

# 第1章

# 绪 论

金伟正

[jwz@eis.whu.edu.cn](mailto:jwz@eis.whu.edu.cn)



# 第一章 绪 论

## 1.1 历史回顾

- ◎ **1864** 年麦克斯韦 (J. Clerk Maxwell) 发表了“电磁场的动力理论”论文，推出了著名的麦克斯韦方程组，为无线电的发展奠定了坚实的理论基础
- ◎ **1873** 年莫尔斯 (F. B. Morse) 发明了电报，创造了莫尔斯码
- ◎ **1876** 年贝尔 (Alexander. G. Bell) 发明了电话
- ◎ **1887** 年赫兹 (H. Hertz) 实验证明：电磁波在自由空间的传播速度与光速相同
- ◎ **1895** 年马可尼 首次在几百米的距离用电磁波进行通信获得成功
- ◎ **1901** 年马可尼 首次完成了横渡大西洋的通信



◎ **1904** 年弗莱明 (Fleming) 发明了电子二极管

◎ **1907** 年福雷斯特 (Lee de Forest ) 发明了电子三极管

**电子管的出现是电子技术发展史上的第一个重要的里程碑**

电子二极管和三极管可组成具有**放大、振荡、变频、调制、检波、波形变换**等重要的功能的电子电路

◎ **1948** 年肖克莱 (**W.Shockley**) 等人发明了晶体三极管

**晶体三极管成为电子技术发展史上的第二个重要里程碑**

◎ 中大规模乃至超大规模集成电路的涌现，是

**电子技术发展史上的第三个重要里程碑**

★ 定义-----[电子线路是由**电子元件**(电阻、电容与电感)、**电子器件**(二极管、三极管、场效应管和集成电路)和**电源**组成的**电路系统**]



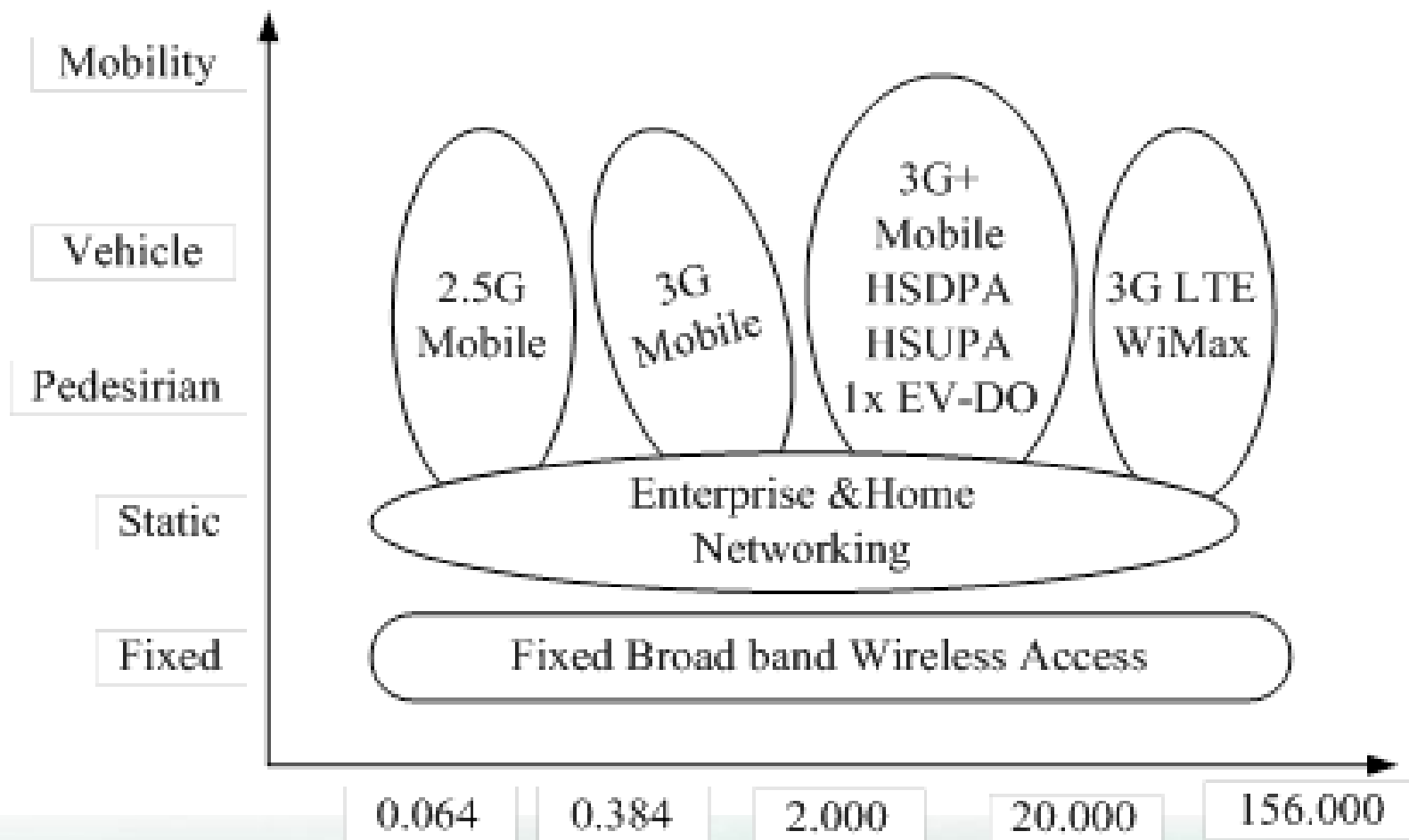
### 3G时代的到来。。。。

- 理想的目标是能够在任何时候、任何地方与任何人以任何方式及时地交流信息。
- 随着无线通信范围的扩大，移动通信技术在世界范围内获得了广泛的应用，成为令神往的高技术风景线，但就正式商业运营而言，至今也不过**30**年的历史。
- 从其发展历史来看，大约每十年更新一代，目前处于第二代**2G**和第三代**3G**的交接期。
- 第一代**1G**：以模拟式蜂窝网为主要特征。**20世纪70年代**，随着半导体技术的发展和微处理器的出现，使蜂窝系统实现的复杂程度大大降低，从而进一步推动了蜂窝移动通信技术的发展。这期间美国推出了**AMPS(Advance Mobile Phone System)**系统，欧洲推出了**TACS(Total Access Communication System)**系统。**1G**主要采用频分多址(FDMA方式实现对用户的动态寻址功能。



