



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

电力系统的功率调整和频率调整

电力系统的频率调整

主讲：田行军

5.3 电力系统的频率调整

一、负荷的有功功率—频率静态特性

1、定义:


负荷 { 与用户的生产状态有关 } 假设不变
 { 与接入点系统电压有关 }
 { 与系统频率有关——仅考虑频率因素 }

2、负荷性质:

与频率无关	—照明、电炉等
与频率的一次方成正比	—球磨机、卷扬机等
与频率的二次方成正比	—变压器的涡流损耗等
与频率的三次方成正比	—通风机、循环水泵等
与频率的高次方成正比	—静水头阻力大的给水泵

5.3 电力系统的频率调整

$$P_L = a_0 P_{LN} + a_1 P_{LN} \left(\frac{f}{f_N} \right) + a_2 P_{LN} \left(\frac{f}{f_N} \right)^2 + a_3 P_{LN} \left(\frac{f}{f_N} \right)^3 + \dots$$


$$a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + \dots = 1$$

以 f_N 和 P_{LN} 为基准值

的标么值表达式

$$P_{L*} = a_0 + a_1 f_* + a_2 f_*^2 + a_3 f_*^3 + \dots$$

5.3 电力系统的频率调整

负荷的有功功率—频率静态特性简化表达

当频率偏离额定值不大时，负荷有功—频率静态特性用一条近似直线来表示。

$$K_L = \operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta P_L}{\Delta f}$$

$$K_{L^*} = \frac{\Delta P_L / P_{LN}}{\Delta f / f_N} = \frac{\Delta P_{L^*}}{\Delta f^*}$$

↑
负荷的**单位调节功率**，表示负荷随频率的变化程度。

$$K_{L^*} \approx 1.5$$

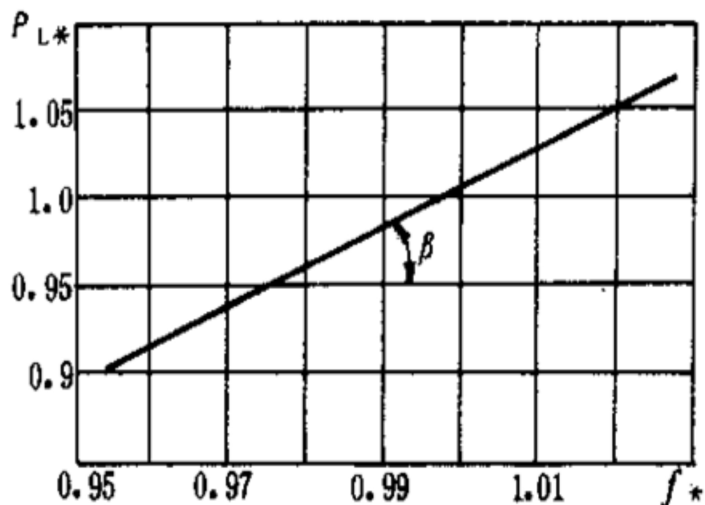


图 7-16 有功负荷频率静态特性

5.3 电力系统的频率调整

二、发电机组的有功功率-频率静态特性

1. 调速器的工作原理

- 1 为转速测量元件-离心飞摆及其附件;
- 3 为放大元件-错油门;
- 4 为执行机构-油动机;
- 5 为转速控制机构或称同步器(调频器)

