

# 模拟电子技术创新人才教学改革探索

青岛大学

傅强



# 模拟电子技术创新人才教学改革探索

青岛大学

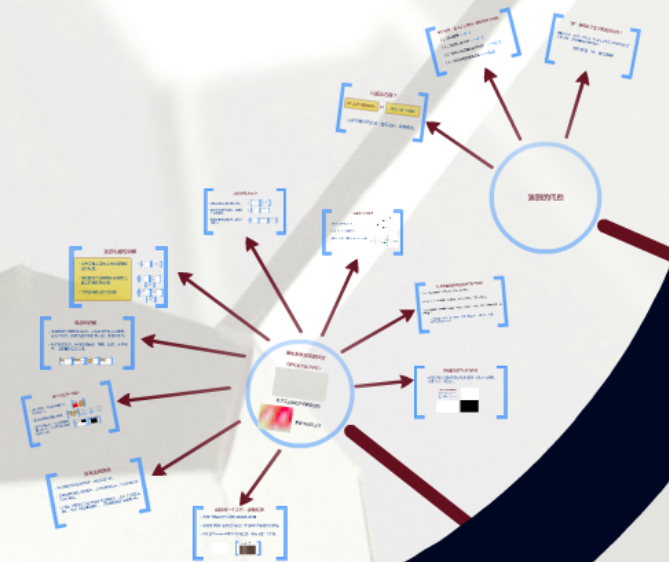
傅强



目录

问题

探索



遇到的问题

“会”模电的学生各位遇到过吗？


精通MCU、DSP、FPGA、Android/IOS APP的本科生  
大有人在，全部精通的我都见过。

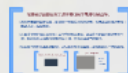
无师自通 VS 教也白教

## 学生视角：自己上大学的一些模电学习回忆

(1) 疑惑重重 → 

(2) 没必要学那么多 → 

(3) 既难学也没看出有什么用 → 


(4) 手足无措的模电实验 → 

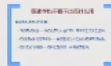
# 疑惑多的懒得问


- 按书上说的，场效应管比三极管先进多了，为什么书上还主要讲三极管？
- 运算放大电路元件误差那么大，运算结果根本不精确，为什么还用它来做运算？
- 书上很多讲解说不上有什么错，但就是不能以德服人。

## 学生视角：自己上大学的一些模电学习回忆

(1) 疑惑重重 → 

(2) 没必要学那么多 → 

(3) 既难学也没看出有什么用 → 

(4) 手足无措的模电实验 → 




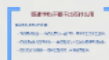
# 没必要学这么多


- 共射放大电路既能放大电压又能放大电流，我作为菜鸟不贪心，学会这个足够了。
- 把通用运放当理想运放用就行了，我走都不会也不去想跑的事了。

## 学生视角：自己上大学的一些模电学习回忆

(1) 疑惑重重 → 

(2) 没必要学那么多 → 

(3) 既难学也没看出有什么用 → 

(4) 手足无措的模电实验 → 


# 既难学也不看不出有什么用


包含但不限于以下内容：

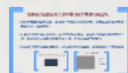
- 高频等效模型----煞有其事的一通计算，算不下去了又去近似。
- 有源滤波器的各种分类----最后也没给个结论该用哪种滤波器。
- 反馈组态的判别----看似工整对仗，实则无事生非。

## 学生视角：自己上大学的一些模电学习回忆

(1) 疑惑重重 → 

(2) 没必要学那么多 → 

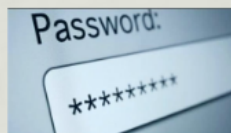
(3) 既难学也没看出有什么用 → 

(4) 手足无措的模电实验 → 

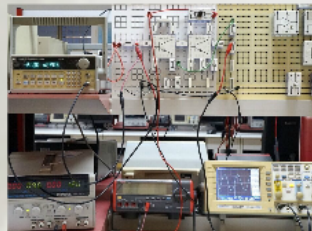
## 如果我实验做出来了,请不要叫我学霸,要叫我赌神。

- 依葫芦画瓢的搭好电路，像赌徒一样期待正确的结果。如果就是不出结果呢？重新来过，接着再赌。
- 传说中的分析差错能力呢？这个真没见过谁有，就是去问那些做出结果的同学，他们也不定能查不出我的错在哪，只不过是运气好罢了。
- 理论课尚且可以逃课或睡觉，实验课不仅不能逃课，还得像犯人一样被巡视。

