

电子工程学院中法班

《电路分析基础》(2020年)

第一讲：绪论&电路模型与变量

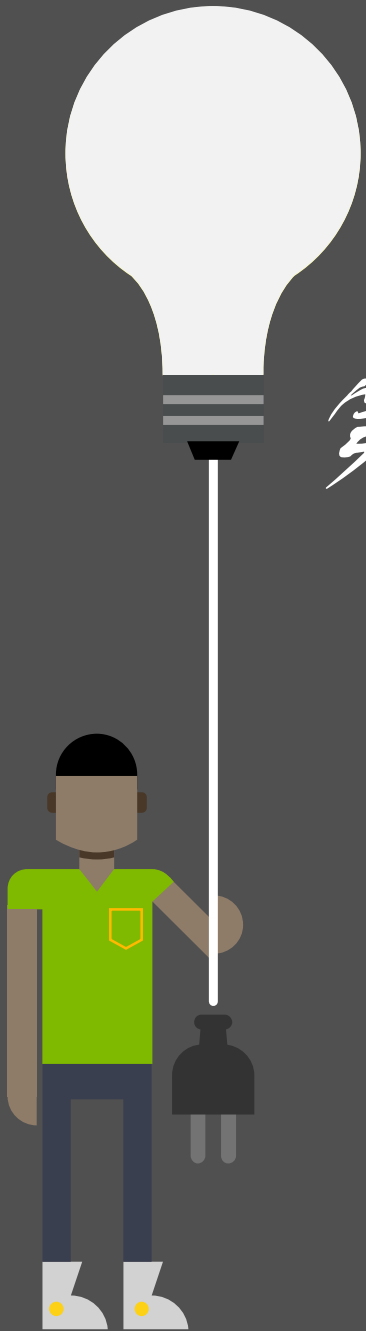
主讲老师：赵鲁豫 副教授，博士生导师
IEEE member

电子工程学院天线与微波技术国家重点实验室



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

2020-10-5



基本信息

个人主页：<http://web.xidian.edu.cn/lyzhao/index.html>

学习经历

2009-2014 香港中文大学 电子工程系 硕博连读，获得博士学位

2003-2007 西安电子科技大学 电子信息工程 学士学位

工作经历

2016.11-至今，西安电子科技大学副教授

2015.10-至今，创立深圳微迎智科技有限公司，任公司董事长，研

发总监；2014.11-2015 香港中文大学 电子工程系 博士后



主要研究方向

1. 多天线系统，MIMO，Massive MIMO无线通信，天线去耦技术；
2. 超材料天线技术，可重构超材料天线技术；天线阵列技术；
3. 毫米波太赫兹技术，太赫兹反射阵天线，太赫兹超表面天线；
4. 5G智能终端天线设计,多馈多模天线设计，寄生天线阵列技术；
5. 无源微波集成电路，微波射频电路，低温共烧陶瓷（LTCC）技术；



课程相关信息-1

1. 必修课, 64学时 (远远不够)
2. 教材: 《电路分析基础》
3. 线上资源: MIT open course

<https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/>

4. 参考书: 你的大脑



MIT OPEN COURSEWARE
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Subscribe to the OCW Newsletter

Home | Contact Us

FIND COURSES ▾ For Educators ▾ Give Now ▾ About ▾ Search Tips

OCW Scholar
Complete courses for independent learners

» See the collection

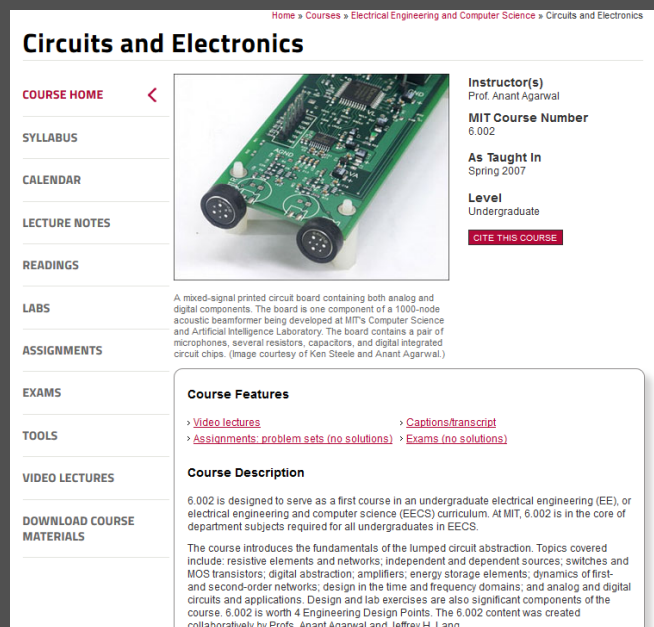
Psychology Engineering Dynamics Electrical Engineering
Chemistry Programming Differential Equations
Microeconomics Calculus I Biology Linear Algebra
Calculus II Probability

Support OCW

I feel it's kind of a gift being able to study on my own this way.

Hans
Self Learner
Denmark

GIVE NOW >



Home > Courses > Electrical Engineering and Computer Science > Circuits and Electronics

Circuits and Electronics

COURSE HOME <

SYLLABUS

CALENDAR

LECTURE NOTES

READINGS

LABS

ASSIGNMENTS

EXAMS

TOOLS

VIDEO LECTURES

DOWNLOAD COURSE MATERIALS

Instructor(s)
Prof. Anant Agarwal

MIT Course Number
6.002

As Taught In
Spring 2007

Level
Undergraduate

CITE THIS COURSE

A mixed-signal printed circuit board containing both analog and digital components. The board is one component of a 1000-node acoustic beamformer being developed at MIT's Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory. The board contains a pair of microphones, several resistors, capacitors, and digital integrated circuit chips. (Image courtesy of Ken Steele and Anant Agarwal.)

Course Features

- > Video lectures
- > Captions/transcript
- > Assignments: problem sets (no solutions)
- > Exams (no solutions)

Course Description

6.002 is designed to serve as a first course in an undergraduate electrical engineering (EE), or electrical engineering and computer science (EECS) curriculum. At MIT, 6.002 is in the core of department subjects required for all undergraduates in EECS.

The course introduces the fundamentals of the lumped circuit abstraction. Topics covered include: resistive elements and networks; independent and dependent sources; switches and MOS transistors; digital abstraction; amplifiers; energy storage elements; dynamics of first- and second-order networks; design in the time and frequency domains; and analog and digital circuits and applications. Design and lab exercises are also significant components of the course. 6.002 is worth 4 Engineering Design Points. The 6.002 content was created collaboratively by Profs. Anant Agarwal and Jeffrey H. Lang.



