

通信电子线路

Fundamentals of Communication Circuits

主讲：张莹
信息与通信工程学院



联系方式

联系方式:

办公室: 西一楼525 (请提前联系)

Email: yzhang627@xjtu.edu.cn

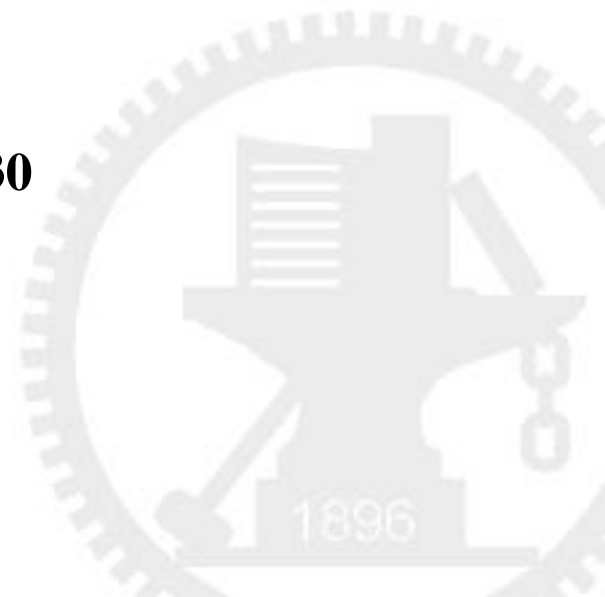
电话: 18092940735 (微信)

上课时间:

1-12周 周一 7-8节, 周三 3-4节

日常答疑: 周一上午9:00~12:00; 周三下午2:00~4:30

课件下载: 思源学堂

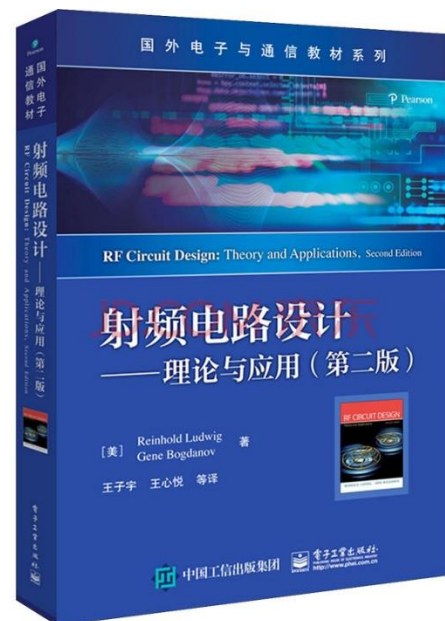


教材及成绩计算

教材



新版



- 课程成绩计算办法

期末（闭卷考试）	70%
课堂考勤	10%
课后作业	10%
设计大作业	10%

符均：通信电子线路实验

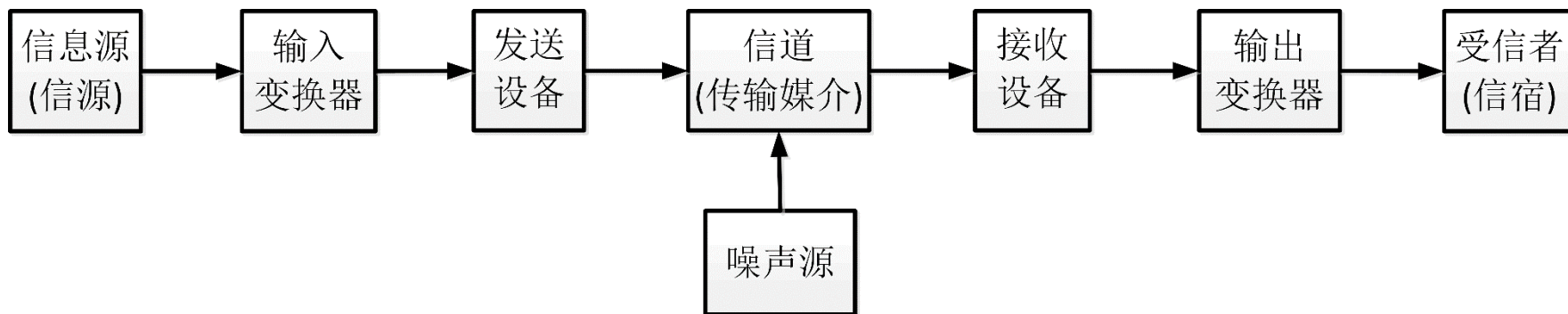
绪论 (Introduction)

- 通信系统的组成
- 无线通信技术的发展
- 无线传输的主要问题及射频方案
- 课程内容、特点与学习方法



通信系统的组成

通信是把信号（信息）从发信端（信源）传递到受信端（信宿）的过程。用于完成通信的系统就是**通信系统**。



通信系统的一般结构

通信系统的任务就是根据被传递信息的不同属性和通信用户的不同使用需求，选用合理的系统结构、处理方法和实现媒介，最终实现**高效、可靠**的信息传输。

绪论 (Introduction)

- 通信系统的组成
- 无线通信技术的发展
- 无线传输的主要问题及射频方案
- 课程内容、特点与学习方法



通信技术的发展历史

- 通信发展的两大历史阶段

1) 依赖人力实现的信息交流

- 信息的抽象与描述——语言、文字、数制、符号（鼓语、手语、八卦）
- 信息的发射与接收——烽火狼烟、邮车驿马、飞鸽传信、马拉松

2) 以电磁波和光为媒介的信息交流（近200年以来）



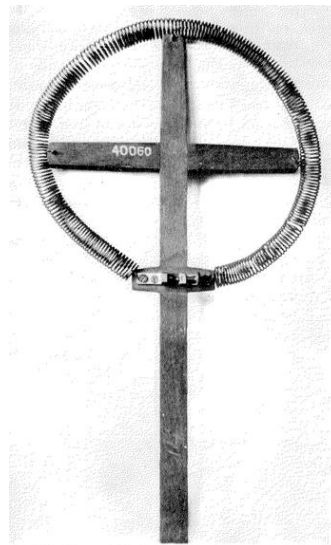
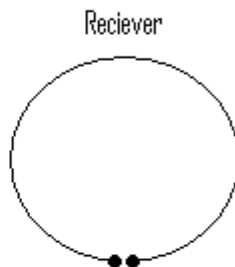
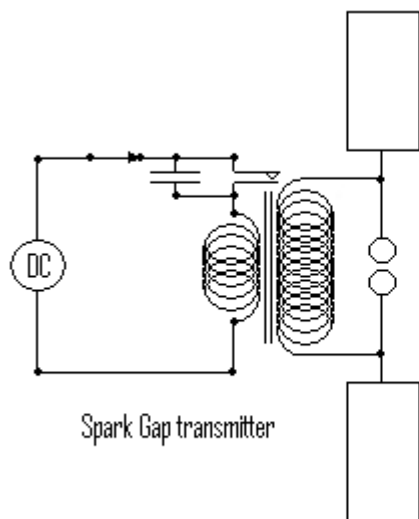
无线通信的发展历程

1820年 Oersted 发现电流会产生磁场；

1831年 Faraday发现导线作切割磁力线运动产生感应电流；

1864年 Maxwell提出电磁场方程组，预言电磁波存在；

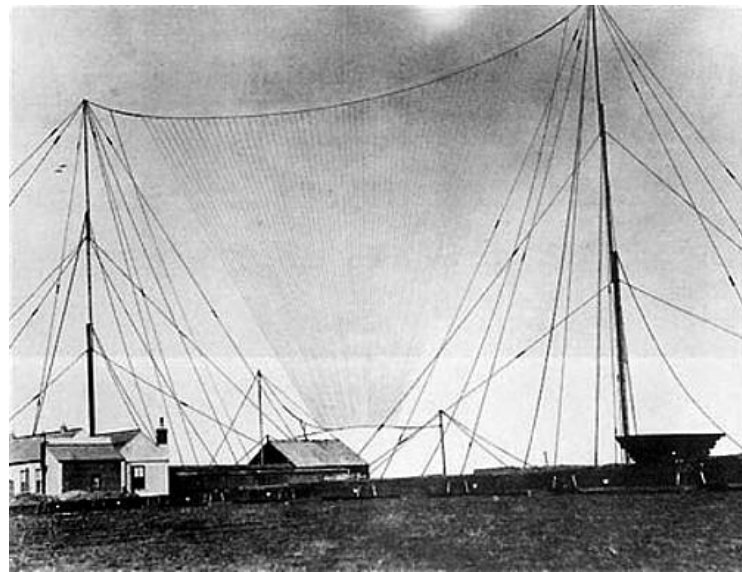
1887年 Herz的电磁波辐射实验辐射出100MHz电磁波；



Herz的发射机和检测器

无线通信的发展历程

1901年 Marconi在加拿大Newfoundland 收到从英国 Cornwall 发出的无线信号，传输距离 2200 英里。



1920年 AM广播在美国Pittsburgh开通；

1933年 英国BBC广播电视开通；

无线通信的发展历程

1947年 Brattain, Bardeen, Shockley发明晶体管;



W. SHOCKLEY
(1910-1989)



J. BARDEEN
(1908-1991)



W. H. BRATTAIN
(1902-1987)

无线通信的发展历程

1958年 Kilby和Noyce发明集成电路；



1962年 Telstar I 卫星发射，转播欧、美之间电视广播；

1965年 发射商用通信卫星；

无线通信的发展历程



*To Richard Frenkiel
Best Wishes*

Bill Clinton

Clinton总统为R. Frenkiel 授奖

70年代初 Bell实验室R. Frenkiel等提出蜂窝式无线移动通信网概念；

1983年 出现第一代商用蜂窝移动通信系统

...

