

主讲人：高泽华

确认名单



高泽华

北京邮电大学

信息与通信工程学院



Wechat(QQ):717490173

微信公众号: greatbupt

创业资源平台: m.buptcy.cn

Email: gaozehua@bupt.edu.cn

<https://greatbupt.kuaizhan.com>

确认名单



参考书目

- 教材：微波技术基础，李秀萍，刘凯明，高泽华
电子工业出版社
- 《电磁场与电磁波》，焦其祥，科学出版社
(2012)
 - 微波工程 (V3) Pozar D. M.著，张肇仪等译
 - 陈振国 编《微波技术基础与应用》
 - Annapurna Das and Sisir K Das, *Microwave Engineering*



说明

○ 考试以讲义、教材为准

- 平时成绩：20 %



{ 平时作业
其它

- 期中考试：30 %

- 期末考试：50 %



能力培养

- 创新能力
- 观察能力：理论联系实际





能力培养

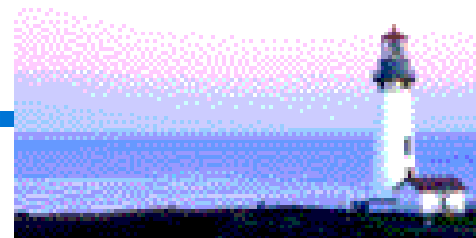


- 创新能力
- 观察能力：理论联系实际，从不同角度去观察
- 学习方法：如记忆（如何找规律）
- 实践：知识的运用
- 实例仿真：编程能力
- 通信实例
- 其它说明





主要内容



- 第1章 电磁理论
- 第2章 传输线理论
- 第3章 传输线和波导
- 第4章 微波网络分析
- 第5章 阻抗匹配和调谐
- 第6章 微波谐振器
- 第7章 功率分配器和定向耦合器
- 第8章 微波滤波器
- 第9章 铁氧体元件的理论和设计
- 第10章 噪声与有源射频元件
- 第11章 微波放大器设计
- 第12章 振荡器和混频器
- 第13章 微波系统导论



绪论

课程介绍

- 为什么要学习微波技术
- 知识背景
- 内容安排
- 需要注意的问题





绪论

为什么要学习微波技术

- 是“高频”通信的基础理论
 - 与前后课的关系：光通信、无线通信.....
 - 其它技术的基础：通信、电子.....





绪论

为什么要学习微波技术

○ 服务于社会

- 天线、电磁干扰.....
- 电子对抗、宇宙探索、信息技术.....
- 日常生活：微波炉
- 是电磁场的实际应用

利用天线，波束可很窄

微波是宇宙窗口，可透过地球上空的电离层向太空传播



宇宙“窗口”

地球的外层空间由于日光等繁复的原因形成独特的电离层，它对于短波几乎全反射，这就是短波的天波通讯方式。而在微波波段则有若干个可以通过电离层的“宇宙窗口”。因而微波是独特的宇宙通讯手段。

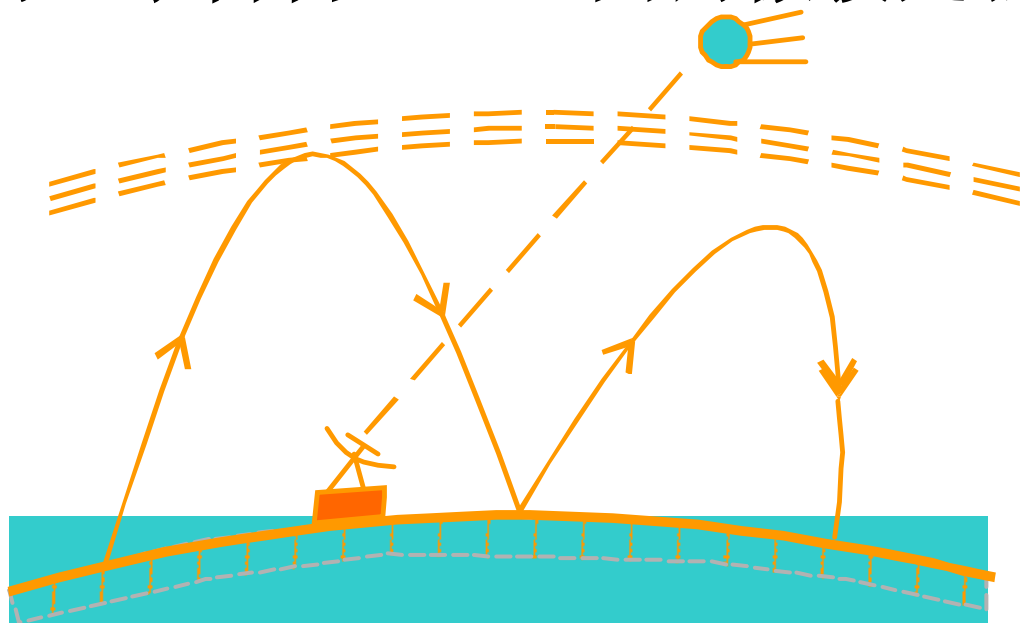


图 宇宙窗口



绪论

为什么要学习微波技术

○ 后续课程

- 天线理论
- 光纤理论
- 电磁兼容理论

○ 实际应用

- 高频电路设计分析
- 分布参数
- 电磁兼容
- 电子战 微波炸弹
- 日常生活：微波炉、手机

学校课程安排：必修→选修→必修



绪论

知识背景

○ 电磁场

- 只用结论
- 不是重新学电磁场：第一章只讲第一节





绪论

内容安排

- 传输线的基本理论（参电磁场）
- 阻抗匹配（无反射）、史密斯圆图
- 波导：矩形、圆波导、同轴线、光波导
- 微带传输线
- 微波网络
- 谐振腔、微波元器件：功率分配器，定向耦合器，微波滤波器，铁氧体元件，有源射频元件，微波放大器，振荡器和混频器
- 微波系统