21 高等学校电子信息类“十二五”规划教材

电路分析基础

(第四版)

张永瑞 编著

DIANLU FENXIJICHU

西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

课程相关信息-2

5. 成绩评定：期末考试占70%+平时成绩30%（除非学院强制，**不进行期中考试！**）

平时成绩

课后作业：电路习题册，共三本，按照习题册划分的阶段交作业

课上小测验：不定时进行

课堂表现

6. 授课形式与授课内容：

部分PPT



板书

基本概念，电阻电路分析



24学时

动态电路的时域分析

10学时

正弦稳态电路

18学时

电路的频率响应



6学时

二端口网络



6学时

7. 助教与辅导：助教为：江嘉越，刘婷硕士研究生；原则上最后一周课为辅导课。助教每周一课会随堂答疑。课程进行中会根据进度安排几次习题课。

本课程的重要性

电路理论作为一门独立的学科出现于人类历史中大约已有200多年了，如今它不仅成为了整个电气科学技术中不可缺少的理论基础，同时也在开拓和发展新的电气理论和技术方面起着重要的作用。

电路理论是一个极其美妙的领域，在这一领域内，**数学、物理学、信息工程、电气工程与自动控制工程**等学科找到了一个和谐的结合点，其深厚的理论基础和广泛的实际应用使其具有旺盛持久的生命力。因而，对于许多有关的学科来说，**电路理论是一门非常重要的基础理论课**，属于学科基础课。

- ① 研究对象：集总参数电路和分布参数电路；线性电路与非线性电路；时变电路和非时变电路；模拟电路和数字电路；低频电路与射频电路；
- ② 应用背景：通信、控制、计算机、电力；预警机、卫星、舰船、导弹；手机、电视、平板、相机、无人机等等；
- ③ 研究任务：理解电路的基本规律（伏安关系、基尔霍夫定律、电路其他定理）；掌握电路的分析方法（节点法、戴维南等效、相量法等）
- ④ 研究目标：电路分析与综合（**Synthesis**-指哪打哪）、故障诊断。

集总电路

工程与物理学科的不同

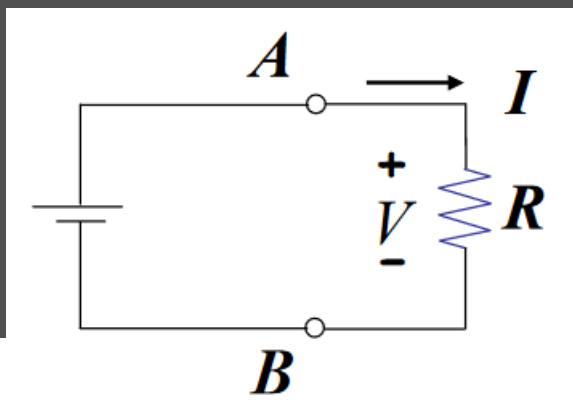
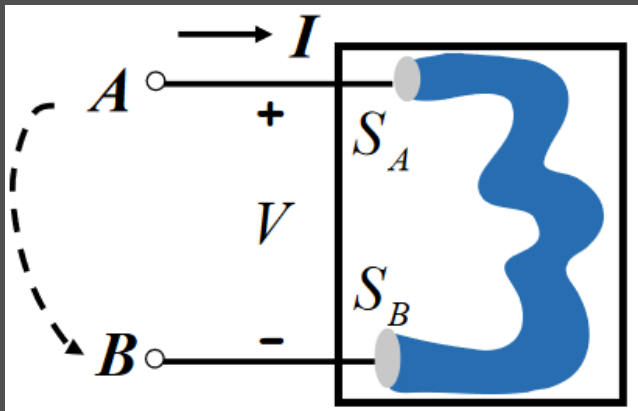
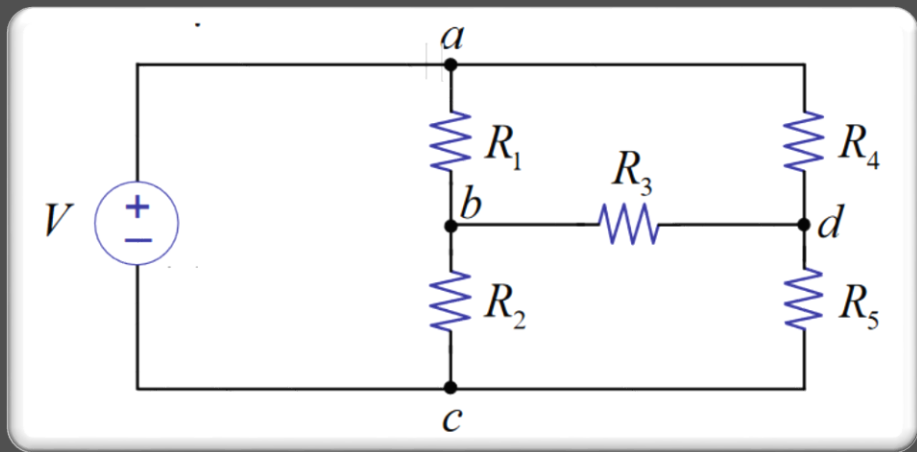
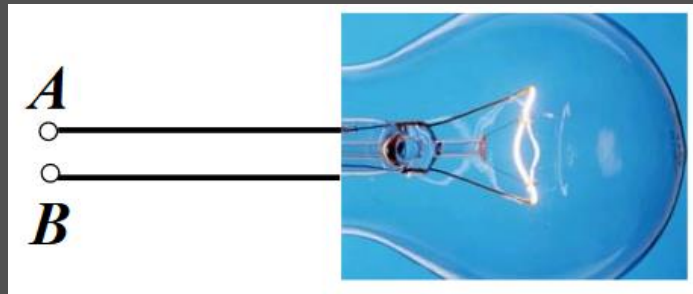
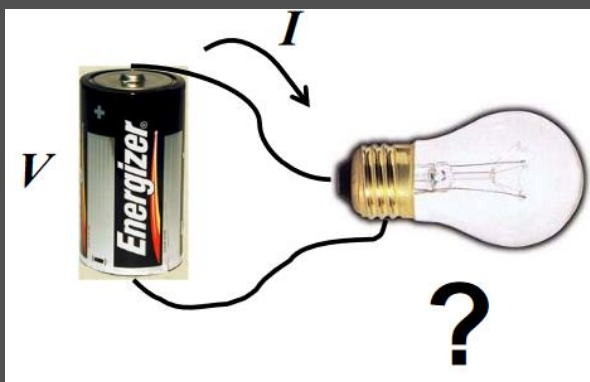


简化思想!

