



浙江大学电气工程学院

电机与拖动

主讲：卢琴芬

6

他励直流电动机的调速

一、直流他励电动机的调速特性

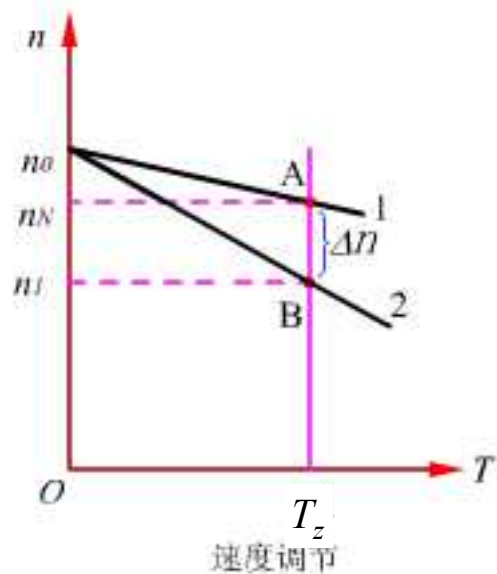
调速方法 { **机械调速：**电动机 n 不变，改变传动机构的速比
电机调速：人为改变电动机的参数，使同一个机械负载得到不同的转速。

直流电动机不仅有良好的起动、制动性能，而且具有非常好的调速性能，因而在电力拖动系统中得以应用。

1.速度调节和速度变化 调速（又称速度调节）与速度变化是两个完全不同的概念

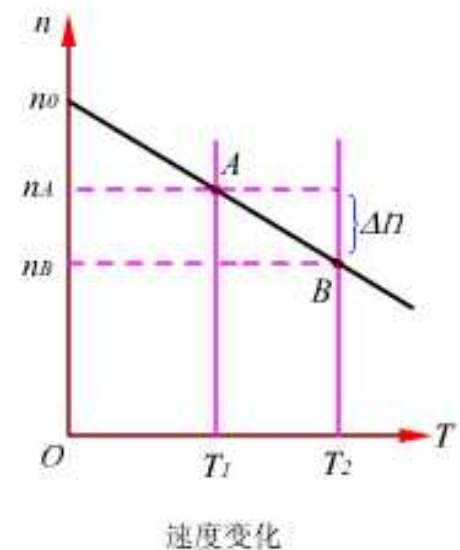
电动机的调速是在一定的负载条件下，人为地改变电动机的电路参数，以改变电动机的稳定转速。

这种转速的变化是人为改变（或调节）电枢回路的电阻大小所造成的，故称**调速或速度调节**。



在负载转矩一定时，若电动机工作在特性1上的A点，则以 n_A **转速**稳定运行；
若人为地增加电枢回路的电阻，则电动机工作在特性曲线2，速度将降至特性2上的B点，以 n_B **转速**稳定运行。

速度变化是指由于电动机的负载转矩发生变化（增大与减小）而引起电动机转速的变化（下降或上升）。



当负载转矩由 T_1 增加到 T_2 时，电动机的转速由 n_A 降低到 n_B ，它是沿某一条机械特性发生的转速变化。

速度变化是在某条机械特性上，由于负载改变而引起的；**速度调节**则是在某一特定的负载下，靠人为改变机械特性而得到的。

二、他励电动机的调速方法

1. 电枢回路串电阻调速 R_Ω

设备简单，操作方便

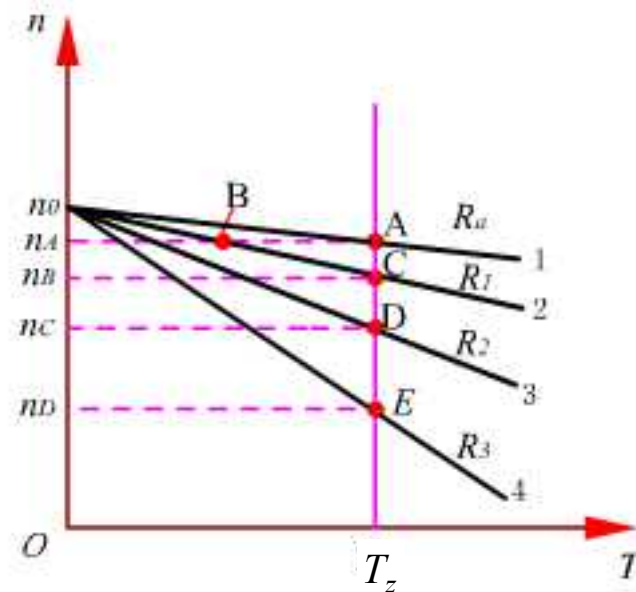
保持 $U = U_N, \phi = \phi_N$, 仅在电枢回路串入 R_Ω (调速电阻), 使同一负载得到不同转速的方法

