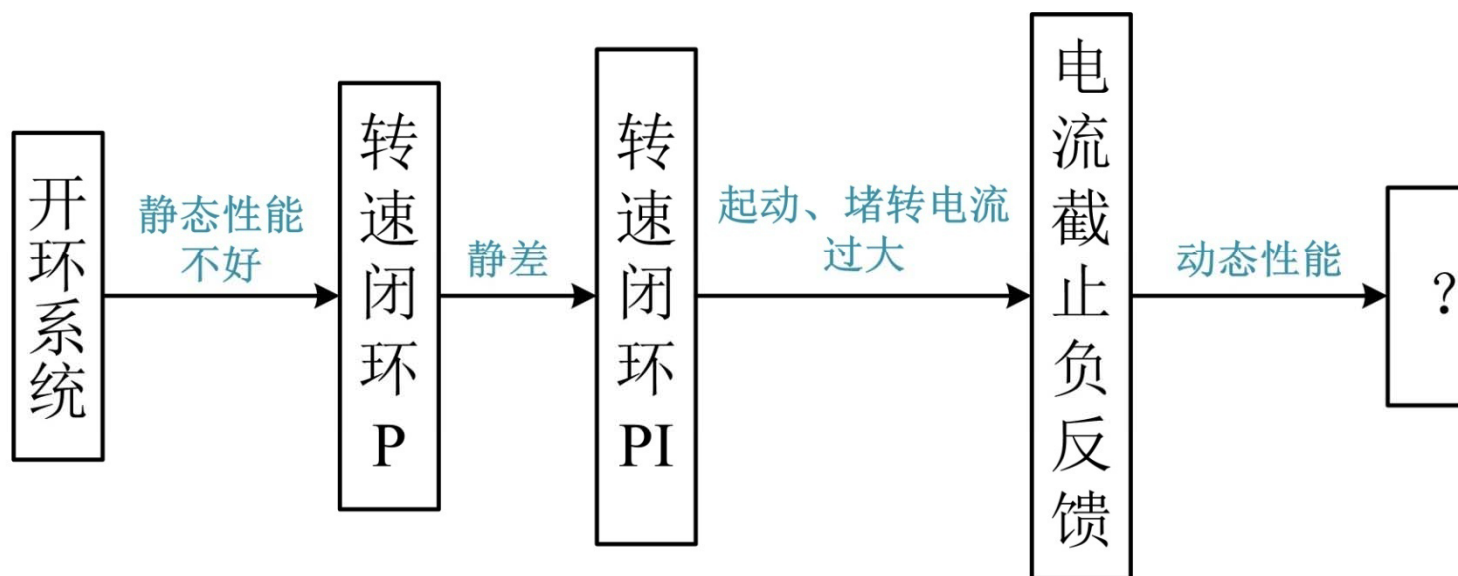
---

---

## ■ 首先要搞清两个问题：

- 为什么要采用转速、**电流**双闭环？
- 为什么要设置两个调节器-----转速调节器和**电流调节器**

# 问题的提出



**动态性能要求:**对于经常正、反转运行的调速系统，缩短起、制动过程的时间是提高生产率的重要因素。

# 如何控制动态性能？

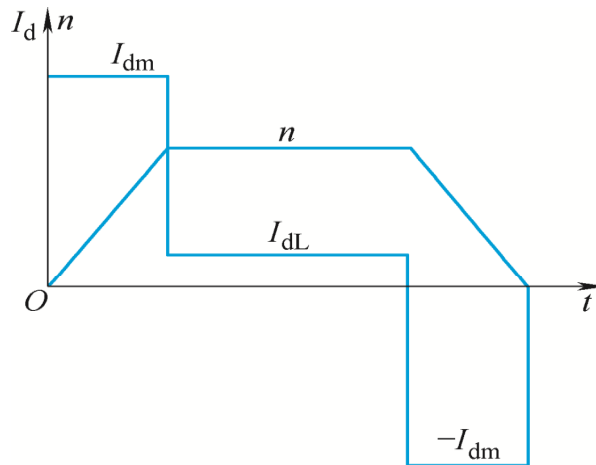
- 电力拖动系统的运动方程：

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

- 结论：要得到好的动态性能，必须控制好转矩，即控制好电流。