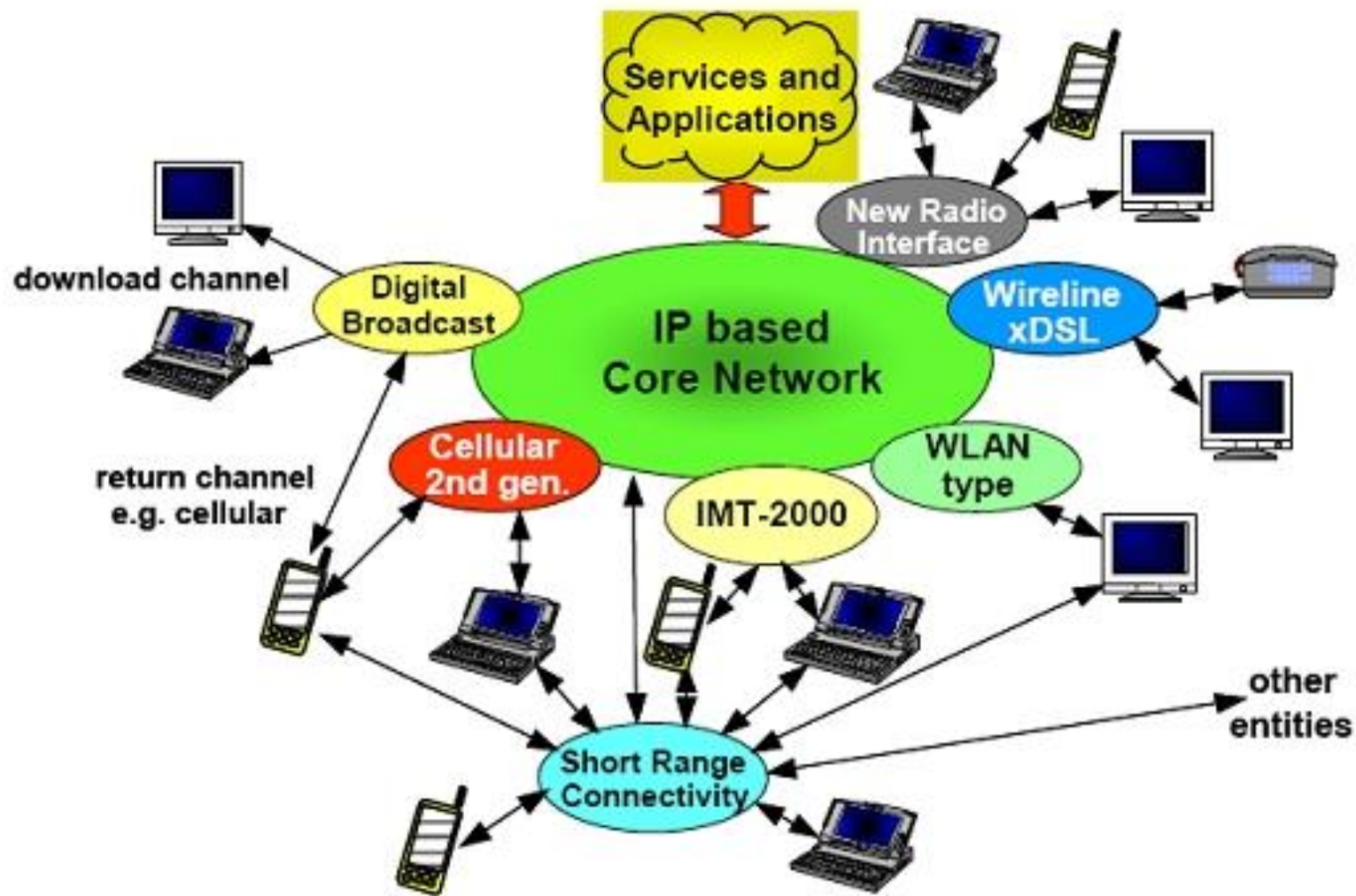
- **第二代2G**：以数字式蜂窝网为主要特征，于20世纪90年代初走向商用。其中，各国相应推出了今天广为人知的**GSM**和**IS-95CDMA**等系统。**2G**主要采用时分多址(**TDMA**，如**GSM**中)和码分多址(**CDMA**，如**IS-95CDMA**中)实现对用户的动态寻址功能。此外，还在对信道动态特征匹配上采用了抗干扰性能优良的数字调制(**GMSK**、**QPSK**)、纠错编码(卷积码、级联码)、信道交织编码、自适应均衡和**Rake**接收等技术。同时，无线数据网路得到极大的发展，按照覆盖范围从大到小可以分为**移动通信网**、**无线局域网(WLAN)**，以**IEEE 802.11**系统标准为典型代表)和**无线个域网(WPAN)**，以**蓝牙Bluetooth**技术为典型代表)。
- **第三代3G**：以多媒体业务为主要特征，于21世纪初刚刚投入商业化运行。下图给出了现有的不同无线应用解决方案的数据速率和灵活性示意图。





不同无线应用解决方案的数据速率和灵活性示意图





B3G 移动通信系统网络组成示意图

➤ **3G**无线网路可以分为**3G**蜂窝网和由各种**WLAN**、**WPAN**系统组成的宽带接入系统。其中，最具代表性的蜂窝网有：

✓ 北美的**CDMA2000**

✓ 欧洲与日本的**WCDMA**

✓ 我国的**TD-SCDMA**系统

都以码分多址(**CDMA**)实现对用户的动态寻址功能，以**2G**为基础，以业务多媒体化为主要目标。

➤ 各种以蜂窝系统相互补充的宽带接入系统也得到了迅速发展，特别是以**IEEE802.16**系列标准(**WiMax**, **Worldwide Interoperability for Microwave Access**, 即全球微波互联接入)为代表的无线城域网技术，成为有线接入和**3G**蜂窝网络强有力的竞争对手，并于**2007年10月**成为**ITU**的**3G**标准之一。

**WiMax**技术可实现点到点的通信，可提供高速的双向语音、数据、视频服务。





- 同时无线广域网的技术也在进一步发展，期望填补现有技术(蜂窝网、**WLAN**、**WPAN**和**WiMax**)之间的空白，提供比现在宽带接入技术更高的移动性，比蜂窝网更高的数据传输速率。
- 目前，世界各国均已展开对下一代移动通信系统(**B3G/4G**)的研究和开发，以期达到理想的通信目标，并取得了一定的阶段性成果。日本**NTT DOCOMO**公司、韩国电子通信研究所**ETRI**都已经进行了野外测试，推出了一系列高速的实验系统。我国面向**B3G**的**FuTURE**计划于**2001**年启动，并于**2006**年**12**月在上海进行了**TDD-OFDM**系统测试和验收，验收结果表明该系统已达到了国际领先水平。**B3G/4G**主要采用**OFDM**、多跳、中继和多天线等新技术，将向用户提供**1Mbps**甚至**100Mbps**的数据传输速度。这些先进技术大大提高了无线通信系统的数据传输速率和通信的可靠性，增强了系统功能，扩大了应用领域和服务范围。可以预计，无线通信的未来更令人瞩目和神往。



**B3G: Beyond Third Generation in mobile communication system**，即超三代移动通信系统。相对于3G移动通信，B3G有着更高的传输效率和更全的业务类型。

**IMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000 =3G)and Beyond**

WCDMA 系统的基本参数

|            |  |
|------------|--|
| 信道带宽       | 5MHz   |
| 帧长         | 10ms   |
| 码片速率       | 3.84Mcps                                     |
| 中心频率       | 200kHz 的整数倍                                  |
| 频谱分配       | 上行 1850~1910MHz，下行 2110~2170MHz              |
| 双工方式       | FDD、TDD                                      |
| 扩频调制方式     | 上行：双信道 QPSK；下行：平衡 QPSK                       |
| 数据调制方式     | 上行：BPSK；下行：QPSK                              |
| 信道编码       | 交织、卷积码和 Turbo 码                              |
| 扩频因子       | 4~256  |
| 最大发射功率变化范围 | 用户设备 26dB，基站 12dB                            |
| 数据速率       | 在车速环境下提供 144Kbps，步行环境下为 384Kbps，室内环境下为 2Mbps |

➤ **1G: 模拟通讯 FDMA**

➤ **2G: GSM、CDMA (900MHz/1.8GHz/1.9GHz)**

➤ **3G: TD-SCDMA(移动), 2010MHz至2025MHz频段**  
**CDMA2000(电信), 上行 1920MHz~1980MHz**  
**下行 2110MHz~2170MHz**

