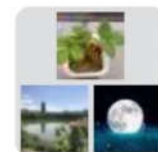


微电子与 电路基础

毛新宇
信息科学技术学院

2023. 2. 21



群聊：23春 电基



该二维码7天内(2月24日前)有效，重新进入将更新

课程定位

- 专业平台基础课之一
- 教学目标
 - 铺垫 背景
 - 了解 知识
 - 提升 兴趣
- 要求掌握层次
 - 基本概念、过程
 - 基本原则、方法



信息领域

参考资料，教学团队

- 参考：
 - 上课幻灯片
- 主页：<http://course.pku.edu.cn>
 - 课件，作业，讨论区
- 教师
 - 刘晓彦 微纳电子大厦408
 - 62756793
 - xyliu@ime.pku.edu.cn
 - 毛新宇 理科二号楼2256
 - 62763276
 - xymao@pku.edu.cn

- 助教：
 - 张柏骏：微纳电子大厦
 - jontpj@stu.pku.edu.cn
 - 吕奕腾
 - 手机：18358178865
 - lvyiteng@pku.edu.cn

课时安排：共15次

周
六

随堂小
测验

作业提交

每周 周二 7-9节

上课地点：理教309

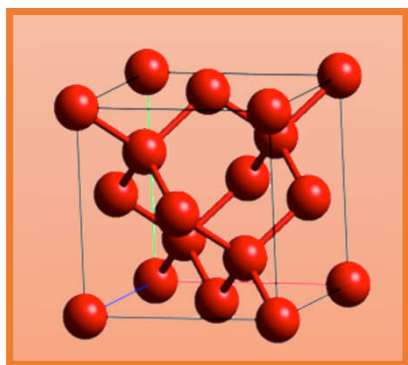
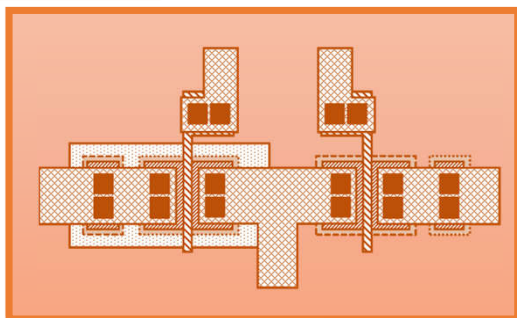
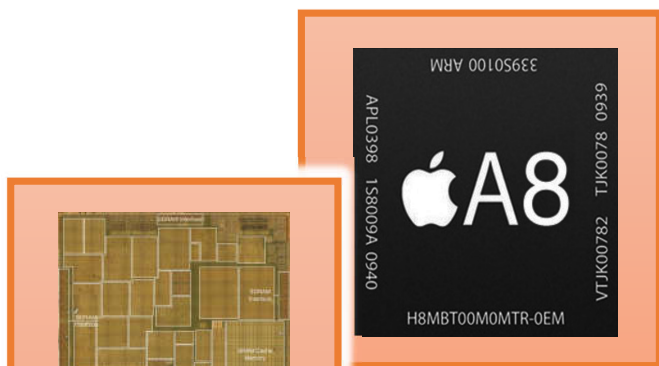
1	二	20	21	22	23	24	25	26
2	三月	2.27	2.28	1	2	3	4	5
3		6	7	8	9	10	11	12
4		13	14	15	16	17	18	19
5		20	21	22	23	24	25	26
6		27	28	29	30	31	4.1	4.2
7	四月	3	4	5	6	7	8	9
8		10	11	12	13	14	15	16
9		17	18	19	20	21	22	23
10		24	25	26	27	28	29	30
11	五月	1	2	3	4	5	6	7
12		8	9	10	11	12	13	14
13		15	16	17	18	19	20	21
14		22	23	24	25	26	27	28
15		29	30	31	6.1	6.2	6.3	6.4
16	六	5	6	7	8	9	10	11

期末
小测验

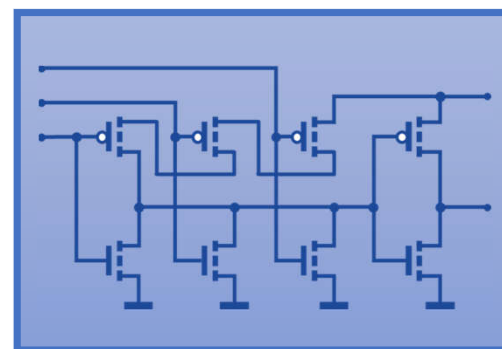
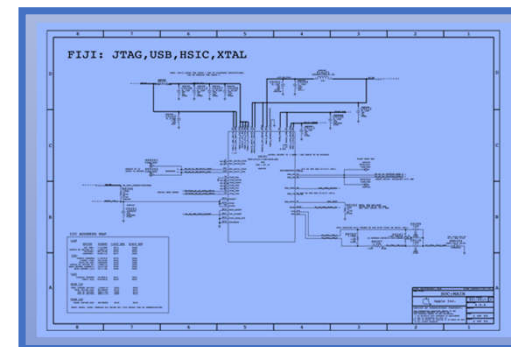
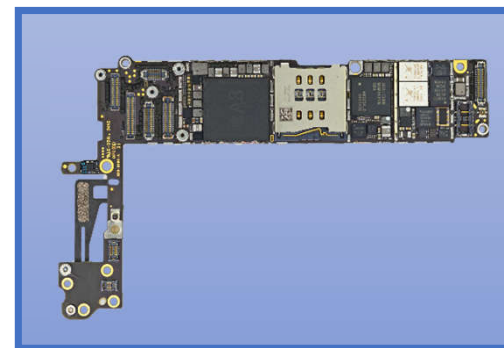
课程安排

- 授课：主要为课堂讲授，共计15次课
 - 7（电路基础）+ 7（微电子基础）
 - 期末小测验
- 考核（P/F）制
- 电路部分+微电子部分成绩分布
 - 作业： 5 + 5 20 + 20 = 40
 - 随堂小测验： 2 + 2 10 + 10 = 20
 - 期末测试： 1 40
 - **总分100，通过：>= 70**
- 期中考试：无！
- 习题课：无！

参观计划：
五月中旬，亦庄，



- # 课程内容
- 电路基础
 - 常见元器件和信号
 - 常见电路模块/积木
 - 典型的电子系统
 - 微电子学基础
 - 半导体物理
 - 半导体器件物理
 - 集成电路制造工艺
 - 设计自动化
 - 技术趋势和前沿领域

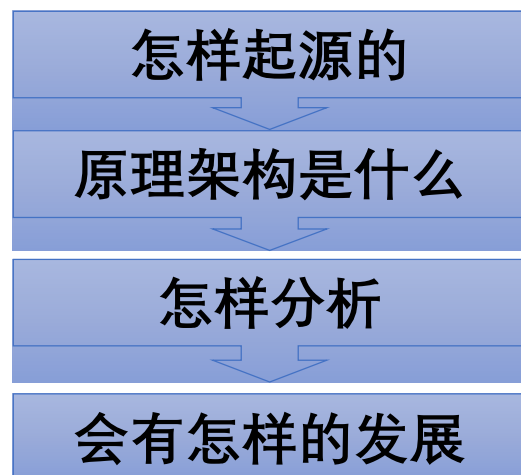


微电子 学科

- 微电子(Microelectronics)：微型电子学
 - 在半导体材料上，制作微小型电路、系统和功能结构
 - 空间的尺度常以微米、纳米来衡量
 - 主要研究与集成电路有关的科学与技术：设计、制造
- 集成电路(Integrated Circuit)
 - “将各种元件，按照一定电路，缩微集合到一块半导体的晶片上，并封装起来，执行特定的电路功能”
 - 功能强、尺寸小、耗电省、速度高、可靠性高、价格低
 - 一个国家电子信息产业的支柱之一
 - 复杂的设计流程 和 加工工艺流程

课程内容安排

- 概述
- 典型电路系统
 - 放大器，滤波器，稳压源
 - 数字传输，手环，录音笔，计算机



- 集成电路是怎么工作的？
 - 半导体物理基础、半导体器件物理基础
 - CMOS集成电路基础
- 集成电路是怎么制造的？
 - 集成电路平面工艺
 - CMOS 集成电路的工艺集成
- 集成电路是怎么设计的？
 - 集成电路设计的典型设计流程及设计工具
- 知识介绍：
 - MEMS，平板显示，AI芯片、图像传感

电路的分类

- 名称： 电力线路（强电）
- 组成： 发电机+变压器+电器
- 操作： 产生/传输/分配/转换/存储
- 对象： 能量， 功率
- 指标： 效率、容限、安全性
- 课程： 电工、电机、...



