



§2-1 他励直流电动机的机械特性

§2-2 典型的负载转矩特性

§2-3 电力拖动系统的运行分析

§2-4 他励直流电动机的起动

§2-5 他励直流电动机的制动运行状态

§2-6 他励直流电动机的转速调节

本章教学基本要求

1. 掌握他励直流电动机的机械特性，能绘制固有机械特性曲线和人为机械特性曲线；
2. 掌握他励直流电动机的串电阻启动方法，并能设计与计算启动电阻；
3. 掌握他励直流电动机的电动与制动；
4. 掌握他励直流电动机的电枢串电阻调速、调电压调速等方法；
5. 熟悉调速方法与负载性质的匹配问题。

他励直流电动机拖动系统的起
动、制动、调速运行基本规律。

直流电动机的机械特性

表征电动机运行状态的两个主要物理量是转速 n 和电磁转矩 T 。电动机的机械特性就是研究电动机的转速 n 和电磁转矩 T 之间的关系，即 $n=f(T)$ 。

- ## 直流电动机的固有机机械特性

固有机机械特性是指电动机的工作电压、励磁磁通为额定值、电枢回路中没有串附加电阻时的机械特性。

- ## 直流电动机的人为机械特性

为了满足生产机械加工工艺的要求，例如起动、调速和制动等到各种工作状态的要求，还需要人为地改变电动机的参数，如电枢电压、电枢回路电阻和励磁磁通，相应得到的机械特性即是人为机械特性。

他励直流电动机的机械特性

电动机的机械特性是指电动机的电磁转矩 T 与转速 n 的关系，即 $n = f(T)$ 。

一、他励直流电动机机械特性的一般形式

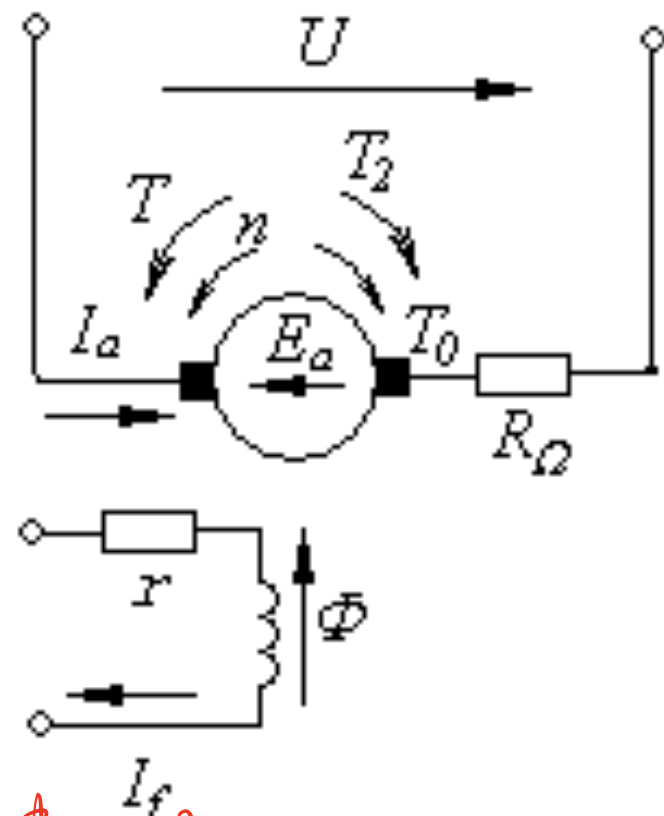
由 $U = E_a + I_a(R_a + R_\Omega)$

$$E_a = C_e \Phi n$$

得 $n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e \Phi} I_a$

再由 $T = C_T \Phi I_a$

得 $n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_T \Phi^2} T$



调速：降电压（由于电阻特性）磁通；串电阻

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_T \Phi^2} T = n_0 - \beta T = n_0 - \Delta n$$