Black Box 思想



忽略内部细节
强调外部特性



$$\oint E \cdot dl = -\frac{\partial \phi_B}{\partial t}$$

$$\oint J \cdot dS = -\frac{\partial q}{\partial t}$$

$$\oint E \cdot dS = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$I = \frac{V}{R}$$

学习方法与研究思路-1



- 重要紧急的事情优先做
- 所有忽略的不紧急但重要的事情最终都会变成紧急的事情
- 养成先划分重要性象限，再进行工作的习惯

Be Productive Rather than Reactive!!!!

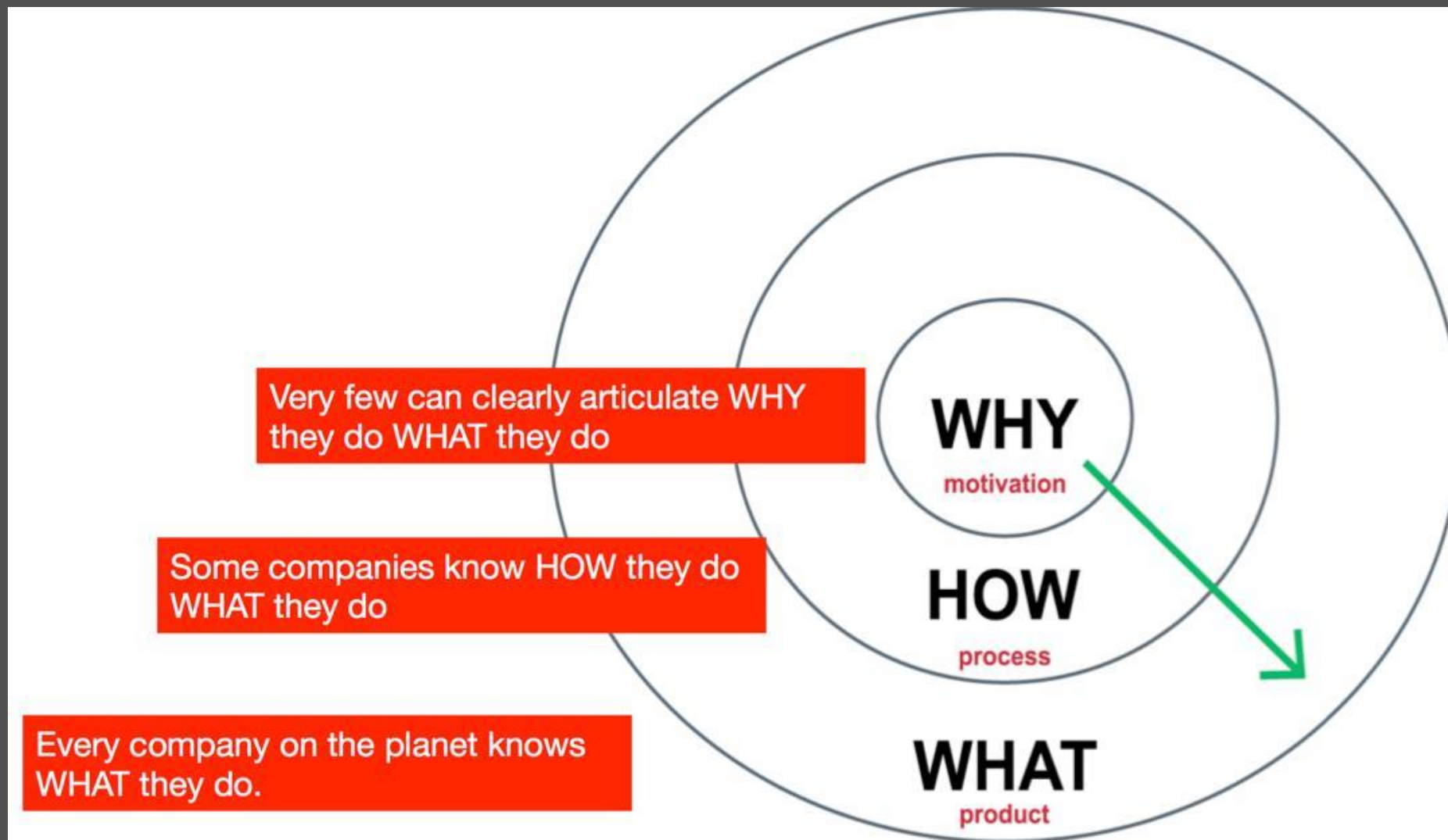
Use First Principle to Analysis and Design!!!

Doing Curiosity Driven Study and Research!!