一个反人类的任务：没有显示提示，去按100位长度的密码



搭积木，细心就行吗？

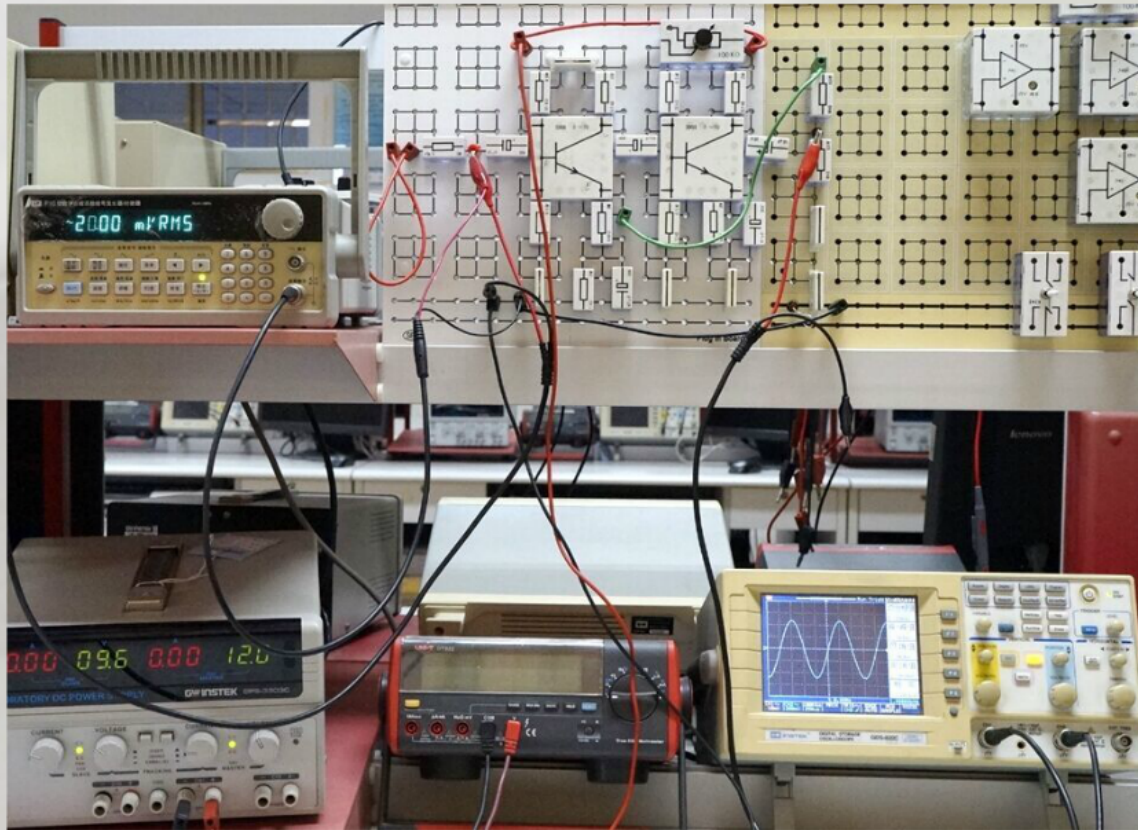


- 接触不良
- 元件损坏
- 仪器设置异常

一个反人类的任务：没有显示提示，去按100位长度的密码




## 搭积木，细心就行吗？




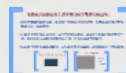
- 接触不良
- 元件损坏
- 仪器设置异常

## 学生视角：自己上大学的一些模电学习回忆

(1) 疑惑重重 → 

(2) 没必要学那么多 → 

(3) 既难学也没看出有什么用 → 

(4) 手足无措的模电实验 → 



# 问题出在哪？

这个上课不是讲过吗？

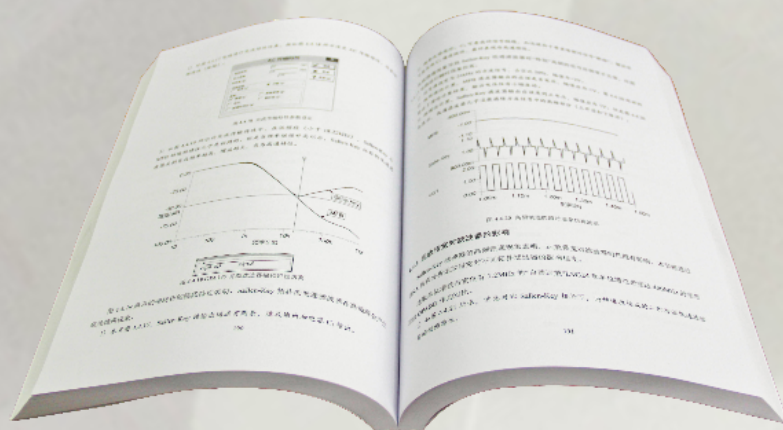
VS

讲过了就了不起啊

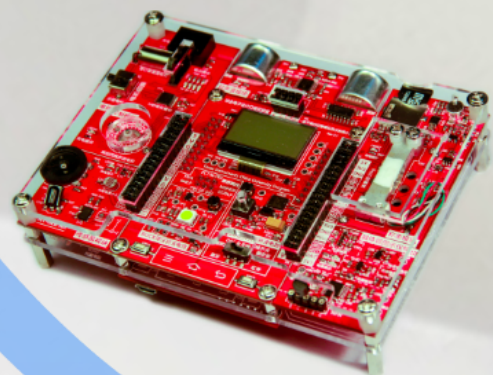
反思所教知识是否：值得去学，能够教会

# 模电教学改革探索

## 《模拟电子设计导论》



电子工业出版社近期会出版



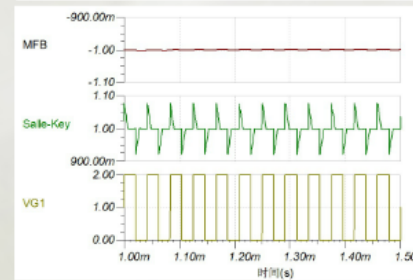
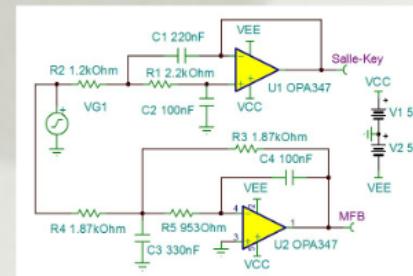
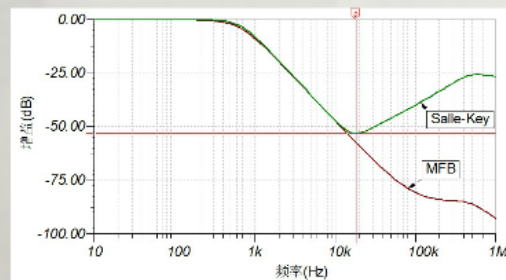
实验平台已上市