绪论

需要注意的问题

- 强调概念和数学理解
 - 基本概念
 - 基本方法：注意场与路的方法
 - 独立作业
- 自学
- 预习—听课—复习—作业



绪论

○ 研究对象：微波

○ 什么是微波

Microwave

- 是一种电磁波

- 什么特点？

- 波长很短（1m~1mm）（1m~0.1mm）

- 频率很高



绪论

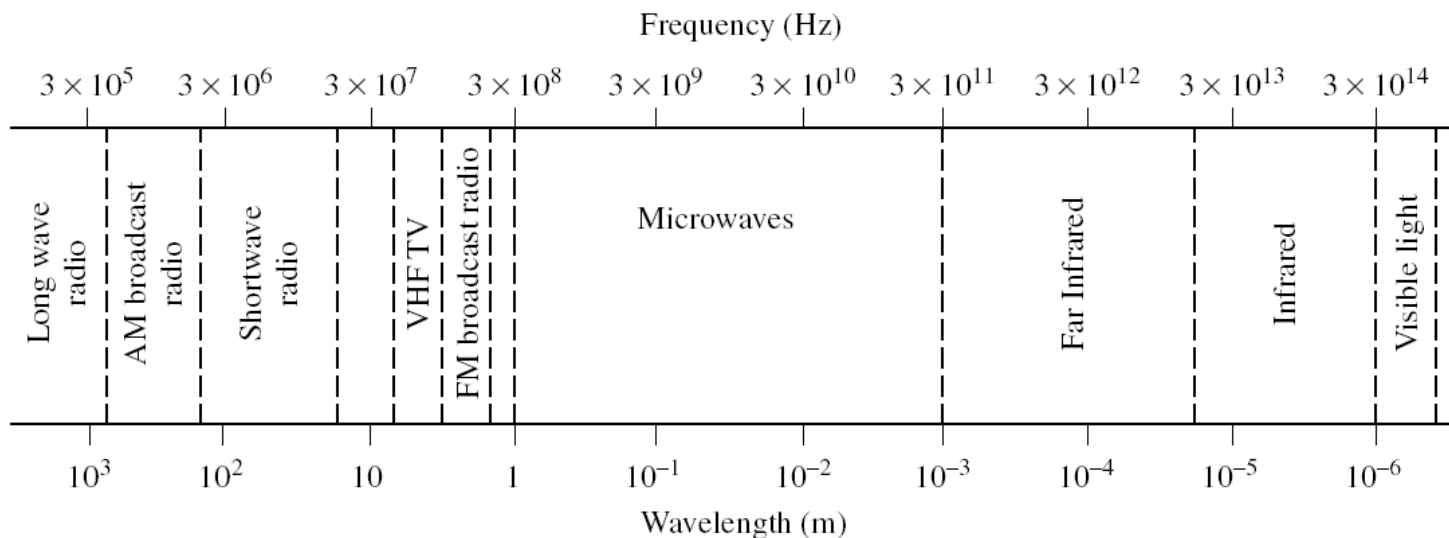
○ 电磁波谱：按波长从长到短分类：

- 普通无线电波（波长范围： $1\text{m}\sim 10^5\text{m}$ ）
- 微波（波长范围： $1\text{m}\sim 1\text{mm}$ ）
- 红外线（波长范围： $0.75\text{mm}\sim 0.76\mu\text{m}$ ）
- 可见光（波长范围： $0.76\sim 0.39\mu\text{m}$ ）
- 紫外线（波长范围： $0.39\sim 0.005\mu\text{m}$ ）
- x射线（波长范围： $0.005\sim 10^{-8}\mu\text{m}$ ）
- y射线（波长范围： $10^{-8}\mu\text{m}$ 以下）



绪论

电磁波谱:



Typical Frequencies

AM broadcast band	535–1605 kHz
Short wave radio band	3–30 MHz
FM broadcast band	88–108 MHz
VHF TV (2–4)	54–72 MHz
VHF TV (5–6)	76–88 MHz
UHF TV (7–13)	174–216 MHz
UHF TV (14–83)	470–890 MHz
US cellular telephone	824–849 MHz
	869–894 MHz
European GSM cellular	880–915 MHz
	925–960 MHz
GPS	1575.42 MHz
	1227.60 MHz
Microwave ovens	2.45 GHz
US DBS	11.7–12.5 GHz
US ISM bands	902–928 MHz
	2.400–2.484 GHz
	5.725–5.850 GHz
US UWB radio	3.1–10.6 GHz