- 电子线路（弱电）
- 信号源+电路板+元件
 - 传输/处理/变换/存储
- 信号，信息，噪声
- 功能、信息量、计算力
- 模电、数电、集成电路…



电路的分类

模拟电路



数字电路

线性电路



非线性电路

无源电路



有源电路

稳恒电路



时变电路

低频电路



高频电路

通用电路



专用电路

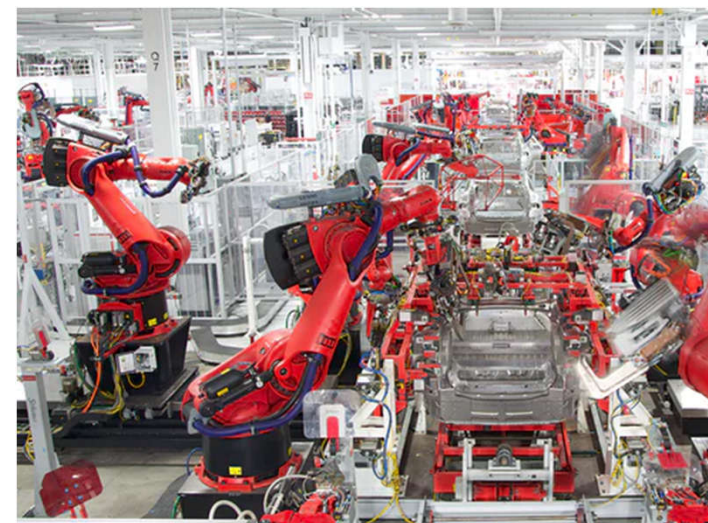
常见电子系统

- 计算：微机、巨型机、嵌入系统、PAD...
- 通信：电报、电话、蜂窝、网络、定位...
- 传媒：电影、电视、广告、广播、印刷...
- 娱乐：游戏机、玩具、DC、DV、PMP...
- 其它：白色家电、门禁、识别...



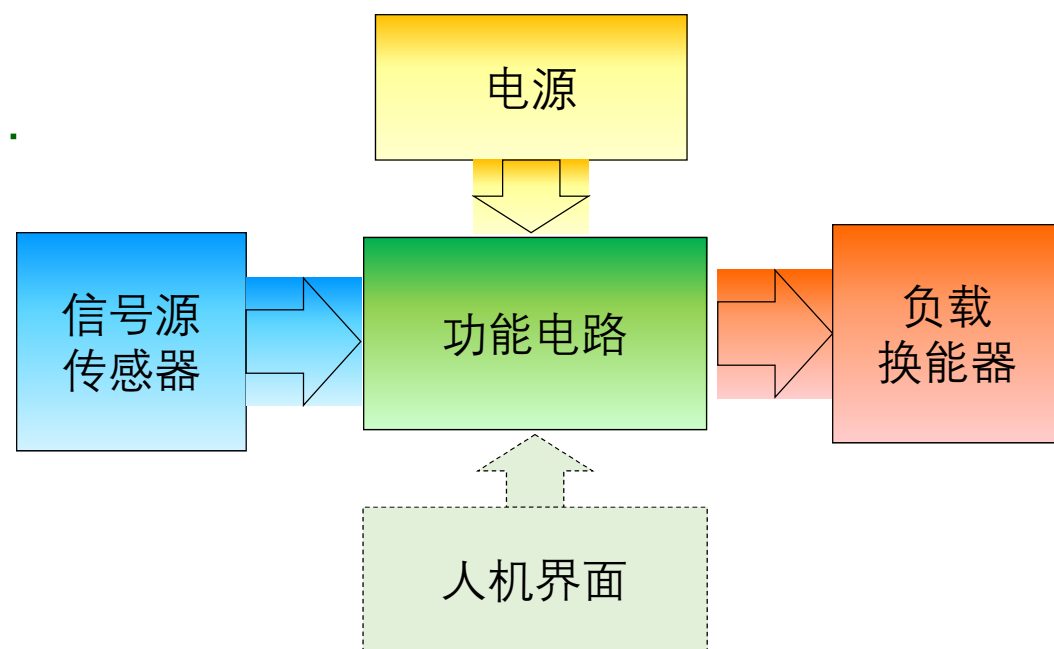
专用电子系统

- 军工：雷达、火控、对抗、遥控、监听...
- 汽车：导航、动力控制、防盗、安全...
- 工业：程控、自动化、质检、仪器仪表...
- 医疗：诊断、治疗、专家系统、人造器官..
- 其它：航空航天、遥感、金融交易系统..



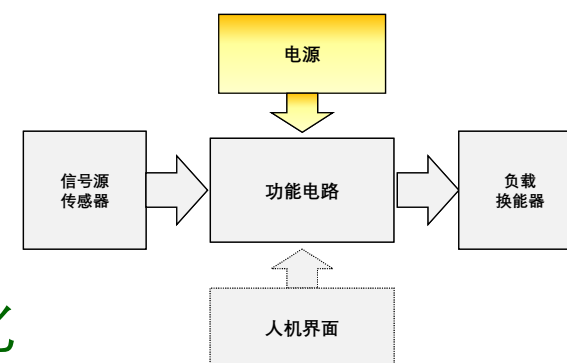
电子系统的一般结构

- 功能电路：
 - 元器件（包括IC），电路板（机械电气连接）
- 电源：
 - 电网|稳压源|电池|发电机|电容|电感...
- 信号源：
 - 其它电路、传感器、噪声和干扰...
- 负载：
 - 其它电路、换能器...
- 人机界面：
 - 开关、键盘、显示、多媒体...