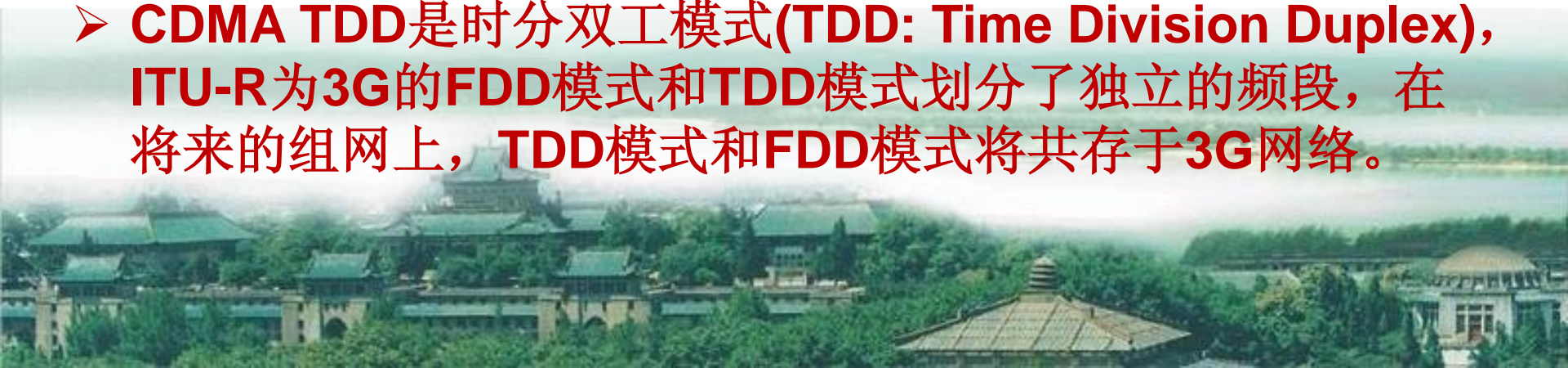
**WCDMA(联通)=Wideband Code Division Multiple Access 宽带码分多址移动通信系统**

**上行 1850MHz~1910MHz**

**下行 2110MHz~2170MHz**

➤ **FDD(Frequency Division Duplex)模式的特点是在分离(上下行频率间隔190MHz)的两个对称频率信道上, 系统进行接收和传送, 用保证频段来分离接收和传送信道**

➤ **CDMA TDD是时分双工模式(TDD: Time Division Duplex), ITU-R为3G的FDD模式和TDD模式划分了独立的频段, 在将来的组网上, TDD模式和FDD模式将共存于3G网络。**





- 在**4G**网络时代，视频流媒体、交互**Web**等下行流占据绝对优势，也因此人们对**TDD**在**4G**的应用充满了期待，**TDD**受到了下一代无线系统**WiMAX**和**IEEE 802.20**的关注。
- 然而在目前，**TDD**模式在运营中还面临一系列技术问题，如交叉时隙干扰、操作干扰、转接时延以及发送信道状态信息超时，所以使用单一模式的**TDD**还是不现实的。
- **TDD**和**FDD**在技术特点上各有各的优势，中国是世界第一移动大国，频谱资源日益短缺是移动网络建设迫切需要解决的第一问题。对频谱资源，每一个人都会明白：**FDD**频谱资源紧张，**TDD**频谱资源丰富。在这一点上，**TDD**的优势更明显一些，所以在中国，从**TD-SCDMA 3G**到**4G**的各个阶段，都将更倾向于使用**TDD**技术。

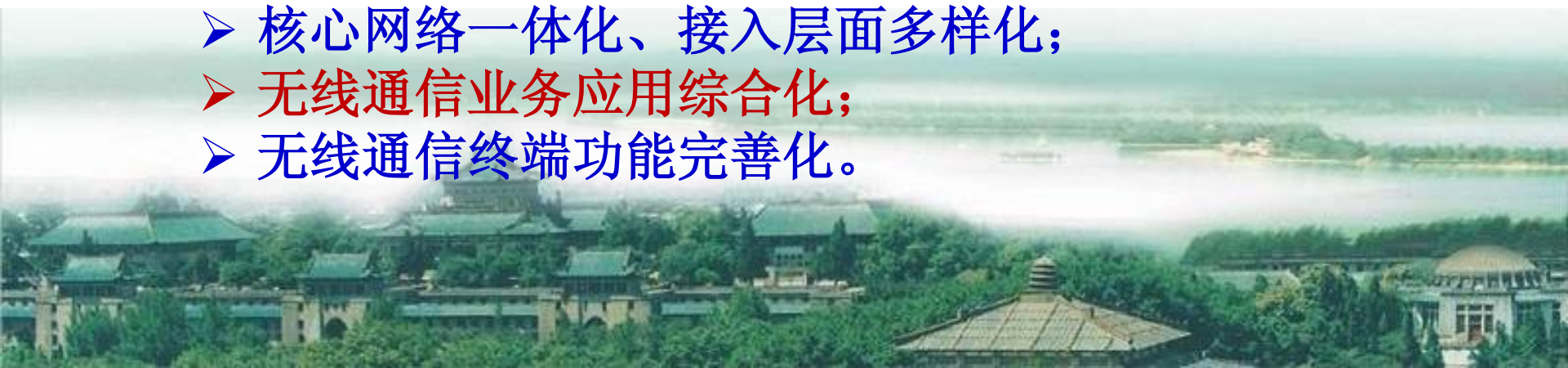


无线通信的发展过程及趋势可以概括如下：

- 工作频段从短波、超短波、微波发展到毫米波、红外和超长波；
- 频道间隔由100KHz、50KHz、25KHz发展到12.5KHz甚至更窄；
- 调制方式由振幅压扩单边模拟发展到数字调制；
- 多址方式由FDMA、TDMA、CDMA发展到混合多址，以及固定多址和随机多址的结合；
- 业务类型由语音发展到数据、传真，直到多媒体综合业务。