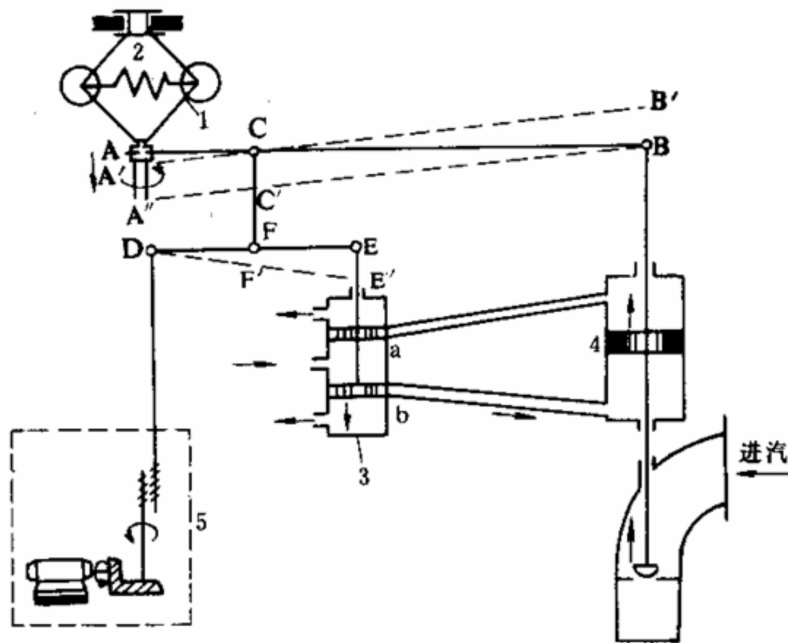


图 7-17 离心飞摆式调速系统示意图

1—飞摆；2—弹簧；3—错油门；4—油动机；5—调频器

5.3 电力系统的频率调整

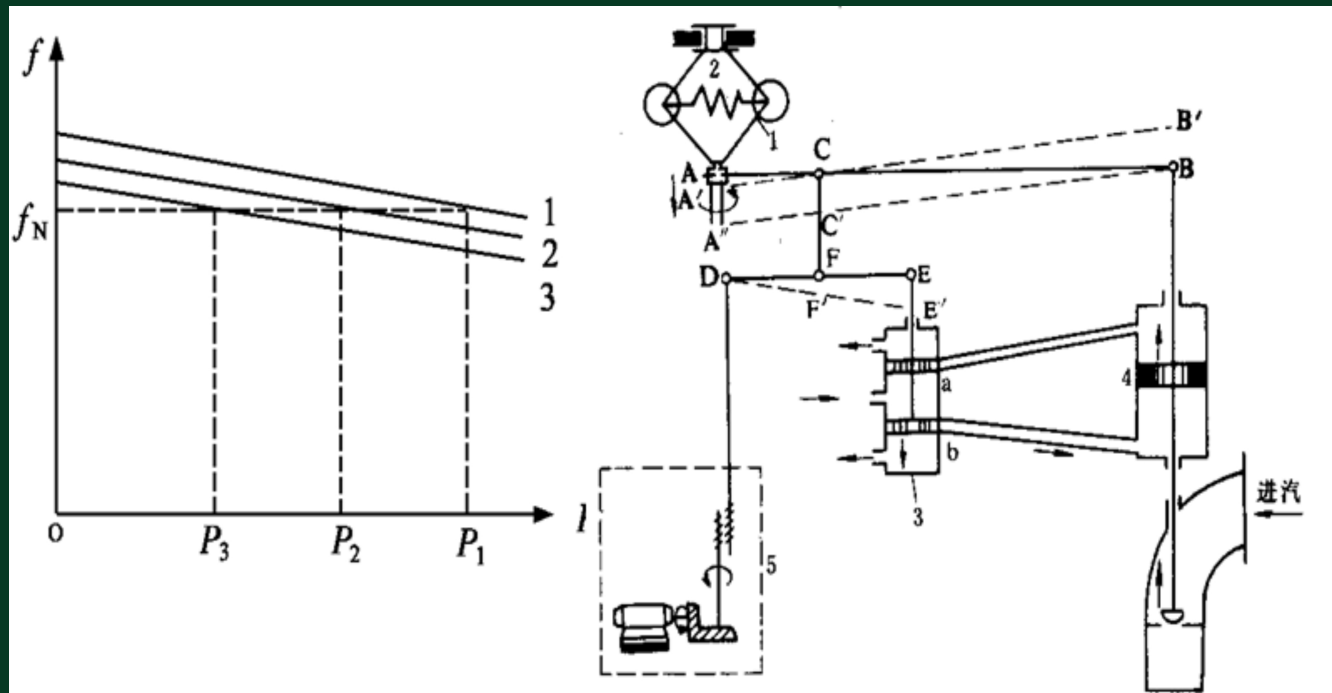


图 7-17 离心飞摆式调速系统示意图

1—飞摆；2—弹簧；3—错油门；4—油动机；5—调频器

5.3 电力系统的频率调整

(1) 无调速系统时: $P_T = c_1 f - c_2 f^2$

(2) 有调速系统时

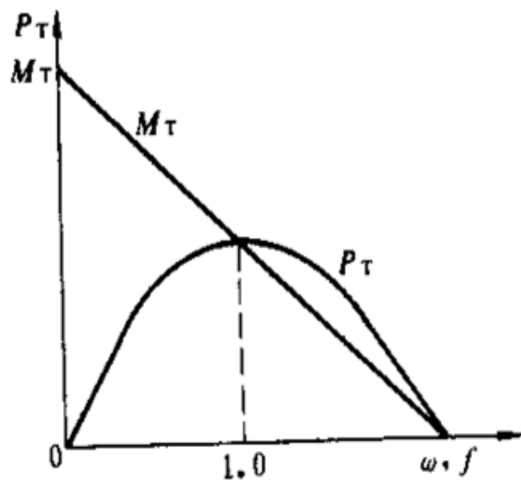


图 7-18 未配置自动调速系统时
原动机的静态频率特性

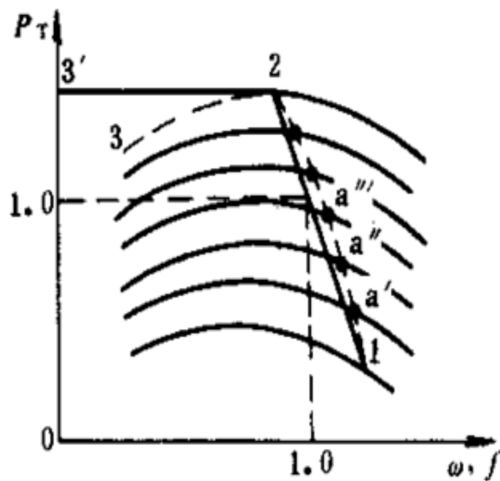


图 7-19 有一次调整时原动机
的频率静态特性

5.3 电力系统的频率调整

(3) 有调频器时

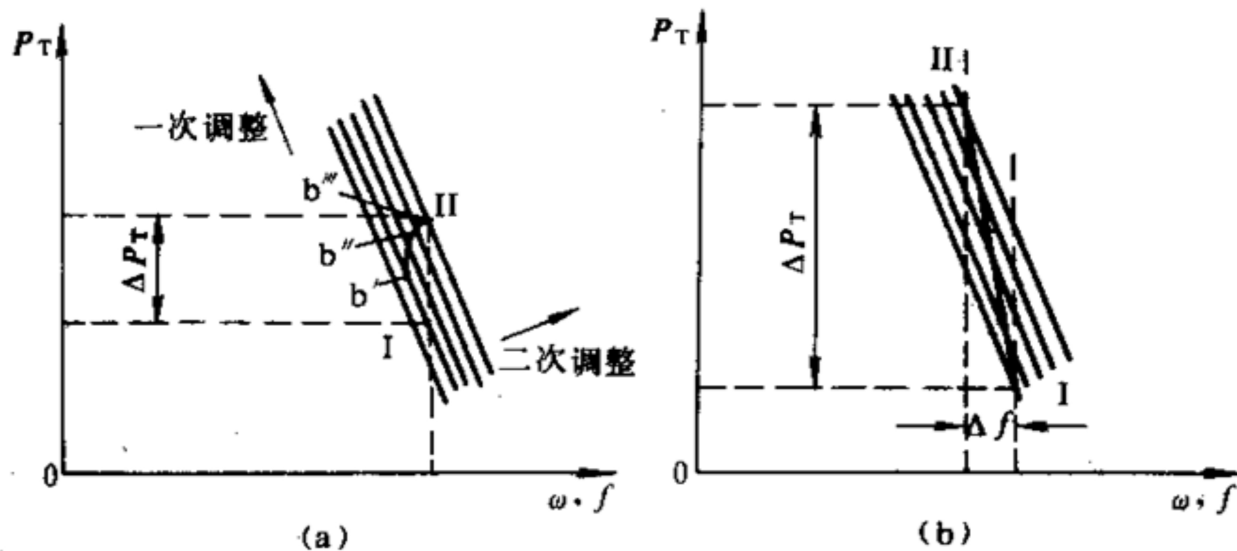


图 7-20 有二次调整时原动机的频率静态特性'

(a) 无差调节; (b) 有差调节

5.3 电力系统的频率调整

2、概念介绍

(1) **发电机的单位调节功率**: 发电机组原动机或电源频率特性的斜率。

$$K_G = -\frac{\Delta P_G}{\Delta f} \quad (\text{MW/Hz})$$

$$K_{G^*} = -\frac{\Delta P_G f_N}{P_{GN} \Delta f} = K_G f_N / P_{GN}$$

标志着随频率的升降发电机组发出功率减少或增加的多寡。

(2) **发电机的调差系数**: 单位调节功率的倒数。

$$\sigma = -\frac{\Delta f}{\Delta P_G} = -\frac{f_N - f_0}{P_{GN} - 0} = \frac{f_0 - f_N}{P_{GN}}$$
$$\sigma\% = -\frac{\Delta f P_{GN}}{f_N \Delta P_{GN}} \times 100 = \frac{f_0 - f_N}{f_N} \times 100$$

