典型环节伯德图

伯德图又叫对数频率特性曲线，是将幅频特性和相频特性分别绘制在两个不同的坐标平面上，前者叫对数幅频特性，后者叫对数相频特性。

两个坐标平面横轴（ω轴）用对数分度，对数幅频特性的纵轴用线性分度，它表示幅值的分贝数，即$L(\omega)=20\lg|G(j\omega)|$(dB)；对数相频特性的纵轴也是线性分度，它表示相角的度数，即$\phi(\omega)=\angle G(j\omega)$（度）。

通常将这两个图形上下放置（幅频特性在上，相频特性在下），且将纵轴对齐，便于求出同一频率的幅值和相角的大小，同时为求取系统相角裕度带来方便。

一放大环节（比例环节）

放大环节的频率特性为:

$$G(j\omega) = K \text{（}K\text{为大于零的常数）}$$

其幅频特性是:

$$|G(j\omega)| = K$$

对数幅频特性为:

$$20\lg|G(j\omega)| = 20\lg K$$

当K>1时，20lgK>0，位于横轴上方；

当K=1时，20lgK=0，与横轴重合；

当K<1时，20lgK<0，位于横轴下方。

放大环节的对数幅频特性如图5-11所示，它是一条与角频率ω无关且平行于横轴的直线，其纵坐标为20lgK。

当有n个放大环节串联时，即:

$$G(j\omega)=K_1\cdot K_2\Lambda\ K_n \tag{5-62}$$

幅值的总分贝数为:

$$20\lg|G(j\omega)|=20\lg K_1+20\lg K_2+\Lambda+20\lg K_n \tag{5-63}$$

放大环节的相频特性是:

$$\angle G(j\omega)=0^0 \tag{5-64}$$

如图5-11所示，它是一条与角频率ω无关且与ω轴重合的直线。

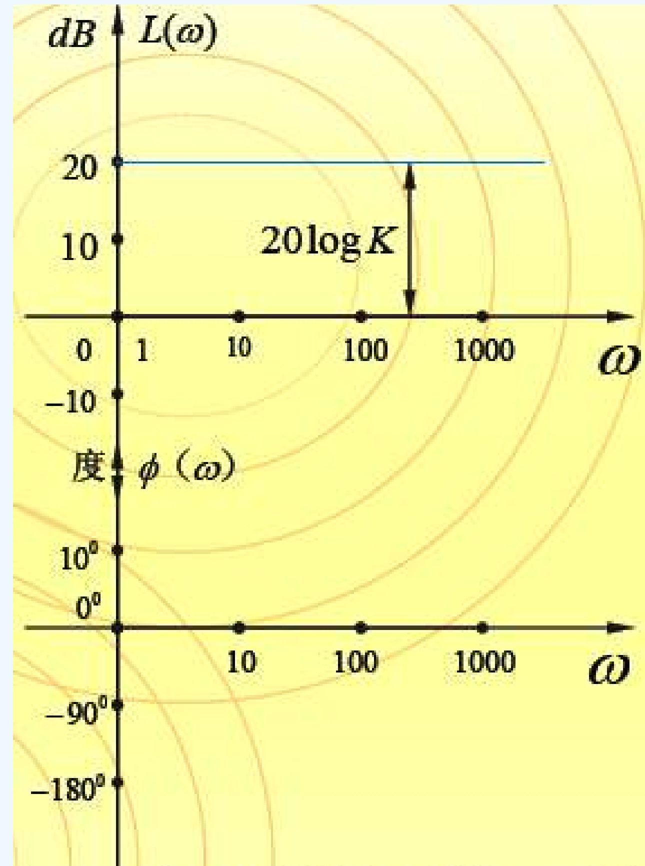


图5-11 放大环节的Bode图

二积分环节

积分环节的频率特性是:

$$G(j\omega)=\frac{1}{j\omega}$$

其幅频特性为:

$$|G(j\omega)|=\frac{1}{\omega}$$

对数幅频特性是:

$$20\lg|G(j\omega)|=20\lg\frac{1}{\omega}=-20\lg\omega$$

当 $\omega=0.1$ 时，$20\lg|G(j0.1)|=-20\lg 0.1=20(dB)$ ；

当 $\omega=1$ 时，$20\lg|G(j1)|=-20\lg 1=0(dB)$ ；

当 $\omega=10$ 时，$20\lg|G(j10)|=-20\lg 10=-20(dB)$ 。

设 $\omega' = 10\omega$ 与:

$$-20\lg\omega' = -20\lg 10\omega = -20 - 20\lg\omega \quad \text{(5-68)}$$

可见，其对数幅频特性是一条在ω=1（弧度/秒）处穿过零分贝线（ω轴），且以每增加十倍频率降低20分贝的速度（-20dB/dec）变化的直线。

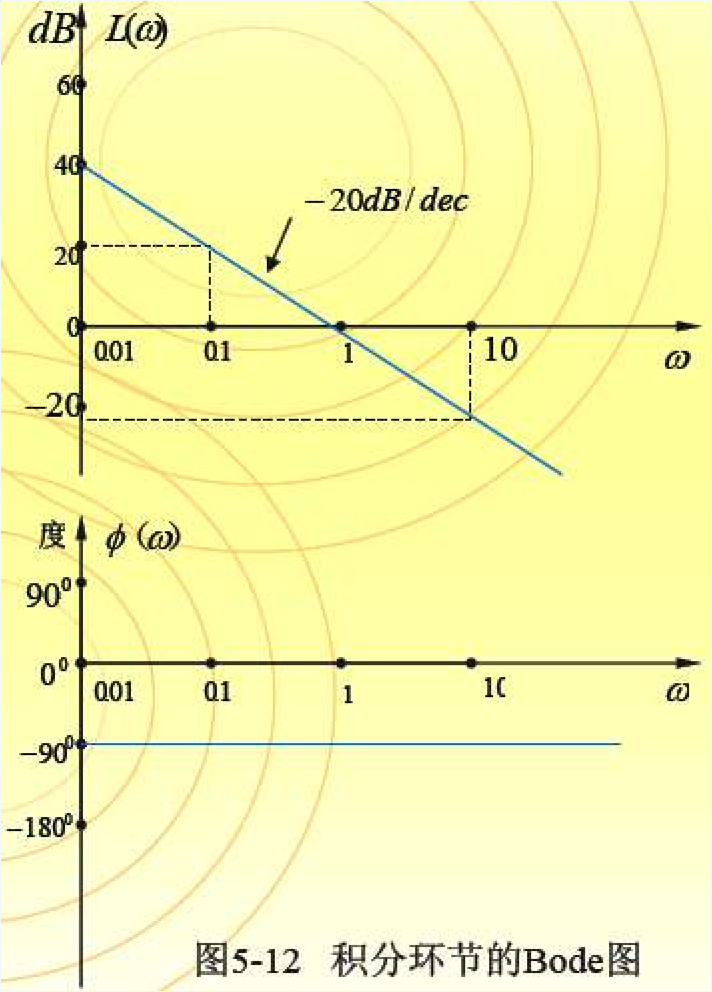


图5-12 积分环节的Bode图

积分环节的相频特性是:

$$\angle G(j\omega) = -90^0 \quad \text{(5-69)}$$

是一条与ω无关，值为-900 且平行于ω轴的直线。积分环节的对数幅频特性和相频特性如图5-12所示。

当有n个积分环节串联时，即:

