



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

电力系统频率及有功功率的自动调节

发电机组的 功率——频率特性

主讲：崔跃华

- 频率变化而引起发电机组输出功率变化的关系称为发电机组的功率—频率特性或调节特性。
-
- 发电机组的功率—频率特性取决于调速系统的特性。
- 发电机组转速的调整是由原动机的调速系统来实现的。

(一) 发电机的功率 - 频率特性

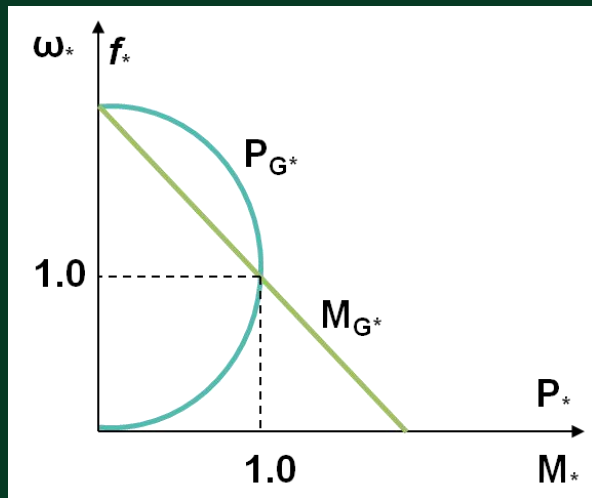
- 发电机转矩方程：

$$M_{G^*} = A - B\omega$$

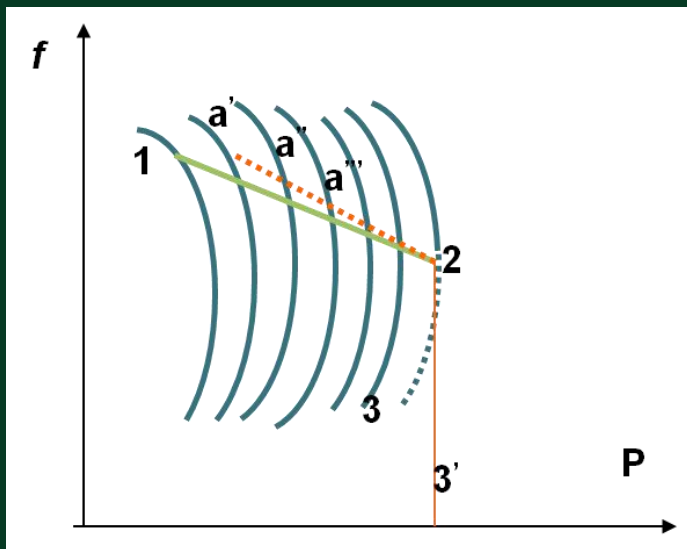
- 功率方程：

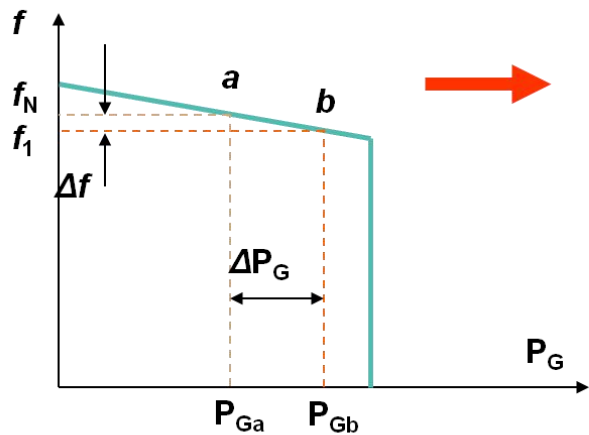
$$P_{G^*} = C_1'\omega_* - C_2'\omega_*^2$$

- 无调速器时，转速和转矩都为额定值
- 输出功率最大值。



- 但发电机配置调速器后，随着转速的变动，不断调节进气量，使原动机的运行点从一条静态特性曲线向另一条静态特性曲线过渡。





功率调整时，频率有变化，为有差调节特性。

特性曲线的斜率为： $R = -\frac{\Delta f}{\Delta P_G}$

标么化： $R_* = -\frac{\Delta f / f_N}{\Delta P_G / P_{GN}} = -\frac{\Delta f_*}{\Delta P_{G*}}$

或 $\Delta f_* + R_* \Delta P_{G*} = 0$

R 为发电机组的调差系数，其标么值

$$R_* = -\frac{\Delta f / f_N}{\Delta P_G / P_{GN}} = -\frac{\Delta f_*}{\Delta P_{G*}}$$

实际运行过程中，采用调差系数的倒数：

$$K_{G*} = \frac{1}{R_*} = -\frac{\Delta P_{G*}}{\Delta f_*}, \text{ 即: } K_{G*}\Delta f + \Delta P_{G*} = 0$$

K_{G*} 一般称为发电机组的功率—频率静态特性系数，或原动机的单位调节功率。

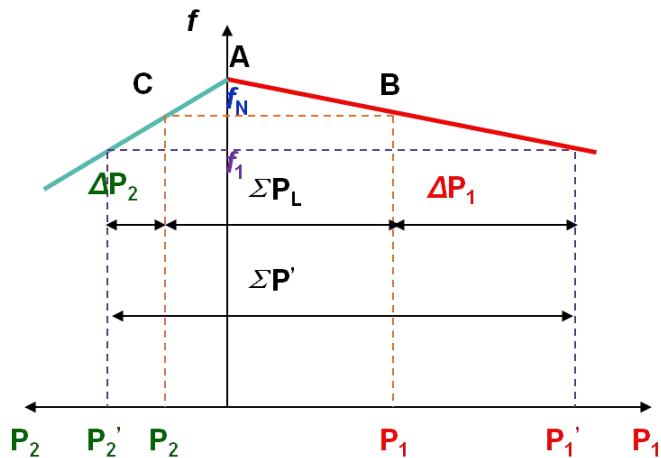
$$K_G \text{ 用有名值表示: } K_G = -\frac{\Delta P_G}{\Delta f}$$

