模拟电子技术基础

——电子教案 V2.1

参考教材： 电子技术基础

模拟部分（第五版）

康华光 主编

主讲：何汶静

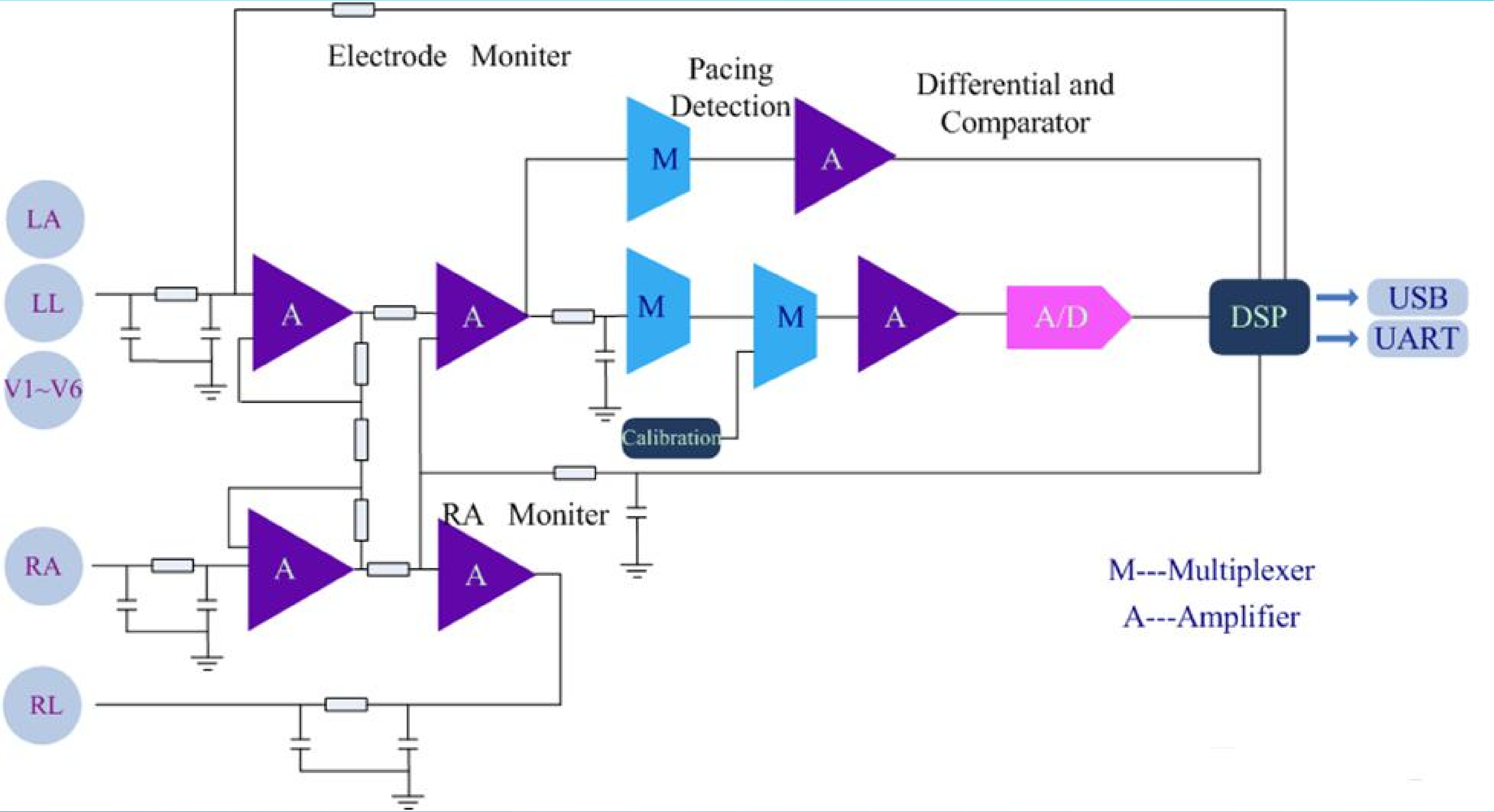
川北医学院生物医学工程

课程简介

《电子技术基础（模拟部分）》是电气类、信息类、物理类等各专业入门性质的课程，是实践性很强的学科基础课。课程的任务是使学生获得电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生分析问题和解决问题的能力。通过本课程的学习，使学生具备应用电子技术的能力，为学习后续课程和电子技术在专业中的应用打好基础。

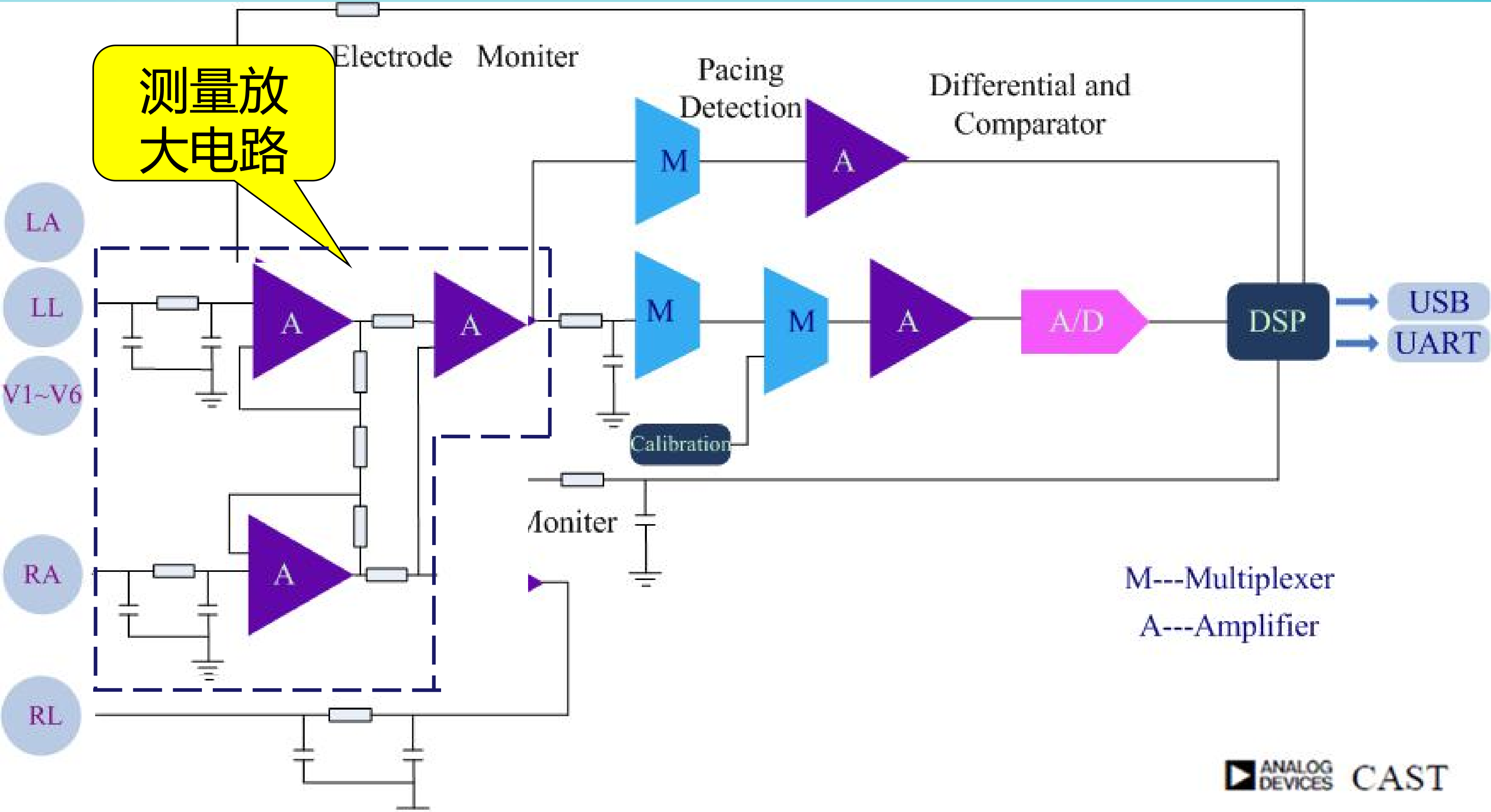
心电测量电路

心电测量与处理电路



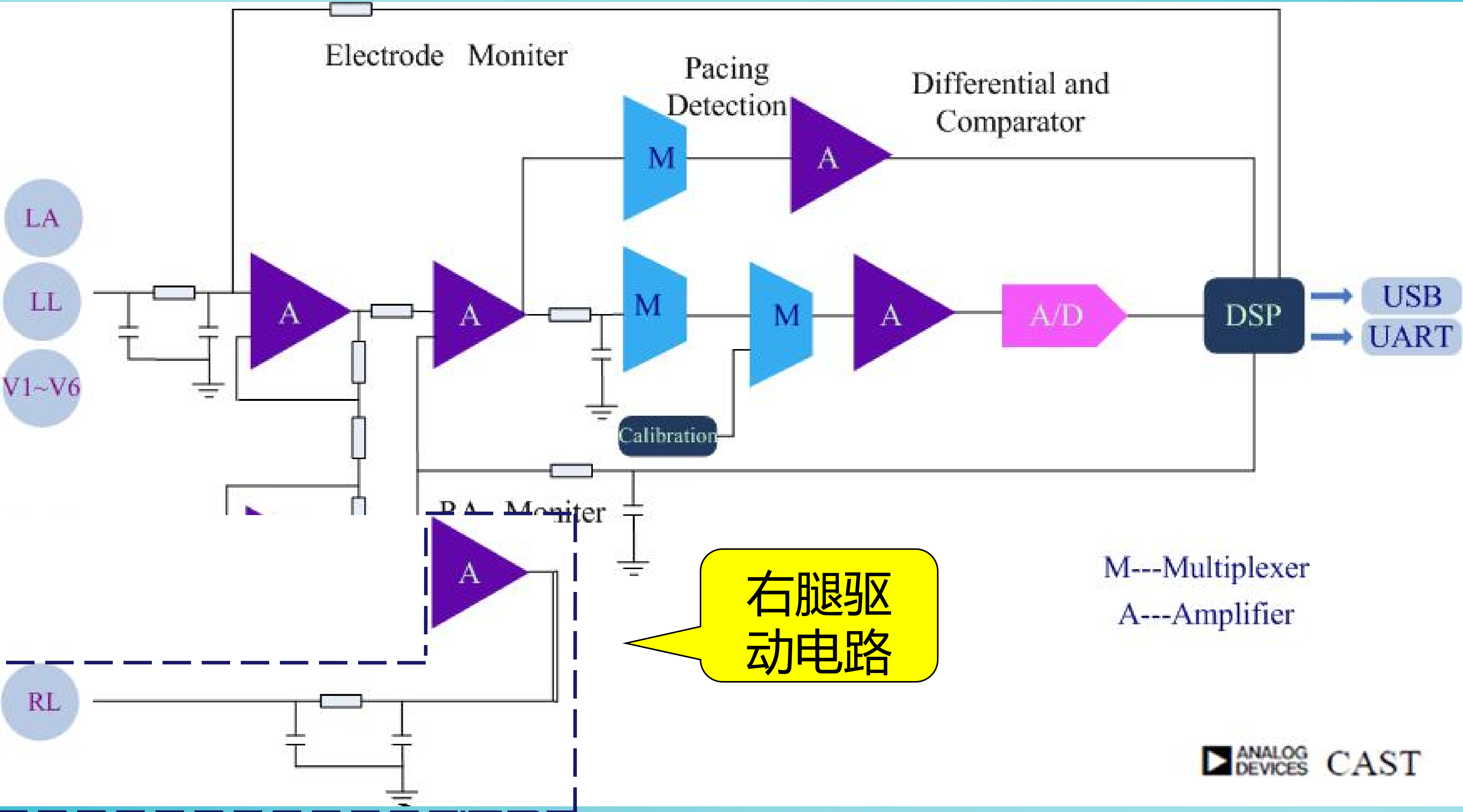
Electrode Moniter
Pacing Detection
Differential and Comparator
LA
LL
V1~V6
RA
RL
A
M
A/D
DSP
USB
UART
Calibration
RA Moniter
M---Multiplexer
A---Amplifier