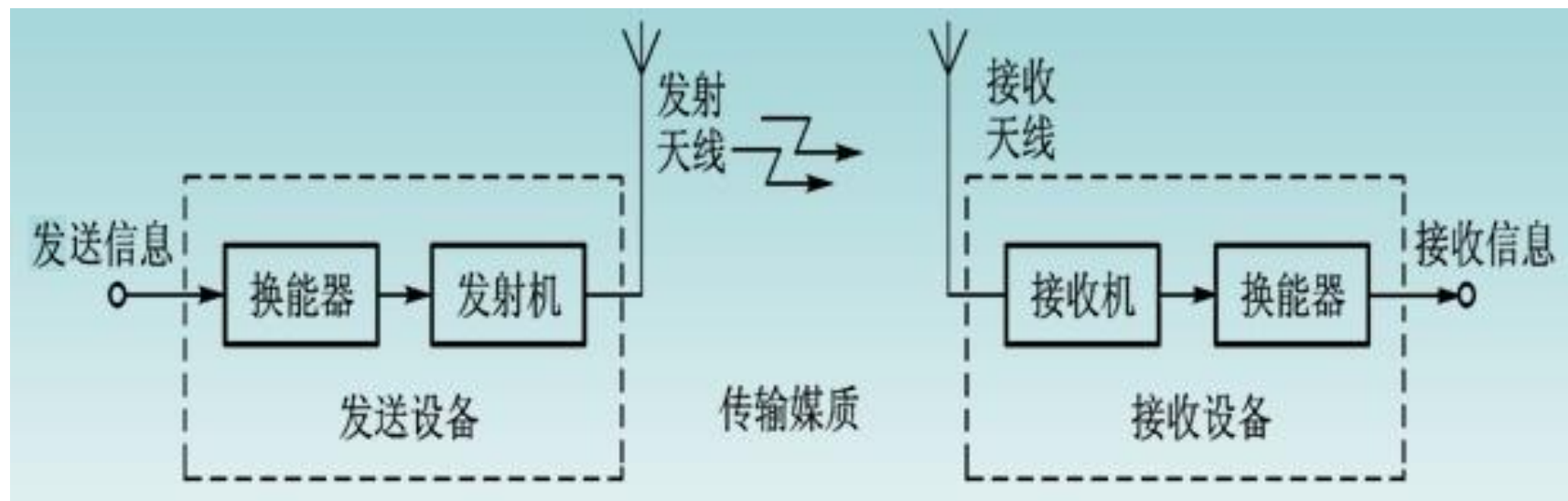
未来无线通信系统的发展趋势

- 多层次无线技术有效互补；
- 核心网络一体化、接入层面多样化；
- 无线通信业务应用综合化；
- 无线通信终端功能完善化。



# 1.2 电子通信系统的基本组成

## 一、通信系统的框图



## 二、无线电信号的特点：

1. 传递过程要处理的无线电信号类型

2. 无线电信号的表示方法

- 时域中用数学表达式
- 频域中用频谱表示

无线电信号波长与频率满足

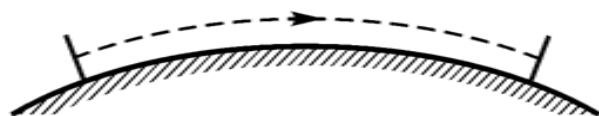
$$\lambda = \frac{c}{f}$$



无线电波的波段划分表

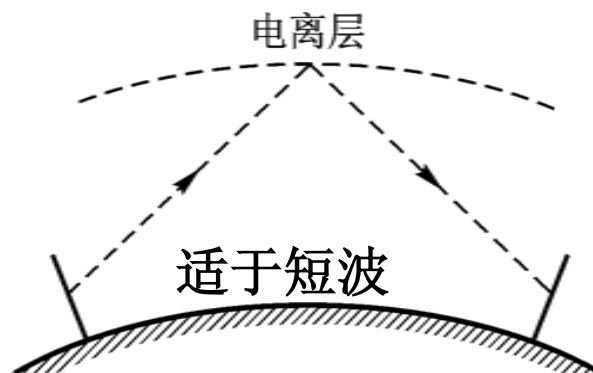
| 波段名称               | 波长范围        | 频率范围        | 波段名称         | 传播方式          | 应用场合                      |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------------------|
| 长波波段<br>(LW)       | 1000~10000m | 30~300KHz   | 低频<br>(LF)   | 地波            | 远距离通信                     |
| 中波波段<br>(MW)       | 100~1000m   | 300~3000KHz | 中频<br>(MF)   | 地波, 天波        | 广播, 通信, 导航                |
| 短波波段<br>(SW)       | 10~100m     | 3~30MHz     | 高频<br>(HF)   | 天波, 地波        | 广播, 中距离通信                 |
| 超短波波段(VSW)<br>(米波) | 1~10m       | 30~300MHz   | 甚高频<br>(VHF) | 直线传播<br>对流层散射 | 移动通信, 电视广播, 调频广播, 雷达导, 航等 |
| 分米波波段(USW)         | 10~100cm    | 300~3000MHz | 超高频<br>(UHF) | 直线传播<br>散射传播  | 通信, 中继通信, 卫星通信, 电视广播, 雷达  |
| 厘米波波段(SSW)         | 1~10cm      | 3~30GHz     | 特高频<br>(SHF) | 直线传播          | 中继通信, 雷达, 卫星通信            |
| 毫米波波段(ESW)         | 1~10mm      | 30~300GHz   | 极高频<br>(EHF) | 直线传播          | 微波通信, 雷达                  |