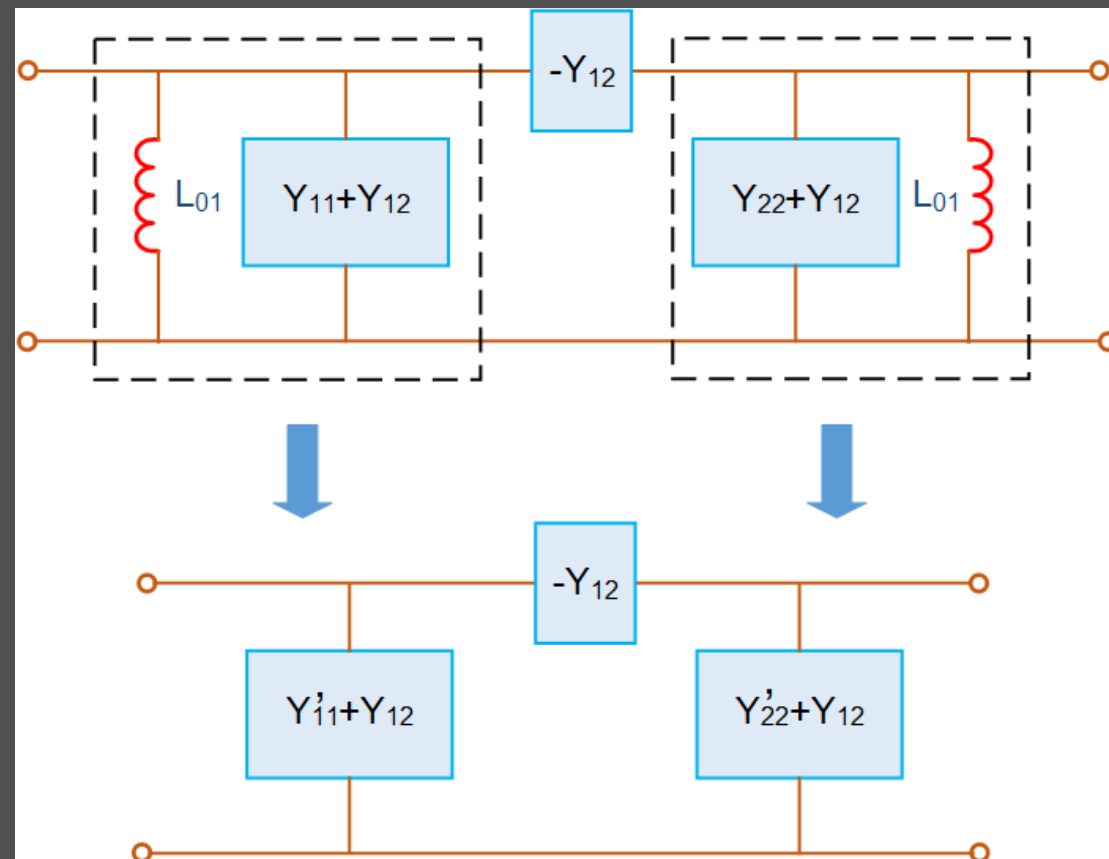
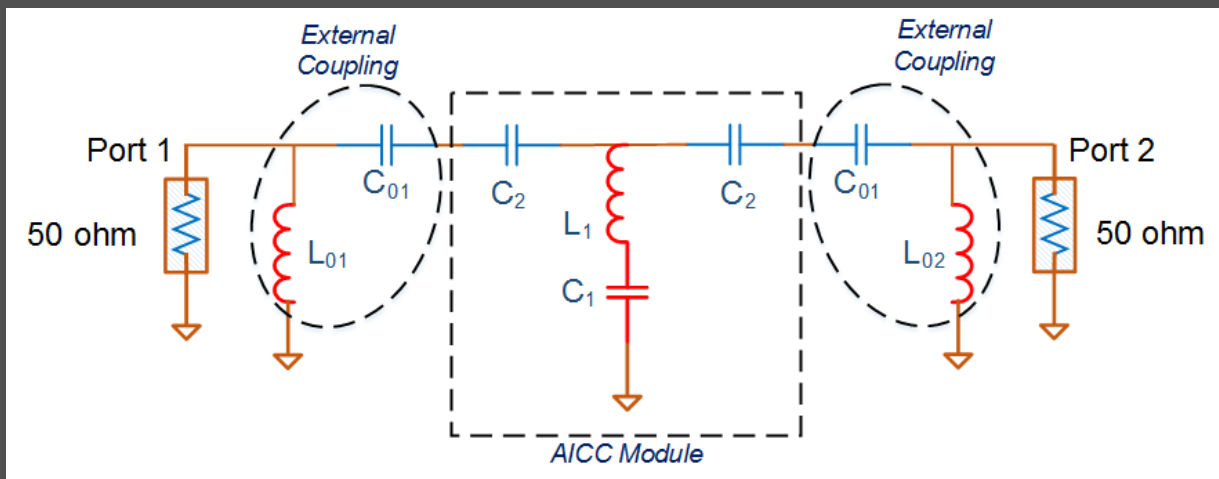
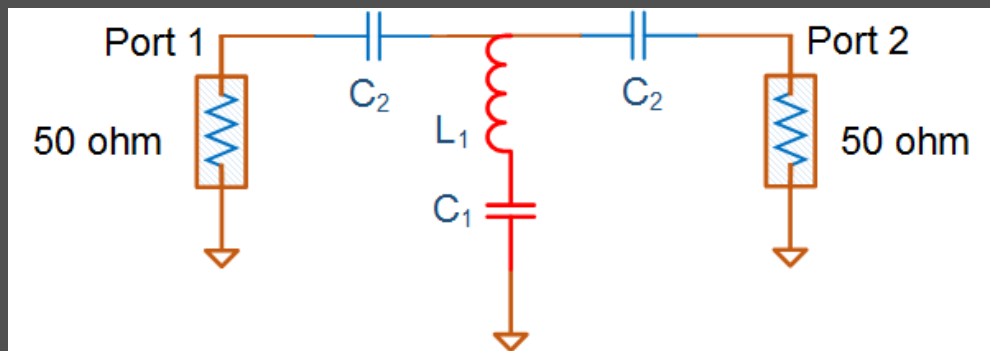
Emphasizing Hard Working and Perseverance!

