

《模拟电子技术基础》

上海大学

精密机械系

机自大楼423

高新闻

- 1 绪论
- 2 运算放大器
- 3 二极管及其基本电路
- 5 双极结型三极管及其放大电路
- 7 模拟集成电路
- 8 反馈放大电路
- 9 功率放大电路
- 11 直流稳压电源

1 绪论

1 绪论

1.1 信号

1.2 信号的频谱

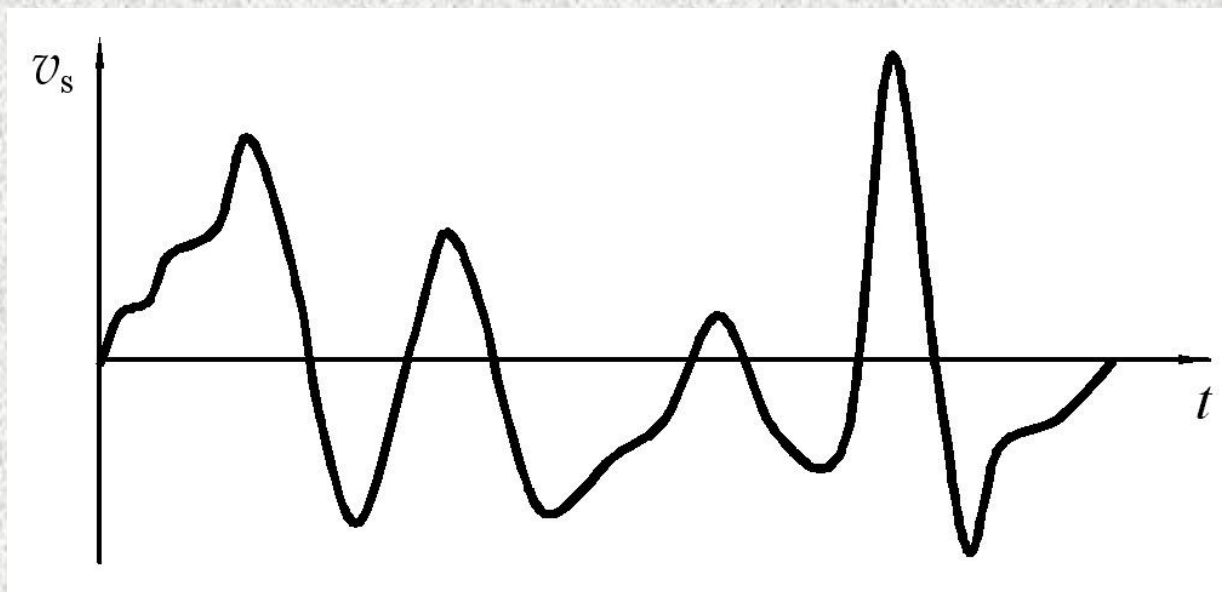
1.3 模拟信号和数字信号

1.4 放大电路模型

1.5 放大电路的主要性能指标

1.1 信号

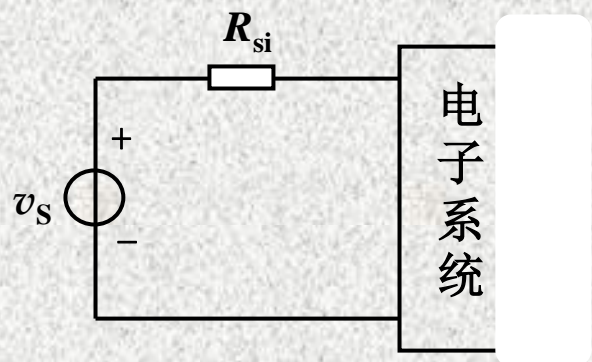
1. 信号： 信息的载体



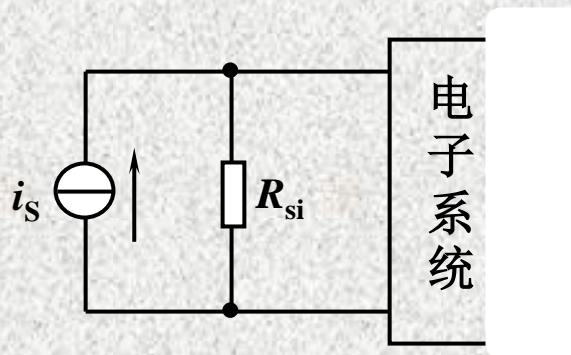
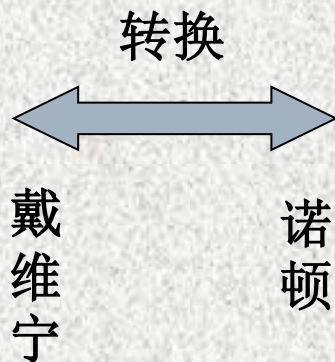
微音器输出的某一段信号的波形