$$n = \frac{U_N}{C_e \phi_N} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_M \phi_N^2} \cdot T = n_0 - \beta \cdot T$$

同一 T , 串入电阻 R_Ω 越大, 则稳定转速越低, 从而达到调速的目的, 而且是低于 n_N 的方向调节

$$\begin{aligned} U &= E_a + I_a (R_a + R_\Omega) \Rightarrow I_a^2 (R_a + R_\Omega) = U_N I_a - E_a I_a \\ &= U_N I_a \left(1 - \frac{E_a}{U_N} \right) = U_N I_a \left(1 - \frac{n}{n_0} \right) \end{aligned}$$

当 $n = \frac{n_0}{2}$ 时, $I_a^2 (R_a + R_\Omega) = 0.5 U_N I_a$
 $\Rightarrow$ 电网输入功率的一半 $\Rightarrow n \downarrow, p \uparrow$



他励电动机电枢回路串电阻的调速特性

- (1) 在空载或轻载时, 调速效果不明显
- (2) 在低速时 (即 R_Ω 很大时, 机械特性很软, 当负载变化时, 转速波动很大)
- (3) 由于 R_Ω 的截面大, 只能分段调节, 有级调速, 速度调节不平滑
- (4) I_a 在 R_Ω 上消耗的能量大, 调速时效率低。

2.降低端电压调速

保持 $\phi = \phi_N, R_\Omega = 0$,

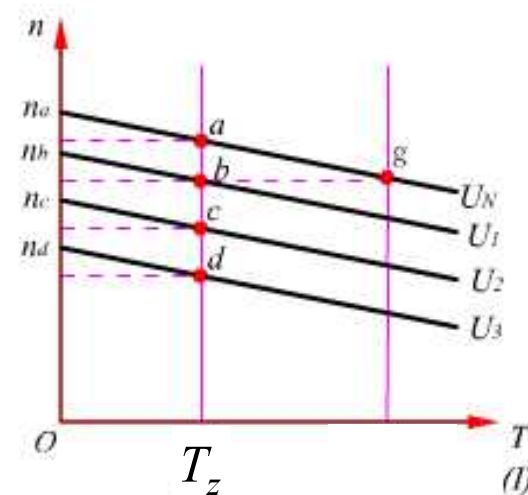
仅改变 U 来达到调速目的,称为降压调速

$U_N > U_1 > U_2 > U_3$ 一族相互平行的直线

同一负载 T_z , U 低, n 也低, 低于 n_N 方向调节

特点:

- (1) 空载或满载, 都有明显的调速效果
- (2) 硬度不变, 低速时由于负载变化引起的转速波动不大, 所以静态稳定性好, 调速范围广。
- (3) 无级调速
- (4) 调节过程中能量损耗小



他励电动机改变电枢电压调速的特性

优点:

