

电子电路与系统基础I

理论课第1讲 绪论

李国林

清华大学电子工程系

联系方式

- 李国林
 - 平时EMAIL答疑: guolinli@tsinghua.edu.cn
 - 能够获得快速响应
 - 必要时, 也可请求ZOOM视频答疑
 - 回校可当面答疑: 罗姆楼4105房间
 - TEL(O): 62781842

习题课

- 周三晚上**7:20**
 - 如果学校确认可在雨课直播，和正常上课一样
 - 如果没有确认，就上**ZOOM**视频直播
 - **1班大班和2班小班**有相同的作业，一个习题课课堂
- 自由参加
 - 前两周讲附录内容：数学和物理的背景知识
 - 从第**3**周开始，主要讨论前**2**周的作业问题
- 鼓励参加
 - 本课程带领大家跨越专业课的门槛

绪论 大纲

- 电子信息处理系统
- 如何构建一个远距离通信系统
- 功能单元电路
- 课程内容安排

一、电子信息处理系统

- 信息
 - 很难给出一个让所有人都认可的定义
- 诺伯特.维纳 Norbert Wiener
 - Information is information, not matter or energy
 - 信息就是信息，既非物质亦非能量
- 本课程
 - 仅从生命体的反应性上给出定义：
 - 人对**什么**有反应，人因**之**而作出某种决策行为，**什么**就是**信息**

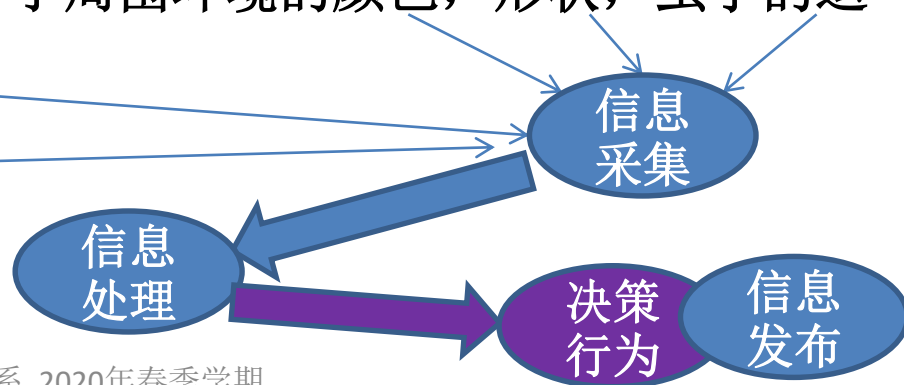
对人而言，信息是...

- 人对什么有反应，人因之而作出某种决策行为，什么就是信息
- 有一只小虫朝我的眼睛飞过来了，我因此而眨眼、挥手驱赶、身体躲避、尖叫、高喊、...

- 小虫子 物质
- 小虫子飞 能量
- 小虫子飞过来了 信息

人不对物质、不对能量，
只对信息作出反应

- 眼睛看到小虫子：从小虫子异于周围环境的颜色，形状，虫子的运动轨迹
- 耳朵听到飞行发出的声音
- 皮肤感受到风（空气波动）
- ...
- 判断出‘小虫子飞过来了’



小虫子不是信息，什么是信息？

- 小虫子的**颜色**：橘黄色的，有黑斑点
- 小虫子的**形状**：半球状，瓢状
- 小虫子的**名称**：瓢虫
- 小虫子的**特性**：会爬，会飞，会动，...
- 小虫子的**状态**：小虫子飞过来了，小虫子在飞，..

- 小虫子三个字及其**发音**：‘小虫子’

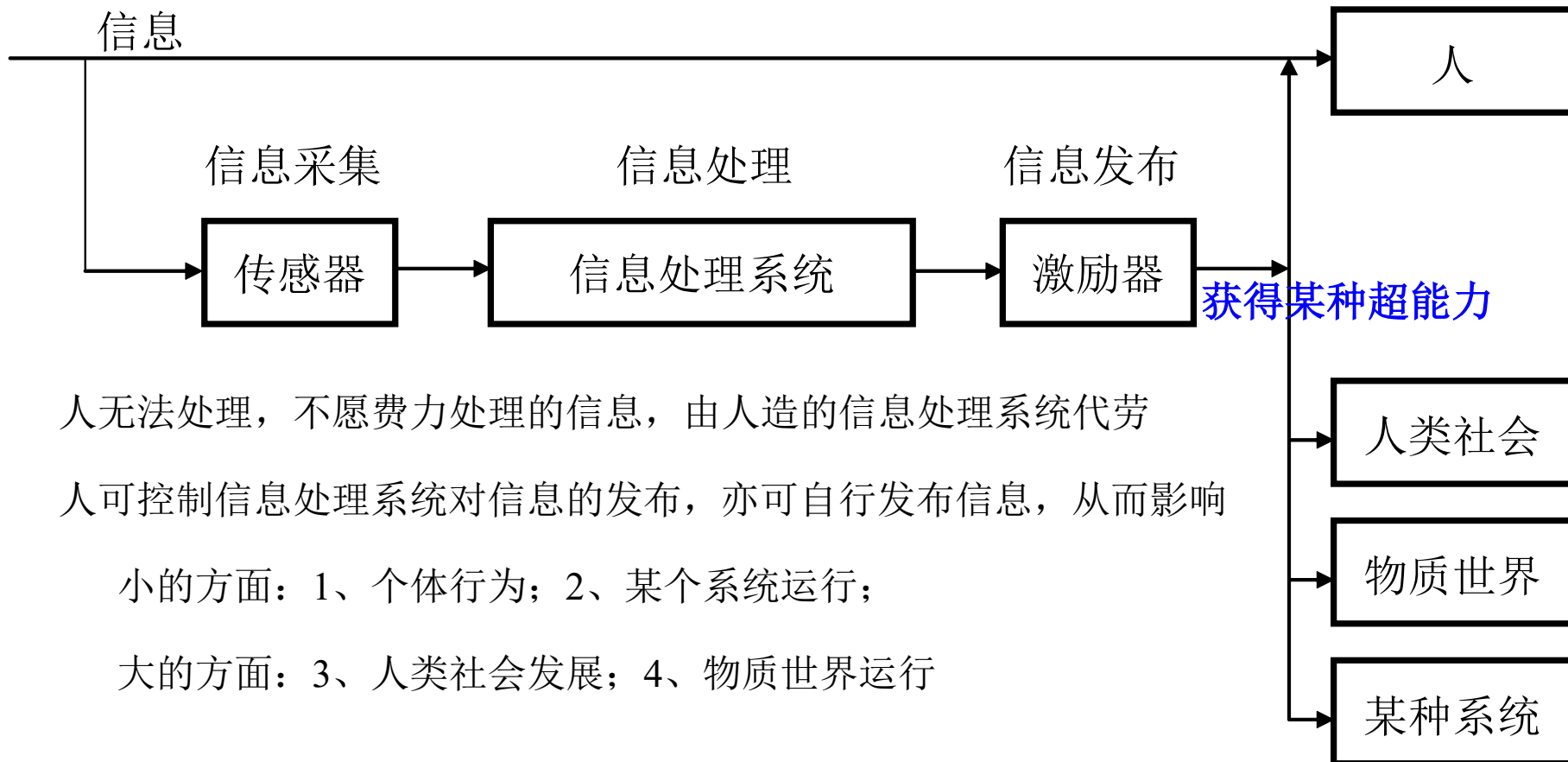
生命体是一个信息系统

- 以人为例
- 通过眼、耳、鼻、舌、身、意**采集信息** 六根不净染六尘
 - 信息采集：传感器sensor，感应器transducer
 - 信息：色、声、香、味、触、法
 - 法：记忆中调度出的信息，意（大脑）无端生成的信息等
- 通过人脑、神经网络等**处理信息**
 - 信息处理：包括存储（记忆），传输（传导），处理（判断、计算、归纳、演绎、...）
- 通过口、手、身体的动作**发布信息**
 - 信息发布：激励器actuator，转换器transducer

信息处理

- 信息处理系统
 - 对信息进行采集、处理、发布的系统
 - 帮助人拓展信息采集渠道、增强信息处理和发布能力（增加影响力）
- 采集： gathering
 - 信息获取
- 处理： processing
 - 处理 处理的结果作为决策行为的依据
 - 存储： storing
 - 传输： transferring
- 发布： distributing
 - 决策行为，其后果就是其他人因而获取信息
 - 你可以通过信息发布影响他人行为
 - 信息对人的重要性不言而喻

信息处理系统服务于人



人无法处理，不愿费力处理的信息，由人造的信息处理系统代劳

人可控制信息处理系统对信息的发布，亦可自行发布信息，从而影响

小的方面：1、个体行为；2、某个系统运行；

大的方面：3、人类社会的发展；4、物质世界运行

为什么是电子的？

- 当前信息处理系统绝大多数都是电子信息处理系统，为什么是电子呢？
 - 电子信息处理系统：由电路构建的信息处理系统
 - 为什么用电路来处理信息呢？
- 电便于传输
 - 电磁波以光速传播，用波动形式远距离传播
- 电便于处理
 - 发展起来的电路技术可以完成对电子信息的各种处理
 - 尤其是计算机技术，带来了信息处理的革命化进展

