

第一章 绪 论

1、把握论的中心思想、三要素和争论对象。

中心思想：通过信息的传递、加工处理和反响来进展把握。

三要素：信息、反响与把握。

争论对象：争论把握系统及其输入、输出三者之间的动态关系。

2、反响、偏差及反响把握原理。

反响：系统的输出信号局部或全部地返回到输入端并共同作用于系统的过程称为反响。

偏差：输出信号与反响信号之差。

反响把握原理：检测偏差，并订正偏差的原理。

3、反响把握系统的根本组成。

把握局部：给定环节、比较环节、放大运算环节、执行环节、反响〔测量〕环节

被控对象

根本变量：被把握量、给定量〔期望值〕、把握量、扰动量〔干扰〕

4、把握系统的分类

1〕按反响的状况分类

a、 开环把握系统：当系统的输出量对系统没有把握作用，即系统没有反响回路时，该系统称开环把握系统。

特点：构造简洁，不存在稳定性问题，抗干扰性能差，把握精度低。

b、 闭环把握系统：当系统的输出量对系统有把握作用时，即系统存在反响回路时，该系统称闭环把握系统。

特点：抗干扰性能强，把握精度高，存在稳定性问题，设计和构建较困难，本钱高。

2〕按输出的变化规律分类

自动调整系统

随动系统

程序把握系统

3〕其他分类

线性把握系统

连续把握系统

非线性把握系统

离散把握系统

5、对把握系统的根本要求

1〕系统的稳定性：首要条件

是指动态过程的振荡倾向和系统能够恢复平衡状态的力气。2

〕系统响应的快速性

是指当系统输出量与给定的输出量之间产生偏差时，消退这种偏差的力气。3

〕系统响应的准确性〔静态精度〕

是指在调整过程完毕后输出量与给定的输入量之间的偏差大小。

其次章 系统的数学模型

1、系统的数学模型：描述系统、输入、输出三者之间动态关系的数学表达式。

时域的数学模型：微分方程；时域描述输入、输出之间的关系。→单位脉冲响应函数

复数域的数学模型：传递函数；复数域描述输入、输出之间的关系。

频域的数学模型：频率特性；频域描述输入、输出之间的关系。

2、线性系统与非线性系统

线性系统：可以用线性方程描述的系统。

重要特性是具有叠加原理。

3、系统微分方程的列写

4、非线性系统的线性化

$$1) y = f(x)$$

$$y = y_0 + k(x - x_0) \quad k = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0}$$

$$\Delta y = k \Delta x$$

$$2) y = f(x_1, x_2)$$

$$y = y_0 + k_1(x_1 - x_{10}) + k_2(x_2 - x_{20})$$

$$k_1 = \left. \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|_{\substack{x_1=x_{10} \\ x_2=x_{20}}} \quad k_2 = \left. \frac{\partial f}{\partial x_2} \right|_{\substack{x_1=x_{10} \\ x_2=x_{20}}}$$

$$\Delta y = k_1 \Delta x_1 + k_2 \Delta x_2$$

5、传递函数的概念：

1) 定义：初始状态为零时，输出的拉氏变换与输入的拉氏变换之比。即

$$G(s) = Y(s) / X(s)$$

2) 特点：

(a) 传递函数反映系统固有特性，与外界无关。

(b) 传递函数的量纲取决于输入输出的性质，同性质的物理量无量纲；不同性质的物理量有量纲，为两者的比值。

(c) 不同的物理系统可以有相像的传递函数，传递函数不反映系统的真实的物理构造。

(d) 传递函数的分母为系统的特征多项式，令分母等于零为系统的特征方程，其解为特征根。

(e) 传递函数与单位脉冲响应函数互为拉氏变换与拉氏反变换的关系。

6、根本环节的传递函数

1)比例环节: $G(s) = K$

2)惯性环节: $G(s) = \frac{K}{Ts+1}$ K --增益 T --时间常数

3)微分环节: $G(s) = \tau s$

4)积分环节: $G(s) = \frac{1}{Ts}$

5)振荡环节: $G(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1}$

K --增益 $T = \frac{1}{\omega_n}$ --时间常数 ω_n --固有频率

ξ --阻尼比

6)一阶微分环节: $G(s) = \tau s + 1$

7)二阶微分环节: $G(s) = \tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1$

8)延时环节: $G(s) = e^{-\tau s}$

7、系统各环节之间的三种连接方式:

串联: $G(s) = \prod_{i=1}^n G_i(s)$

并联: $G(s) = \sum_{i=1}^n G_i(s)$

反馈: $G_B(s) = \frac{G(s)}{1 \pm G(s)H(s)}$ (“-” — “+”, “+” — “-”)

8、方框图简化及梅逊公式

等效变换法则: 变换前后输出与输入之间的关系保持不变。

把握分支点、相加点对方框移动法则及同类元素交换法则, 切记分支点与相加点不能任凭交换。

梅逊公式:

$$G_B(s) = \frac{X_o(s)}{X_i(s)}$$

$$= \frac{\text{前向通道的传递函数之积}}{1 + \sum [\text{每一反馈回路的开环传递函数}]}$$

9、系统的传递函数

- 1) 开环传递函数: $G_K(s) = B(s) / E(s)$
- 2) 前向通道传递函数: $G_q(s) = X_0(s) / E(s)$
- 3) 反馈传递函数: $G_f(s) = B(s) / X_0(s)$
- 4) 误差传递函数: $G_e(s) = E(s) / X_i(s)$
- 5) 闭环传递函数: $G_B(s) = \frac{G_q(s)}{1 \pm G_k(s)}$

第三章 时间响应分析

1、时间响应及其组成

时间响应: 系统在鼓舞作用下, 系统输出随时间变化关系。

时间响应可分为**零状态响应**和**零输入响应**或分为**自由响应**和**强迫响应**。

零状态响应: “无输入时的系统初态”为零而仅由输入引起的响应。

零输入响应: “无输入时的系统初态”引起的自由响应。

把握工程所争论的响应往往是零状态响应。

对稳定的线性系统而言, 自由响应又叫瞬态响应; 强迫响应又叫稳态响应。

瞬态响应: 系统从初始状态到最终状态的响应过程

稳态响应: 系统在时间趋于无穷时, 系统的输出状态。

2、典型输入信号

- 1) 单位脉冲信号: $x_i(t) = \delta(t) \quad X_i(s) = 1$
- 2) 单位阶跃信号: $x_i(t) = 1(t) \quad X_i(s) = 1/s$
- 3) 单位斜波信号: $x_i(t) = t \quad X_i(s) = 1/s^2$
- 4) 单位抛物线信号: $x_i(t) = \frac{1}{2}t^2 \quad X_i(s) = 1/s^3$

3、一阶系统及其时间响应

一阶系统: 但凡用一阶线性微分方程描述的系统或传递函数的分母含S 的最高幂次为一。

数学模型:

$$G(s) = \frac{k}{Ts + 1}$$

一阶系统的参数：静态：系统增益 k
 动态：时间常数 T (τ)