5.3 电力系统的频率调整

发电机的单位调节功率与调差系数的关系：

$$K_{G^*} = \frac{1}{\sigma\%} \times 100 \quad K_G = \frac{1}{\sigma} = K_{G^*} \frac{P_{GN}}{f_N} = \frac{1}{\sigma\%} \times 100 \frac{P_{GN}}{f_N}$$

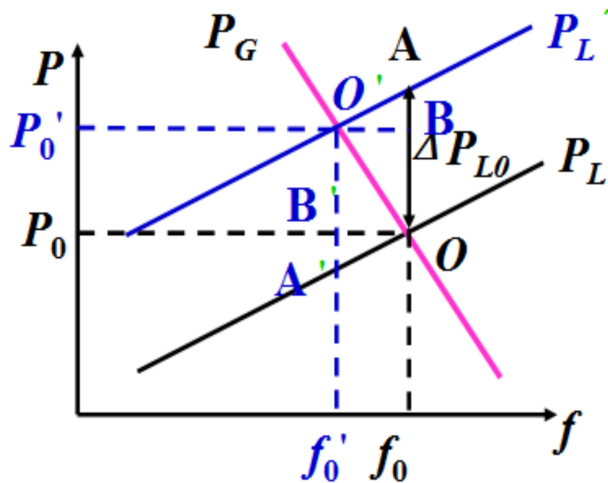
一般来说发电机的单位调节功率是可以整定的：

- 汽轮发电机组 $\sigma\% = 3 \sim 5$ 或 $K_{G^*} = 33.3 \sim 20$
- 水轮发电机组 $\sigma\% = 2 \sim 4$ 或 $K_{G^*} = 50 \sim 25$

5.3 电力系统的频率调整

三、频率的一次调整

简述：由于负荷突增，发电机组功率不能及时变动而使机组减速，系统频率下降，同时，发电机组功率由于调速器的一次调整作用而增大，负荷功率因其本身的调节效应而减少，经过一个衰减的振荡过程，达到新的平衡。



5.3 电力系统的频率调整

$$\Delta f = f'_0 - f_0 < 0$$

$$|OA| = |OB| + |BA| = \Delta P_{L0}$$

$$|OB| = |B'O'| = -K_G \Delta f$$

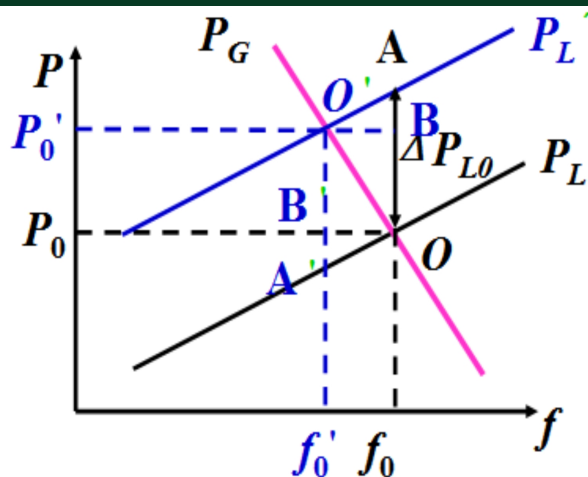
$$|BA| = |A'B'| = -K_L \Delta f$$

$$\Delta P_{L0} = |AO| = |OB| + |BA|$$

$$= -K_G \Delta f - K_L \Delta f = -(K_G + K_L) \Delta f = -K_S \Delta f$$

$$K_S = K_G + K_L = -\frac{\Delta P_{L0}}{\Delta f}$$

系统的单位调节功率：计及发电机和负荷的调节效应时，引起频率单位变化时的负荷变化量。



5.3 电力系统的频率调整

注意:

- 1、取功率的增大或频率的上升为正;
- 2、为保证调速系统本身运行的稳定,不能采用过大的单位调节功率;
- 3、对于满载机组,不再参加调整。

- 对于系统有若干台机参加一次调频:

$$K_S = \sum K_G + K_L$$

具有一次调频的各机组间负荷的分配,按其调差系数即下降特性自然分配。

5.3 电力系统的频率调整

四、频率的二次调整

频率的二次调整：通过操作**调频器**，使发电机组的频率特性平行的移动，从而使负荷变化引起的频率偏移在允许的波动范围内。

1. 主调频厂的选择

•**调频厂：**负有二次调频任务的电厂，分为主调频厂和辅助调频厂。

•**调频厂应满足的条件：**

- 1) 足够的调整容量
- 2) 较快的调整速度
- 3) 调整范围内的经济性较好

5.3 电力系统的频率调整

调整容量:

水电厂 > 火电厂

中温中压电厂 (75%) > 高温高压电厂 (30%)

调整速度:

水电厂 > 火电厂

调频厂选择:

首选: 水电厂

其次: 中温中压电厂

5.3 电力系统的频率调整

2. 频率调整图

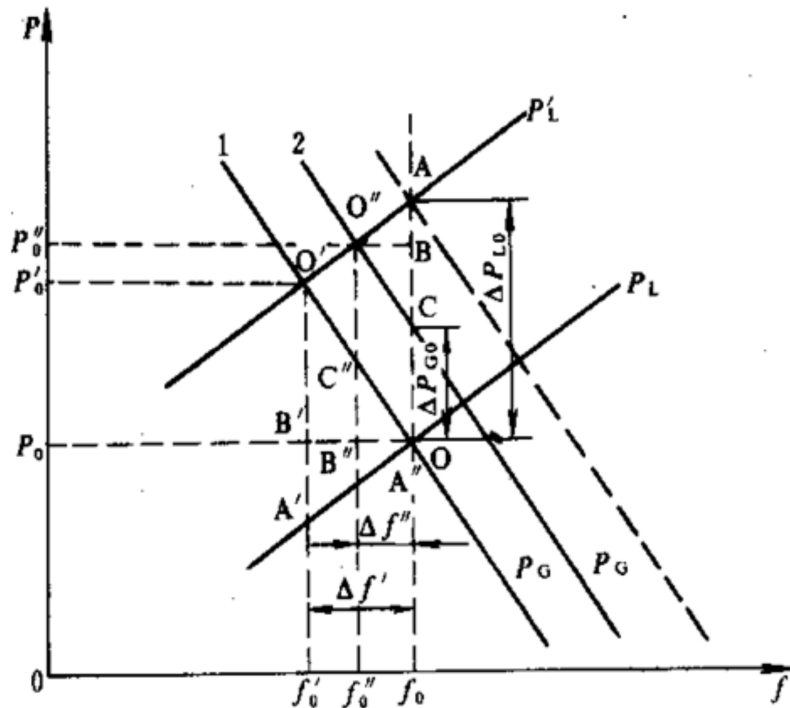


图 7-23 频率的二次调整

5.3 电力系统的频率调整

3. 当系统负荷增加时，由以下三方面提供：
- 二次调频的发电机组增发的功率 ΔP_G ；
 - 发电机组执行一次调频，按有差特性的调差系数分配而增发的功率 $K_{G\Sigma}\Delta f$ ；
 - 由系统的负荷频率调节效应所减少的负荷功率 $K_L\Delta f$ 。

5.3 电力系统的频率调整

4. 数学表达式

$$\Delta P_{L0} - \Delta P_{G0} = -(K_G + K_L)\Delta f$$
$$-\frac{\Delta P_{L0} - \Delta P_{G0}}{\Delta f} = K_G + K_L = K_S$$

如果 $\Delta P_{L0} = \Delta P_{G0}$ ，即发电机组如数增发了负荷功率的原始增量，则 $\Delta f = 0$ ，即所谓的**无差调节**。

对于N台机，且由第s台机组担负二次调整的任务，则：

$$-\frac{\Delta P_{L0} - \Delta P_{Gs0}}{\Delta f} = \sum K_G + K_L = K_S$$

5.3 电力系统的频率调整

五 调频厂的选择

- **调频厂**：负有二次调频任务的电厂，分为主调频厂和辅助调频厂。
- **调频厂应满足的条件**：
 - 1) 足够的调整容量
 - 2) 较快的调整速度
 - 3) 调整范围内的经济性较好

5.3 电力系统的频率调整



在线开放课程

六 自动发电控制

- 1 国内外自动发电控制的研究与应用情况
- 2 对频率控制的要求
- 3 自动发电控制是保证频率质量的重要手段
 - (1) 传统的频率调节很难使频率满足要求；
 - (2) 负荷波动使发电功率与负荷难以平衡；
 - (3) 单机容量增大使单台机故障带来的损失增大，人工调节需较长时间。
- 4 自动发电控制是实现在线经济分配的必备手段

小结



在线开放课程

- ➡ 介绍了负荷的有功功率-频率静态平衡;
- ➡ 介绍了发电机组的有功功率-频率;
- ➡ 介绍了频率的一、二次调整