什么是电路Circuit

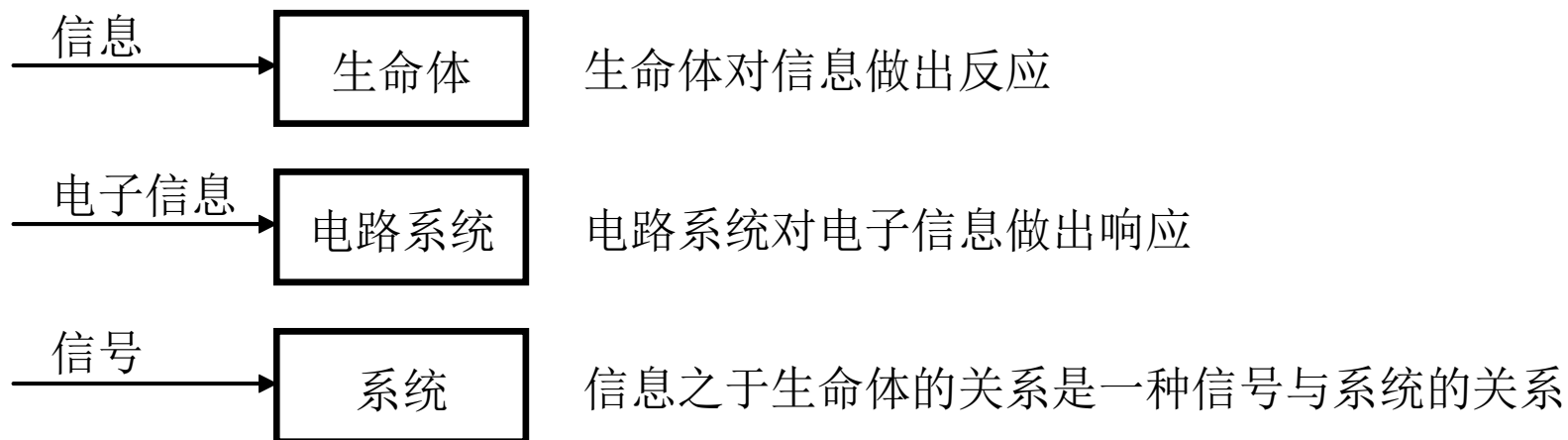
- 人为设计的
 - 具有特定结构的导体（conductor）、半导体（semi-conductor）或介质（dielectric）的某种结合体
 - 这些导体、半导体、介质结构形成某种类型的电路器件（device）
 - 多个电路器件可被连接构成一个具有某种功能的单元电路，进而构成更大功能的系统
 - 电路是电路器件的某种连接关系
 - » 电路器件之间一般用导体连接
 - » 分析时：电路器件的电路模型是电路元件（element）或电路元件的连接
- 电磁场（electromagnetic field）和构成电路器件的导体、介质相互作用，能量交换，形成电路器件的电特性
 - 电阻器：线性比值关系 抽象：电阻元件
 - 电容器、电感器：线性微积分关系 抽象：电感、电容元件
 - 晶体管：平方律、指数律控制关系 抽象：受控源元件

电子信息

- 电路中的电磁场用电压（**voltage**）和电流（**current**）来描述
 - 其中的电场由电压来描述，磁场由电流来描述
 - 电路中，电压和电流的相互作用关系，就是电路导体和介质中的电场和磁场的相互作用关系或相互转换关系
 - 通过电压、电流的相互转换实现电信号的处理
 - 电压、电流的相互转换关系一般用器件端口伏安特性方程描述
 - 器件伏安特性代表了器件功能：对电信号进行了某种处理
- 如果信息是负荷在电信号（电压、电流）上，或者信息以电信号的变化形式存在，这种信息称为电子信息
 - 电信号表达的信息就是电子信息
 - 电信号的变化蕴含着信息

信号与系统

- 人 因 信息 而有所反应
– 人是信息处理系统
- 电路 因 电子信息（电信号） 而有所响应
– 电路是电子信息处理系统



信号通过系统作用后的变化反映了系统功能：本课程的主要研究内容
如何设计系统使得它具有这种功能：本课程高阶要求内容

二、如何实现信息的远距离传输

- 通信
 - **Communication; Information Transferring**
 - 通信是通过某种媒质（信道）进行的信息传递或信息交换
- 通信的目的是为了实现信息的交流
 - 信息传递到受信者后，受信者因而受到影响，而改变自己的运行状态（行为）
 - 发信者发出信息是希望影响受信者
 - 受信者接收信息是为了消除不确定性，从而作出决策
- 远距离通信可延展人的感知范围，提高人的生存能力
 - 如何实现远距离通信？

2.1 通信媒体的选择

- 负荷信息的载体
 - 声音、视觉图像占了人类采集信息量的90%以上，我们以声音的远距离传递为例
- 声音传播靠媒质（空气）振动，要想实现远距离传输
 - 提高说话者声音
 - 提高听话者耳朵的灵敏度
 - 压制周围的其他声音（噪声）
 - 通过特殊通道（不是自由空气）
 - 无论如何，声音也不可能传递太远距离：~300m
 - 借助简单的符号体系：简单信息传递
 - 击鼓、鸣金、...
 - 借助复杂的符号体系：复杂信息传递
 - 语言、文字、书信、驿马、邮政、...

远距离信息传输的关键问题

- **实时性和无失真**可确保远距离信息交换的有效性
 - 直至19世纪开始的电磁波通过电缆或自由空间实现的信息传递，才真正解决了远距离通信的有效性
 - 实时性：光速，最快的速度
 - 无失真：由通信系统设计及信号处理技术保障
 - 远距离：电磁波的波动传播特性
- **媒体选择**
 - 我们选择电磁波作为信息传递的媒体

2.2 信道的选择

- 电磁波传播有两种模式
 - 辐射模式
 - 无线通信
 - 传导模式
 - 有线通信

- 从方便灵活性出发，无线方式比有线方式更灵活，我们这里以无线方式为例
 - 无线信道：自由空间

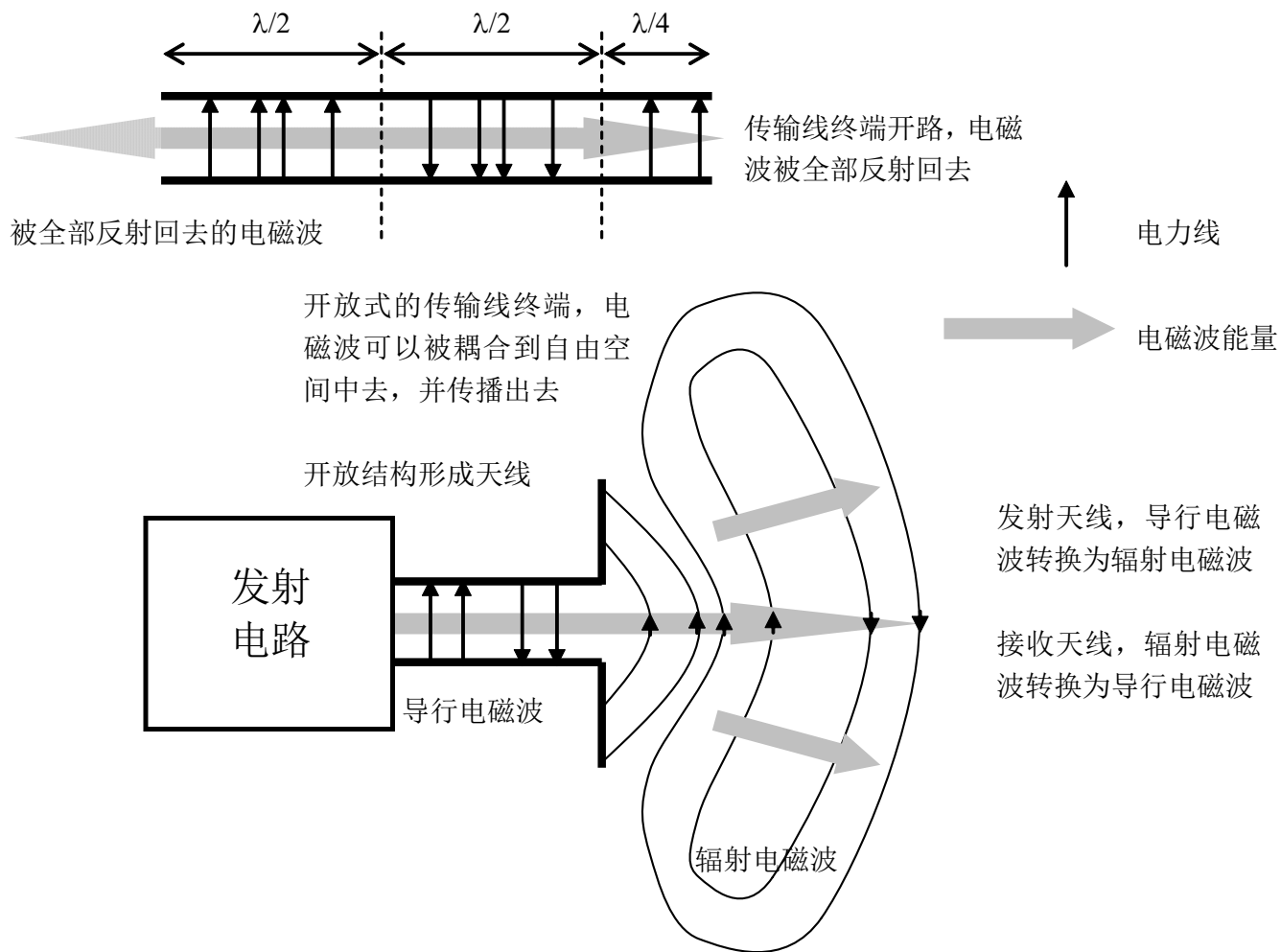
2.3 信息采集

- 这里假设我们希望实现的是语音的远距离传递
- 我们决定采用无线信道，以电磁波为载体实现信息传递
- 因而首先需要把语音以电信号的形式采集下来
 - 话筒：将声音产生的空气压力变化转换为电压变化的传感器
 - 基带信号： **baseband signal**，低频信号，电信号频率和语音频率相同
 - 语音低频电信号可以在自由空间传播吗？

2.4 电波发射

- 语音低频电信号可以在自由空间传播吗？
 - 原则上可以
 - 工程上不可行
- 用话筒采集下来的电信号，是电路中的电压电流信号，是受导体介质束缚的导行电磁波
- 空间传播的电磁波是辐射电磁波
- 两种形式的电磁波需要进行转换，才能发射到自由空间传播
 - 天线（antenna）是实现两种电磁波转换的变换器（transducer）

发射天线



天线：有效发射与接收

- 发射天线
 - 将导行电磁波转换为辐射电磁波
 - 导行电磁波：在电路中，以电压、电流形式表征
- 接收天线
 - 将辐射电磁波转换为导行电磁波
- 为了实现有效的转换，天线尺寸必须和波长可以比拟
 - 一般以 $\lambda/4$ 作为天线尺寸的度量

音频发射：天线尺寸

- $\lambda/4$ 是天线尺寸的一般度量

$$\lambda = \frac{c_0}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1000} = 3 \times 10^5 \text{ m} = 300 \text{ km}$$

- 音频

- 300Hz-3.4kHz：一般语音

$$\lambda/4 = 75 \text{ km}$$

- 20Hz-15kHz：音乐

- 以1kHz为例， $\lambda/4$ 为75km

- 75km高度的天线：工程上不可行

天线尺寸

$$\lambda = \frac{c_0}{f}$$

- 要想将天线尺寸降下来，就需要高频的电磁波辐射
 - 调幅广播
 - 载波1MHz附近
 - 75m高电台发射塔可以建造
 - 手机
 - 载波900MHz附近
 - 8.3cm天线尺寸，正是手机尺寸

