

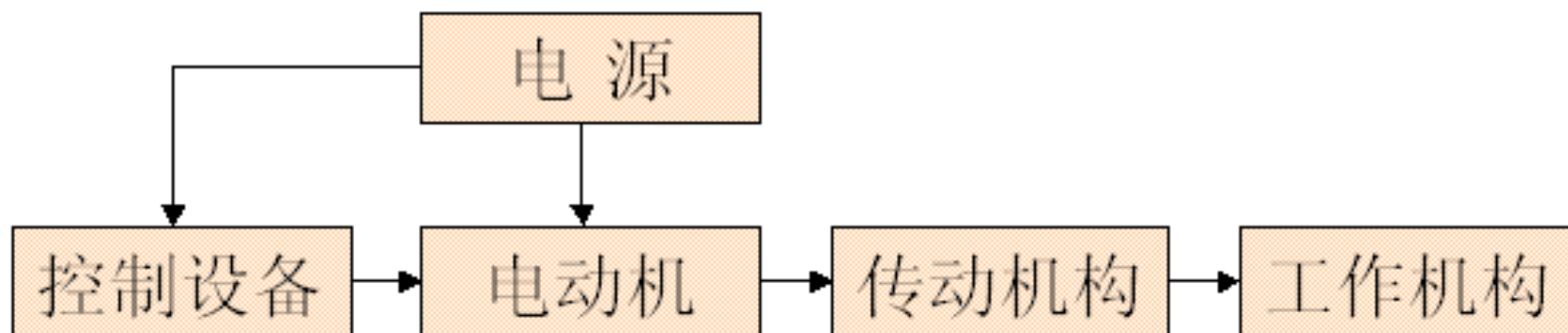
- 1. 了解电力拖动系统的基本组成；**
- 2. 掌握电力拖动系统运动方程式；**
- 3. 熟悉转矩与飞轮矩的折算方法；**
- 4. 掌握生产机械的负载转矩特性的分类；**
- 5. 掌握电力拖动系统稳定运行的条件。**

