



## § 3-5 直流发电机

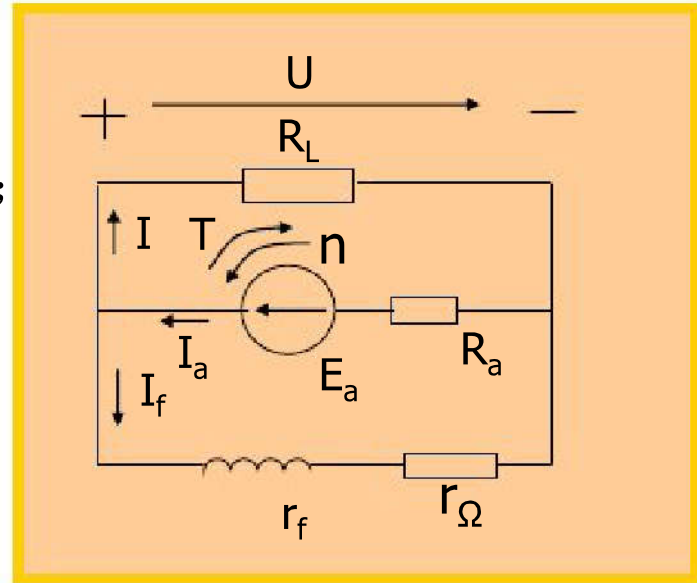
- ❖ 一、基本方程式
- ❖ 二、并励发电机的自励条件
- ❖ 三、发电机的运行特性

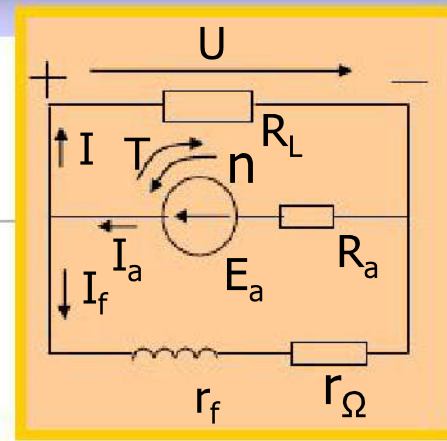


## 一、基本方程式

各物理量正方向的规定：

- ◆ 电枢电动势 $E_a$ 与电流 $I_a$ 方向一致；
- ◆ 电磁转矩 $T$ 与转速 $n$ 方向相反，为制动转矩。





(1) 电流方程 
$$I_a = I_f + I$$

(2) 电势平衡式 电枢回路: 
$$E_a = U + I_a R_a \quad E_a > U$$

$$R_a = r_a + \frac{2\Delta U}{I_a}$$

励磁回路: 
$$U = I_f \cdot (r_f + r_\Omega) = I_f \cdot R_f$$

(3) 转矩平衡式

$$T_1 = T_0 + T \quad T_1: \text{输入转矩}; T_0: \text{空载制动转矩}$$

(4) 功率平衡式 
$$T_1 \Omega = T_0 \Omega + T \Omega \quad \Omega = \frac{2\pi}{60} \cdot n$$



## 功率平衡式

$$P_1 = p_0 + P_M$$

$P_1$ : 输入功率;  $p_0$ : 空载损耗功率;

$P_M$ : 电磁功率

空载损耗功率  $p_0$ :

$$p_0 = p_{mec} + p_{Fe} + p_{ad}$$

$p_{mec}$ : 机械损耗;  $p_{Fe}$ : 铁心损耗;

$p_{ad}$ : 附加损耗(0.5-1)% $P_2$

电磁功率  $P_M$ :