2.5 调制

- 把低频的音频信号（基带信号）调制到高频载波上，调制是无线通信的一个基本环节
 - 高频载波多为正弦波，描述正弦波参数有幅度、频率和相位，因而基带信号（信息）可以负荷的位置有幅度、频率和相位
 - 调幅、调频、调相；混合

$$v_c(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$A(t) = A_0 + k_{AM} \cdot v_b(t)$$

$$\omega(t) = \omega_0 + k_{FM} \cdot v_b(t)$$

$$\varphi(t) = \varphi_0 + k_{PM} \cdot v_b(t)$$

三种基本调制方式

幅度调制

$$v_{SAM}(t) = (A_0 + k_{AM} v_b(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

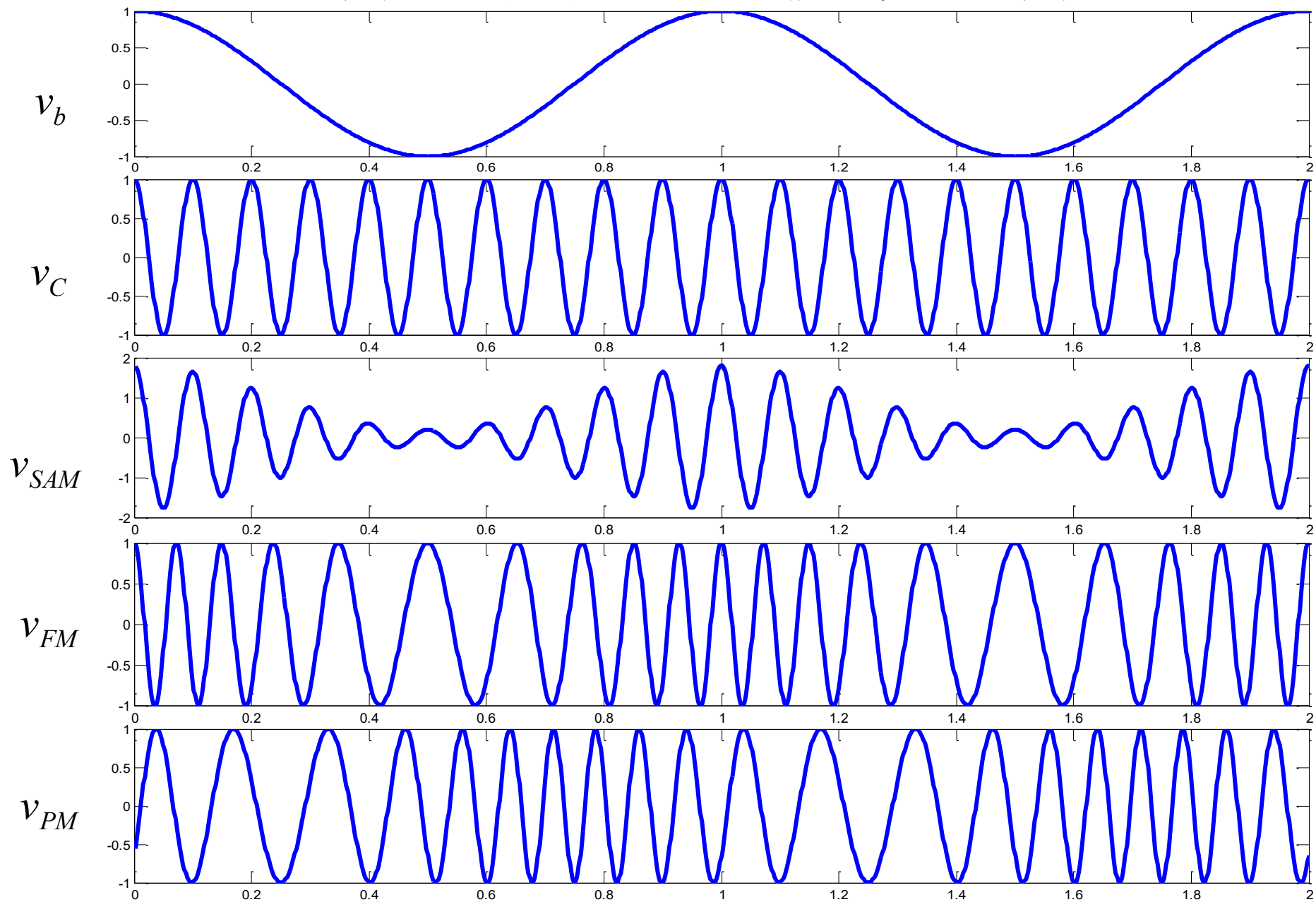
频率调制

$$v_{FM}(t) = A_0 \cos\left(\int_0^t \omega(\tau) d\tau + \varphi_0\right)$$
$$= A_0 \cos\left(\omega_0 t + k_{FM} \int_0^t v_b(\tau) d\tau + \varphi_0\right)$$

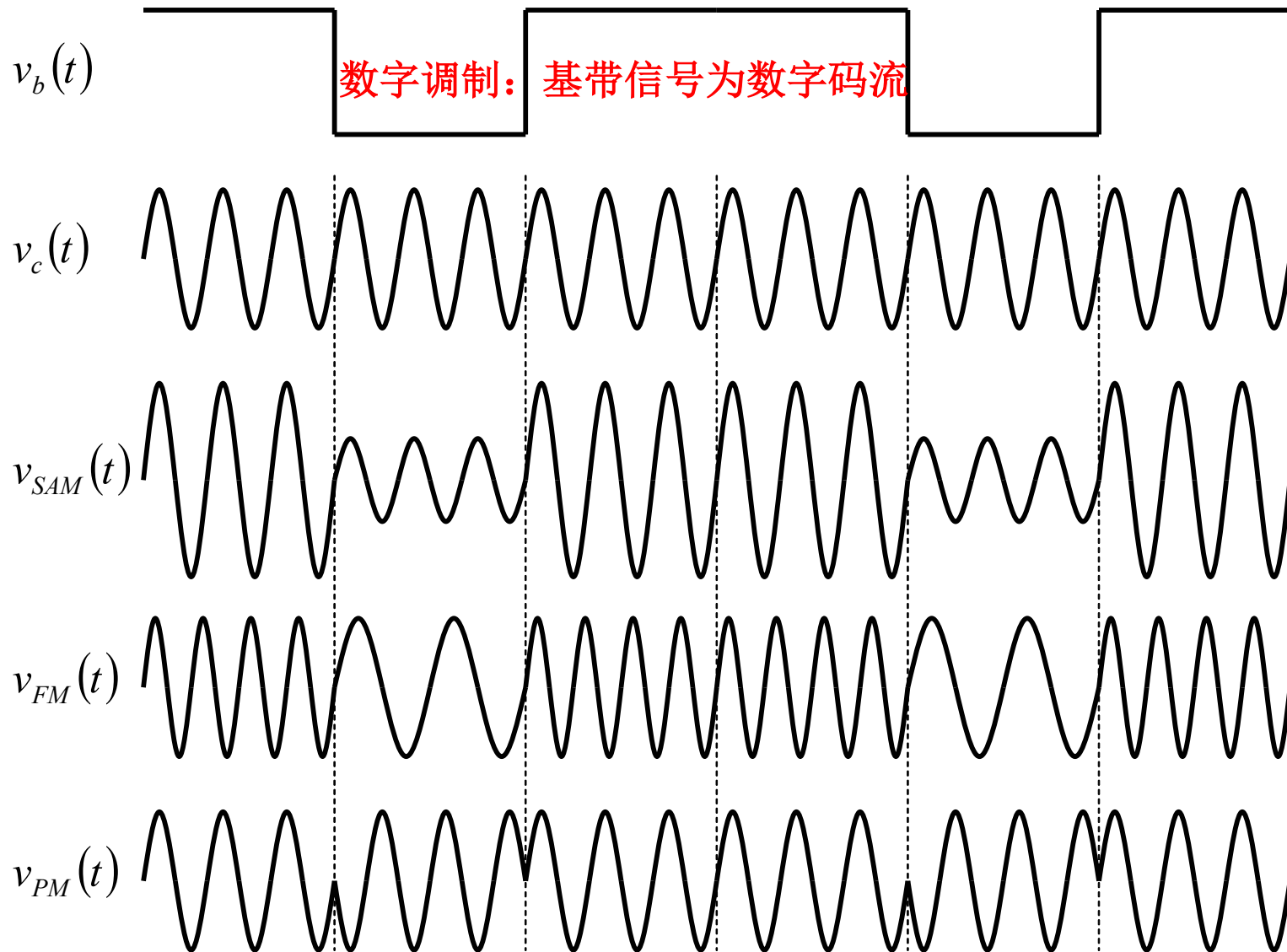
相位调制

$$v_{PM}(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + k_{PM} v_b(t) + \varphi_0)$$

调制时域波形：模拟调制



调制时域波形：数字调制



需要调制的其他考量

- **1、天线尺寸的工程可实现性**
- **2、解决信道拥堵问题**
- **3、其他...**
- **一句话：调制是为了实现有效的发射和接收**

2.6 放大

- 调制后，高频信号可以通过天线发射到自由空间，为了实现远距离传输，信号功率越大越好
- 因此调制后、天线发射前需要功率放大
 - 大信号功率放大器
 - **PA: Power Amplifier**