对于汽轮发电机组： $R_* = 4\% - 6\%$ 或 $K_{G*} = 16.6 - 25$;

对于水轮发电机组： $R_* = 2\% - 4\%$ 或 $K_{G*} = 25 - 50$;

(二) 调差特性与机组间有功功率分配的关系

(二) 调差特性与机组间有功功率分配的关系



两机组间的功率增量分配

$$\Delta f_* + R_* \Delta P_{G*} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta P_{G1*}}{\Delta P_{G2*}} = \frac{R_{2*}}{R_{1*}}$$

发电机的功率增量用各自的标么值表示时，在发电机组间的功率分配与机组的调差系数成反比。调差系数小的的机组承担的负荷增量标么值较大，调差系数大的的机组承担的负荷增量标么值较小。

有功功率分配和调差系数关系：

根据公式： $\Delta f_* + R_* \Delta P_{G_*} = 0$ ，得： $\frac{\Delta P_{1^*}}{\Delta P_{2^*}} = \frac{R_{2^*}}{R_{1^*}}$

推广到多机系统： $\Delta P_{Gi} = -\frac{1}{R_{i^*}} \times \frac{\Delta f}{f_N} P_{GiN}$

求和，

考虑到稳态时整个系统内频率的变化 Δf 是相同的，

得：

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{Gi} = -\frac{\Delta f}{f_N} \times \sum_{i=1}^n \frac{P_{GiN}}{R_{i^*}}$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta P_{Gi} = -\frac{\Delta f}{f_N} \times \sum_{i=1}^n \frac{P_{GiN}}{R_{i*}}, \text{ 如果用等值机代替:}$$

$$\Delta P_{\Sigma} = -\frac{1}{R_{\Sigma*}} \times \frac{\Delta f}{f_N} P_{\Sigma N}, \text{ 其中 } P_{\Sigma N} = \sum_{i=1}^n P_{GiN}.$$

$$\text{系统等值调差系数: } R_{\Sigma*} = \frac{P_{\Sigma N}}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{GiN}}{R_{i*}}}$$

$$\text{同时: } -\Delta f_* = \frac{R_{1*} \Delta P_1}{P_{G1N}} = \frac{R_{2*} \Delta P_2}{P_{G2N}} = \dots = \frac{R_{\Sigma} \Delta P_{\Sigma}}{P_{\Sigma N}}$$

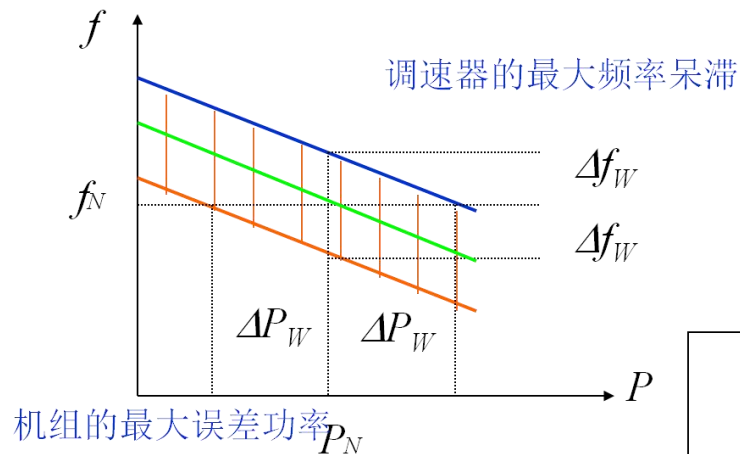
当系统负荷变化后，每台发电机所承担的功率可确定为：

$$\Delta P_{Gi} = \Delta f_* * \frac{P_{GiN}}{R_{i*}} = \frac{R_{\Sigma*} \Delta P_{\Sigma}}{P_{\Sigma N}} \times \frac{P_{GiN}}{R_{i*}}$$

几点注意：

- 对没有调节容量的机组(调差系数趋于无限大)应以 P_{iN} / R_i 为零代入；
- 多台机组调差系数等于零是不能并联运行的；
- 一台机组的调差系数等于零与多台有差调节机组的并列运行是不现实的。
- 在电力系统中，所有机组的调速器都为有差调节，由它们共同承担负荷的波动

(三) 调节特性的失灵区



失灵度 $\varepsilon = \frac{\Delta f_W}{f_N}$

调速器的频率调节特性是条带子，导致并联运行的发电机组间有功功率分配产生误差。

$$\frac{\Delta f_W}{\Delta P_W} = R \Rightarrow \frac{\Delta f_{W^*}}{\Delta P_{W^*}} = R_*$$
$$\Rightarrow \varepsilon / \Delta P_{W^*} = R_*$$

过小的调差系数会引起较大的功率分配误差。

为避免系统在频率微小波动时动作，会人为加不灵敏区。

汽轮发电机组的不灵敏区为0.1%--0.5%

水轮发电机组的不灵敏区为0.1%--0.7%