



第2章 电力拖动系统的动力学

Chapter 2: Dynamics of Electric Drive System



- 一. 电力拖动系统转动方程式
- 二. 多轴电力拖动电力简化
- 三. 负载的转矩特性与电力拖动系统稳定运行的条件



一. 电力拖动系统转动方程式

二. 多轴电力拖动电力简化

三. 负载的转矩特性与电力拖动系统稳定运行的条件



一. 电力拖动系统转动方程式

本节学习要点：

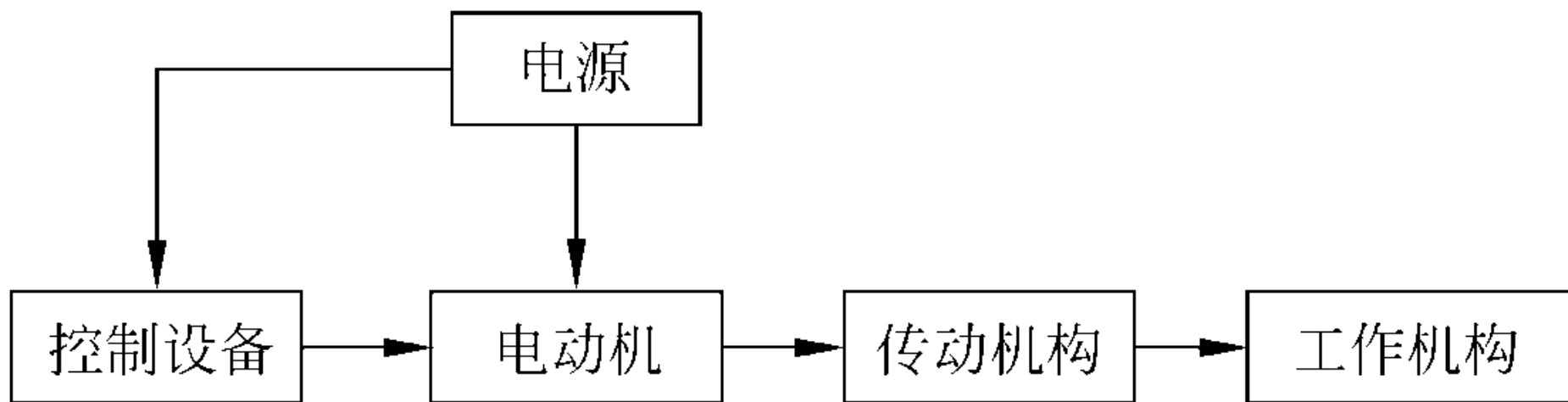
- ① 电力拖动系统概念和电力拖动系统方程式



概述:

电力拖动系统

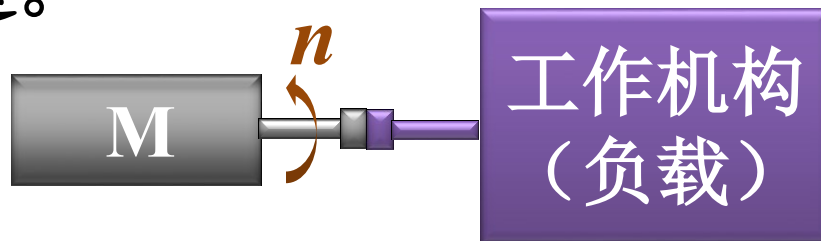
► 一般是由电动机、生产机械的传动机构、工作机构、控制设备和电源组成。



电力拖动系统的组成

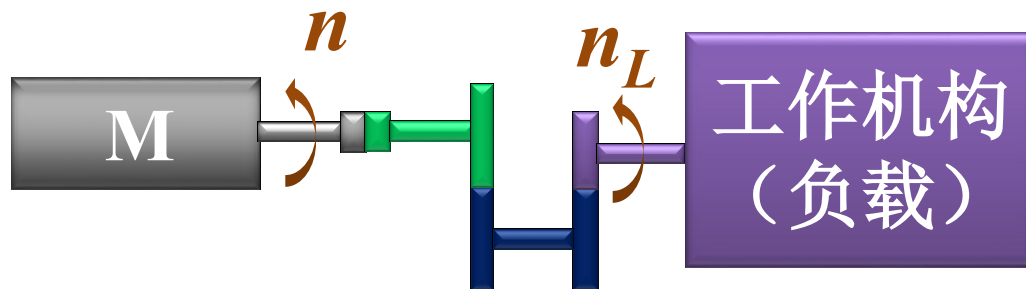
单机单轴电力拖动系统 (单轴系统)