生产机械的负载转矩特性的分类；

电力拖动系统稳定运行的条件。

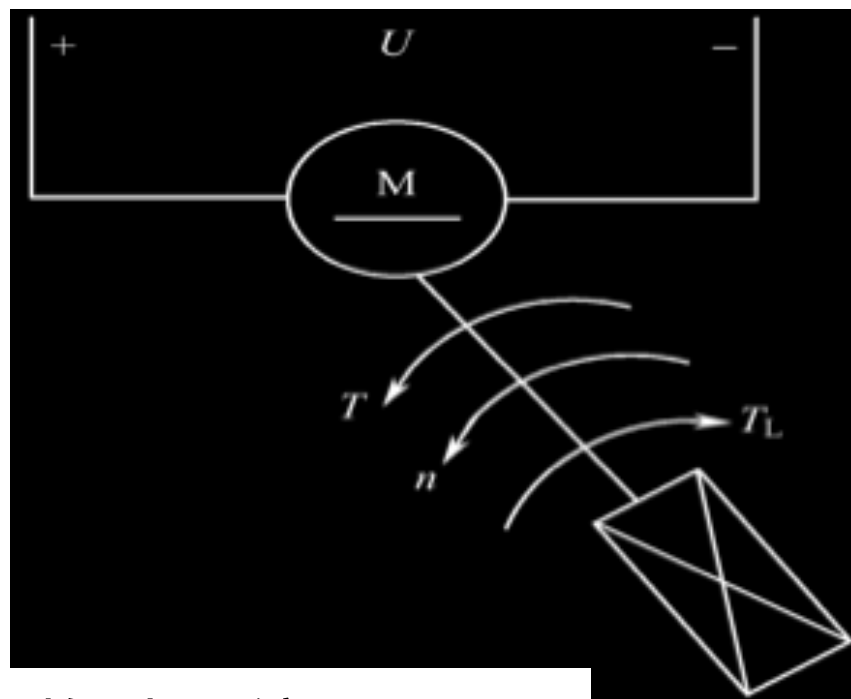
电力拖动系统的运行分析

以电动机为原动机，按人们所给定的规律来带动生产机械，称为电力拖动。



电力拖动系统的构成

图所示为单轴电力拖动系统，图中标注的物理量主要有：电动机的转速，电动机电磁转矩，电动机空载转矩，工作机构（负载）的转矩。



单轴电力拖动系统

电力拖动系统的运行分析

拖动系统的基本运动方程式

直线运动系统中力的平衡方程式：

$$F - F_L = m \frac{dv}{dt}$$

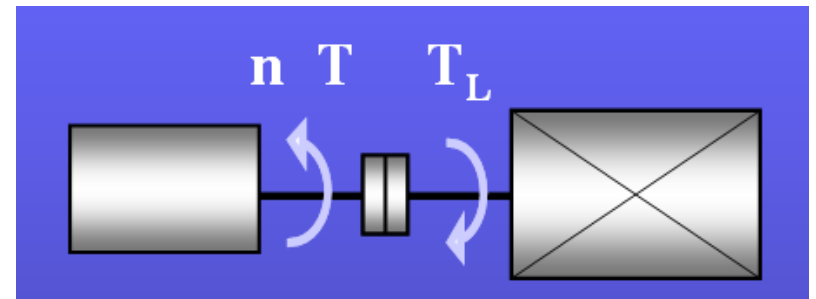
旋转运动系统中转矩平衡方程式：

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

式中 J 为系统的转动惯量，不方便计算，在工程中，常用飞轮矩 GD^2 来表征转动体的惯性作用。

$$J = \frac{GD^2}{4g}$$

式中 $g=9.8[\text{m/s}^2]$ ，是重力加速度。



电力拖动系统的运行分析

运动方程式的实用形式为：

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

(单/多轴均可)

其中， T —电磁转矩[N•m]