n_0 : 理想空载转速

$$n'_0 = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_T \Phi^2} T_0$$

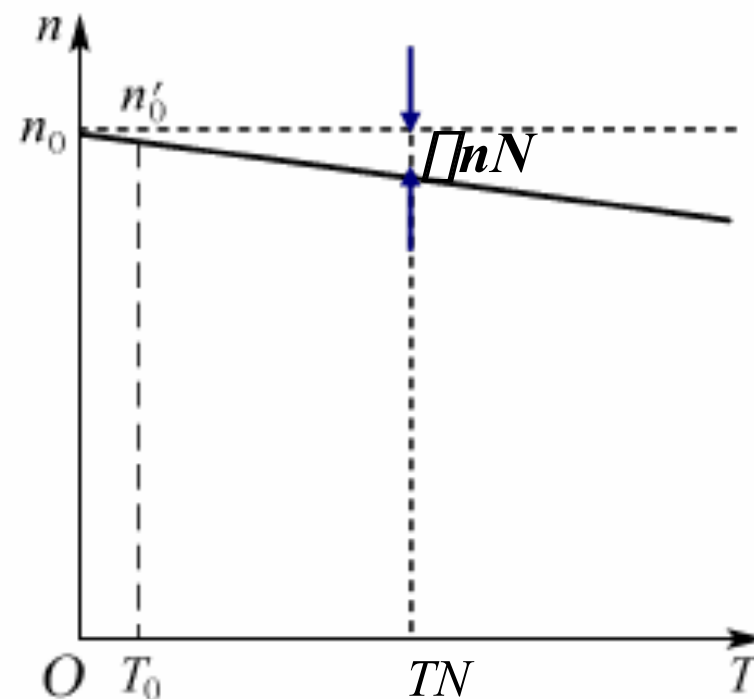
n'_0 : 实际空载转速

β : 机械特性的斜率

Δn : 转速降

β 小的特性曲线称为**硬特性**

β 大的特性曲线称为**软特性**

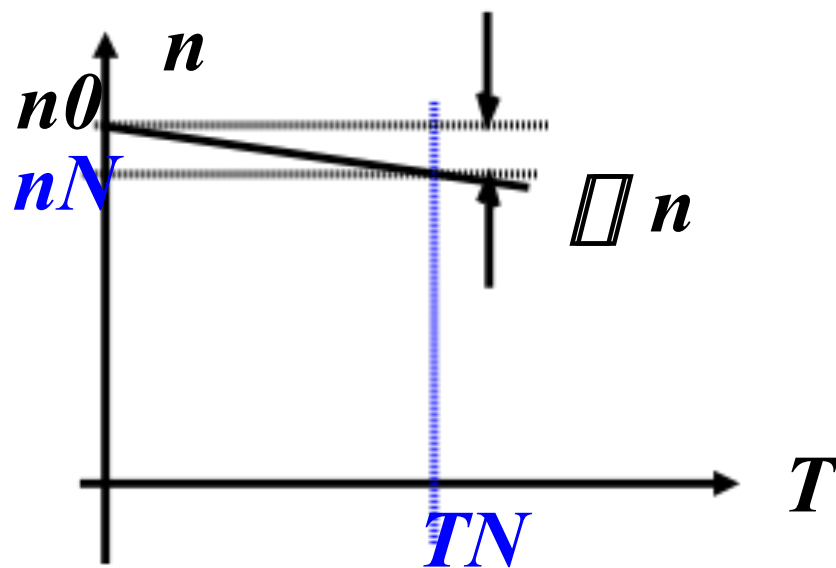


二、他励直流电动机的自然机械特性

当他励直流电动机端电压 $U=U_N$ ，磁通 $\Phi=\Phi_N$ ，电枢回路无外接电阻 ($R\Omega=0$) 时的机械特性称为**自然机械特性**，又称**固有机械特性**。

$$\begin{aligned} n &= \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi_N^2} T \\ &= n_0 - \beta_N T \end{aligned}$$

