

电源反馈设计速成篇之五: 设计篇 (Voltage mode, CCM)

设计的目的是为了系统稳定且有足够频率响应使系统在负载变化时得到较小的电压波动.

传统的无差运放调节器分为一类(Type 1), 二类(Type 2)和三类(Type 3), 对应其有一个, 两个和三个极点.

图 1 为 Type 1 补偿器. 其传递函数为一积分器. 应用 Type1 补偿器时, 为了系统稳定, 剪切频率必须远在 LC 谐振双极点之前. 一般应用于对负载变化要求不高的场合.

$$G_I = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{R_1 \cdot C_1}$$

图 2 为 Type 2 补偿器, 其传递函数为

$$G_{II} = \frac{1}{R_1 \cdot (C_1 + C_2)} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{(1 + s/\omega_z)}{(1 + s/\omega_p)}, \text{ 其中}$$

$$\omega_p = \frac{1}{R_2 \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}, \quad \omega_z = \frac{1}{R_2 \cdot C_2}$$

图 3 为 Type 2 补偿器波特图. 相比 Type1 多引入了一个零点和极点, 零点在前极点后因此可以提升相位, 推高剪切频率提高系统响应速度. 图 4 为 Type 2 补偿器系统设计波特图, 黑色为主电路开环频率响应, 粉红色为补偿器频率响应, 蓝色为整个系统开环回路增益(Loop Gain), 虚线为运放开环增益. 剪切频率可在 LC 谐振双极点之后. 其前提是 ESR 零点在剪切频率之前靠近 LC 谐振双极点, 否则相位裕量不够. 设计要点是放零点在 LC 谐振双极点之前如 0.1 倍处, 极点在 0.5 倍开关频率之前以衰减高频噪声.

图 5 为 Type 3 补偿器波特图. 相比 Type2 又多引入了一个零点和极点, 零点在前极点后因此可以提升更多相位, 推高剪切频率提高系统响应速度. 图 6 为 Type 3 补偿器系统设计波特图, 黑色为主电路开环频率响应, 粉红色为补偿器频率响应, 蓝色为整个系统开环回路增益(Loop Gain), 虚线为运放开环增益. 剪切频率可在 LC 谐振双极点之后. 设计要点是放两个零点在 LC 谐振双极点之前如 0.5 和 1 倍处以抵消 LC 谐振双极点, 一个极点在 ESR 零点处抵消 ESR 零点, 处另一个极点在 0.5 倍开关频率之前以衰减高频噪声.