1.1 信号

2. 电信号源的电路表达形式



电压源等效电路



电流源等效电路

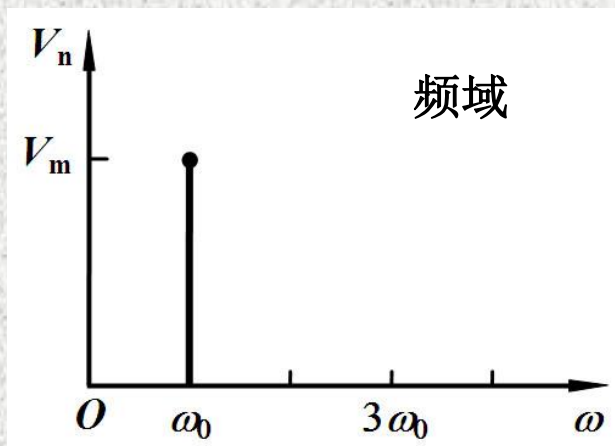
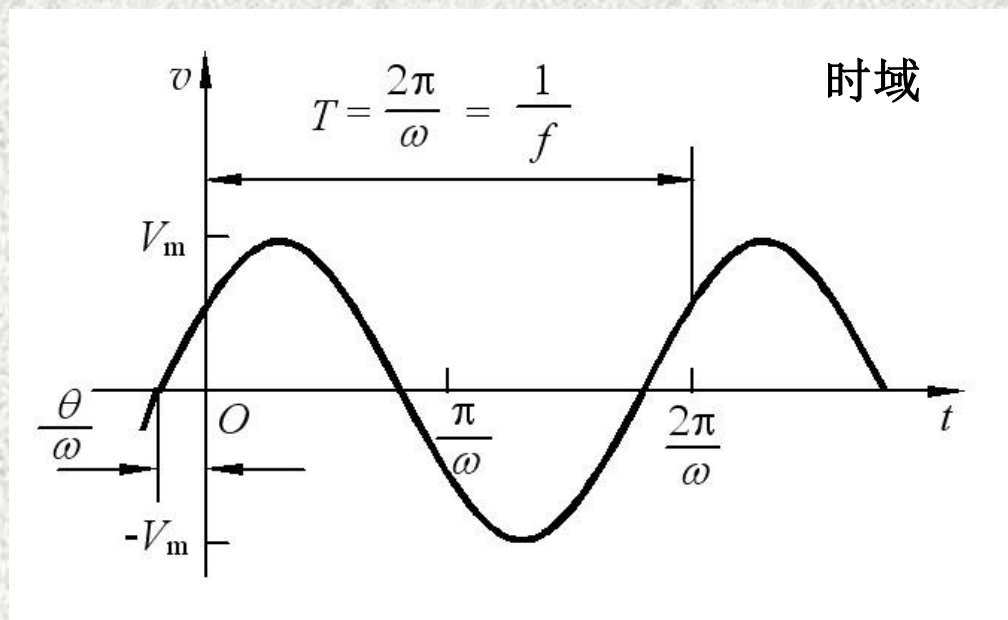
$$i_s = \frac{v_s}{R_{si}}$$

1.2 信号的频谱

1. 正弦信号

$$v(t) = V_m \sin(\omega_0 t + \theta)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad \omega_0 = 2\pi f_0$$

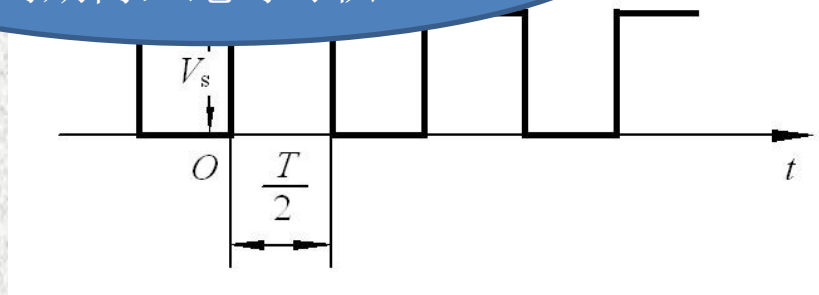


1.2 信号的频谱

2. 方波信号

满足狄利克雷条件，展开成傅里叶级数

- 1、周期内，间断点有限；
- 2、周期内，极值有限；
- 3、周期内，绝对可积



方波的时域表示

$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \left(\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots \right)$$

其中 $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ ——基波角频率

$\frac{V_s}{2}$ ——直流分量

$\frac{2V_s}{\pi}$ ——基波分量

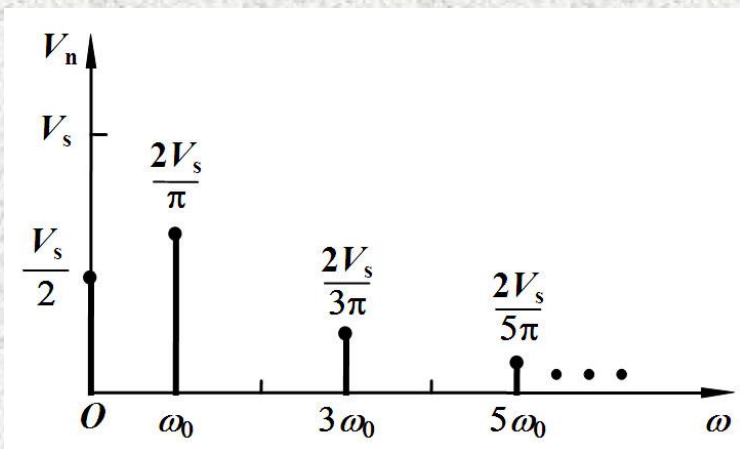
$\frac{2V_s}{\pi} \cdot \frac{1}{3}$ ——三次谐波分量

1.2 信号的频谱

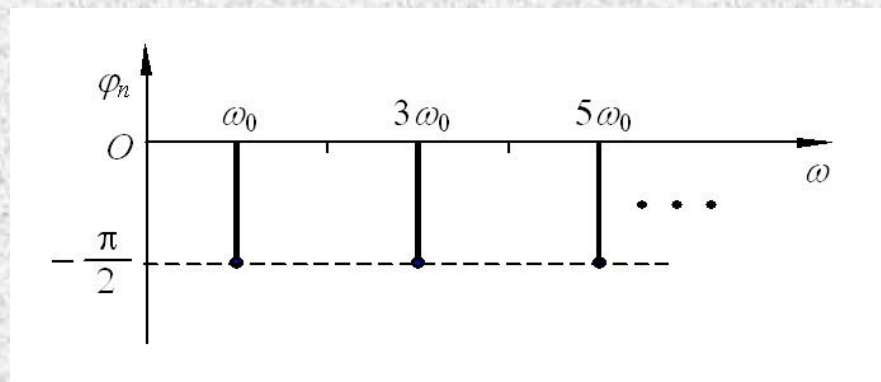
频谱：信号的振幅和相位随频率变化的分布称为该信号的频谱。

2. 方波信号
$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} (\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \cdots)$$

傅里叶级数的标准形式
$$v(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{2V_s}{\pi} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} \cos(n\omega_0 t - \frac{\pi}{2})$$