$T_L = T_2 + T_0$ ，当 $T_2 \gg T_0$ 时， $T_L \approx T_2$

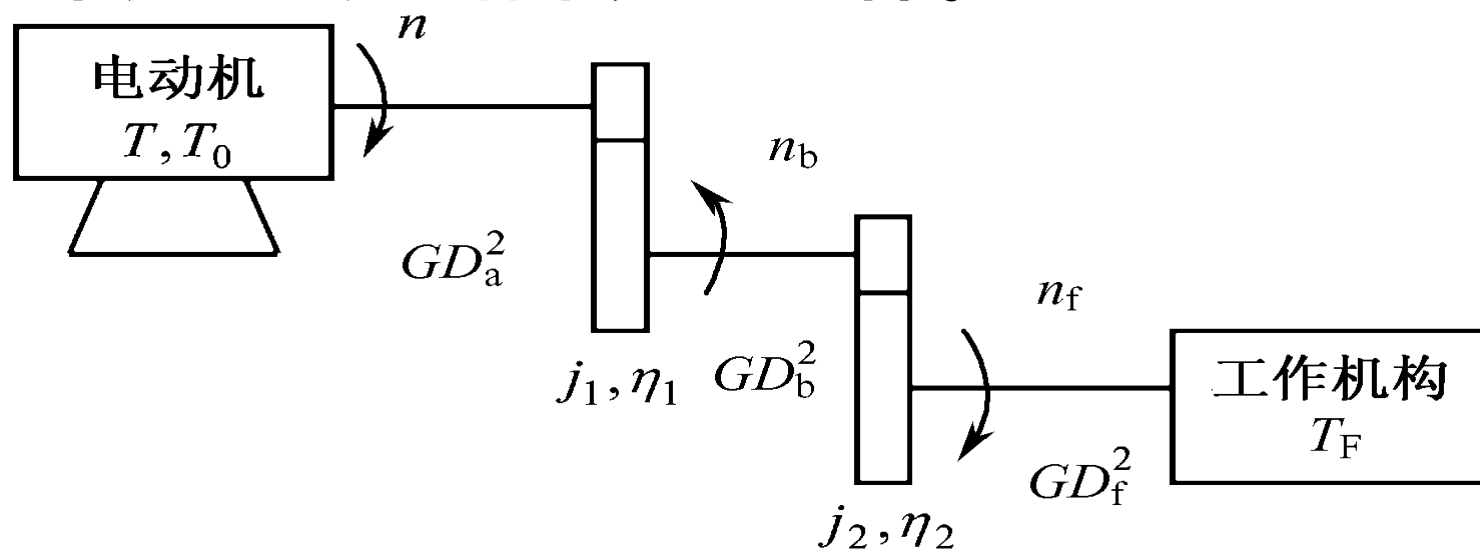
T_L —总负载转矩，为生产机械的转矩与空载转矩之和

GD^2 —飞轮矩或飞轮惯量[N•m²]，是一个整体，不能理解为二者乘积

n —电机轴上的转速[r/min]

t —时间[s]

为了简化多轴系统的分析计算，通常把负载转矩与系统飞轮矩折算到电动机轴上来，变多轴系统为单轴系统，列写一个转动方程式进行计算，其结果与联立求解多个方程式的结果完全一样。



多轴电力拖动系统

典型的负载转矩特性

负载转矩特性指电动机的负载转矩 T_L 与转速 n 的关系，即 $n=f(T_L)$ 。

一、恒转矩负载

1、反抗性恒转矩负载

2、位能性恒转矩负载

二、恒功率负载

三、通风机负载

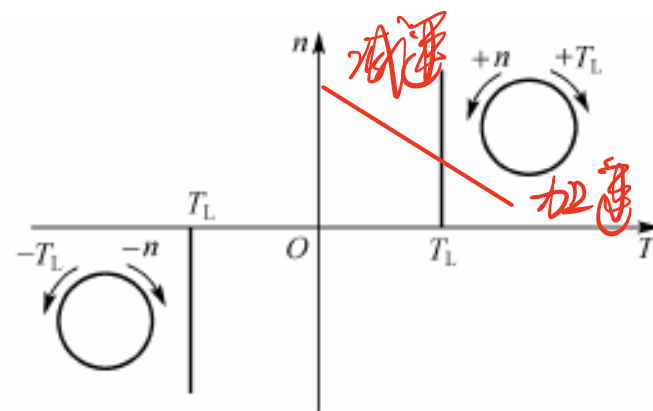
典型的负载转矩特性

一、恒转矩负载特性

转速 n 变化时，负载转矩 T_L 的大小保持不变。反抗性恒转矩负载

特点是负载转矩的大小不变，但方向始终与生产机械运动的方向相反，总是阻碍电动机的运转。取反对正向运动的方向为负载转矩的正方向。其特性在第一和第三象限。

例如摩擦转矩属于反抗性恒转矩负载。

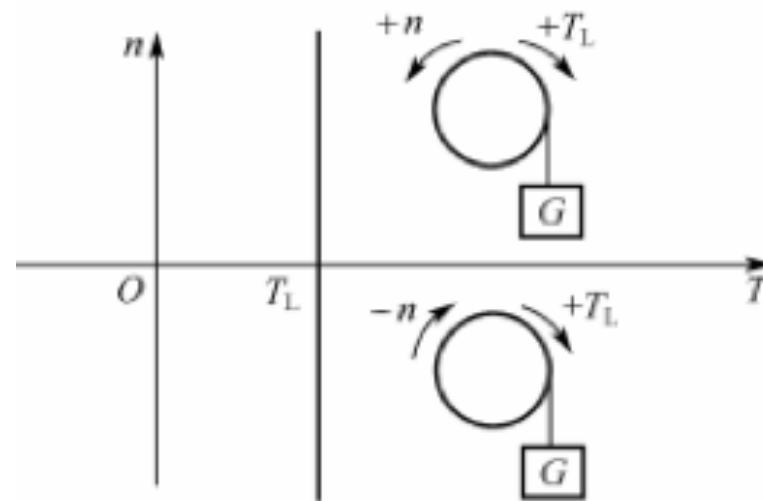


典型的负载转矩特性

2、位能性恒转矩负载

特点是不论生产机械运动的方向变化与否，负载转矩的大小和方向始终不变。其负载转矩特性在第一和第四象限。

例如起重设备提升或下放重物时，由于重力所产生的负载转矩的大小和方向均不改变。



典型的负载转矩特性

二、恒功率负载特性 (不需要)