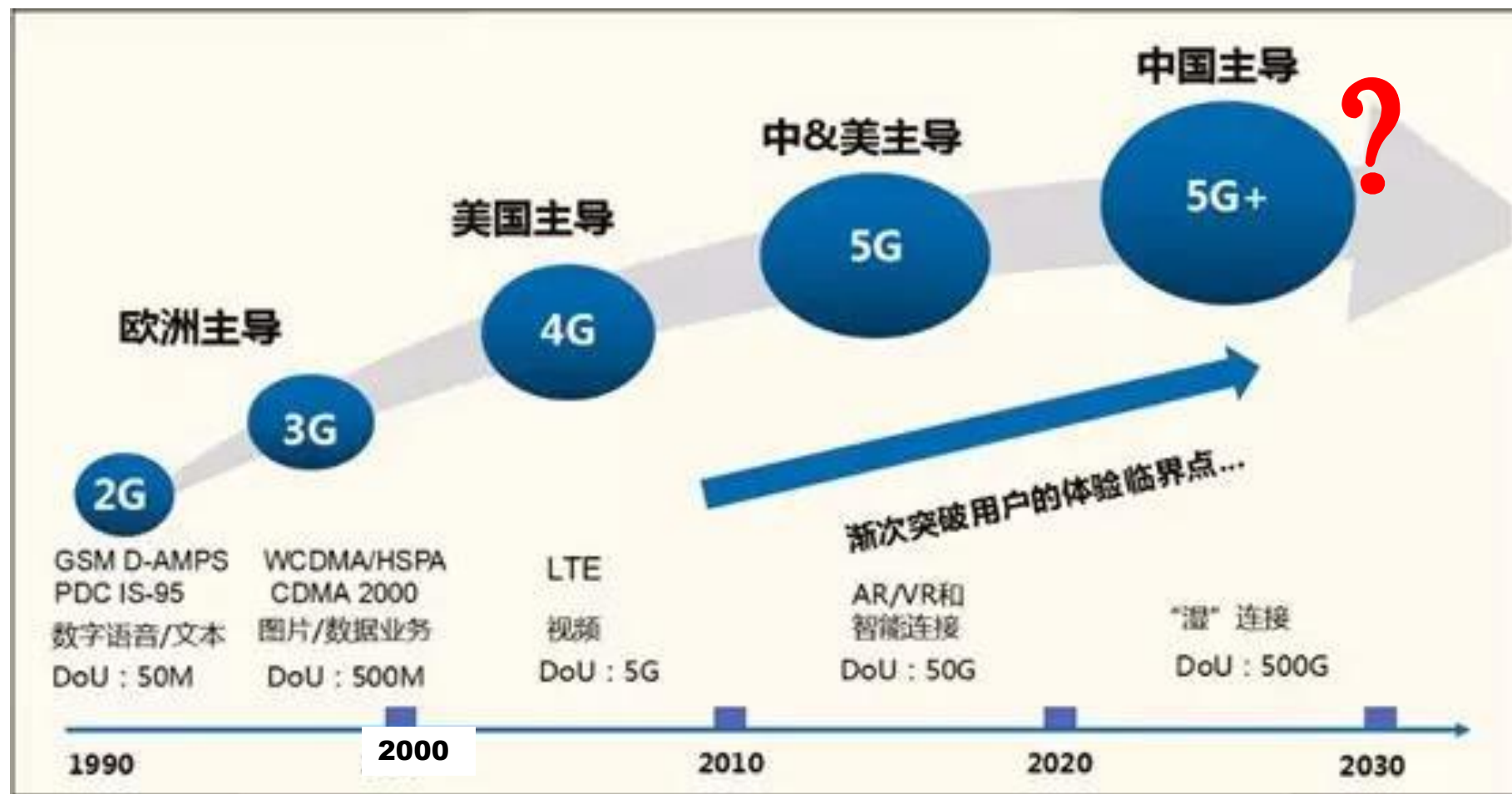
造就当今移动通信辉煌
局面的应首推
射频技术和微电子技术！

现代无线技术



无线通信的愿景

现代无线技术



现代无线技术

❖ 雷达系统 (Radar: Radio Detection And Ranging)



远程警戒雷达



火控雷达



大型陆基X波段雷达 (目标捕获、识别、跟踪、拦截)



炮弹测速雷达

现代无线技术



	“宙斯盾”舰载AN/SPY-1多功能相控阵雷达
工作频段	S波段3.1GHz~3.5GHz
探测距离	450km
电扫范围	方位角360、仰角90°
单阵面尺寸	3.65×3.65 m ² （共4面天线）
阵元数量	4×4490个
用途	是美国海军“宙斯盾”防空反导作战系统的核心，对空中和海面目标进行自动搜索、检测、跟踪并对SM-2导弹进行中段制导
特点	可同时监视上百个目标，跟踪几十个威胁目标，并对发射的导弹进行制导



雷达型号	JY-26有源相控阵防空雷达
工作频段	UHF波段
用途	中远程防空、弹道导弹预警及 隐形战机侦测
作用距离	对RCS为2 m ² 的空中目标发现距 离大于500km
作战对象	弹道导弹、隐形飞机等
体制	三坐标雷达，二维数字有源相 控阵
特点	数据传输率高、速度快、具备 反隐身能力，机动性强
国际水平	技术水平要高于俄罗斯的天空 系列米波雷达

现代无线技术



瑞典制造的S100B预警机

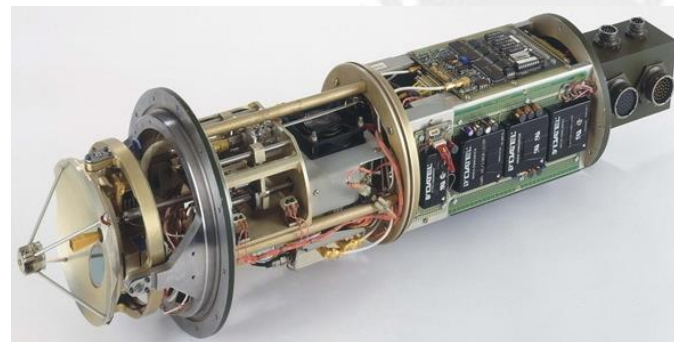
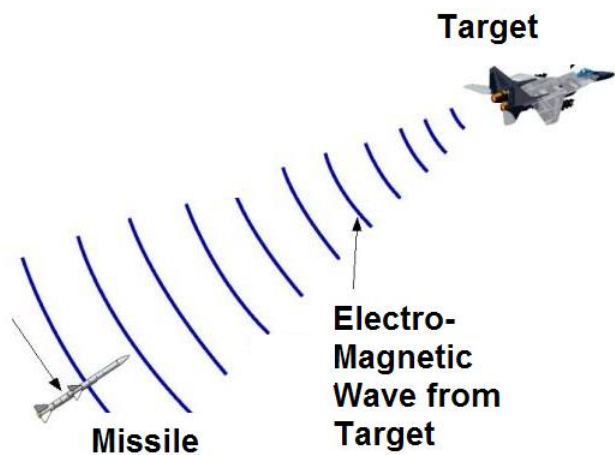


美军地勤人员检修F-15C战斗机APG-63(V)1有源相控阵雷达



现代无线技术

❖ 导弹、火箭系统 (Missile & Rocket)