$$P_M = T \cdot \Omega = E_a \cdot I_a$$

$$P_M = (U + I_a R_a) I_a = U I_a + I_a^2 R_a = P_2 + U I_f + I_a^2 R_a$$



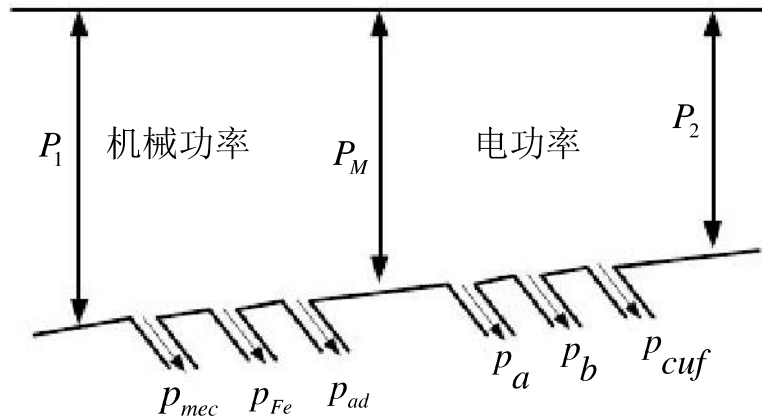
## 功率和效率

功率平衡式:

$$P_1 = P_M + p_0$$

$$= P_2 + p_{cua} + p_{cuf} + p_{Fe} + p_{mec} + p_{ad}$$

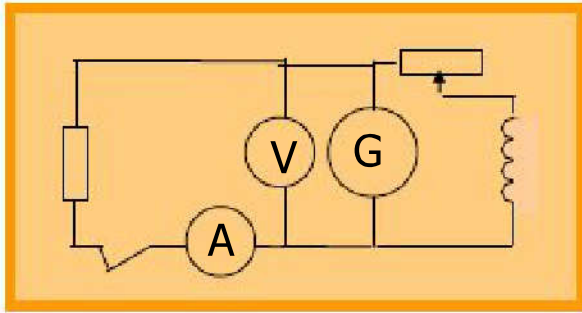
功率流程:



效率:

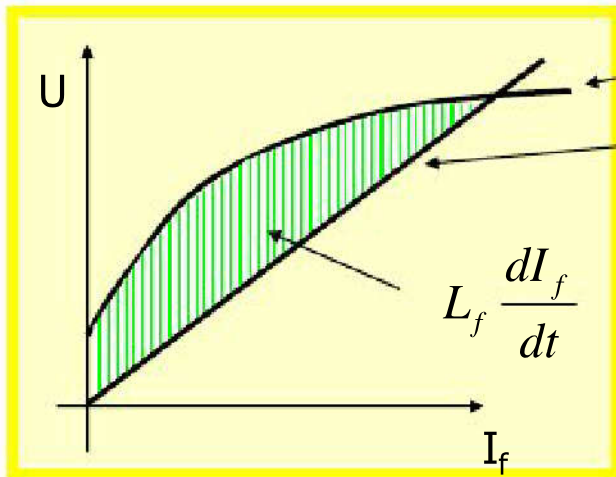
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = \left(1 - \frac{\sum p}{P_1}\right) \times 100\%$$

## 二、并励发电机的自励条件



$$I_a = I + I_f$$

“自励发电机”， $I_f = 1\% \sim 5\%$



空载特性曲线（磁化曲线） $U_0 = f(I_f)$

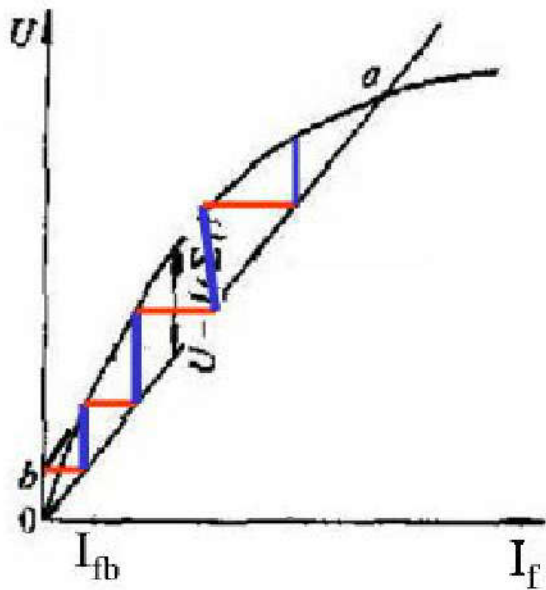
励磁回路电压方程—场阻线

$$I_f R_f = f(I_f)$$

$$U_0 = I_f R_f + L_f \frac{dI_f}{dt}$$



## 自励条件



## 自励过程

- 磁路的因素:
1. 存在剩磁
  2. 饱和现象

电路的因素:

3. 励磁绕组的接法与电机旋转方向正确配合

励磁回路的影响:

4. 励磁回路的总电阻小于该转速时的临界电阻



## 思考题？

1. 没有剩磁？

充磁

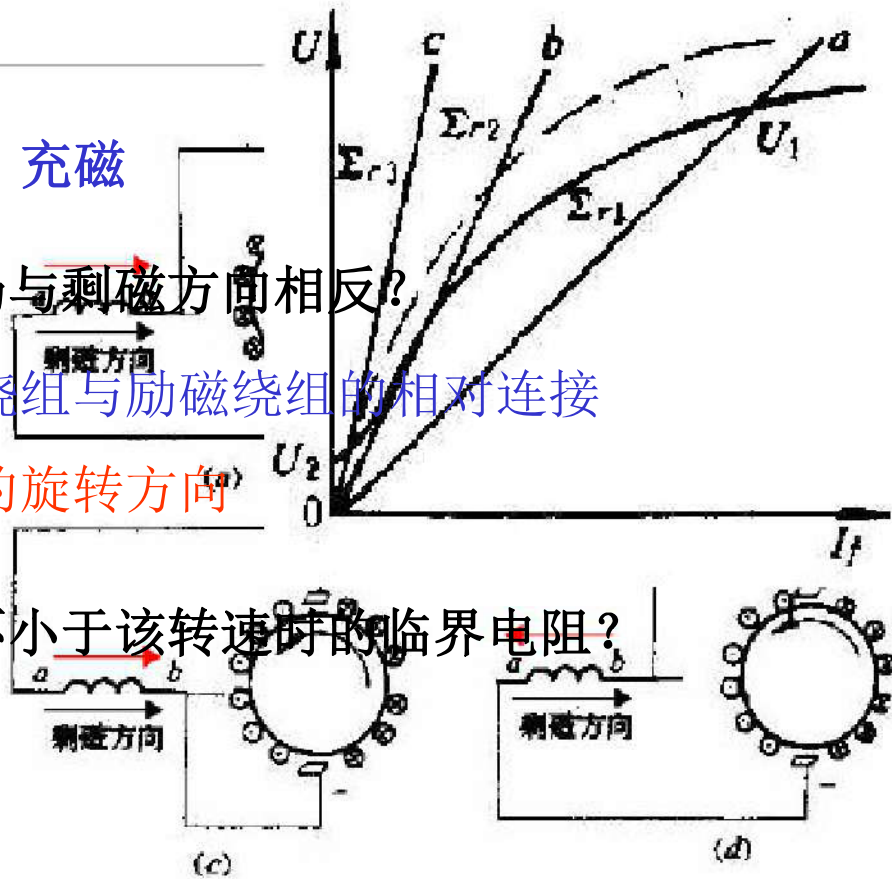
2. 励磁绕组产生的磁场与剩磁方向相反？

① 改变电枢绕组与励磁绕组的相对连接

② 改变电枢的旋转方向

3. 励磁回路的总电阻不小于该转速时的临界电阻？

提高转速







## 三、发电机的运行特性

直流发电机的四个基本物理量： $U$ 、 $I$ 、 $I_f$ 、 $n$ 。（ $n$ 由原动机拖动，保持不变）

**运行特性：**在 $U$ 、 $I$ 、 $I_f$ 之间，保证其中一个量不变，另外两个物理量之间的函数关系。

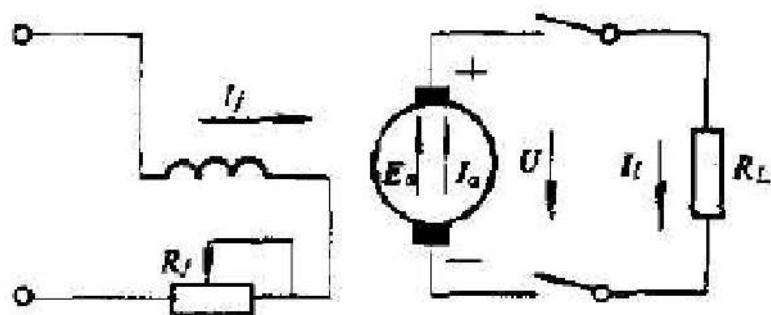
**主要特性：**

- (1)  $n = \text{常数}$ ， $I = \text{常数}$ ， $U = f(I_f)$ ；负载特性
- (2)  $n = \text{常数}$ ， $I_f = \text{常数}$ ， $U = f(I)$ ；外特性
- (3)  $n = \text{常数}$ ， $U = \text{常数}$ ， $I_f = f(I)$ ；调节特性