幅度谱



相位谱

1.2 信号的频谱

3. 非周期信号

傅里叶变换：

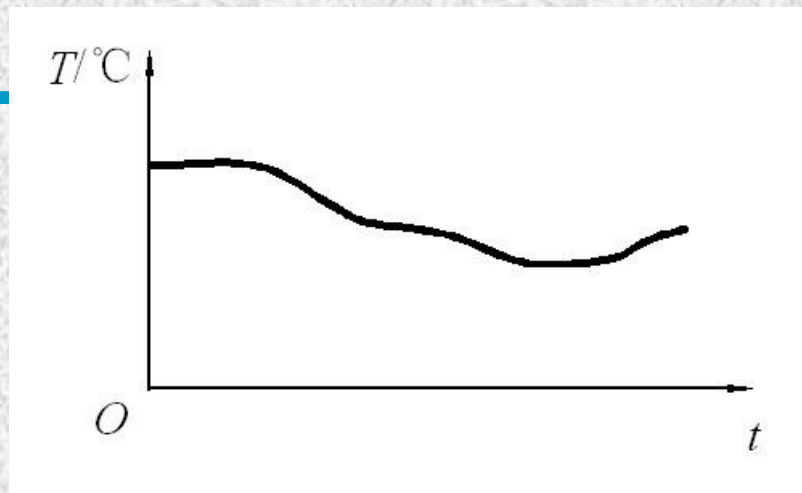
周期信号 \longrightarrow 离散频率函数

非周期信号 \longrightarrow 连续频率函数

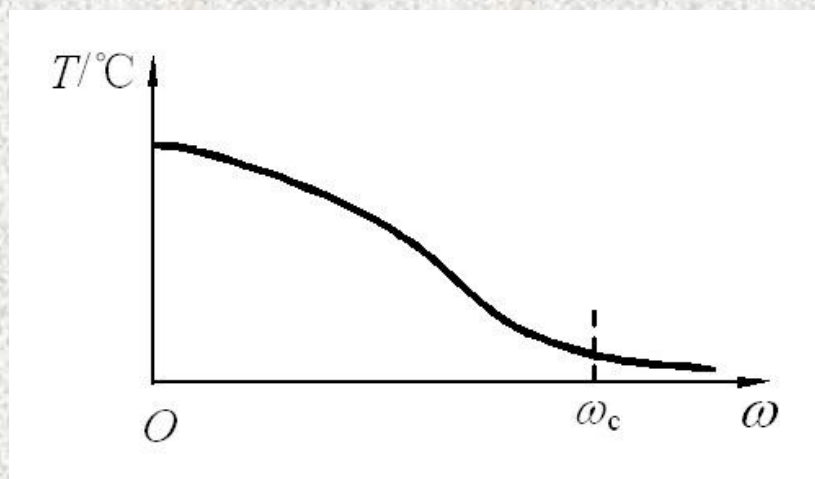
非周期信号包含了所有可能的频率成分 ($0 \leq \omega < \infty$)

通过快速傅里叶变换 (FFT)
可迅速求出非周期信号的频谱函数。

ω_c —— 截止角频率



气温波形



气温波形的频谱函数 (示意图)

1.3 模拟信号和数字信号

模拟信号：在时间和幅值上都是连续的信号。

数字信号：在时间和幅值上都是离散的信号。

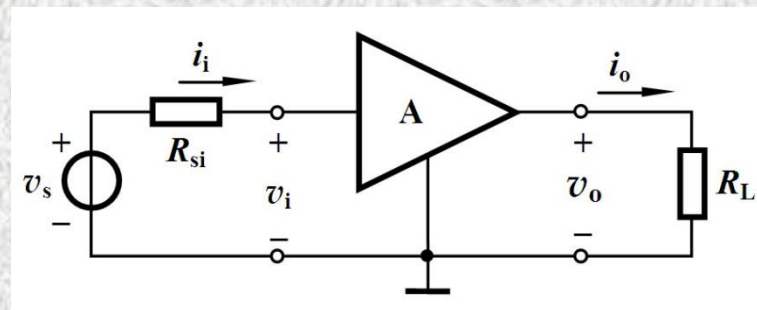
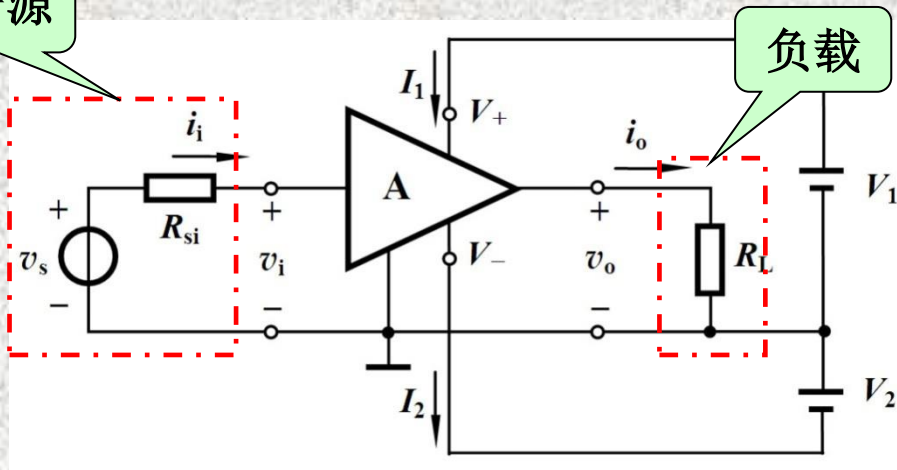
处理模拟信号的电子电路称为模拟电路。