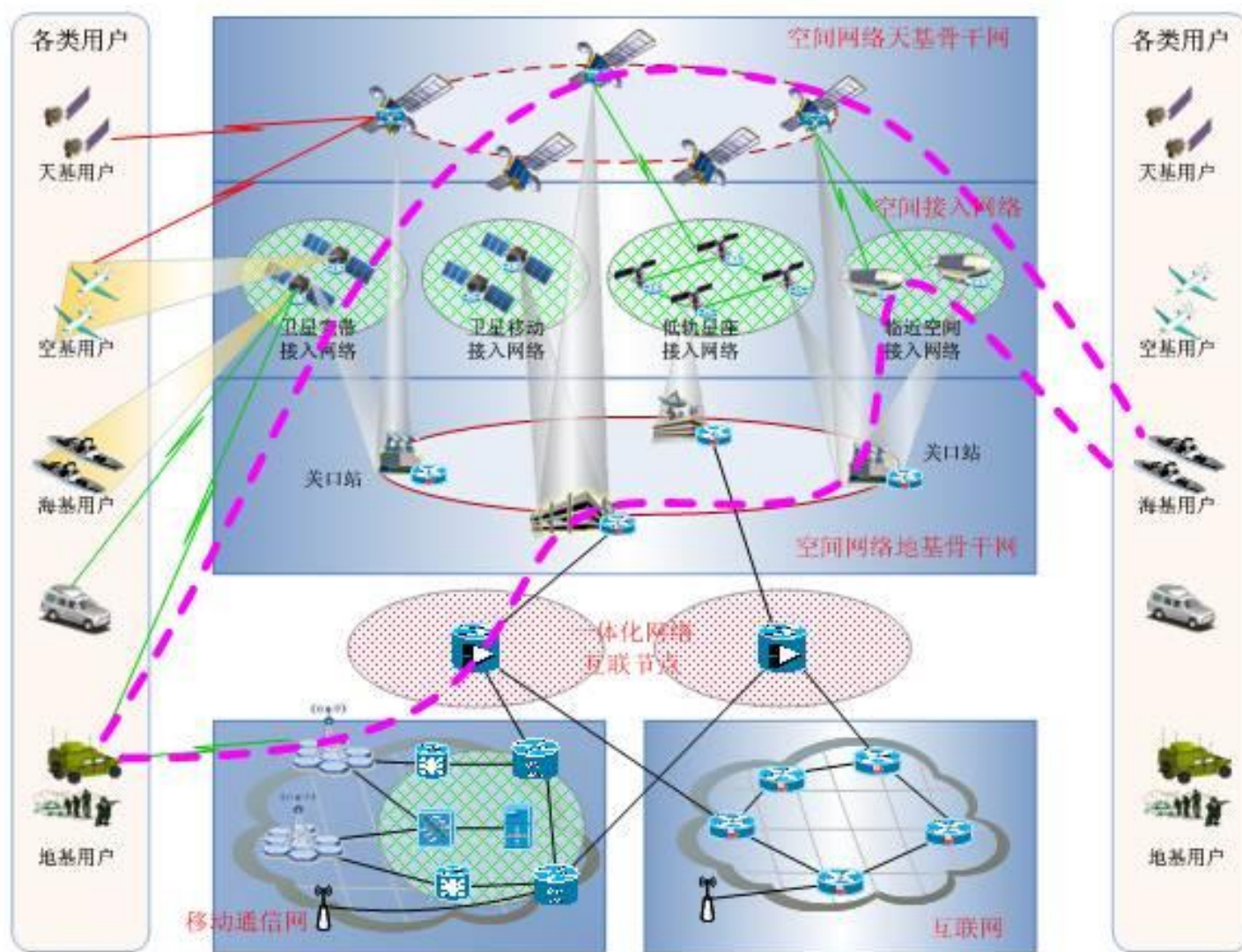


现代无线技术

❖ 卫星通信与导航系统 (Satellite)



现代无线技术

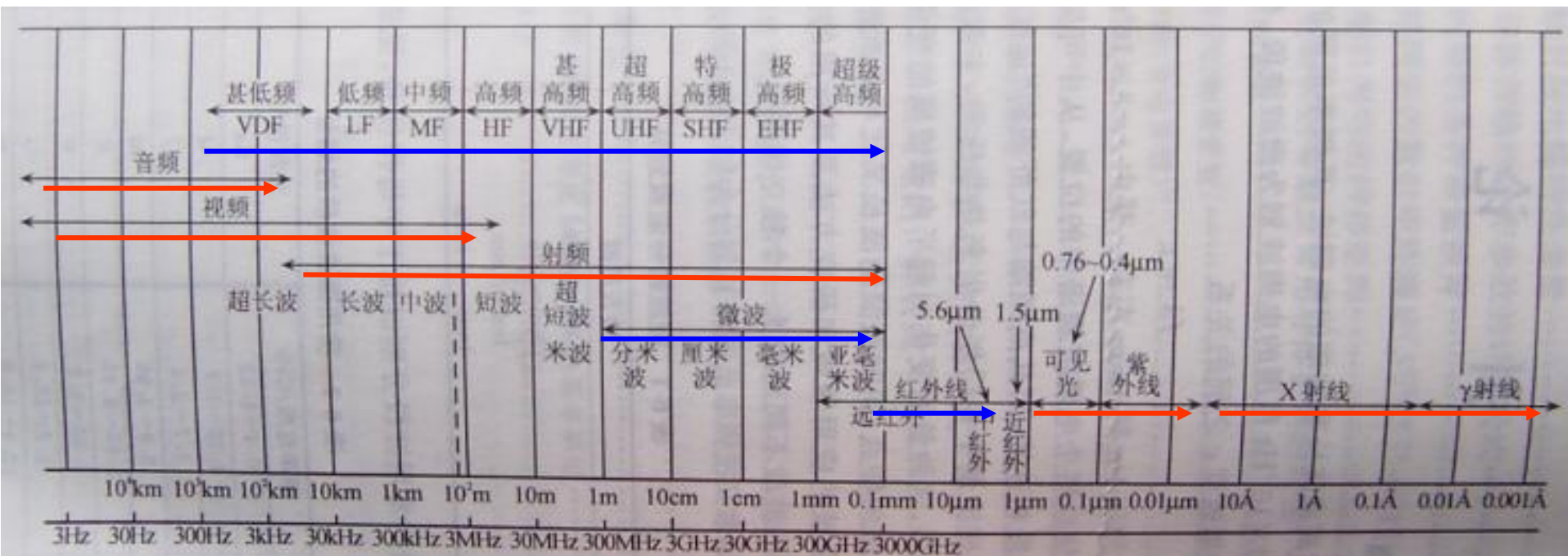


射频信号的波段划分

频率范围/Hz	频段名称	典型应用
3k~30k	甚低频 VLF	远程导航、水下通信、声纳
30k~300k	低频 LF	导航、水下通信、无线电信标
300k~3000k	中频 MF	广播、海事通信、测向、遇险求救、海岸警卫
3M~30M	高频 HF	远程广播、电话、搜寻救生、海事通信、业余无线电
30M~300M	甚高频 VHF	电视、调频广播、陆地交通、空中交通管制、警察、导航、飞机通信
300M~3G	特高频 UHF	电视、蜂窝网、微波链路、无线电探空仪、卫星通信、GPS、监视雷达
3G~30G	超高频 SHF	卫星通信、微波链路、机载雷达、气象雷达、移动通信
30G~3T	极高频 EHF	雷达着陆系统、卫星通信、移动通信、铁路业务
43T~3000T	红外-可见光-紫外	光通信系统

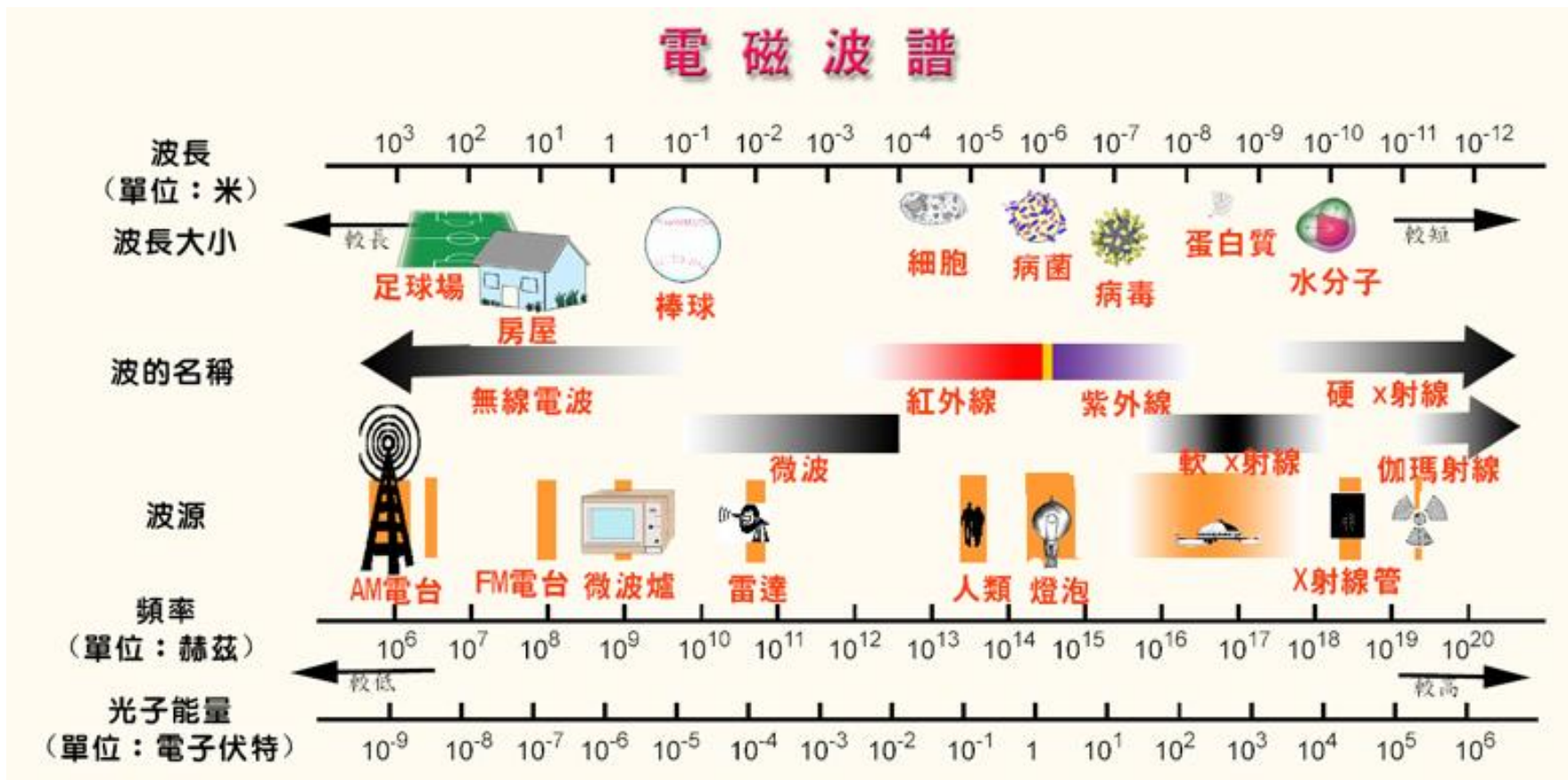
射频 (Radio Frequency, RF) 表示范围在300KHz~300GHz之间的电磁频率