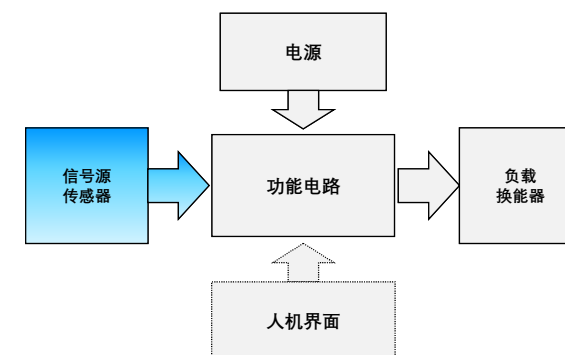
电源

- 交流电： 正弦，市电/动力电...
- 直流电源： 稳压电源，开关电源
- 电池： 提供稳恒的直流电压
- 电容|电感： 提供电压/电流；随充电/放电变化
- 电流源： 提供稳恒电流



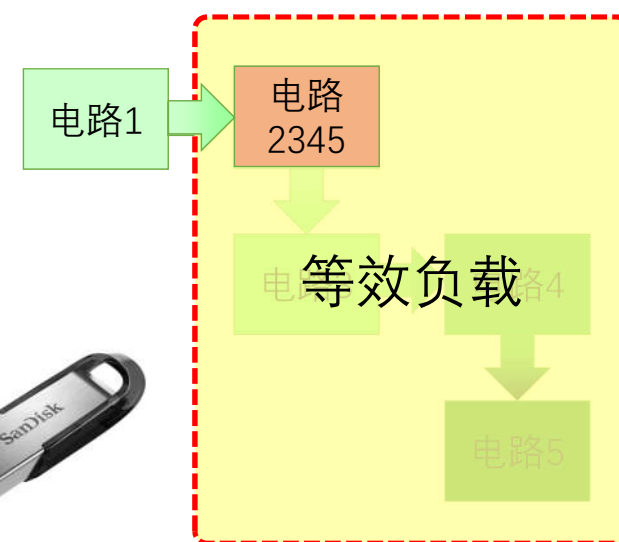
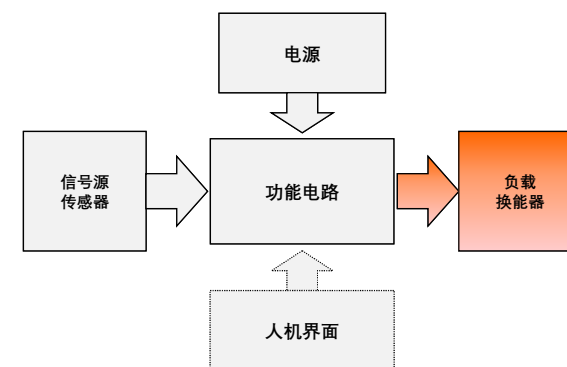
信号源

- 传感器：
 - 将自然现象转成电信号
 - 存储信号：来自以前的记录的媒质
 - 通信信号：来自通信发射端的信号
- 信号发生器：人造的确定/伪随机信号
- 噪声和干扰：源于热运动或其他设备



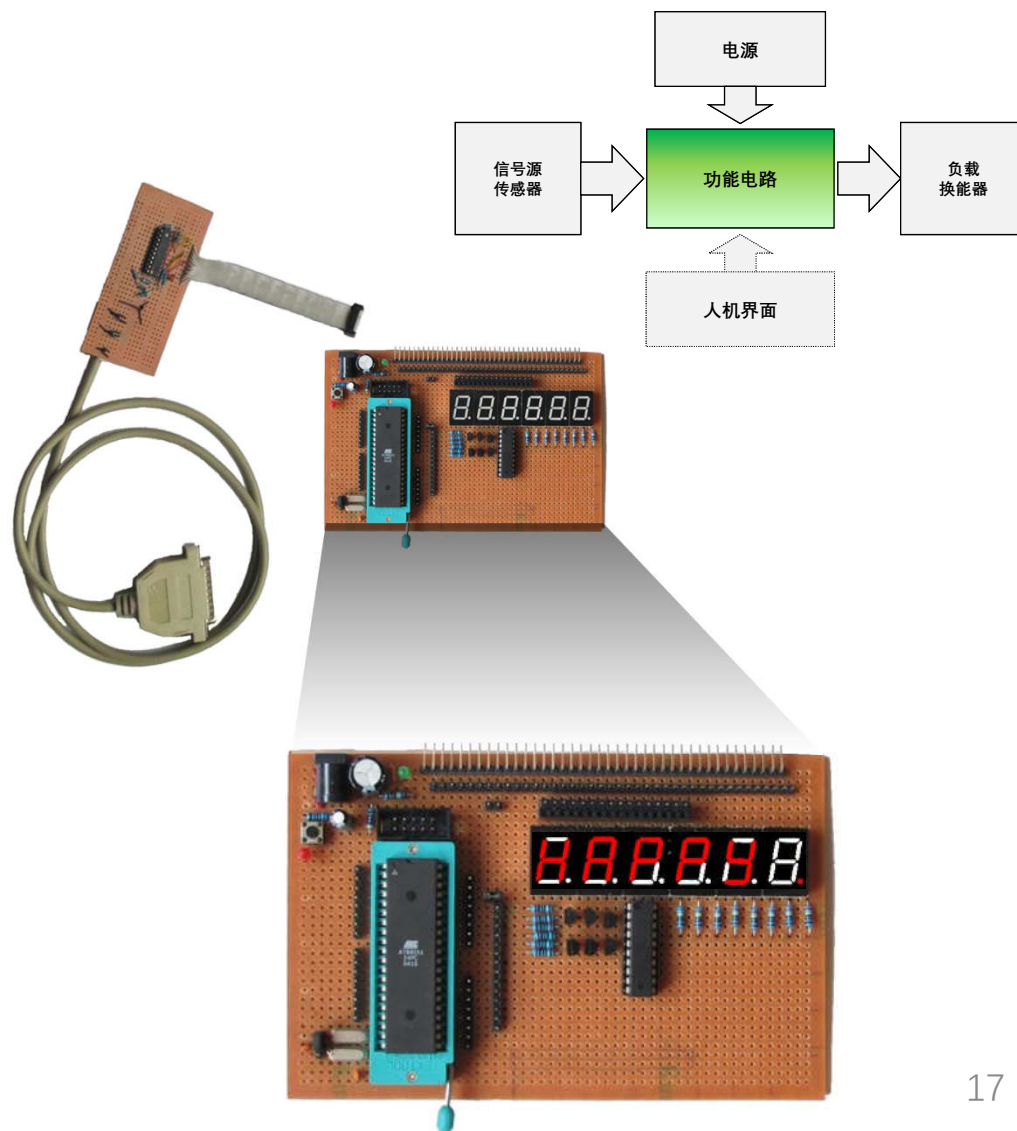
负载

- 换能器：
 - 转换成其他物理形式
 - 发射：通过天线或者其他形式传送出去
 - 存储：通过光、磁、电等形式存储起来
- 负载是另一些电路(后级电路)
 - 等效负载：用简单电路代替复杂电路



硬件 与 软件

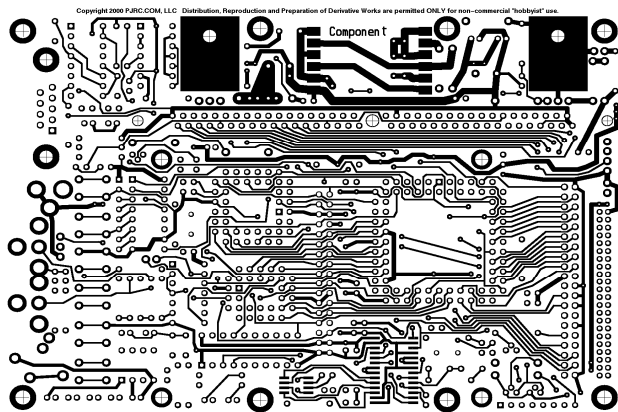
- 硬件部分： 元器件 + 电路
 - 电路： 印刷电路板 和 电缆电线等
 - 元器件： 分立元器件 和 集成电路
 - 集成电路： 内部具有复杂的电路
- 软件部分： 多种形式和平台
 - 通用|专用， 低级语言|高级语言
- 软硬件的功能总是相辅相成的
- 同一系统有多种软硬分工方式
 - 软的比例大 <> 灵活
 - 硬的比例大 <> 高效
- 软硬件的分界不再泾渭分明