- 电磁波传播方式



绕射适于中、长波

(a) 地波

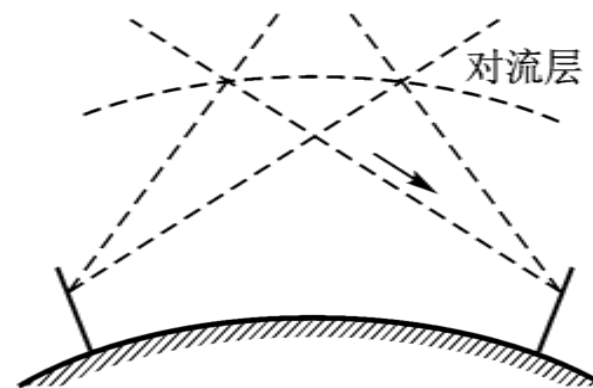


(b) 天波

超短波以上频段的信号



(c) 直线传播



(d) 散射传播

- 调制与解调概念

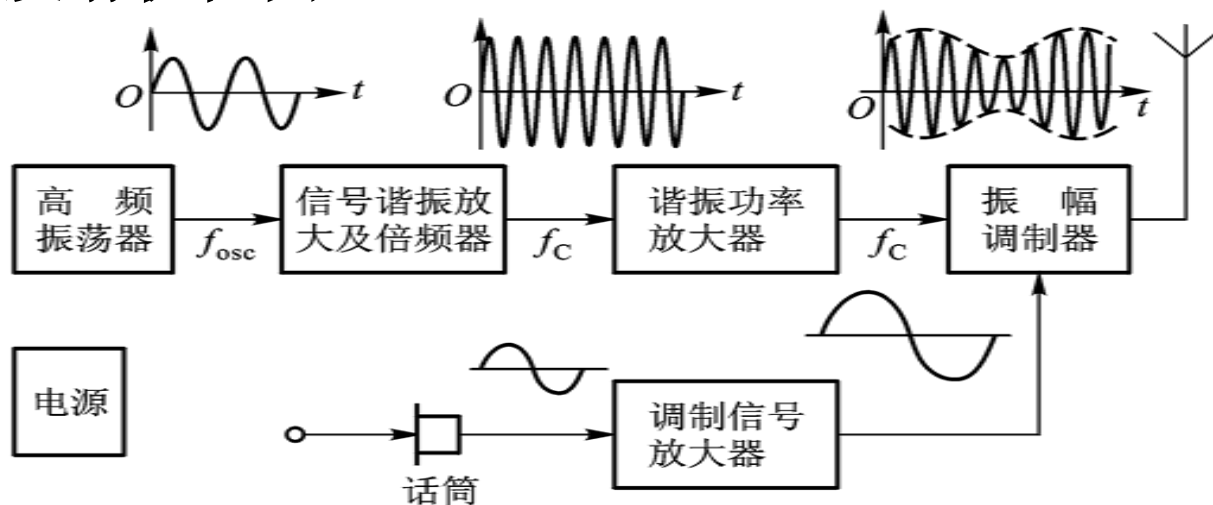
AM、FM、PM

原因：①天线与波长可比拟；②频率复用；③抗干扰

超短波以上频段的信号

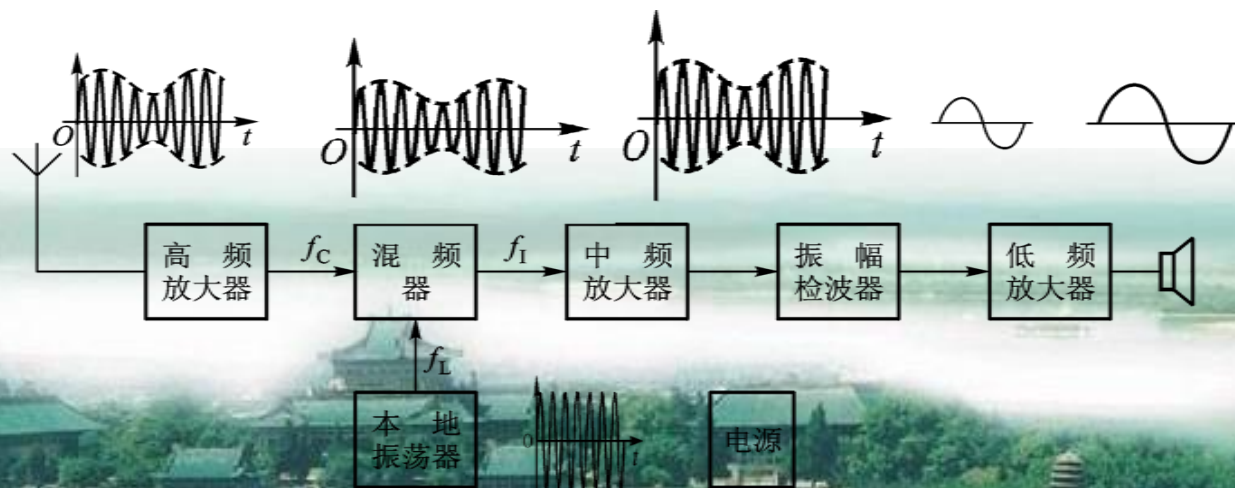
### 三、无线电通信调幅广播发射机、接收机组成与工作原理

- 发射机框图



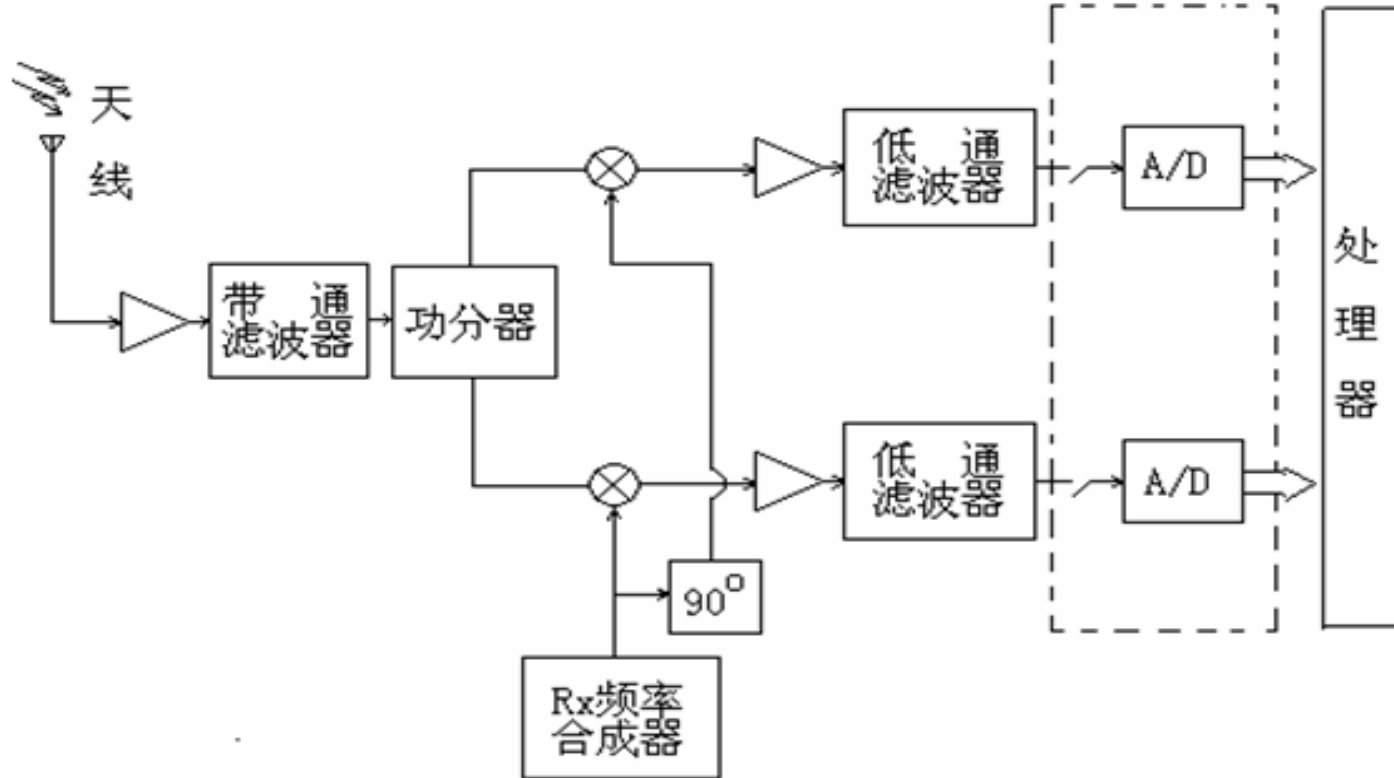
点击演示

- 接收机框图



点击演示





直接变换接收机组成框图



软件无线电的3种结构



软件无线电台中的调制解调算法

系统必然包括以下4个部分：

- (1) 高频振荡器（信号源、载波信号或本地振荡信号）
- (2) 放大器（高频小信号放大器及高频功率放大器）
- (3) 混频或变频（高频信号变换或处理）
- (4) 调制与解调（高频信号变换或处理）

※在无线通信系统中通常需要某些反馈控制电路。

- 自动增益控制 (**AGC**)
- 自动电平控制 (**ALC**) 电路
- 自动频率控制 (**AFC**) 电路
- 自动相位控制 (**APC**) 电路 (也称锁相环**PLL**)

※元件、器件和组件以及信道或接收机中的干扰与噪声问题  
集成电路 (**IC**) 都是本课程的研究对象



# 无线通信系统的分类:

【1】按照工作频段分类，有中波通信、短波通信、超短波通信、微波通信和卫星通信等。

无线通信的一个发展方向就是开辟更高的频段

【2】按照通信方式分类，主要有全（双）工、半(双)工和单工方式。

【3】按照调制方式的不同来划分，有调幅、调频、调相以及混合调制等。

【4】按照传送的消息类型分类，有模拟通信和数字通信，或话音通信、图像通信、数据通信和多媒体通信等。

虽然各种类型的通信系统组成和设备复杂程度不同，但是组成的基本电路及基本原理都是相同的，遵从同样的规律。本课程以模拟通信为重点来研究这些基本电路，认识其规律。

这些电路和规律完全可以推广应用到其他类型的通信系统





## 四、非线性电子线路功能

- ① 实现能量转换的功能（放大器）
- ② 实现振荡的功能（高频振荡器）
- ③ 实现频谱（或频率）变换的功能（混频器）

## 五、非线性器件的特点

### A 非线性器件特性的参数

- ① 直流参数：适用于直流分析
- ② 增量参数：适用于频率变换电路的分析
- ③ 平均参数：适用于功率放大和振荡电路的分析



非线性电阻为例，说明三种参数的意义：

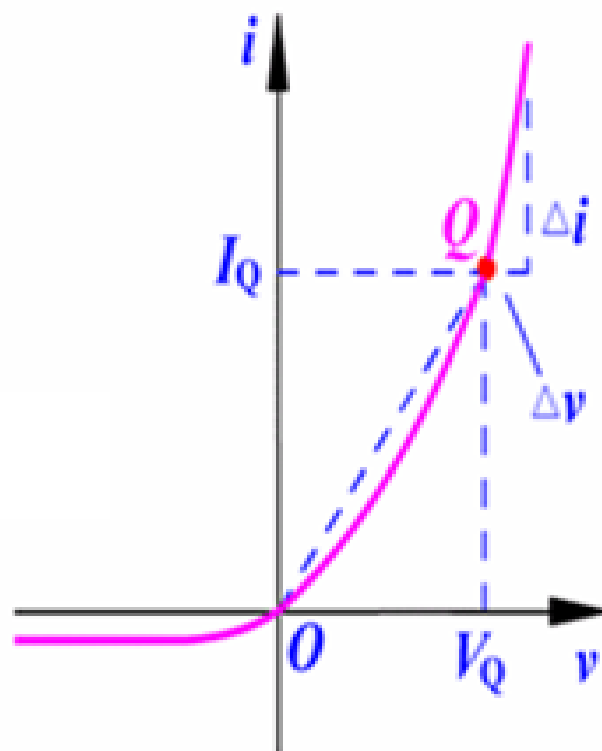
①**直流电导**： $g_o|_Q = \frac{I_Q}{V_Q}$  适用于直流分析，表明直