$$v_o = f(v_i) = A_0 v_i = A_0 V_{im} \cos \omega_0 t$$

理想线性放大

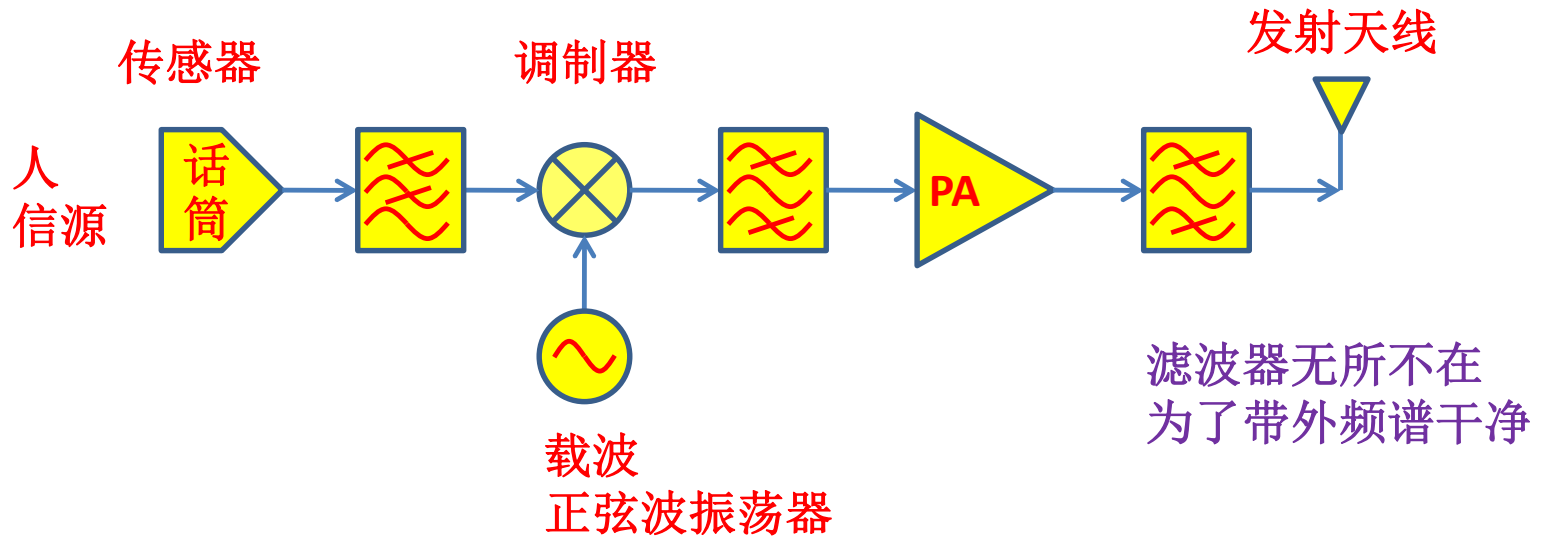
2.7 滤波器

$$\begin{aligned} v_o &= f(v_i) = A_0 v_i + a_2 v_i^2 + \dots = A_0 V_{im} \cos \omega_0 t + a_2 V_{im}^2 \cos^2 \omega_0 t + \dots \\ &= A_0 V_{im} \cos \omega_0 t + a_2 V_{im}^2 \frac{1 + \cos 2\omega_0 t}{2} + \dots \end{aligned}$$

非理想线性放大

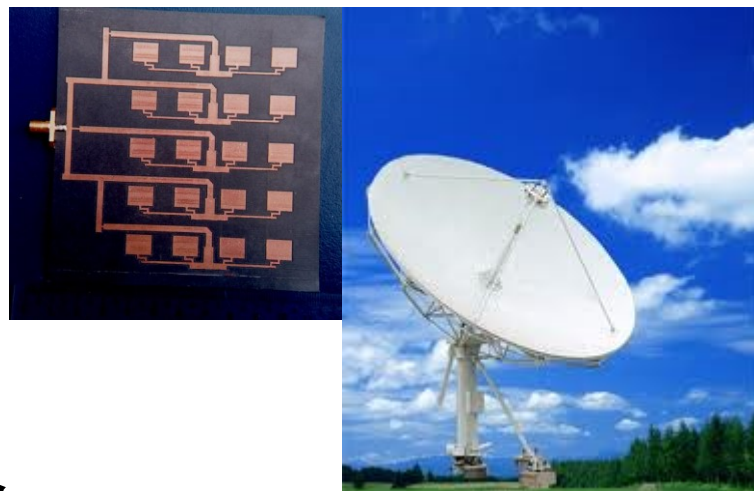
- 电路实现中，不可避免地存在着非线性，导致杂波分量产生
 - 产生谐波分量： $\omega_0 \rightarrow \omega_0, 2\omega_0, 3\omega_0, \dots$
 - 产生组合频率分量： $\omega_1, \omega_2 \rightarrow \omega_1, \omega_2, 2\omega_1, \omega_1 \pm \omega_2, 3\omega_1, 2\omega_1 \pm \omega_2, \dots$
- 这些杂波分量对空间其他收发信机造成干扰
- 因而需要有滤波器选取需要的频率，使其通过，杂波分量则被要求滤除掉
 - 否则不允许发射

2.8 发射机结构



2.9 接收天线

- 发射机最后一个电路器件是发射天线
 - 将导行电磁波转换为辐射电磁波
 - 可视为电磁波激励器
 - 将电压、电流信号转换为电磁波辐射能量
- 接收天线则必然是接收机的第一个电路器件
 - 将辐射电磁波转换为导行电磁波
 - 可视为电磁波传感器
 - 将电磁波能量转换为电压、电流信号



2.10 滤波器

- 空间各种电磁信号很多，因此天线之后应该有一个滤波器，只允许本次通信用载波频率附近的频率通过
 - 天线本身虽然具有一定带宽（具有一定的滤波特性），但滤波性能不够用
 - 开放结构，易受外界影响，因此其带宽一般都较大
 - 滤波器用来选频：选择需要的信号令其通过

2.11 远距离传输的衰减很大

- 信号是远距离传输，假设电磁波以球面波形式传播，则能量密度和距离的平方成反比，接收天线尺寸一定，因此接收天线接收到的电磁波能量和发射天线之间间距的平方成反比

$$P_r = \frac{P_t}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2} G_t G_r$$

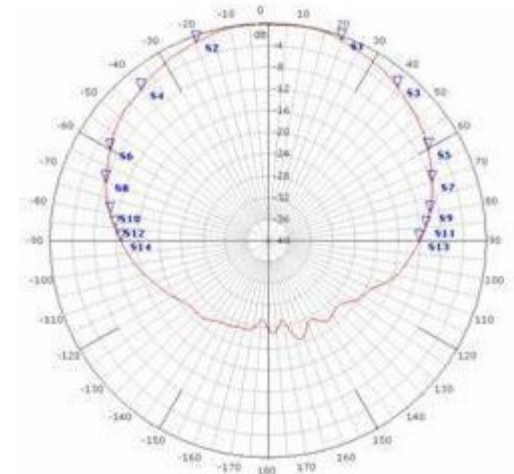
接收功率 P_r

发射功率 P_t

波长 λ

天线间距 d

天线增益 G_t, G_r

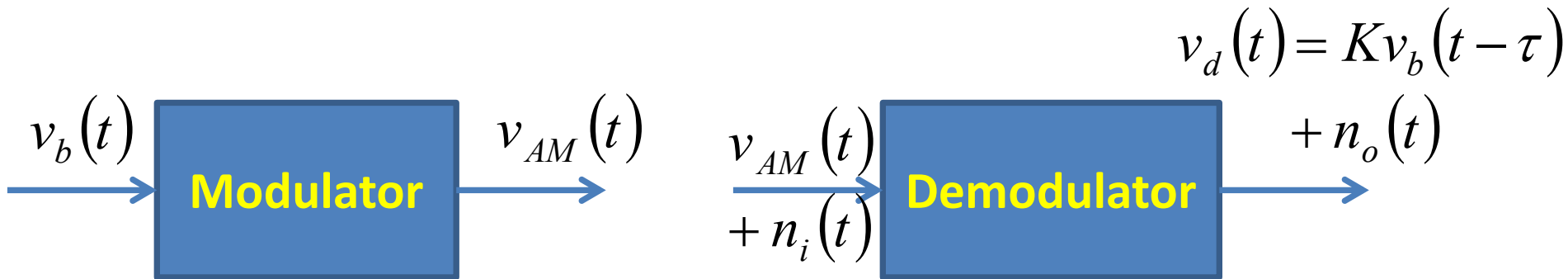


低噪声放大器

- 由于电磁波远距离传输后，接收天线接收到的有用信号十分微弱，因而需要对信号进行放大，便于后续电路进一步处理
- 放大必须是低噪声放大，放大器自身附加的噪声足够小，以确保输出信号远高于噪声，使得后续电路能够识别信号，解调器能够正常解调
 - **LNA: Low Noise Amplifier**

2.12 解调器

- 经低噪声放大器作用后，信号得以放大，噪声也提高很多，但是只要有足够高的信噪比，解调器就可以将基带信号可靠地从载波上卸载下来

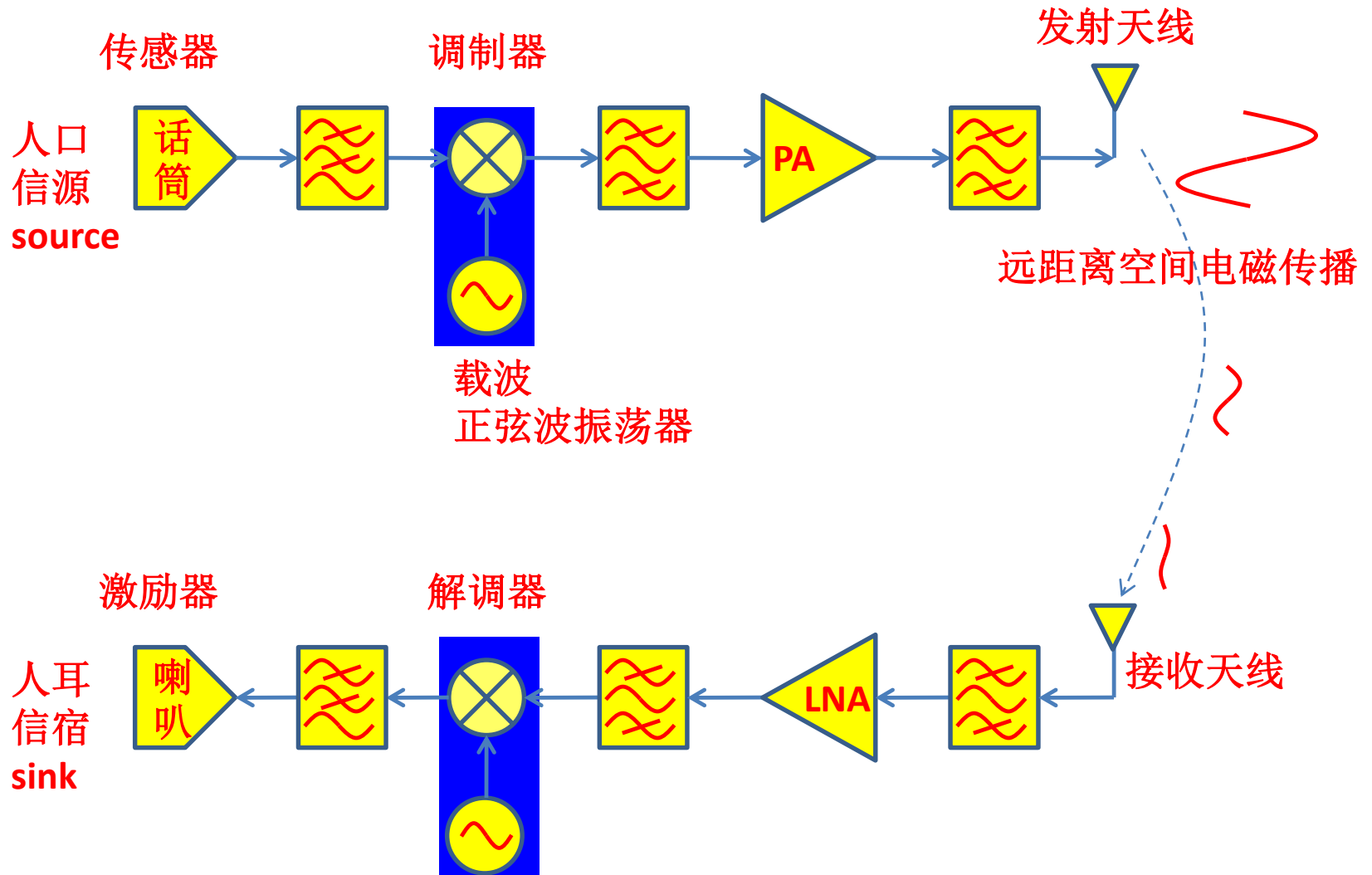


$$v_{AM}(t) = (A_0 + k_{AM} v_b(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