Approximate Band Designations

Medium frequency	300 kHz to 3 MHz
High frequency (HF)	3 MHz to 30 MHz
Very high frequency (VHF)	30 MHz to 300 MHz
Ultra high frequency (UHF)	300 MHz to 3 GHz
L band	1–2 GHz
S band	2–4 GHz
C band	4–8 GHz
X band	8–12 GHz
Ku band	12–18 GHz
K band	18–26 GHz
Ka band	26–40 GHz
U band	40–60 GHz
V band	50–75 GHz
E band	60–90 GHz
W band	75–110 GHz
F band	90–140 GHz

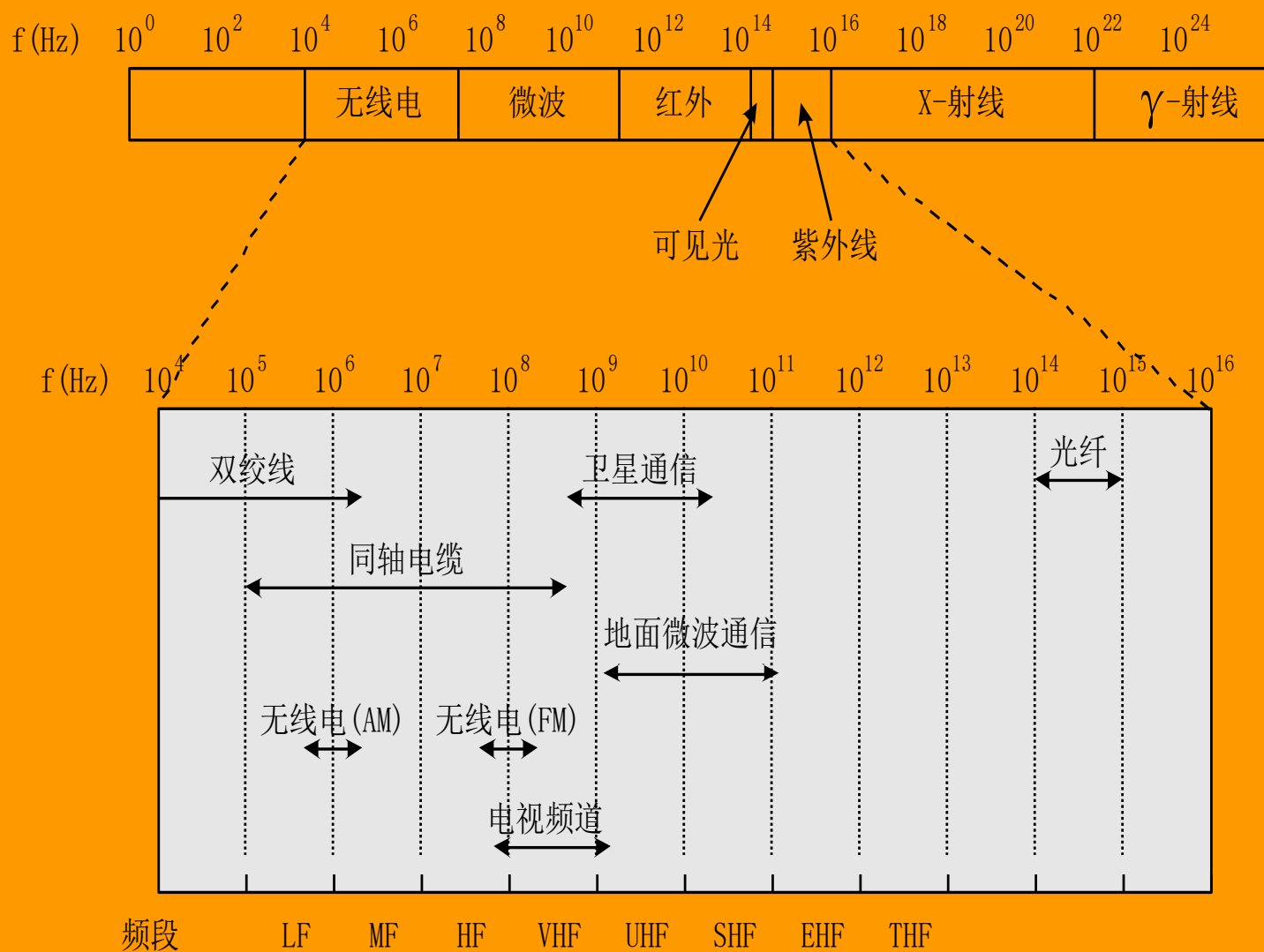


电磁波频率（波段）划分及相应传输媒介



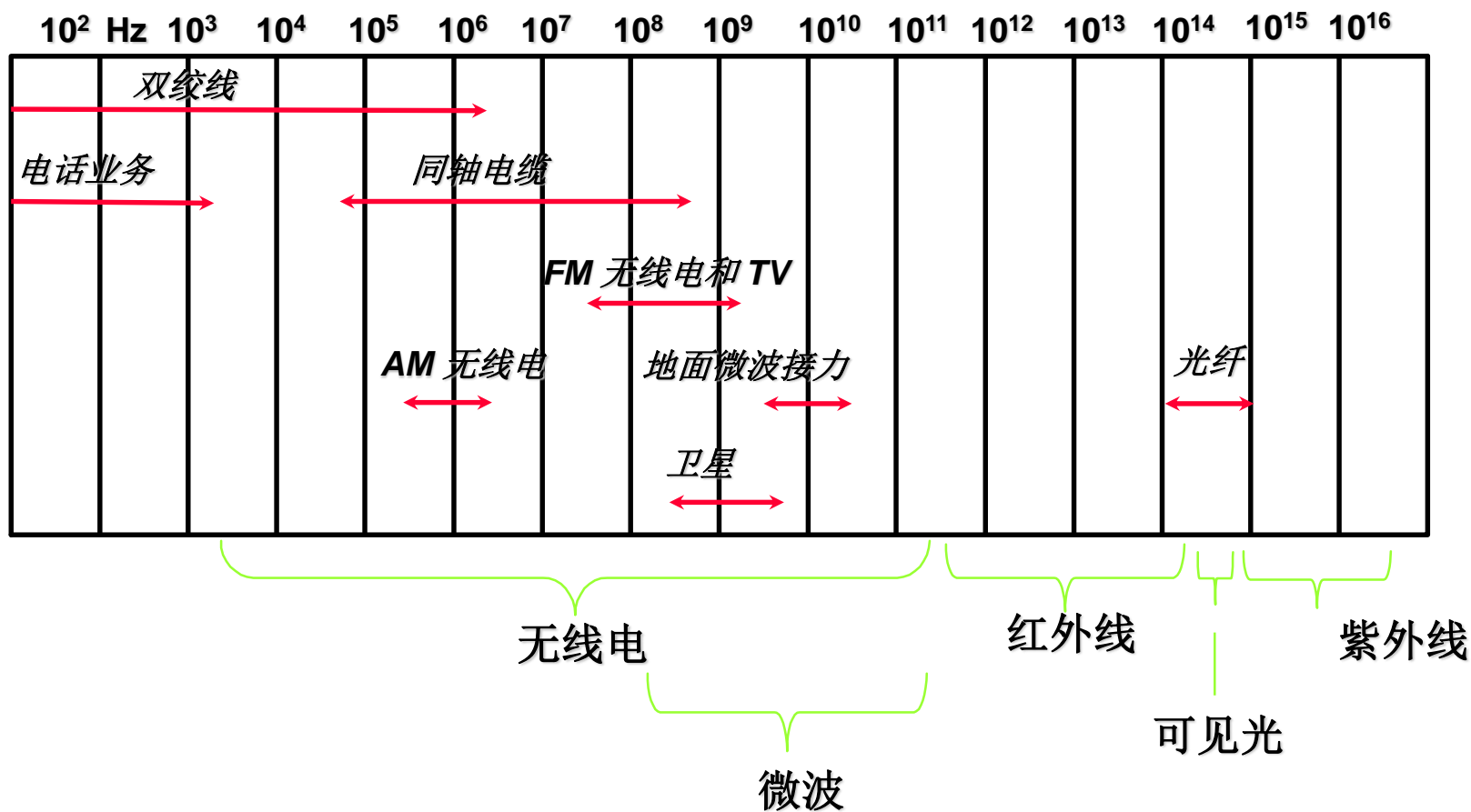
电磁波谱

- Radio
- Microwav
- Infrared
- Visible Li
- UV(UltraV
- X-rays
- γ-rays





几种媒体的传输频带





绪论

- 微波波长范围：1m~1mm
- 普通无线电波波长范围：1m~ 10^5 m
- 微波频率范围：0.3~300GHz
- 普通无线电波频率范围： 3×10^{-6} ~0.3GHz



绪论

- 电磁波的应用方式按频分复用
- 频带带宽、信息容量比较