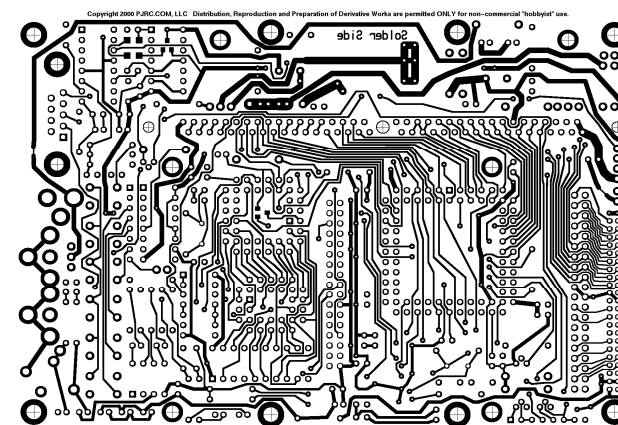
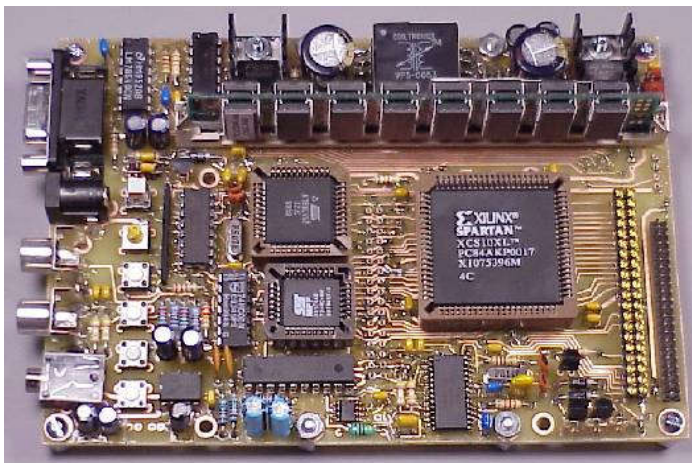
印刷电路板的制版图

- 一般电子线路的结构：
 - PCB + 元器件
- 元器件：具备一定功能和特性
 - 种类：分立元器件、集成电路、模块…
- PCB：连接元器件的金属图样 <> 照相印刷
 - 过孔和焊盘：用于层间连接和固定元件

Printed Circuit Board



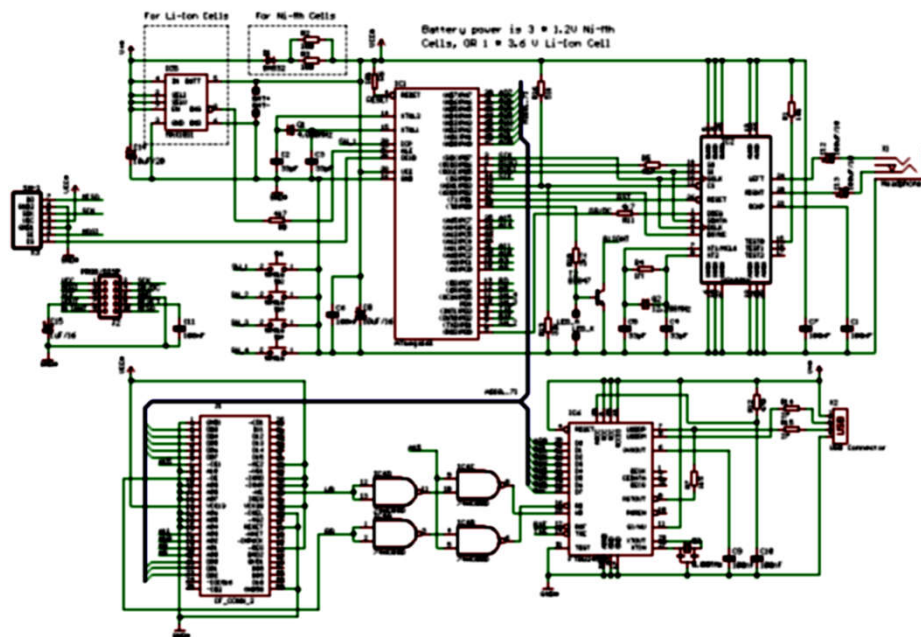
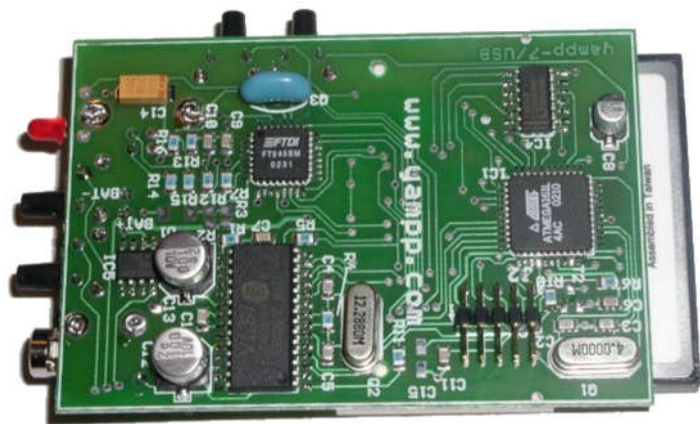
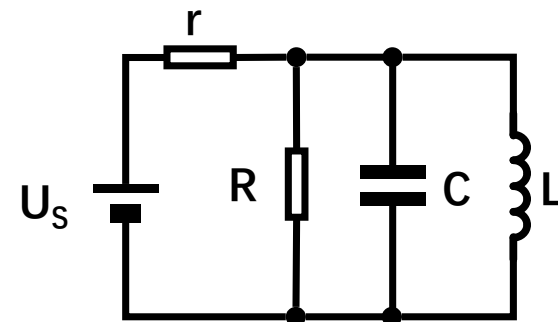
顶层(正面)PCB图



底层(背面)PCB图

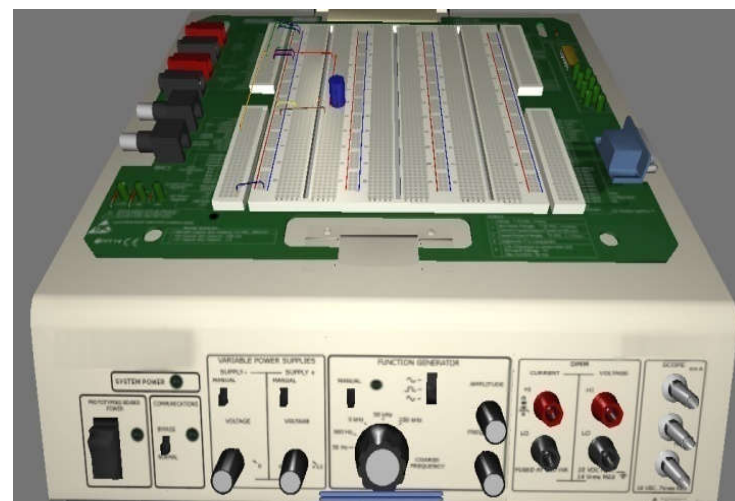
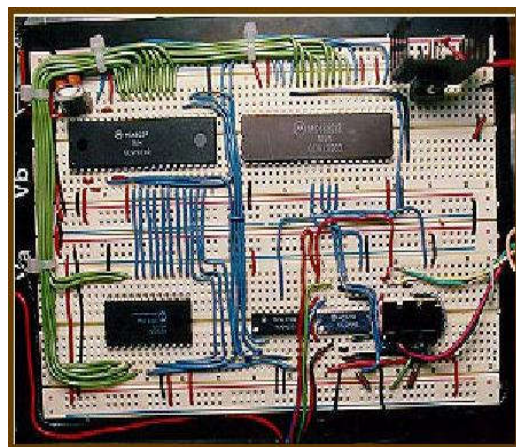
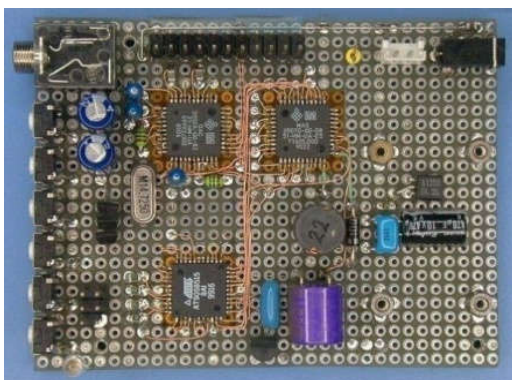
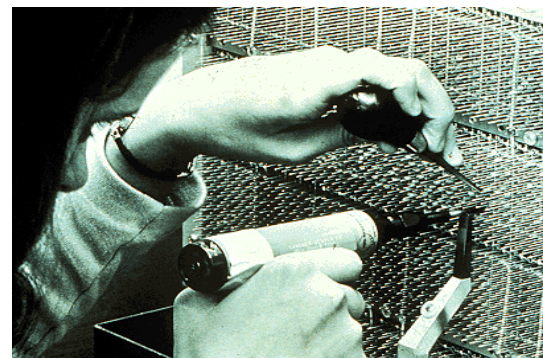
原理图 (schematic)