# 极端重视仿真软件的作用

- 大部分知识点均配有仿真电路和波形，仿真不出来的，尽量不讲，以德服人。

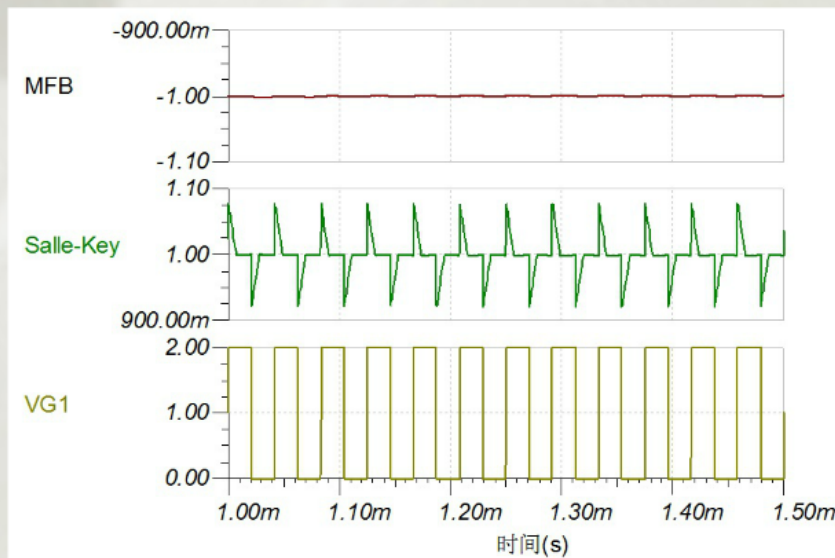
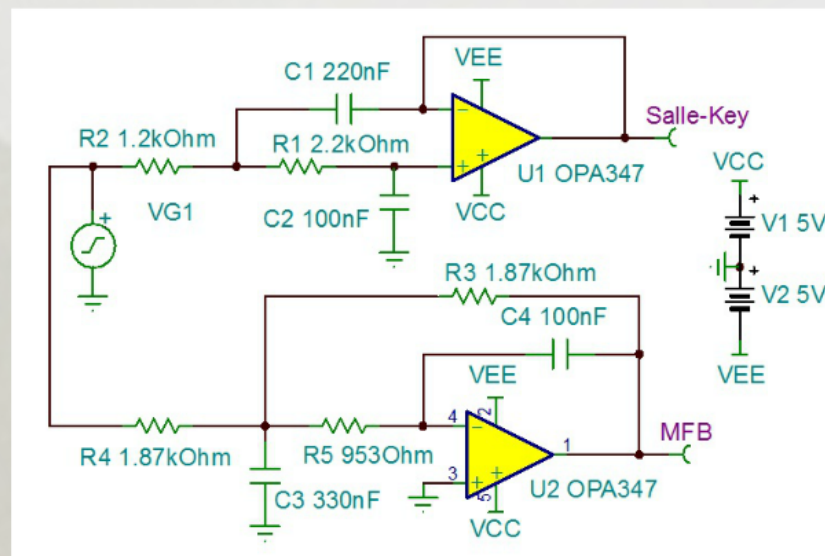
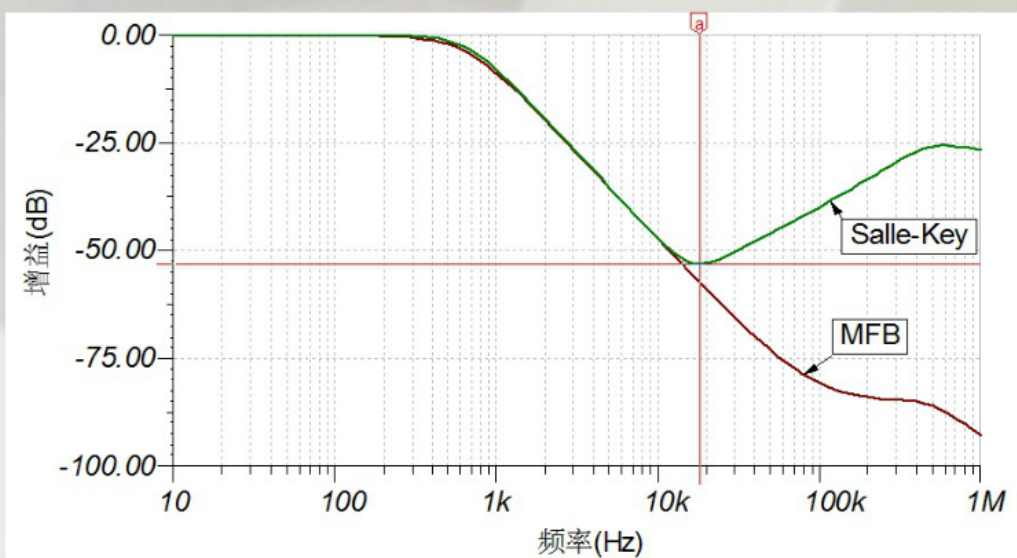
## Sallen-Key和MFB滤波器的区别

- 文字描述优缺点见过很多，然而还是不明所以。
- 仿真出两者的幅频特性曲线不一样。
- 仿真出什么时候不能用Sallen-Key，手起刀落，乾坤早定。



## Sallen-Key和MFB滤波器的区别

- 文字描述优缺点见过很多，然而还是不明所以。
- 仿真出两者的幅频特性曲线不一样。
- 仿真出什么时候不能用Sallen-Key，手起刀落，乾坤早定。



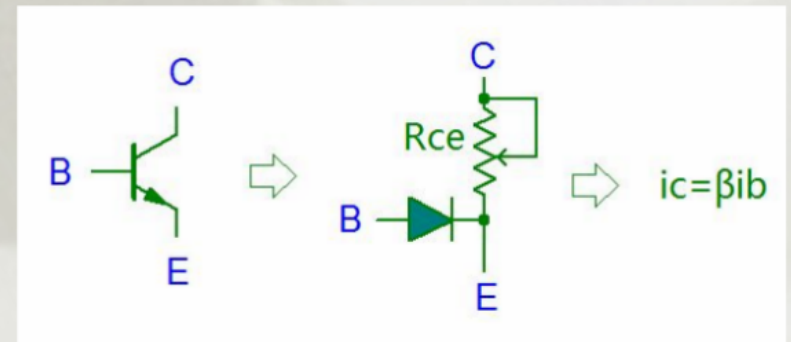
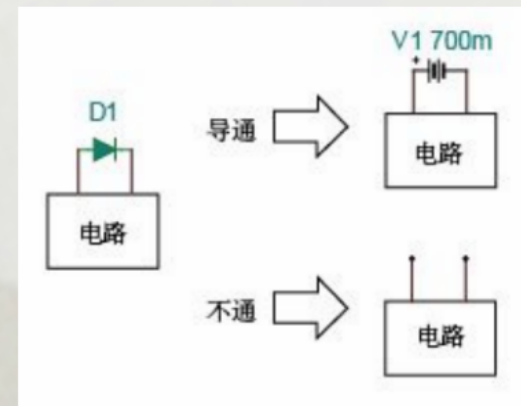
## 补充那些直接独立有用的模电知识

- (1) 完全不知道的：电导调制、热阻、阻抗匹配...
- (2) 听说过，但不知道具体细节的：阻抗与滤波器、带宽、波特图...
- (3) 以为知道，却理解不深刻的：电压源与电流源；电阻、电容、电感的本质；功率因数...