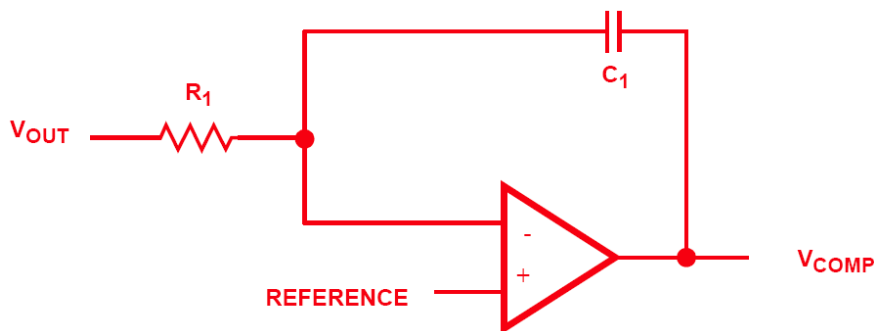


图 1. Type 1 补偿器

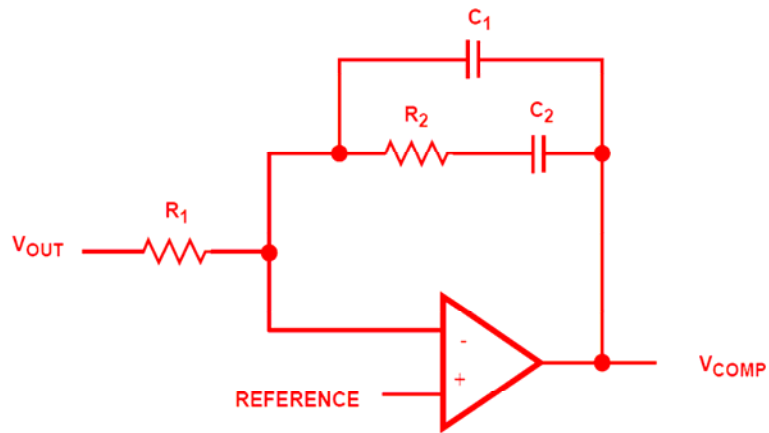


图 2. Type 2 补偿器

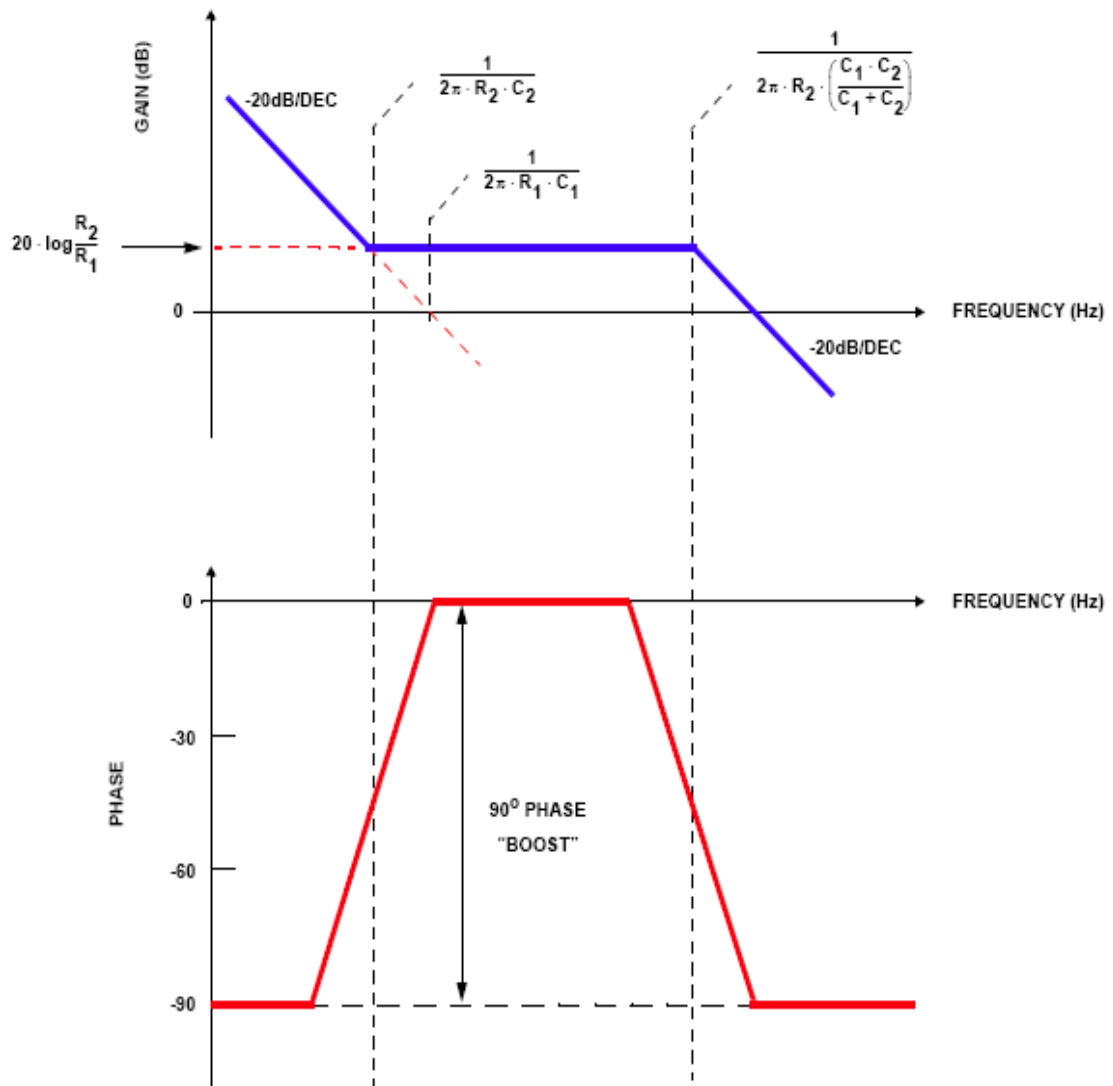


图 3. Type 2 补偿器波特图

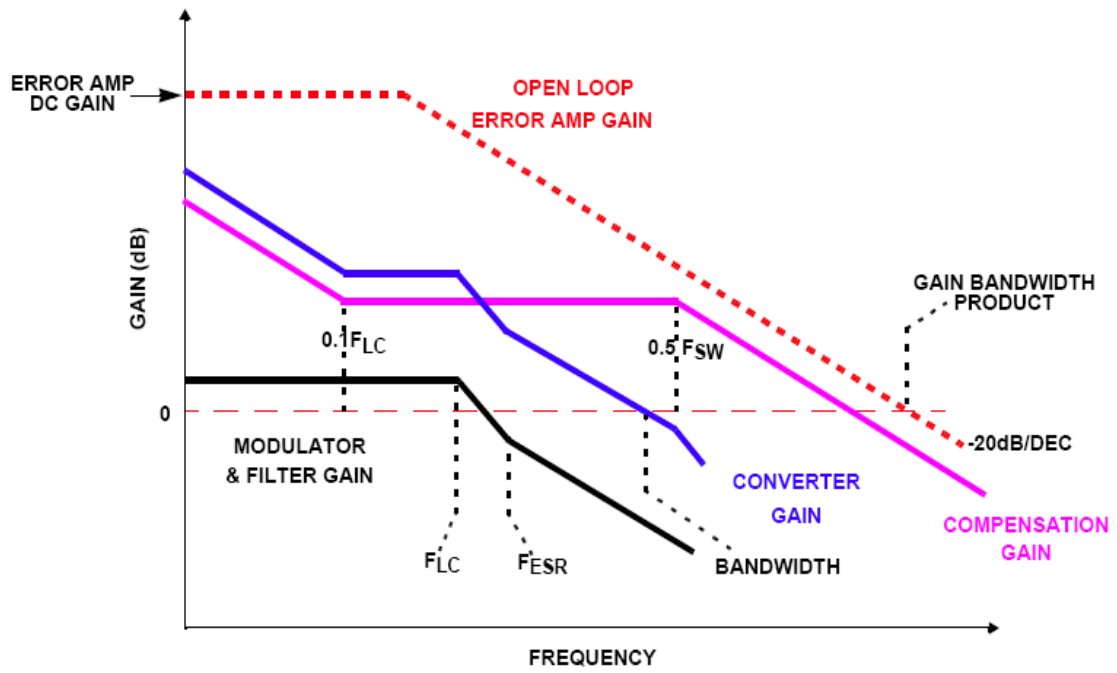


图 4 . Type 2 补偿器系统设计波特图

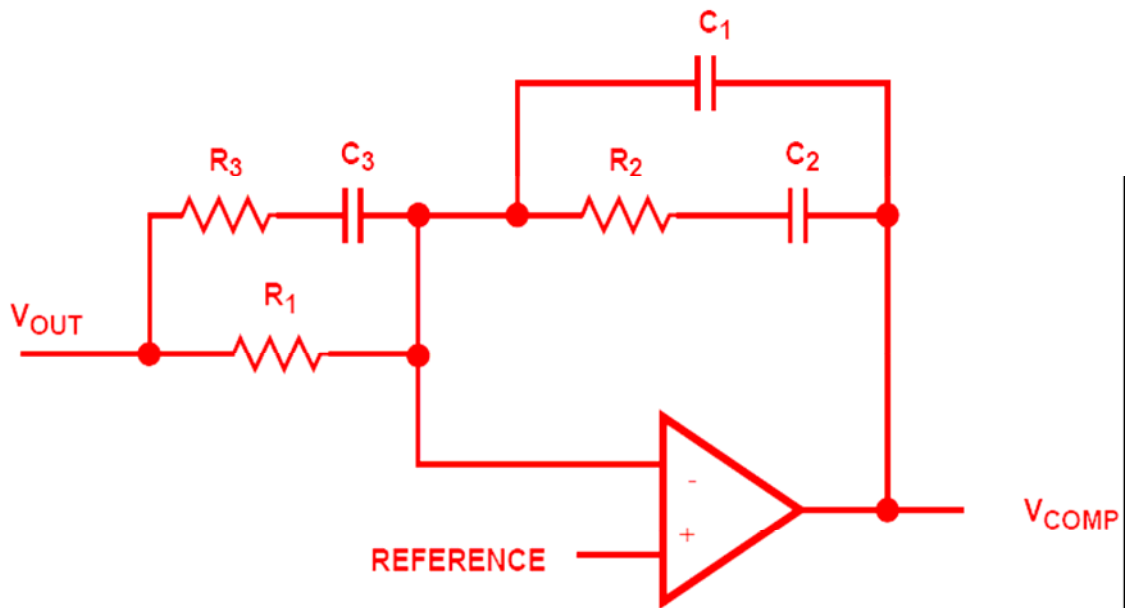


图 5. Type 3 补偿器