当转速变化时，负载的功率 PL 保持不变。

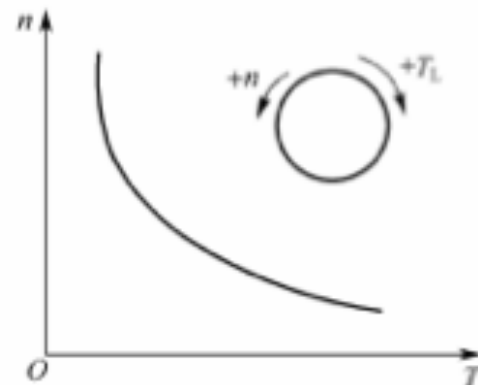
即：

$$PL = TL \cdot \omega = \text{常数 } K$$

或
$$TL = K / n$$

也就是说恒功率负载的转矩与转速成反比。

例如，一些机床切削加工，车床粗加工时，切削量大，阻力大，转速低；精加工时，切削量小，阻力小，转速高。



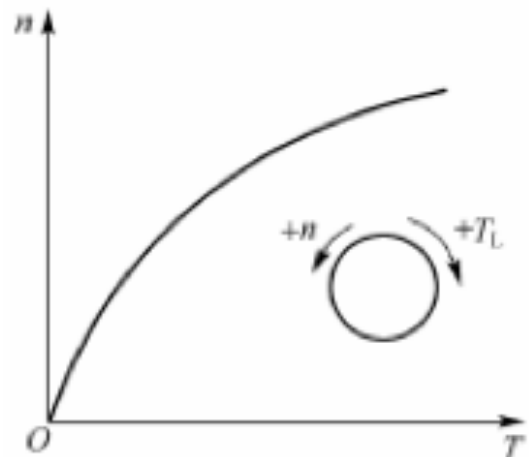
典型的负载转矩特性

三、通风机负载特性 (不需要)

负载转矩的大小与转速 n 的平方成正比。

$$TL = K \cdot n^2$$

凡是按离心力原理工作的生产机械，如通风机、水泵等泵类负载都属于通风机负载。



此外，还有直线型负载转矩特性 ($TL = K \cdot n$) 等。实际生产机械的负载特性常为几种类型负载的相近或综合。

电力拖动系统运动方程式

单轴电力拖动系统中电磁转矩、负载转矩与转速变化的关系用转动方程(rotation equation)来描述, 为

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

化简后得

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

电力拖动系统的运行分析

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

- 当 $T - T_L = 0$, $dn/dt = 0$ 时, $n = 0$ 或 $n = \text{常数}$, 即电动机静止或恒速旋转。电力拖动系统处于平衡状态。
- 当 $T - T_L > 0$, $dn/dt > 0$ 时, 电力拖动系统处于加速运行状态。
- 当 $T - T_L < 0$, $dn/dt < 0$ 时, 电力拖动系统处于减速运行状态。

电力拖动系统的运行分析

转矩不但有大小而且具有方向。转矩的方向规定如下：

首先规定(或假设)某一电动状态时， n 的方向为正方向，则当电磁转矩 T 的方向与所规定(或假定)的正方向相同时取正值,相反时取负值；对于负载转矩 T_L ，则当 T_L 的方向与所规定(或假设)的正方向相同时取负值，反之取正值。