心电测量与处理电路



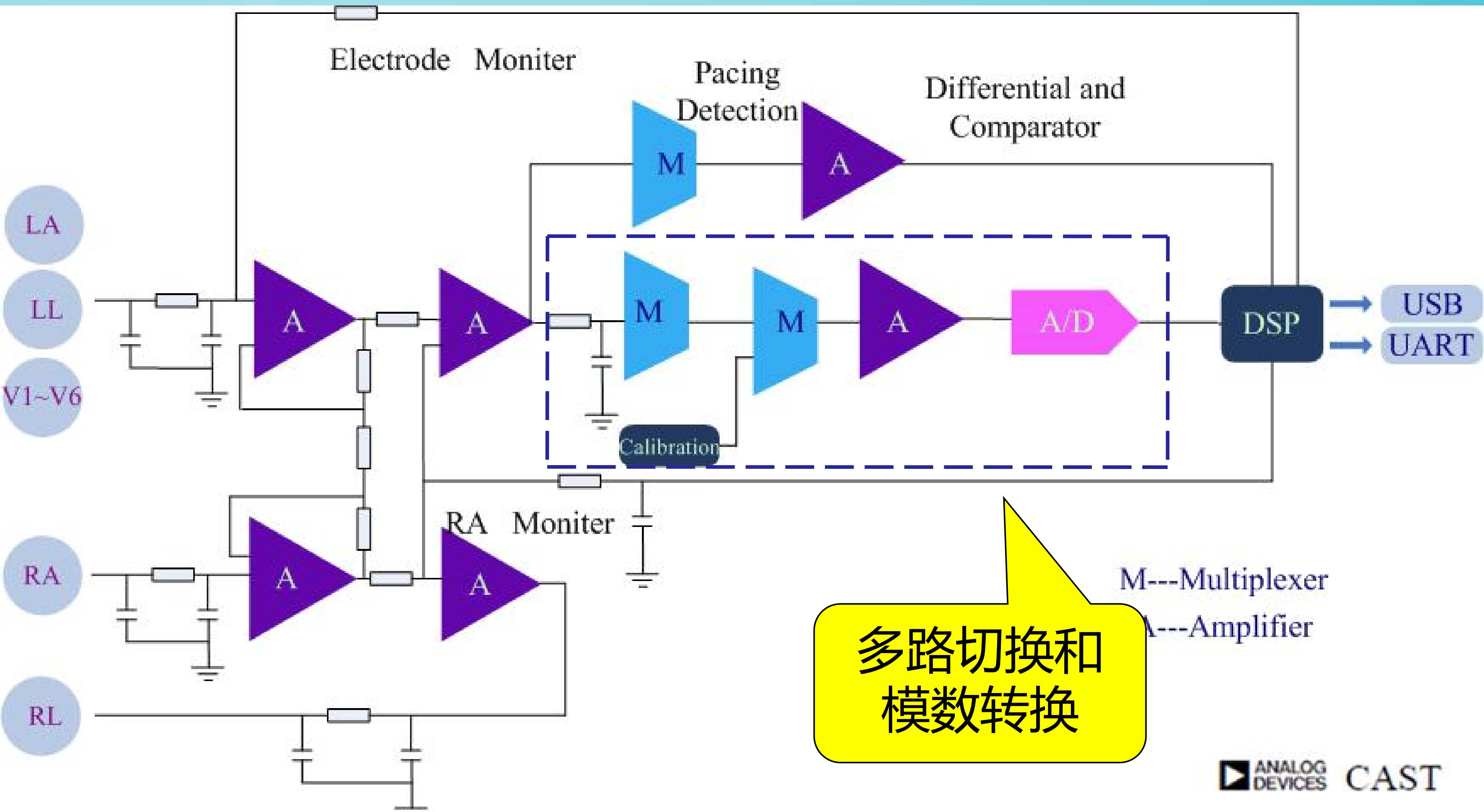
测量放大电路
Electrode Moniter
Pacing Detection
Differential and Comparator
LA
LL
V1~V6
RA
RL
A
M
A/D
DSP
USB
UART
Calibration
Moniter
M---Multiplexer
A---Amplifier
ANALOG DEVICES
CAST

心电测量与处理电路



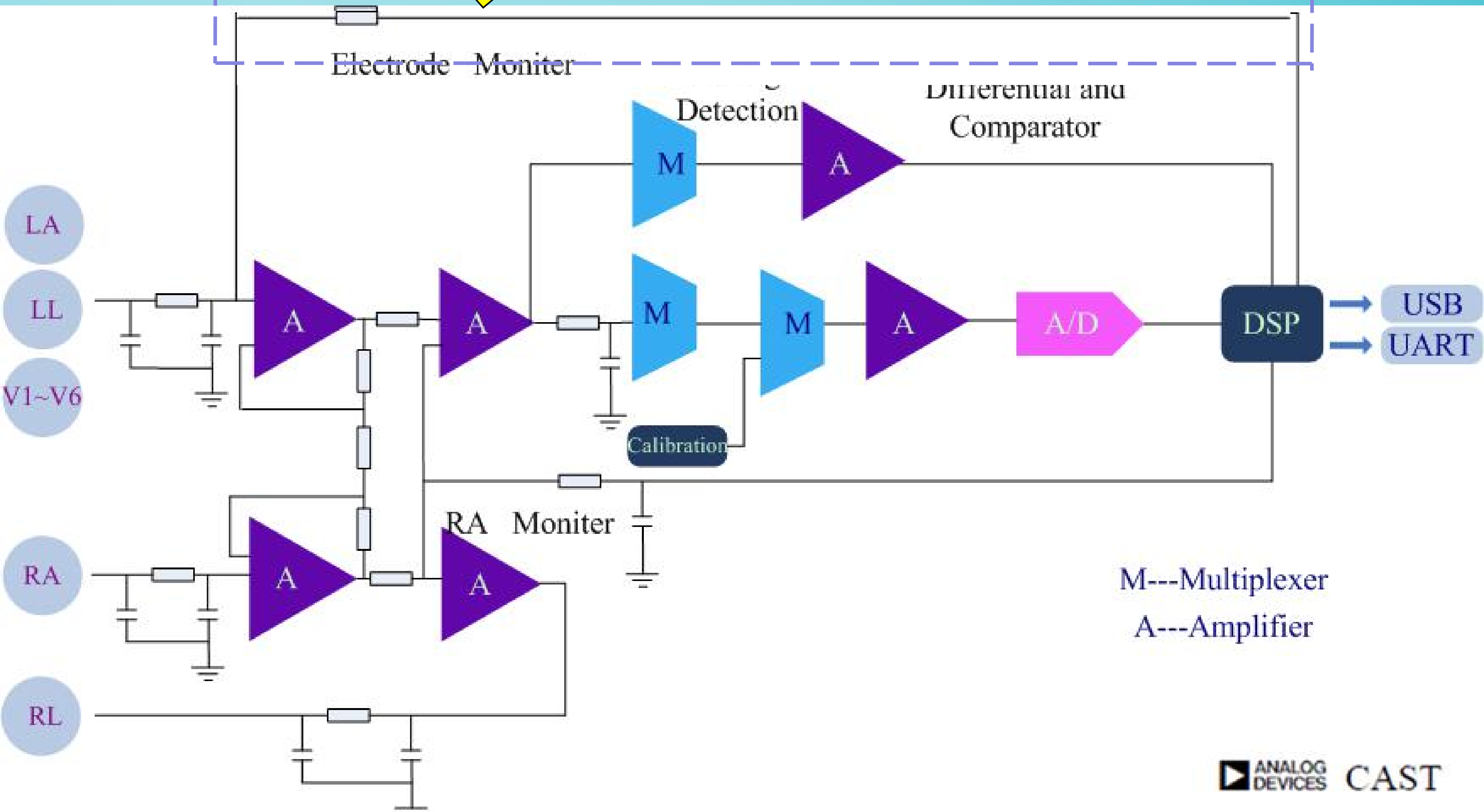
Electrode Moniter
Pacing
Detection
Differential and
Comparator
LA
LL
V1~V6
RL
A
M
A/D
DSP
USB
UART
Calibration
右腿驱
动电路
M---Multiplexer
A---Amplifier
ANALOG DEVICES
CAST

心电测量与处理电路


Electrode Moniter
Pacing Detection
Differential and Comparator
LA
LL
V1~V6
RA
RL
A
M
A/D
Calibration
DSP
USB
UART
RA Moniter
M---Multiplexer
A---Amplifier
多路切换和
模数转换
CAST

