

习题 5-8 某系统有容量 100MW 的发电机 4 台并联运行，每台机组的调差系数为 4%。系统频率为额定频率 50Hz 时，系统的负荷为 320MW。问：

- (1) 如果在额定频率时，有 3 台机是满载运行的，现在系统负荷增加，不计负荷的频率调节效应，另外一台机组仅依靠调速器控制，该机组达到满载时，系统频率是多少？

解 (1)：三台满载机组已达出力上限，故不能参加一次调频。机组的功频调节系数为

$$K_G = \frac{100}{\sigma(\%)} \times \frac{P_{GN}}{f_N} = \frac{100}{4} \times \frac{100}{50} = 50 \text{ MW/Hz}$$

$$\text{则 } \Delta f = -\frac{\Delta P_G}{K_G} = -\frac{100-20}{50} = -1.6 \text{ Hz}$$

$$\text{系统频率为 } f = f_N + \Delta f = 50 - 1.6 = 48.4 \text{ Hz}$$

- (2) 如果在额定频率时，4 台机组是平均承担系统负荷的，现在系统负荷增加，不计负荷的频率调节效应，所有机组仅依靠调速器控制，当所有机组达到满载时，系统频率是多少？

解 (2)：每台机组在额定频率时的出力为 80MW，小于机组容量 100MW，因此，4 台机组都参加一次调频，有

$$K_{\Sigma G} = 4 \times K_G = 200 \text{ MW/Hz}$$

则 4 台机满载时

$$\Delta f = -\frac{\Delta P_{G\Sigma}}{K_{G\Sigma}} = -\frac{400-320}{200} = -0.4 \text{ Hz}$$

$$\text{系统频率为 } f = f_N + \Delta f = 50 - 0.4 = 49.6 \text{ Hz}$$

可见，对频率稳定问题而言，(1) 的开机方式不好。

- (3) 如果在额定频率时，4 台机组是平均承担系统负荷的，现在系统负荷持续下降，不计负荷的频率调节效应，所有机组仅依靠调速器控制，当所有机组都达到空载时，系统频率是多少？

$$\text{解 (3)：} \Delta f = -\frac{\Delta P_{G\Sigma}}{K_{G\Sigma}} = -\frac{0-320}{200} = 1.6 \text{ Hz} \text{ , 则}$$

$$f = f_N + \Delta f = 50 + 1.6 = 51.6 \text{ Hz}$$

习题 5-9 某系统有 3 台容量为 100MW 的发电机并列运行，它们的调差系数分别为 2%，6%和 5%。开机方式为 60MW，80MW 和 100MW；系统负荷的功频调节系数为 6.667MW/Hz。

- (1) 当系统标称负荷增加 50MW 后，系统频率为多少？
(2) 当三台机都达到满载时，系统增加的标称负荷是多少？此时系统频差是多少？

解 (1)：由于机组 3 已经满载，故机组 3 不参加一次调频。

$$K_{G1} = \frac{100}{2} \times \frac{100}{50} = 100 \text{ MW/Hz}$$

$$K_{G2} = \frac{100}{6} \times \frac{100}{50} = 33.333 \text{ MW/Hz}$$

则系统的功频调节系数为

$$K_S = K_{\Sigma G} + K_L = K_{G1} + K_{G2} + K_L = 100 + 33.333 + 6.667 = 140 \text{ MW/Hz}$$

系统频差为

$$\Delta f = -\frac{50}{140} = -0.357 \text{ Hz}$$

其中

$$\begin{cases} \Delta P_{G1} = -K_{G1} \Delta f = 100 \times 0.357 = 35.7 \text{ MW} < (100 - 60) \\ \Delta P_{G2} = -K_{G2} \Delta f = 33.333 \times 0.357 = 11.905 \text{ MW} < (100 - 80) \end{cases}$$

解 (2): 发电机 1、2 参加一次调频的最大频差分别为:

$$\begin{cases} \Delta f_1 = -\frac{\Delta P_{G1}}{K_{G1}} = -\frac{100 - 60}{100} = -0.4 \\ \Delta f_2 = -\frac{\Delta P_{G2}}{K_{G2}} = -\frac{100 - 80}{33.333} = -0.6 \end{cases}$$