- ▶ 最简单的电力拖动系统，电动机与负载为同一轴，同一转速。



单机多轴电力拖动系统 (多轴系统)

- ▶ 当传动机构带有减速齿轮箱时，形成多轴拖动系统。





1、电力拖动系统转动方程式

电磁转矩:

T

(驱动)

总负载转矩:

$T_L = T_2 + T_0$ (制动)

若 $T \neq T_L, n \neq const$

→ 将产生角加速度

转矩方程式:

$$T - T_L = J \frac{d\Omega}{dt}$$

J 为系统的转动惯量
(包括电动机和生产机械), 是衡量惯性作用的物理参数。

其中, $J = mr^2 = \frac{G}{g} \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \frac{GD^2}{4g}$ — 飞轮矩 — 重力加速度

$\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ — 角速度

→ $T - T_L = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$

— 电力拖动系统的基本运动方程式



基本运动方程式：

$$T - T_L = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

转矩差称为**动转矩**

飞轮矩 GD^2 是表征旋转系统惯性的物理量，是个完整的符号，单位 $N \cdot m^2$

当 $T = T_L$ 时： $\frac{dn}{dt} = 0$ ， $n = \text{const}$ 系统处于稳定状态

当 $T > T_L$ 时： $\frac{dn}{dt} > 0$ ， $n \uparrow$ 系统处于加速过程

当 $T < T_L$ 时： $\frac{dn}{dt} < 0$ ， $n \downarrow$ 系统处于减速过程



一、 电力拖动系统转动方程式

二、 多轴电力拖动电力简化

三、 负载的转矩特性与电力拖动系统稳定运行的条件



三. 负载的转矩特性与电力拖动系统稳定运行的条件

本节学习要点：

- ① 熟悉负载的转矩特性的特点
- ② 掌握电力拖动系统稳定运行的条件



1、负载的转矩特性

定义：生产机械工作机构的负载转矩 T_L 与转速之间 n 的关系
 $n = f(T_L)$ ，成为负载的转矩特性。

恒转矩负载的转矩特性

反抗性恒转矩负载

位能性恒转矩负载

泵类负载的转矩特性

恒功率负载的转矩特性

恒转矩负载的转矩特性

反抗性恒转矩负载

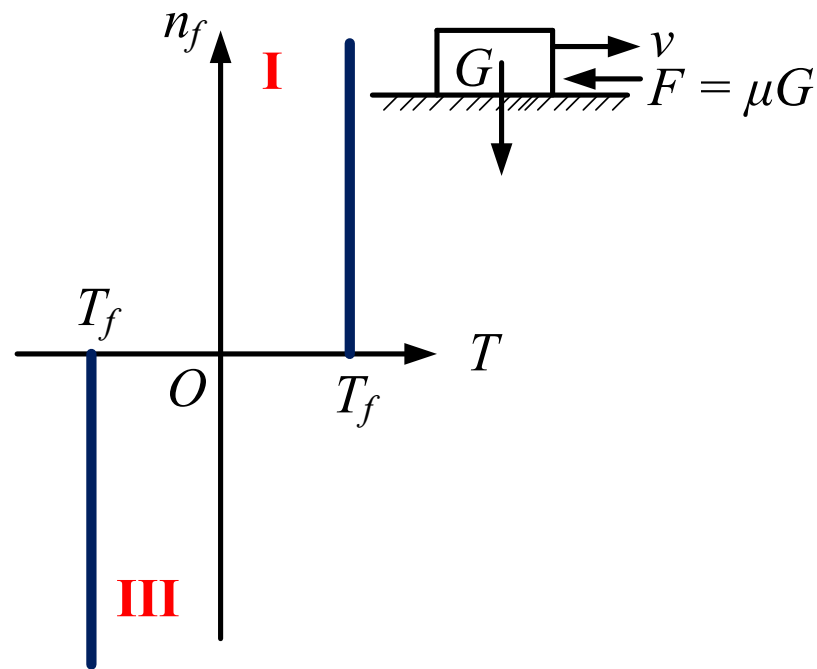
T_f 的大小与 n 无关，为常数。其方向始终与转向相反（制动）。

特点：

$n_f > 0$ 时， $T_f > 0$ (常数)，

$n_f < 0$ 时， $T_f < 0$ (常数)，

应用场合：皮带传输、轧钢机、机床刀架平移等摩擦转矩。



反抗性恒转矩负载的转矩特性

恒转矩负载的转矩特性

位能性恒转矩负载

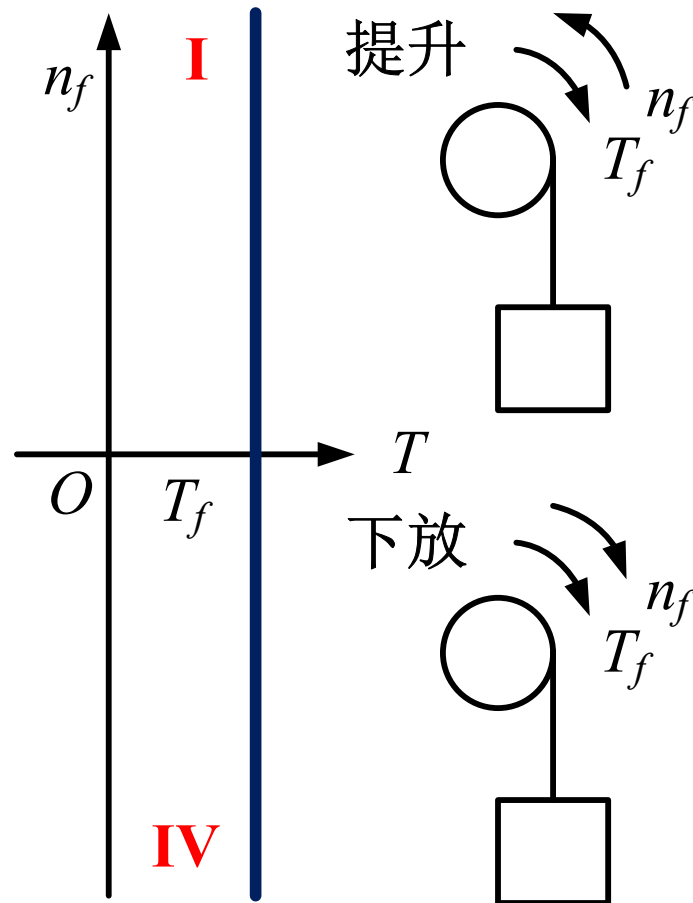