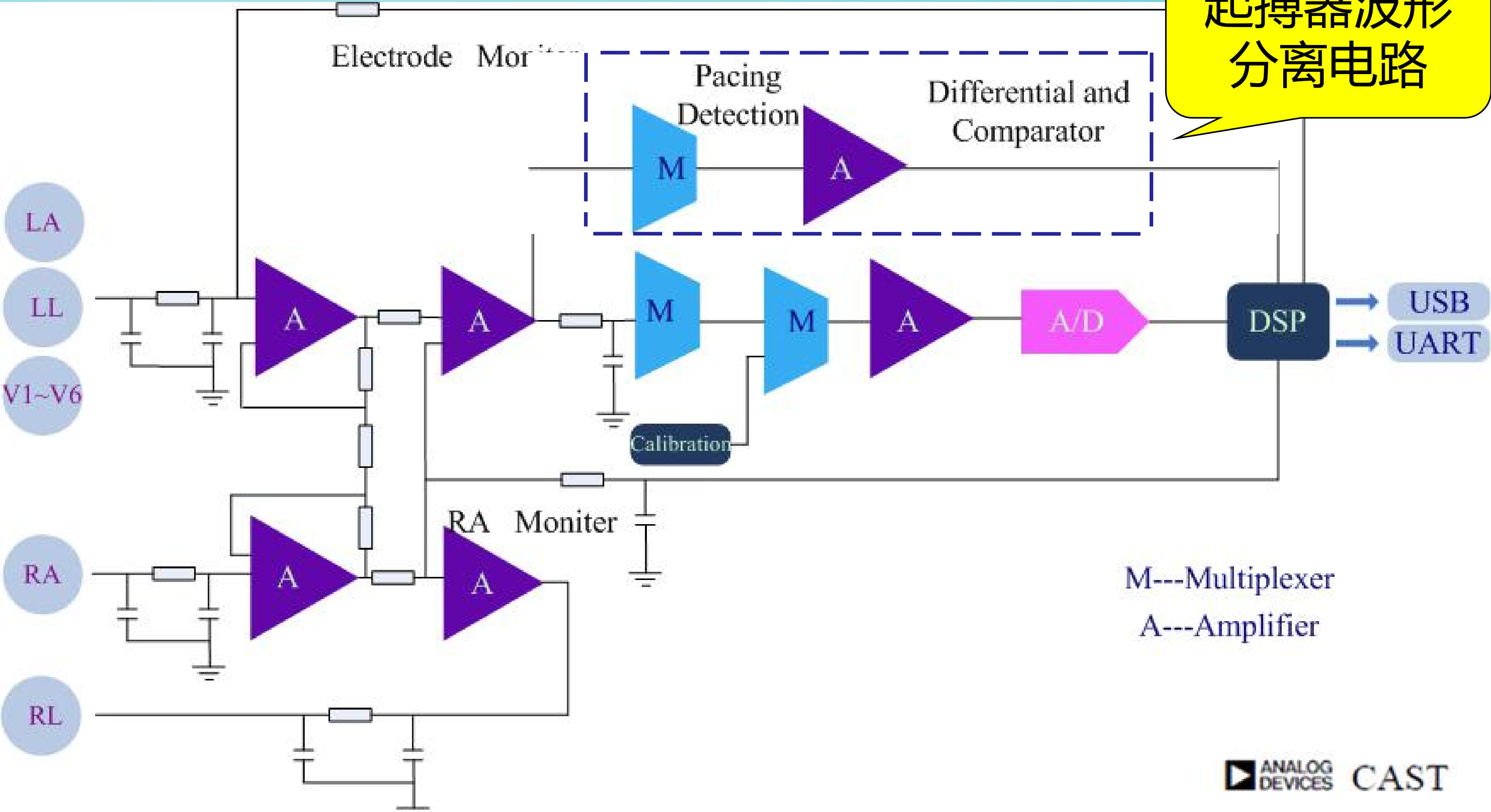
与处理电路

导联脱落
检测电路

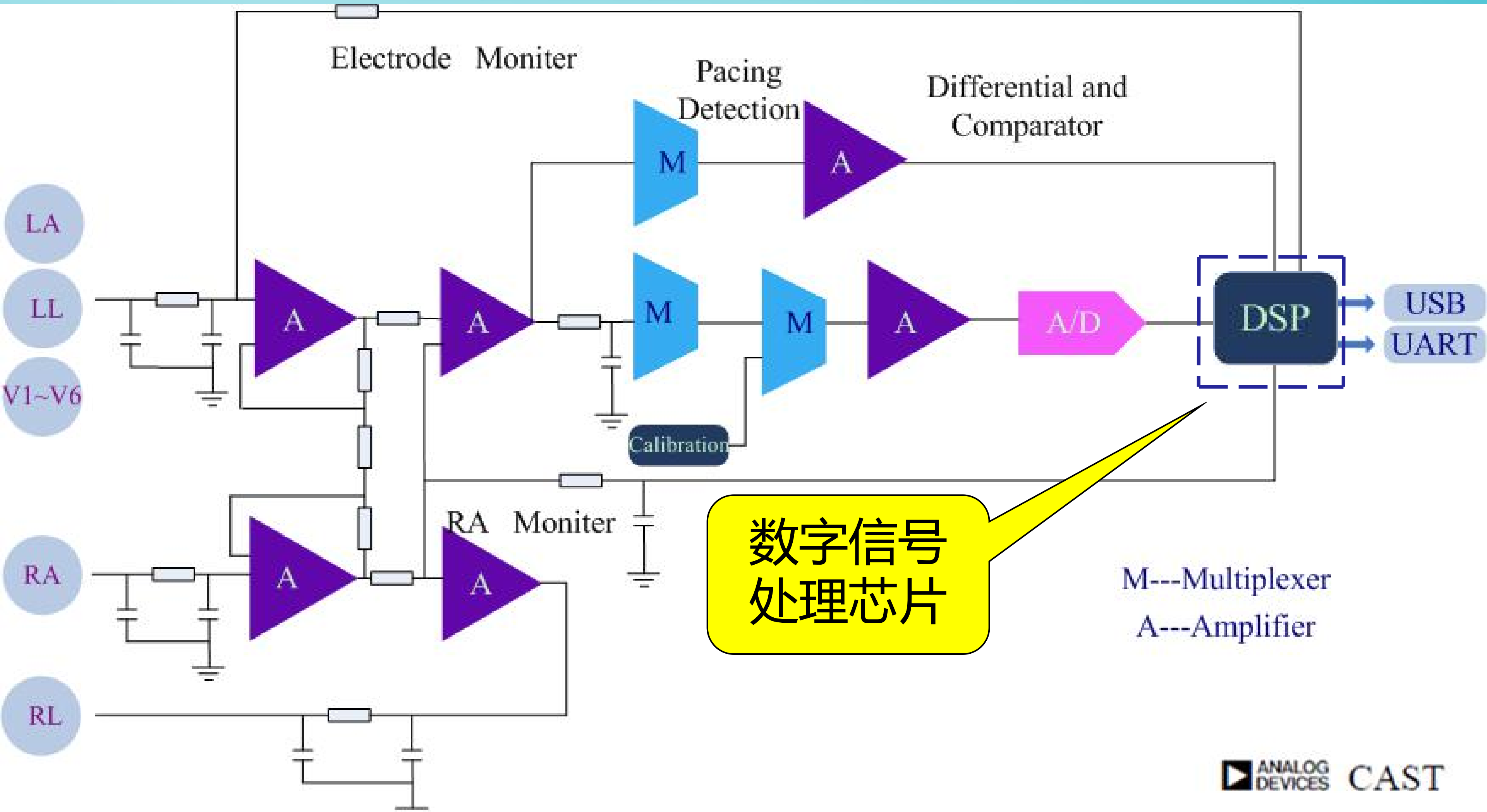


心电测量与处理电路

起搏器波形
分离电路



心电测量与处理电路



Electrode Moniter
Pacing
Detection
Differential and
Comparator
LA
LL
V1~V6
RA
RL
A
M
A/D
DSP
USB
UART
Calibration
RA Moniter
数字信号
处理芯片
M---Multiplexer
A---Amplifier
ANALOG DEVICES
CAST

本课程的主要内容

器件

半导体基础知识
二极管的工作原理、分析方法
三极管的工作原理、分析方法
场效应管的工作原理、分析方法

电子电路及其应用

放大电路
滤波电路
电源电路

本课程的学习方法

- 建立新概念。
- 确立新的分析方法。
- 重点在于课堂听讲，再加预习、**复习**。
- 注重实验环节，先理论分析，后实践，然后再对实验的结果进行分析。
- 认真作业。