 - 微波 大?
 - 普通无线电波 大?

微波频带宽，可容纳比其它波段多得多的无线电设备同时工作，中短波的总频带不足30MHz，而微波近 3×10^5 MHz，几乎是前者的1万倍。



绪论

- 普通无线电波频段划分：波长范围 $1\text{m}\sim 10^5\text{m}$
- 频率范围： $3\times 10^{-6}\sim 0.3\text{GHz}$

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称
超长波	100km~10km	3~30kHz	超低频ULF
长波	10km~1km	30~300kHz	低频LF
中波	1km~100m	0.3~3MHz	中频MF
短波	100m~10m	3~30MHz	高频HF
超短波	10m~1m	30~300MHz	甚高频VHF



绪论

- 微波频段划分：波长范围1m~1mm
- 频率范围： 0.3~300GHz

波段名称	波长范围	频率范围	频段名称
分米波	1m~10cm	0.3~3GHz	特高频UHF
厘米波	10cm~1cm	3~30GHz	超高频SHF
毫米波	1cm~1mm	30~300GHz	极高频EHF
亚毫米波	1mm~0.1mm	300~3000GHz	超极高频



特殊子波段

雷达

波段名称	波长	频率范围
L波段	22cm	1~2GHz
S波段	10cm	2~4GHz
C波段	5cm	4~8GHz
X波段	3cm	8~12.5GHz
K波段	1.25cm	18~27GHz
Ku波段	2cm	12~18GHz
Ka(Q)波段	0.8cm	27~40GHz