流电流与直流电压之间的依存关系。其值是  $V_Q$  ( $I_Q$ ) 的非线性函数。

②**交流电导**：伏安特性曲线上任意一点的斜率或该点上增量电压的比值

$$g|_Q = \frac{di}{dv}|_Q \approx \frac{\Delta i}{\Delta v}|_Q$$

也称为时变增量电导或跨导。适用于频率变化电路的分析。



### ③平均电导：适用于功放和振荡电路分析

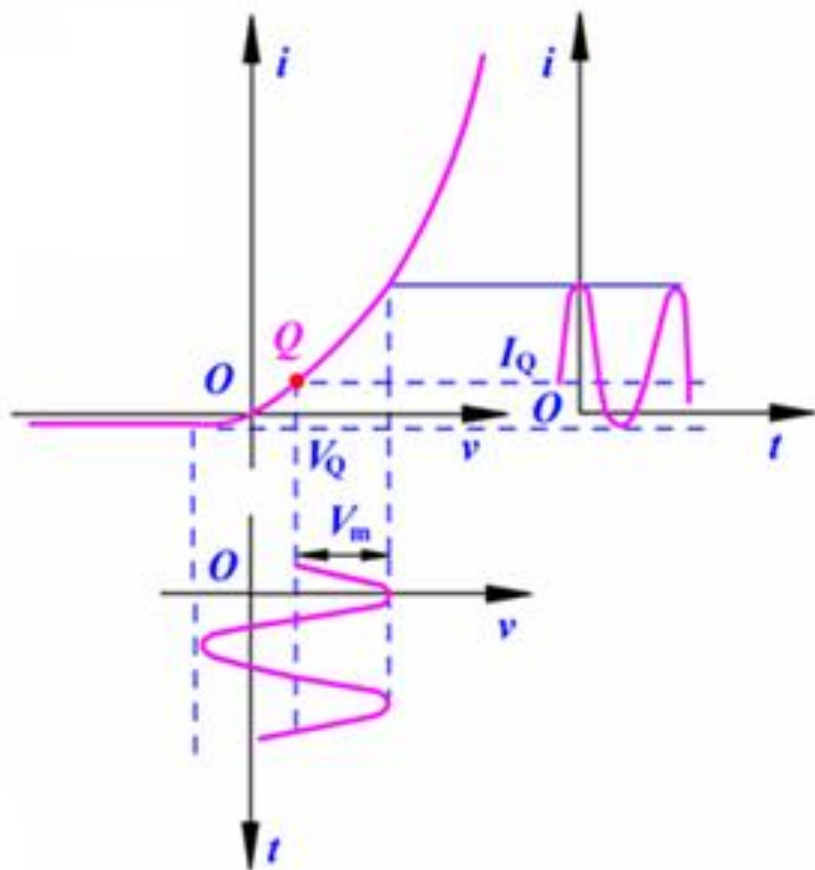
**定义：**当器件两端加余弦电压  $v = V_m \cos \omega t$  时，由于特性的非线性，流过器件的电流必为非余弦的，将其按付里叶级数展开：

$$i = I_0 + I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t + \dots$$

平均电导即为基波电流幅度与外

加电压振幅之比：
$$g_{av} |_{Q, v_m} = \frac{I_{1m}}{V_m}$$

反映基波电流与外加电压间的依存关系。根据实际的工作情况选用不同的参数。





## B 非线性器件特性的控制变量

例如二极管：

电压为控制变量，电流指数变化

电流为控制变量，电压对数变化

当特性非单调时，指名控制变量尤为重要

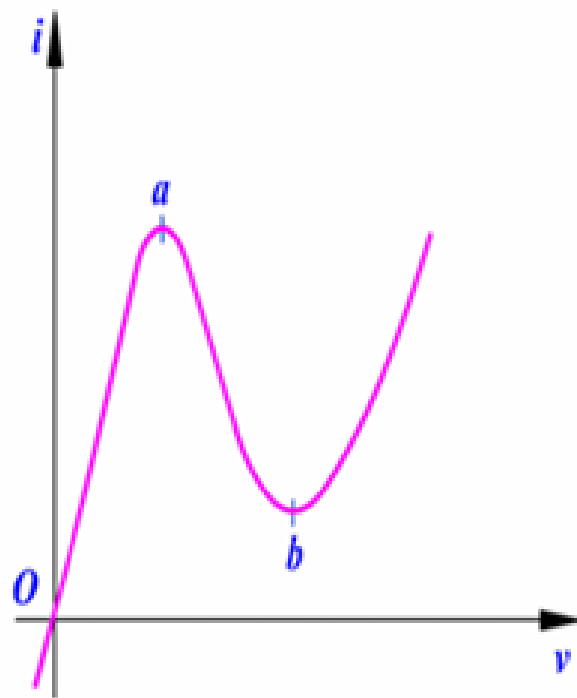
例如：隧道二极管的特性曲线

【1】控制变量为电压时，电流为单值

控制变量为电流时，电压为多值

【2】直流电导  $g_0 > 0$ ，在曲线上任意一点均为正，

交流电导  $g_{(a,b)} < 0$ ，在a,b段为负电导。



隧道二极管的伏安特性曲线

器件特性的描述与控制变量有关，并可能出现负参数是非线性与线性器件的重要区别之一。

## C 不满足叠加原理

若  $i = f(v); v = v_1 + v_2$

则  $i = f(v_1 + v_2)$  而  $i \neq f(v_1) + f(v_2)$

例如:  $i = av^2; v = v_1 + v_2$

$$i = av_1^2 + av_2^2 + 2av_1v_2 \neq av_1^2 + av_2^2$$

※出现新的频率成分，因此非线性电路实现频率加、减等多种电路功能



## 1.3 本课程特点与要求

### 一、特点

【1】 电路工作频率高

【2】 器件非线性，产生新的频率

【3】 电路的功能种类繁多





## 二、要 求

### 【1】工程上采用近似的分析方法

非线性器件物理特性复杂，要得到精确解需要求解非线性方程或时变系数微分方程。

对策：

对器件数学模型和电路工作条件进行合理近似，用简单的分析方法获得具有实用意义的结果。

### 【2】功能的实现借助器件的非线性，功能与电路形式远比线性电路多

对策：

抓住本质 —— 功能再多也是借助器件的非线性

抓基本电路—— 种类虽多，但都是在为数不多的基本电路上发展起来的。



### 【3】 重视实验环节

分析各种功能间的内在联系，实现各种功能的基本方法及由此导出的基本电路结构

### 【4】 使用计算机模拟工具分析电路功能

**Multisim(SCH )仿真分析**

**ADS仿真分析**

**PADS(PCB IBIS)仿真分析**

**SCH&PCB的设计 (Candence/Protel)**

(访问武汉大学课程中心[高频电子线路网站](http://kczx.whu.edu.cn/Able.Acc2.Web/Template/View.aspx?courseType=0&courseId=27911&topMenuId=96150&menuType=4&action=view&type=&name=))

<http://kczx.whu.edu.cn/Able.Acc2.Web/Template/View.aspx?courseType=0&courseId=27911&topMenuId=96150&menuType=4&action=view&type=&name=>