成绩评定：

平时：　　10 %　　实验　20 %

考试：　　70 %

参考书：

1）童诗白、华成英主编 《模拟电子技术基础》（第三版）北京：高等教育出版社 2001年

2）陈大钦主编 《模拟电子技术基础学习与解题指南(修订版)》华中科技大学出版社 2001年

3）唐竟新编《模拟电子技术基础解题指南》北京：清华大学出版社 1998年

4） 陈大钦主编《模拟电子技术基础 问答、例题、试题》武汉： 华中科技大学出版社 1996年

5）模拟电子技术助学网--中国矿业大学

http://siee.cumt.edu.cn/Netcollege/Analog/Index.htm

1 绪论

1.1 信号

1.2 信号的频谱

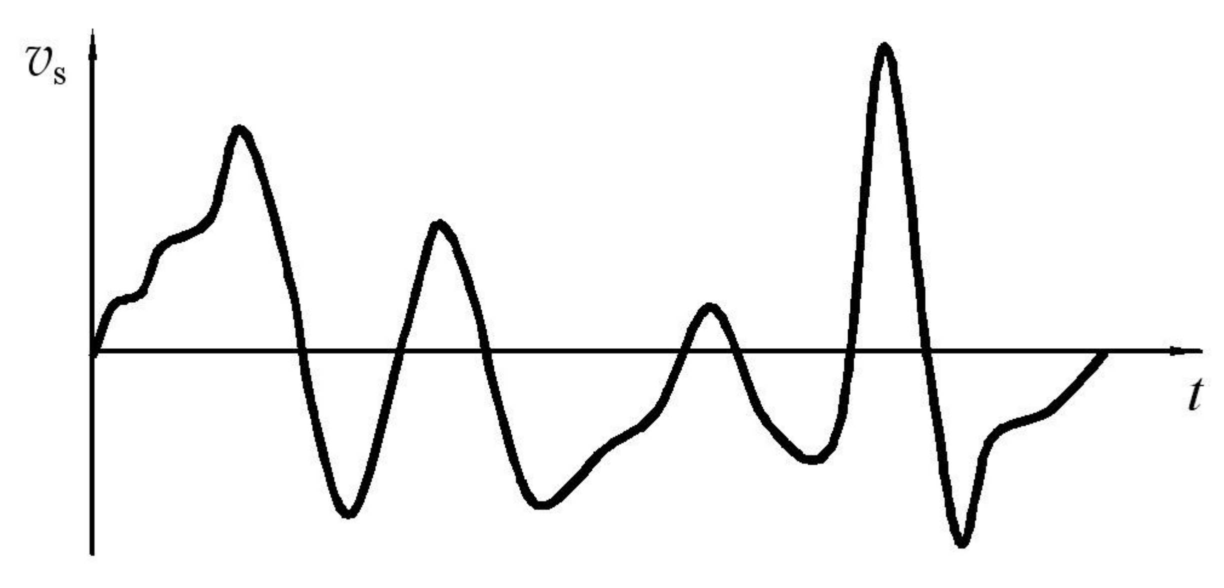
1.3 模拟信号和数字信号

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

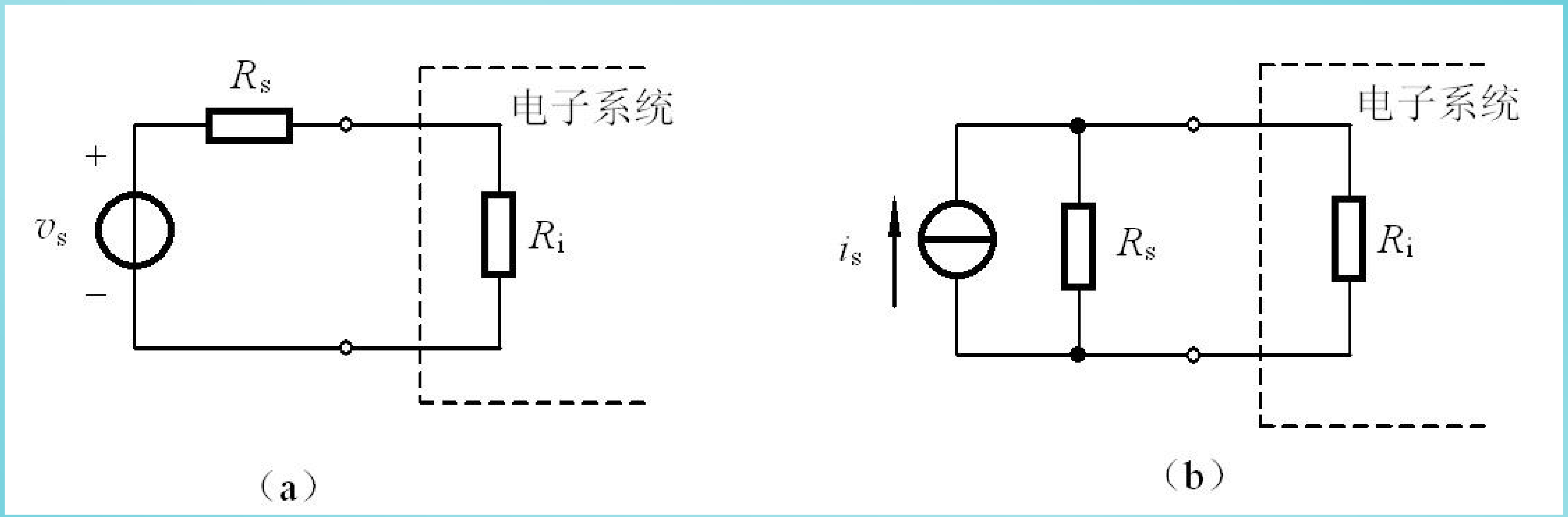
1. 信号：　信息的载体



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

$$i_s = \frac{V_s}{R_s}$$

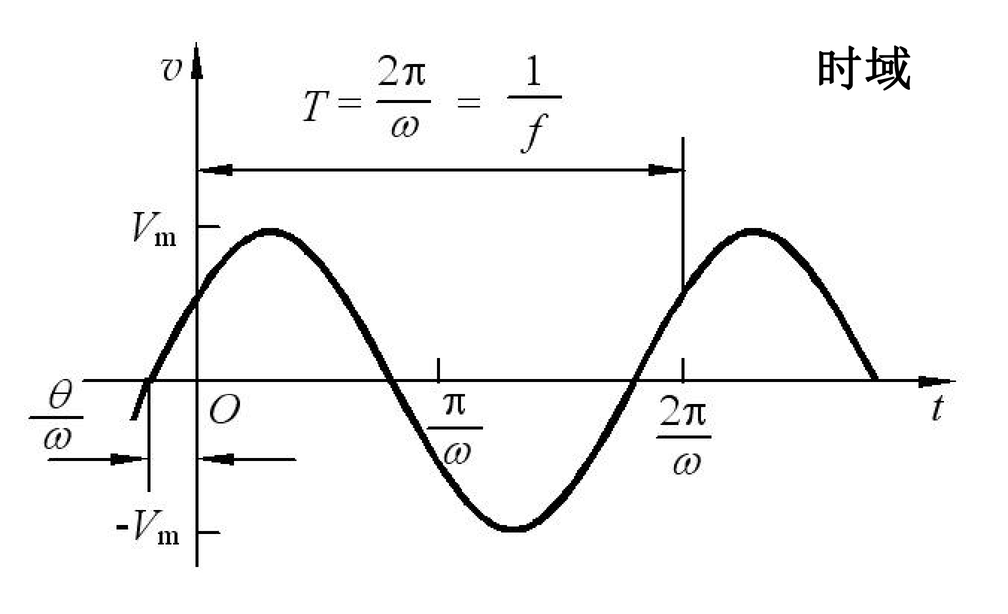
1.2 信号的频谱

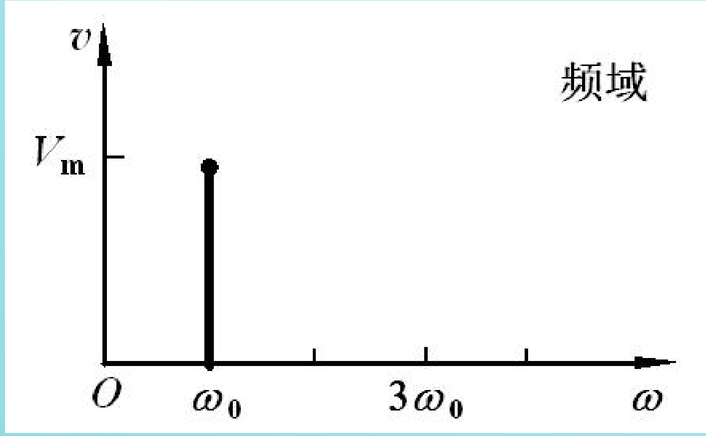
1. 电信号的时域与频域表示

A. 正弦信号

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

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



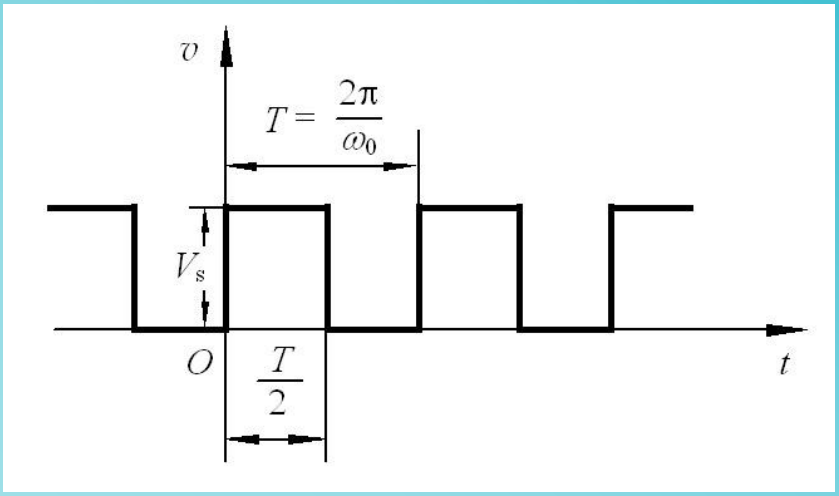


1.2 信号的频谱

1. 电信号的时域与频域表示

B. 方波信号

满足狄利克雷条件，展开成傅里叶级数



方波的时域表示

$$v(t)=\frac{V_S}{2}+\frac{2V_S}{\pi}(\sin\omega_0 t+\frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t+\frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t+\cdots)$$

其中 $\omega_0=\dfrac{2\pi}{T}$

$\dfrac{V_S}{2}$ ——直流分量

$\dfrac{2V_S}{\pi}$ ——基波分量

$\dfrac{2V_S}{\pi}\cdot\dfrac{1}{3}$ ——三次谐波分量

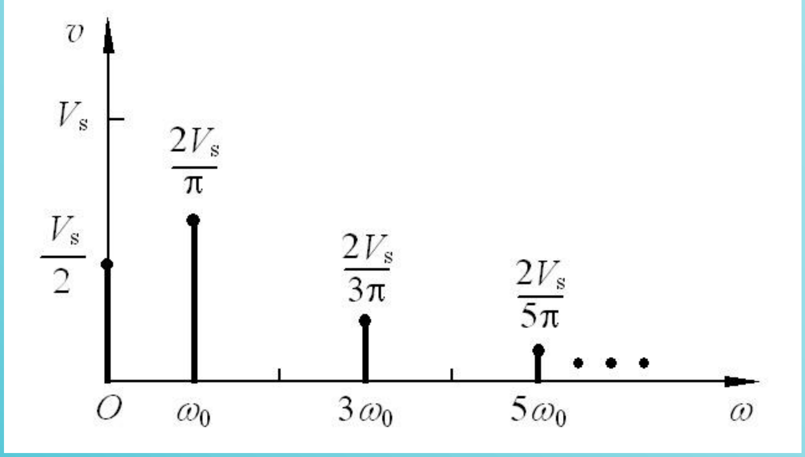
1.2 信号的频谱

2. 信号的频谱

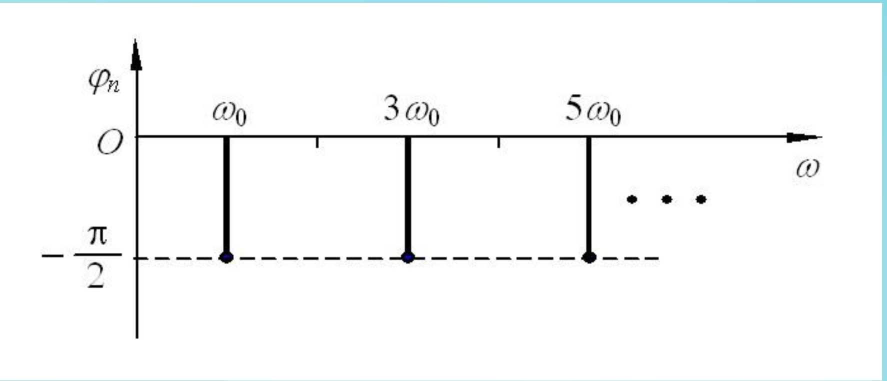
频谱：将一个信号分解为正弦信号的集合，得到其正弦信号幅值和相位随角频率变化的分布，称为该信号的频谱。

B. 方波信号

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



幅度谱



相位谱

2.1 周期信号的频谱

周期信号可以展开为傅里叶级数的三角形式

$$U(t)=\sum a_n \sin(2\pi f_n t+\phi_n)\ ,\qquad \boldsymbol{n=1、2、3\ldots}$$

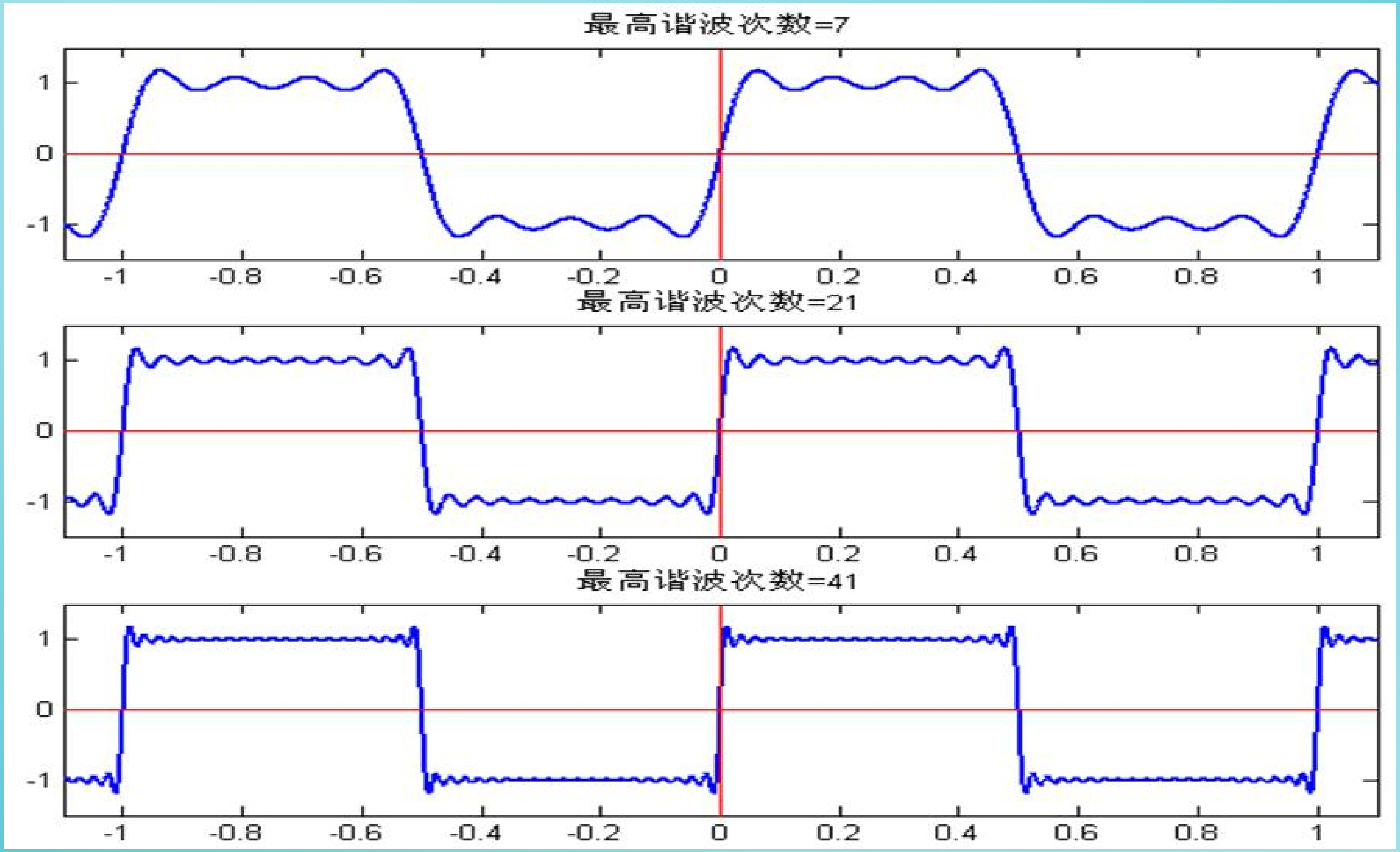
基波——频率$f=f_1$的正弦波称为基波。

n次谐波——频率$f=f_\text{n}$的正弦波称为n次谐波。即n=2、3、4……分别对应二次、三次、四次谐波。

B. 方波信号（Square Signal）

$$u(t)=\frac{U_\text{S}}{2}+\frac{2U_\text{S}}{\pi}(\sin\omega_0 t+\frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t+\frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t+\cdots)$$