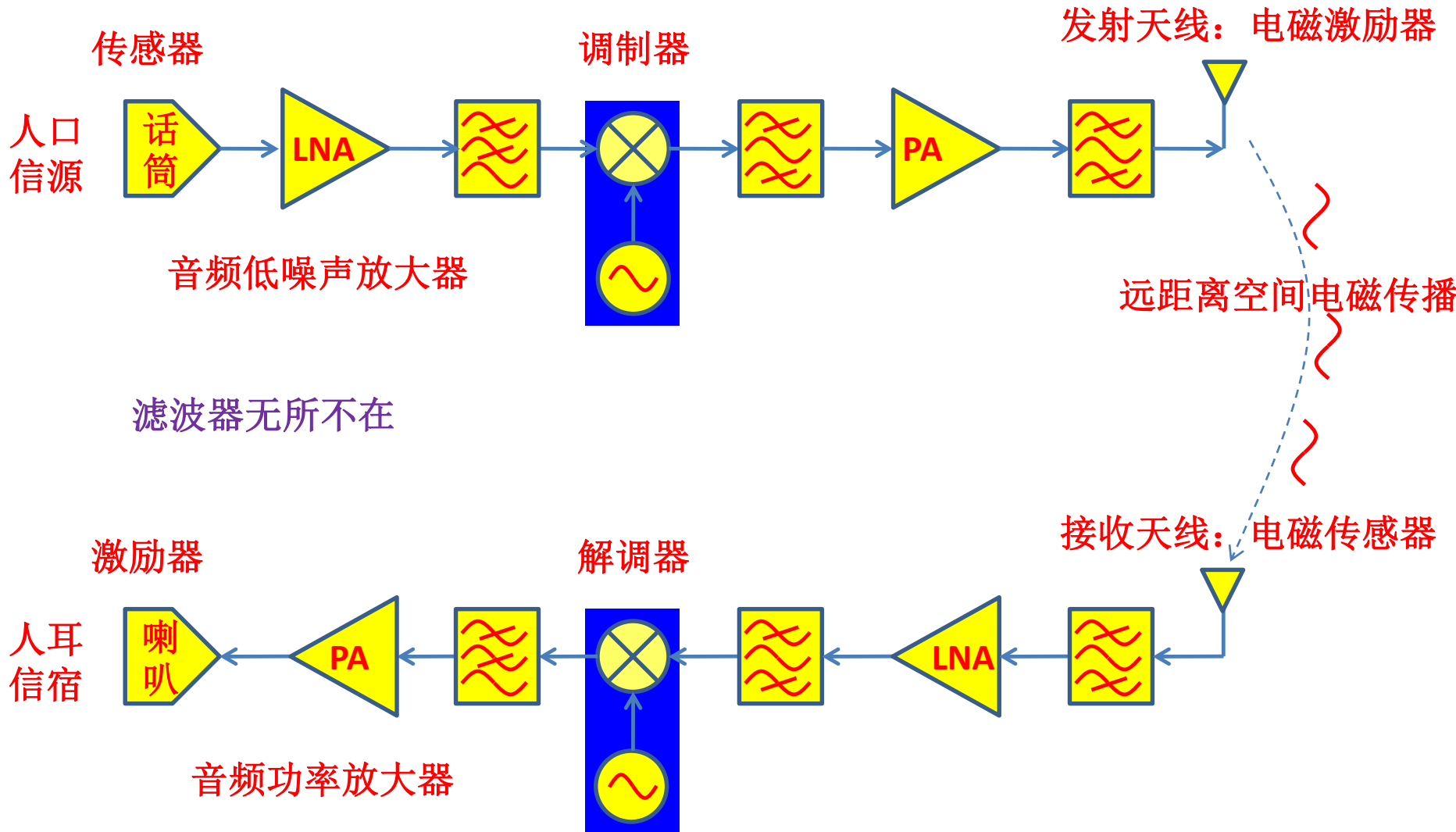
2.13 扬声器

- 卸载下来的基带信号是电信号，人无法感知电信号，因而必须用扬声器将电信号转换为声波信号，人耳方可感知识别
 - 扬声器：Speaker
 - 激励器

2.14 接收机结构



2.15 放大器



三、功能单元电路

不考察传感器和激励器
只论电子信息处理器

- 放大器
- 振荡器
- 滤波器
- 调制器和解调器
- 模数转换器和数模转换器
- 存储器
- 数字信号处理器

模拟信号处理

数字信号处理

信息处理单元

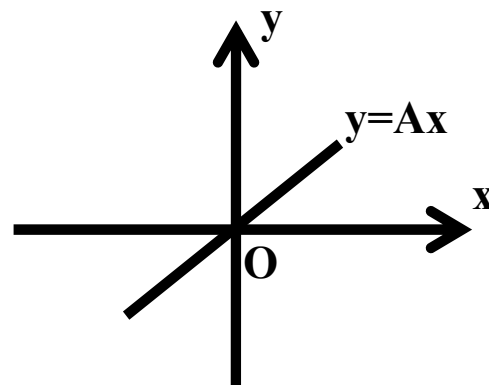
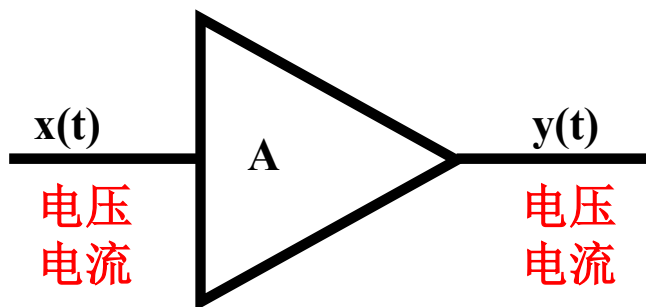
- 整流器
- 稳压器
- 逆变器
- 变压器

电能转换单元

3.1 放大器 Amplifier

- 完成信号电平的调整
– 放大器和衰减器

直流电压源：提供能量
非线性电阻（晶体管）：转换能量
线性电阻R：偏置、负载



线性放大器输入输出转移特性

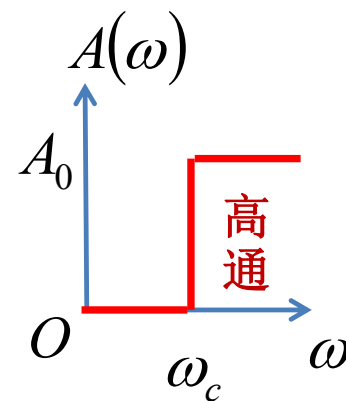
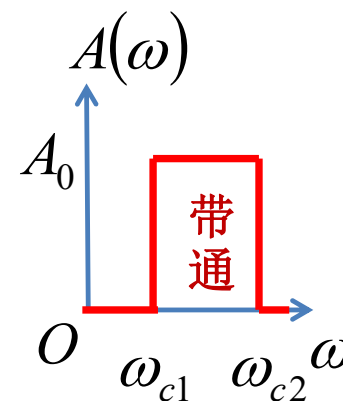
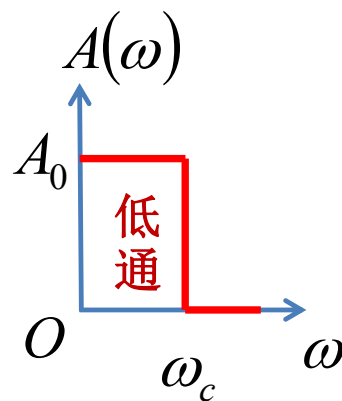
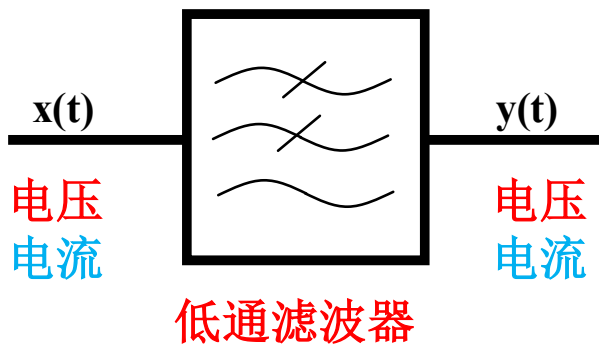
3.2 滤波器 Filter

- 完成信号选择功能

$$x(t) = X_m \cos \omega t$$

$$y(t) = \begin{cases} 0 & \omega \notin PassBand \\ A_0 x(t - \tau_0) = A_0 X_m \cos \omega(t - \tau_0) & \omega \in PassBand \end{cases}$$

线性电感L: 选频
线性电容C: 选频
线性电阻R: 负载、配合LC



通带: 允许信号通过的频带

3.3 振荡器 Oscillator

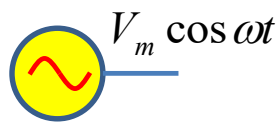
- 产生周期信号
 - 正弦波振荡器：产生正弦波信号
 - 多谐振荡器：产生方波、三角波、锯齿波、...