控制

举例：电车上、下坡时转矩平衡关系

电力拖动系统的运行分析

二、拖动系统运动过程的分析

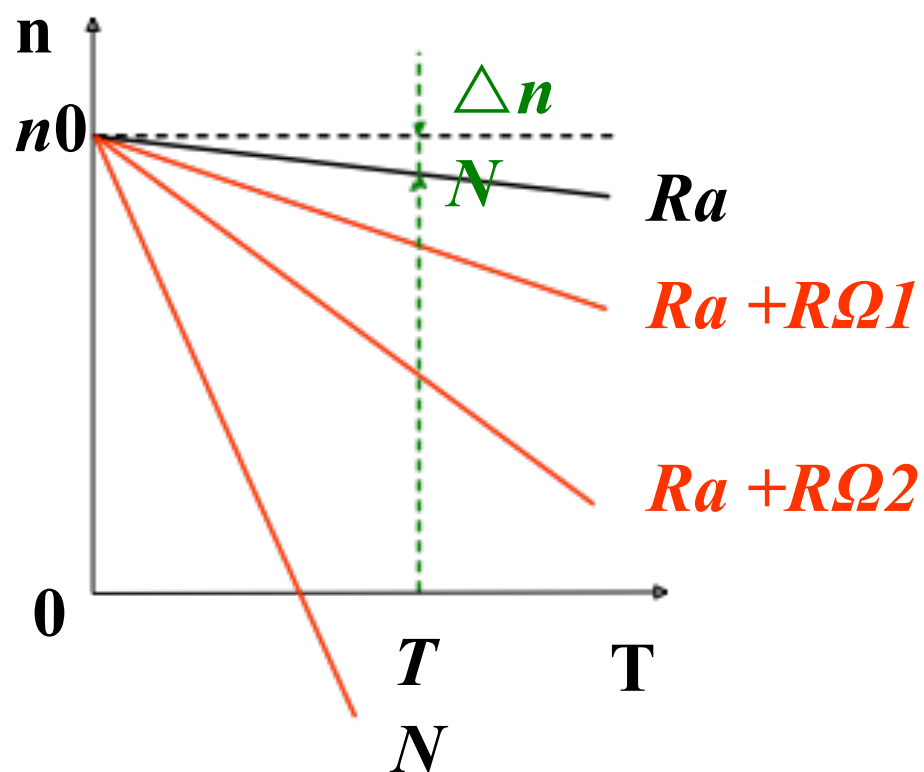
将电机机械特性与运动方程式二者结合起来可以分析整个拖动系统运动过程的规律。分析中应注意以下几点：

- 平衡状态时， $T=TL$ ，(电机转矩 T 的大小取决于电机轴上所带的负载)转速由电机机械特性与负载转矩特性的交点确定。
- 考虑机械惯性， n 不能突变，忽略电磁惯性， T 和 I_a 可以突变。
- 在电机与负载之间，比较 T 和 TL 的大小，根据运动方程式决定 n 的变化；在电机内部，由电势方程式的限定， n 的变化必然引起 I_a 进而 T 的变化，所以 n 与 T 是因果关系。