T_f 的大小和方向都不随 n 的改变而改变。

特点：

$n_f > 0$ 时， $T_f > 0$ ；制动性转矩

$n_f < 0$ 时， $T_f > 0$ ；拖动性转矩

应用场合：起重机提升、下放重物



位能性恒转矩负载的转矩特性



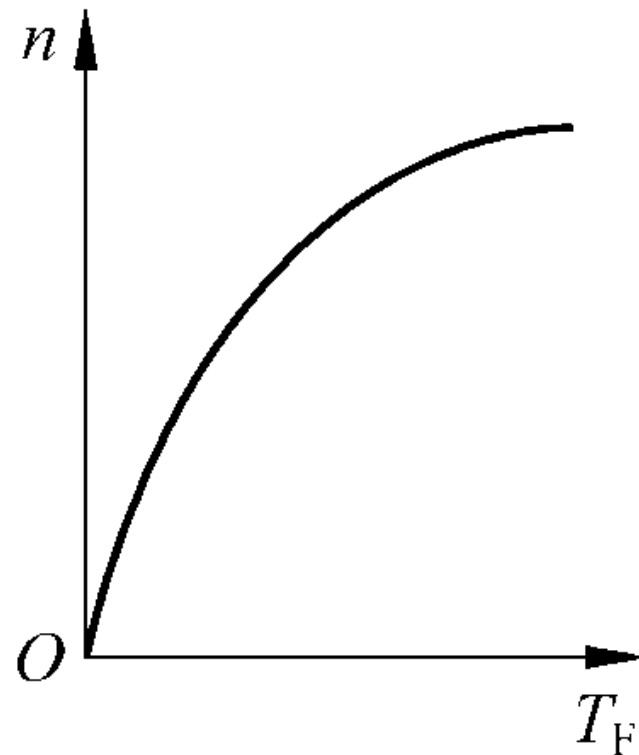
泵类负载的转矩特性

特点：转矩大小与转速平方成正比。

$$T_F \propto n^2$$

实际负载特性是以某种典型负载为主的几种负载特性的结合。如实际鼓风机以风机负载为主，还包括轴承摩擦（反抗性恒转矩负载）

应用场合：鼓风机、水泵、油泵



风机、泵类负载的转矩特性



恒功率负载的转矩特性

特点：负载的功率 P 不随转速的变化而变化，即**转速与转矩的乘积为常数**。

$$P = T_f \Omega_f = T_f \cdot \frac{2\pi n_f}{60} = k = \text{常数}$$

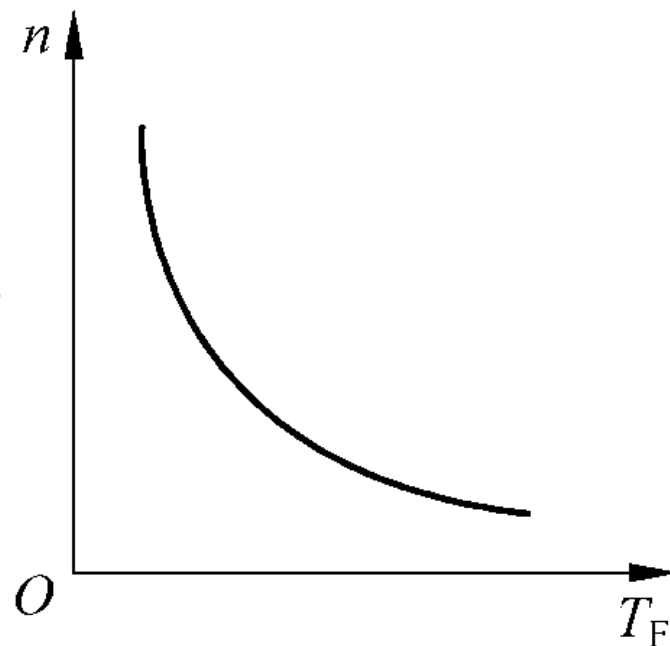
$$\Rightarrow T_f = \frac{60k}{2\pi n_f} \propto \frac{1}{n_f}$$

应用场合：

车床加工

粗加工：转速低，进刀量大

精加工：转速高，进刀量小



恒功率负载的转矩特性



2、电力拖动系统稳定运行的条件

► 平衡状态

机械特性 1

负载特性 2

工作点

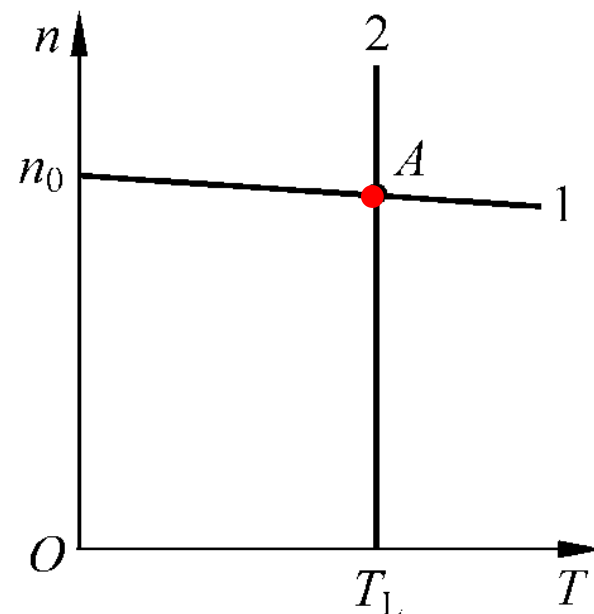
相交于 A
($T = T_L$)