学习方法与研究思路-2

The Golden Circle



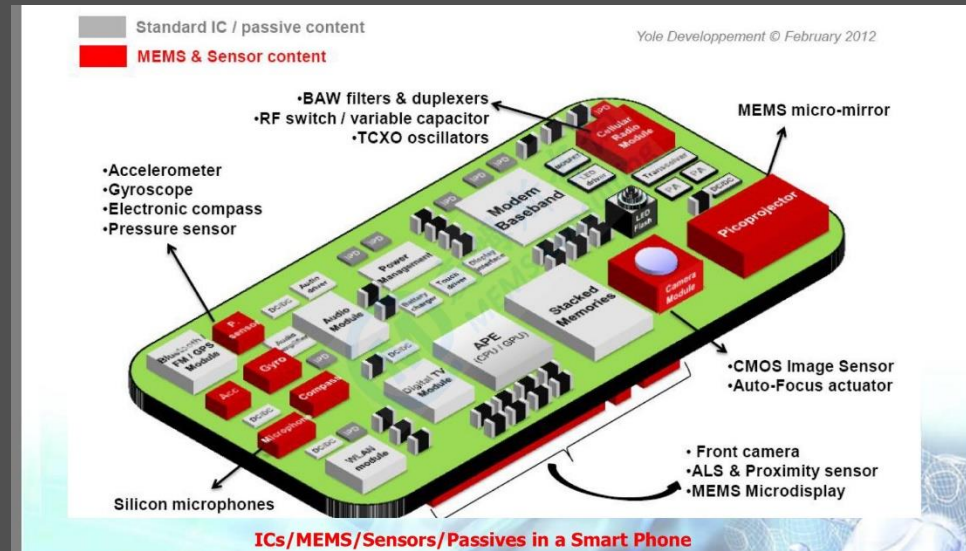
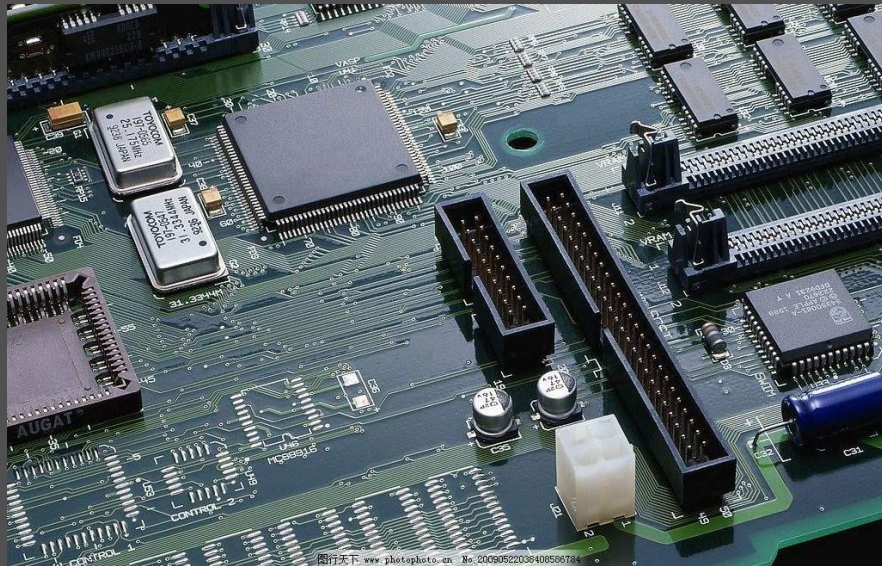
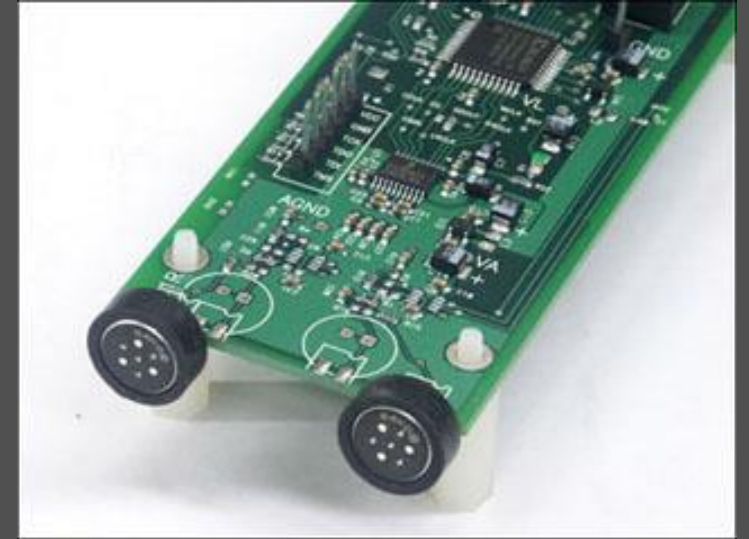
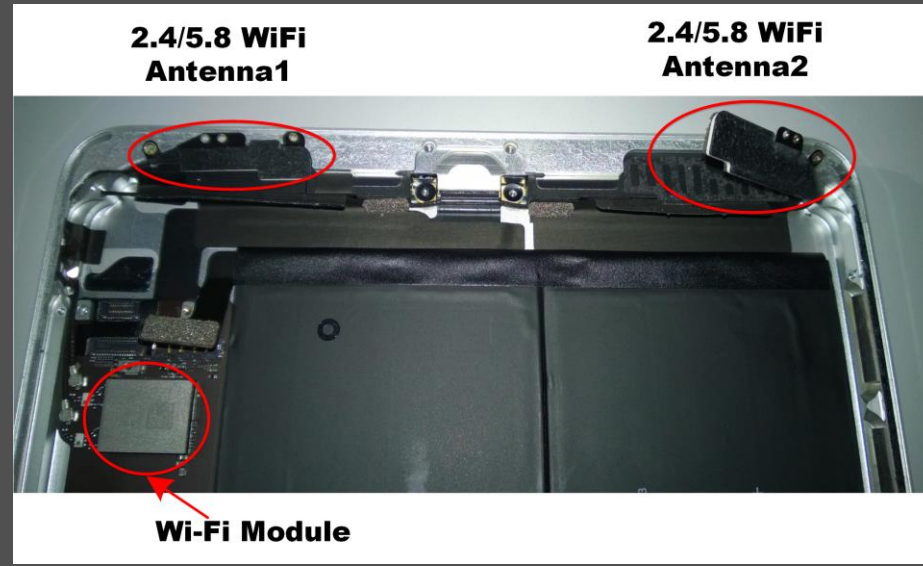
电路理论有什么用？