电磁波谱



电磁波谱

电磁波包括的范围很广。实验证明，无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线都是电磁波

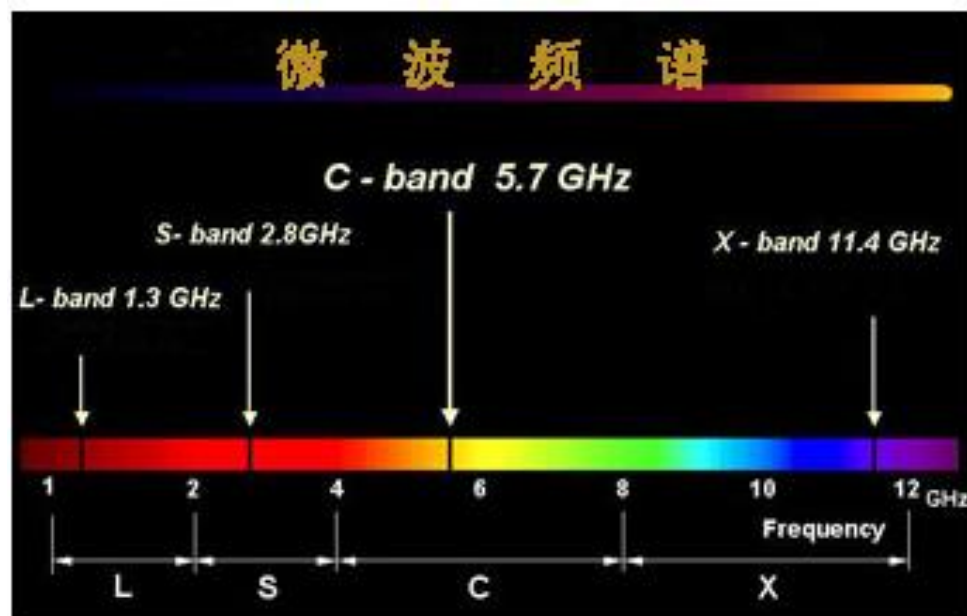


射频信号的波段划分

❖ 微波的概念：Microwave

微波是指频率为300MHz-300GHz的电磁波，即波长在1米到1毫米之间的电磁波，是分米波、厘米波、毫米波的统称。

频段	频率	波长
P 波段	0.23~1GHz	130~30cm
L 波段	1~2GHz	30~15cm
S 波段	2~4GHz	15~7.5cm
C 波段	4~8GHz	7.5~3.75cm
X 波段	8~12.5GHz	3.75~2.4cm
K _u 波段	12.5~18GHz	2.4~1.67cm
K 波段	18~26.5GHz	1.67~1.13cm
K _a 波段	26.5~40GHz	1.13~0.75cm
毫米波	40~300GHz	7.5~1mm
亚毫米波	300~3000GHz	1~0.1mm



无线通信系统的工作频率

2G网络

GSM: 850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz

3G网络 (WCDMA /TD)

WCDMA: 2100MHz/1900MHz/850MHz (中国联通3G)

TD-SCDMA: 1880-1920MHz/2010-2025MHz (中国移动3G)

CDMA2000: 1920-1935MHz/2110-2125MHz (中国电信3G)

4G网络

TDD-LTE: 1900MHz/2300MHz/2600MHz (中国移动4G)

FDD-LTE: 1800MHz/2600MHz (中国电信和中国联通的4G)

共6模13频段

TTD-LTE Band38/39/40, LTE FDD Band7/3, TD-SCDMA Band34/39, WCDMA Band1/2/5, GSM Band2/3/8

高数据速率、低延迟、高容量…

绪论 (Introduction)

- 通信系统的组成
- 无线通信技术的发展
- 无线传输的主要问题及射频方案
- 课程内容、特点与学习方法



无线通信系统示例

我们周围的无线信号:

- 广播电视信号
- 商用无线通信服务

常用指标:

1. 工作频率
2. 通频带宽
3. 增益
4. 灵敏度
5. 相频特性等



-50.00dBm #Atten:0 dB Log/ 10 dB/ Y Axis Unit:dBm

无线频谱：中心频率95MHz，频率范围20MHz

Center: 95 000 000 Hz Span: 20 000 000 Hz Start: 85 000 000 Hz Stop: 105 000 000 Hz
VBW: 10 000 Hz VBW/RBW: 1 SwpTime: 1.72 s

Marker1:	91 565 217 Hz	-68.45dBm	Marker3:	101 086 957 Hz	-72.14dBm	Marker5:	98 826 087 Hz	-88.89dBm
Marker2:	89 608 696 Hz	-74.66dBm	Marker4:	93 086 957 Hz	-86.77dBm	Marker6:	104 260 870 Hz	-87.84dBm

Address: USB0::2391::65519::CN0147000590::0::INSTR

开始

2.

M.

N.

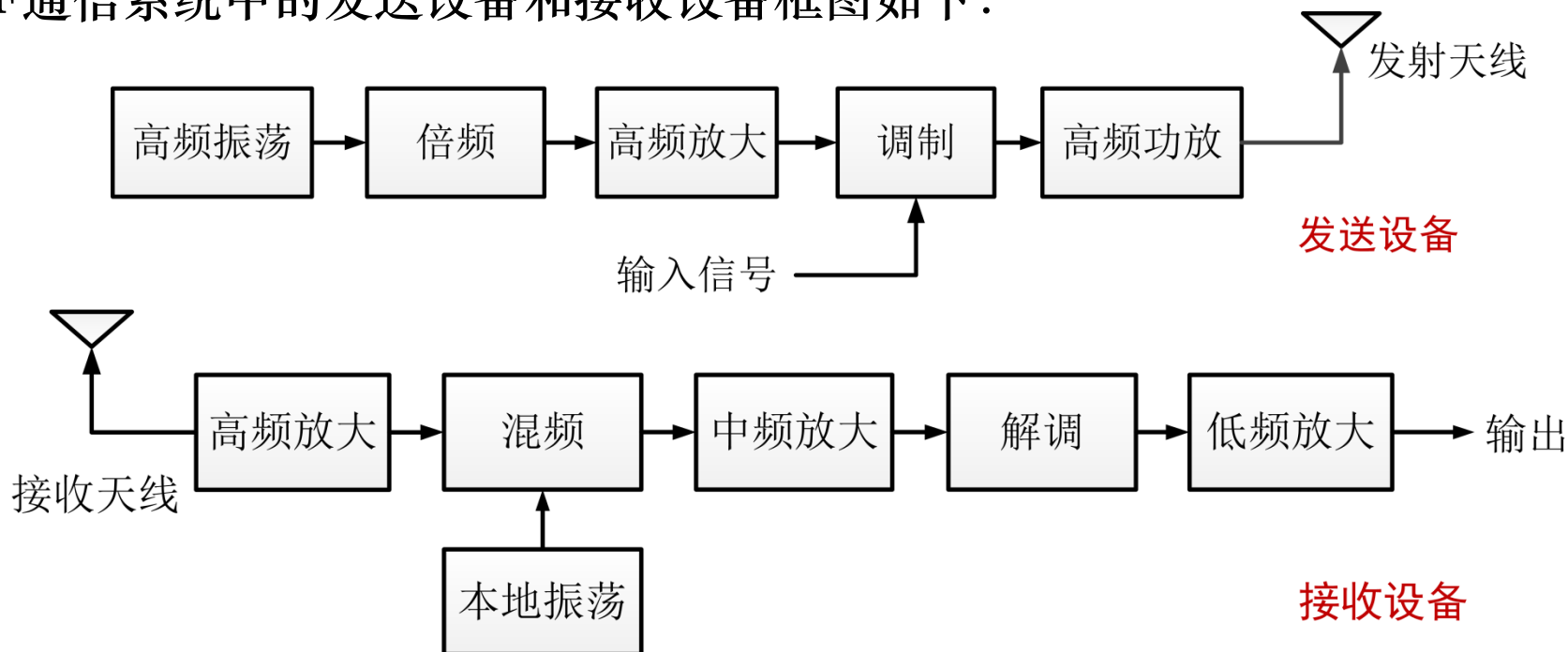
无线传输的主要问题

- 频谱资源限制
 - 信道匹配、调制解调的要求（天线尺度、带宽、过渡带…）
 - 工作频段更高带来的影响（器件、电路结构、分析方法）
- 高能效的传送要求
 - 在保证可靠性的前提下实现尽量远的信号传送
 - 接收微弱信号的能力+发送大功率信号的能力
 - 放大器增益、输出功率等
- 干扰和噪声抑制
 - 减小电路噪声+滤波措施+可靠性编码
- 对环境的适应性（功率变化、工作频率变化、多径等）
- 最优化设计（元器件、电路拓扑、工作条件、制造和维护）



射频收发信机

RF通信系统中的发送设备和接收设备框图如下：



- 图中所示接收机的结构称为超外差式接收机 (Superheterodyne Receiver)
- 本课程主要讨论无线通信系统中的发送设备和接收设备的电子电路实现技术。更具体地说，以RF通信设备的实现为主。