起动能量损耗小,
停机可采用回馈制动,
能在较大范围实现无级调速

缺点: 设备复杂, 投资大

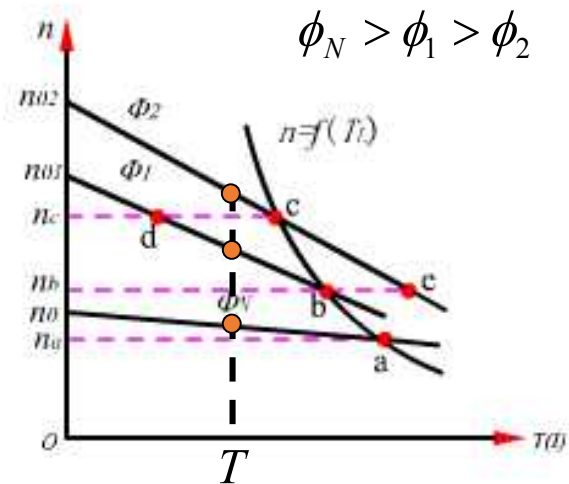
3.减弱磁通调速

$U = U_N$, 且 $R_\Omega = 0$, 仅减少 I_f 使 ϕ 减少来调速

曲线特性: ϕ 减小, 理想空载转速升高, 斜率增加

调速方向: 同一负载 T_z , ϕ 低, n 升高, 高于 n_N 方向调节

调速优点: 功率小的回路里调节, 控制方便,
能量损耗小, 无级调速



改变主磁通 ϕ 调速的特性

普通电机 最高转速 $n_{\max} = (1.2 \sim 2)$, 调速不大, 与降压调速配合使用

特殊电机 额定转速较低, 最高转速 $n_{\max} = (3 \sim 4)n_N$

$$P_N = C \cdot D^2 l \cdot n_N$$

例：2-5 已知额定数据，忽略电枢反应

$$\Rightarrow I_{aN} = 12.5 A, C_e \phi_N$$

1

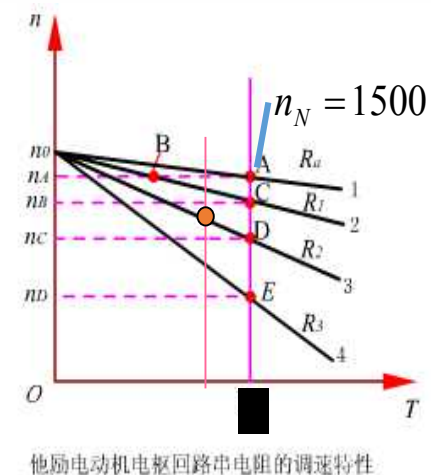
其它不变, $T_z = 0.8 T_N$, $n = 1000 \text{ r/min}$

$$\Rightarrow R_\Omega = ?$$

$$T_z = 0.8 T_N \Rightarrow I_a = 0.8 I_{aN}$$

$$E_a = C_e \phi_N n$$

$$\Rightarrow R_\Omega = \frac{U_N - E_a}{I_a}$$



2

$T_z = T_N$, 额定运行时励磁回路断线, $\phi' = 0.04 \phi_N$, 系统加速或减速?
稳定后电流与转速?

$$E_a = C_e \phi n_N = 0.04 E_N = 0.04 \times 210 = 8.4$$

$$\Rightarrow I_a = \frac{U_N - E_a}{R_a} = \frac{220 - 8.4}{0.8} = 264.5$$

$$\Rightarrow \frac{T}{T_z} = \frac{C_M \phi' I_a}{C_M \phi_N I_{aN}} = 0.04 \frac{264.5}{12.5} = 0.8464$$

$$\Rightarrow T < T_z, \text{ 减速}$$

$$\Rightarrow E_a \downarrow, T \uparrow$$

$$\Rightarrow n=0, E_a=0 \Rightarrow I_a = \frac{U_N}{R_a} = \frac{220}{0.8} = 275 \Rightarrow \frac{T}{T_N} = \frac{C_M \phi_N I_{aN}}{C_M \phi' I_a} = 0.04 \frac{275}{12.5} = 0.88$$

$$\Rightarrow \text{停转}$$

3

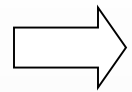
$T_z=0.5T_N$ ，运行时励磁回路断线， $\phi'=0.04\phi_N$ ，系统加速或减速？
稳定后电流与转速？

$$T = 0.5T_N \Rightarrow I_a = 0.5I_{aN} = 6.25$$

$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \phi_N} = \frac{220 - 6.25 \times 0.8}{0.14} = 1535.7$$