绪论

○ 应用

频率	波长 m	名称		一般应用	工业应用
30-300KHz	10^4-10^3	LF	中波	通讯、器材广播	高频感应加热
300-3000KHz	10^3-10^2	MF			短波
3-30MHz	10^2-10	HF			
30-300MHz	10-1	VHF	超短波	通讯、电视、广播	微波加热及其它应用
300-3000MHz	$1-10^{-1}$	UHF	微波	电视广播、微波	
3-30GHz	$10^{-1}-10^{-2}$	SHF		通讯、雷达、卫	
30-300GHz	$10^{-2}-10^{-3}$	EHF		星通讯	



微波特点

- 直线传播（近于）
 - 波长短，传播特性近于光
- 能够穿过电离层
 - 用卫星反射的技术，用三个卫星即可实现全球通信
- 多路通信
 - 微波频率高，频带宽，信息容量大



微波特点

- 频率高：对元器件有特殊要求
- 具有一定的穿透力：可以探测微观结构
 - 微波热效应：微波炉
 - 研究方法：长线/短线理论、分布参数



应用

○ 国防军事：

- 雷达
- 导弹
- 导航
- 电子战
- 军用通信





应用

○ 日常生活：

- 通信、遥感、微波能（如医疗、微波炉）
- 天文、气象、物质结构、分子钟、原子钟
- 射电天文学、微波气象学
- 量子电子学、微波波谱学等



应用

- 移动通信频率范围：400MHz~900MHz
 - 属于UHF （特高频）
- 电视频道：
 - 45~750MHz频段用于传输模拟电视信号
 - 582~750MHz频段用于传输数字电视信号
- 卫星通信：信号用微波来传输



应用

- 现代通信：所使用的工作频率越来越高
 - 寻呼台呼机：150MHz
 - 手机(大:450-460M;小:800-900M;小灵通:1.9G)
 - 卫星通信：上行 6GHz，下行4GHz
 - 微波干线：4GHz（除西藏，新疆）



应用

○ 现代通信：所使用的工作频率越来越高

RFID 125kHz、134.2kHz, 13.56MHz, 433MHz、869.5MHz、915.3MHz
2.45G, 5.8G

WLAN 2.45G

WIMAX 2.5GHz、3.5GHz、5.8GHz

GPS 1.2GHz、1.5GHz

● 光纤 2×10^{14} Hz(...GHz)



绪论

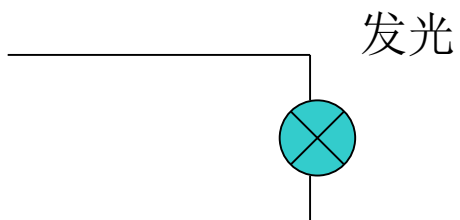
- 微波频段特点是频率高，要考虑分布参数
- 如一段导线，电阻，电感，电容？
- 如新装修的房子，有线电视的同轴线拉了一段，电视信号不好，why？