T : 拖动转矩
 TL : 负载转矩

电枢回路串电阻的人工机械特性

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

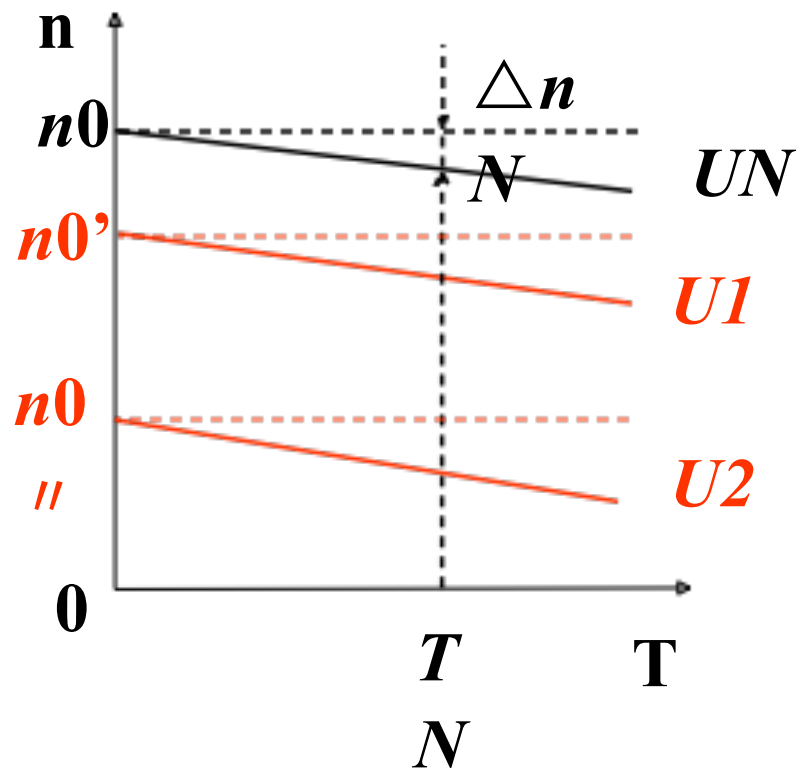


(1) 理想空载转速与自然机械特性的理想空载转速相同。

(2) 斜率 $\beta > \beta_N$, 机械特性变软。

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。

电力拖动系统的运行分析

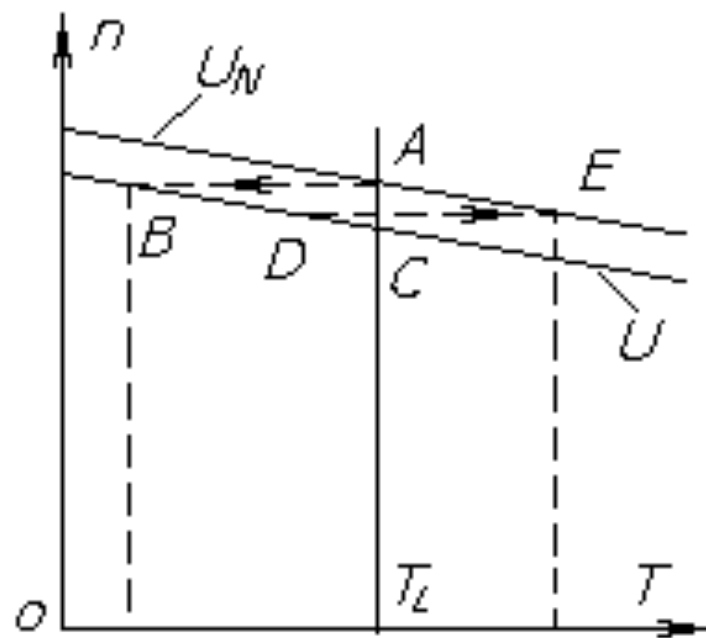
三、拖动系统稳定运行条件

电力拖动系统的平衡状态，是指电动转矩与负载转矩平衡，系统转速保持不变。

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

1、电力拖动系统的稳定平衡状态

稳定平衡状态是指当系统原来处于平衡状态，如果由于某种原因使系统离开了原来的平衡状态，但能够在新的条件下自动地达到新的平衡；或者在外界扰动消失后能够恢复到原来的平衡状态，则称该拖动系统原来的状态是稳定平衡状态。