1.4 放大电路模型

1. 放大电路的符号及模拟信号放大

信号源

负载



电压增益（电压放大倍数）

$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

互阻增益

$$A_r = \frac{v_o}{i_i} \quad (\Omega)$$

电流增益

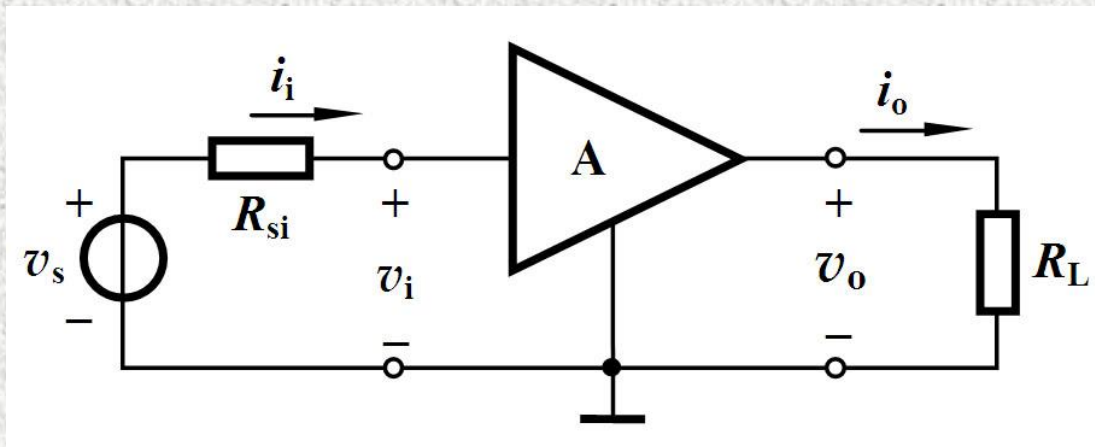
$$A_i = \frac{i_o}{i_i}$$

互导增益

$$A_g = \frac{i_o}{v_i} \quad (\text{S})$$

1.4 放大电路模型

2. 放大电路模型



放大电路是一个双口网络。从端口特性来研究放大电路，可将其等效成具有某种端口特性的等效电路。

- ☞ 输入端口特性可以等效为一个输入电阻
- ☞ 输出端口可以根据不同情况等效成不同的电路形式

1.4 放大电路模型

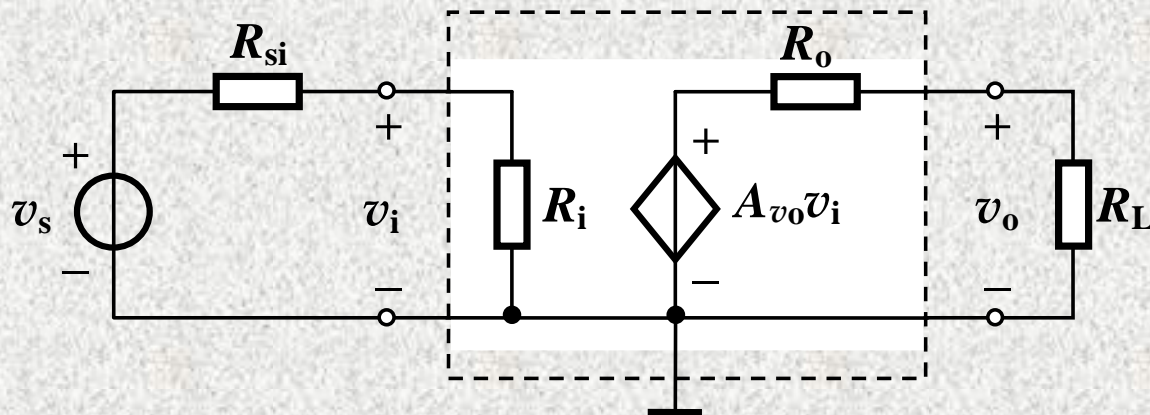
2. 放大电路模型

A. 电压放大模型

A_{vo} —— 负载开路时的
电压增益

R_i —— 输入电阻

R_o —— 输出电阻



由输出回路得

$$v_o = A_{vo} v_i \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

则电压增益为

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = A_{vo} \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