直流电源：提供电能

非线性电阻（晶体管、负阻二极管）：转化直流电能为交流电能

电感L、电容C：确定振荡频率

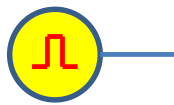
振荡器 = 放大器（+正反馈）+ 滤波器



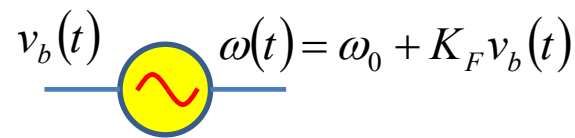
正弦波振荡器



方波信号发生器



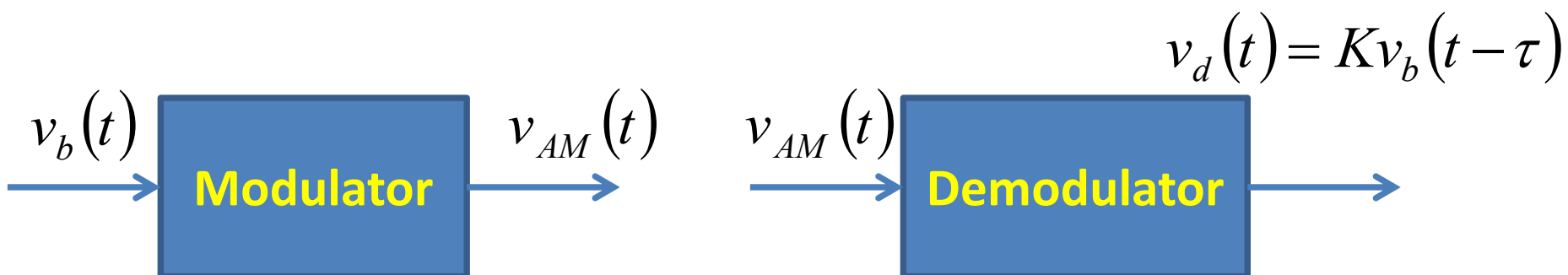
脉冲信号发生器



压控振荡器

3.4 调制器、解调器

- 调制：将基带信号装载到载波信号上
- 解调：从已调波中卸载基带信号



$$v_{AM}(t) = (A_0 + k_{AM} v_b(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

= 乘法器+振荡器

= 开关、非线性电阻 + 振荡器

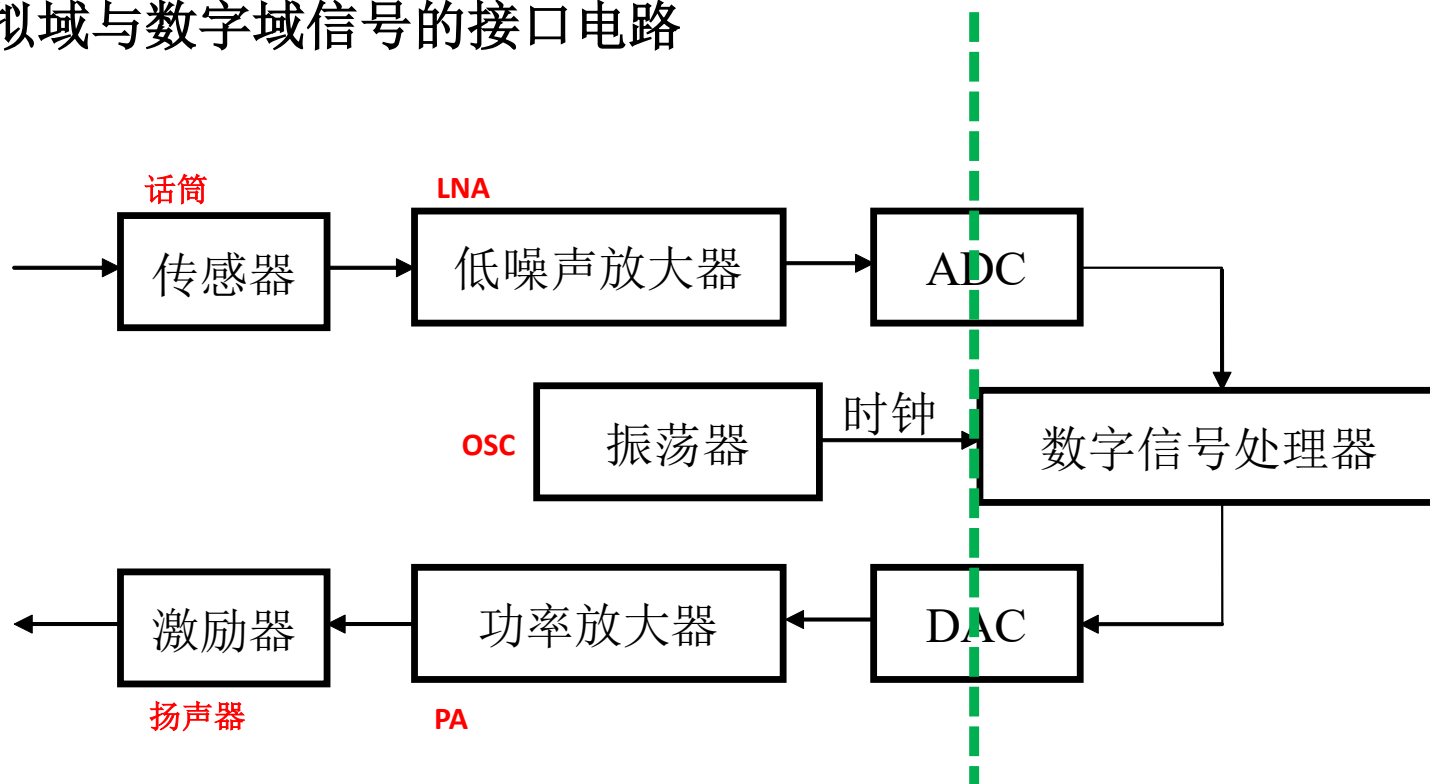
非线性电阻

线性电感L: 选频

线性电容C: 选频

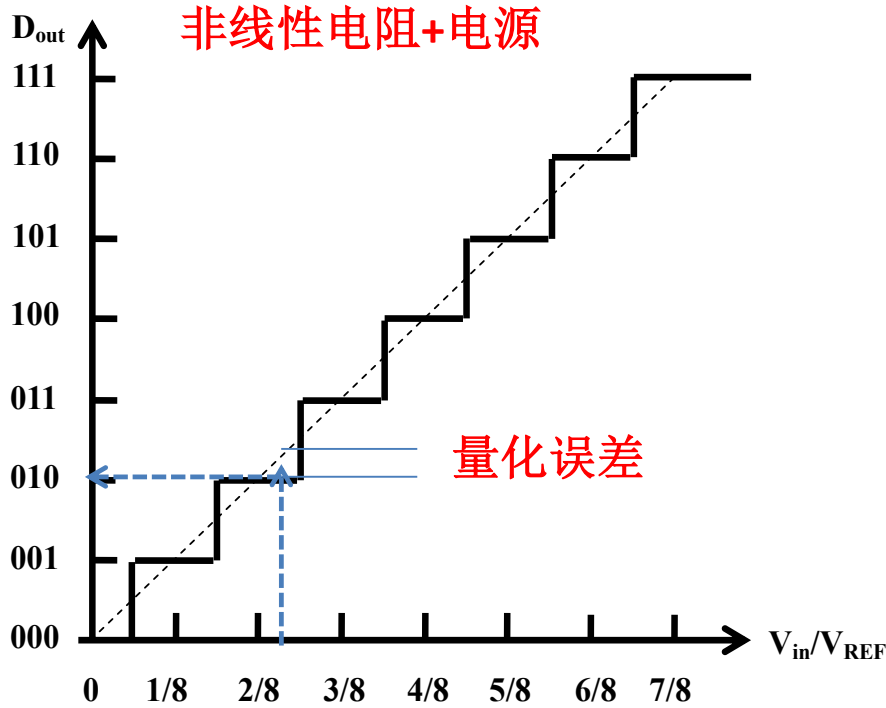
3.5 ADC/DAC

- **ADC: Analog-to-Digital Converter**
- **DAC: Digital-to-Analog Converter**
- **模拟域与数字域信号的接口电路**