可见当系统频率降为 49.6Hz 时, 发电机 1 满载, 此后不再参加增加出力的一次调频。此时, 发电机 2 增加的出力为

$$\Delta P_{G2} = -K_{G2} \Delta f = 33.333 \times 0.4 = 13.333 \text{ MW} < (100 - 80)$$

$$\text{则发电机 1 的出力为 } P'_{G2} = P_{G2} + \Delta P_{G2} = 80 + 13.333 = 93.333 \text{ MW} < 100$$

发电机 2 目前的热备用成为 $\Delta P'_{G2} = 100 - 93.333 = 6.667 \text{ MW}$ 。发电机 1、3 不参加一

次调频, 只有发电机 2 参加一次调频, 则

$$\Delta f = -\frac{\Delta P'_{G2}}{K_{G2}} = -\frac{6.667}{33.333} = -0.2 \text{ Hz}$$

$$\text{系统总频差为两段频差之和, 即 } \Delta f = -\frac{\Delta P'_{G2}}{K_{G2}} = -0.4 - 0.2 = -0.6 \text{ Hz}$$

$$\text{在上述频差下, 负荷的功频调节效应为 } \Delta P_L = K_L \Delta f = -6.667 \times 0.6 = -4 \text{ MW}$$

系统的标称负荷为 $P_{LN} = 300 + 4 = 304 \text{ MW}$, 即系统最大可增加的标称负荷为

$\Delta P_{LN} = 304 - (60 + 80 + 100) = 64 \text{ MW}$ 。如果负荷进一步增加, 系统频率将仅仅依赖负荷

的功频特性“调节”。

习题 5-10 某电力系统所有机组的调差系数均为 5%: 系统中最大容量机组的容量为系统额定负荷的 10%, 该机组留有 15% 的热备用容量; 当负荷在额定值基础上波动量达 5% 时,

系统频率下降 0.1Hz。设所有机组都有充足的热备用，计算最大机组因故障而退出运行后，不采用其它控制措施而只依靠一次调频，系统频率下降多少。

解：记系统在额定频率时的负荷为 P_{LN0} ，则容量最大的机组的容量为 $P_{GN} = 0.1P_{LN0}$ ，

其出力为 $P_G = 0.85 \times 0.1P_{LN0}$ 。系统的功频调节系数为

$$K_S = -\frac{0.05P_{LN0}}{-0.1} = 0.5P_{LN0} \text{ MW/Hz}$$

最大容量机组的功频调节系数为 $K_{GM} = \frac{100}{5} \times \frac{0.1P_{LN0}}{50} = 0.04P_{LN0} \text{ MW/Hz}$ 。

该机组退出后系统的功频调节系数为

$$K'_S = K_S - K_{GM} = 0.5P_{LN0} - 0.04P_{LN0} = 0.46P_{LN0} \text{ MW/Hz}$$

最大机组的退出，相当于系统增加了负荷 $\Delta P_L = P_G = 0.85 \times 0.1P_{LN0}$ ，则系统频率下降为

$$\Delta f = -\frac{\Delta P_L}{K'_S} = -\frac{0.85 \times 0.1P_{LN0}}{0.46P_{LN0}} = 0.185 \text{ Hz}$$

习题 5-12 系统 A，当负荷增加 250MW 时，频率下降 0.1Hz；系统 B，当负荷增加 400MW 时，频率也下降 0.1Hz。当系统 A、B 分别运行于 49.85Hz 和 50Hz 时，将两个系统联网运行。计算（1）联合系统的频率为多少。（2）B 系统给 A 系统支援了多少功率？

解：依题可知

$$K_A = \frac{250}{0.1} = 2500 \text{ MW/Hz}$$

$$K_B = \frac{400}{0.1} = 4000 \text{ MW/Hz}$$

系统 A 的负荷增量为 $\Delta P_{LA} = K_A \Delta f = 2500 \times 0.15 = 375 \text{ MW}$ ；系统 B 没有负荷增加。

联网运行后，联合系统的功频调节系数为 $K_{AB} = K_A + K_B = 2500 + 4000 = 6500 \text{ MW/Hz}$ ，

联合系统的负荷增量为 $\Delta P_{LAB} = \Delta P_{LA} + \Delta P_{LB} = 375 \text{ MW}$ 。则联合系统的频率偏差为：

$$\Delta f = -\frac{\Delta P_{LAB}}{K_{AB}} = -\frac{375}{6500} = 0.058 \text{ Hz}$$

系统 B 的一次调频出力增加量为 $\Delta P_{LB} = K_B \Delta f = 4000 \times 0.058 = 230.769 \text{ MW}$ 是系统 B 支援系统 A 的功率。