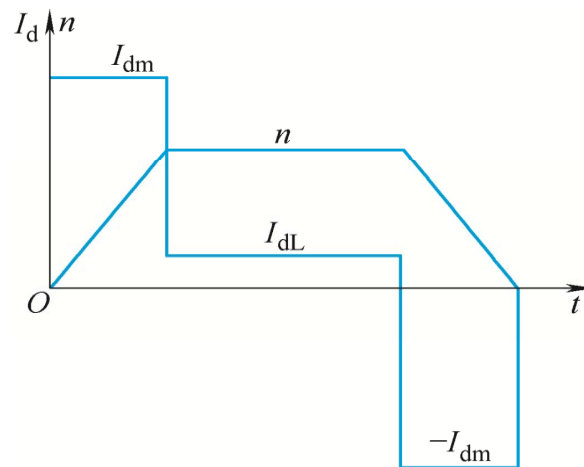
## 时间最优的理想过渡过程

- 在起动（或制动）过渡过程中，希望始终保持电流（电磁转矩）为允许的最大值，使调速系统以最大的加（减）速度运行。
- 当到达稳态转速时，最好使电流立即降下来，使电磁转矩与负载转矩相平衡，从而迅速转入稳态运行。

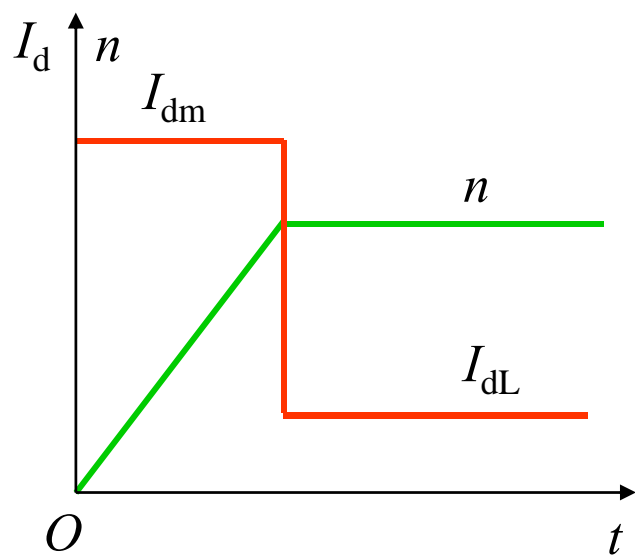


# 单闭环系统的问题

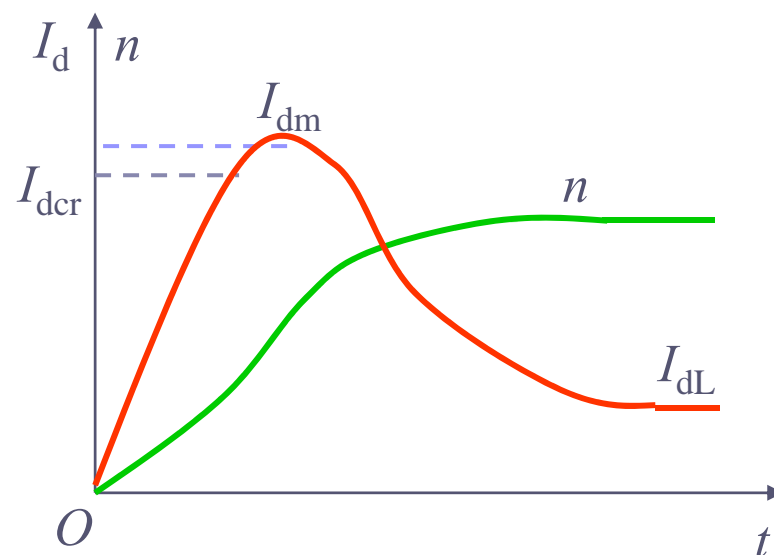
- 转速单闭环系统不能控制电流（或转矩）的动态过程。
- 电流截止负反馈环节只是用来限制电流的冲击，并不能很好地控制电流的动态波形。