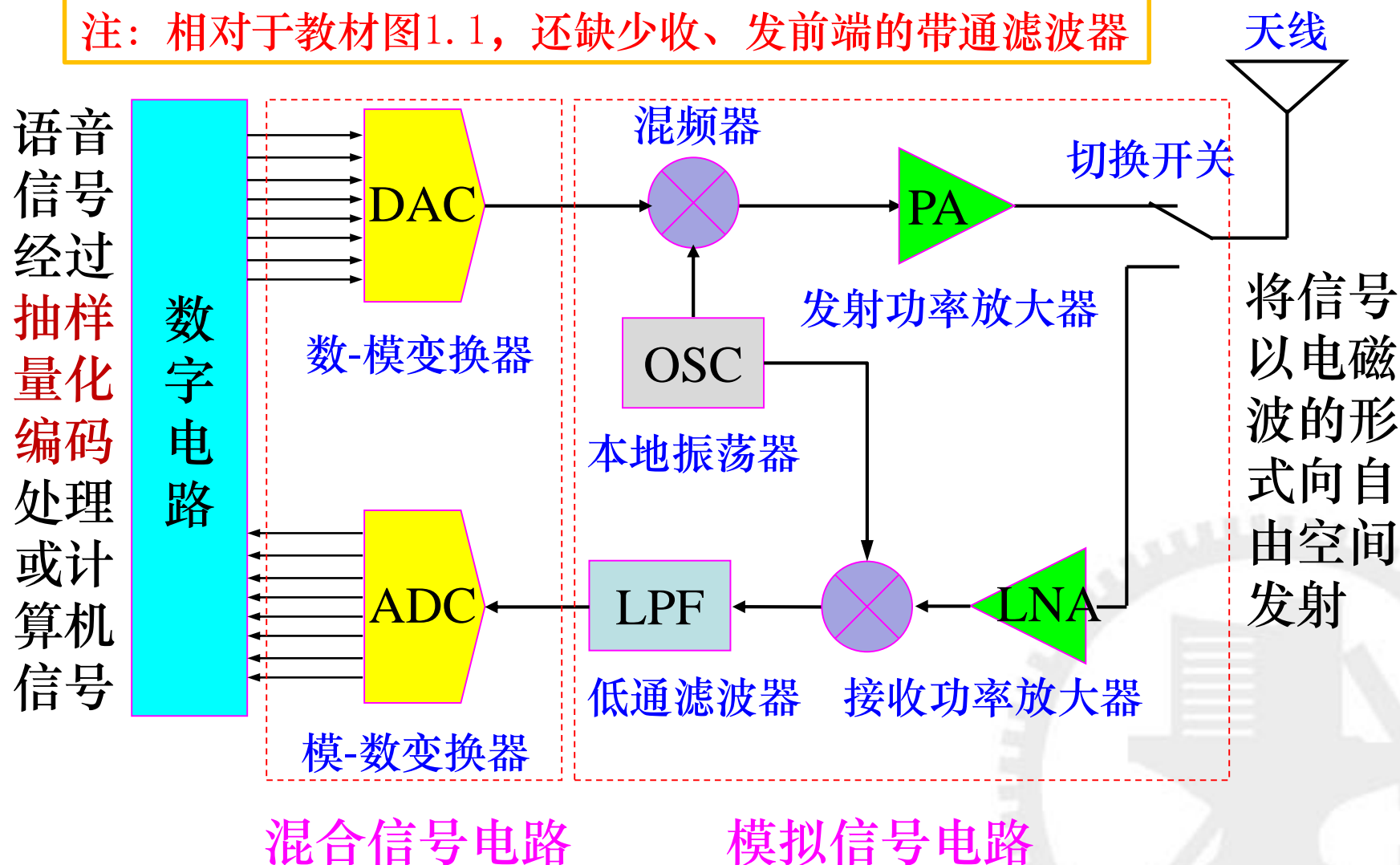
回顾上节

- 射频电路设计的重要性
 - 无线通信（手机用户飞速增长，5G，6G...）
 - 雷达（探测、目标跟踪、制导...）
 - 卫星通信（含导航、定位、遥感...）
 - 其它（物联网、工业互联网、医疗设备、射电望远镜...）
- 频谱的划分
 - Radio Frequency (RF)
 - ✓ TV, wireless phones, GPS
 - ✓ 300kHz~3000GHz
 - MicroWave (MW)
 - ✓ RADAR, remote sensing
 - ✓ 300MHz~3000GHz



