



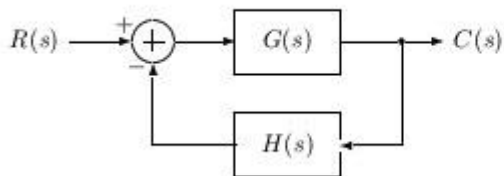
DC-DC 基础知识

1.5 变换器控制



什么是变换器控制系统？

- 由于在电路中实现了闭环控制系统，因此变换器能够在各种不同的条件下提供一个恒定的电压输出
- 简单的控制系统具有一条从输出至输入的反馈路径
 - 系统增益是受控输出与基准输入之比：没有反馈路径 H 时，它是开环系统，增益为 G ；具有反馈路径 H 时，它是闭环系统，增益为 $G/(1+G*H)$

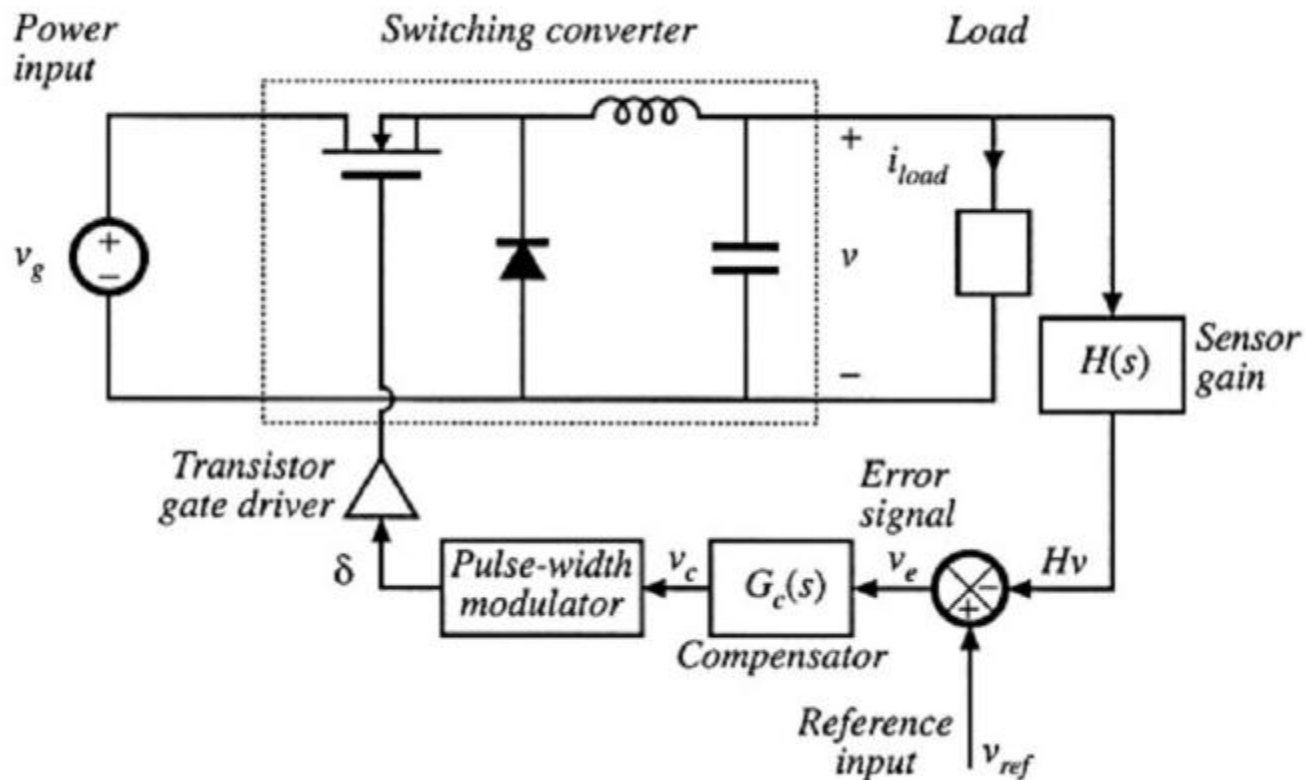


$R(s)$ reference input
 $C(s)$ controlled output
 $G(s)$ forward path
 $H(s)$ feedback path