## NI Multisim10有如下主要特点：

➤用户界面友好，尤其是多种可放置到设计电路中的虚拟仪器很有特色。整个操作界面就像一个电子实验工作平台，绘制电路所需的元器件和仿真分析仪表均可用鼠标直接拖放到屏幕上，通过鼠标连线生成完整的电路。分析调试过程，元器件的参数可以根据需要随时变更，极大地提高了设计工作人员的工作效率。

➤提供了丰富的元器件库，包括基本元器件库、模拟集成器库、数字集成器件库、指标器件库及控制部件库等。

➤提供多种分析仪器仪表，如数字万用表、函数信号发生器、示波器、频谱分析仪、波特图图仪、数字信号发生器、逻辑转换仪、网络分析仪等，仪器面板和真实仪器十分相似，操作简便。



➤提供完备的分析功能，如静态工作点分析、交流小信号分析、瞬态分析、灵敏度分析、参数扫描分析、温度扫描分析、传输函数分析、最坏情况分析、蒙特卡罗分析、批处理分析、噪声指数分析以及射频分析等。

➤必须注意的是，采用计算机仿真技术仅仅是为研究、分析电路和电子技术提供一种快捷而又形象的分析方法，仿真分析仅仅得到的是一种理论分析的形象结果，不等于是实际的电路结果，所以仿真技术不能完全替代实际电路。我们对电路的认识不能停留在有众多符号所代表的虚拟电路上，而是要认识具体的由各个实际电路元器件所构成的电路上。因此，我们应该通过硬件实验掌握实验操作技术，并从实验验中积累经验，加深理论知识的理解。





## ADS介绍

| 滤波器 | S-parameter      | $S_{21}$ , $S_{12}$ , $S_{11}$ , $S_{22}$ |
|-----|------------------|---|
| 混频器 | DC               | 工作点状态                                     |
|     | AC               | 增益, 噪声电压, 电流                              |
|     | Harmonic Balance | IP3, IF                                   |
|     | Transient        | 瞬态响应                                      |
|     | Envelope         | 包络特性                                      |
| 功放  | S-parameter      | S 参数                                      |
|     | Harmonic Balance | 各种谐波和交调                                   |
|     | LSSP             | 大信号 S 参数                                  |
|     | XDB              | P-1                                       |
|     | Transient        | 瞬态响应                                      |
|     | Envelop          | 包络特性                                      |
| 接收机 | AC               | 交流特性                                      |
|     | Harmonic Balance | 谐波和交调                                     |
|     | Envelope         | 复杂波形如 LFM                                 |
| 振荡器 | DC               | 节点电压, 电流                                  |
|     | S-parameter      | S 参数                                      |
|     | Harmonic Balance | 各种谐波和交调                                   |
|     | Envelope         | 包络特性                                      |
| 锁相环 | Envelope         | 相噪、                                       |