由此可见 $R_L \downarrow \longrightarrow A_v \downarrow$ 即负载的大小会影响增益的大小

要想减小负载的影响，则希望...? （考虑改变放大电路的参数）

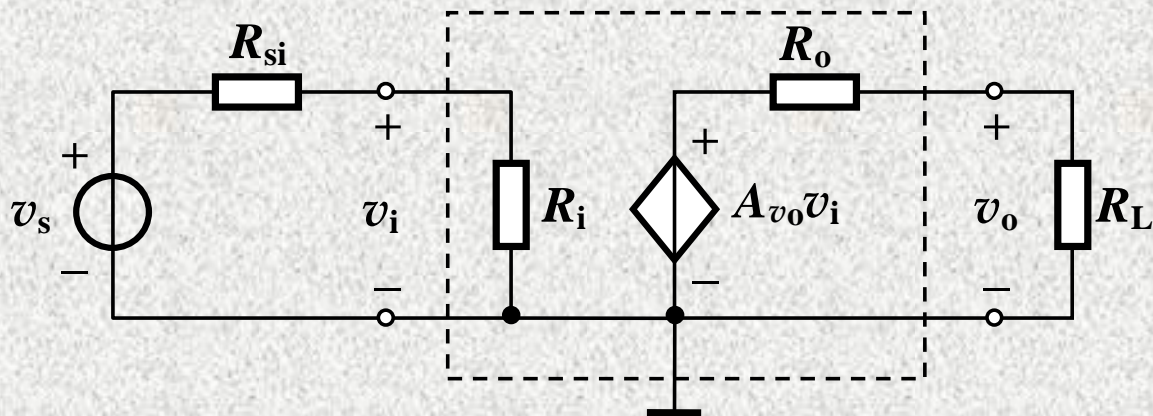
$R_o \ll R_L$ 理想情况 $R_o = 0$

1.4 放大电路模型

A. 电压放大模型

另一方面，考虑到输入回路对信号源的衰减

$$\text{有 } v_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} v_s$$



要想减小衰减，则希望...？

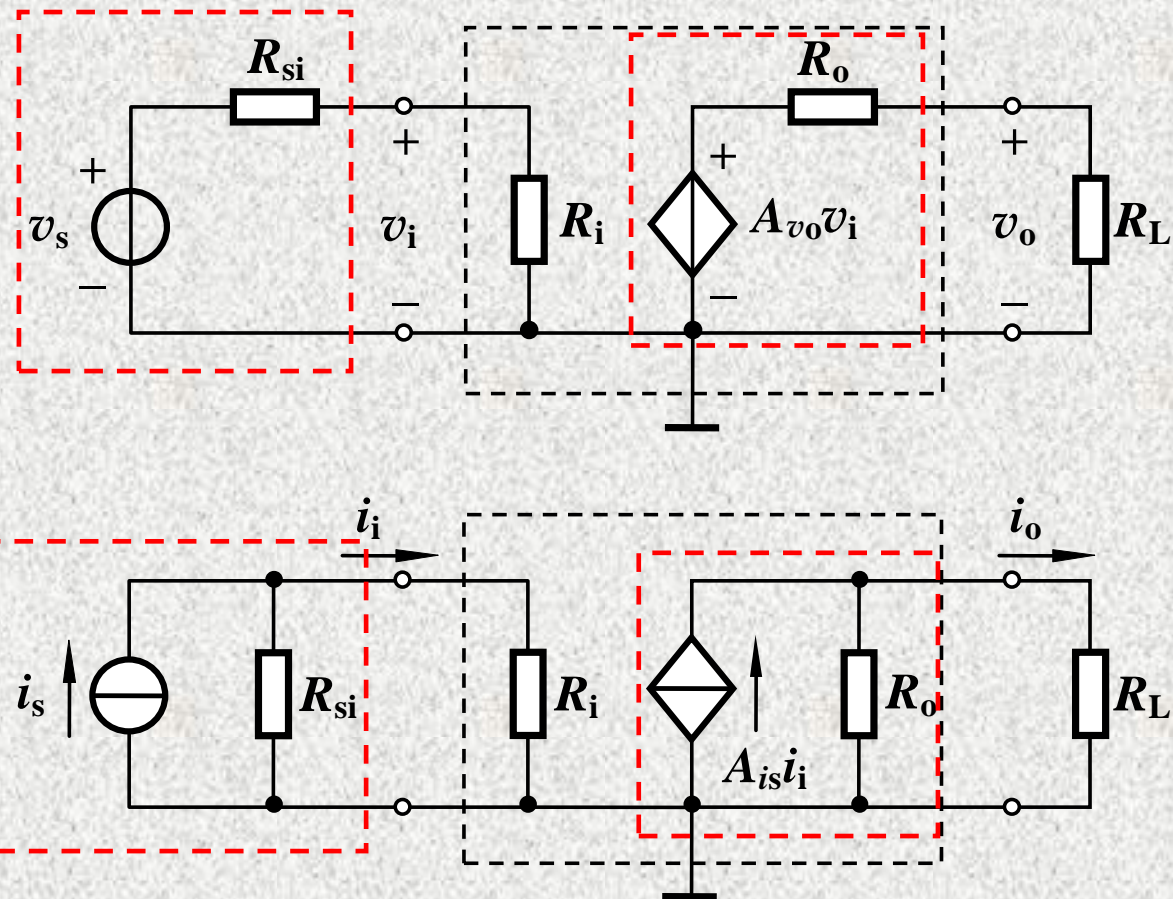
$$R_i \gg R_s$$

理想情况 $R_i = \infty$

1.4 放大电路模型

B. 电流放大模型

关心输出电流与输入电流的关系



1.4 放大电路模型

B. 电流放大模型

A_{is} —— 负载短路时的
电流增益

由输出回路得

$$i_o = A_{is} i_i \frac{R_o}{R_o + R_L}$$

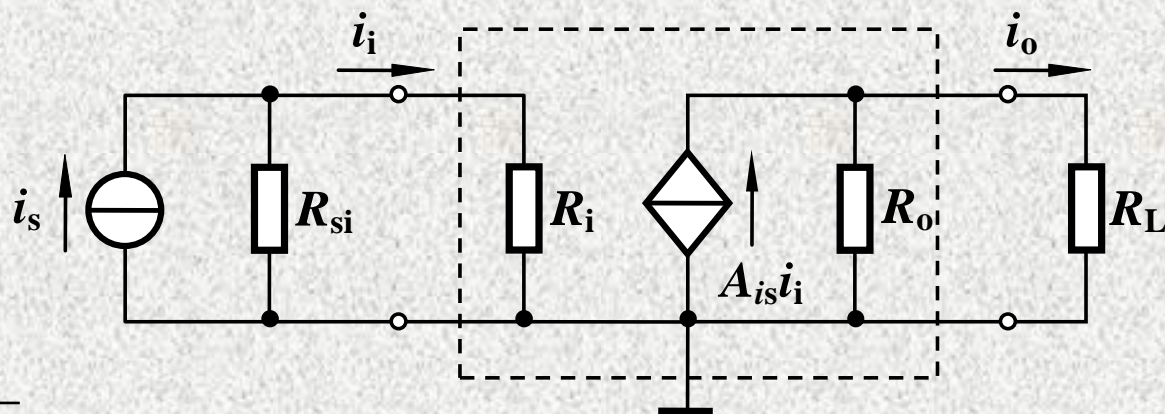
则电流增益为 $A_i = \frac{i_o}{i_i} = A_{is} \frac{R_o}{R_o + R_L}$