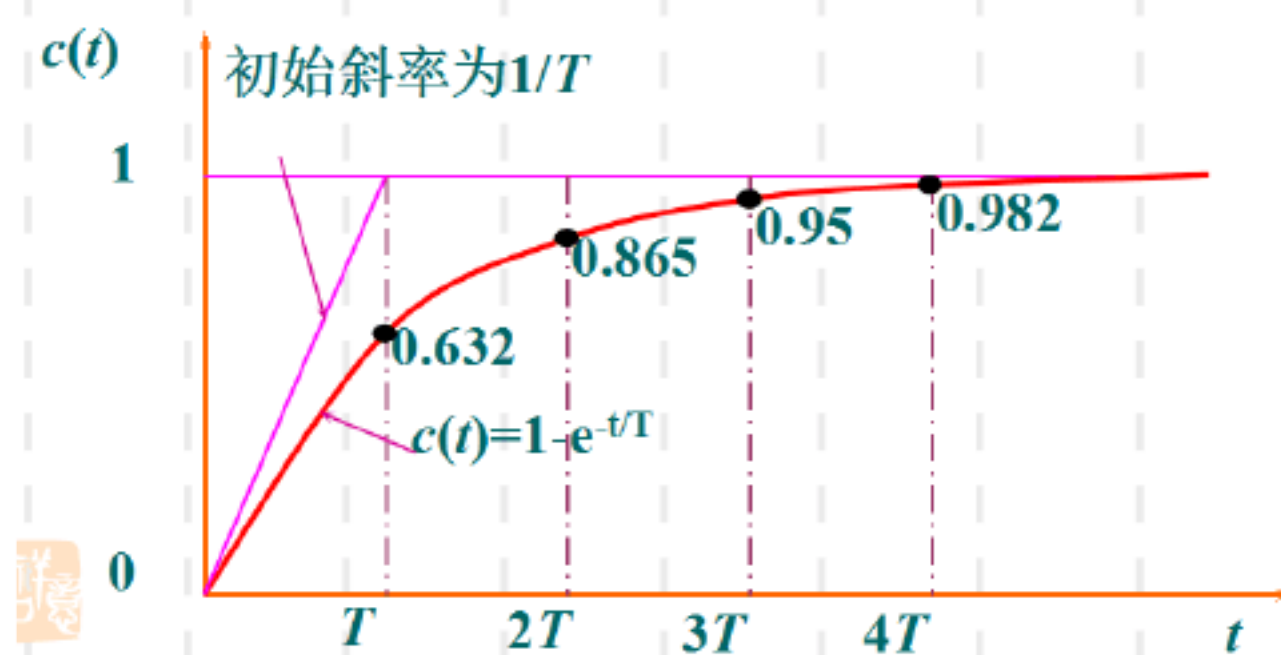
一阶系统的时间响应：

脉冲响应： $y(t) = \frac{k}{T} e^{-t/T}$

阶跃响应： $y(t) = k(1 - e^{-t/T})$

斜坡响应： $y(t) = k(t - T + Te^{-t/T})$

一阶系统阶跃响应曲线为：



结论：一阶系统的稳态值取决于系统增益，响应速度取决于时间常数 T ， T 越大，响应速度越慢，响应速度跟系统增益无关。

4、二阶系统及其时间响应

二阶系统：但凡用二阶线性微分方程描述的或传递函数的分母含 s 的最高幂次数为 2。

数学模型：

$$G(s) = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

二阶系统的性能参数有三个：

静态：系统增益 k

动态：阻尼比 ξ 和无阻尼固有频率 ω_n 。

二阶系统的特征根及其在 s 平面的分布：

特征方程： $s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0$

特征根： $s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}$

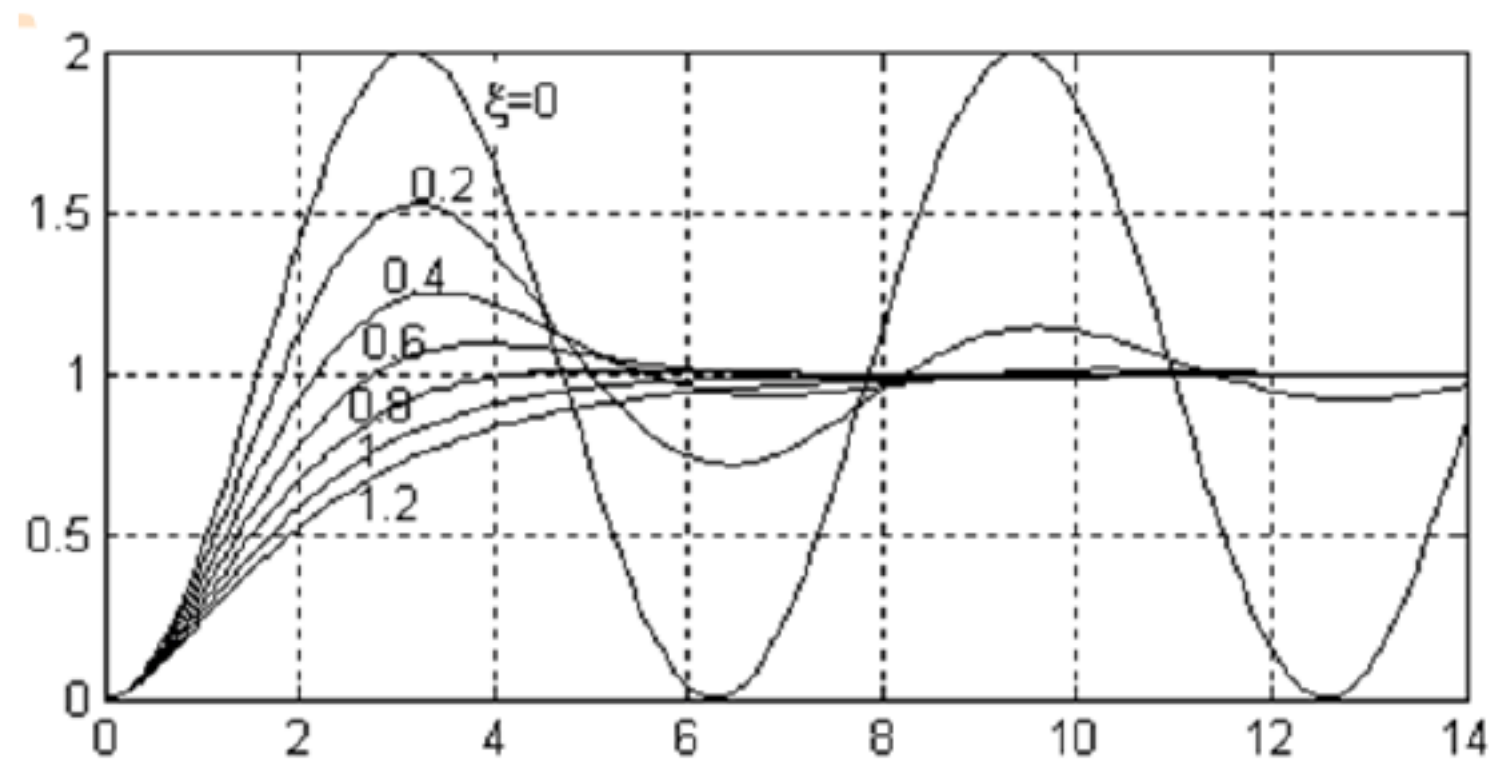
二阶系统在单位阶跃信号下的响应：

无阻尼状态：等幅振荡曲线，振荡频率为固有频率

欠阻尼状态：衰减振荡曲线：振荡频率为有阻尼固有频率

临界阻尼状态：单调上升曲线

过阻尼状态：上升曲线



5、时间响应的瞬态性能指标

瞬态响应性能指标是由二阶系统在欠阻尼状态下的单位阶跃响应曲线上推导出来的。
大家要把握的有：

1) **上升时间**：响应曲线从原始工作状态起，第一次到达输出稳定值的时间。

$$t_r = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad \beta = \arctan \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi}$$

2) **峰值时间**：响应曲线到达第一个峰值所需的时间。

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \xi^2}}$$