这些知识无需基础，无需智商，让学生尝到甜头，诱敌深入。别整的模电好像没用似的。

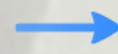
## 半导体器件的讲解

- 知其然，无需知其所以然。
- 简化到工程上可用地步就行了。
- 将来万一（考试）有需要，再打补丁也不迟。

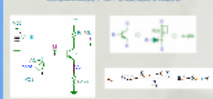


# 分立元件电路的讲解

- 欧姆定理算出输入输出关系。

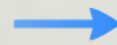


欧姆定律就是，根本不需要去学功的事



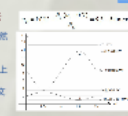
欧姆定律计算出来的结果以欧姆人。  
计算过程中，自然会把物理量取此物理量的  
物理意义。

- 波形分析法手绘波形，仿真软件验证波形。



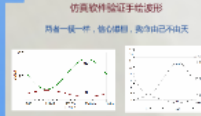
手绘波形分析法

- 每个节点的波形了节点心
- 电路的特性阻抗上
- 一般通过100个文字总结

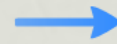


仿真软件验证手绘波形

鸟兽一统一片，信心爆棚，美由自己由天



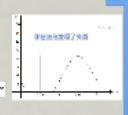
- 通过仿真来查找错误，实现自我提高。



深入分析电路特性

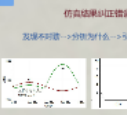
通常他人会得误差有幅  
 $\Delta \approx 2.1\%$

阻抗电路特性阻抗变化



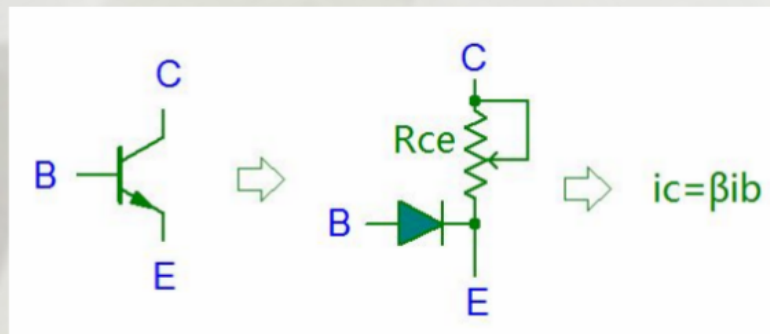
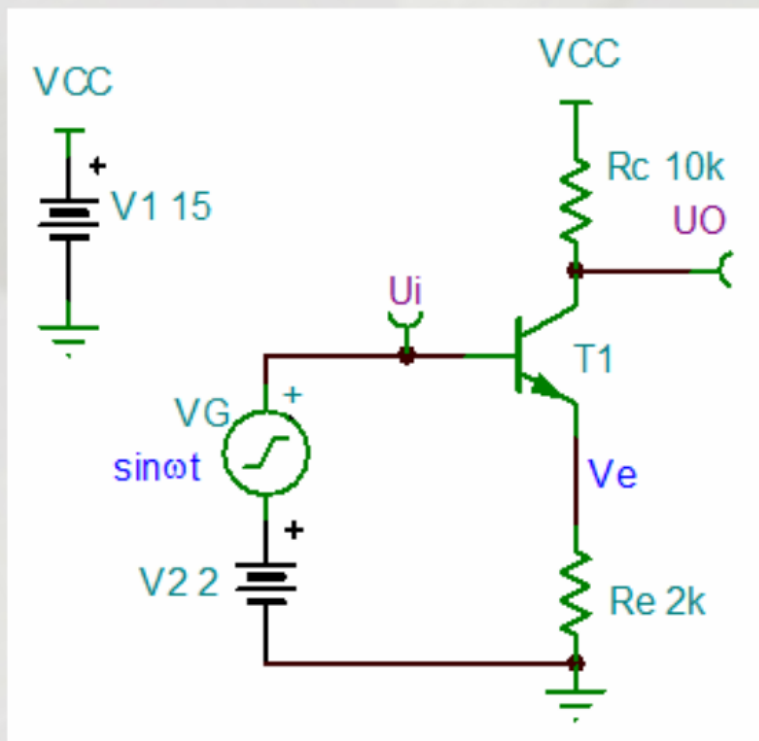
仿真结果验证错误

发现不对劲 -> 分析为什么 -> 5 出来的知识



不用害怕手板，不替别人心板。  
就图怎样更新+手绘波形分析+仿真波形对比  
都发出来了，带他改错不麻烦已，一纸必求之。

欧姆定理足矣，根本就没微变等效的事



$$u_o = V_{CC} - \frac{R_C(u_i - 0.7)}{R_E} = 8.5 - 5 \sin \omega t$$

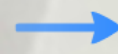


越简单的理论算出来的结果越能以德服人。

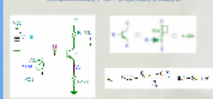
计算的过程中，自然会领悟电路参数此消彼长的物理意义。

# 分立元件电路的讲解

- 欧姆定理算出输入输出关系。

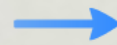


欧姆定律是基础，根本没必要去学等效的事



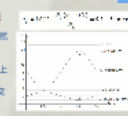
欧姆定律算出来的结果只能给人看，  
计算过程中，自然会把物理量转换成你设计的  
物理意义。