由此可见 $R_L \uparrow \longrightarrow A_i \downarrow$

要想减小负载的影响, 则希望...? $R_o \gg R_L$ 理想情况 $R_o = \infty$

由输入回路得 $i_i = i_s \frac{R_s}{R_s + R_i}$

要想减小对信号源的衰减, 则希望...? $R_i \ll R_s$ 理想情况 $R_i = 0$

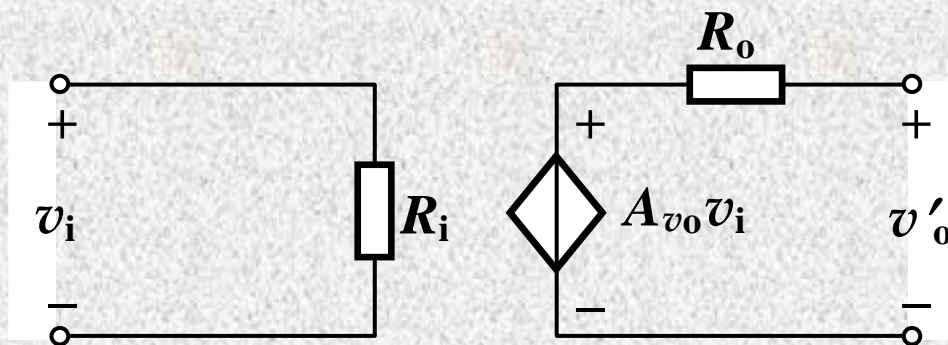


1.4 放大电路模型

C. 互阻放大模型（自学）

D. 互导放大模型（自学）

E. 隔离放大电路模型



输入输出回路没有公共端

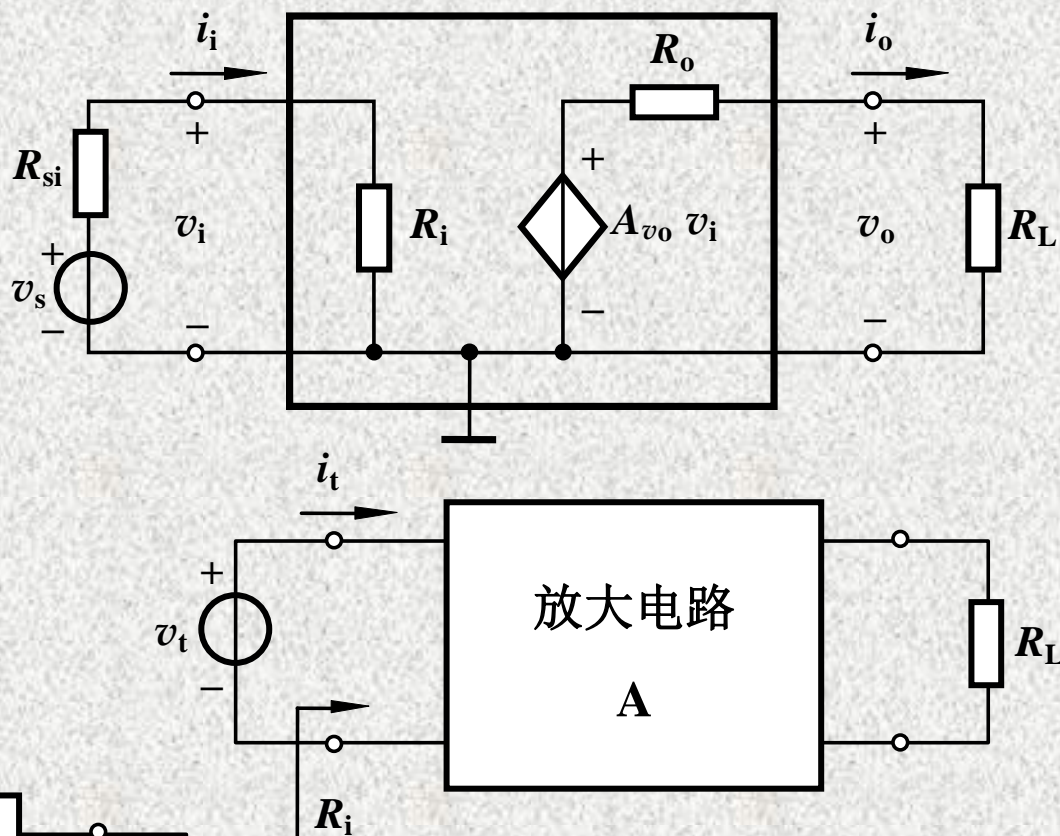
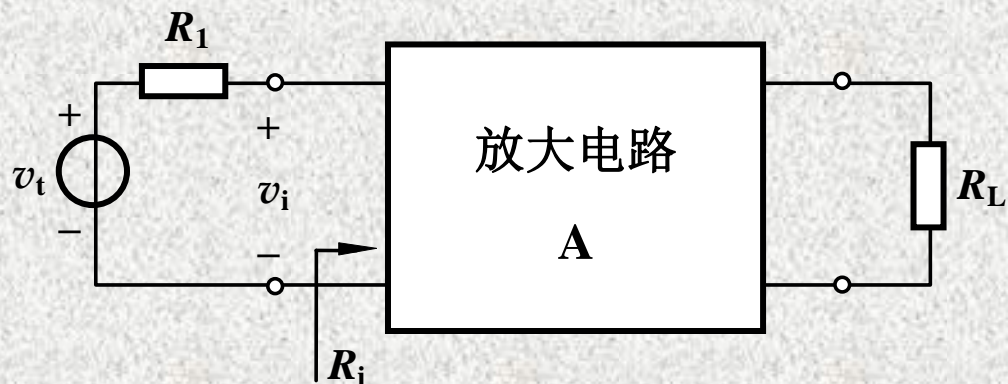
1.5 放大电路的主要性能指标

1. 输入电阻

$$R_i = \frac{v_t}{i_t}$$

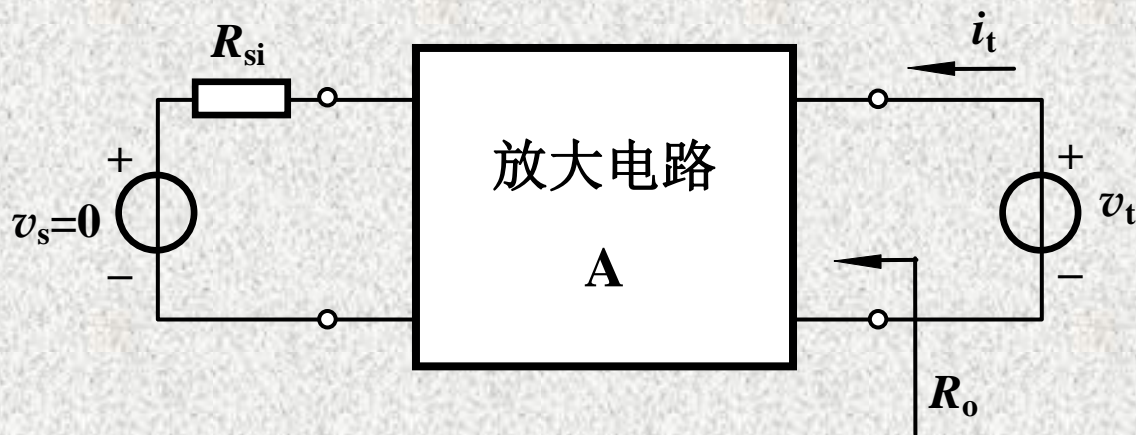
$$\text{或 } \frac{v_t}{v_i} = \frac{R_i + R_1}{R_i}$$

$$R_i = \frac{R_1 v_i}{v_t - v_i}$$



1.5 放大电路的主要性能指标

2. 输出电阻



$$R_o = \left. \frac{v_t}{i_t} \right|_{v_s=0, R_L=\infty}$$

注意：输入、输出电阻为交流电阻

注意：输出电阻影响该放大电路带载能力，带载能力是指放大电路输出量随负载变化的程度。当负载变化时，输出量变化小或不变表示带载能力强。

1.5 放大电路的主要性能指标

3. 增益

反映放大电路在输入信号控制下，将供电电源能量转换为输出信号能量的能力。

四种增益 $A_v = \frac{v_o}{v_i}$ $A_i = \frac{i_o}{i_i}$ $A_r = \frac{v_o}{i_i}$ $A_g = \frac{i_o}{v_i}$

其中 A_v 、 A_i 常用分贝 (dB) 表示。

电压增益 = $20\lg|A_v|$ (dB) 电流增益 = $20\lg|A_i|$ (dB)

功率增益 = $10\lg A_p$ (dB)