3) **最大超调量** M_p ：

常用百分比值表示为：

$$M_p = \frac{x_0(t_p) - x_0(\infty)}{x_0(\infty)} \times 100\%$$

$$= e^{-(\xi / \sqrt{1 - \xi^2})\pi} \times 100\%$$

4) 调整时间 t_s :

在响应曲线稳态值四周取 $\pm \Delta$ 〔一般为 0.02~0.05〕作为误差带，响应曲线到达并不超出误差带范围所需的时间。

$$\begin{aligned} & t_s \approx 3/(\xi\omega_n) \quad (\text{采用5\%的允许误差}) \\ \text{或} & t_s \approx 4/(\xi\omega_n) \quad (\text{采用2\%的允许误差}) \end{aligned}$$

6、时间响应的稳态性能指标

误差：实际输出信号与期望输出信号之差。

$$e(t) = x_{or}(t) - x_o(t)$$

偏差：输入信号与反响信号之差。

$$\varepsilon(t) = x_i(t) - b(t)$$

稳态误差：误差的终值。

$$e_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE_1(s)$$

稳态偏差：偏差的终值。

$$\varepsilon_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s)$$

——两者关系： $E_1(s) = E(s) / H(s)$

7、稳态误差〔偏差〕的计算根本公式：

$$\varepsilon_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{sX_i(s)}{1 + G(s)H(s)}$$

$$G_k(s) = G(s)H(s) = \frac{kG_0(s)}{s^\gamma}$$

规定： $\gamma = 0, 1, 2, \dots$ 时分别称为0型、I型、II型...系统。

$$\text{则：} \varepsilon_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^{\gamma+1}}{s^\gamma + k} \cdot X_i(s)$$