$G*H$ 被称为环路增益（传函开环增益）



控制系统的工作原理是什么？

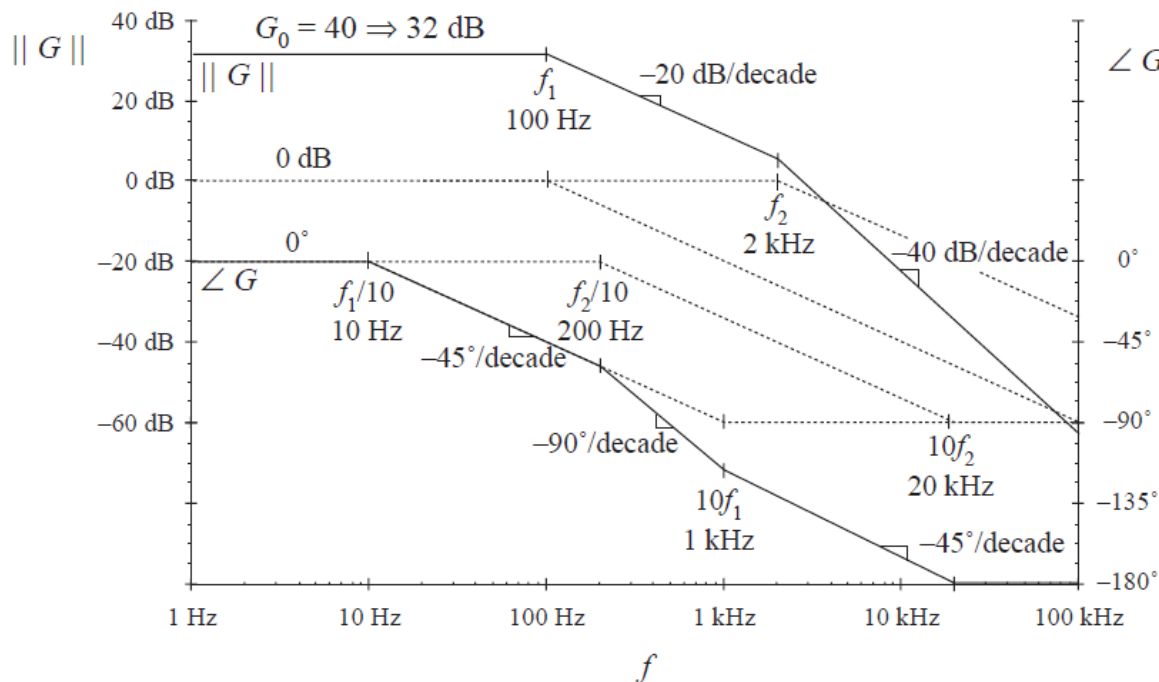




波特图 (Bode Plots)

- 控制系统的分析常常在“频域中的增益大小和相位”曲线图(称为“波特图”)中进行。
- 控制系统可以采用传递函数来表示, 因此用波特图来绘制其曲线
- 增益大小以 dB ($20\log$) 为单位来表示, 相位以角度 ($^\circ$) 来表示, 而频率曲线则通常采用对数标度来绘制

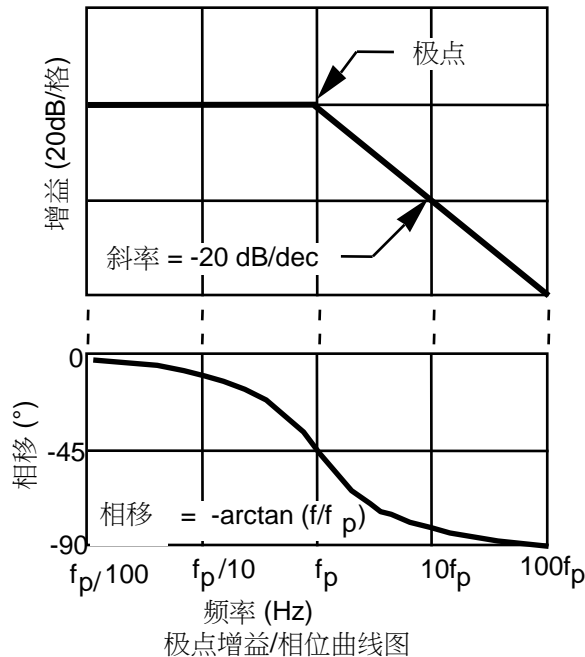
$$G(s) = \frac{G_0}{\left(1 + \frac{s}{\omega_1}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_2}\right)}$$