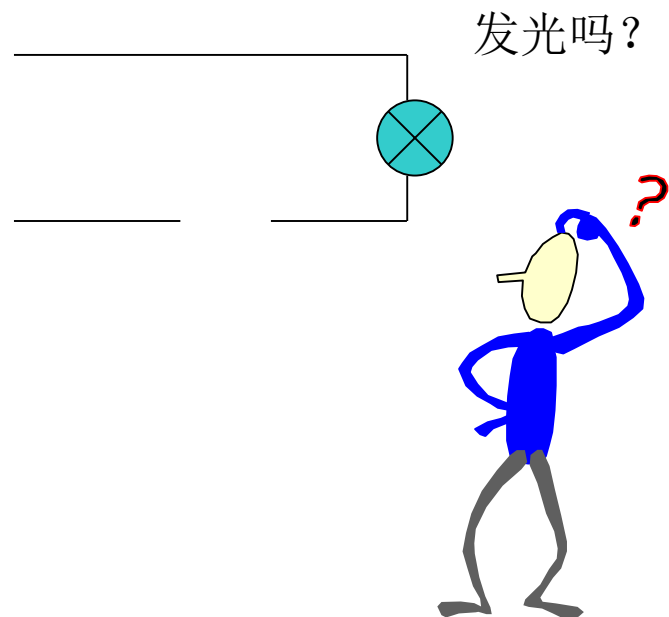


绪论

- 射频：频率高
 - 主导参量
 - 分布参量



断开

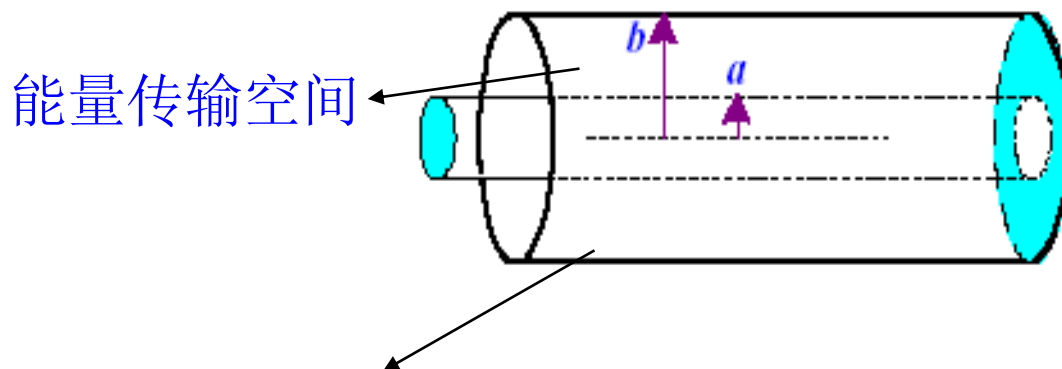




绪论

○ 射频

同轴线



能量传输空间

介质：要好，否则有损耗

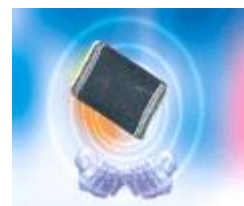


电子元件封装管脚

插针

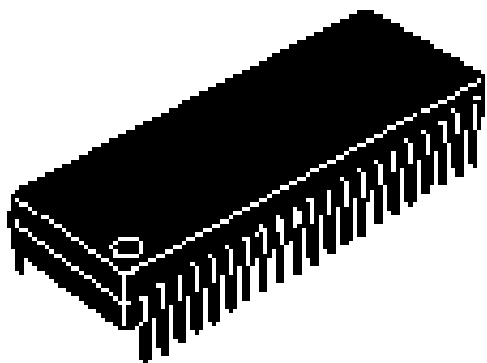


贴片

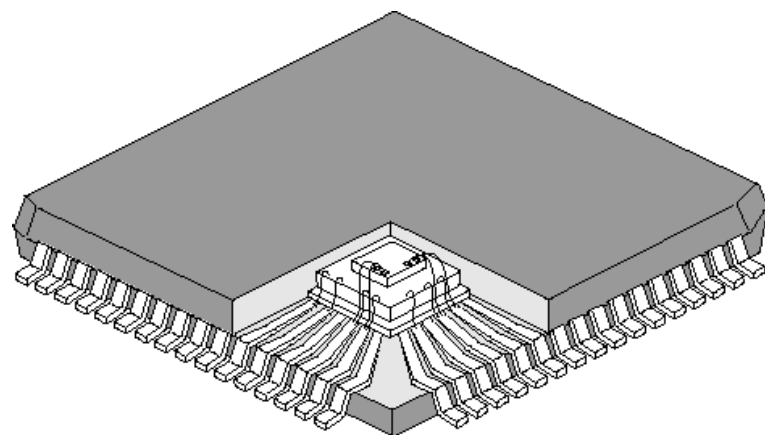




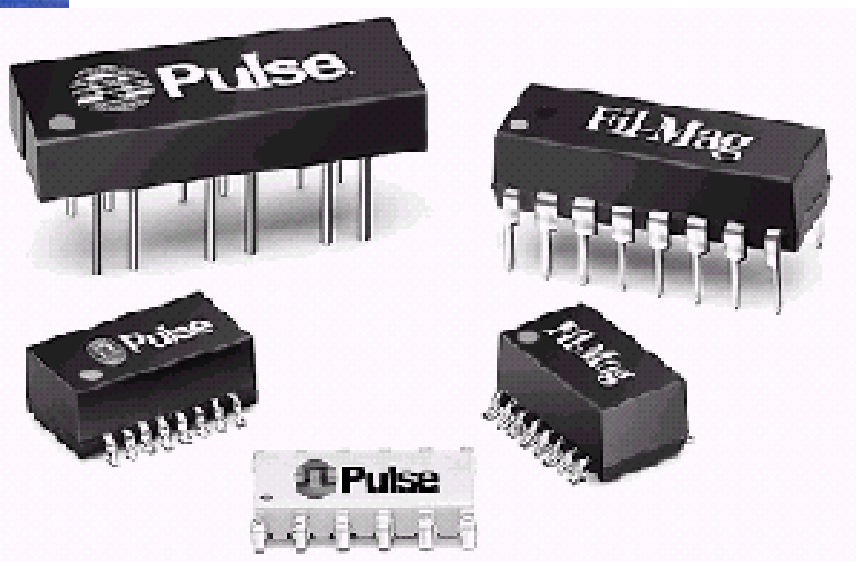
芯片封装管脚



插针



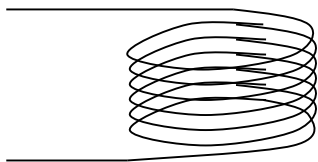
贴片





绪论

○ 射频



高频：存在位相差，有电场强度就有电能，有容性



绪论

○ 射频

放大器

放大器



绪论

○ 现代通信对元器件要求：

- 在高频时要求：高Q（品质因数）器件

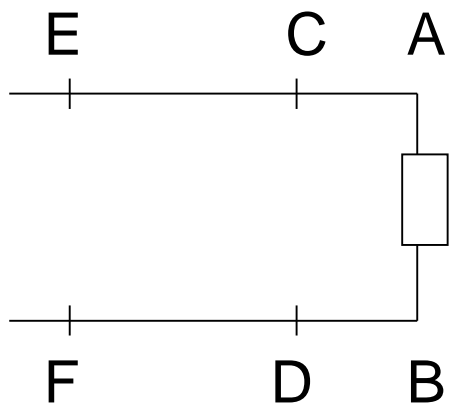
- 如高频（800M）滤波、选频：Q要求15000左右

- 做成腔体
- 表面要光洁
- 内外尺寸比例要合适
- 低损耗



绪论

○ 经济性





微波特点

○ 分布参数

例

	普通无线电波	微波
波长	10^3m	10cm
传输导线长度	15cm	15cm
相位变化	极小	180°
传输导线	短线	长线
电压电流	与空间位置无关	与空间位置有关
电路系统	集总参数电路系统	分布参数电路系统
研究方法	低频电路理论	电磁场波动方程



微波特点

低频(普通无线电波段): “路”

- ☐ 忽略传输中相位滞后、趋肤和辐射效应的影响 (波长长)
- ☐ 电压和电流有确定定义
- ☐ 稳态下电压或电流同时只随时间变化, 而与空间位置无关
- ☐ 电场能量-电容; 磁场能量-电感; 电磁场能量消耗-电阻
- ☐ 连接导线: 无电容、电感, 也不消耗能量 (无电阻和电

对同一客观事物的
不同分析方法

从场的概念出发, 分析归结为电路问题来处理, 借用成熟的低频电路理论求解电磁场问题

微波(高频电磁波): “场”

集中繁

“化场为路”

- ☐ 不能忽略传输中的相位滞后、趋肤和辐射效应的影响
- ☐ 电场或磁场随时间变化不同步, 是时间和空间位置的函数
- ☐ 电场/磁场呈分布状态, 电容/电感/电阻/电导也呈分布状态
- ☐ 传输线的电容、电感、串连电阻和并联电导不能被忽略