# 理想的起动过程

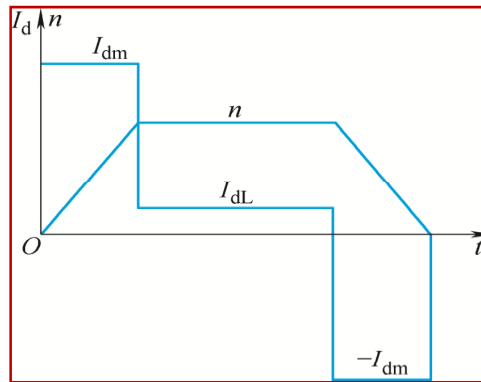


a) 理想的快速起动过程



b) 带电流截止负反馈的单闭环调速系统

## 解决思路



- ❑ 为了实现在允许条件下的最快起动，关键是要获得一段使电流保持为最大值  $I_{dm}$  的恒流过程。
- ❑ 按照反馈控制规律，采用某个物理量的负反馈就可以保持该量基本不变，那么，采用电流负反馈应该能够得到近似的恒流过程。
- ❑ 在系统中设置两个调节器，分别引入转速负反馈和电流负反馈以调节转速和电流。



### 4.1.1 转速、电流反馈控制直流调速系统的组成

- 两个调节器在系统中如何连接？系统结构是怎样的？电流调节器的输入-电流给定如何确定呢？
- 把转速调节器的输出当作电流调节器的输入，再用电流调节器的输出去控制电力电子变换器UPE。
- 从闭环结构上看，电流环在里面，称作内环；转速环在外边，称作外环。形成了转速、电流反馈控制直流调速系统（简称双闭环系统）。