- 图块: 指示元器件及其管脚
- 连线: 指示元器件管脚之间的连接关系
- CAD: 用计算机辅助设计和分析...
- 仿真: 用计算机模拟真实电路的运行...
 - 模拟真实的程度, 取决于模型和算法



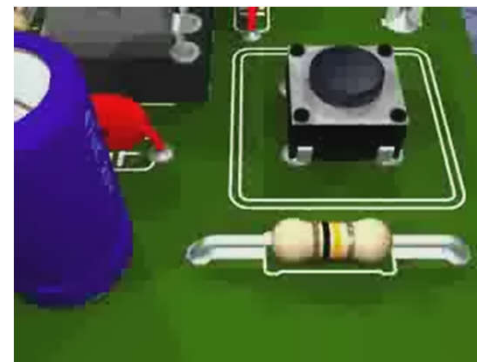
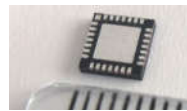
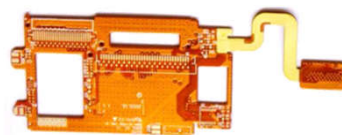
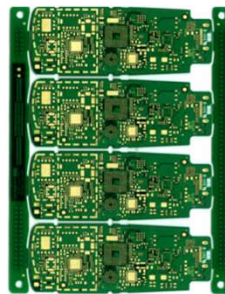
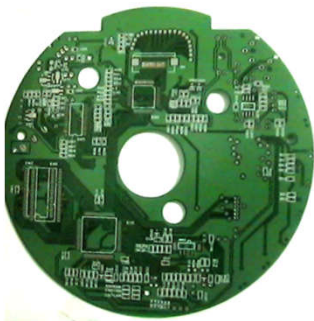
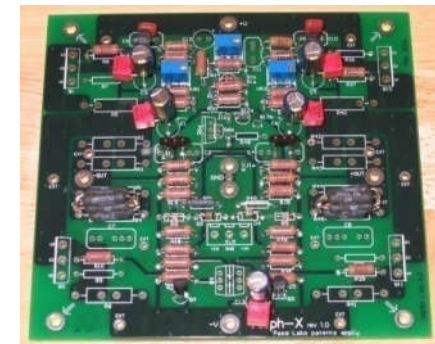
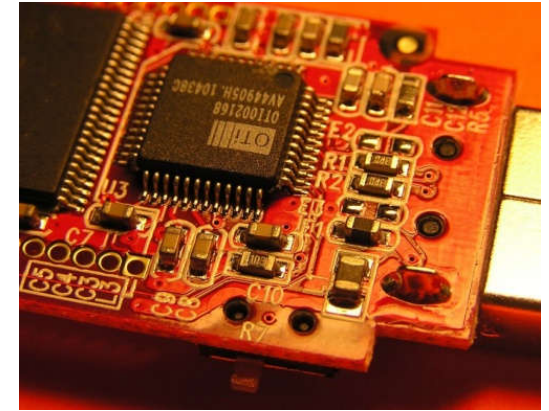
实验电路板的发展

- 钻孔式：元器件大而重，需要螺丝固定
- 绕线式：可以反复拆装，但走线繁复
- 焊接式：适合一般的电路，目前很常用
- 接插式：便于试验/教学，不适于复杂电路
- 智能式：和电源/信号源/虚拟仪器一体化



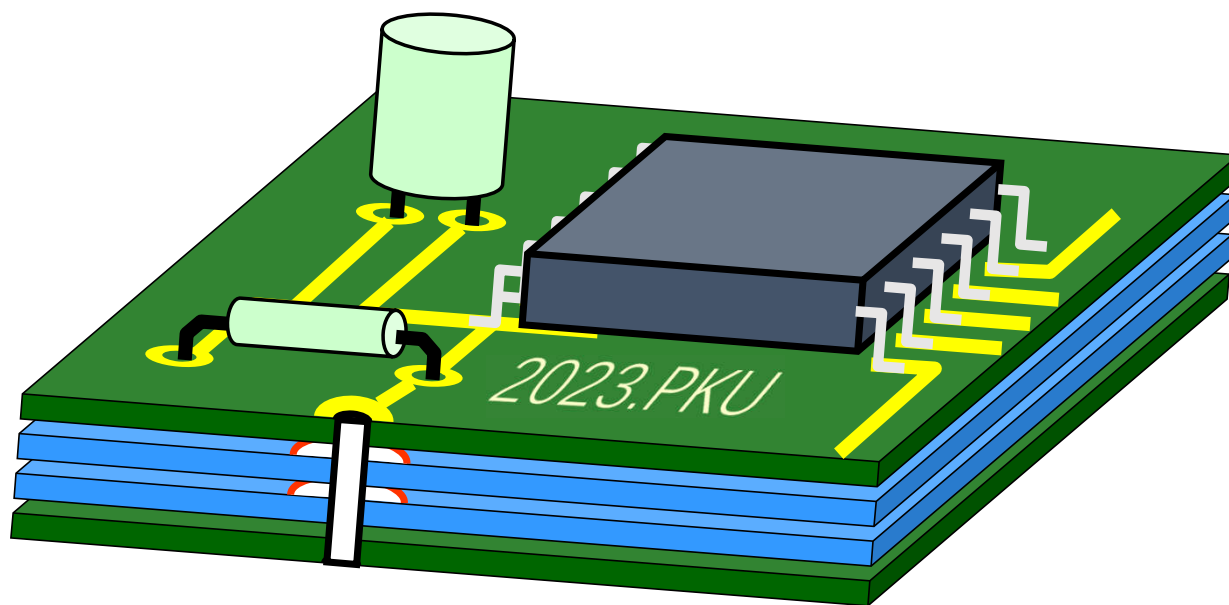
主流的印刷电路 (PCB)

- 电路板：多种形状和材质、不同层数…
- 覆铜层：绘制成连线与填充区
- 过孔Via：连接不同的铜层
- 焊盘Pad：安装、连接元器件的位置
- 元件和接插件：插装、表面贴装，插座