“甲放大电路的增益为-20倍”和“乙放大电路的增益为-20dB”，问哪个电路的增益大？

1.5 放大电路的主要性能指标

4. 频率响应

A. 频率响应及带宽

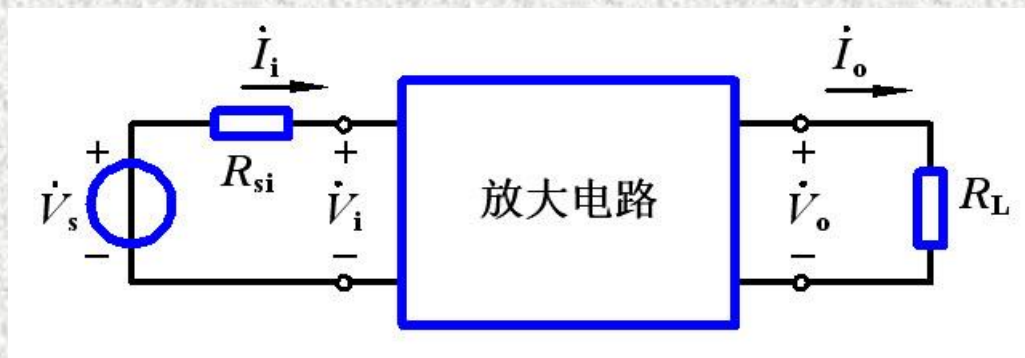
在输入正弦信号情况下，输出随输入信号频率连续变化的稳态响应，称为放大电路的频率响应。

电压增益可表示为

$$\dot{A}_V(j\omega) = \frac{\dot{V}_o(j\omega)}{\dot{V}_i(j\omega)}$$

$$= \left| \frac{\dot{V}_o(j\omega)}{\dot{V}_i(j\omega)} \right| \angle [\varphi_o(\omega) - \varphi_i(\omega)]$$

或写为 $\dot{A}_V = A_V(\omega) \angle \varphi(\omega)$



其中

$$A_V(\omega) = \left| \frac{\dot{V}_o(j\omega)}{\dot{V}_i(j\omega)} \right| \quad \text{称为幅频响应}$$

$$\angle \varphi(\omega) = \varphi_o(\omega) - \varphi_i(\omega) \quad \text{称为相频响应}$$

1.5 放大电路的主要性能指标

4. 频率响应

A. 频率响应及带宽

普通音响系统放大电路的幅频响应

其中 f_H —— 上限频率

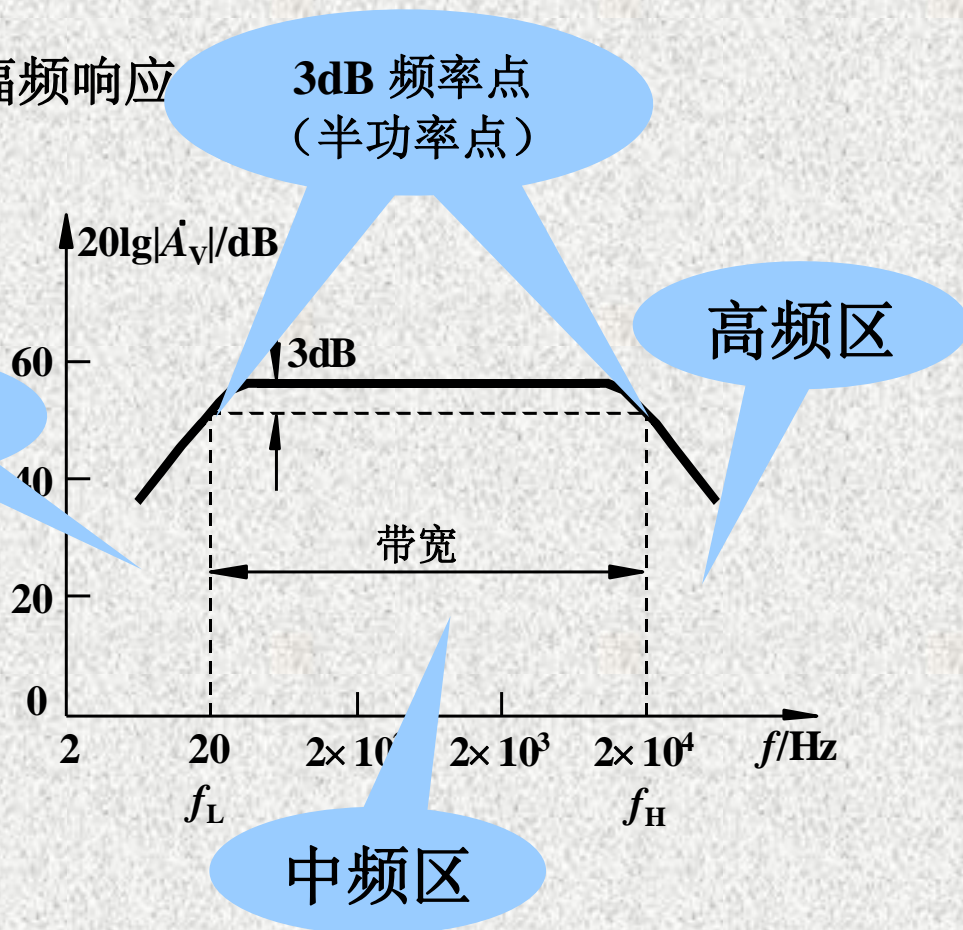
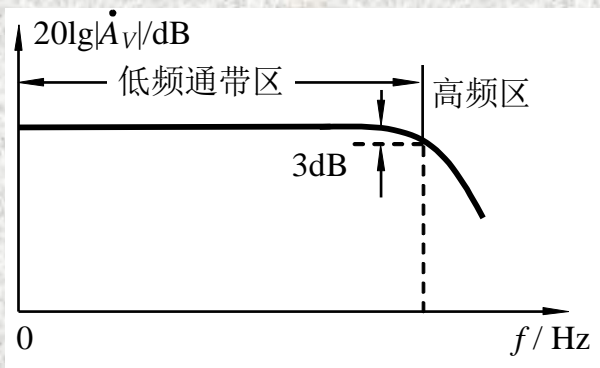
f_L —— 下限频率

$BW = f_H - f_L$ 称为带宽

当 $f_H \gg f_L$ 时, $BW \approx f_H$

低频区

直流放大电路的幅频响应与
此有何区别?