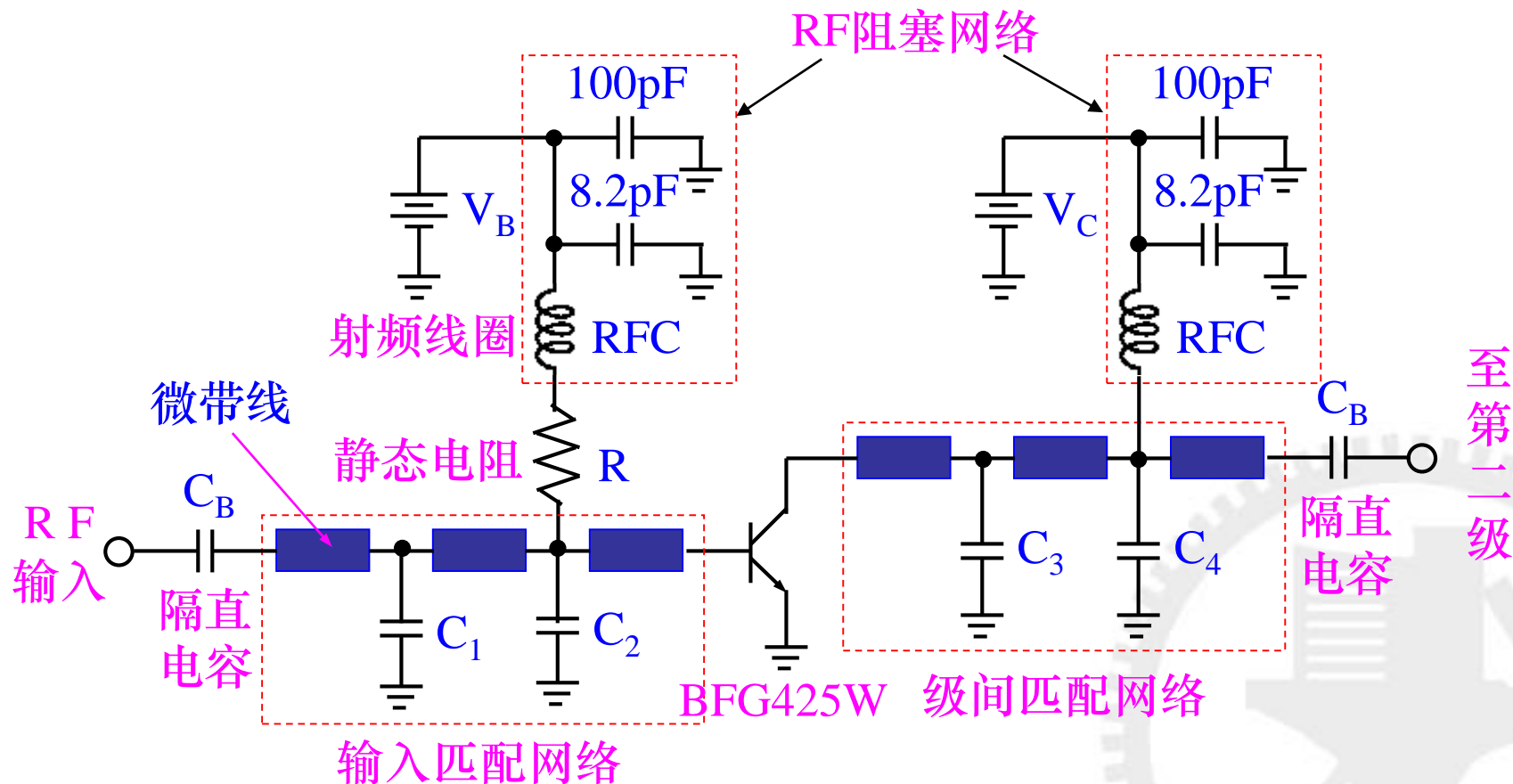
典型射频系统框图

注：相对于教材图1.1，还缺少收、发前端的带通滤波器



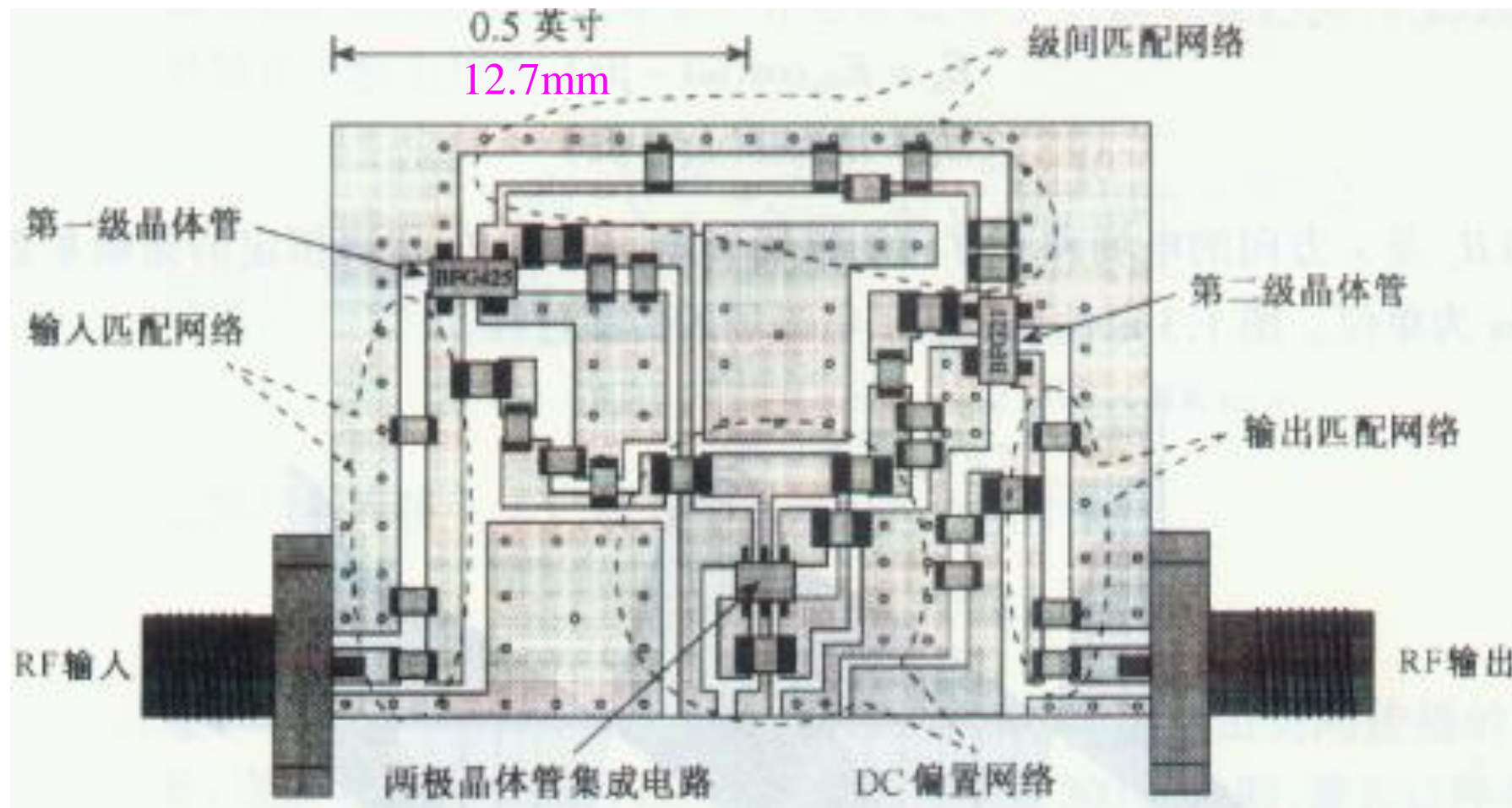
典型射频系统框图

移动电话2GHz功率放大器第一级简化电路

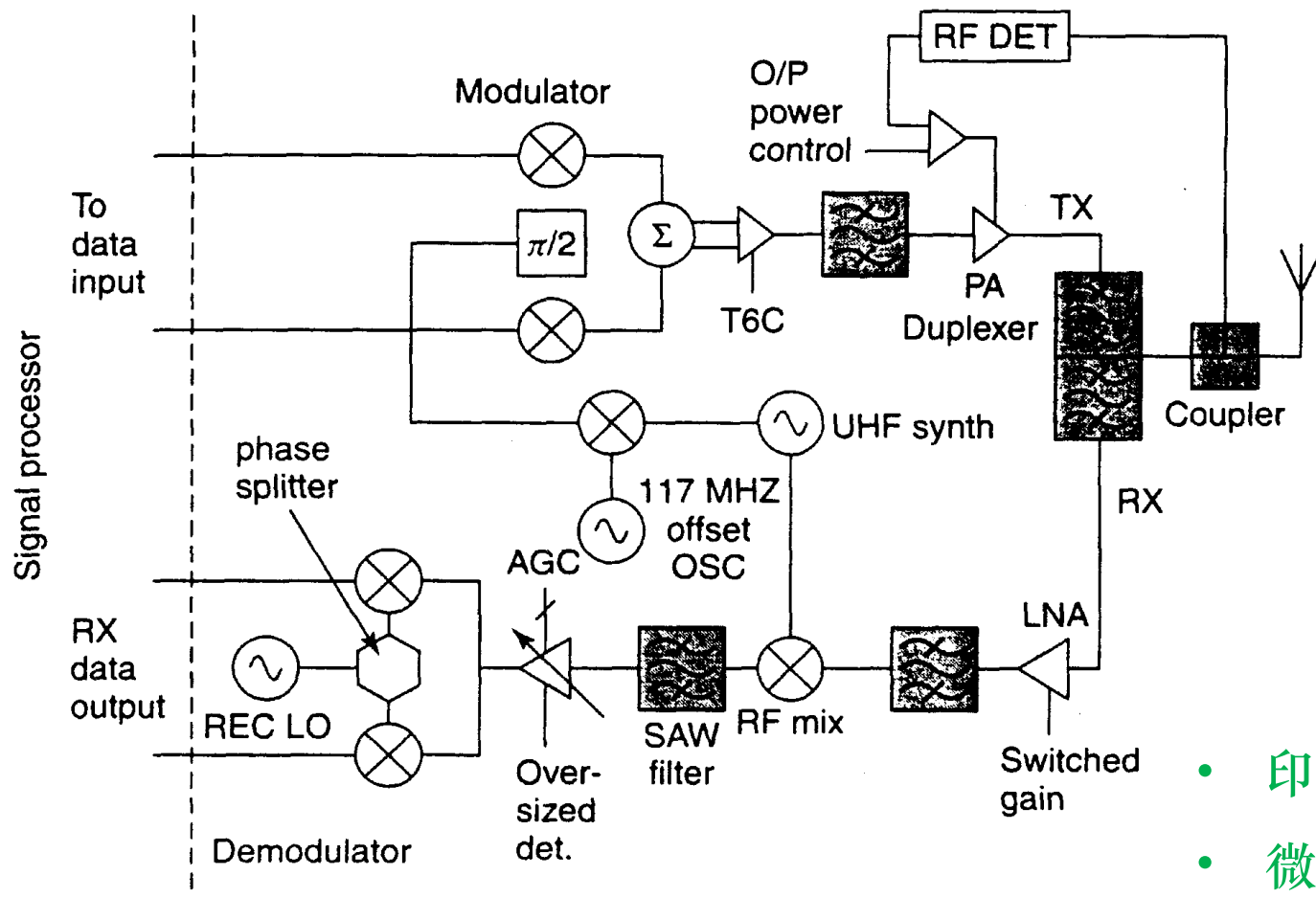


典型射频系统框图

功率放大器印刷电路板布局



典型射频系统框图

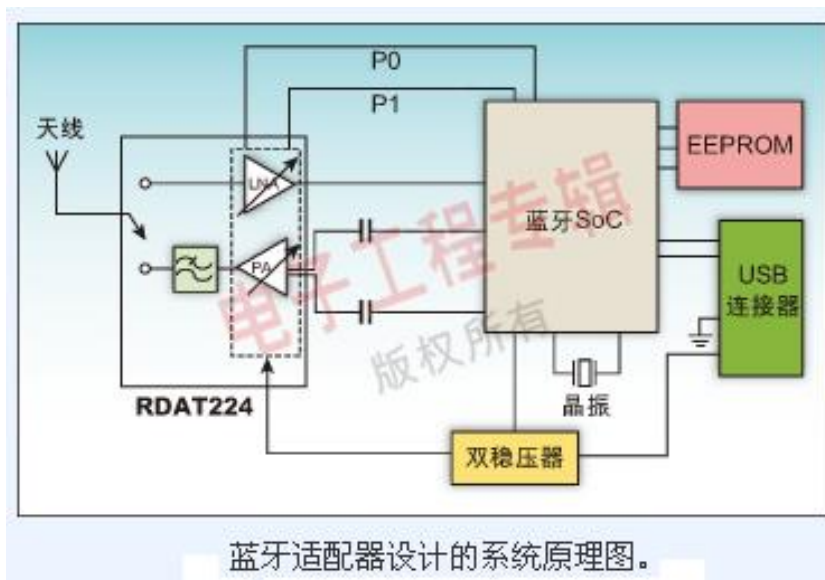


典型的GSM移动通信系统

- 印刷电路板
- 微带线实现部分元件
- 表面贴技术

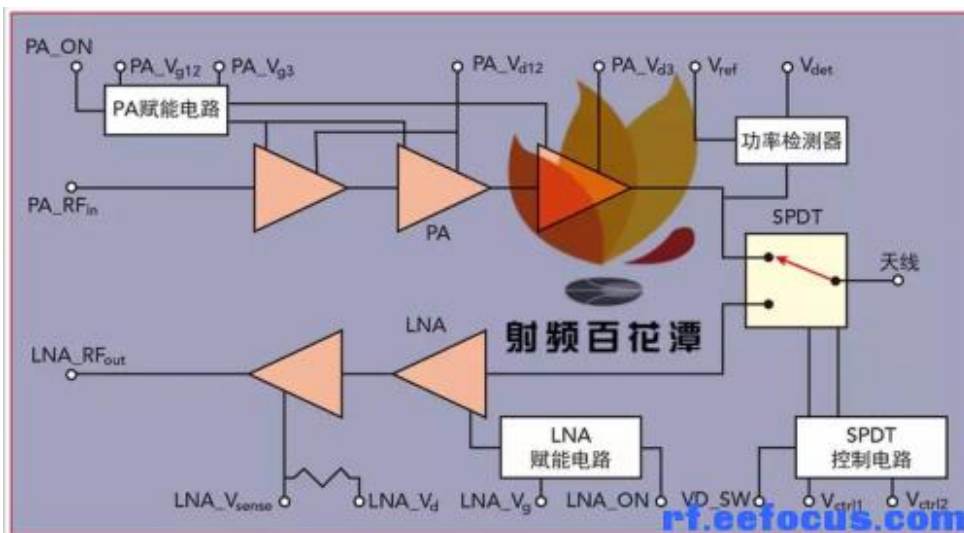
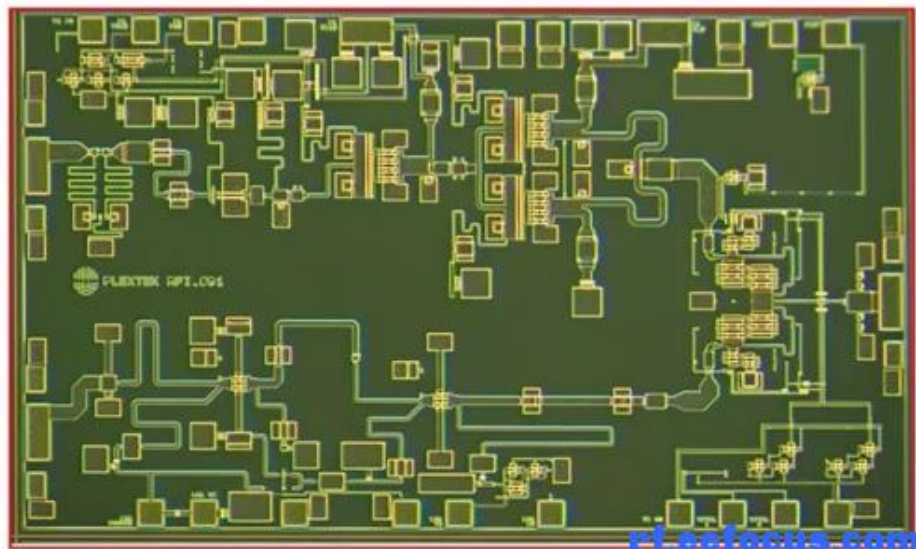
射频电路实例