$$G(j\omega)=\frac{1}{(j\omega)^n}$$

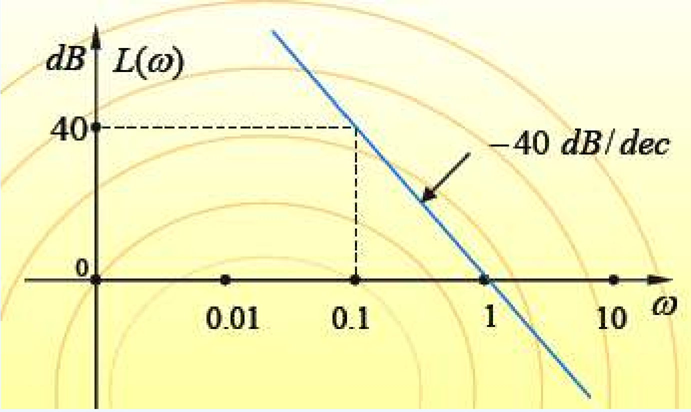
其对数幅频特性为:

$$20\lg|G(j\omega)|=20\lg\frac{1}{\omega^n}$$
$$=-n\times 20\lg\omega$$

是一条斜率为-n×20dB/dec，且在ω=1（弧度/秒）处过零分贝线（ω轴）的直线。

$$\angle G(j\omega)=-n\times 90^0$$

相频特性是一条与ω无关，值为-n×900 且与ω轴平行的直线。两个积分环节串联的Bode图如图5-13所示。



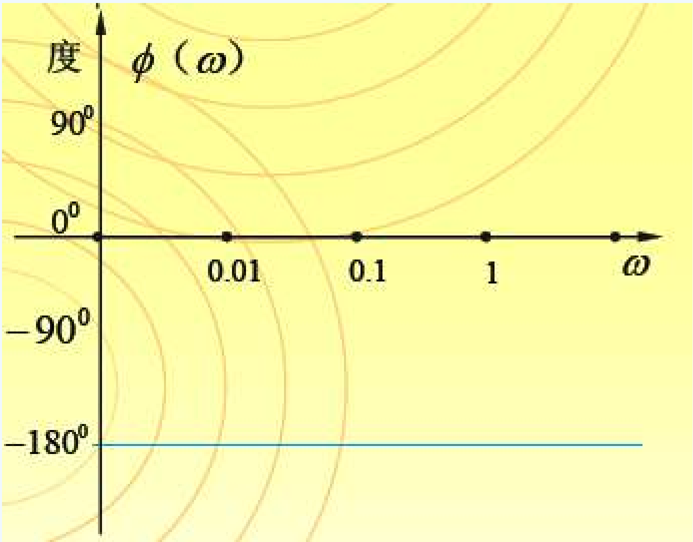


图5-13 两个积分环节串联的Bode图

三惯性环节

惯性环节的频率特性是:

$$G(j\omega)=\frac{1}{jT\omega+1}$$

其对数幅频特性是:

$$20\lg|G(j\omega)|=20\lg\frac{1}{\sqrt{1+T^2\omega^2}}=-20\lg\sqrt{1+T^2\omega^2}$$

用两条直线近似描述惯性环节的对数幅频特性, 即在

的低频段时，，与

$$20\lg|G(j\omega)|=0$$

在 的高频段时

$$20\lg|G(j\omega)|=-20\lg T\omega$$

是一条斜 率为

-20（dB/dec.）的直线。

两条直线在 处相交， $\frac{1}{T}$ 称为转折频率，由这两条直线构成的折线称为对数幅频特性的渐近线。如图5-14所示。

很明显，距离转折频率 愈远 $\frac{1}{T}$ 愈能满足近似条件，用渐近线表示对数幅频特性的精度就愈 $\frac{1}{T}$；反之，距离转 $(\omega << \frac{1}{T} 或 \omega >> \frac{1}{T})$ 误差愈大。 等于转折频率 时：

$\frac{1}{T}$

ω

$$-20\lg\sqrt{1+T^2\omega^2}\Big|_{\omega=\frac{1}{T}} = -20\lg\sqrt{2} = -3(dB)$$