8、静态误差系数：

静态位置误差系数： $K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s)H(s)$

静态速度误差系数： $K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s)H(s)$

静态加速度误差系数： $K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2G(s)H(s)$

9、典型输入信号引起的稳态误差

表 4-5 不同类型系统的稳态误差表

系统 类型 别	静态误差系数			阶跃输入 $r(t) = A \cdot 1(t)$	斜坡输入 $r(t) = A \cdot t$	加速度输入 $r(t) = \frac{A \cdot t^2}{2}$
	K_p	K_v	K_a	$e_{ss} = \frac{A}{1+K_p}$	$e_{ss} = \frac{A}{K_v}$	$e_{ss} = \frac{A}{K_a}$
0	K	0	0	$\frac{A}{1+K}$	∞	∞
I	∞	K	0	0	$\frac{A}{K}$	∞
II	∞	∞	K	0	0	$\frac{A}{K}$

结论：输入信号引起的稳态误差与输入信号、系统的型次、开环增益有关，系统的型次越高，系统可能从有静差系统变为无静差系统；开环增益越大，系统稳态误差越小。

10、扰动信号引起的稳态偏差

$$\varepsilon_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{-sG_2(s)H(s)}{1+G_1(s)G_2(s)H(s)}N(s)$$

结论：要减小扰动信号引起的稳态误差，只有在扰动作用点前增大K 值和增设积分环节个数Ni。

第四章 频率特性分析

1、频率响应与频率特性

频率响应：线性定常系统对谐波输入的稳态响应。

幅频特性：线性定常系统在简谐信号鼓舞下，其稳态输出信号和输入信号的幅值比，记为 $A(\omega)$ ；

相频特性：线性定常系统在简谐信号鼓舞下，其稳态输出信号和输入信号的相位差，记为 $\phi(\omega)$ ；

频率特性：幅频特性与相频特性的统称。即：线性定常系统在简谐信号鼓舞下，其稳态输出信号和输入信号的幅值比、相位差随鼓舞信号频率 ω 变化特性。记为

$$G(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

频率特性又称频率响应函数，是鼓舞频率 ω 的函数。

频率特性：在零初始条件下，系统输出 $y(t)$ 的傅里叶变换 $Y(\omega)$ 与输入 $x(t)$ 的傅里叶变换 $X(\omega)$ 之比，即

$$G(j\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

2、频率特性的求取方法：

- 1) 微分方程 $\rightarrow G(j\omega)$
- 2) $G(S) \rightarrow G(j\omega)$
- 3) $h(t) \rightarrow G(j\omega)$
- 4) 实验法

3、频率特性的表示方法：

1) 代数表示方法

$$G(j\omega) = |G(j\omega)|e^{j\angle G(j\omega)} = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$$

$$G(j\omega) = \text{Re}[G(j\omega)] + j\text{Im}[G(j\omega)] = u(\omega) + jv(\omega)$$