- ☐ 分布参数系统: 采用电磁场理论, 在一定边界和初始条件

微波等效电路方法/微波网络理论

“化繁为简”



微波发展历史



Michael Faraday

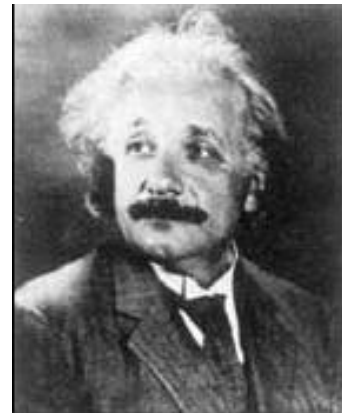


James Clerk Maxwell
(1831-1879)

James C. Maxwell



Heinrich Hertz



Albert Einstein

1831年，法拉第发现电磁感应定律，即变化的磁场产生电场。
1864年，麦克斯韦提出位移电流假说，即变化的电场产生磁场。
1864年，麦克斯韦提出麦克斯韦方程，全面总结了电磁现象的基本定律，深刻揭示了场源关系。以麦克斯韦方程为核心的经典电磁理论是研究所有电磁现象的理论基础
1888年，赫兹用实验证实了电磁波的存在



麦克斯韦

1864年麦克斯韦方程

——变化的电场产生磁场

麦克斯韦在总结前人工作的基础上，引入位移电流的概念，建立了一组微分方程。这方程组确定电荷、电流（运动的电荷）、电场、磁场之间的普遍联系

空间某处只要有变化的磁场就能激发出涡旋电场，而变化的电场又能激发涡旋磁场。交变的电场和磁场互相激发就形成了连续不断的电磁振荡即电磁波。

James Clerk Maxwell

证明电磁波在以太（即真空）中传播的速度，等于光在真空中传播的速度。

光也是电磁波



詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell, 1831年6月13日~1879年11月5日), 英国物理学家。经典电动力学的创始人, 统计物理学的奠基人之一。

麦克斯韦依据库仑、高斯、欧姆、安培、毕奥、萨伐尔、法拉第等前人的一系列发现和实验成果, 建立了第一个完整的电磁理论体系, 不仅科学地预言了电磁波的存在, 而且揭示了光、电、磁现象的本质的统一性, 完成了物理学的又一次大综合。这一理论自然科学的成果, **奠定了现代的电力工业、电子工业和无线电工业的基础。**

麦克斯韦提出的电磁辐射的概念和他的场方程组, 是根据法拉第的电力线和磁力线的实验观察提出来的, 从而引出了爱因斯坦的狭义相对论, 并建立了质量和能量的等效性原理。麦克斯韦说, **他最重要的工作是把法拉第的物理观点用数学表达出来。**麦克斯韦曾表示电磁波是能在实验室内产生的, 这种可能性首先由赫兹在1887年实现了。

1873年出版的**《电学和磁学论》**一书是集电磁学大成的划时代著作, 全面地总结了19世纪中叶以前对电磁现象的研究成果, 建立了完整的电磁理论体系。这是一部可以**同牛顿的《自然哲学的数学原理》、达尔文的《物种起源》和赖尔的《地质学原理》相媲美的里程碑式的著作。**