## 转速、电流反馈控制直流调速系统原理图

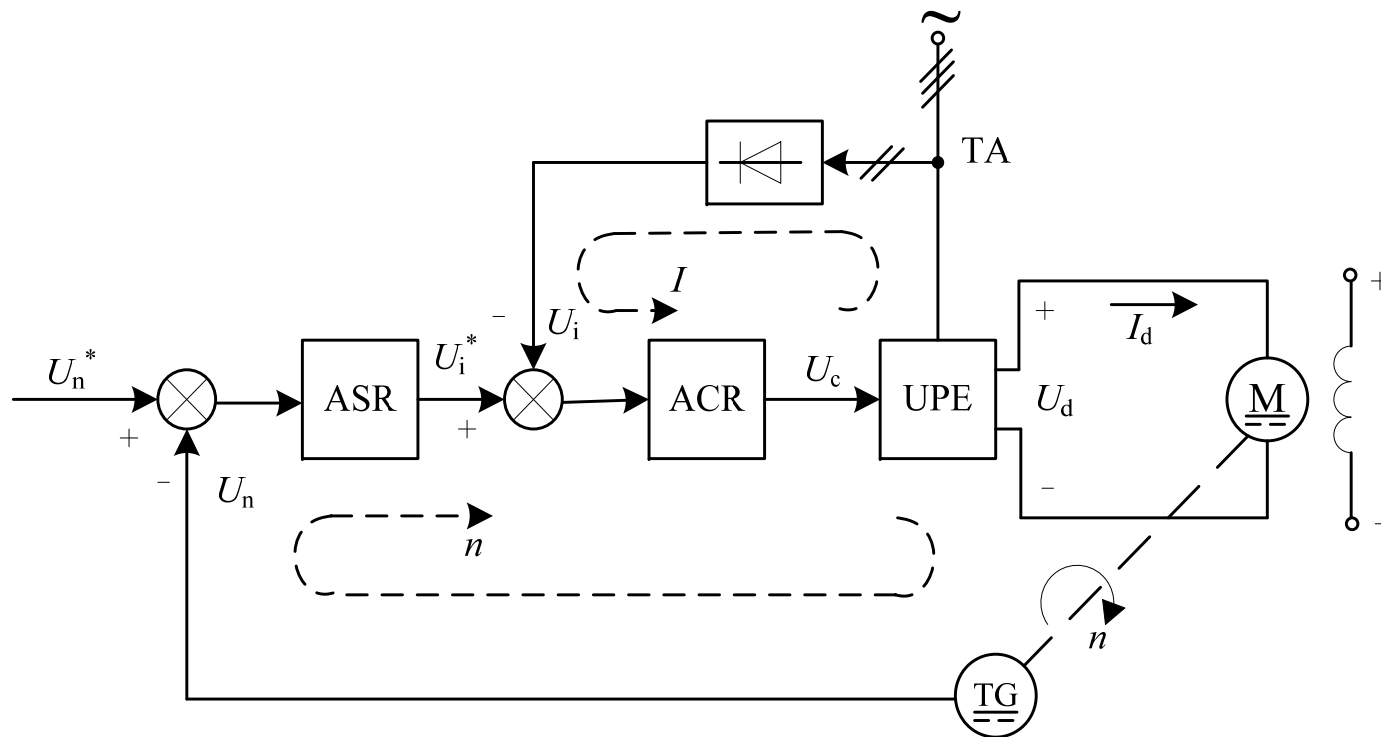
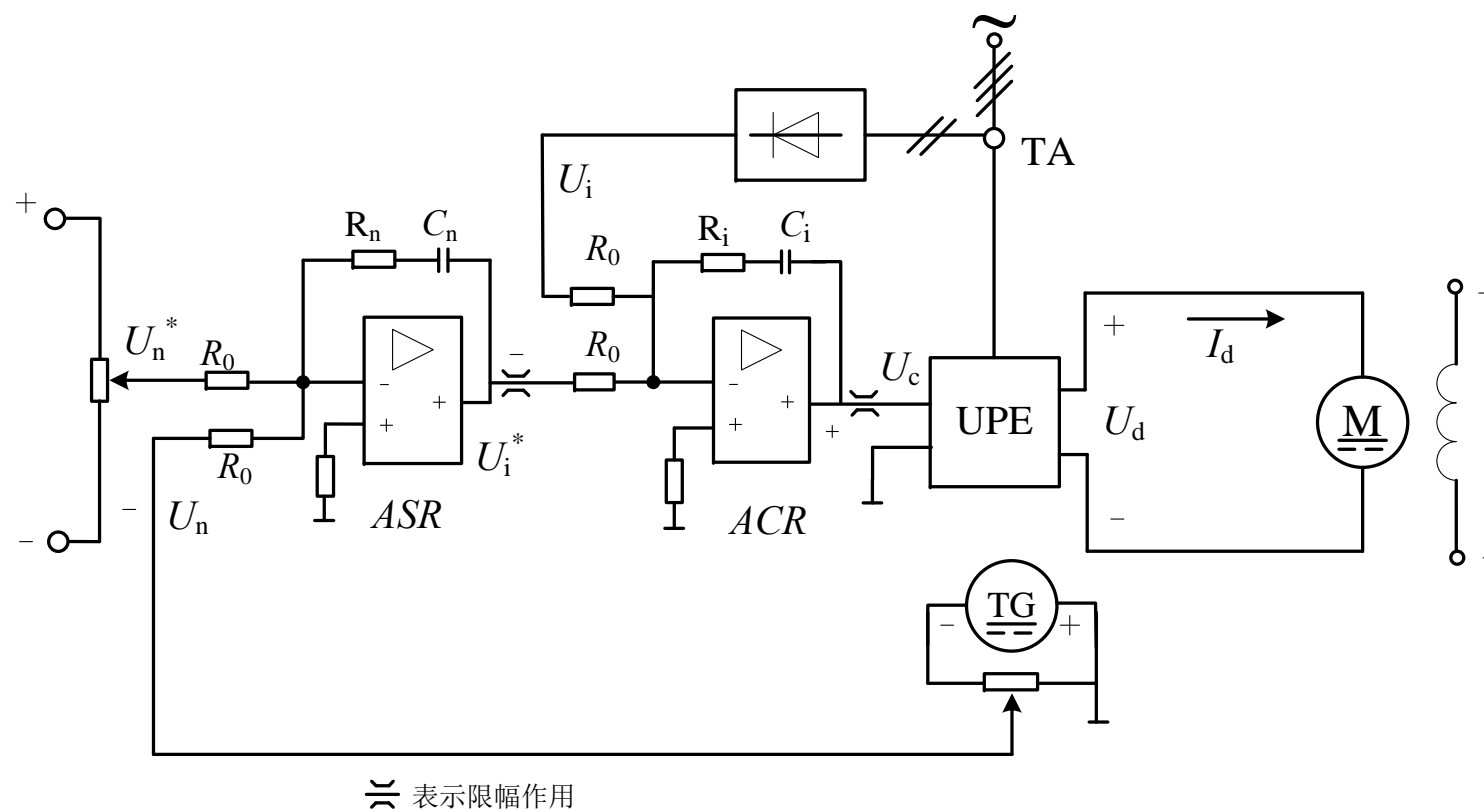