由于 $R\Omega=0$ ，他励直流电动机的自然机械特性属于硬特性。



三、他励直流电动机的人工机械特性

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_T \Phi^2} T$$

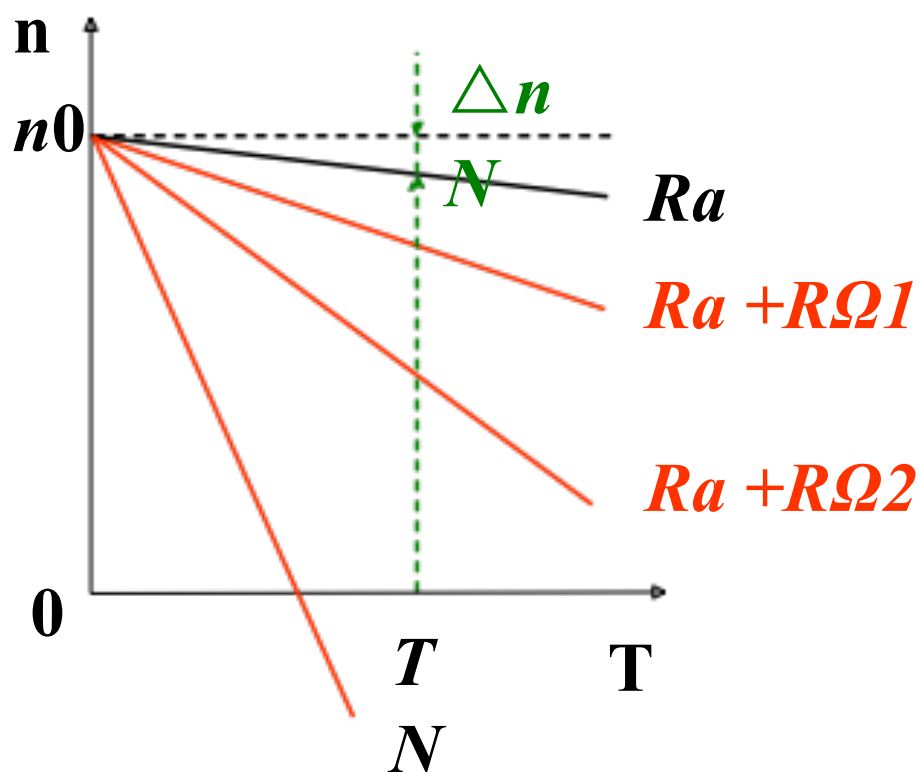
人为地改变 U 、 Φ 、 R_Ω 中任意一个参量时，所得到的机械特性，称为**人工（或人为）机械特性**。

三种人工机械特性：

- 1、电枢回路串电阻的人工机械特性；
- 2、降低供电电压的人工机械特性；
- 3、减弱磁通的人工机械特性。

1、电枢回路串电阻的人工机械特性

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a + R_{\Omega}}{C_e C_T \Phi_N^2} T = n_0 - \beta T$$

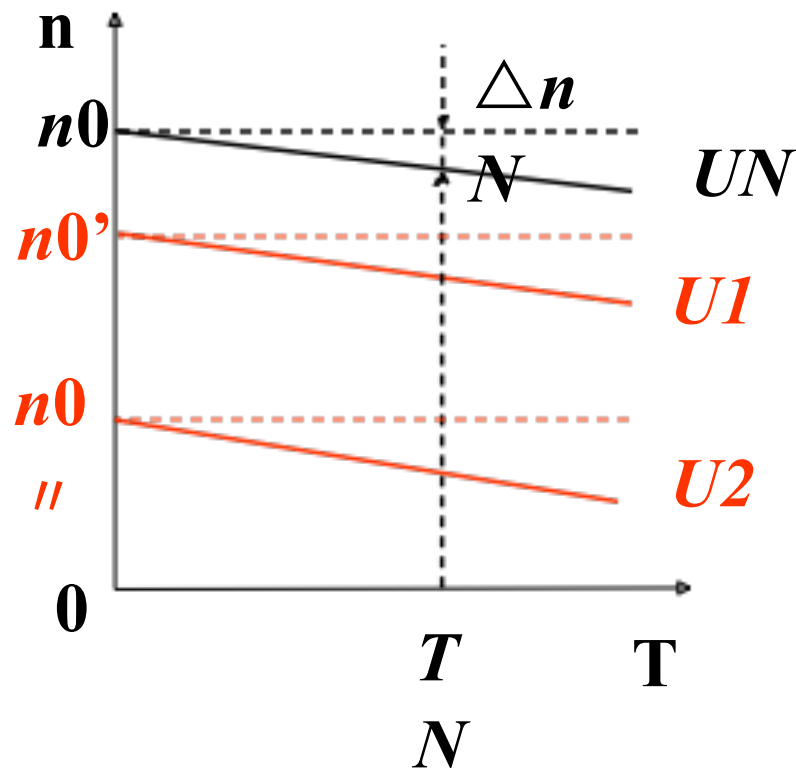


(1) 理想空载转速与自然机械特性的理想空载转速相同。

(2) 斜率 $\beta > \beta_N$, 机械特性变软。

2、降低供电电压的人工机械特性

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi_N^2} T = n'_0 - \beta' T$$