2.1 周期信号的频谱



Matlab编程求傅里叶级数的部分和

2.1 周期信号的频谱

周期信号频谱的特点

离散性

谐波性

收敛性

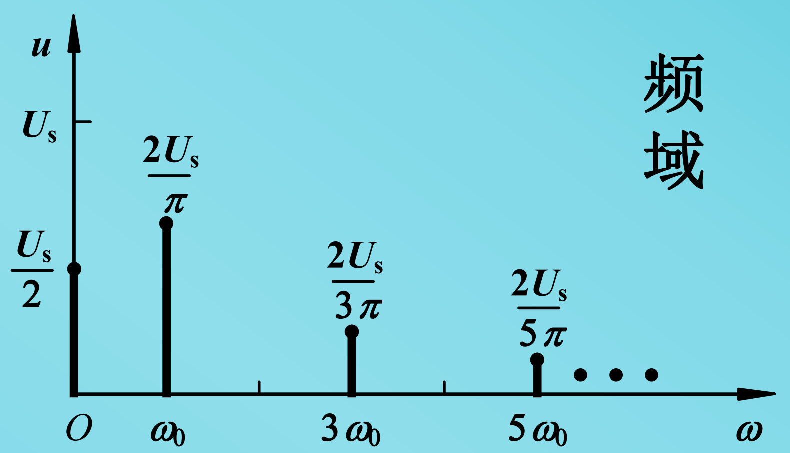
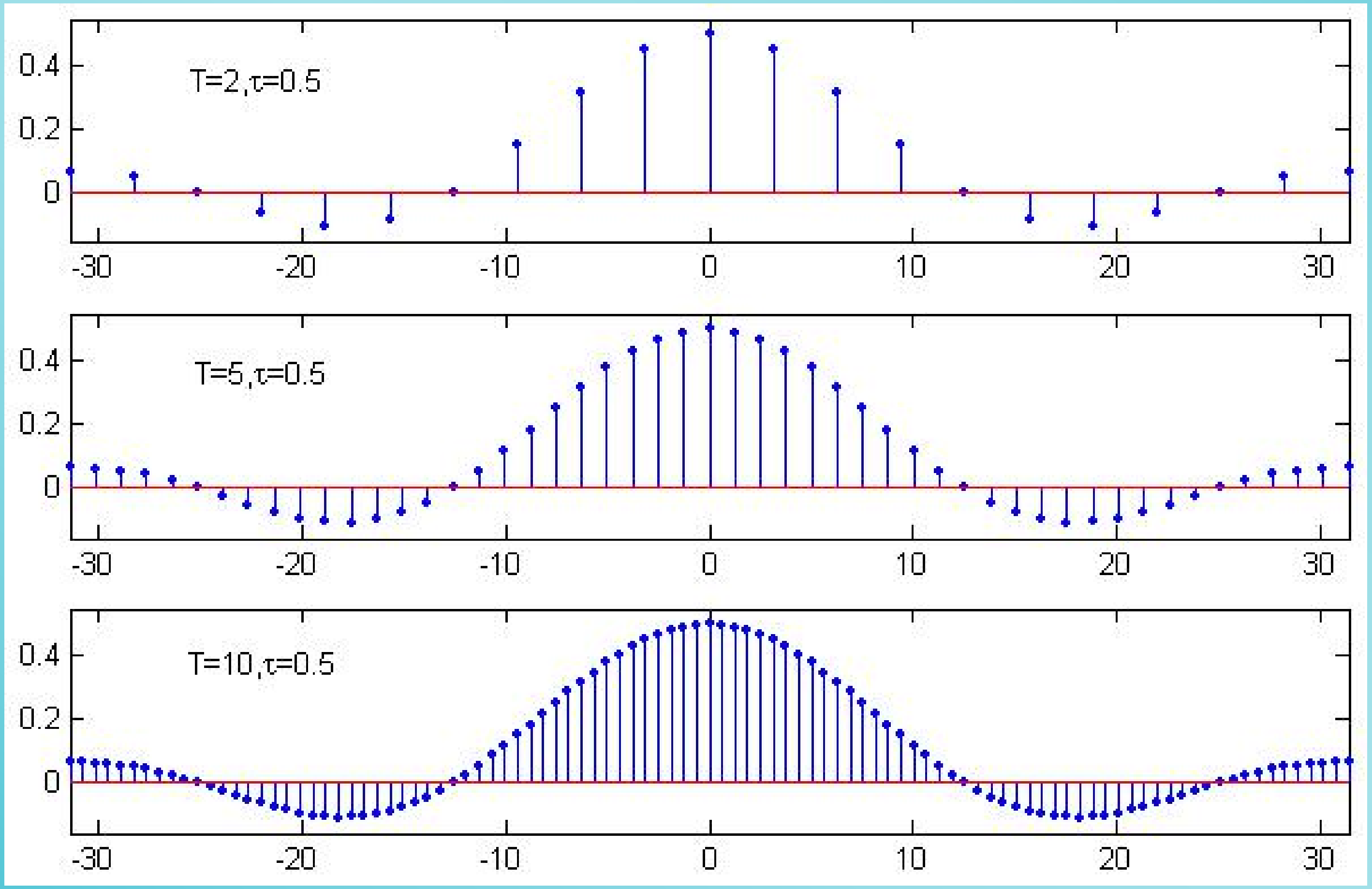