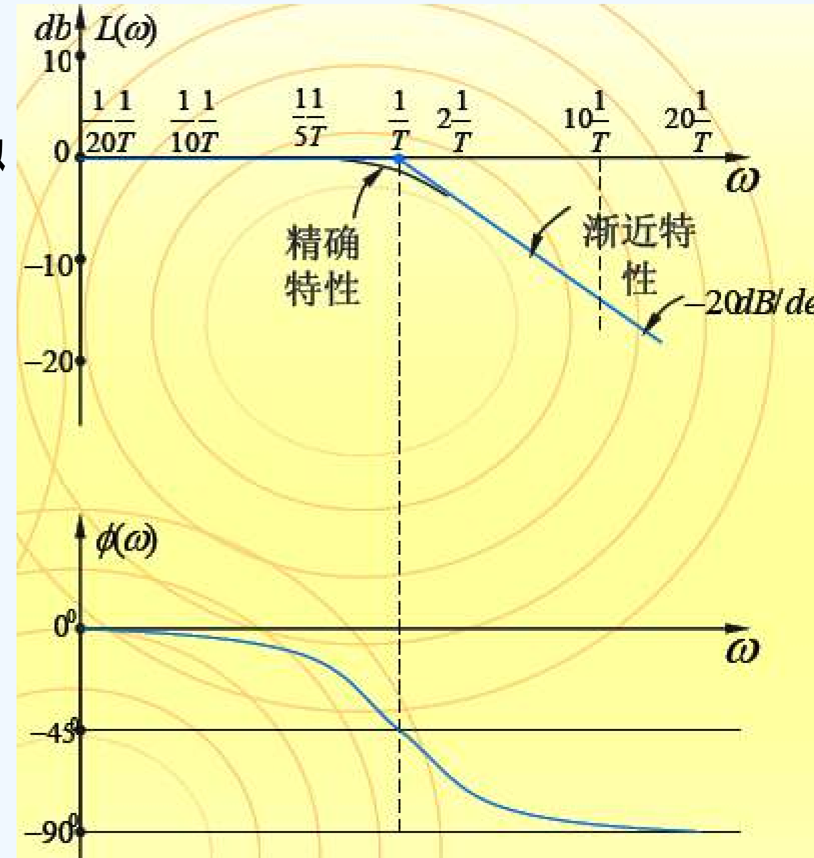
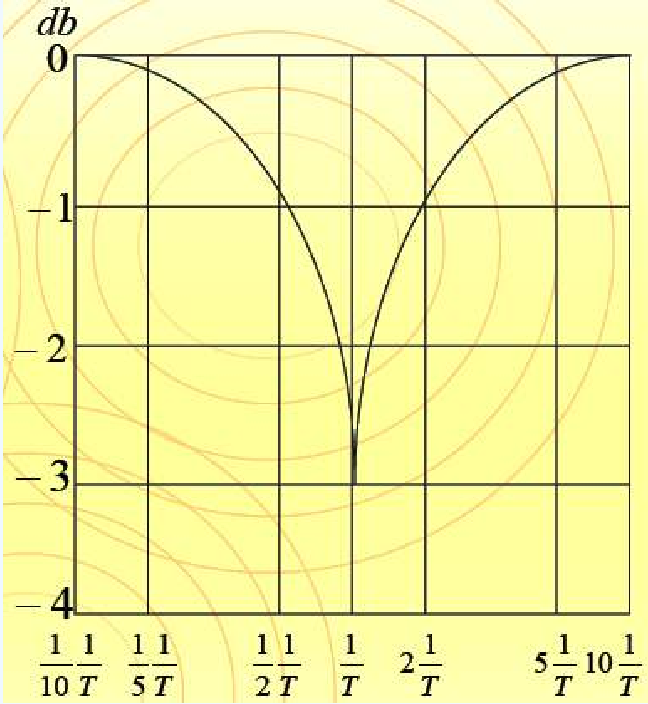