图4-2(b) 双闭环直流调速系统电路原理图



## 4.1.2 稳态结构图与参数计算

系统稳态的特征？

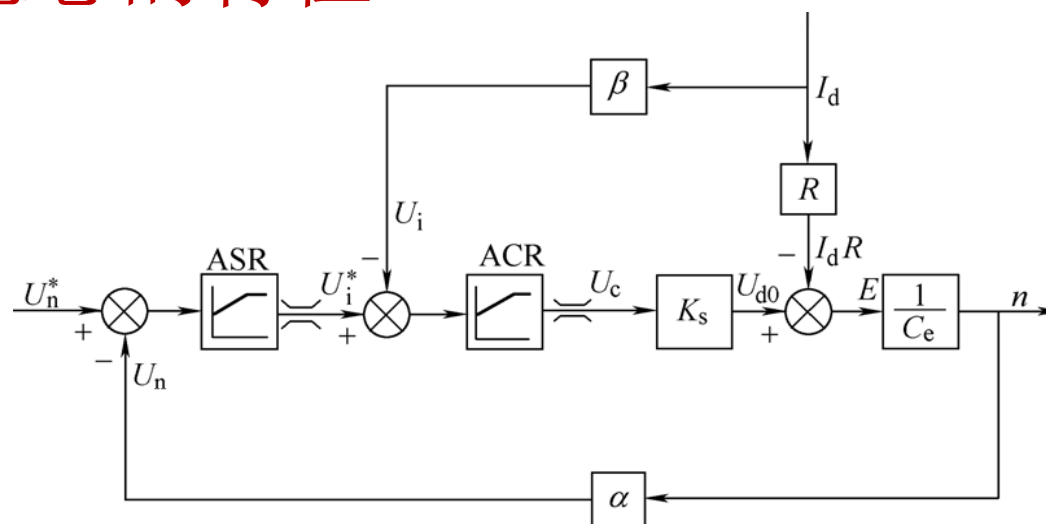


图4-3 双闭环直流调速系统的稳态结构图  
 $\alpha$ ——转速反馈系数  $\beta$ ——电流反馈系数

## 1. 稳态结构图和静特性

- 转速调节器ASR的**输出限幅电压**决定了电流给定的最大值，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。
- 对于静特性来说，只有转速调节器饱和与不饱和两种情况，**设计合理的**电流调节器不进入饱和状态。
- 当调节器饱和时，输出达到限幅值，输入量的变化不再影响输出，除非有反向的输入信号使调节器退出饱和；
- 当调节器不饱和时，**PI**调节器工作在线性调节状态，其作用是使输入偏差电压在稳态时为零。

# (1) 转速调节器不饱和

- 两个调节器都不饱和，稳态时，它们的输入偏差电压都是零，即转速、电流均无静差。

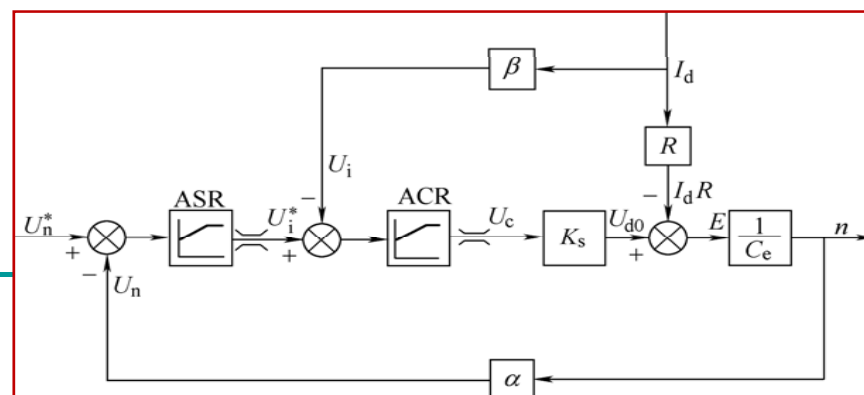
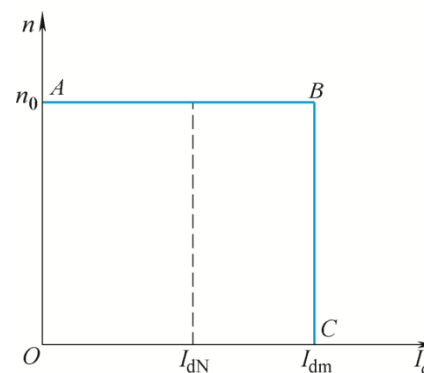
$$U_n^* = U_n = \alpha n = \alpha n_0$$