图2.6 频域的方波信号

2.1 周期信号的频谱



$\omega = 2\pi / T$

当T=2,5,10时周期矩形波的频谱

1.2 信号的频谱

C. 非周期信号

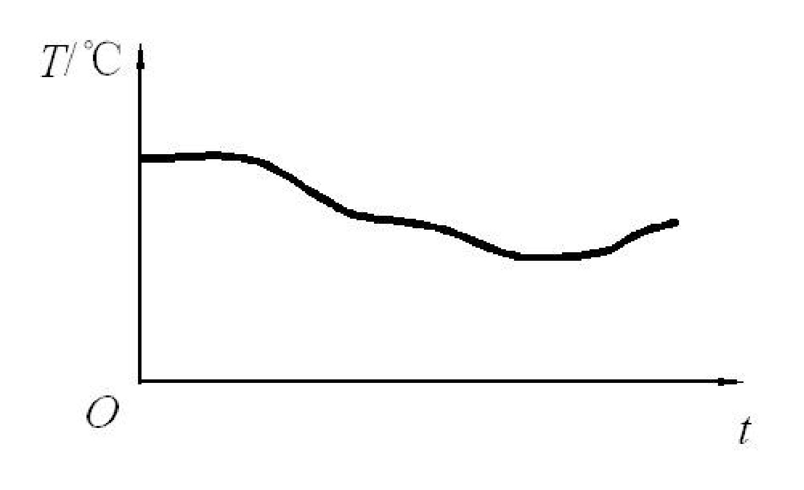
傅里叶变换：

周期信号 ——→ 离散频率函数

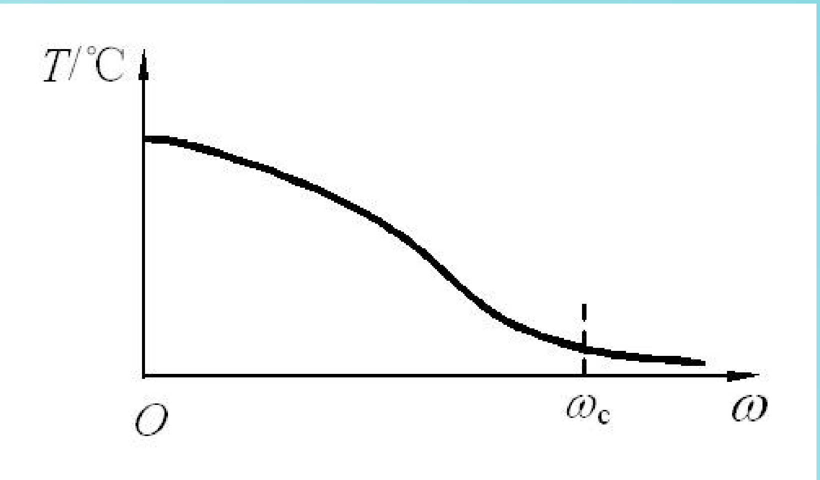
非周期信号 ——→ 连续频率函数

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

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。



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

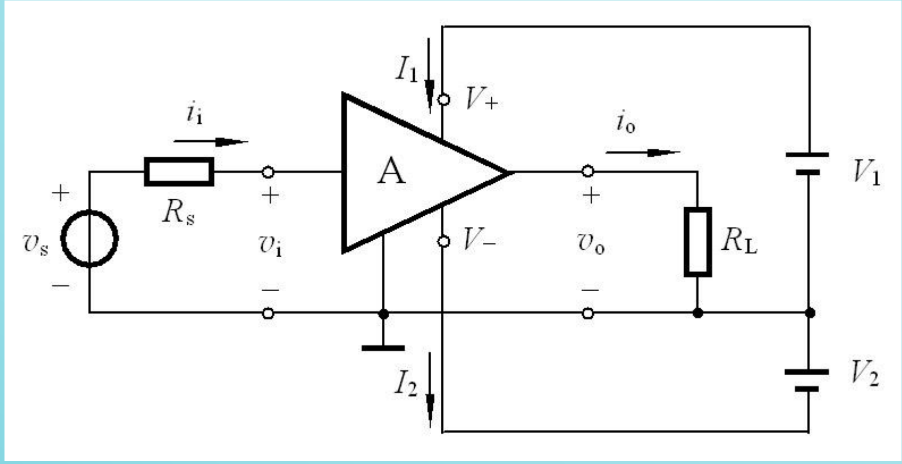
模拟信号：在时间和幅值上都是连续的信号。

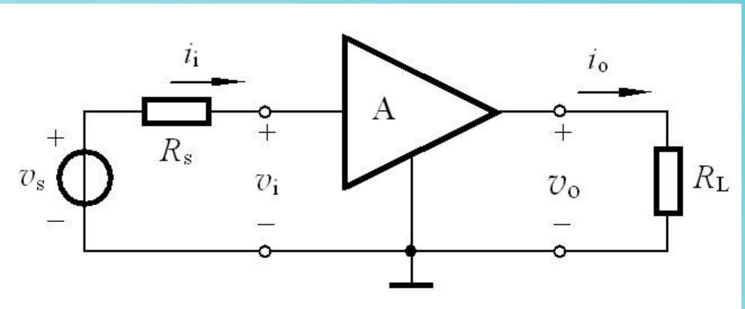
数字信号：在时间和幅值上都是离散的信号。

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





电压增益（电压放大倍数）

$$A_V = \frac{V_o}{V_i}$$

电流增益

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

互阻增益

$$A_r = \frac{V_o}{i_i} \qquad (\Omega)$$

互导增益

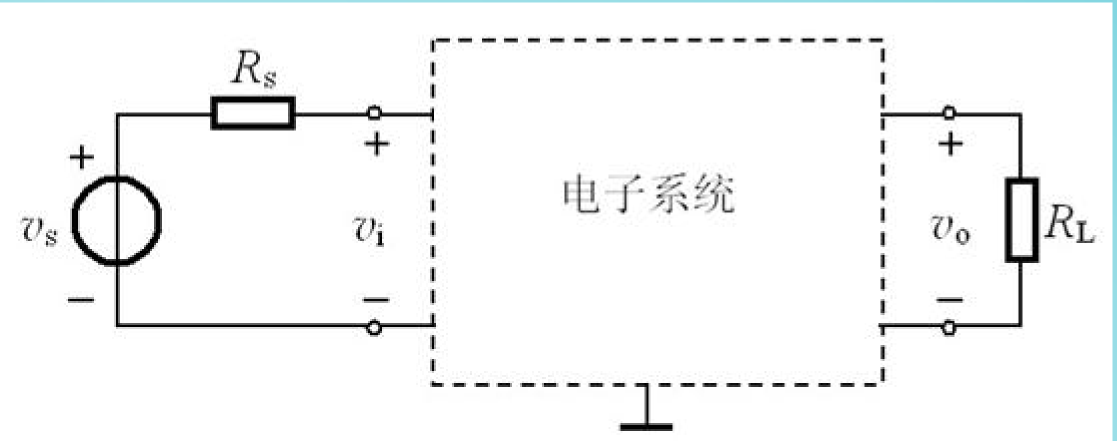
$$A_g = \frac{i_o}{V_i} \qquad (S)$$

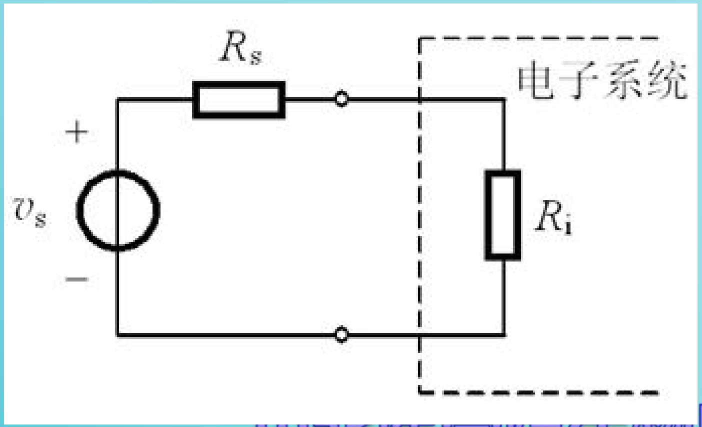
首页

上页 下页

1.4 放大电路模型

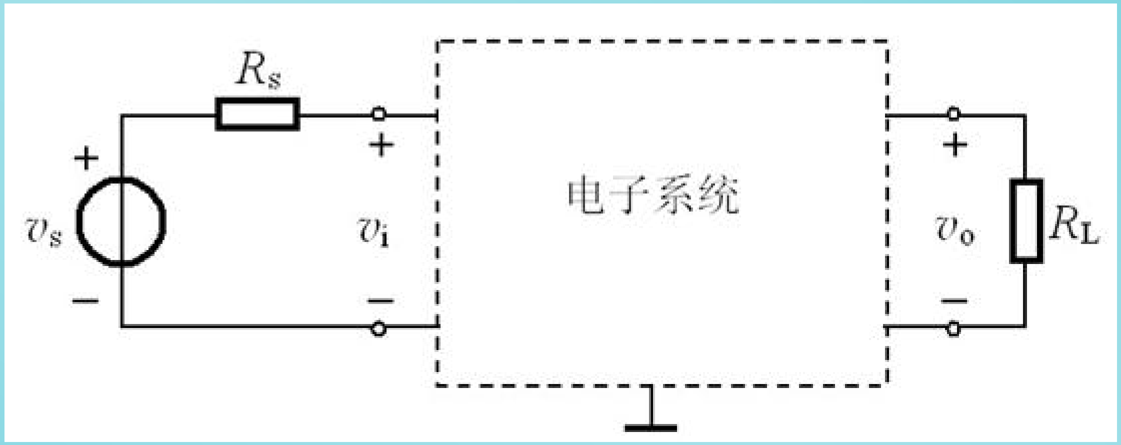
2. 放大电路模型

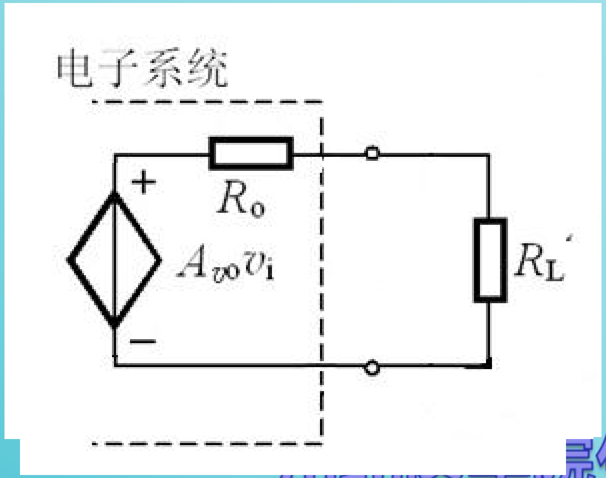




1.4 放大电路模型

2. 放大电路模型





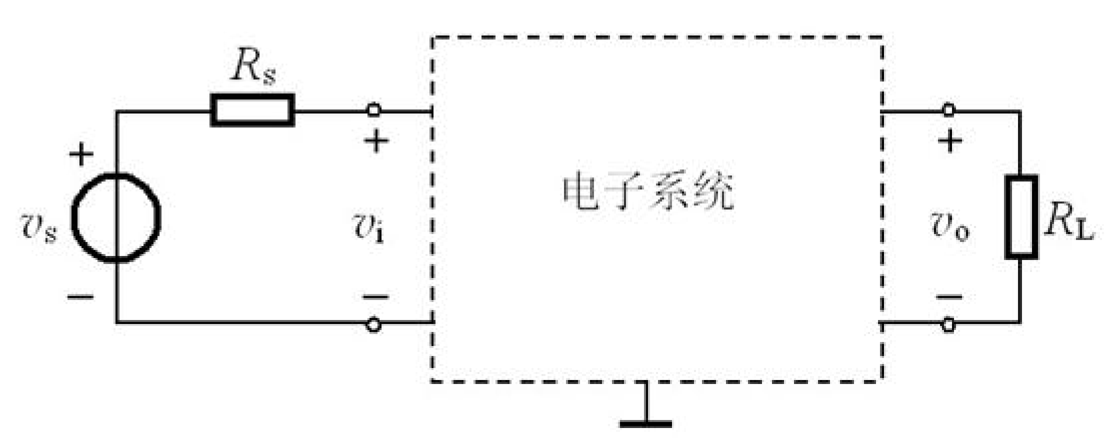
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \Rightarrow V_o = A_V V_i$$

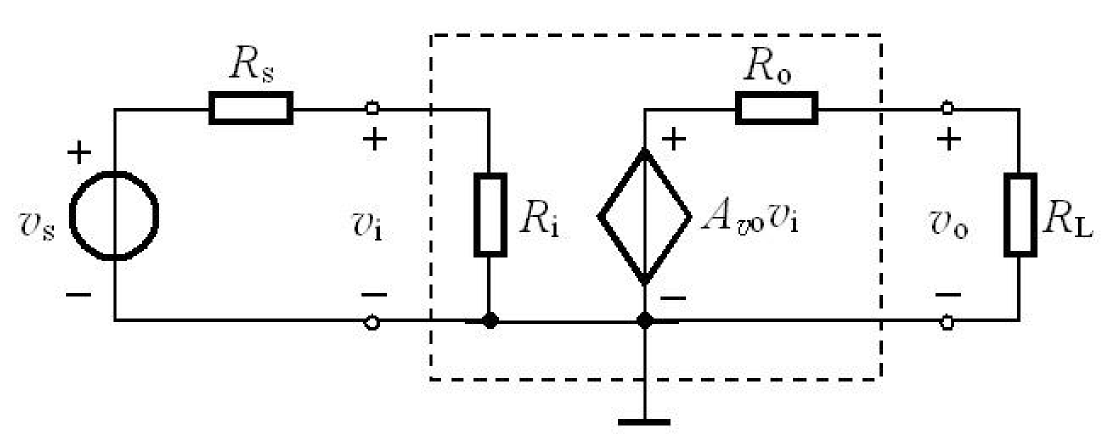
$$V_o = A_{VO} V_i$$

$$R_o$$

1.4 放大电路模型

2. 放大电路模型

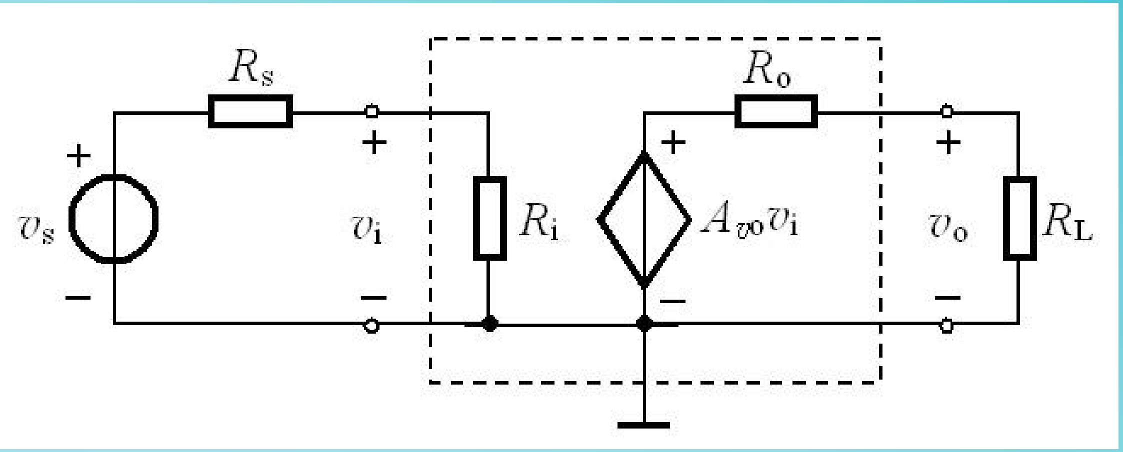




1.4 放大电路模型

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

则电压增益为 $A_v = \dfrac{v_o}{v_i} = A_{vo}\dfrac{R_L}{R_o + R_L}$

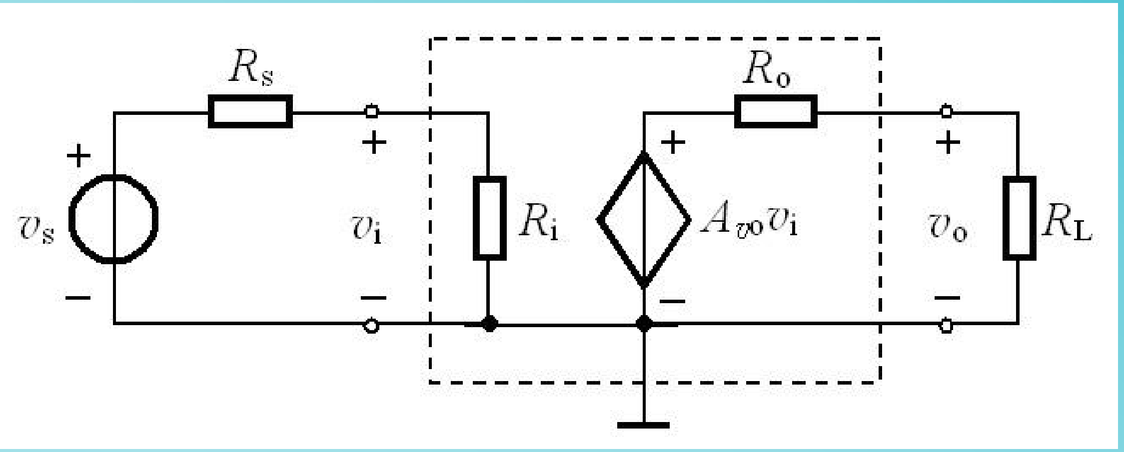
由此可见 $R_L \downarrow \longrightarrow A_v \downarrow$ 即负载的大小会影响增益的大小