动转矩为零

平衡状态条件

$$\frac{dn}{dt} = 0, n = n_A = \text{const}$$

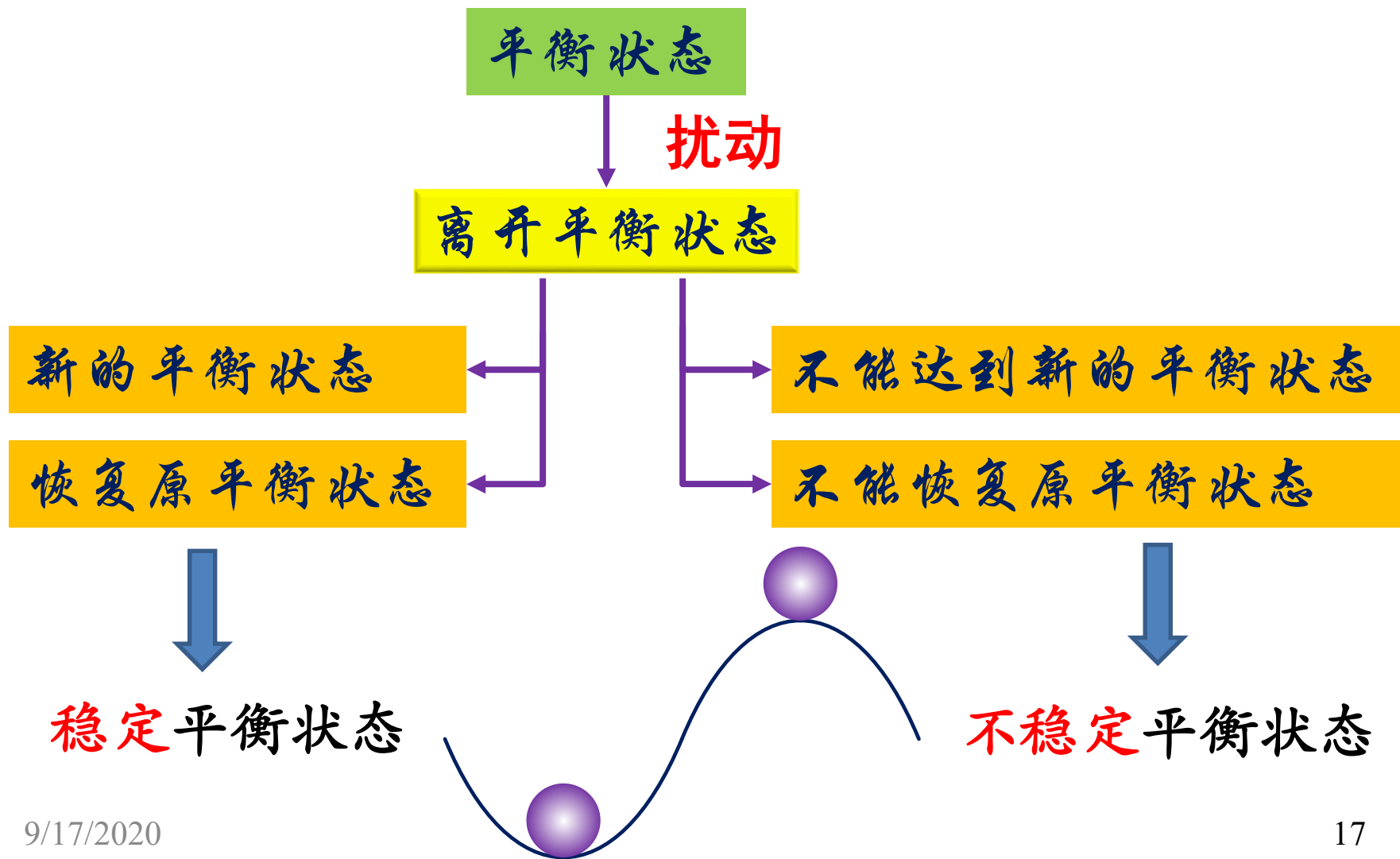
$$I_a = \frac{T_L}{C_t \Phi} = \text{const}$$