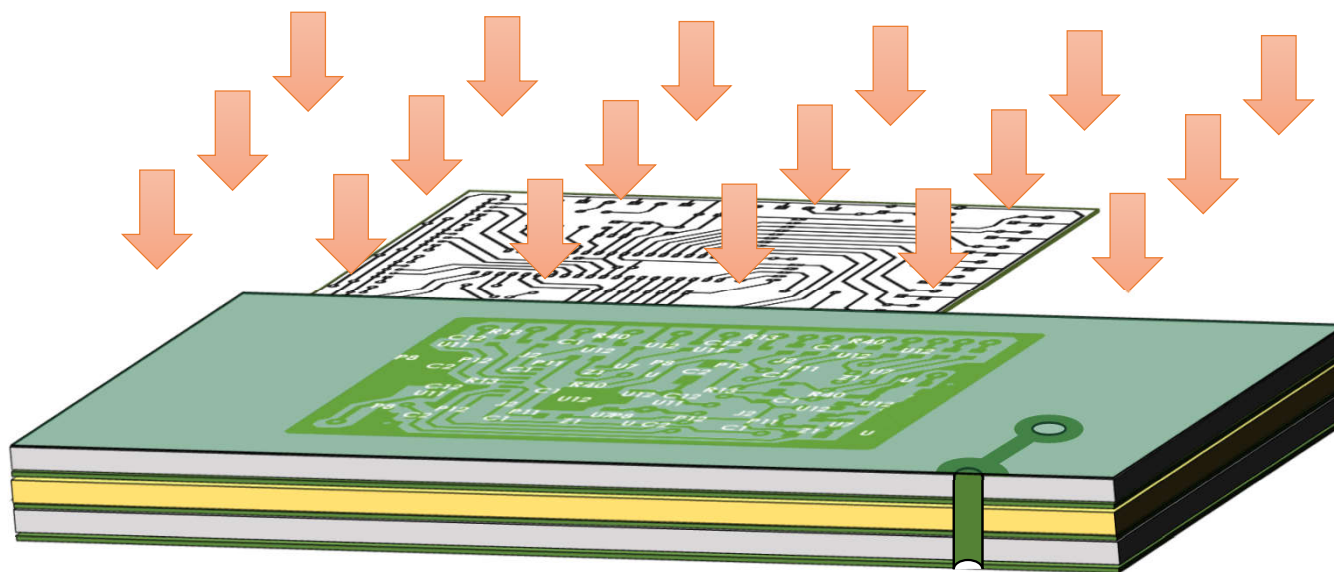
多层 PCB 及其 加工流程

- 优点：面积小/易走线/屏蔽性/新封装
- 缺点：加工难/成本高/测试难/维修难



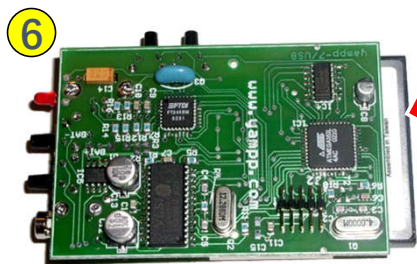
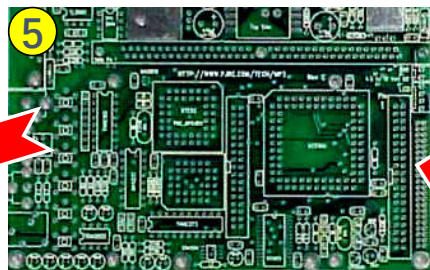
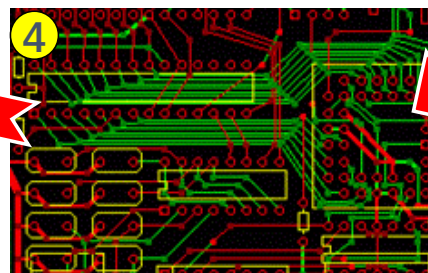
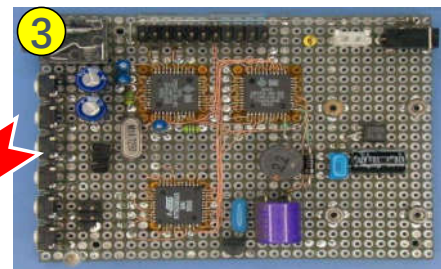
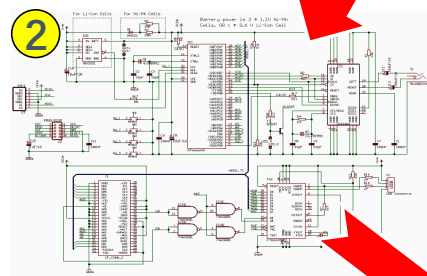
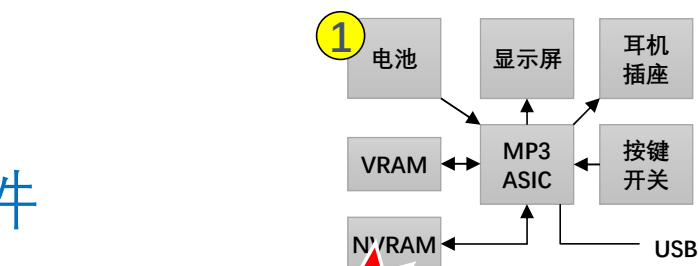
多层 PCB 及其 加工流程

- 步骤1: 裁板|压膜|曝光|显影|蚀刻|去膜|内检..
- 步骤2: 冲孔|铆合|叠板|压合|钻孔|去毛|去胶..
- 步骤3: 沉铜|镀铜|镀锡|阻焊|丝网|其它|检测...



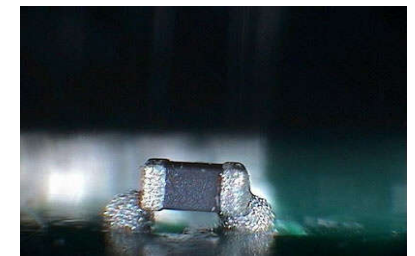
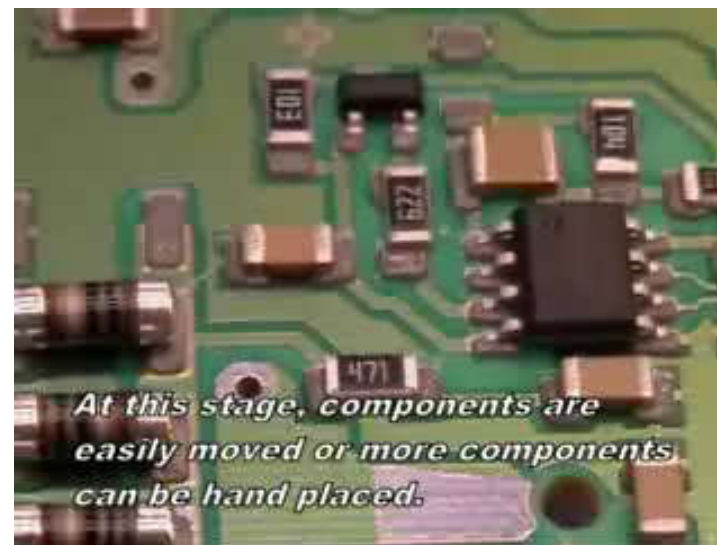
电路的设计和生产过程

- 方案调研：分析需求，提出方案，并选件
- 原理设计：完成原理图，导出网表
- 原型试验：调试原型，关键技术测试
- 定型设计：绘制PCB，设定测试方案
- 生产制造：PCB制造，装焊，测试