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

有 $$v_i = \frac{R_i}{R_s + R_i} v_s$$

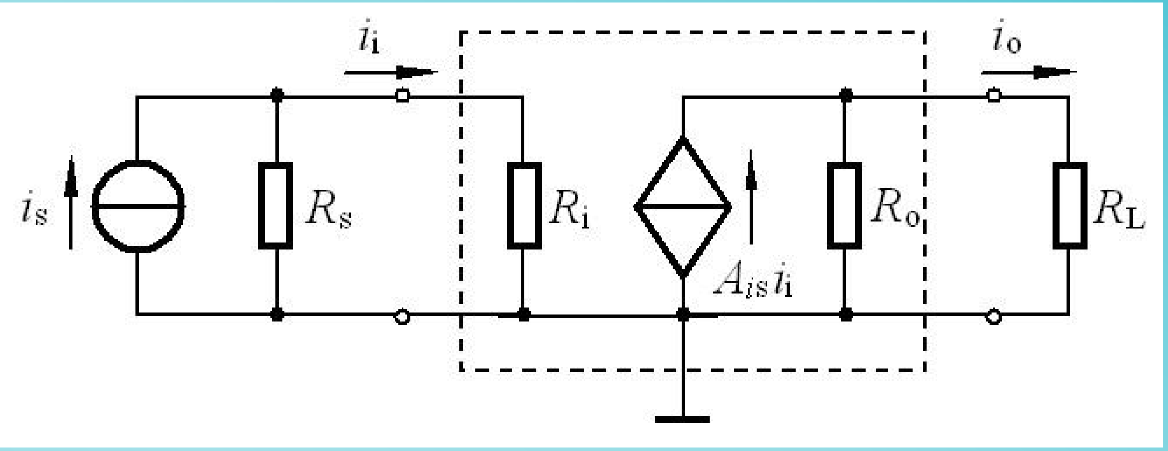
要想减小衰减，则希望…？

$$R_i >> R_s$$

理想情况 $R_i = \infty$

川北医学院生物医学工程

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 $A_i = \dfrac{i_o}{i_i} = A_{is}\dfrac{R_o}{R_o + R_L}$ 由此可见 $R_L \uparrow \longrightarrow A_i \downarrow$

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

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

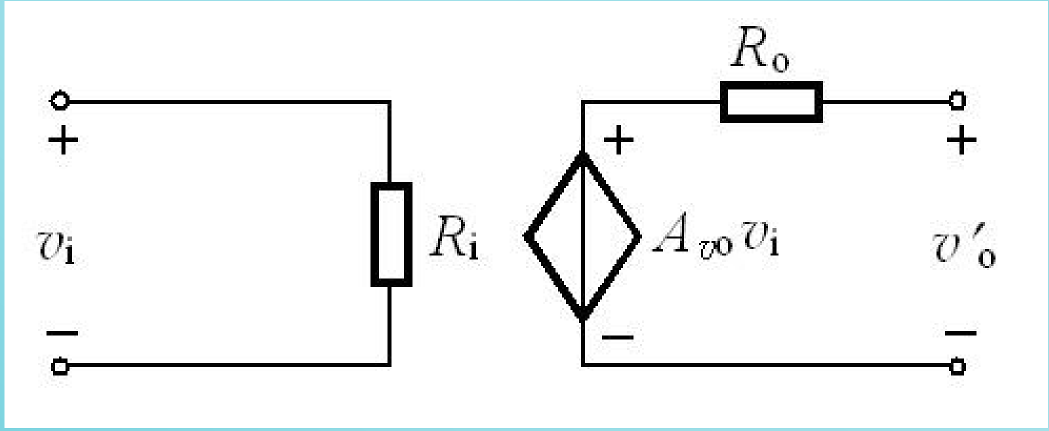
要想减小对信号源的衰减，则希望…? $R_i << R_s$ 理想情况 $R_i = 0$

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

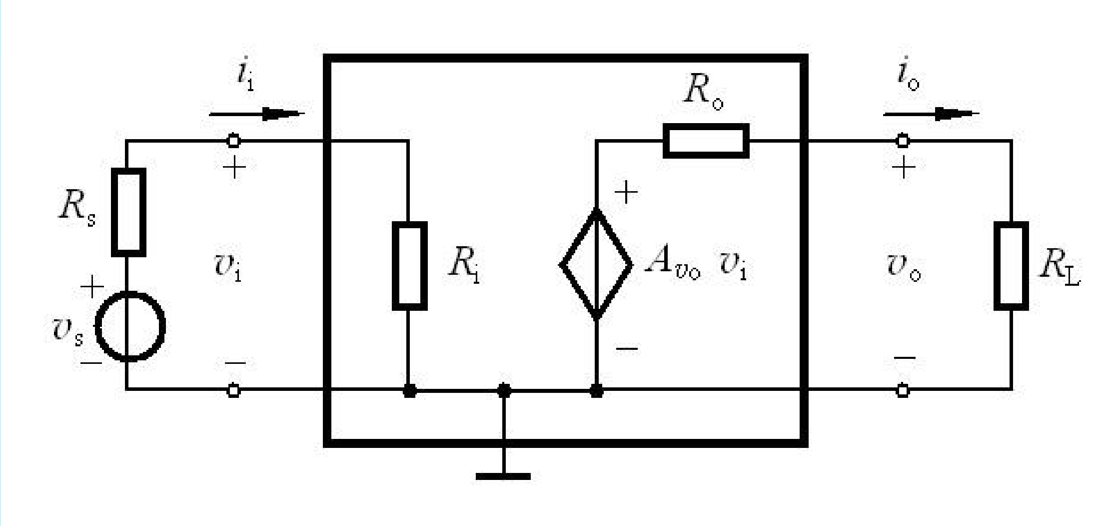


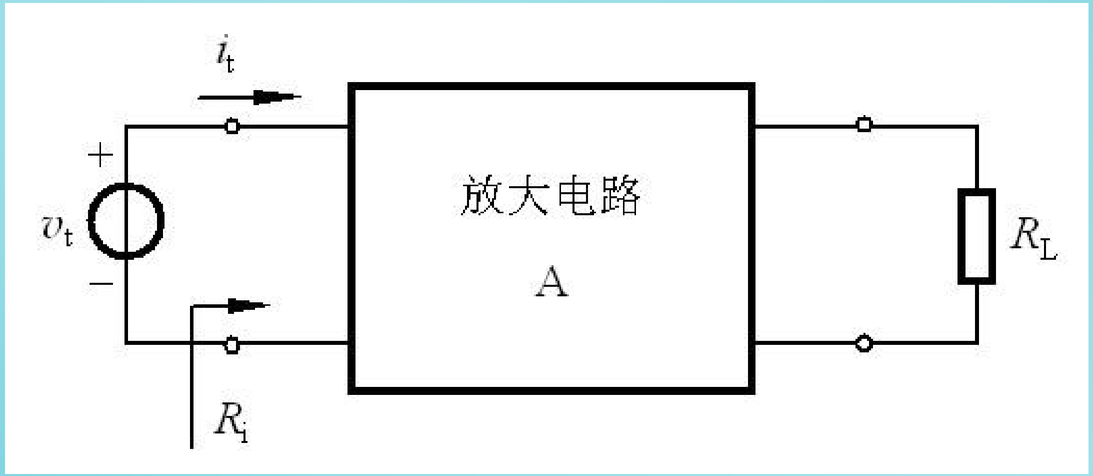
输入输出回路没有公共端

1.5 放大电路的主要性能指标

1. 输入电阻

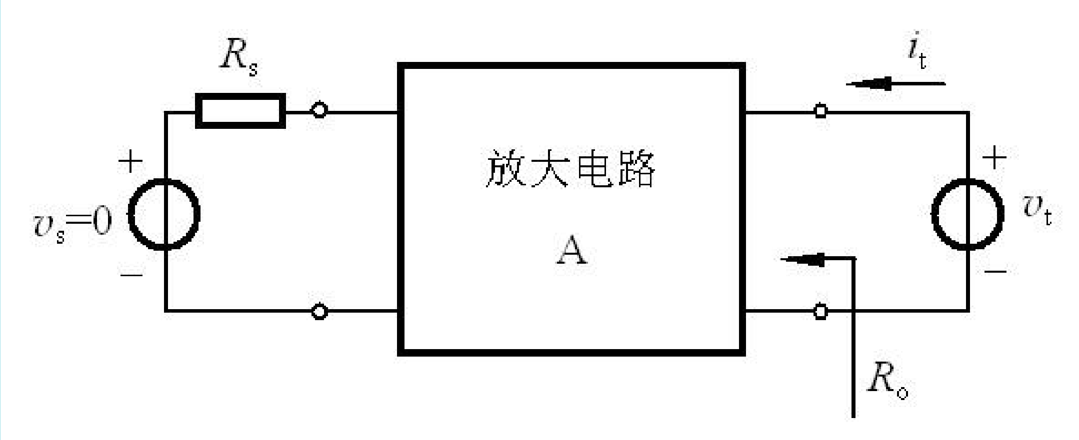
$$R_i = \frac{V_t}{i_t}$$





2. 输出电阻

$$R_o = \frac{V_t}{i_t}\bigg|_{V_s=0, R_L=\infty}$$



注意：输入、输出电阻为交流电阻

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 $A_V=\dfrac{V_o}{V_i}$ $A_i=\dfrac{i_o}{i_i}$ $A_r=\dfrac{V_o}{i_i}$ $A_g=\dfrac{i_o}{V_i}$

其中 A_V、A_i 常用分贝（dB）表示。

$$\text{电压增益}=20\lg\left|A_V\right| \quad \text{(dB)}$$

$$\text{电流增益}=20\lg\left|A_i\right| \quad \text{(dB)}$$

$$\text{功率增益}=10\lg A_P \quad \text{(dB)}$$

1.5 放大电路的主要性能指标

4. 频率响应

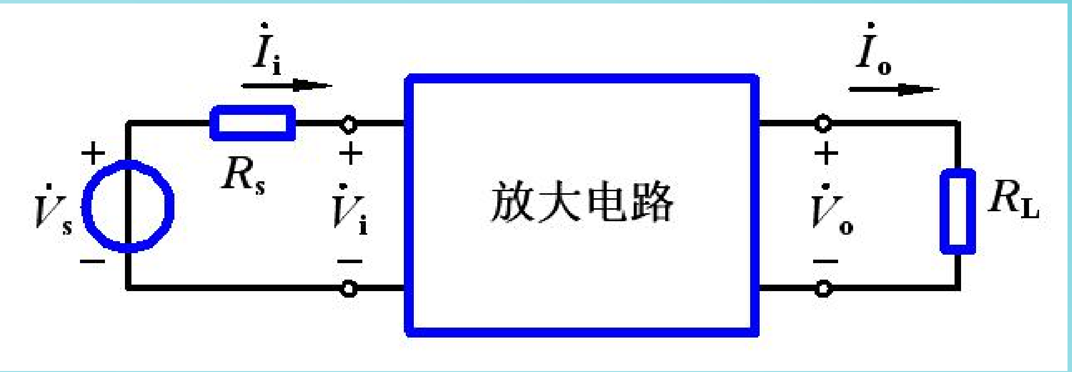
A. 频率响应及带宽

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$A_v(\omega)=\left|\frac{\dot{V}_o(j\omega)}{\dot{V}_i(j\omega)}\right|$ 称为幅频响应 $\angle\varphi(\omega)=\varphi_o(\omega)-\varphi_i(\omega)$ 称为相频响应