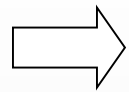
$$E_a = C_e \phi n = 0.04 \times 0.14 \times 1535.7 = 8.6 \Rightarrow I_a = \frac{U_N - E_a}{R_a} = \frac{220 - 8.6}{0.8} = 264.25$$

$$\Rightarrow \frac{T}{T_z} = \frac{C_M \phi' I_a}{0.5 C_M \phi I_{aN}} = 0.04 \frac{264.25}{6.25} = 1.69 \Rightarrow T > T_z, \text{加速} \Rightarrow E_a \uparrow, T \downarrow$$

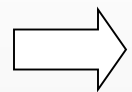


$$T = T_z, C_M \phi' I_a = 0.5 C_M \phi_N I_{aN},$$

$$I_a = \frac{0.5 I_N}{0.04} = \frac{6.25}{0.04} = 156.25$$



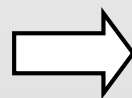
$$n = \frac{U - I_a R_a}{C_e \phi'} = \frac{220 - 156.25 \times 0.8}{0.04 \times 0.14} = 16964$$



飞车

$$n = \frac{U_N}{C_e \phi} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_M \phi^2} \cdot T = n_0 - \beta \cdot T$$

ϕ_r 很小 $\Rightarrow n_0$ 很大, β 很大

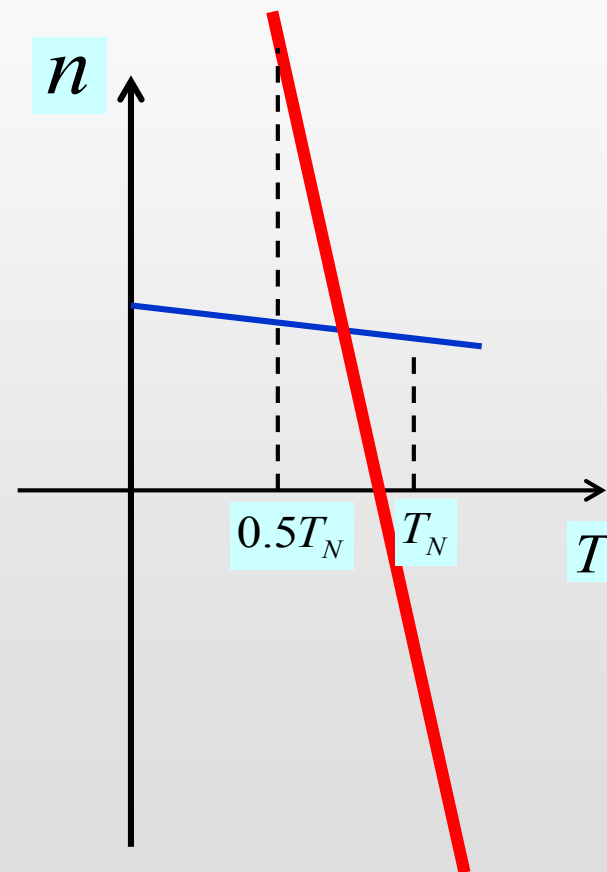


停车, 电流过大, 烧毁

飞车, 破坏机械结构