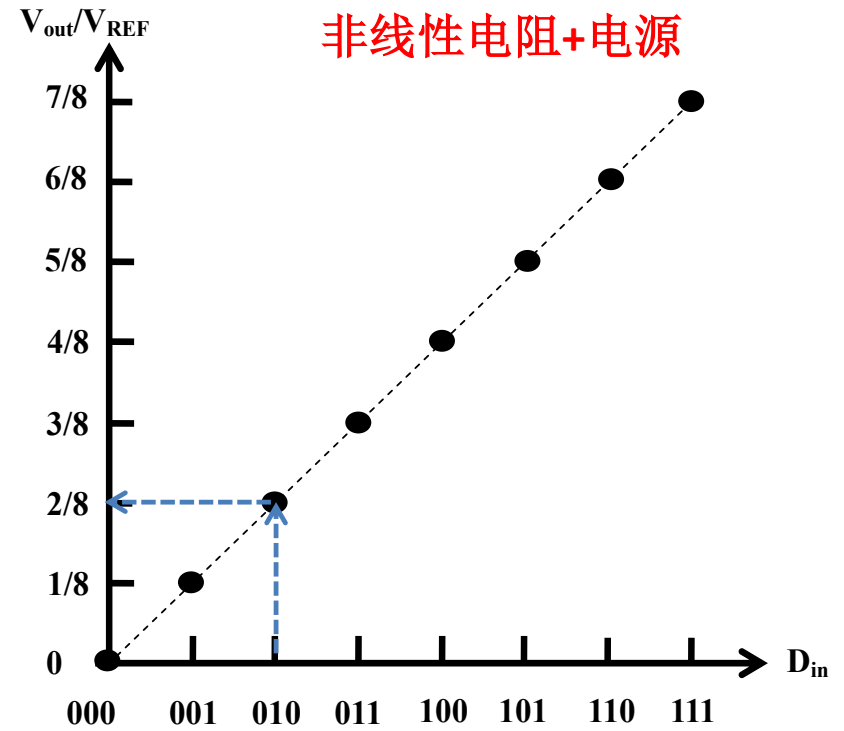
量化误差

比较器



$0.3V_{REF}$ → 010

开关

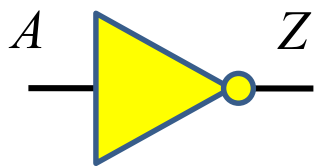


010 → $0.25V_{REF}$

量化误差: $0.05V_{REF}$

3.6 门电路

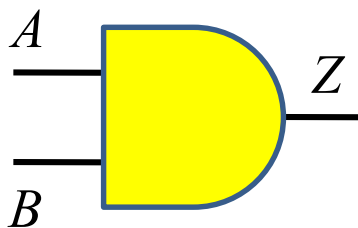
Logic Gate



NOT gate

A	not A
0	1
1	0

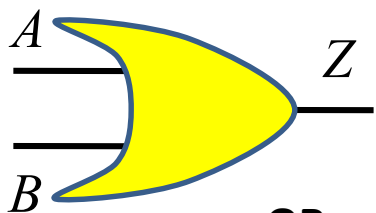
反着来，对着干



AND gate

A	B	A and B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

两个都同意才通过



OR gate

A	B	A or B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

两个中有一个同意即可通过

二值逻辑	1	0
正反判断	true	false
	真	假
	正	反
	正确	错误
	同意	反对
	是	否
	许可	不可

与、或、非逻辑运算可以实现各种信号处理，包括数学运算

数字电路的底层单元电路就是这三个门电路

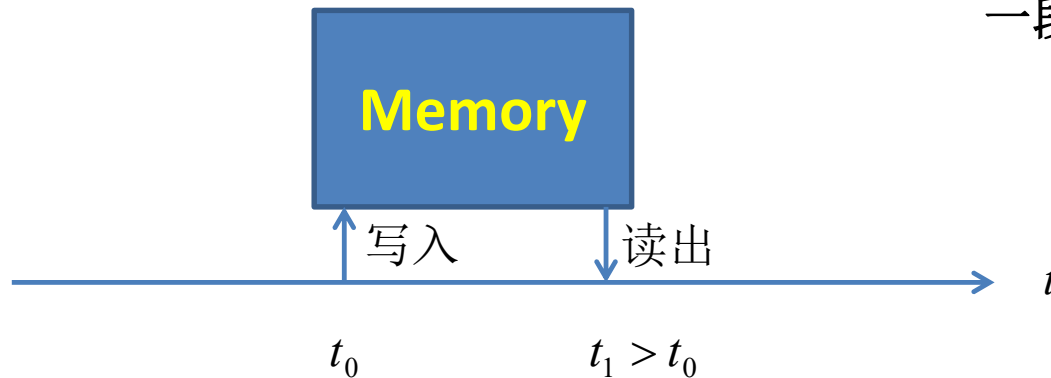
非线性电阻(开关)+电源

3.7 存储器 Memory

- 记忆以前某时刻状态
 - 0、1状态：数字存储

模拟存储

利用电容存储电荷、
电感存储磁通可形成
一段时间内的记忆



$$D(t_1) = D(t_0)$$

非线性电阻+电源

3.8 电能转换

- **交流转直流** **整流器** **rectifier**
 - 市电家用电器几乎都有整流器

二极管整流器
非线性电阻
- **直流转直流** **稳压器** **regulator**
 - 将不太稳定的直流转化为稳定直流
 - 改变直流电压值：升压、降压

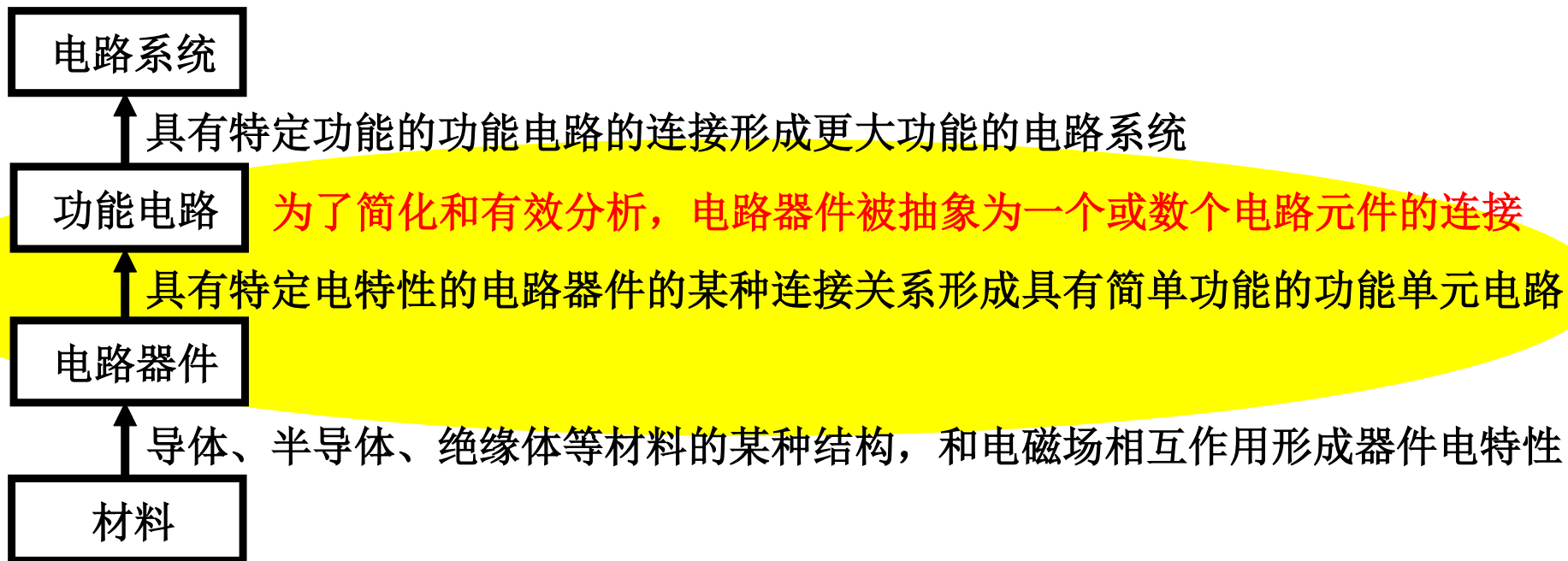
二极管稳压器
非线性电阻

DC-DC
电容、电感、开关
- **直流转交流** **逆变器** **inverter**

开关逆变
非线性电阻
- **交流转交流** **变压器** **transformer**
 - 改变交流电压值：升压、降压

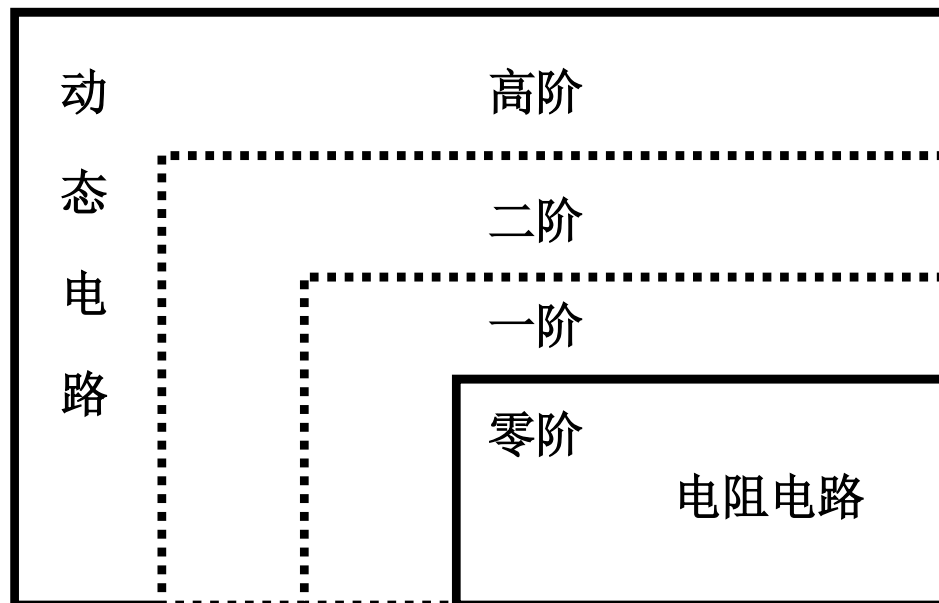
互感变压器
二端口电感

系统架构



四、课程内容

- 从电路方程上划分
- 电阻电路：代数方程
 - 第一学期
- 动态电路：微分方程
 - 第二学期
- 线性电阻电路：线性代数方程
 - 分压器、分流器、桥、衰减器、...
- 非线性电阻电路：非线性代数方程
 - 放大器、比较器、电流镜、与或非门、整流器、稳压器、逆变器、...
- 线性动态电路：线性微分方程
 - 滤波器、变压器、...
- 非线性动态电路：非线性微分方程
 - 振荡器、DC-DC转换器、...