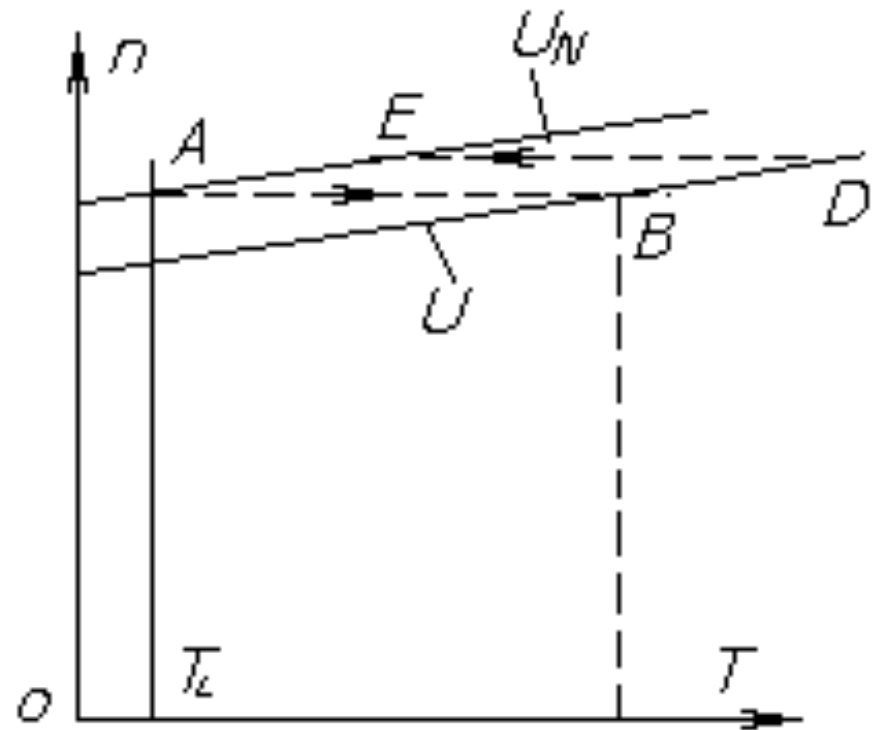


电力拖动系统的运行分析

2、电力拖动系统的不稳定平衡状态

当系统原来处于平衡状态，如果由于某种原因使系统离开了原来的平衡状态后，不能够自动地达到新的平衡；或者在外界扰动消失后不能够恢复到原来的平衡状态，则称该拖动系统原来的状态虽为平衡但不是稳定的平衡点与稳定点是两个不同的概念。

电机与负载的特性有交点，即 $T=TL$ ，只是稳定运行的必要条件，而不是充分条件。

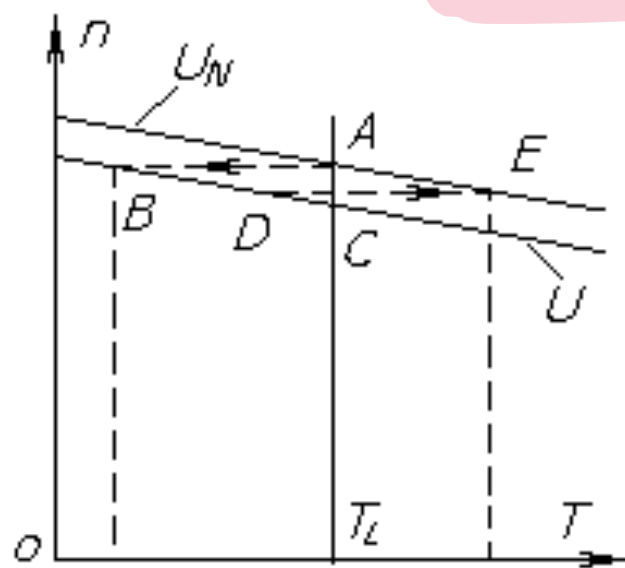


电力拖动系统的运行分析

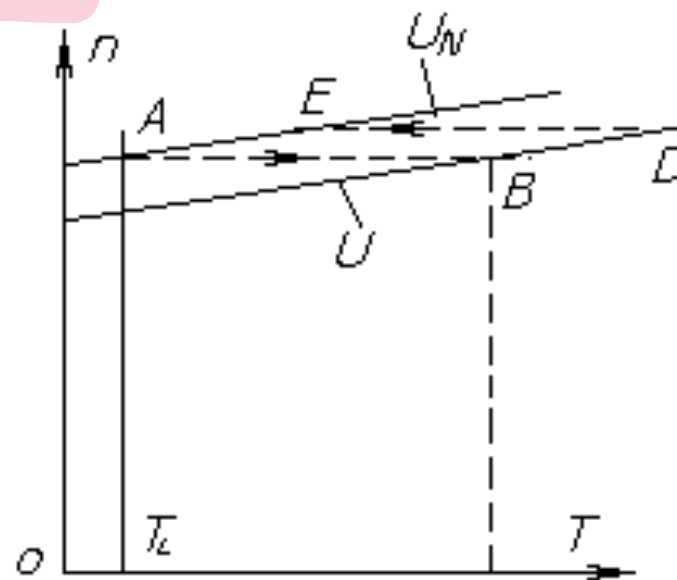
3、电力拖动系统的稳定运行条件

电力拖动系统的稳定运行条件为：电机与负载的特性有交点，且在交点处的斜率为

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



稳定运行



不稳定运行