## (一) 他励发电机的特性

- ❖ 励磁电流不随负载电流变化
- ❖ 励磁可调，电压调节范围大，适用于要求电压广泛可调的（V）及高压（>600V）以上均



如何改变电机端电压极性？

$$E_a = C_e \Phi n$$

取决于电枢电势的方向，

- 改变转向，而磁通方向不变
- 改变磁通方向，而转向不变



## 他励时的空载特性

$$U_0 = f(I_f), \quad I = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{空载时 } U_0 = E_a \\ E_a = C_e \phi n \end{array} \right\} \begin{array}{l} n \text{ 等于常数} \\ E_a \propto \phi \end{array} \Rightarrow U_0 = f(I_f) \propto \Phi = f(I_f)$$

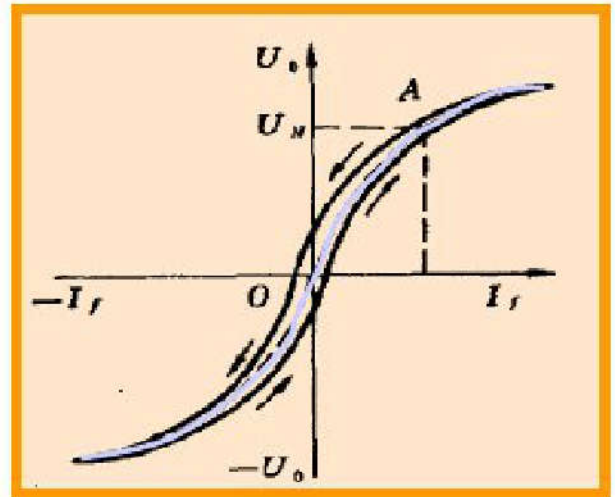
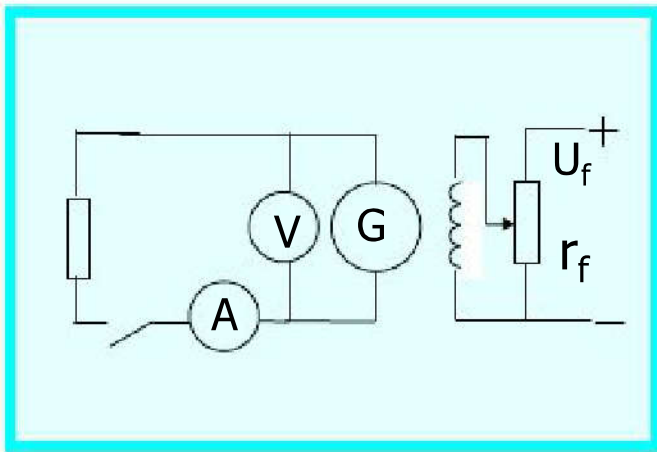
空载特性实质即为磁化曲线



## 空载特性 $U_0 = f(I_f)$

实验测量方法:

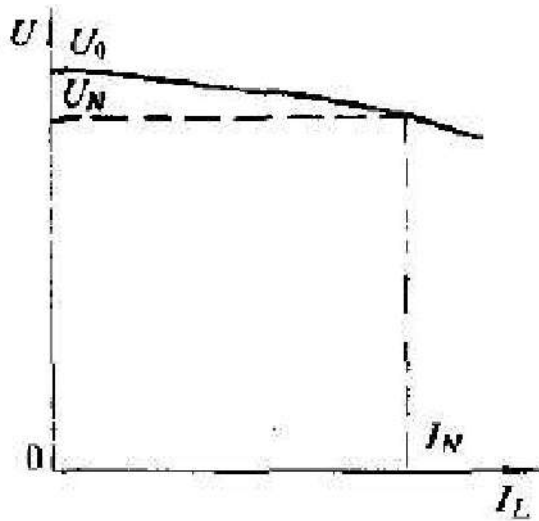
调节  $r_f \rightarrow I_f$  单调增长  $\rightarrow U = 1.1 \sim 1.3 U_N \rightarrow I_f$  单调减小至 0  
 $I_f$  反向单调增长  $U = - (1.1 \sim 1.3) U_N \rightarrow I_f$  单调减小至 0