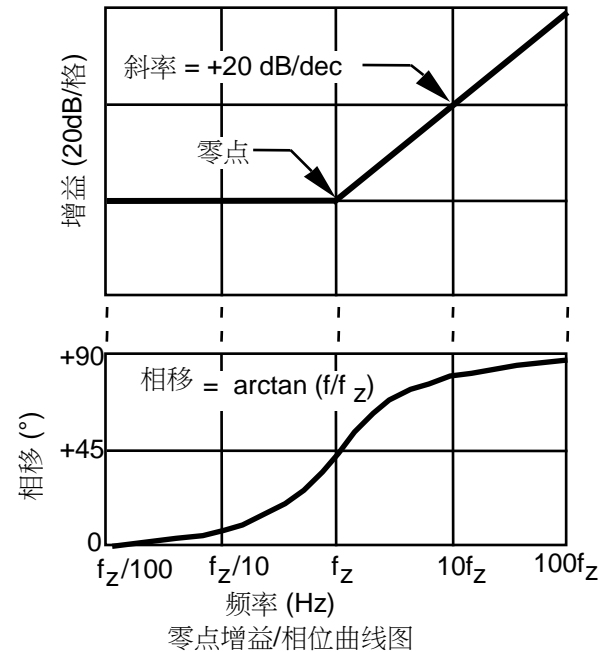


极点和零点

$$\frac{1}{1+s}$$



- 斜率改变量为 **-20 dB/十倍频**
- **1/10频到十倍频相移为 -90° (最大值)**
- 大多数影响都不超过 f_p 的一个十倍频程 (升或降)