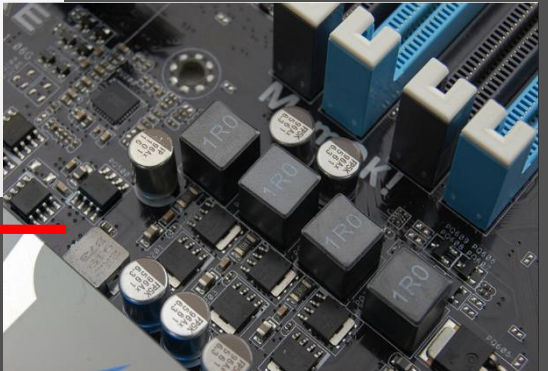
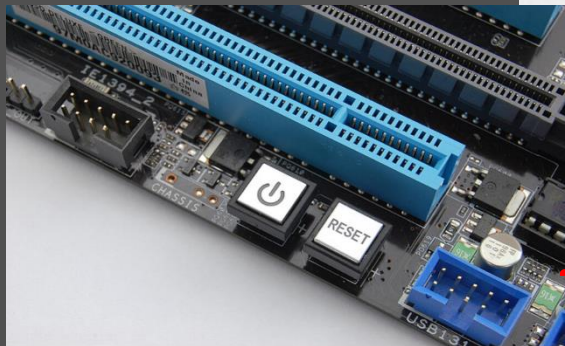
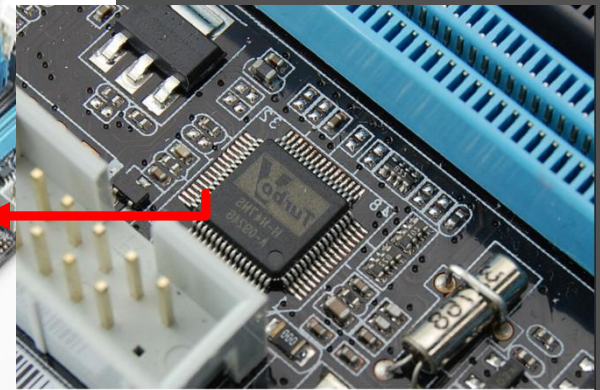
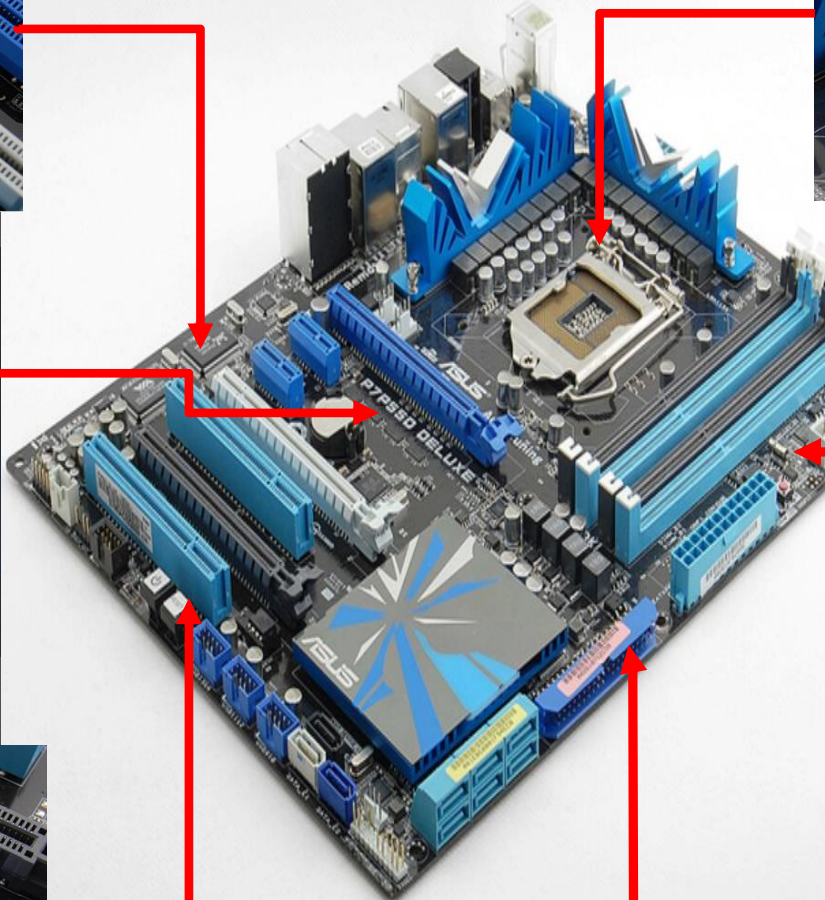
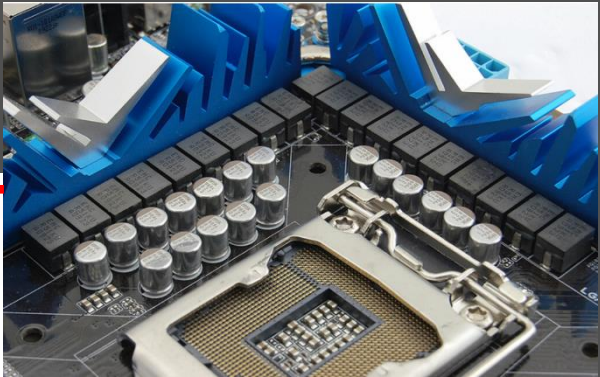
L. Zhao, F. Liu, X. Shen, G. Jing, Y. Cai and Y. Li, "A High-Pass Antenna Interference Cancellation Chip for Mutual Coupling Reduction of Antennas in Contiguous Frequency Bands," in *IEEE Access*. (中科院二区, ESI高被引)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8408466/>

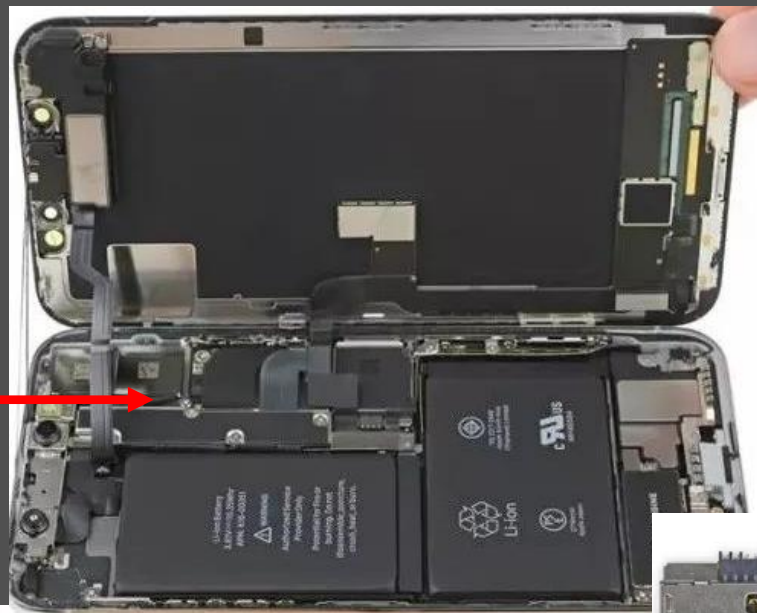
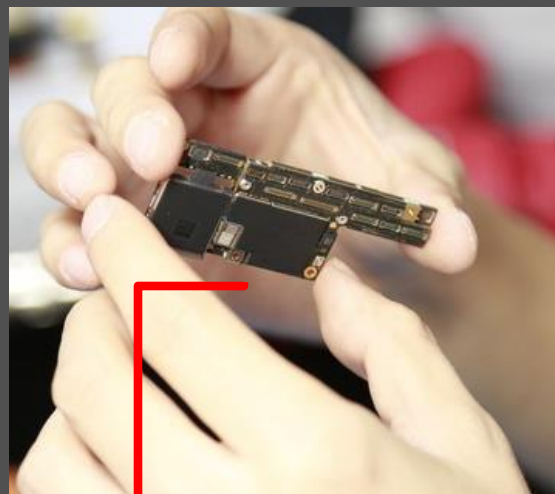
电路赏析