麦克斯韦

他与牛顿和爱因斯坦齐名。

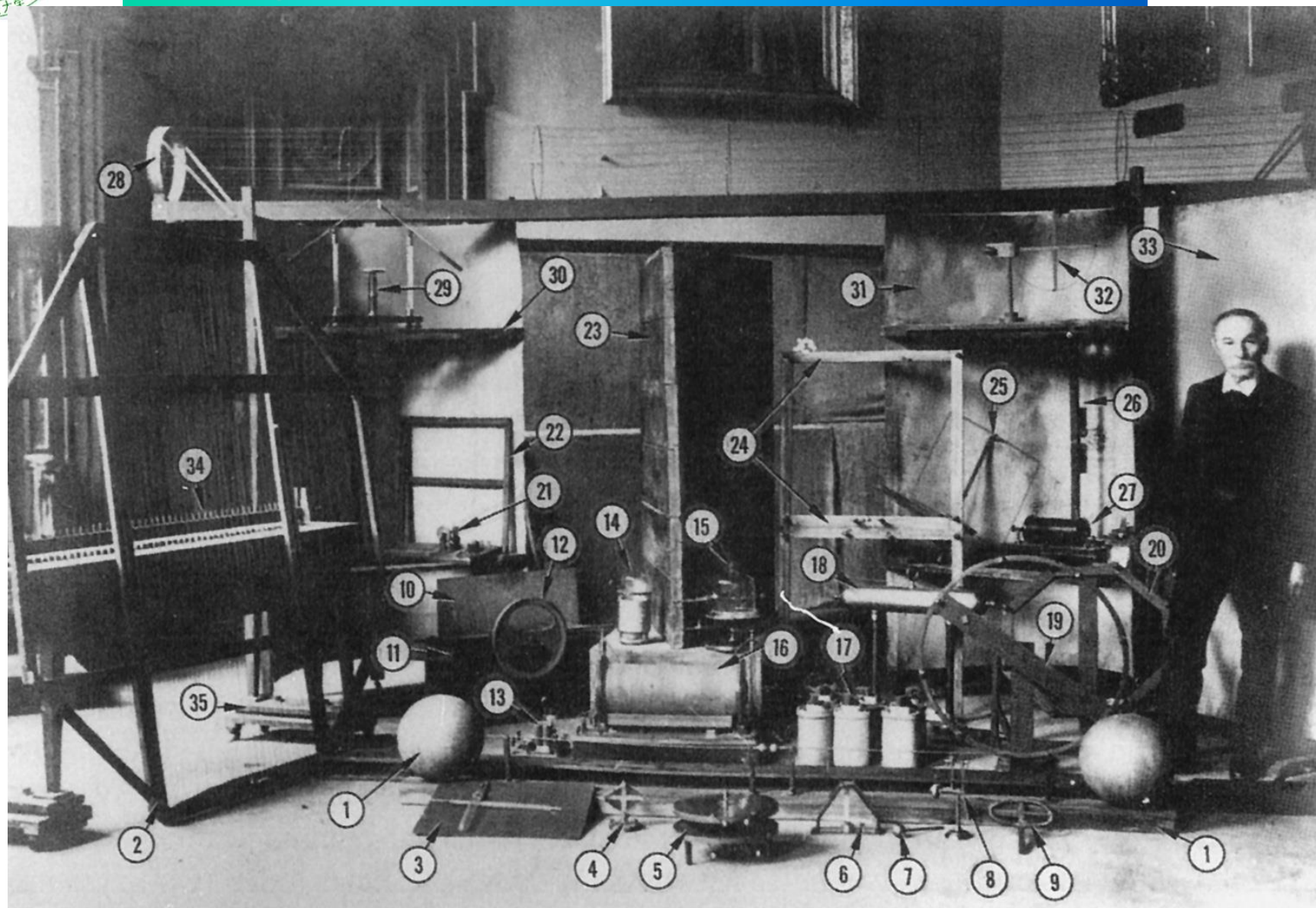


James Clerk Maxwell.


1931年爱因斯坦在麦克斯韦生辰百年纪念会上曾指出：麦克斯韦的工作“是牛顿以来，物理学最深刻和最富有成果的工作”，

量子论的创立者普朗克（Max Plank 1858—1947）指出的：“麦克斯韦的光辉名字将永远镌刻在经典物理学家的门扉上，永放光芒。从生地来说，他属于爱丁堡；从个性来说，他属于剑桥大学；从功绩来说，他属于全世界”。

1888年，赫兹用实验证实了电磁波的存在





- 
-
- 1900: 横跨大西洋实现无线信号传输
 - 1935: 微波雷达
 - 1946: 微波炉
 - 1953: 微带线天线



二战雷达的应用—微波技术开始大发展

雷达是一种利用电磁波探测目标的电子装备，它发射电磁波照射目标并接收其回波，由此来发现目标并测定位置、运动方向和速度及其它特性。

微波雷达成为了决定二战命运的关键技术。

英国科学家罗伯特于1935年1月研制出对空警戒雷达的试验装置。到1936年1月，沃森-瓦特雷达探测距离已达120公里。

1937年7月，世界上第一部机载雷达由英国科学家爱德华·鲍恩领导的研究小组研制成功。可探测到16公里以外的水面舰艇。

P-61A型战斗机装备的SCR-720型机载截击雷达