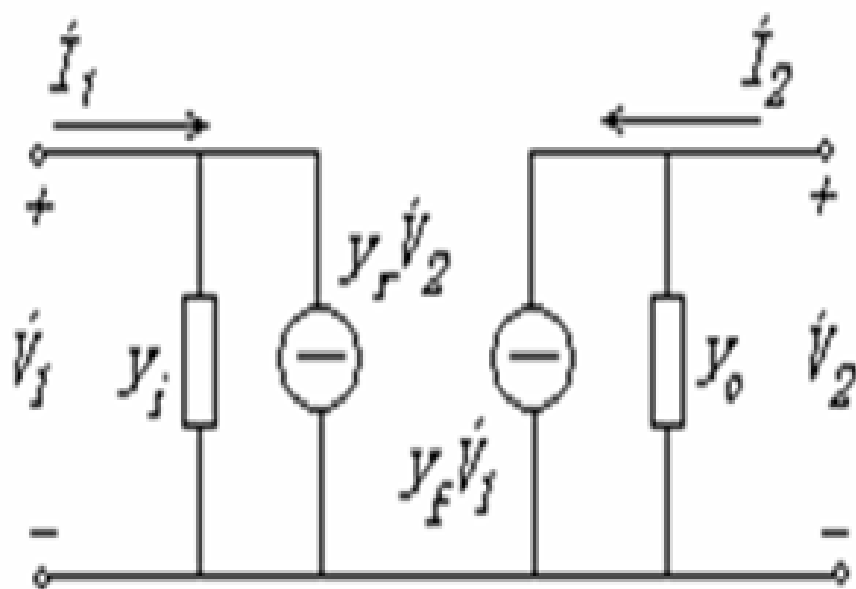


# 高频电子线路四种分析方法:

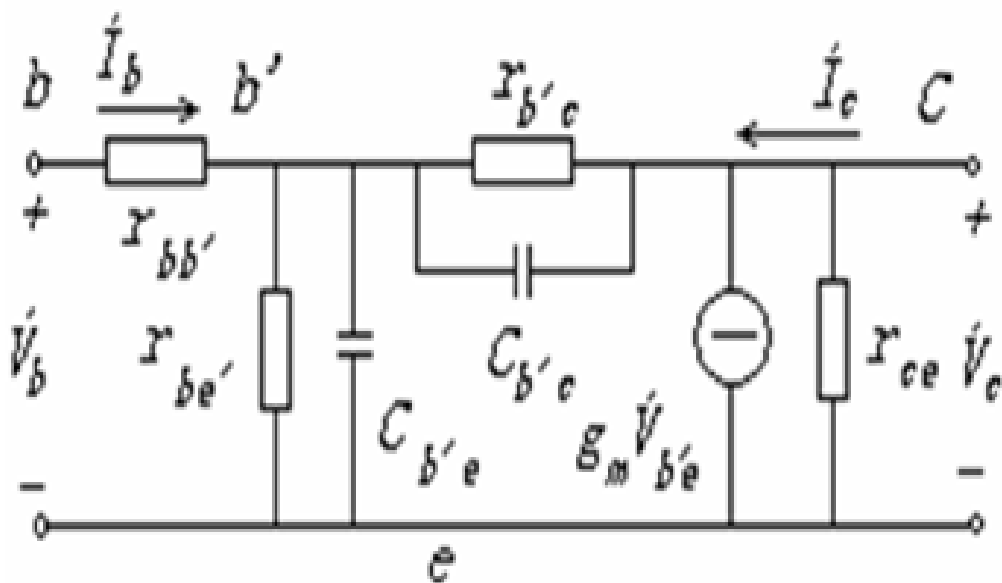
## 【1】等效电路法: 用于高频小信号放大器

Y参数等效电路

混合 $\pi$ 数等效电路



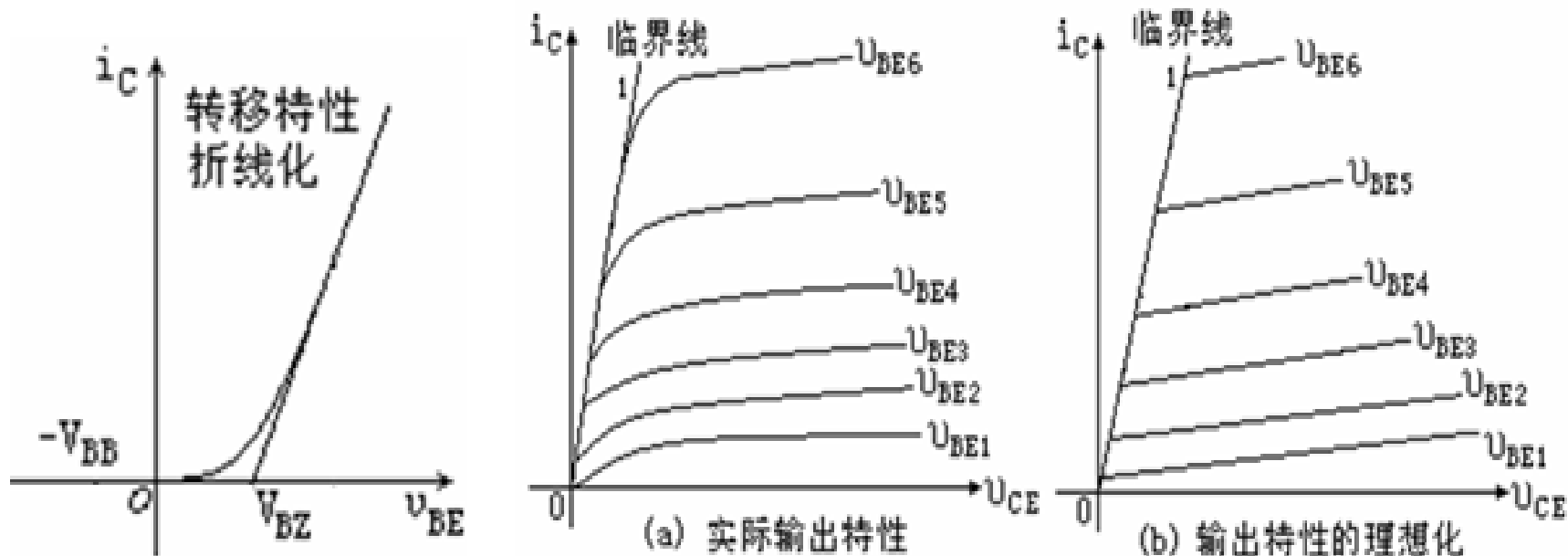
Y 参数等效电路



Y参数及混合 $\pi$ 参数等效电路

## 【2】折线分析法

用于高频功率放大器、包络检波器



## 【3】幂级数分析法:

用于频率变换电路，平方律调幅、平方律检波、平衡混频

## 【4】线性时变电路分析法

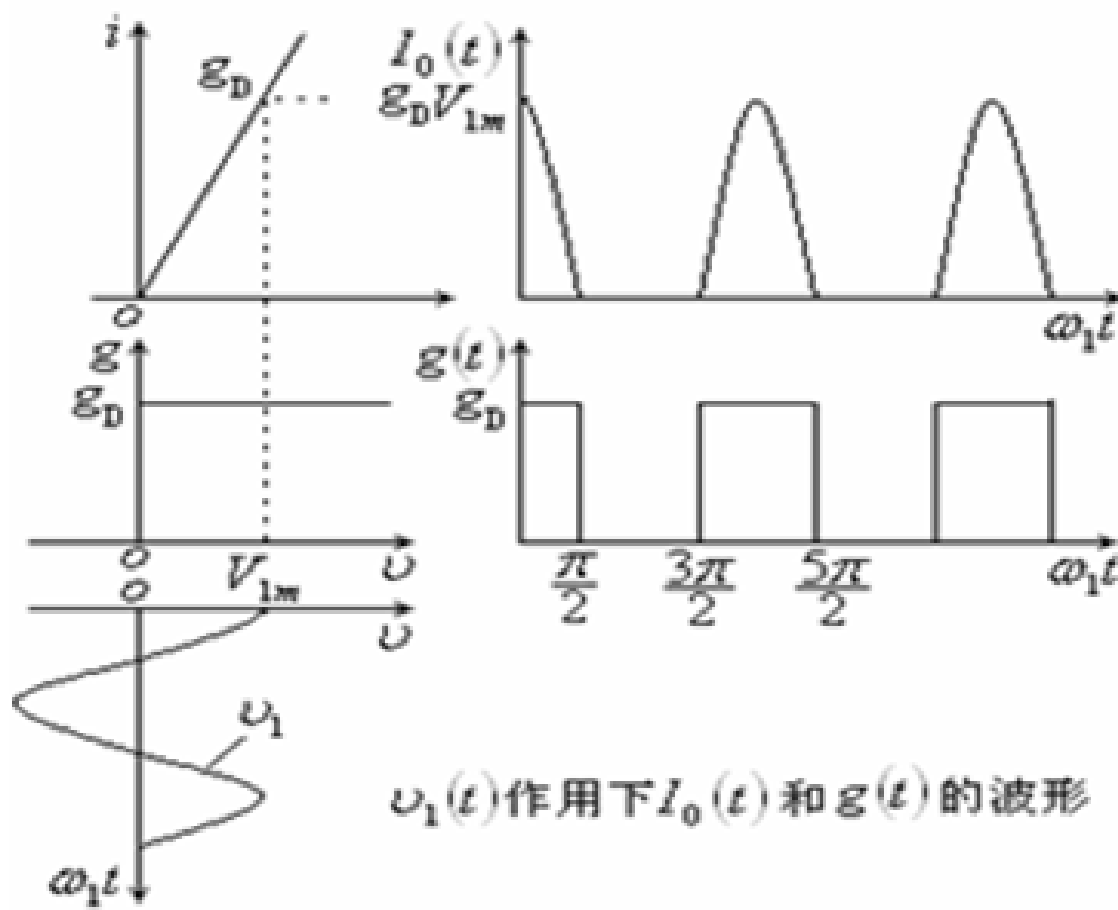
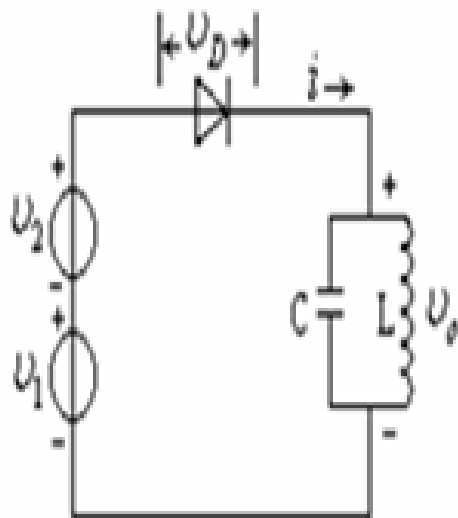
用于大小两个信号同时作用与一个有源器件，又称为时变参量电路分析法，如晶体管混频等等

$$K_1(\omega_1 t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos \omega_1 t - \frac{2}{3\pi} \cos 3\omega_1 t + \dots$$

$$I_0(t) = I_0(v_1) = I_0(V_{1m} \cos \omega_1 t) = g_D v_1 K_1(\omega_1 t)$$

$$g(t) = g(v_1) = g(V_{1m} \cos \omega_1 t) = g_D K_1(\omega_1 t)$$

$$i = I_0(t) + g(t)v_2 = g_D(v_1 + v_2) K_1(\omega_1 t)$$





# 本课程内容安排的三个层次

- ①实现各功能的基本原理并由此导出基本电路
- ②进行合理近似，引出对电路进行近似的工程分析
- ③根据分析结果，提出对电路的设计原则及改进电路性能的基本途径



## 习题

**1-0**访问武汉大学课程中心高频电子线路网站学习电路仿真知识  
写出学习心得。

**1-1**画出无线通信收发信机的原理框图，并说明各部分的作用。

**1-2**给出无线通信系统中各部分的信号波形、频谱。

**1-3**无线通信为什么要用高频信号？

**1-4**无线通信为什么要进行调制？如何进行调制？什么是解调？

**1-5**无线电信号的频段或波段是如何划分的？各具体频段的传播特性和应用情况如何？

**1-6**超外差式接收机里“混频”的作用是什么？如果接收信号的频率是**2100MHz**，希望把它变成**70MHz**的中频，该怎么办？  
画出方框图并标明有关频率。



第一章习题解答

-完-