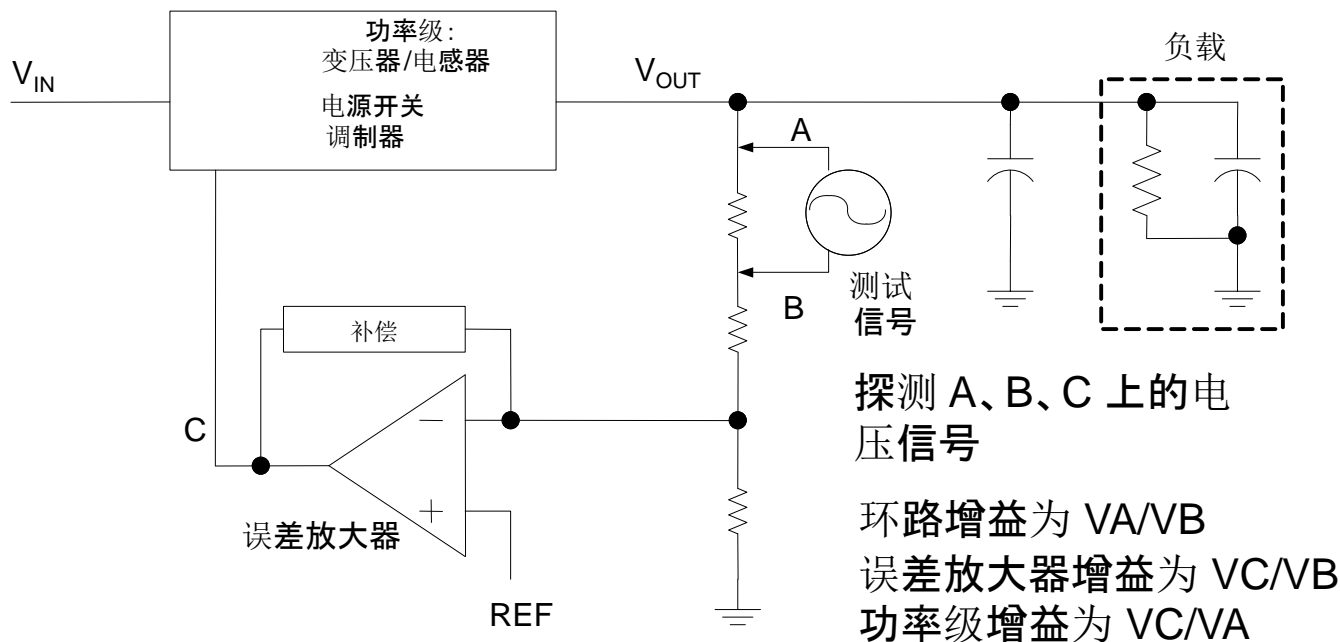
$$\frac{1+s}{1}$$

- 斜率改变量为 **+20 dB/十倍频程**
- 相移为 **$+90^\circ$ (最大值)**
- 起“反极点”的作用，这意味着其可消除极点



如何获得波特图

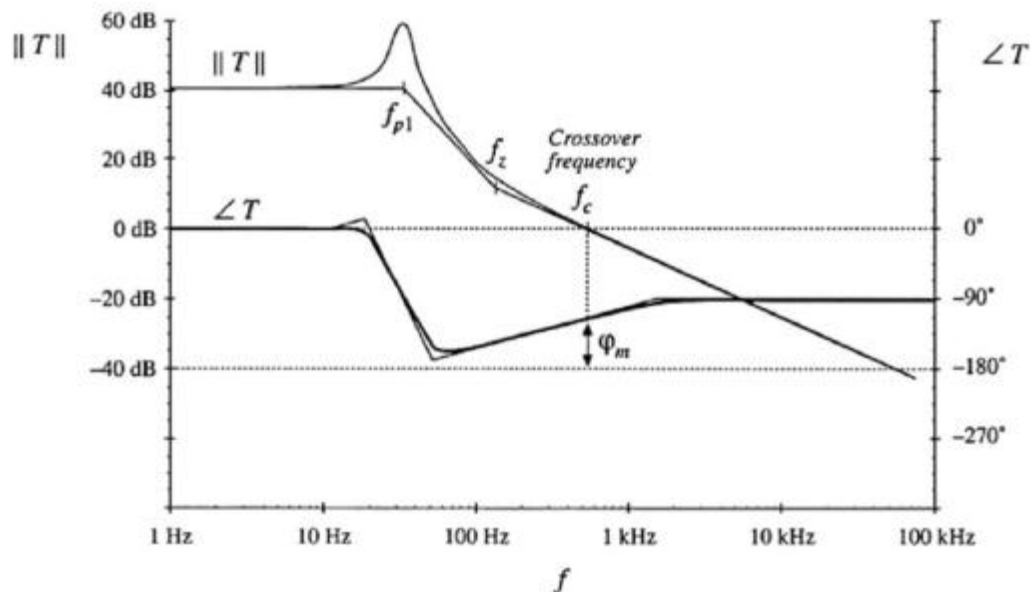
- 变换器的传递函数可利用其电路模型来推导, 然后就能从传递函数获得波特图
- 或者, 也可以将一个小的 AC 信号(小的扰动)注入反馈环路, 扫描其频率并探测和比较信号(环路响应), 由此在网络分析仪上测量波特图





控制稳定性

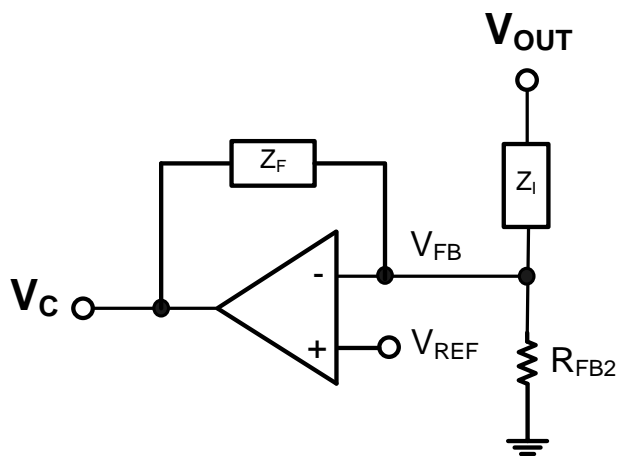
- 在增益仍然为正值的情况下，当环路增益的相位接近 180° 时，闭环系统将变得不稳定。
- 为了确保稳定性，在交叉频率下相位裕量必须为正（经验值保证 $30\sim 45$ 度相位裕度）
 - 穿越频率 f_c 是环路增益大小 $= 1$ 时的频率
 - 相位裕量(度) φ_m 是穿越频率下环路增益的相位与 -180° 的差值



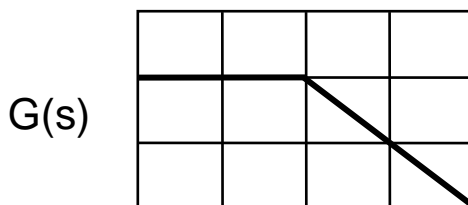


补偿器

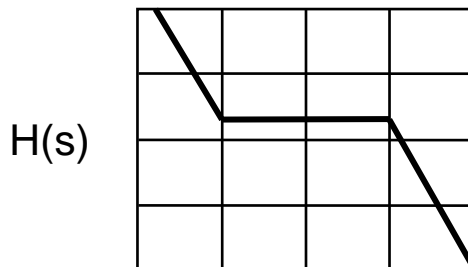
- 闭环系统中包括一个用于调整环路增益、相位的补偿器，可确保系统的稳定性及优良的瞬态响应性能
- 补偿通常是通过改变误差放大器周围的 R-C 组件来调节的



未采用补偿器时的增益

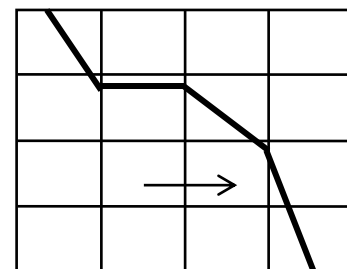


补偿器的增益



$$\Rightarrow G(s)H(s)$$

环路增益



有效地推高了环路带宽



总结

- 转换器控制介绍
- 波特图基础知识
- 控制稳定性和补偿