❖ 蓝牙(Bluetooth)通信射频前端示例



射频电路实例

❖ 28GHz 5G通信射频前端模块MMIC芯片 (3.38mm × 1.99mm)



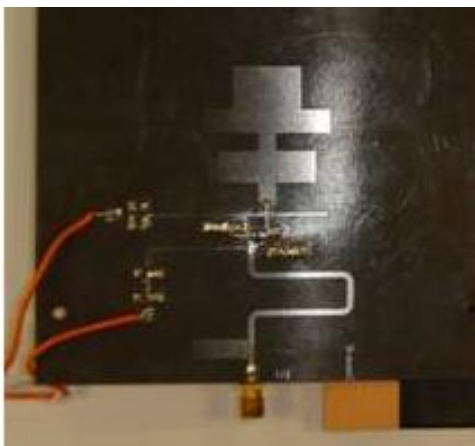
射频电路实例

名称	名称	数量	剩余
智能手表	歆歌儿童电话手表	4	2
	智美星智能手表	8	6
手机	华为C2857	4	3
	华为C2800	4	3
	诺基亚-黑色	4	3
	诺基亚-银色	4	4
	诺基亚-蓝色	4	3
	三星SCH-B309	4	3
	三星GT-E1220	4	3

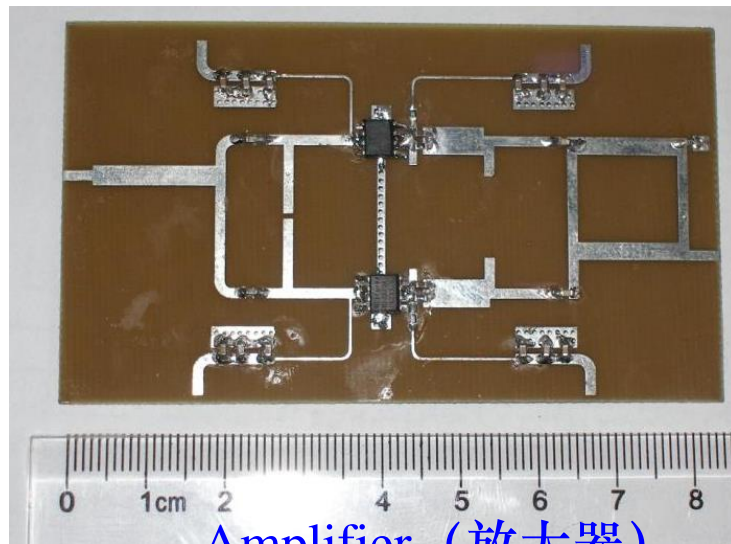


射频电路实例

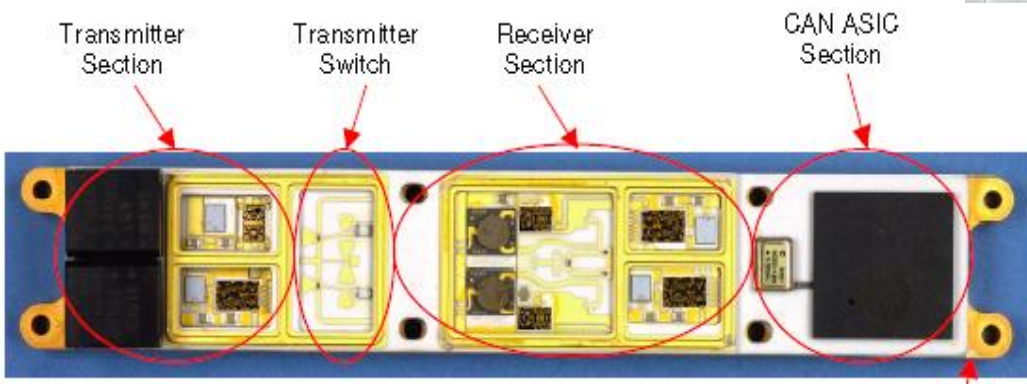
❖ 滤波器、放大器、天线等关键电路与系统



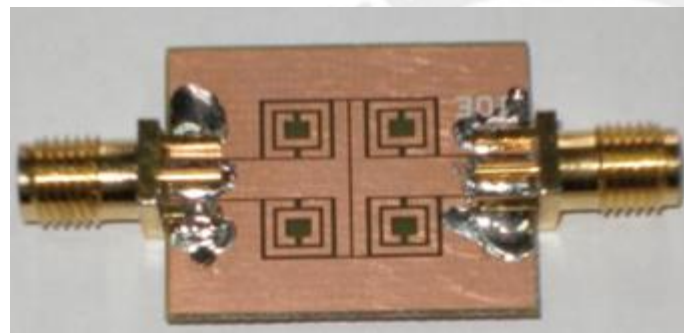
Antenna (天线)



Amplifier (放大器)



T/R module (T/R组件)



Filter (滤波器)

绪论 (Introduction)

- 通信系统的组成
- 无线通信技术的发展
- 无线传输的主要问题及射频方案
- 课程内容、特点与学习方法



课程内容

- 《通信电子线路》 Fundamentals of Communication Circuits
 - RF通信设备的实现
 - 内容涵盖频率为几百kHz以上的电路
 - 元器件
 - 分析方法和设计思路
 - 功能性电路的原理和设计方法
- 课程任务
 - 通过对常用电子器件、收发信机系统的分析和学习，使学生系统地掌握各种功能单元电路的工作原理和分析设计方法，为电子系统的工程实现和后续课程学习打下必备的基础。
 - 阻抗匹配、滤波器、放大器、混频器、振荡器...
 - 课程强调理论联系实际，注重培养学生解决实际问题的能力和工程实践能力。

课程内容

1. 无源元件 (Ch1)
2. 传输线理论 (Ch2)
3. 单端口网络和多端口网络 (Ch4)
4. 噪声系数与非线性失真 (附录H&Ch10)
5. 接收机结构
6. 射频滤波器设计 (Ch5)
7. 匹配网络和偏置网络 (Ch8)
8. 射频晶体放大器 (Ch9)
9. 振荡器和混频器 (Ch10)
10. 锁相环和DDS

射频电路的基本理论、概念、分析手段…

通信链路中关键模块设计

课程特点和学习方法

- 课程特点

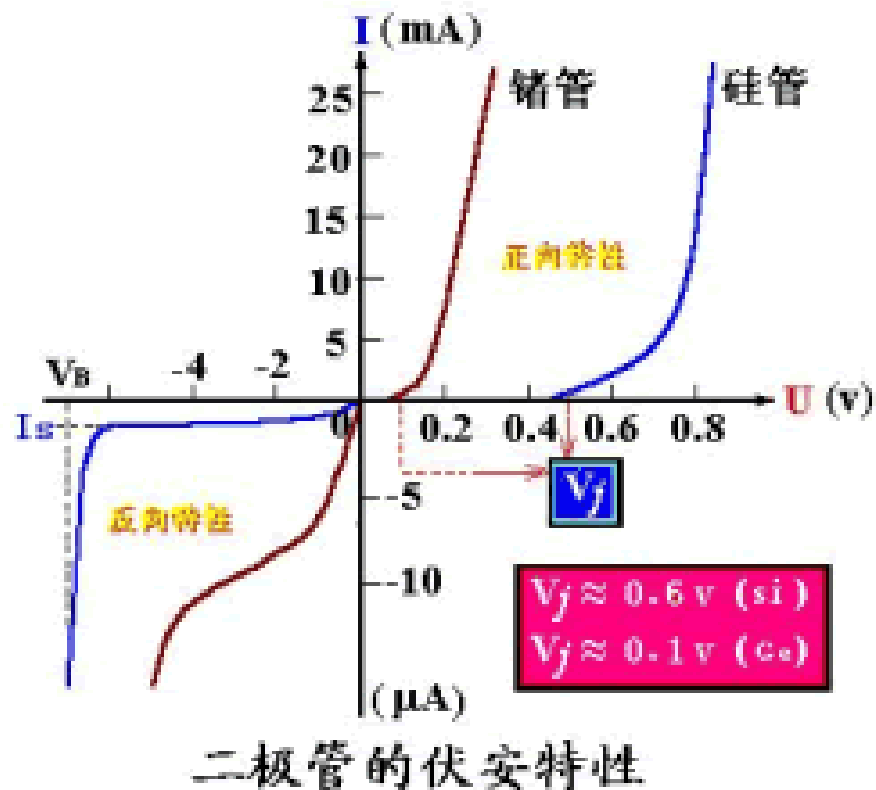
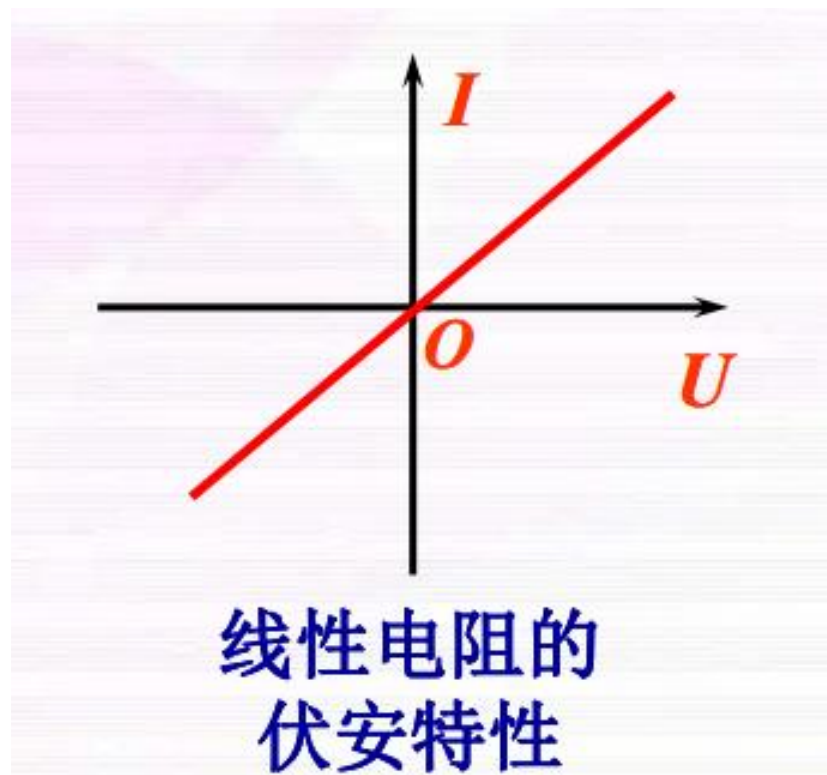
- 概念抽象、思维方式不同
- 知识点分散
- 工程性强