图5-14 惯性环节的Bode图

时的误差是: $$-20\lg\sqrt{1+T^2\omega^2}\Big|_{\omega=\frac{1}{2}\frac{1}{T}}=-20\lg\frac{\sqrt{5}}{2}=-0.97(dB)$$

时的误差是: $$-20\lg\sqrt{1+T^2\omega^2}\Big|_{\omega=2\frac{1}{T}}-(20\lg T\omega\Big|_{\omega=2\frac{1}{T}})=-20\lg\sqrt{5}+20\lg 2$$
$$=-0.97(dB)$$

误差曲线对称于转折频率 $\frac{1}{T}$ ，如图5-15所示。由图5-15可知，惯性环节渐近线特性与精确特性的误差主要在交接频率 上下十倍频程范围内。转折频率十倍频以上的误差极小，可忽略。经过修正后的精确对数幅频特性如图5-14所示。



惯性环节的相频特性为：

$$\angle G(j\omega) = -arctg\ \omega T \qquad (5\text{-}75)$$

当 $\omega = 0$ 时，$\angle G(j0) = 0^0$；

当 $\omega = \dfrac{1}{T}$ 时，$\angle G(j\dfrac{1}{T}) = -45^0$；

当 $\omega = \infty$ 时，$\angle G(j\infty) = -90^0$ 。

对应的相频特性曲线如图5-14所示。它是一条由 至 范围内变化的反正切函数曲线，且以 和 的交点为斜对称.

0^0 -90^0

$\angle G(j\omega) = -45^0$

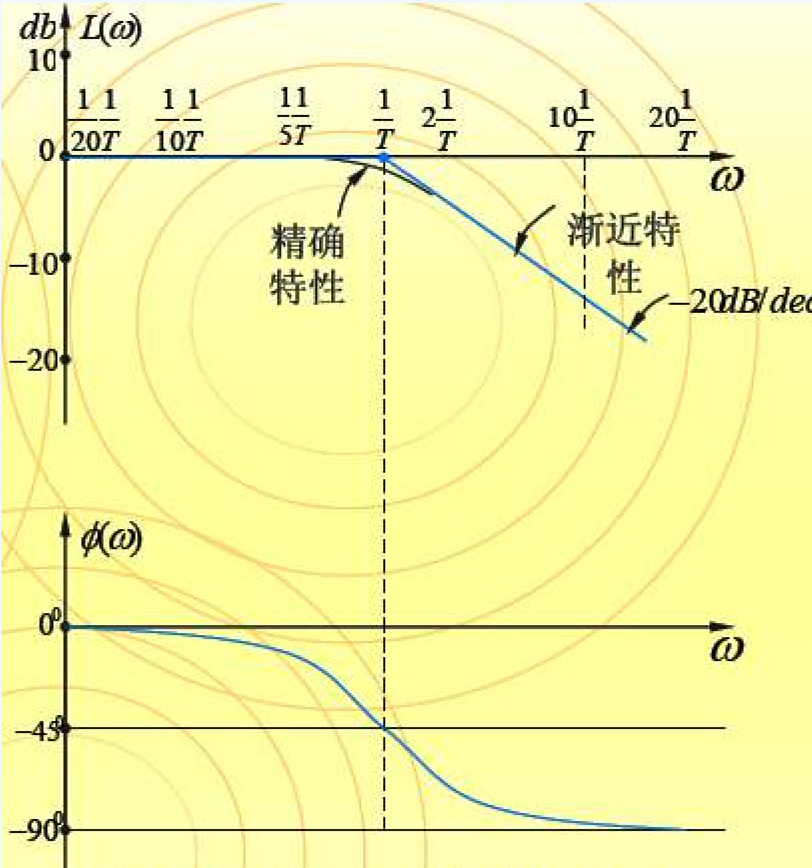


图5-14 惯性环节的Bode图