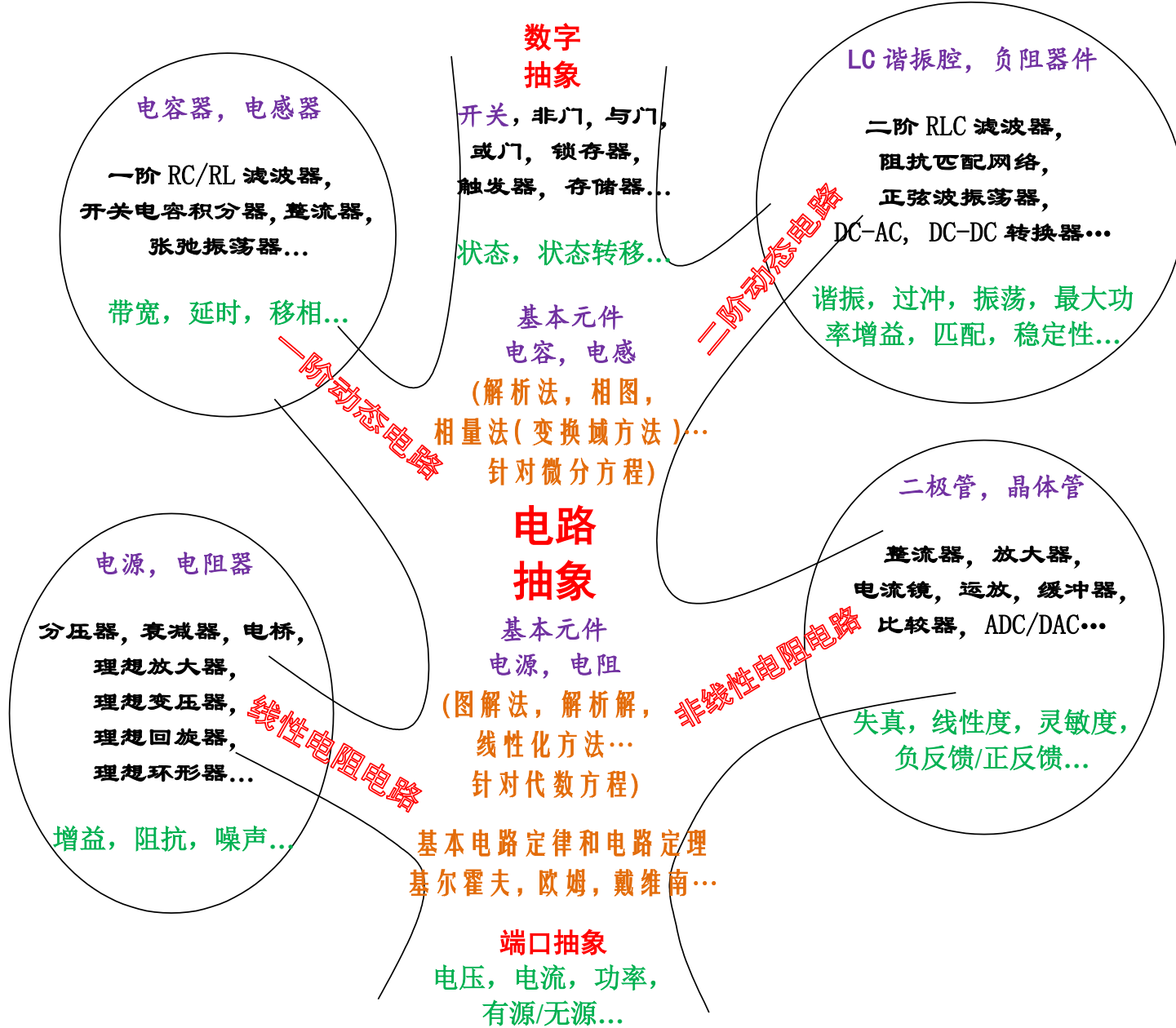
线性电阻

电源+非线性电阻（晶体管、二极管）

线性电阻+线性电感+线性电容

非线性电阻+线性电感+线性电容

一条主干 四个分支



- 一条主干四个分支
- 元件或器件
- 功能单元电路
- 定律、定理和方法
- 性能或基本电路概念

“电阻电路+动态电路” 课堂内容安排

春季学期

秋季学期

基本概念

信息处理系统，功能单元电路
系统，端口，理想电源、电阻
各种形式的电阻和电源

电路定律

定律：列写电路方程的方法

电路定理

线性网络等效
戴维南定理
诺顿定理
网络参量
互易定理
对偶网络：分压、变压、回旋、放大

解析法

数值法

分段折线法
(反相/电流镜)

局部线性法
(小信号放大)

正负反馈

电阻电路

非线性电路：折线法、分段折线法，二极管电路
BJT、MOS管：折线法、分段折线法、局部线性法
局部线性：单端、双端、晶体管
小信号放大：单端、双端、晶体管
运放输出级：单端、双端、晶体管
运算放大器和典型非线性应用

组合逻辑电路：与或非门，加法器例
纯容纯感，状态方程数值解
分析；频域相量法
(滤波器)
一阶RC，时域三要素法

时域积分法
特征根观察法

平均电流法
(延时，振荡)

二阶电路：系统参量，三要素法
二阶低通、高通、带通、带阻滤波器
阻抗匹配和变换网络：最大功率传输，部分接入

分段折线法
(张弛振荡)

准线性法
(正弦振荡)

动态电路

时序逻辑电路：锁存器、触发器、计数器、寄存器
二阶电路：系统参量，三要素法
二阶低通、高通、带通、带阻滤波器
阻抗匹配和变换网络：最大功率传输，部分接入
晶体管回顾与展望
正弦波振荡：RC、LC、石英晶体振荡器
反馈振荡原理
稳定性分析

“线性+非线性” 课堂内容安排

	春季学期		秋季学期	
电路基本定律	绪论：电路与系统		绪论：集成电路	
	电源与电阻		PN结结构与模型	PN结
	电路基本定律		二极管电路	
	电容和电感		BJT结构与模型	
	相量法		BJT放大器 (1)	BJT
频域分析	二端口网络与传递函数		BJT放大器 (2)	
	RLC滤波器		BJT电流镜与差分对	
	LC匹配网络 (3-6讲习题选讲)		MOS结构与模型	MOS
	运放模型	理想元件	MOS放大器	
	运放正负反馈	容易把握	MOS电流镜与差分对	
时域分析	一阶时域	实际器件	CMOS反相器分析	逻辑门
	电容充放电应用 (7-9讲习题选讲)		逻辑门与存储器	
	二阶时域 (10讲习题选讲)		振荡器 (1)	
	滤波器时频分析	线性电路	振荡器 (2)	振荡器
	总复习 (11-14讲习题选讲)	非线性电路	总复习	

两个课堂

- 以“电阻电路”和“动态电路”划分两个学期课程内容的模式A
 - 以电路分析方法为主线整合多门电路课程内容，知识体系完备（庞大），兼顾系统概念，课程内容容量较大，讲课节奏快，学习压力较大，需要习题课辅助
- 以“线性电路”和“非线性电路”划分两个学期课程内容的模式B
 - 以能够理解集成电路中的放大器为最核心要点，同时兼顾滤波器、振荡器和门电路，课程内容容量相对较小，学习压力相对较小，无需习题课辅助

选课需知

- 最适合自己的课堂是最好的课堂，希望同学斟酌选择最适合自己学习情况的课堂
- 春秋两次课程都不及格的重修同学，最好换老师换课堂重新尝试新的学习思路，或许会更适应另外一个老师另外一种模式的教学方式。如果有一门课程及格的，另一半课程分数必须在相同模式下重修获得，这是由于两种模式的授课顺序不同、进度不一致的原因
 - 同学选修、重修两学期课程时，务必注意两个模式的课堂不能窜选窜修，这将导致所学课程内容不全，成绩将不予承认
 - 最后会有一个成绩认定，同学不要报侥幸心理

实验课

- 《电子电路与系统基础实验》
 - 孙忆南，金平
 - 同学听孙老师的安排

课程定位

- 《电子电路与系统基础》是电子系本科生的基本电路素养课
 - 犹如《大学物理》、《微积分》、《线性代数》是大学学生的基本物理、数学素养一样
- 《电路原理》+《模拟电路》
 - +《通信电路》+《数字电路》+《微波电路》+信号、器件、电磁场、...
 - =《电子电路与系统基础》：专业核心课：必修
 - 《模拟电路原理》：专业限选课
 - 《通信电路原理》：专业限选课
 - 《数字系统设计》：专业限选课
 - ...

四个电路基本素养

- 1、电路基本定律和基本分析方法的掌握
 - 列写电路方程：KVL+KCL+元件约束条件
 - 解析法、图解法、等效电路法、近似法、...
- 2、电路抽象思维方法和工程近似手段的掌握
 - 具备抓住主要矛盾、化繁为简解决复杂问题的工程师的基本思维方式，将原本不能解决的问题变成可以解决，难以解决的问题变成容易解决
 - 理想模型：电路元件，基本单元电路（单端口、二端口）
 - 等效方法：戴维南等效，串并联等效，...
 - 非线性线性化：分段折线，局部线性，准线性
- 3、基本器件及基本单元电路的基本结构、基本原理、基本特性
 - 电源、电阻、电容、电感、二极管、晶体管、...
 - 晶体管放大器基本结构，振荡器基本结构，CMOS与或非门电路基本结构，滤波器（RC、LC）等基本单元电路的结构、原理、特性
- 4、基本概念的建立
 - 基本信号处理功能（基本电路现象）
 - 信号放大（比例）、信号滤波（微分、积分、充电、放电、谐振、延时）、信号产生（振荡）、与或非逻辑运算
 - 线性与非线性、有源与无源、时域与频域、失真与噪声、正负反馈、...

下节课内容

- 本周三晚上习题课
 - 数的设定
 - 复数
 - 正弦波信号
 - 幅度、频率、相位
 - 时域与频域
- 下周理论课
 - 电阻与电源
 - 基本电量：电流、电压、功率
 - 系统概念：线性非线性，时变时不变， ...
 - 端口：单端口，多端口，有源性
 - 理想电源和电阻：电压源，电流源，线性电阻， ...
 - ...

CAD作业：熟悉CAD仿真平台

- 今年大小班都要求掌握CAD工具的使用
- 见网络学堂助教发布的相关文档
 - 和助教建立联系平台
 - 先熟悉仿真平台，先做一些很小的仿真练手
- 希望同学以后碰到不明白的电路，仿真看看结果，和理论分析结合，对仿真结果一定要问为什么有这个仿真结果，以真正理解电路工作原理
 - 千万不能只看结果，不问为什么，这样的CAD工具不如不用
 - CAD仅仅是工具，是同学理解电路工作原理的工具，而不是最终结果：仿真仅仅是验证你的理解是否正确
 - 先分析，后仿真，如果仿真结果和你的分析结果不符，一定要找出原因：理解错误还是仿真错误
 - » 如果分析不出来，则需要根据仿真回过头再分析理解，直至给出合理解释
 - 不能只仿真不分析，离开仿真就不知道结果，仿真是这样就这样了，这样做反而把CAD工具变成了对电路原理理解的一种障碍
 - 助教提供工具初始使用方面的答疑，具体电路问题，同学间加强讨论解决

助教答疑

- 每周同学给自己负责的助教提交你的问题，助教每周安排一次视频会议主持答疑
 - CAD工具使用演示
 - 概念重新解释等
 - 同学有任何疑问都可以向助教提问，助教难以解决的，会向我汇报解决
 - 同学之间加强讨论，理解得快的同学要帮助理解得慢的同学，共同学习，共同进步

作业

- 练习1.1: $0.3V_{REF}$ 的电压通过4bit ADC后, 输出数字量为什么? 这个数字量通过4bit的DAC后, 输出模拟量为多少? 和 $0.3V_{REF}$ 的误差有多大? 假设ADC和DAC的基准电压都是 V_{REF} 。
- 练习1.2 某电压放大器输入信号为 $v_i(t) = V_{im} \cos \omega t$, 电压放大倍数为-10, 写出其输出电压表达式。
 - 如果该放大器非理想, 存在2阶和3阶非线性, 写出输出表达式
$$v_o(t) = f(v_i(t)) = a_1 v_i(t) + a_2 v_i^2(t) + a_3 v_i^3(t)$$
 - 选做: 如果输入信号是双频信号, 说明输出信号中除了高次谐波分量 2ω , 3ω 频率分量外, 还会产生组合频率分量 $\omega_1 \pm \omega_2, 2\omega_1 \pm \omega_2 \dots$
$$v_i(t) = V_{im1} \cos \omega_1 t + V_{im2} \cos \omega_2 t$$

作业

本周习题课布置其他补充作业

- 练习1.3 某理想低通滤波器通带截止频率 $f_c=10\text{kHz}$ ，通带内幅度频率特性为常量 $A_0=1$ ，通带内信号延时为常数 $\tau_0=100\mu\text{s}$ 。已知输入信号为
$$v_i(t) = 2 \cos(2\pi \times 10^3 t) + 4 \cos(2\pi \times 3 \times 10^3 t) + \cos(2\pi \times 3 \times 10^4 t)$$
 - 请给出经过该理想低通滤波器作用后的输出电压表达式。
- 练习1.4 为了防止自行车被盗，有同学买了两把锁，分别锁住前轮和后轮。你认为这是一个与操作还是一个或操作？
 - 给出逻辑0、1定义，说明与或操作的执行情况