- 波形分析法手绘波形，仿真软件验证波形。



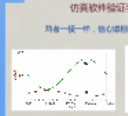
手绘波形分析法

- 每个节点的波形了孩子心
- 电路的特性数据上
- 一般通过1000个文字总结

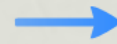


仿真软件验证手绘波形

鸟兽一嗅一闻，信心爆棚，美在自由由天



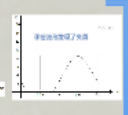
- 通过仿真来查找错误，实现自我提高。



深入分析电路特性

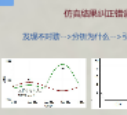
通常他人会写漏掉有漏  
 $\Delta$  2. 10%

电路特性曲线图



仿真结果验证错误

发现不对劲 -> 分析为什么 -> 5 出来的知识

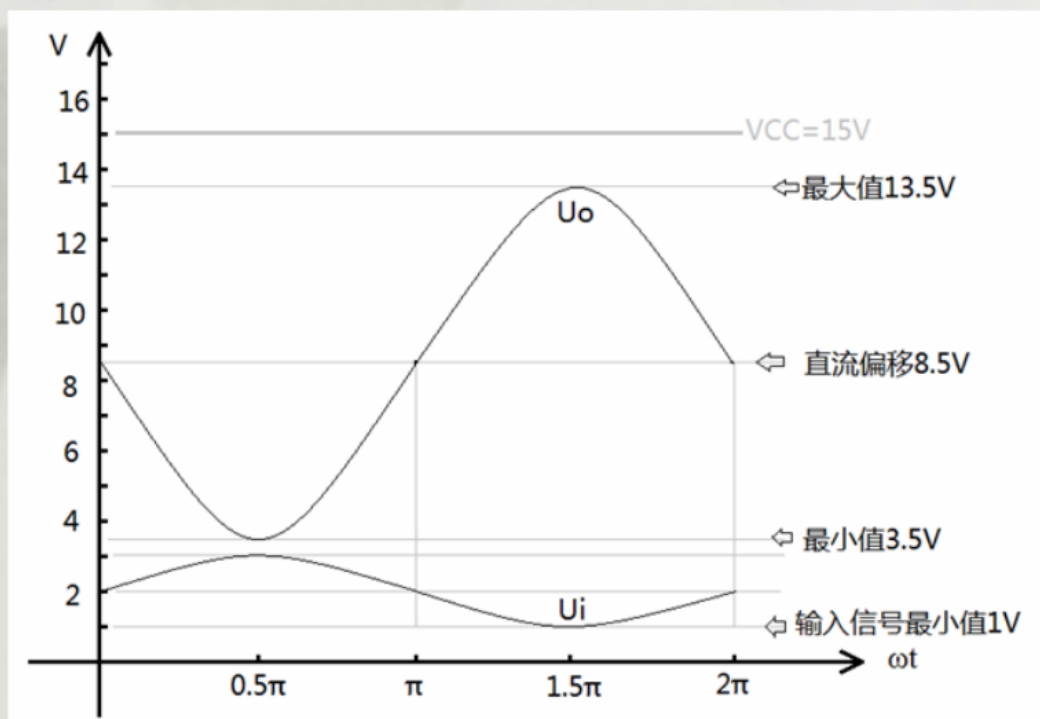


不用害怕手酸，不费苦心思。  
就图怎么样，手绘波形分析，仿真波形验证  
都发出来了，怕你改错不彻底已，一纸必求之。

## 手绘波形分析法

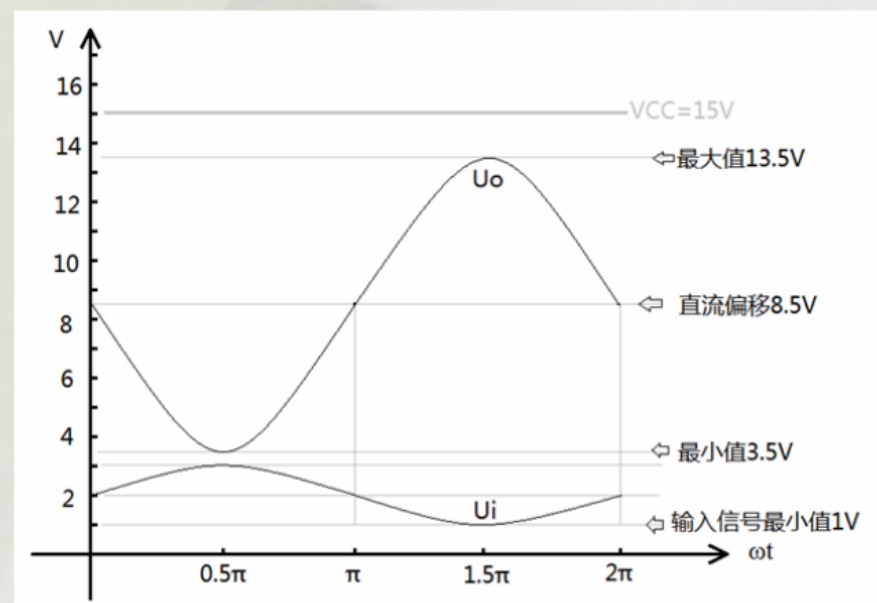
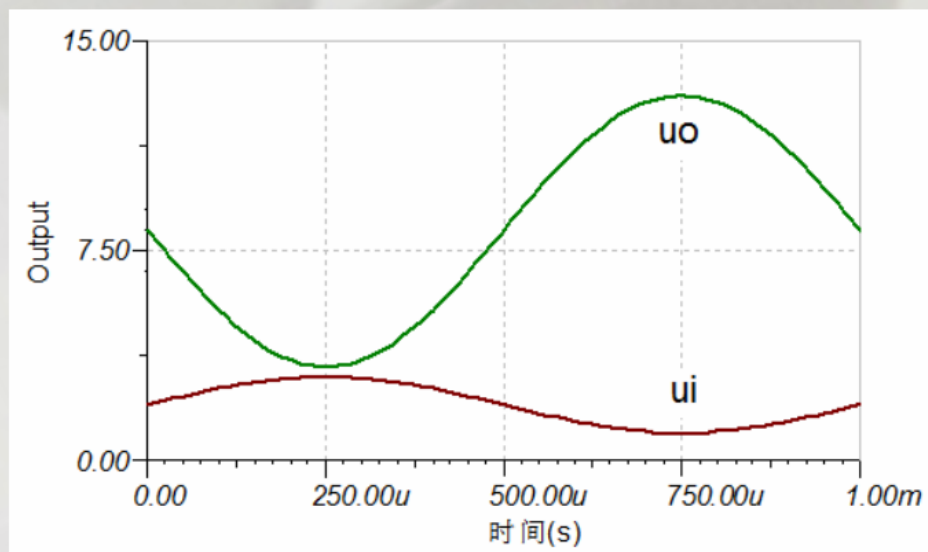
- 每个节点的波形了然于心
- 电路的特性跃然纸上
- 一张图胜过100句文字总结