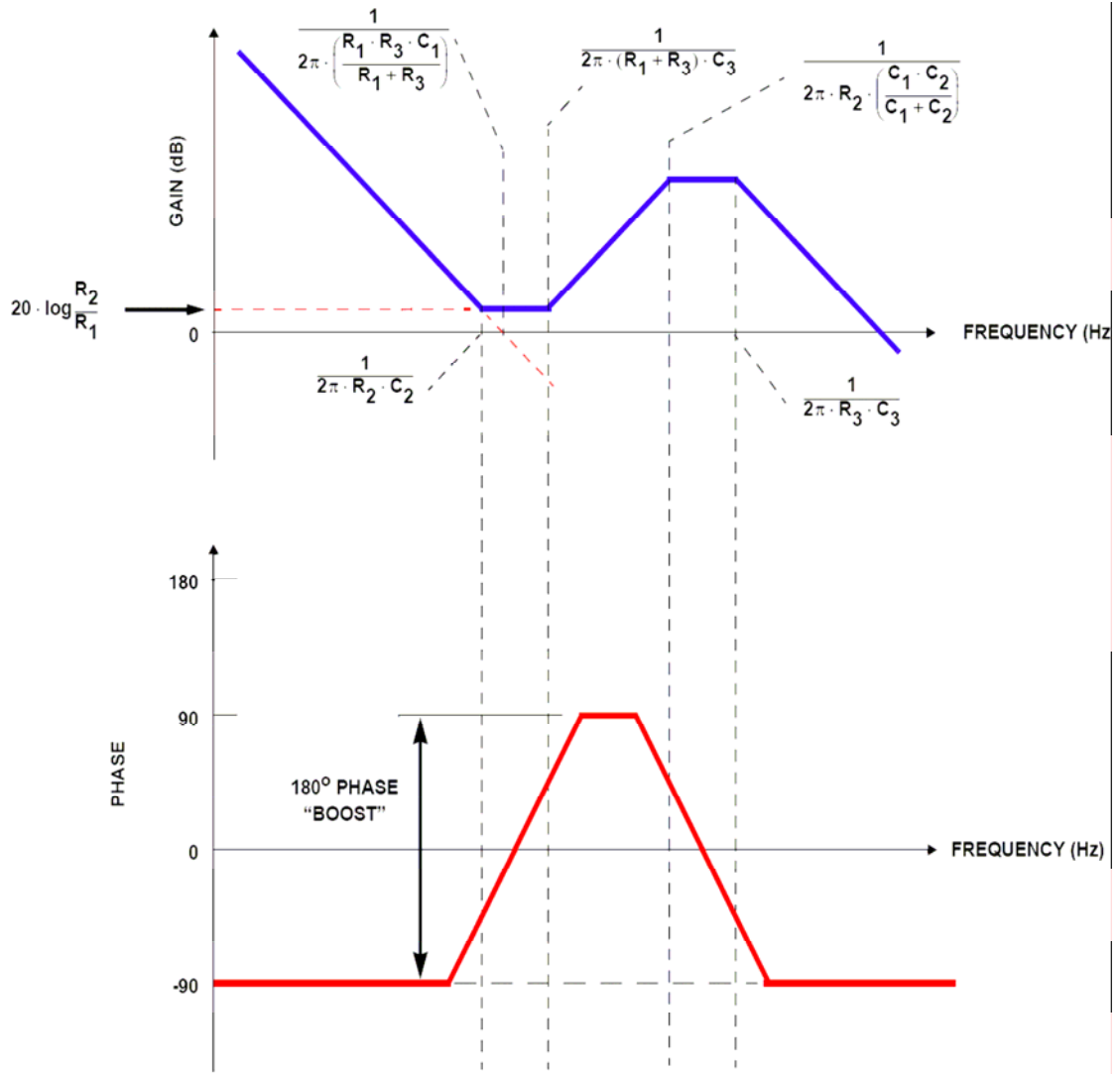


图 6. Type 3 补偿器波特图

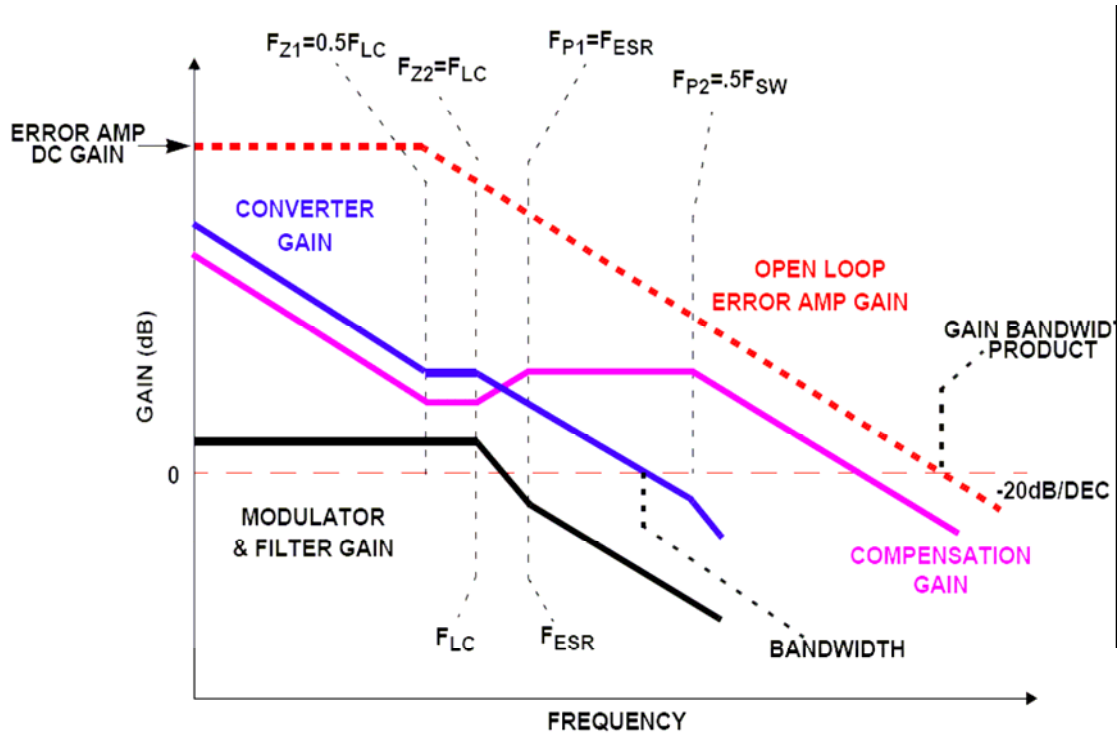


图 7. Type 3 补偿器系统设计波特图

Type 2 补偿器, 其传递函数为

$$G_{III} = \frac{1}{R_1 \cdot (C_1 + C_2)} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{(1 + s/\omega_{z1}) \cdot (1 + s/\omega_{z2})}{(1 + s/\omega_{p1}) \cdot (1 + s/\omega_{p2})}, \text{ 其中}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{R_2 \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}, \quad \omega_{p2} = \frac{1}{R_3 \cdot C_3}, \quad \omega_{z1} = \frac{1}{R_2 \cdot C_2}, \quad \omega_{z2} = \frac{1}{(R_1 + R_3) \cdot C_3}$$

设计例子: $V_{in}=5V$, $V_{out}=3.3V$, $F_{sw}=300kHz$, $C_{out}=990\mu F$, $ESR=5m\Omega$, $L=900nH$, $DCR=3m\Omega$, 剪切频率希望在 $90kHz$, 相位裕量 45° .

Type 2 设计: $R_1=4.12k$, $R_2=124k$, $C_1=8.2pF$, $C_2=2.2nF$, 设计结果如图 8 所示. 相位裕量不到 45° , Type 2 已经无能为力了.

Type3 设计: $R_1=4.12k$, $R_2=20.5k$, $R_3=150\Omega$, $C_1=0.22nF$, $C_2=2.7nF$, $C_3=6.8nF$, 设计结果如图 9 所示. 相位裕量 45° 有余.