避免励磁回路断线



三、评价调速方法的主要指标

1.调速范围

额定负载下，调速所达到的 $n_{\max}$ 与 $n_{\min}$ 之比，称为**调速范围**

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} \bigg|_{T=T_N}$$

根据实际情况，选择合适的调速范围。

- 轧钢机： $D=3\sim120$
- 车床主轴： $D=20\sim120$
- 精密机床： $D=1\sim10000$
- 风机： $D=2$ 左右

2.静差度

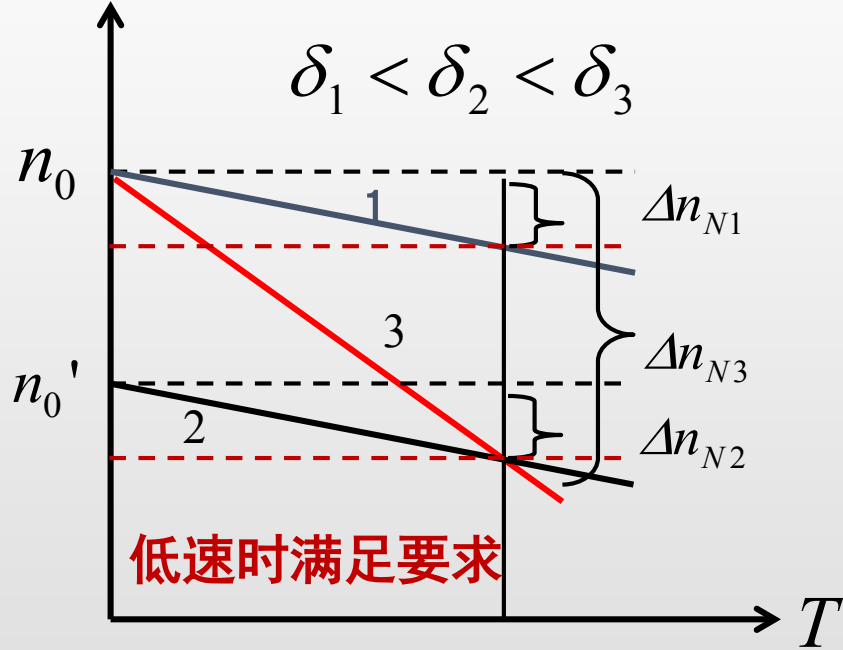
电动机在某一条机械特性上运行，额定负载的转速降与该机械特性的理想

空载转速之比

$$\delta = \Delta n_N / n_0$$

硬度 $=1/\beta$ $\begin{cases} \text{硬度相同, 则 } n_0 \text{ 越低, } \delta \text{ 越大} \\ n_0 \text{ 相同, 硬度越大, } \delta \text{ 越小} \end{cases}$

衡量电力拖动系统相对稳定性的一个重要指标，
其值大，则转速波动大，要求其值小于某一允许值。

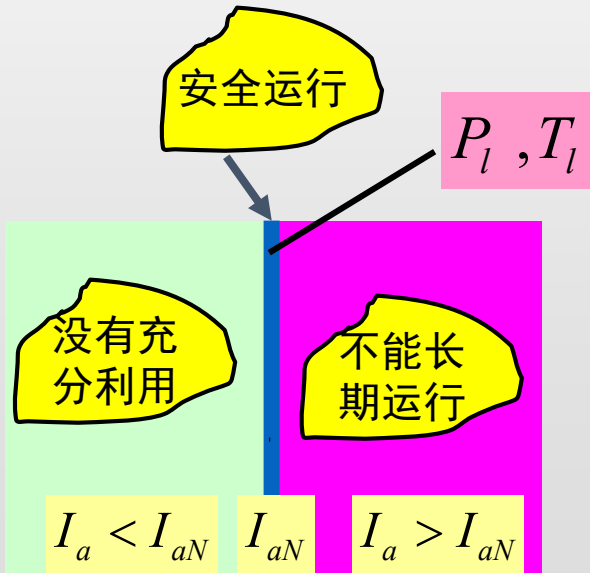


5.调速时的经济性

3.调速平滑性

相邻两级的转速越接近，则平滑性越好，
 $\psi = n_i / n_{i-1}$ ，越接近1，平滑性越好
 $\psi < 1.06$, 认为连续可调，无级调速

4.调速时的电动机的容许输出

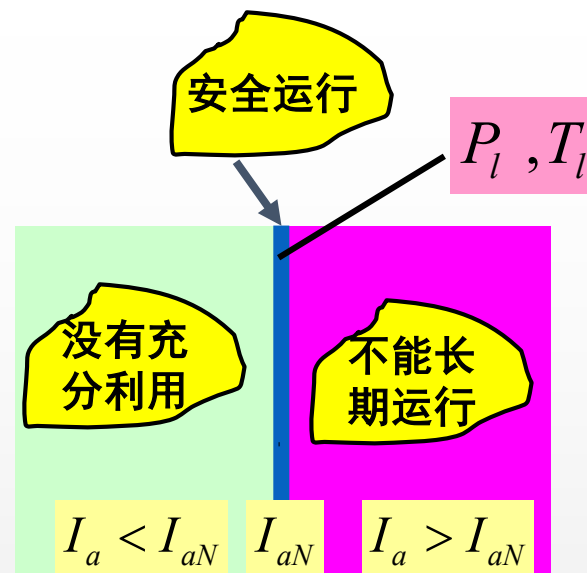


四、调速方式

电机能否长期运行，主要取决于 I_a

P_l , T_l 称为调速时容许输出功率与转矩

调速方式：表征在整个调速范围内 P_l , T_l 与转速 n 的关系



1. 恒转矩调速方式 (降压调速与串电阻调速)