## 他励时的外特性

$$U = f(I), \quad I_f = \text{const}$$

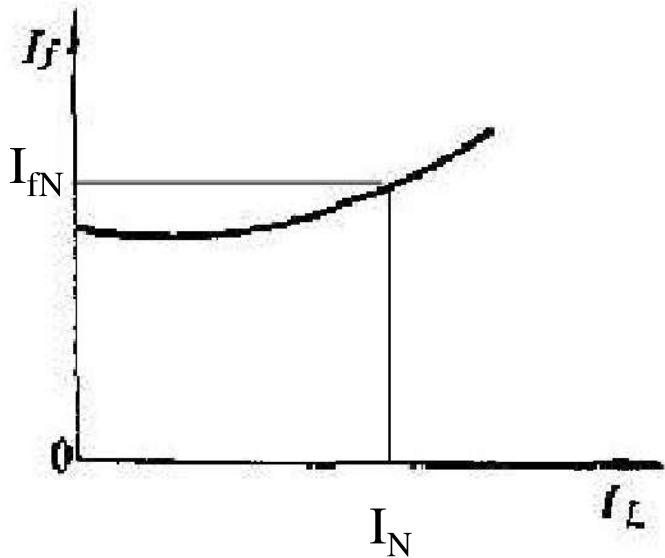


压降



## 他励时的调节特性

$$I_f = f(I), \quad U = \text{const}$$



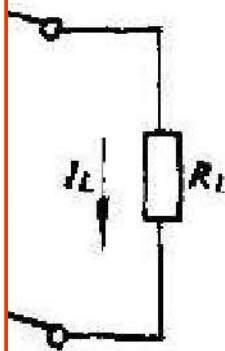
- ❖ 当有负载电流时，为要维持端电压不变，随着负载电流的增大，励磁电流相应增大



## (二) 并励发电机的特性

- ❖ 励磁绕组与电枢绕组并联、励磁电流由发电机电枢绕组电压变化

原，如同步电机的励磁机、蓄电磁的充



如何改变电机端电压极性？

改变电刷间极性时应注意电压建立的问题：即改变原动机转向时必须改变绕组的相对连接，使感应电势与剩磁方向一致



## 并励时的空载特性

$$U_0 = f(I_f), \quad I = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} U_0 = E_a - I_f R_a \\ I_f \ll I_{aN} \end{array} \right\} \Rightarrow U_0 \approx E_a \propto \Phi$$

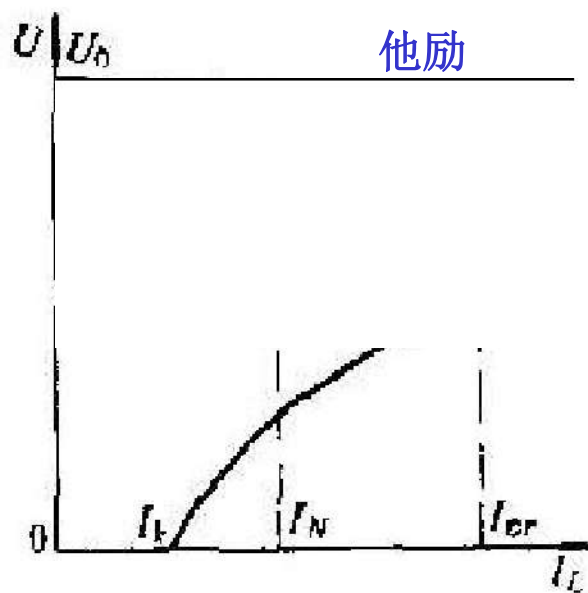
$$U_0 = f(I_f) \propto \Phi = f(I_f) \quad \text{与他励电机相同}$$





**并励时的外特性**  $U = f(I)$ ,  $R_c = const$

拐点产生的原因:



电压变化率约为20%

直接短路时，端电压 $U=0$ ，励磁绕组电压等于0。励磁电流为零，感应电势仅为剩磁电势，并引起短路电流。

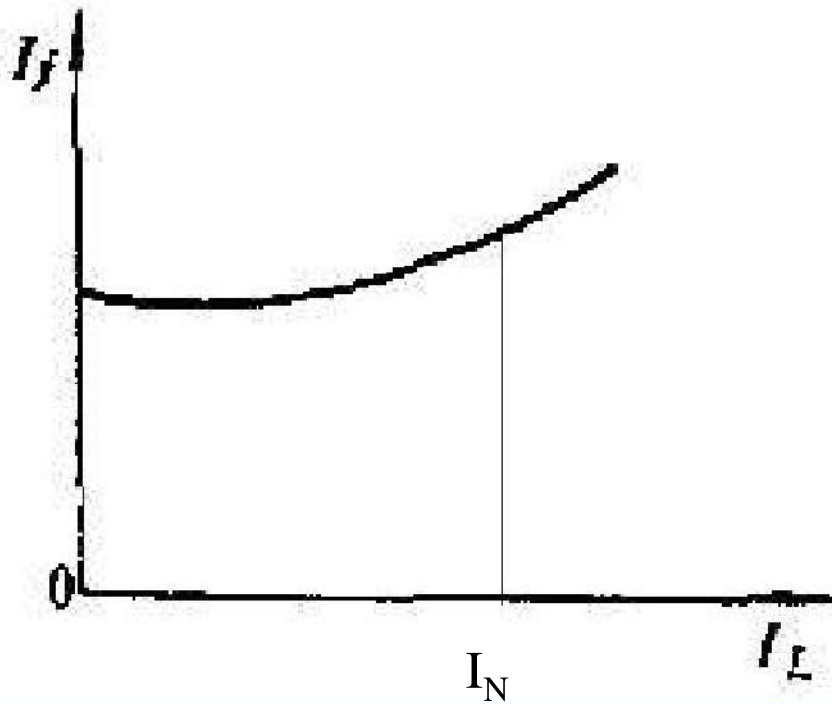
短路的影响主要在于突然短路的瞬间:

由于励磁绕组有很大的电阻，磁通不能立即变为零， $i_{max}$ 可达 $8-12I_N$ 。



## 并励时的调节特性

$$I_f = f(I), \quad U = \text{const}$$





## 思考题

❖ 并励发电机在下列情况下空载电压如何变化？

(1) 磁通 $\Phi$ 减小10%

$$E_a = C_e \Phi n$$

则 $U_0 = E_a$ 也减小10%

(2) 励磁电流减小10%

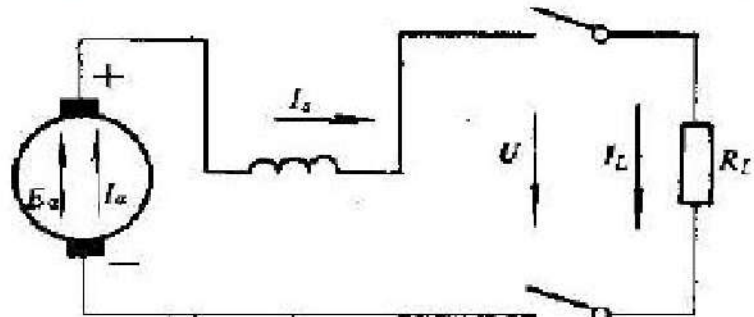
发电机正常运行处于磁路饱和状态， $I_f$ 减小10%，  
则 $\Phi$ 减小小于10%