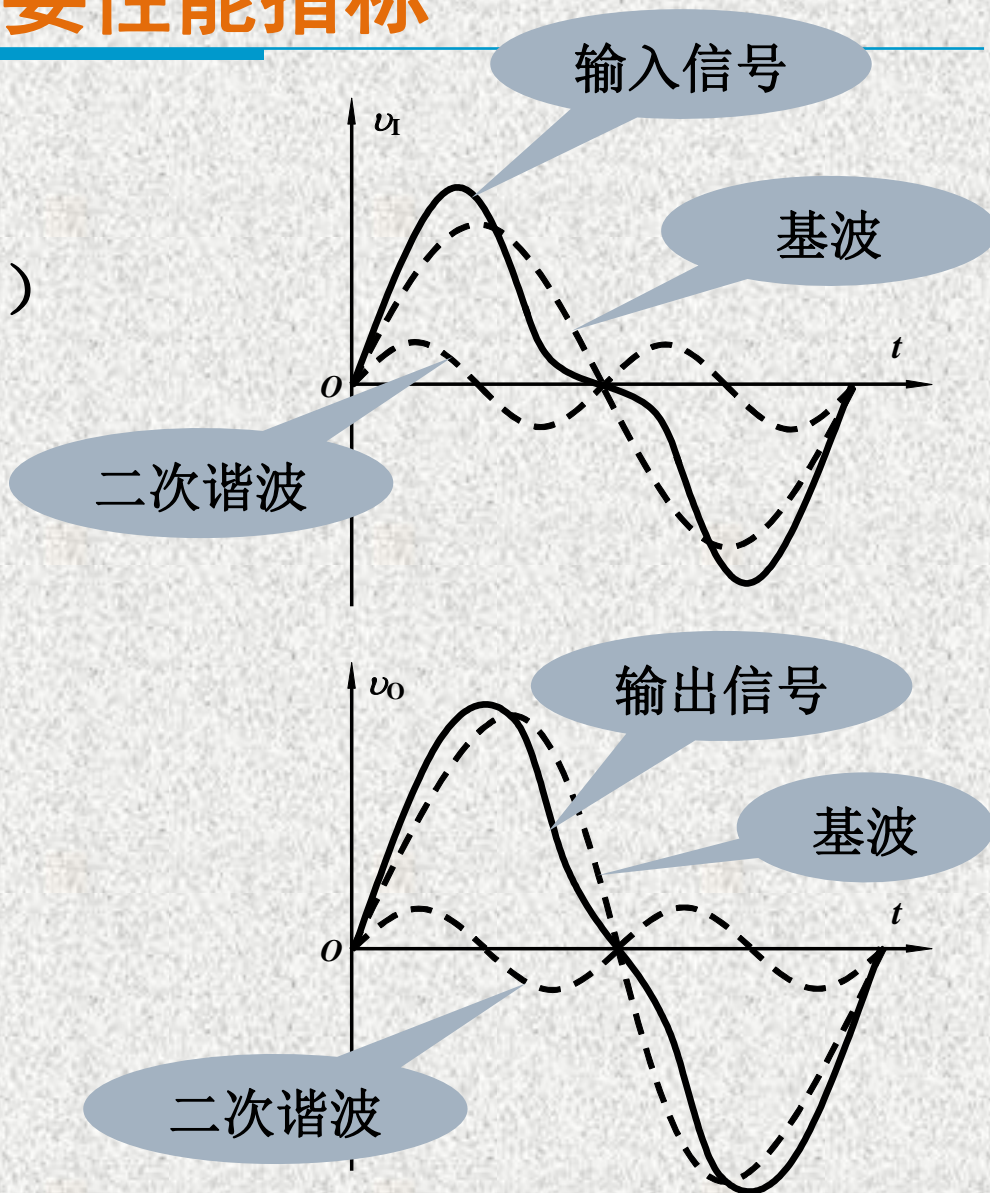
1.5 放大电路的主要性能指标

4. 频率响应

B. 频率失真（线性失真）

幅度失真：

对不同频率的信号增益不同，产生的失真。



1.5 放大电路的主要性能指标

4. 频率响应

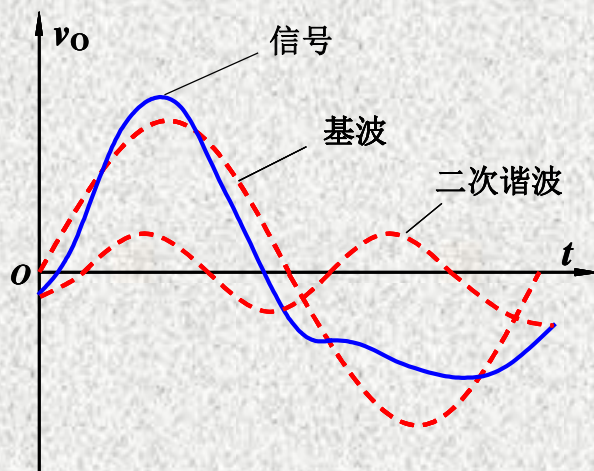
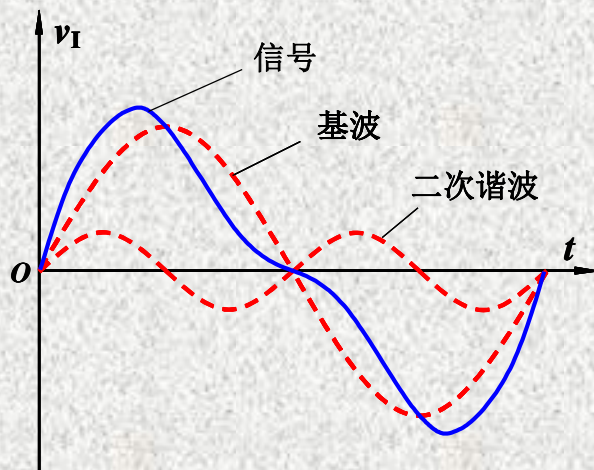
B. 频率失真（线性失真）

幅度失真：

对不同频率的信号增益不同，产生的失真。

相位失真：

对不同频率的信号时延不同，产生的失真。



1.5 放大电路的主要性能指标

5. 非线性失真

由元器件非线性特性引起的失真。

非线性失真系数:

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{ok}^2}}{V_{o1}} \times 100\%$$

V_{o1} 是输出电压信号基波分量的有效值, V_{ok} 是高次谐波分量的有效值, k 为正整数。