系统稳定运行工作点



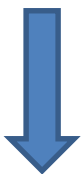
► 稳定平衡状态与不稳定平衡状态





► 稳定平衡状态

电动机电压: $U_N \rightarrow 0.9U_N$



扰动

机械特性: $1 \rightarrow 1'$

电磁过渡过程

工作点: $A(n_A) \rightarrow A'(n_{A'})$

$A \rightarrow B \rightarrow A'$

机械过渡过程

电动机电压: $0.9U_N \rightarrow U_N$

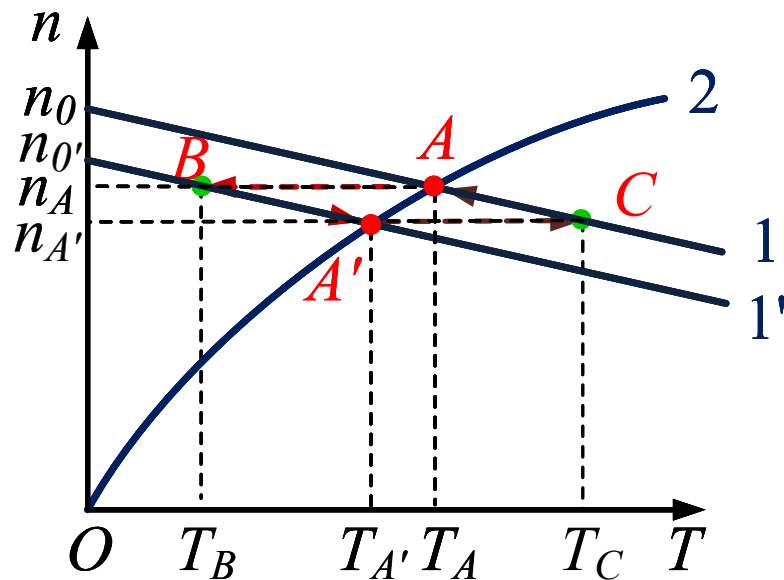


扰动消失

机械特性: $1' \rightarrow 1$

工作点: $A'(n_{A'}) \rightarrow A(n_A)$

机械过渡过程 $A' \rightarrow C \rightarrow A$

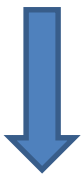


$$T_B - T_A < 0 \quad T_C - T_{A'} > 0$$



► 不稳定平衡状态

电动机电压: $U_N \rightarrow 0.9U_N$



扰动

机械特性: $1 \rightarrow 1'$

电磁过渡过程

工作点: $A (n_A) \rightarrow B (n_A \uparrow)$

稳定运行的充要条件:

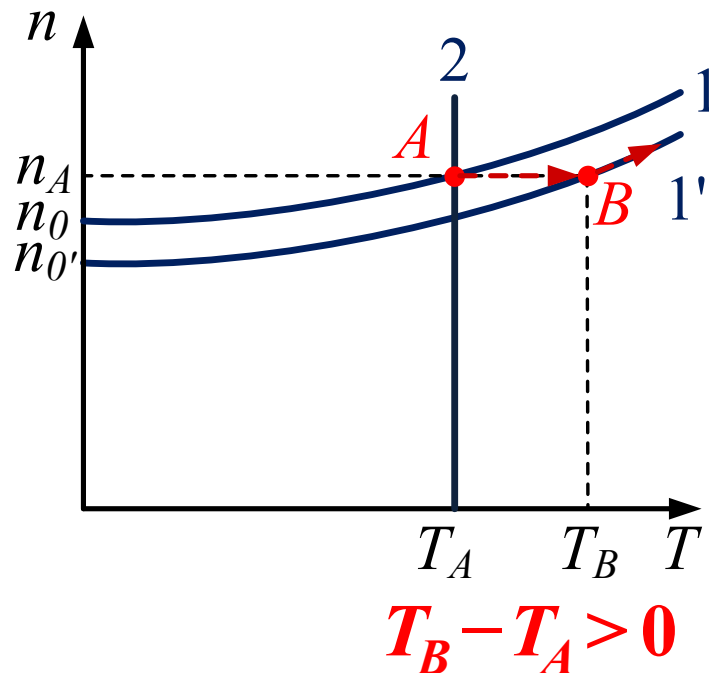
电动机机械特性 $n=f(T)$

生产机械负载特性 $n=f(T_L)$



交点处满足

$$\frac{dT}{dn} < \frac{dT_L}{dn}$$





本章结束