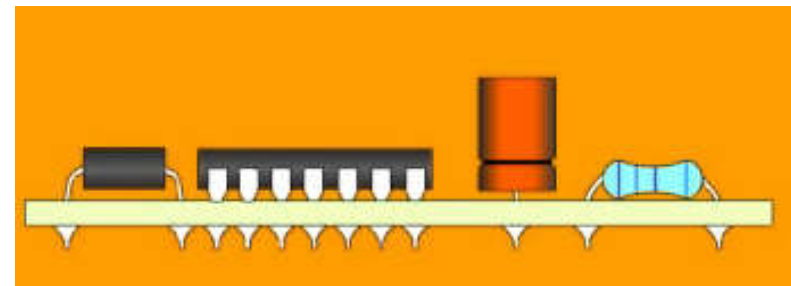
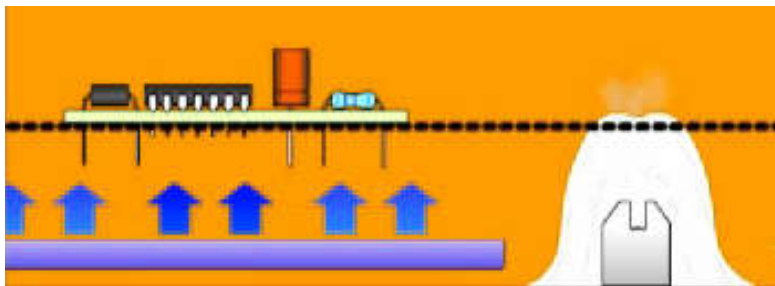
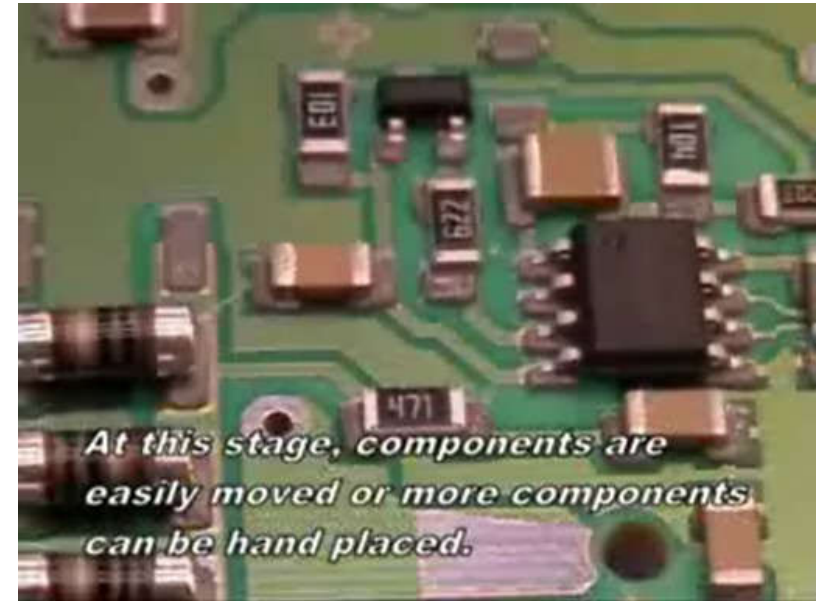
表面贴装工艺 (SMT)

- 查料|文件准备|程式制定
- 锡膏印刷|烘干|点固定胶|贴片|检测
- 回流焊/波峰焊|清洗|检测返修



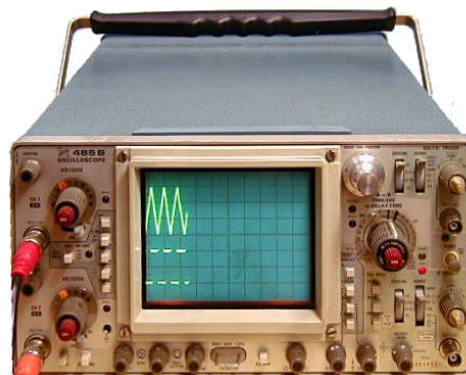
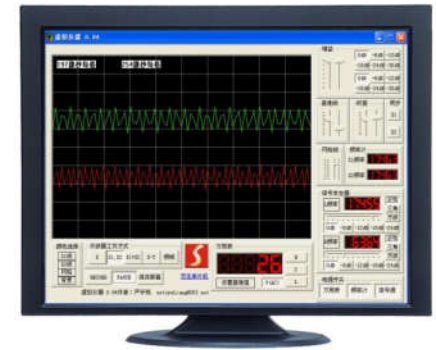
表面贴装工艺 (SMT)

- 查料|文件准备|程式制定
- 锡膏印刷|烘干|点固定胶|贴片|检测
- 回流焊/波峰焊|清洗|检测返修
- 翻面|针台测试|切割|人工装配|整机测试
 - 测试方法：光检测|电检测|X光|超声波



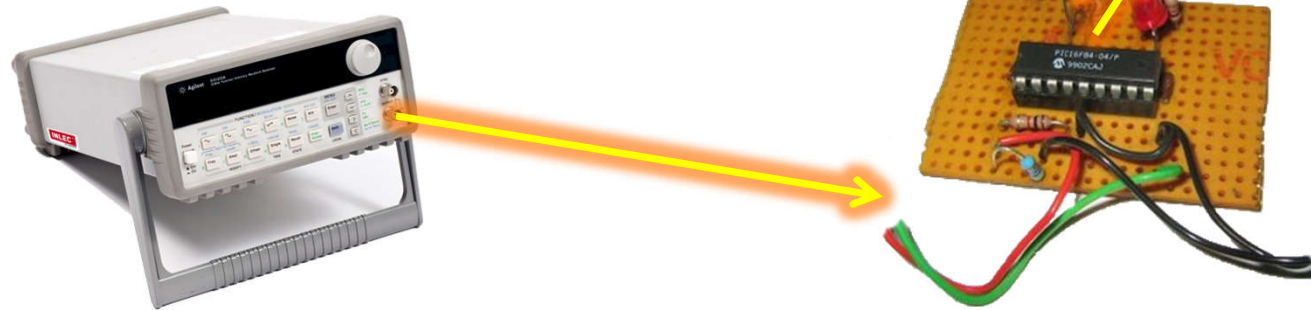
电信号的测量：常用仪器

- 万用表：测量电流、电压、电阻等...
- 示波器：电路试验/实验最重要的仪器
 - 观测电压~时间的函数波形
 - 同时观察多个信号之间的关系...
- 其他：信号发生器/频谱仪/场强仪/虚拟仪器...



电路的调试 和 仿真

- 目的：电路各处的信号是否符合预期
- 调试：真实的硬件 + 试验用的信号
- 仿真：虚拟的硬件 + 试验用的信号 <> 低成本
 - 增加了环节，但提高了效率 <> 返工周期短
 - 计算机辅助下，自动排错，自动/半自动设计
 - 可随意选择/设定各种器件，可自由编制测试信号
 - 可以采用丰富、直观的形式显示结果
 - 主要的缺陷：慢，少数情况下不符实



仿真软件的使用

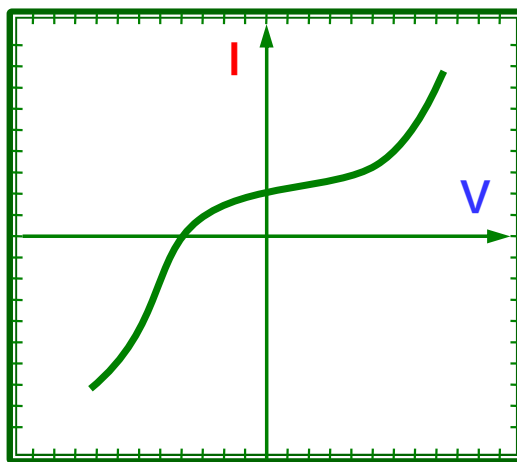
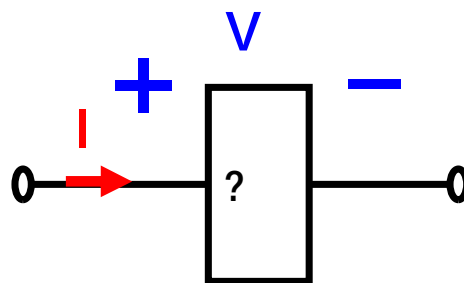
- 仿真软件的发展：SPICE + 图形界面
- 基本仿真步骤
 1. 放置元器件，信号源，测试仪器 …
 2. 连线 …
 3. 启动仿真
 4. 观察+分析
 5. 调整电路，再运行 …
- 仿真软件的发展方向：
 - 模型库不断扩充：数量、逼真程度
 - 模拟可编程器件：程序可以在虚拟芯片上运行
 - 混合式(半实物)仿真：与真实硬件相结合
 - 电子设计自动化(EDA)：仿真作为重要步骤