原文是 Intersil Technical Brief 417(TB417). 有兴趣的可看原文. 图画得不错就拷贝来了.

这里的设计方法仅限于已知电容量大小, 对模块电源来说, 不接电容和接不同类型电容都要稳定, 则剪切频率不可能太高, Type 1 或 Type 2 或其他类型补偿器也能使用, 因根据实际情况加以调整而不可拘泥.

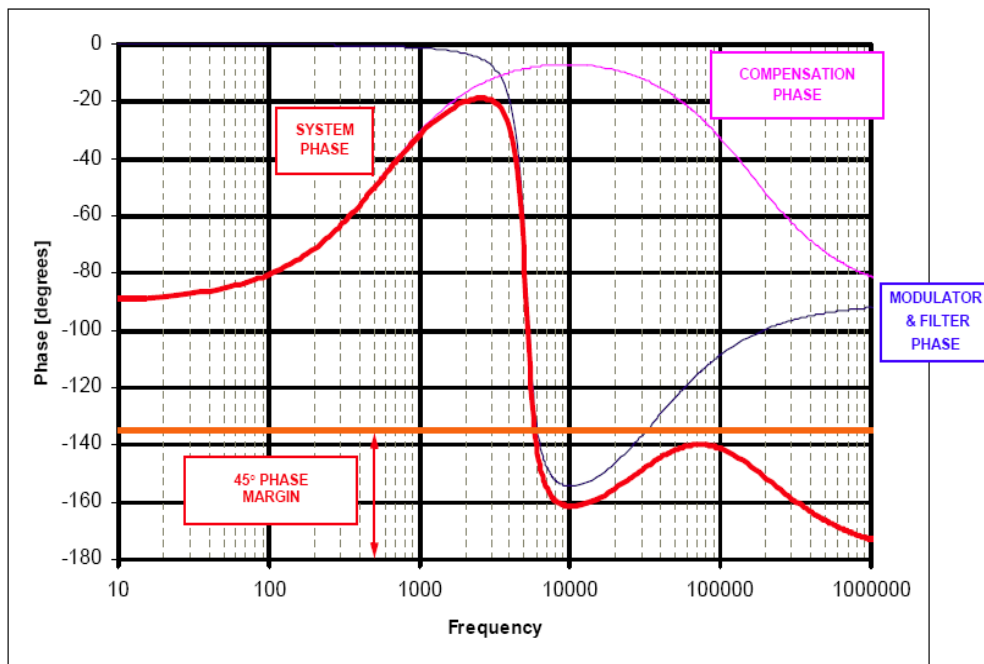
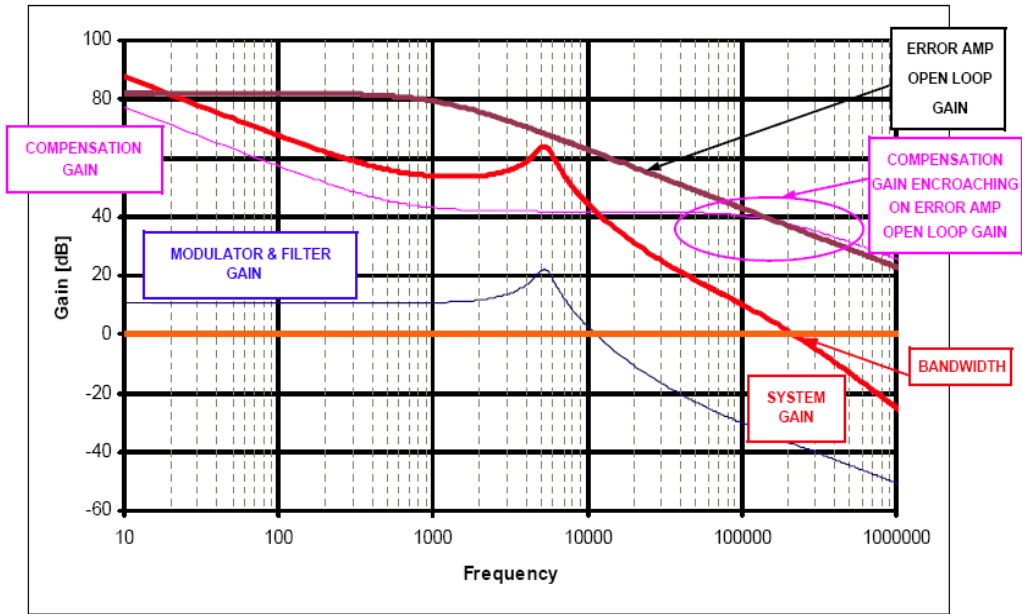