$$U_i^* = U_i = \beta I_d$$

■

$$n = \frac{U_n^*}{\alpha} = n_0 \quad (4-1)$$

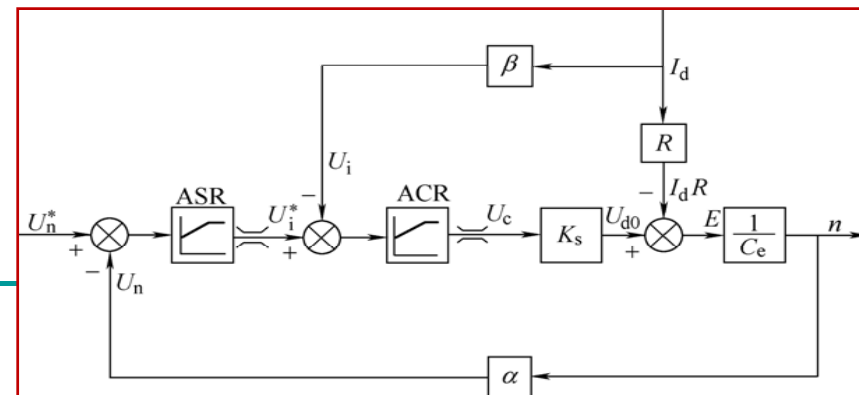
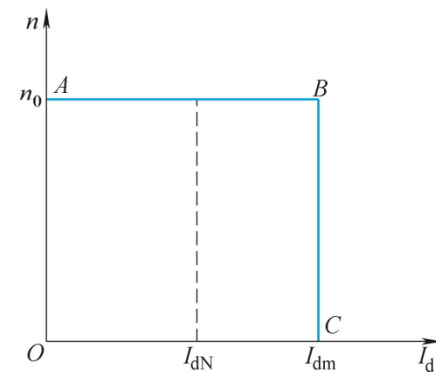
$$I_d < I_{dm}$$



## (2) 转速调节器饱和

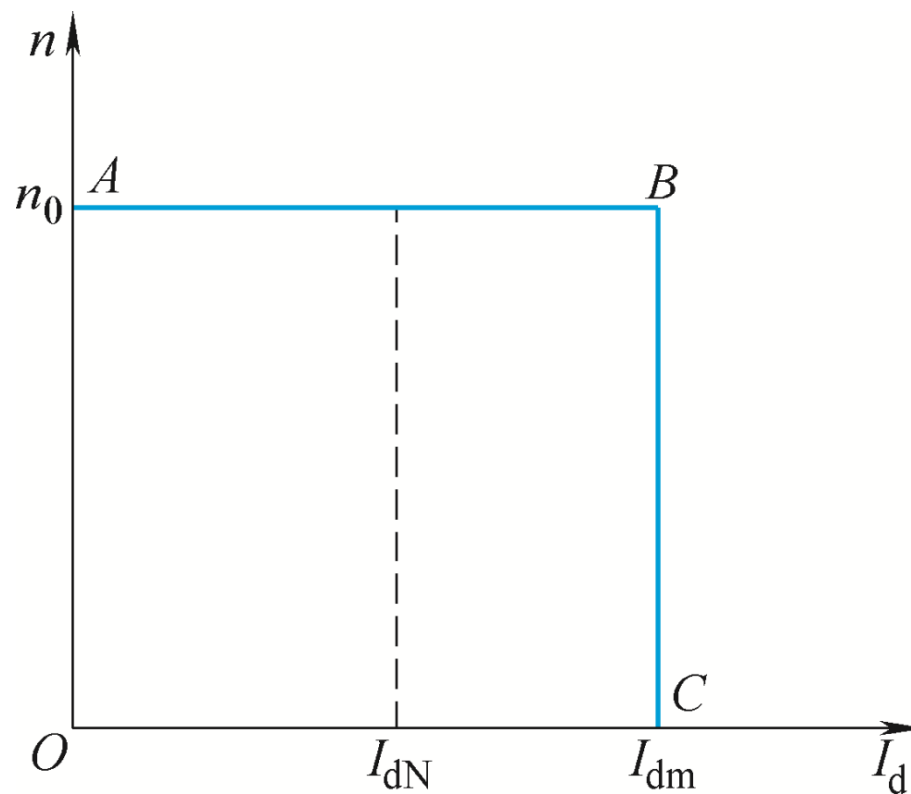
- **ASR**输出达到限幅值时，转速外环呈开环状态，转速的变化对转速环不再产生影响。
- 双闭环系统变成一个电流无静差的单电流闭环调节系统。稳态时