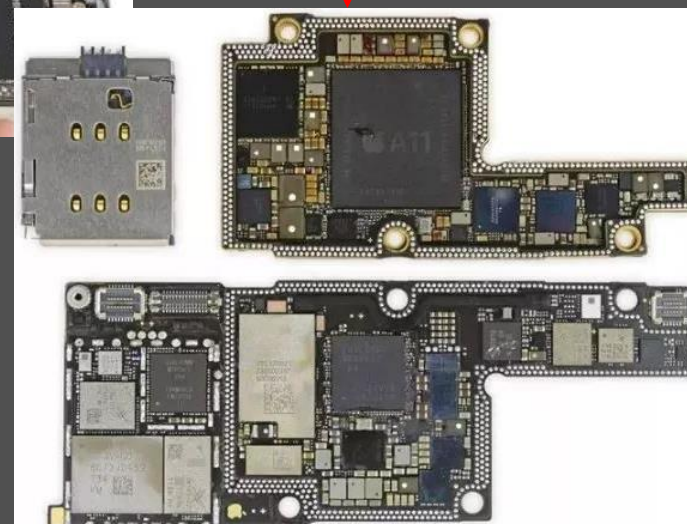
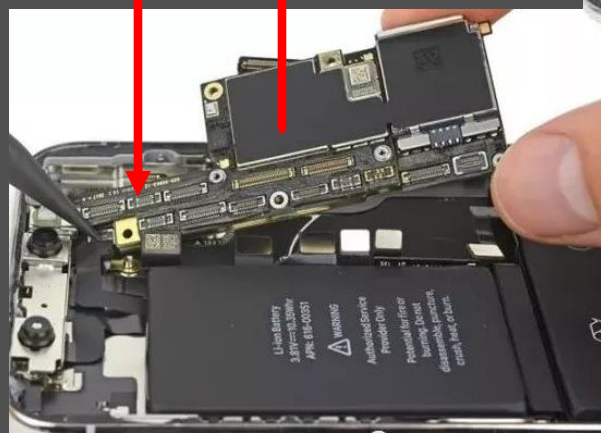
电脑主板



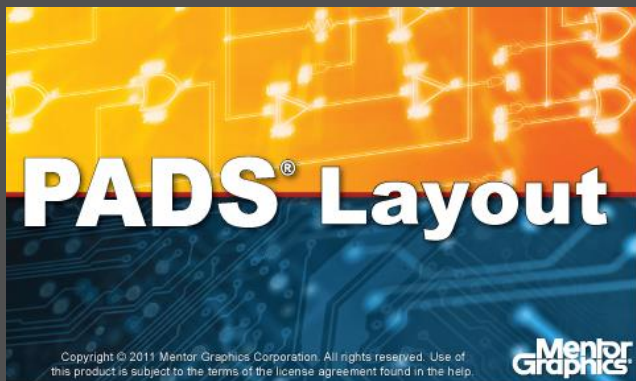
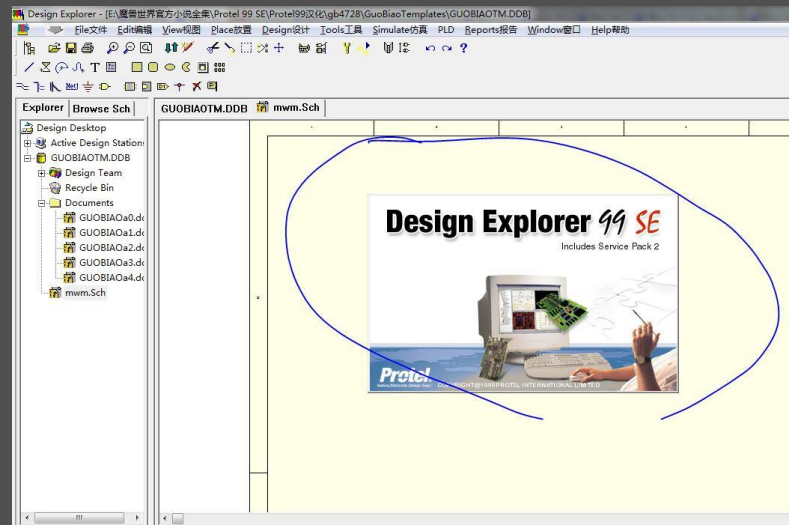
iPhoneX