(3) 励磁回路电阻减小10%

$R_f$ 减小10%，磁阻斜率线减小10%，空载电压是磁化曲线与磁阻线的交点。由于工作在磁化曲线的饱和区， $U_0$ 增加不到10%

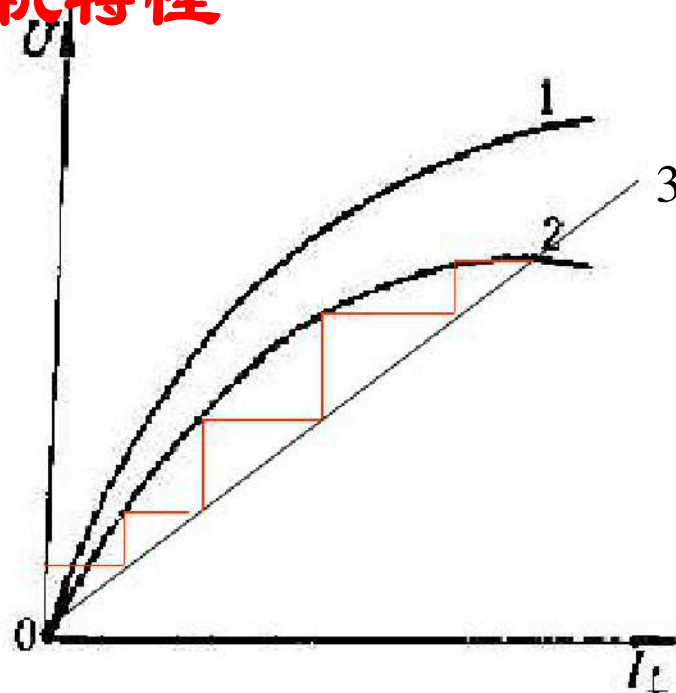


## (三) 串励发电机特性



### 电压建立过程

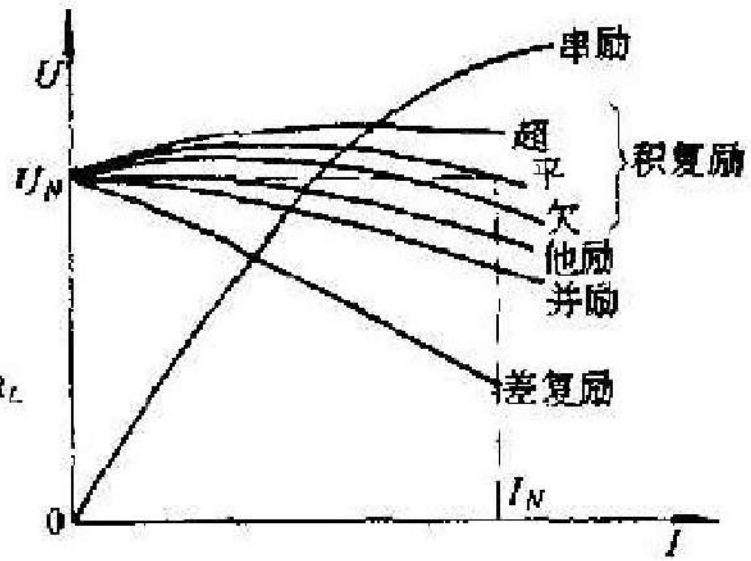
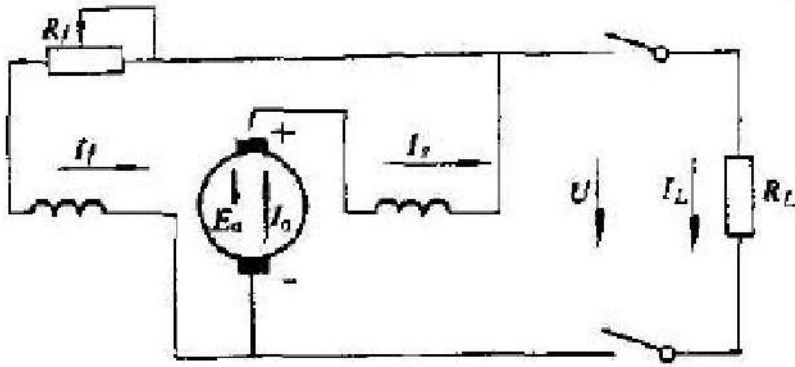
端电压与负载电阻有关，若负载电阻减小，则端电压升高；若负载电阻大于一临界电阻，则电势不能建立。



1. 空载特性（另外励磁）
2. 外特性
3. 场阻线（包括外电阻）



## (四) 复励发电机的特性





## 思考题

- 1、如果没有磁饱和现象，直流发电机是否能自励？
- 2、直流发电机短路时有无危险？
  - 他励发电机
  - 并励发电机



❖作业:

p336思考题

16-1, 16-2, 16-7, 16-9, 16-10

p339习题

16-7, 16-8,

16-10, 16-11, 16-12