其中： $|G(j\omega)| = A(\omega)$ ——称为幅频特性

$\angle G(j\omega) = \varphi(\omega)$ ——称为相频特性

$\text{Re}[G(j\omega)] = u(\omega)$ ——称为实频特性

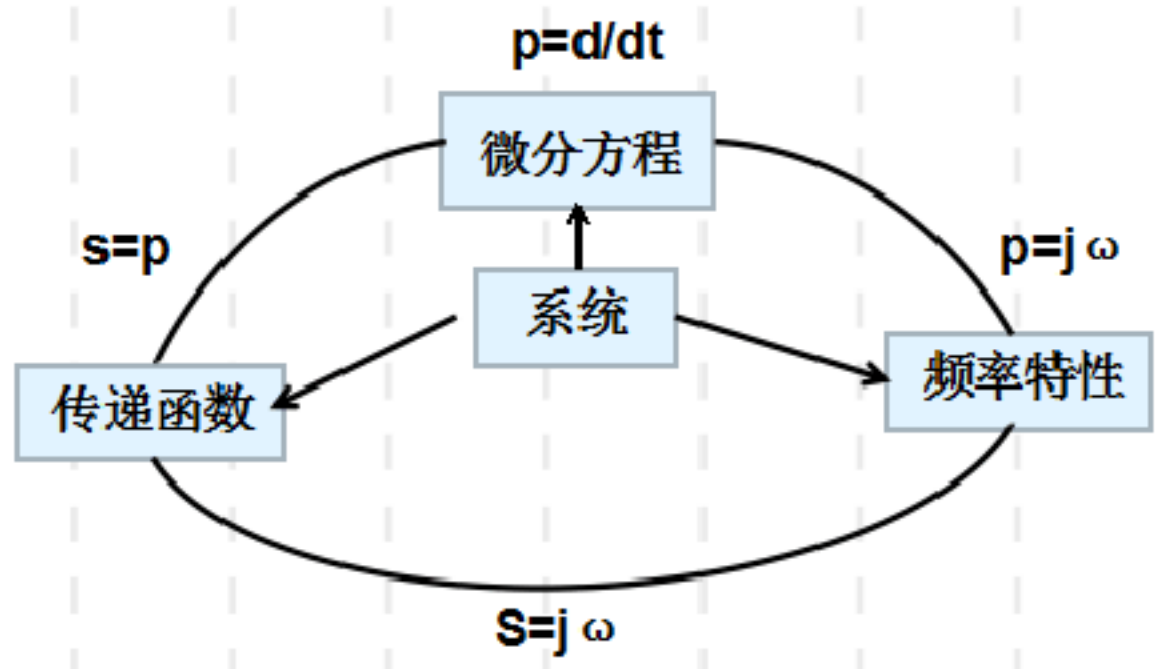
$\text{Im}[G(j\omega)] = v(\omega)$ ——称为虚频特性

2) 图示法（几何表示方法）

Nyquist图和**Bode图**

4、频率特性的特点与作用

1) 频率特性、微分方程、传递函数三者之间关系:



频率特性是传递函数 $s = j\omega$ 的特例, 反映了系统频域内固有特性, 是系统单位脉冲响应函数的傅里叶变换, 所以频率特性分析就是对单位脉冲响应函数的频谱分析。

- 2) 频率特性是分析系统的稳态响应, 以获得系统的稳态特性。
- 3) 依据频率特性可推断系统的稳定性和稳定性贮存。
- 4) 通过频率特性可进展参数选择或系统校正, 选择系统工作频率范围, 或依据系统工作条件, 设计具有适宜的频率特性的系统。

5、频率特性的极坐标图〔Nyquist 图〕

1) 典型环节频率特性的Nyquist 图

2) 绘制系统频率特性Nyquist 图

- a) 依据条件写出系统频率特性 $G(j\omega)$; b) 写出 $A(\omega)$ 、 $\phi(\omega)$ 、 $u(\omega)$ 、 $v(\omega)$;
- c) 求特别点坐标: 起点、终点、与坐标轴的交点;
- d) 必要时, 在 $0 < \omega < \infty$ 的范围内再取假设干点;
- e) 在复频面 $[G(j\omega)]$ 中, 标注实轴、虚轴、复平面名称 $[G(j\omega)]$ 。在坐标系中, 分别描出以上各点, 并按 ω 增大的方向将上述各点联成一条曲线, 在该曲线旁标出 ω 增大的方向。

6、频率特性的对数坐标图〔Bode 图〕

1) 典型环节频率特性的Bode 图

2) 绘制系统频率特性 Bode 图

- a) 将系统的传递函数 $G(s)$ 转化成由假设干个典型环节相乘的形式, 并写出频率特性 $G(j\omega)$;

$$G(j\omega) = \frac{K(1 + j\tau_1\omega)(1 + j\tau_2\omega)\cdots(1 + j\tau_m\omega)}{(j\omega)^v(1 + jT_1\omega)(1 + jT_2\omega)\cdots(1 + jT_n\omega)} \quad (n \geq m)$$

以上内容仅为本文档

<https://d.book118.com/747006201003006121>