$$u_O = V_{CC} - \frac{R_C(u_i - 0.7)}{R_E} = 8.5 - 5 \sin \omega t$$



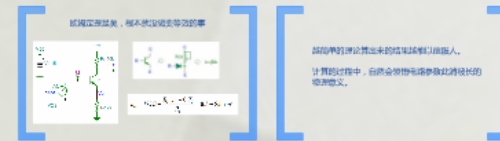
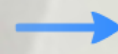
# 仿真软件验证手绘波形

两者一模一样，信心爆棚，我命由己不由天

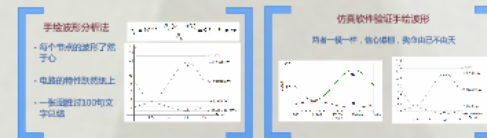
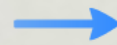


# 分立元件电路的讲解

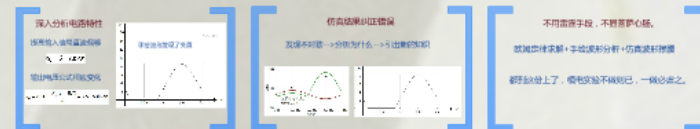
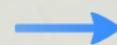
- 欧姆定理算出输入输出关系。



- 波形分析法手绘波形，仿真软件验证波形。



- 通过仿真来查找错误，实现自我提高。



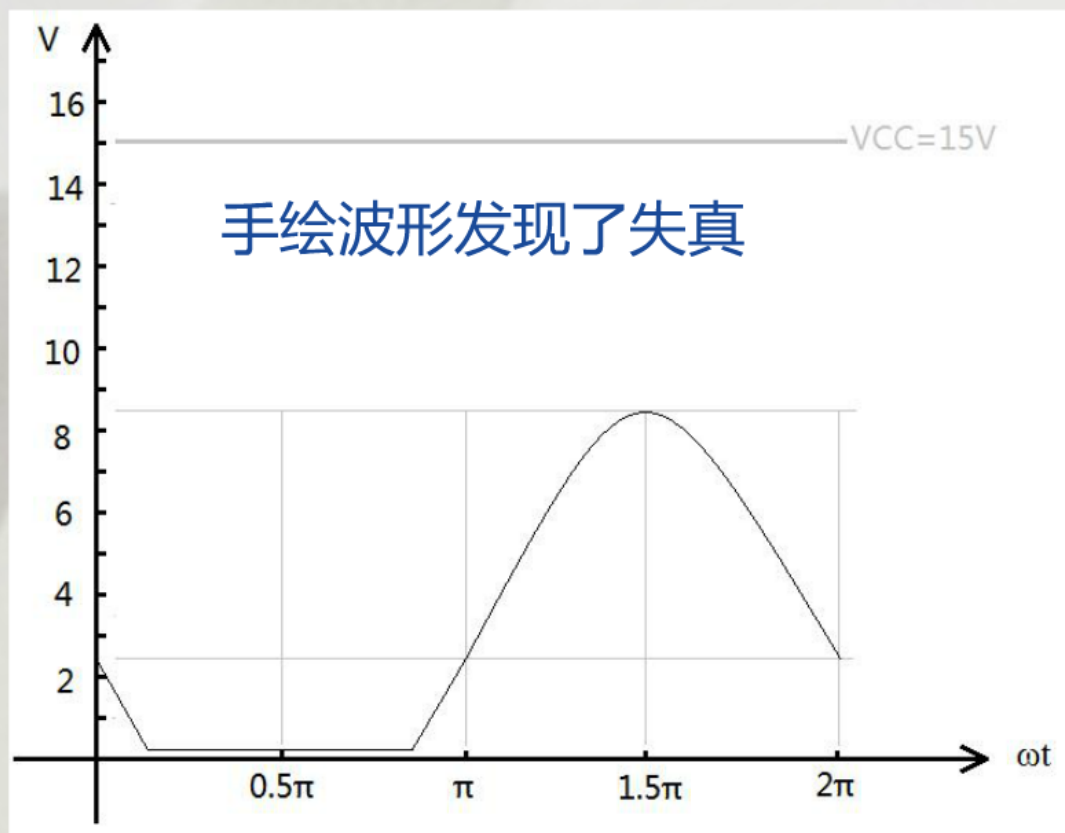
# 深入分析电路特性

提高输入信号直流偏移

$$u_i = 3 + \sin \omega t$$

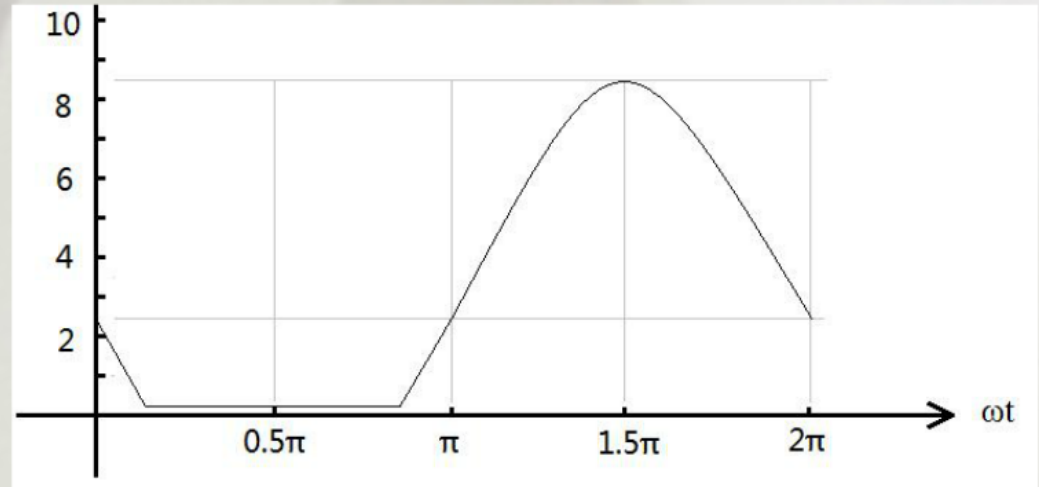
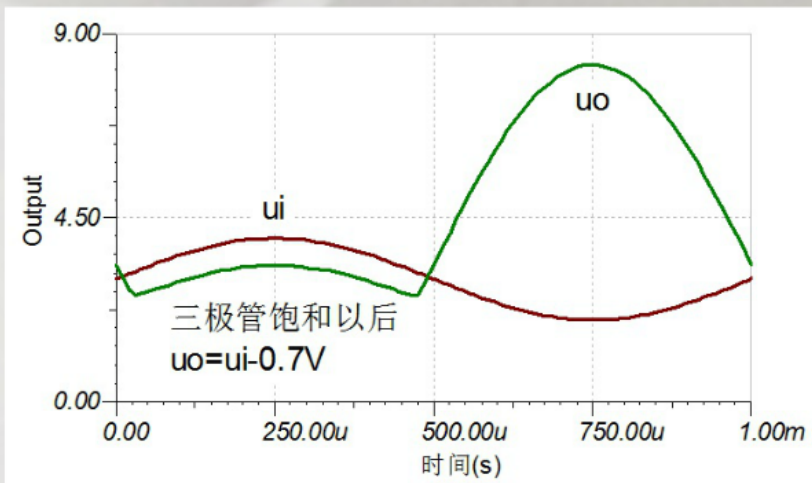
输出电压公式相应变化

$$u_o = V_{CC} - \frac{R_C(u_i - 0.7)}{R_E} = 3.5 - 5 \sin \omega t$$



# 仿真结果纠正错误

发现不对劲-->分析为什么-->引出新的知识



不用雷霆手段，不显菩萨心肠。

欧姆定律求解+手绘波形分析+仿真波形撑腰

都到这份上了，模电实验不做则已，一做必虐之。