(1) 理想空载转速比自然机械特性的理想空载转速低。

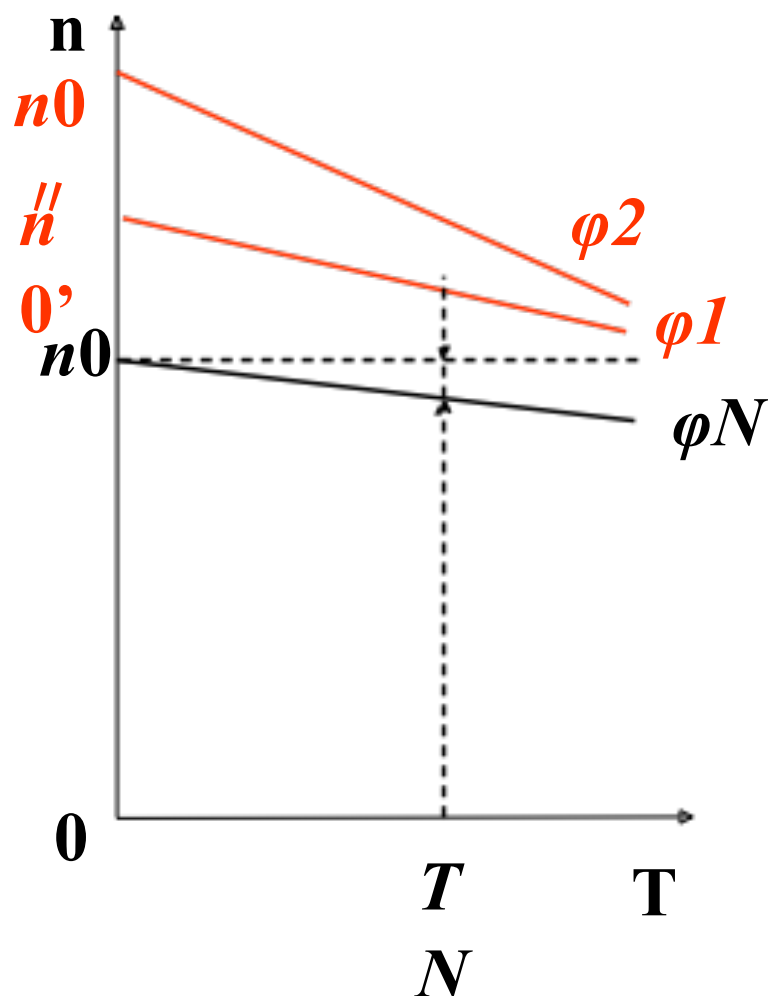
(2) 斜率 $\beta' = \beta_N$ ，机械特性与自然机械特性平行。

调速范围大
转速高
效率损耗小

3、减弱磁通的人工机械特性

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi^2} T = n_0'' - \beta'' T$$