- 学习方法

- **明确学习任务**，以通信系统构成为主线，逐步学习理论知识
- **加强兴趣培养**，广泛阅读中外网站和文献资料
- 勤于电路仿真实验，将**所学用于实际应用**；积极参与竞赛

公众号：雷达通信电子战；高速射频百花潭

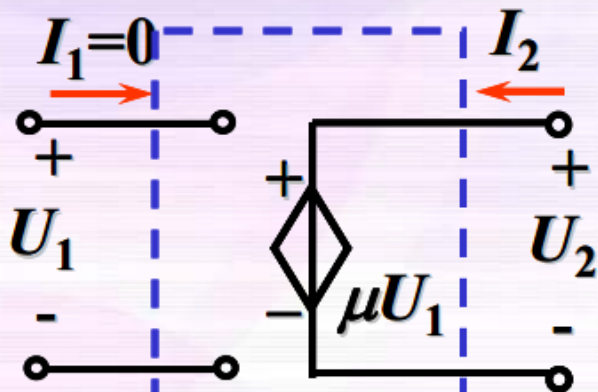
两个重要概念——非线性



图Z0111 二极管伏安特性曲线示意图

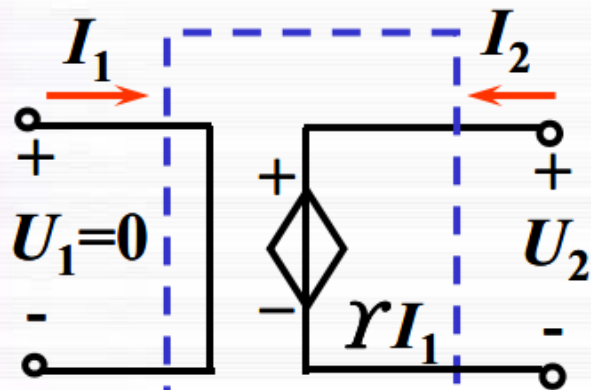
两个重要概念——受控源

电压控制电压源



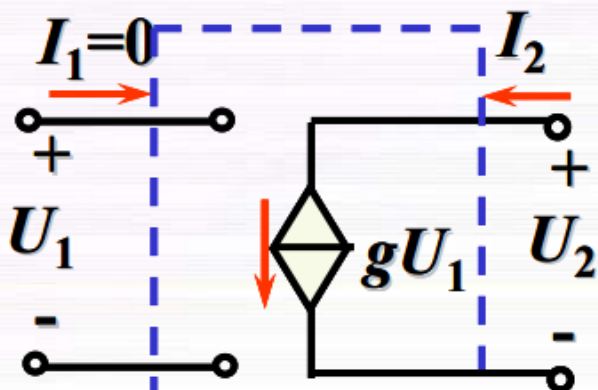
(a) VCVS

电流控制电压源



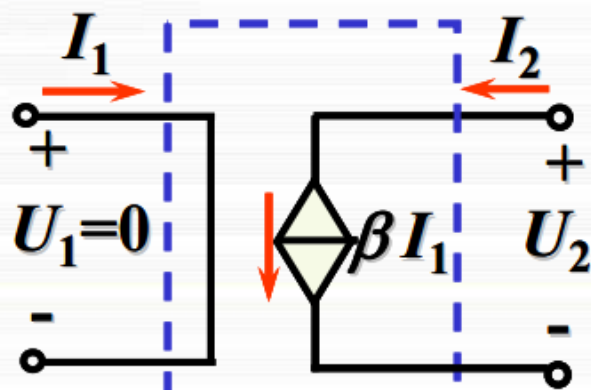
(b) CCVS

电压控制电流源



(c) VCCS

电流控制电流源

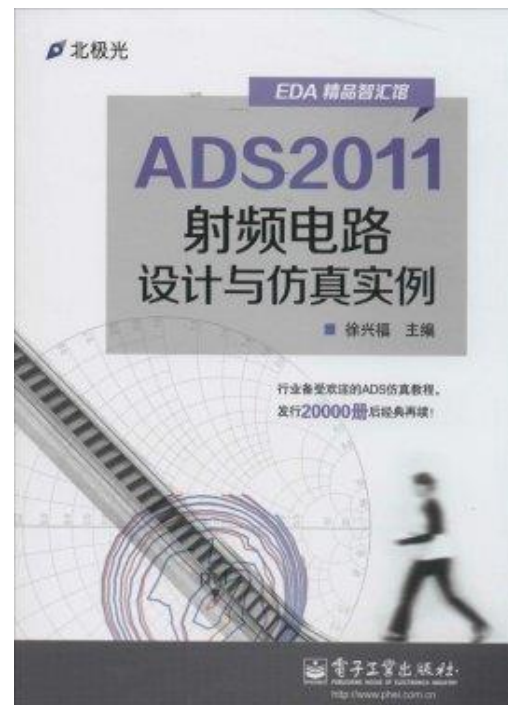


(d) CCCS

电路仿真软件

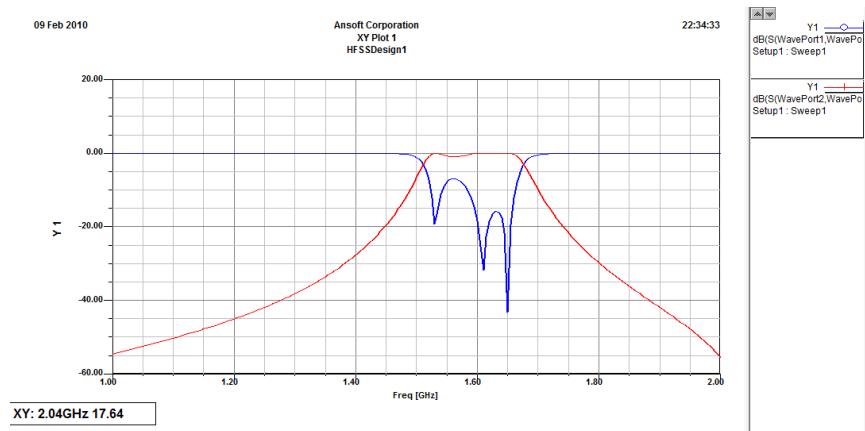
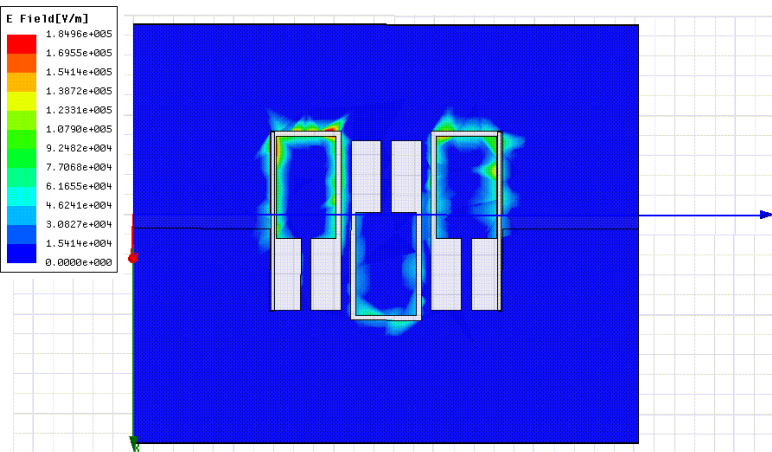


Agilent ADS



微波仿真软件

Ansoft HFSS



CST Studio Suite