电路元器件

模拟电路元件

- 典型模拟元件

- 电阻
- 电容
- 电感
- 变压器（互感）
- 电源
- 晶体二极管
- 晶体三极管
- 集成放大器
-



~~不是双端口元件~~

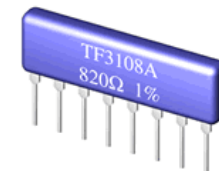
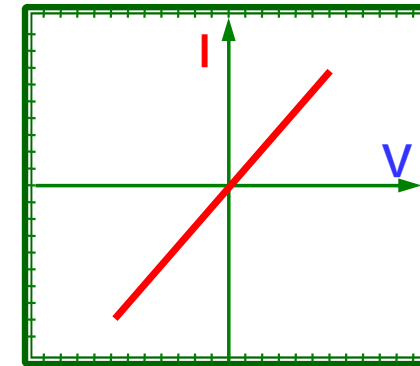
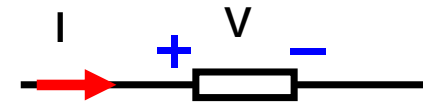
双端元件！

- VCR:
伏安特性
- $F(V, I) = 0$
- 推广: $F(V, I, t) = 0$

- 多端元件怎么描述？

电阻

- 欧姆定理: $I = V/R$
 - 过零点的直线, 斜率为 $1/R$
- 耗能元件: 焦耳热 = I^2R 或 V^2/R
- 用途很多: 限流、分流、降压、滤波、匹配、转换、上拉、下拉...
- 特殊电阻: 人体、大地、超导体...
- 参数:
 - 电阻值...
 - 其它: 尺寸、精度、额定功率...
- 固定电阻: 准确度、稳定度
- 可变阻值: 手动调节, 环境参数影响
 - 电阻传感器:
 - 阻值易随环境变化——热、光、压、湿...

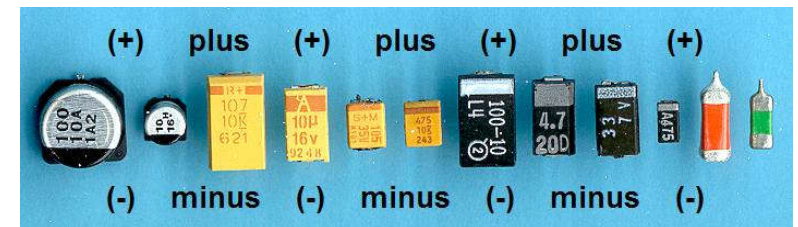


电阻的参数

- 标称阻值
 - 电阻器设定的电阻值。
 - 通常用数字或色标在电阻器上标志。欧(Ω)、千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)。
 - 直标法：将电阻的阻值直接用数字和字母印在电阻上
 - 色标法：将不同颜色的色环涂在电阻器上来表示电阻
- 允许偏差
 - 实际阻值与标称阻值间允许的最大偏差，以百分比表示。
 - 常用的有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ ，精密的小于 $\pm 1\%$ ，高精密的可达 0.001% 。
 - 通常同时标出标称值及允许误差
- 额定功率
 - 电阻器在额定温度下连续工作所允许耗散的最大功率。
- 其他参数
 - 非线性：电流与所加电压特性偏离线性关系的程度
 - 高频特性：阻值随工作频率增高而下降的关系。分布电容和分布电感
 - 温度系数：T.C.R.) 温度每改变 1°C 时阻值的平均相对变化， $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 。
 - 长期稳定性：电阻器在长期使用或贮存过程中受环境条件的影响阻值发生变化
 - 电压系数：所加电压每改变1伏时阻值的相对变化率、
 - 电流噪声：电阻体内因电流流动所产生的噪声电势的有效值与测试电压之比

电容

- 动态元件: $f(V, I, t) = 0$
 - $I = dQ/dt = d(CV)/dt = CV'$
 - 电流不是无穷大时, 电压不会突变
 - \Rightarrow 所谓的记忆性
 - 解含C的电路, 要解微分方程/组
- 电容的串、并联等效 和 R, L 相反
- 可逆的能量转化: 电能 \Leftrightarrow 电场能
 - 正弦信号激励下: I / V 相位差90度
 - 不消耗能量, 平均功率为零
- 用途: 滤波、存储、。。。
- 电容值: 恒定、可变



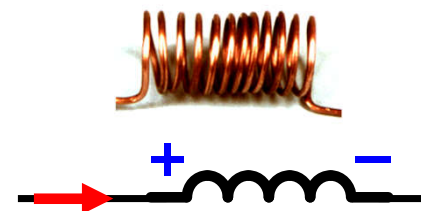
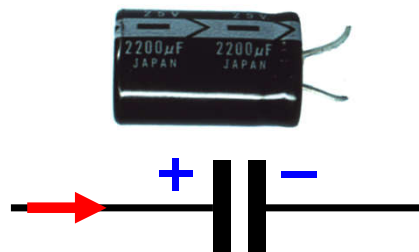
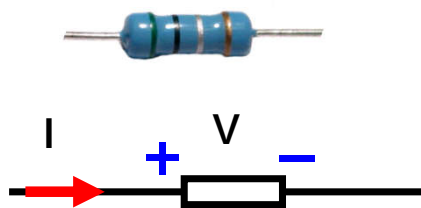
电感

- 动态元件: $f(V, I, t) = 0$
 - $V = n \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(L I)}{dt} = L I'$
 - 电压不是无穷大时, 电流不会突变 \Rightarrow 记忆性
 - 解含L的电路, 要解微分方程/组
- 可逆的能量转化: 电能 \rightleftharpoons 磁场能
 - 正弦信号激励下: V / I 相位差90度
 - 不消耗能量, 平均功率为零
- 与电容存在对偶性 \Rightarrow 用 C 设计的电路也有 L 版本
 - 成本比 C 贵 \Rightarrow 多数时候用 C
 - 需要 L、C 同时出现的电路, 替代起来比较难
- 电感值: 恒定、可变



线性元件：电阻R、电容C、电感L

- 元器件最基本描述方法：伏安特性 (VCR)
 - 电阻： $V = I R \Rightarrow$ 欧姆定理
 - 电容： $Q = C V \Rightarrow dQ/dt \Rightarrow I = C V'$
 - 电感： $\Phi = L I \Rightarrow n d\Phi/dt \Rightarrow V = L I'$
- 线性元件：在分析电路时有许多简便方法
 - 若 $I_0 \Rightarrow V_0$, 则： $A \cdot I_0 \Rightarrow A \cdot V_0$
 - 若 $I_1 \Rightarrow V_1$, $I_2 \Rightarrow V_2$, 则： $I_1 + I_2 \Rightarrow V_1 + V_2$



线性元件：电阻R、电容C、电感L 其他的元件？

- 电阻： $V = I R \Rightarrow dv = R di$
- 电容： $Q = C V \Rightarrow dq = C dv$
- 电感： $\Phi = L I \Rightarrow d\Phi = L di$