双层堆叠



主流电路设计和电路板设计软件



大公司专业的用cadence，消费类电子设计主流PADS

cadence®

简单的2-4层板用AD主要是从学校出来的，菜🐔用Protel 99

5G手机终端产业背景

智能手机使用率

69%



2018

88%



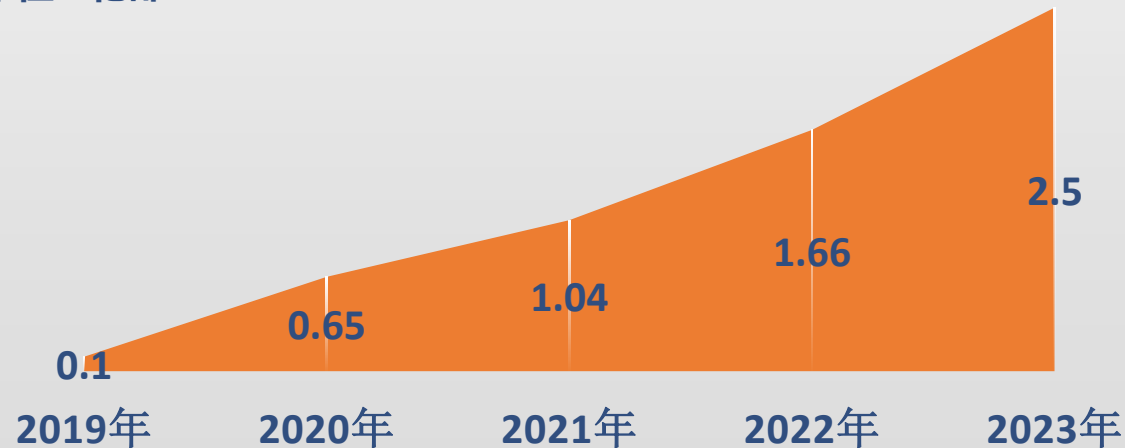
2025

2025年5G连接数量

4.6亿

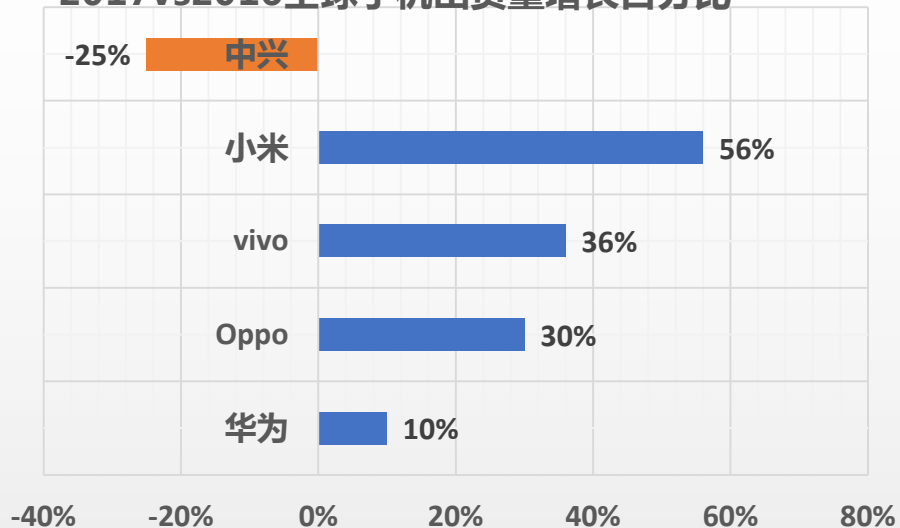
中国5G手机出货量预测

单位：亿部

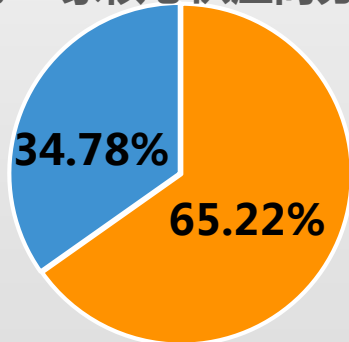


背景——元器件国产化

2017vs2016全球手机出货量增长百分比



华为92家核心供应商分布区域占比



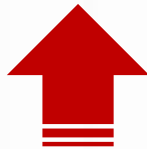
■ 国外供应商 ■ 国内供应商



研发具有**自主知识产权和可控生产能力的国产手机元器件**

是未来十年的主要行业发展趋势！

背景——美方禁运清单



手机零部件

硬件芯片业

软件业

 LUMENTUM(光学部件制造)

Panasonic

 NeoPhotonics(光学元件制造)

 Inphi(光通信芯片制造)

 Micron(美光科技)

ARM

 QORVO(射频芯片制造)

 intel

Qualcomm(高通公司)

 BROADCOM(博通公司)

 XILINX(赛灵思)

Alphabet(谷歌母公司)

SYNOPTISYS
(电子产品和软件制造)

 Microsoft

5G通信的频段

频率范围名称	对应具体频率范围
FR1	450MHz - 6000MHz
FR2	24250MHz - 52600MHz

NR 频段号	上行频段 基站接收 / UE发射	下行频段 基站发射 / UE接收	双工模式
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL
n84	1920 MHz – 1980 MHz	N/A	SUL

NR 频段号	上行/下行频段 基站接收 / UE发射	双工模式
n257	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	TDD

- n77和n78就是微波的C-波段，这是目前全球各个国家地区共识最深的频段。
- n79频段也可能被用于5G通信，这里主推的力量就是中国、俄罗斯和日本。
- n28，就是700MHz频段，由于波长较长，穿透性优秀，天线射频前端的成本低廉，且非常易于与现有的8、900MHz频段融合，早在WRC-15上就确认了此频段为全球移动通信的优先选择频段。
- n71,就是600MHz，目前美国运营商T-Mobile已经宣布其将采用该频段进行5G建设。

一、电路模型 (Circuit Model)



手机里边哪个部件最费电?

电路理论奠定基础的是德国物理学家基尔霍夫(G.R.Kirchhoff), 1847年刚23岁的他发表了划时代的论文, 提出了基尔霍夫第一 (KCL)、第二定律 (KVL)。人们常把欧姆(1827年)和基尔霍夫(1847年)的贡献作为电路这门学科的起点。

1. 电路：由电器件相互连接所构成的电流通路。

2. 电路的组成：

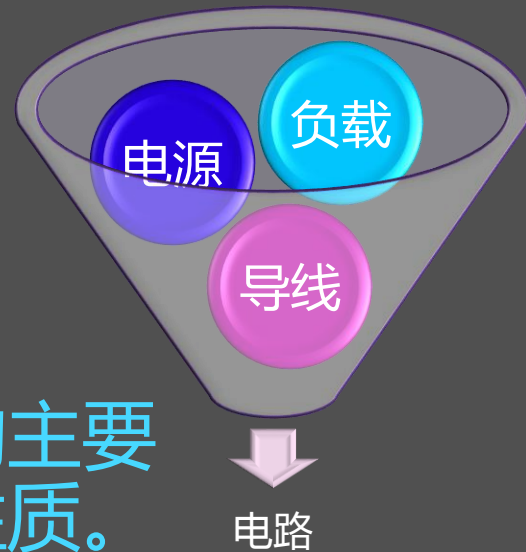
- 电源：供给电能的设备，如充电宝，220V交流电
- 负载：用电设备，如电动机，电风扇，手机
- 导线：供给电能的设备，如充电宝，220V交流电

3. 电路的功能：

- 能量的传输与转换，如电力系统
- 信号的传递与处理，如电视机，手机

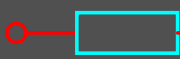

4. 电路模型：模型，是对问题的抽象化和提炼升华。

① 实际电路在运行过程中十分复杂，为了理论分析电路的主要性能，对实际电路元件理想化和抽象化，把握其主要性质。



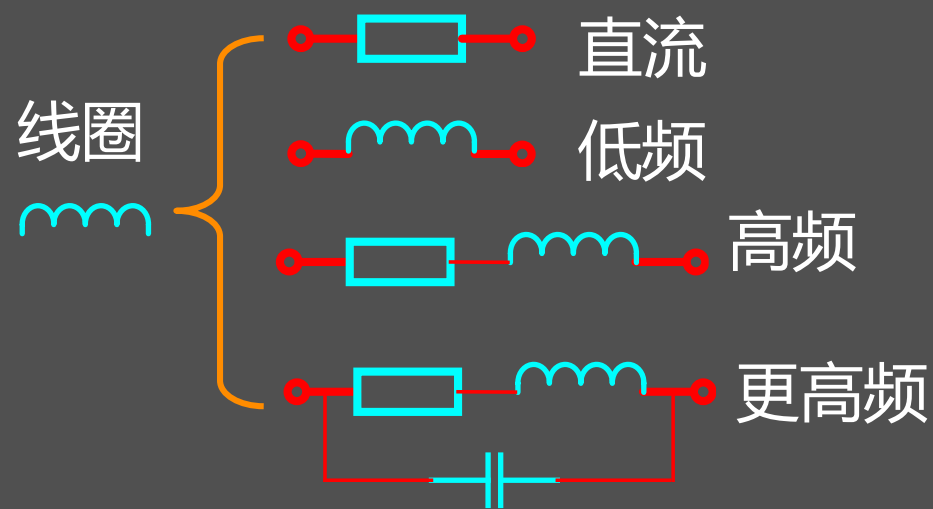
一、电路模型 (Circuit Model) (续)

② 常见的电子元器件模型：

▪ 理想电阻：  只消耗电能。如前述提高的灯泡，可用电阻来表征其消耗能这一主要特征

▪ 理想电容： 只存储电能

▪ 理想电感： 只存储磁能



③ 电路模型图：由一些理想化的电路元件按照一定方式连接而成的整体

④ 实际元器件在不同的应用条件下对应不同的电路模型；不同的实际器件只要有相同的主要电气特性，可使用同一电路模型来表征。比如电灯和电炉子。