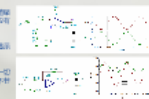


# 运放电路的讲解

- 穷举工程上用的上的全部理想运放电路。
- 用反面的仿真案例来说明高性能运放到底好在哪。
- 仿真出特殊运放的功能

实际有用的运算电路

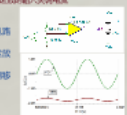
- 简单电路，输入输出，数据流图可识别。
- 作数据流图或显示波形。
- 模拟电路设计一切误差源，器件非理想化。



这么多电路就打算能记住  
预备将来当字典来翻的


Bipolar输入级和输入级电路

- 尔诺斯输入级和输入级电路
- 虽然用的也是很贵的硅管
- 仿真输出产生了真值漂移



FET输入级和输入级电路

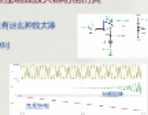
- 5M电阻用 $\mu A$ 级运放
- 输入级用 $100nA$ 级运放
- 不输出工地上级别，大家对其总是称“根本不用”。



零件列表和仿真结果  
得什么结果  
如何解释不了的结果，马上交给物理和电子学  
不要问不去以解释什么？

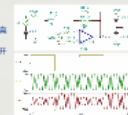
压控增益放大器功能仿真

- 电路和世界上有这么大的大器
- 输出使用上的限制



别人的假控制增益大器

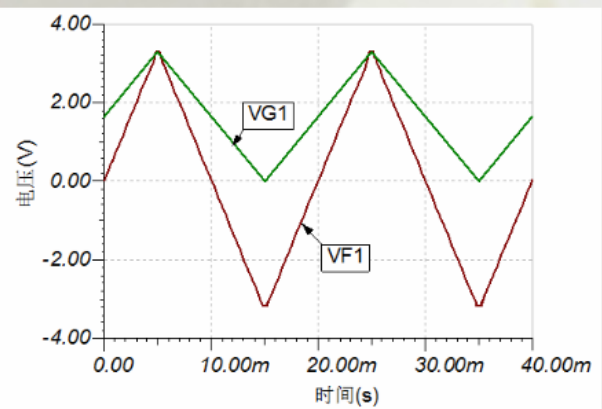
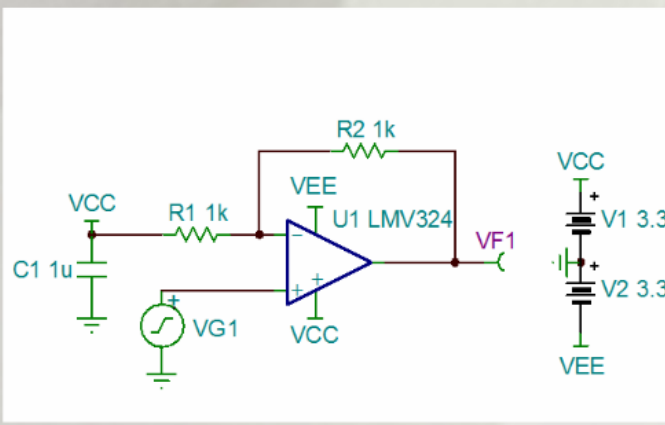
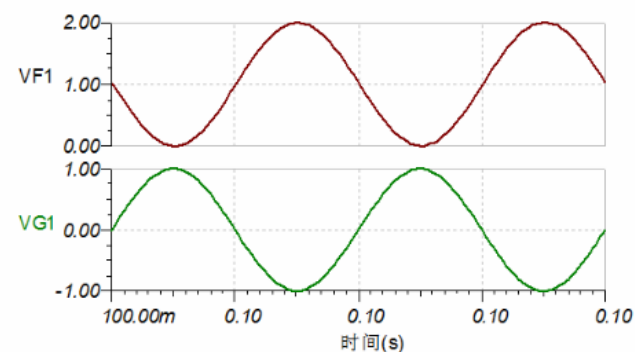
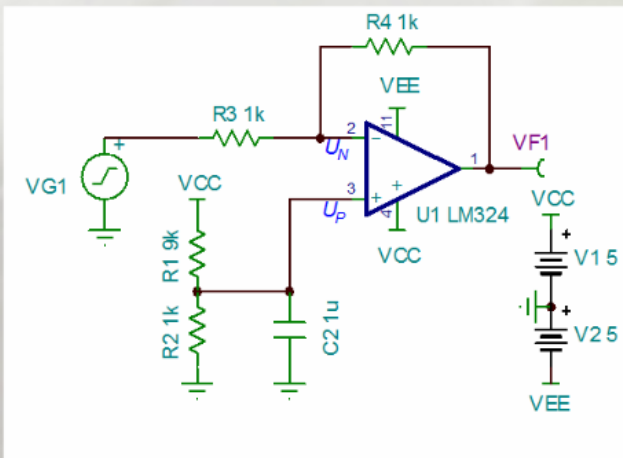
- 没有使用任何元件的仿真
- 工程应用中，可以用任何开关的方法实现控制增益



