《机电系统控制基础》第三次作业

(2025-11-04)

1、请给出典型环节（积分、微分、一阶惯性、一阶微分、二阶振荡系统、延迟环节）的 Nyquist 图和 Bode 图，并简析其曲线的特性。

答： 略。请参见教材 4.2 节 P133-147 页或讲义 4.2 节

2、（教材习题 4.13 ）绘制具有下面传递函数的系统的 Nyquist 图（2） $G(s)=\dfrac{1}{s(1+0.1s)}$

解：（2）系统的频率特性为：

$$G(j\omega)=\frac{1}{j\omega(1+0.1j\omega)}=\frac{j\left(1-0.1j\omega\right)}{-\omega\left(1+0.01\omega^2\right)}=\frac{j+0.1\omega}{-\omega\left(1+0.01\omega^2\right)}=-\frac{0.1}{1+0.01\omega^2}-j\frac{1}{\omega\left(1+0.01\omega^2\right)}$$

$$A(\omega)=\left|G(j\omega)\right|=\frac{1}{\omega\sqrt{1+0.01\omega^2}},\quad \varphi(\omega)=\angle G(j\omega)=-\frac{\pi}{2}-\arctan 0.1\omega$$

$$u(\omega)=-\frac{0.1}{1+0.01\omega^2},\quad v(\omega)=-\frac{1}{\omega\left(1+0.01\omega^2\right)}$$

当ω=0 时，有 $|G(j\omega)|=\infty$，且 $\angle G(j\omega)=-90°$，$u(\omega)=-0.1$，$v(\omega)=-\infty$

当ω=10 时，有 $|G(j\omega)|=0.0707$，且 $\angle G(j\omega)=-135°$，$u(\omega)=-0.05$，$v(\omega)=-0.05$

当ω=∞时，有 $|G(j\omega)|=0$，且 $\angle G(j\omega)=-180°$，$u(\omega)=0$，$v(\omega)=0$

由频率特性知 Nyquist 曲线位于第三象限，如图 1 所示：

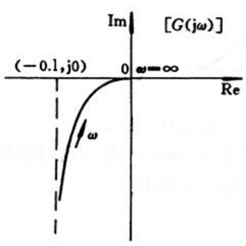


图 1 习题 4.13（2）Nyquist 曲线

3、（教材习题 4.17 ）画出分别具有下列传递函数的系统的 Bode 图，并进行比较，其中 $T_1 > T_2 > 0$。

（1） $G(s) = \dfrac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$　　　（2） $G(s) = \dfrac{T_1 s - 1}{T_2 s + 1}$

解：（1）系统的频率特性为

$G(j\omega) = \dfrac{jT_1\omega + 1}{jT_2\omega + 1}$，其中$T_1 > T_2 > 0$

该系统由一个一阶微分环节、一个一阶惯性环节组成，其中一阶微分环节的转角频率为$\omega_1 = 1/T_1$，一阶惯性环节的转折频率为$\omega_2 = 1/T_2$，且$\omega_1 < \omega_2$。其幅频特性为：

$|G(j\omega)| = \left|\dfrac{jT_1\omega + 1}{jT_2\omega + 1}\right|$

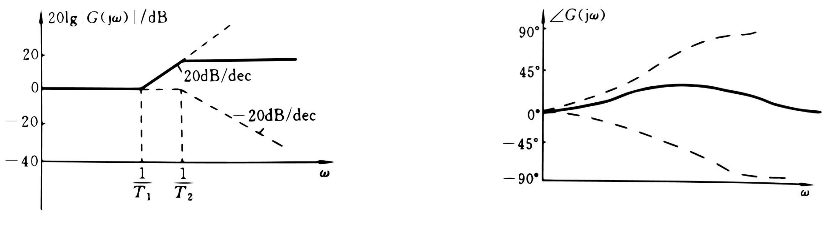
则对数幅频特性方程为：

$L(\omega) = 20\lg\sqrt{1 + (T_1\omega)^2} - 20\lg\sqrt{1 + (T_2\omega)^2}$

对数相频特性方程为：

$\varphi(\omega) = arctanT_1\omega - arcranT_2\omega$

因此，其 Bode 图如图 2(a)和（b）所示：



（a）对数幅频特性曲线　　（b）对数相频特性曲线

图 2 习题 4.17（1）Bode 图

（2）系统的频率特性为

$G(j\omega) = \dfrac{jT_1\omega - 1}{jT_2\omega + 1}$，　其中$T_1 > T_2 > 0$

该系统由一个一阶微分环节、一个一阶惯性环节组成，其中一阶微分环节的转角频率为$\omega_1 = 1/T_1$，一阶惯性环节的转折频率为$\omega_2 = 1/T_2$，且$\omega_1 < \omega_2$。其幅频特性为

$|G(j\omega)| = \left|\dfrac{jT_1\omega + 1}{jT_2\omega + 1}\right|$

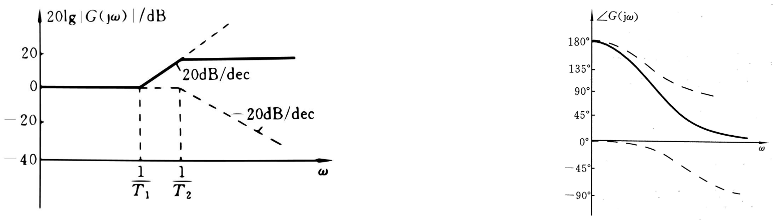
显然与（1）中的幅频特性相同，其对数幅频特性方程为：

$L(\omega) = 20\lg\sqrt{1+(T_1\omega)^2} - 20\lg\sqrt{1+(T_2\omega)^2}$

对数相频特性方程为：

$\varphi(\omega) = \angle G(j\omega) = \pi - \arctan T_1\omega - \arctan T_2\omega$

因此，其 Bode 图如图 3(a)和（b）所示：



（a）对数幅频特性曲线　　　　（b）对数相频特性曲线

图 3 习题 4.17（2）Bode 图

4、（教材习题 4.18）绘制具有下面传递函数的系统的 Bode 图

（3） $G(s) = \dfrac{650s^2}{(0.04s+1)(0.4s+1)}$

解： 该系统由一个比例环节、两个微分环节、两个一阶惯性环节组成，其中两个一阶惯性环节的转折频率为 $\omega_1 = 1/T_1$ =2.5，一阶惯性环节的转折频率为 $\omega_2 = 1/T_2$=25，且$\omega_1 < \omega_2$。系统频率特性为：$G(j\omega) = -\dfrac{650\omega^2}{(0.04j\omega+1)(0.4j\omega+1)}$

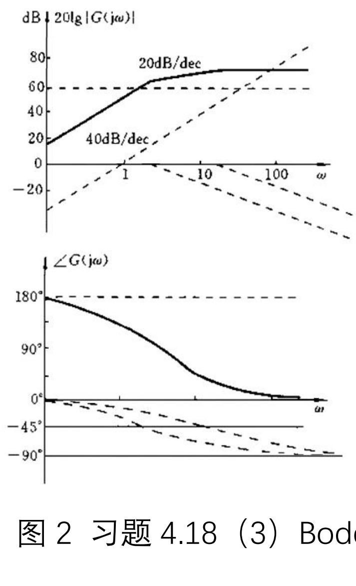


图 2 习题 4.18（3）Bode 曲线