高于空载转速



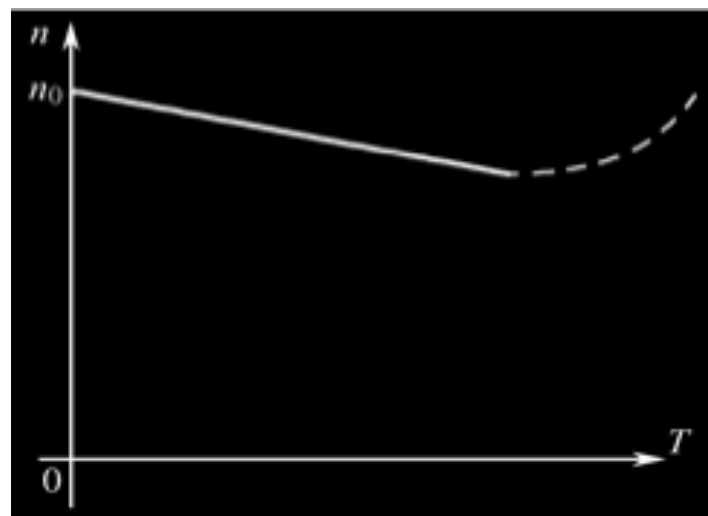
(1) 理想空载转速比自然特性的理想空载转速高。

(2) 斜率 $\beta'' > \beta_N$, 机械特性比自然特性软。

(3) 电机在正常情况下运行时, 减弱磁通, 转速增加。

机械特性的补充

1、电动机负载运行时将出现电枢反应，电枢反应的去磁作用使每极气隙磁通明显减少，使机械特性曲线出现上翘。因此，在制造大容量直流电动机时，往往在主磁极上增加一稳定绕组，以补偿电枢反应的去磁作用。



转矩和转速都为正，特性曲线在座标第一象限，认为正向电动状态。若转矩和转速都为负，特性曲线在座标第三象限，认为反向电动状态。

四、机械特性的绘制

他励直流电动机具有直线规律的机械特性,不论是自然机械特性,还是人工机械特性,绘制的时候只要知道两点就可以了。

在设计时,往往根据电动机铭牌数据、产品目录或实测数据来计算机械特性。对计算有用的数据一般是 P_N 、 U_N 、 I_N 和 n_N 。

1.自然机械特性的绘制

他励直流电动机的自然机械特性可以方便地由理想空载点
(0、 n_0)和额定工作点(T_N 、 n_N)决定。

$$n_0 = \frac{U_N}{C_e \Phi_N}$$

其中

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N}$$

实测 (伏安法)

R_a 两种方法求得

估算
$$R_a = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}\right) \frac{U_N I_N - P_N}{I_N^2}$$

$$T_N = C_T \Phi_N I_N = 9.55 C_e \Phi_N I_N$$

2.人工机械特性的绘制

各种人工机械特性的计算较为简单，只要把相应的参数代入相应的人工机械特性方程式即可。

一般由理想空载点(0 、 n_0)和额定转矩所对应的工作点(T_N 、 n)来确定直线。

例2-1 一台他励直流电动机，其额定数据 $P_N=40KW$ ， $U_N=220V$ ， $I_N=210A$ ， $n_N=750r/min$ 。求：

- (1) 自然机械特性；
- (2) $R\Omega=0.4\Omega$ 时的人工机械特性；
- (3) $U=110V$ 时的人工机械特性；
- (4) $\Phi=0.8\Phi_N$ 时的人工机械特性。

1/2 均可

解：
：

$$R_a = \frac{1}{2} \left(\frac{U_N I_N - P_N}{I_N^2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{220 \times 210 - 40000}{210^2} \right) = 0.07 \Omega$$

$$C_e \Phi_N = \frac{U_N - I_N R_a}{n_N} = \frac{220 - 210 \times 0.07}{750} = 0.2737$$

$$C_T \Phi_N = 9.55 C_e \Phi_N = 9.55 \times 0.2737 = 2.6138$$

$$T_N = C_T \Phi_N I_N = 2.6178 \times 210 = 548.9$$

$$(1) \text{ 自然 } n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi_N^2} T = \frac{220}{0.2737} - \frac{0.07}{0.2737 \times 2.6138} T = 804 - 0.0978 T$$

两点：(0, 804), (548.9, 750)

$$(2) \text{ 串电阻 } n = \frac{U_N}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a + R_\Omega}{C_e C_T \Phi_N^2} T = \frac{220}{0.2737} - \frac{0.07 + 0.4}{0.2737 \times 2.6138} T = 804 - 0.657 T$$

两点：(0, 804), (548.9, 443)

(3) 降压

$$n = \frac{U}{C_e \Phi_N} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi_N^2} T = 402 - 0.0978T$$

两点：(0, 402) , (548.9, 348)

(4) 弱磁

$$n = \frac{U_N}{C_e \Phi} - \frac{R_a}{C_e C_T \Phi^2} T = 1005 - 0.1529T$$

两点：(0, 1005) , (548.9, 921)