$$\begin{aligned}\phi &= \phi_N \\ I_a &= I_{aN}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}T_l &= C_M \phi_N I_{aN} = T_N \\ P_l &= \frac{T_l \cdot n}{9550} = \frac{T_N \cdot n}{9550} = k_1 n\end{aligned}$$

整个调速范围内 $T_l = T_N$ 为常数，
故称为**恒转矩调速方式**

2. 恒功率调速方式 (弱磁调速)

$$I_a = I_{aN}$$

$$\phi = \frac{U_N - I_a R_a}{C_e n} = \frac{k_2}{n}$$

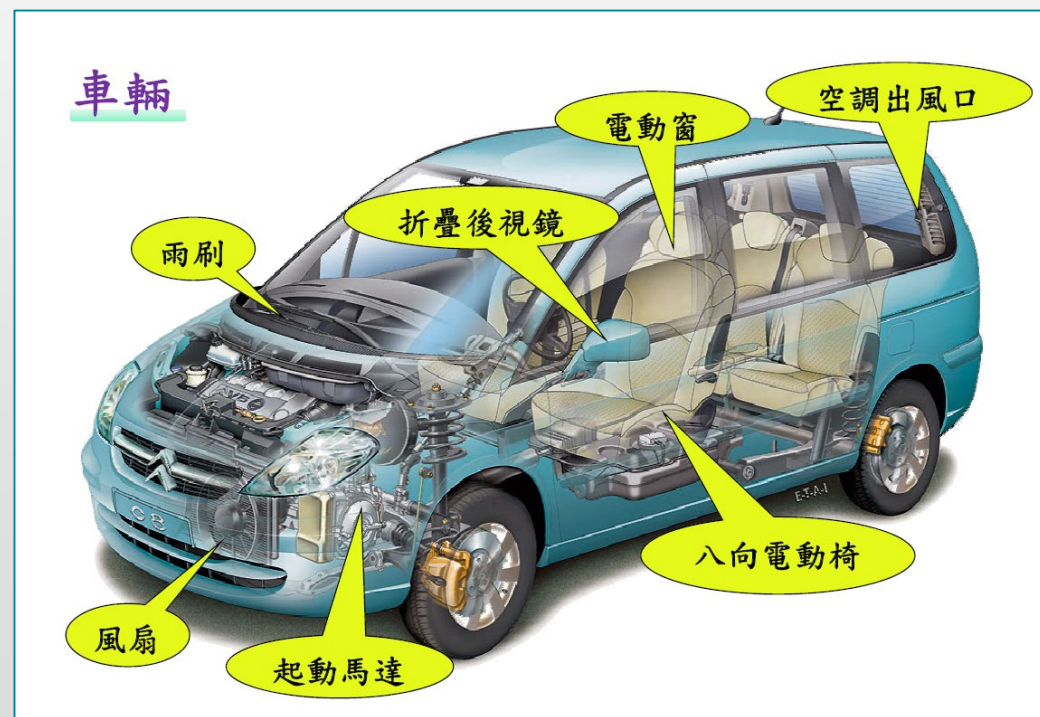


$$\begin{aligned}T_l &= C_M \phi I_{aN} = C_M \frac{k_2}{n} I_{aN} = \frac{k_3}{n} \\ P_l &= \frac{T_l n}{9550} = \frac{k_3}{n} \frac{n}{9550} = k_4\end{aligned}$$

整个调速范围内 P_l 为常数，
故称为**恒功率调速方式**

电机调速时的利用限度，仅表示容许输出的转矩与功率，不一定是电机的实际输出

直流电机的应用





洗衣机，空调





浙江大学电气工程学院

T H A N K S

主讲：浙江大学卢琴芬