川北医学院生物医学工程

首页 上页 下页

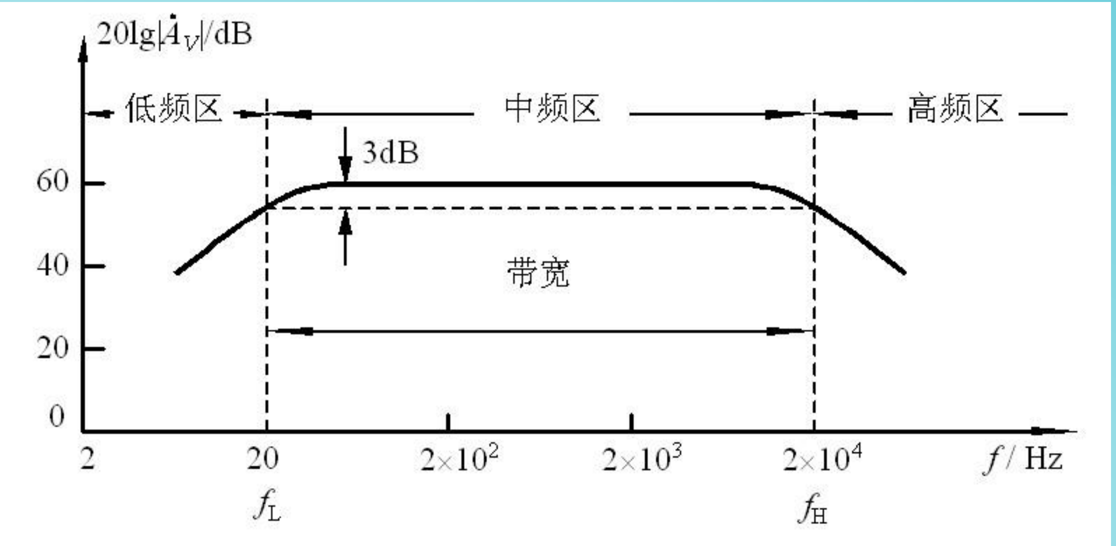
1.5 放大电路的主要性能指标

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

该图称为波特图
纵轴：dB
横轴：对数坐标

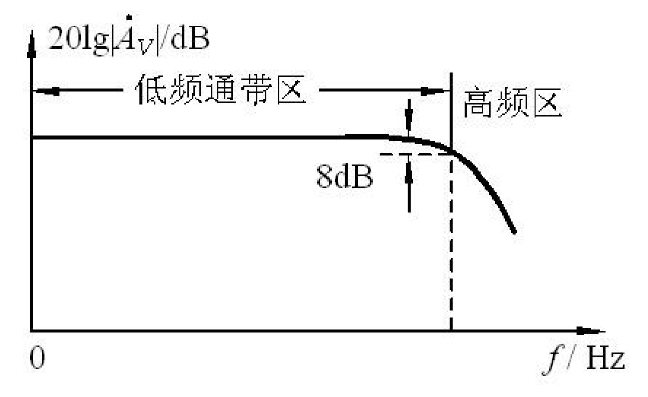


其中 f_H ——上限频率

f_L ——下限频率

$BW = f_H - f_L$ 称为带宽

当 $f_H >> f_L$时，$BW \approx f_H$



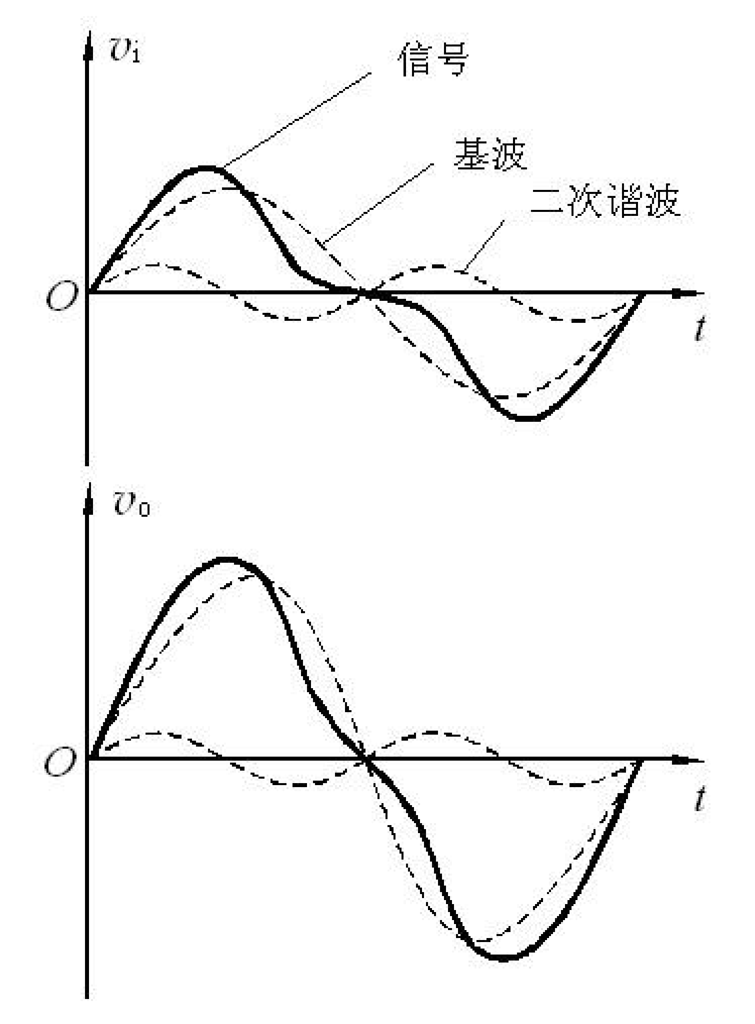
1.5 放大电路的主要性能指标

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

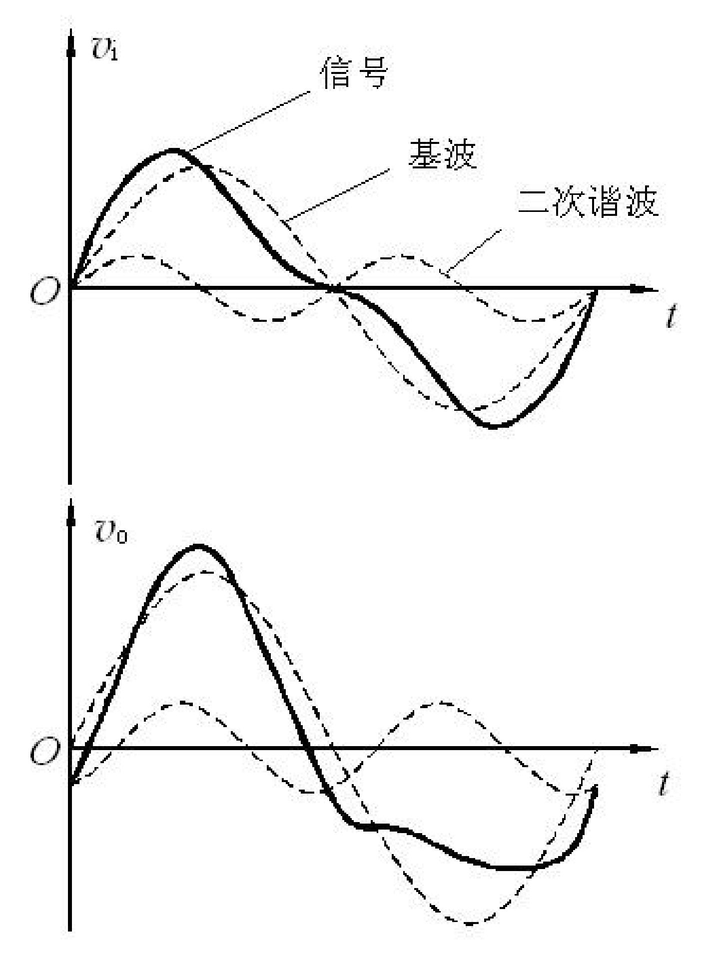
B. 频率失真（线性失真）

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：

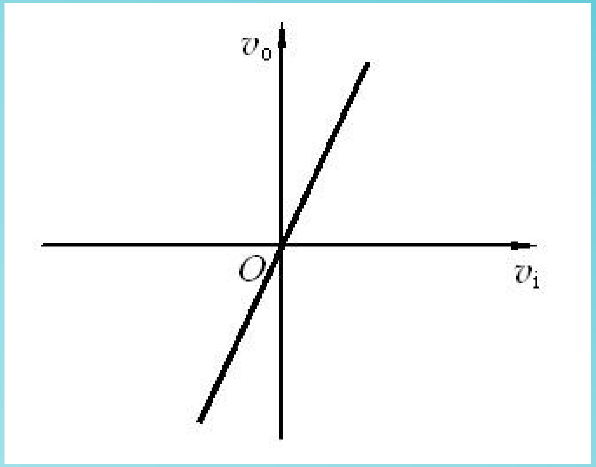
对不同频率的信号相移不同产生的失真。



1.5 放大电路的主要性能指标

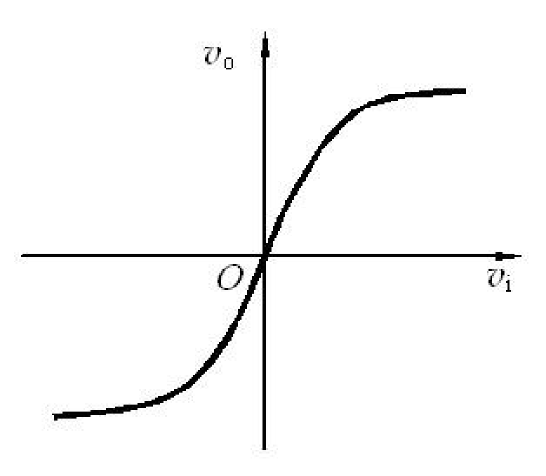
5. 非线性失真

由元器件非线性特性引起的失真。



非线性失真系数:

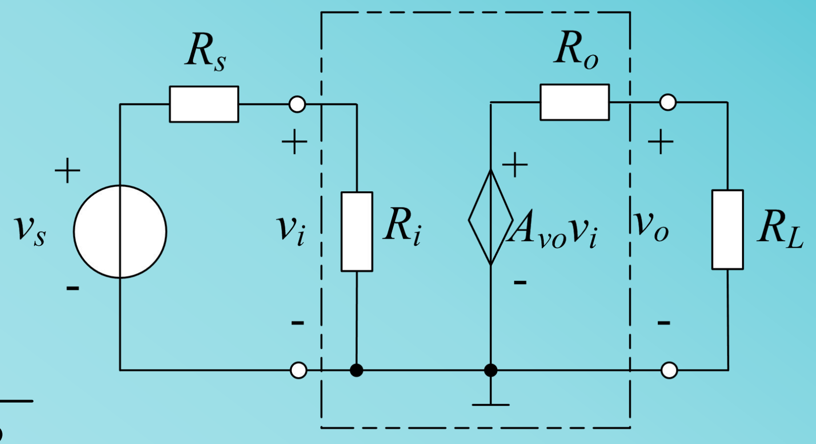
$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_{ok}^2}}{V_{o1}} \times 100\%$$



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。

模拟信号的放大

例： 设开路电压增益为A_{vo}，已知$R_i=10R_s$， $R_L=10R_o$，求源电压增益A_{vs}



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

$$A_{vs}=\frac{v_o}{v_s}=\frac{v_o}{v_i}\cdot\frac{v_i}{v_s}=A_v\cdot\frac{R_i}{R_i+R_s}$$