图 8. Type 2 设计结果

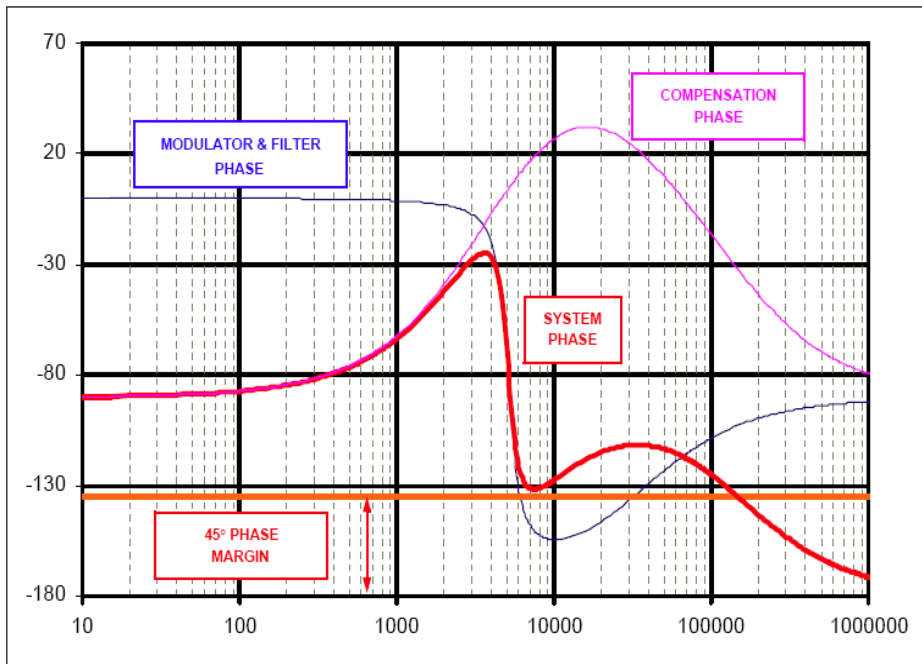
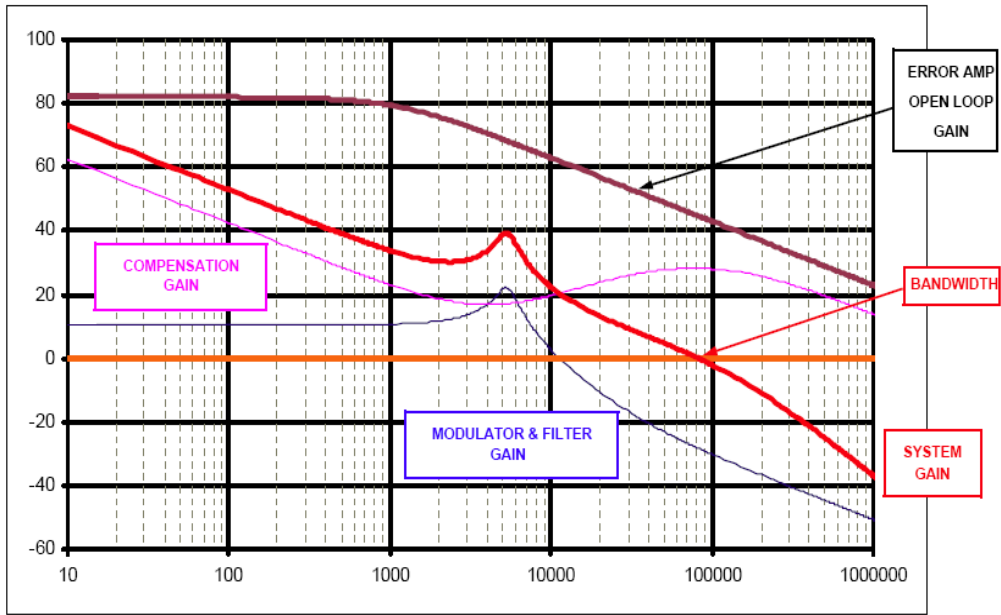


图 9. Type 3 设计结果