$$I_d = \frac{U_{im}^*}{\beta} = I_{dm} \quad (4-2)$$



## 双闭环直流调速系统的静特性

- **AB**段是两个调节器都不饱和时的静特性,  $I_d < I_{dm}$ ,  $n = n_0$ 。
- **BC**段是ASR调节器饱和时的静特性,  $I_d = I_{dm}$ ,  $n < n_0$ 。





## 静特性分析

- 在负载电流小于 $I_{dm}$ 时表现为转速无静差，转速负反馈起主要调节作用。
- 当负载电流达到 $I_{dm}$ 时，转速调节器为饱和输出 $U_{im}^*$ ，电流调节器起主要调节作用，系统表现为电流无静差。
- 采用两个PI调节器形成了内、外两个闭环的效果。
- 当ASR处于饱和状态时， $I_d = I_{dm}$ ，若负载电流减小， $I_{dL} < I_{dm}$ ，使转速上升， $n > n_0$ ， $\Delta n < 0$ ，ASR反向积分，使ASR调节器退出饱和。

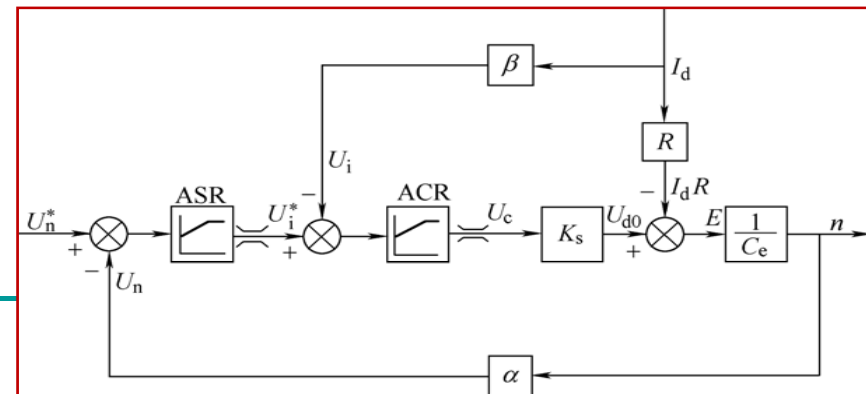
## 2. 各变量的稳态工作点和稳态参数计算

- 双闭环调速系统在稳态工作中，当两个调节器都不饱和时，各变量之间有下列关系

$$U_n^* = U_n = \alpha n = \alpha n_0 \quad (4-3)$$

$$U_i^* = U_i = \beta I_d = \beta I_{dL} \quad (4-4)$$

$$U_c = \frac{U_{d0}}{K_s} = \frac{C_e n + I_d R}{K_s} = \frac{C_e U_n^* / \alpha + I_{dL} R}{K_s} \quad (4-5)$$



- 
- 根据各调节器的给定与反馈值计算有关的反馈系数:

- 转速反馈系数

$$\alpha = \frac{U_{nm}^*}{n_{\max}} \quad (4-6)$$

- 电流反馈系数

$$\beta = \frac{U_{im}^*}{I_{dm}} \quad (4-7)$$

- 两个给定电压的最大值 $U_{nm}^*$ 和 $U_{im}^*$ 由设计者选定。
-