学习实践，有能做的以实践可  
只能教育技术的好坏  
没的做作，做的做作过做  
做作做作做作做作

# 实际有用的运算电路

- 电平平移、幅值缩放、加减乘除应有尽有。
- 仿真波形直观显示疗效。
- 叠加原理搞定一切理论推导，绝不节外生枝。



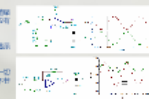
这么多电路就没打算能记住

预备将来当字典来翻的

# 运放电路的讲解

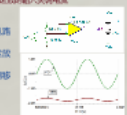
- 穷举工程上用的上的全部理想运放电路。
- 用反面的仿真案例来说明高性能运放到底好在哪。
- 仿真出特殊运放的功能

实际有用的运算电路




这么多电路就打算能记住  
预备将来当字典来翻的

Bipolar输入级和输入级电路

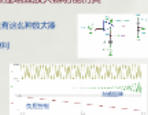


FET输入级和输入级电路

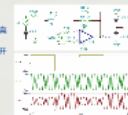


器件参数和性能参数对比  
得比较清楚  
如何设计不了的时候，马上知道如何和参数对比  
不要说不去比较参数在干什么？

压控增益放大器功能仿真



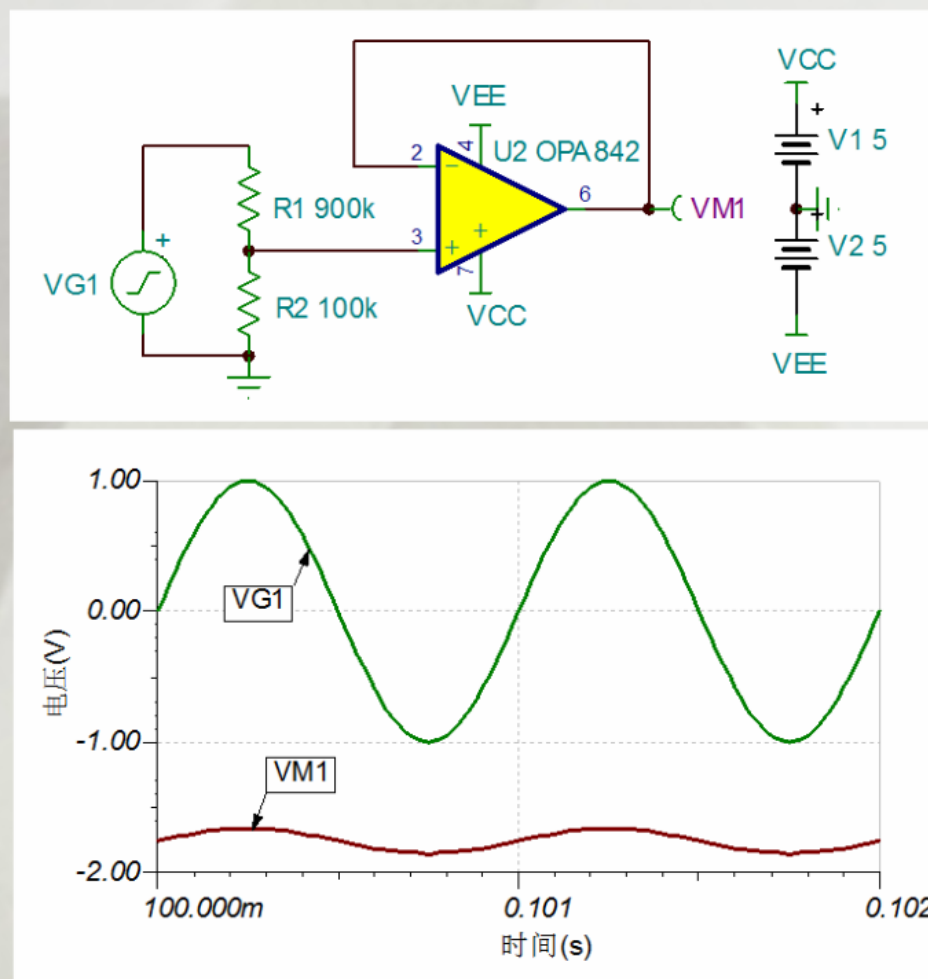
别人的压控增益放大器



学习实践，有做过的可以对比  
可以教育很大的对比就是  
没做过的，做的会做出来  
做过的做出来可以对比

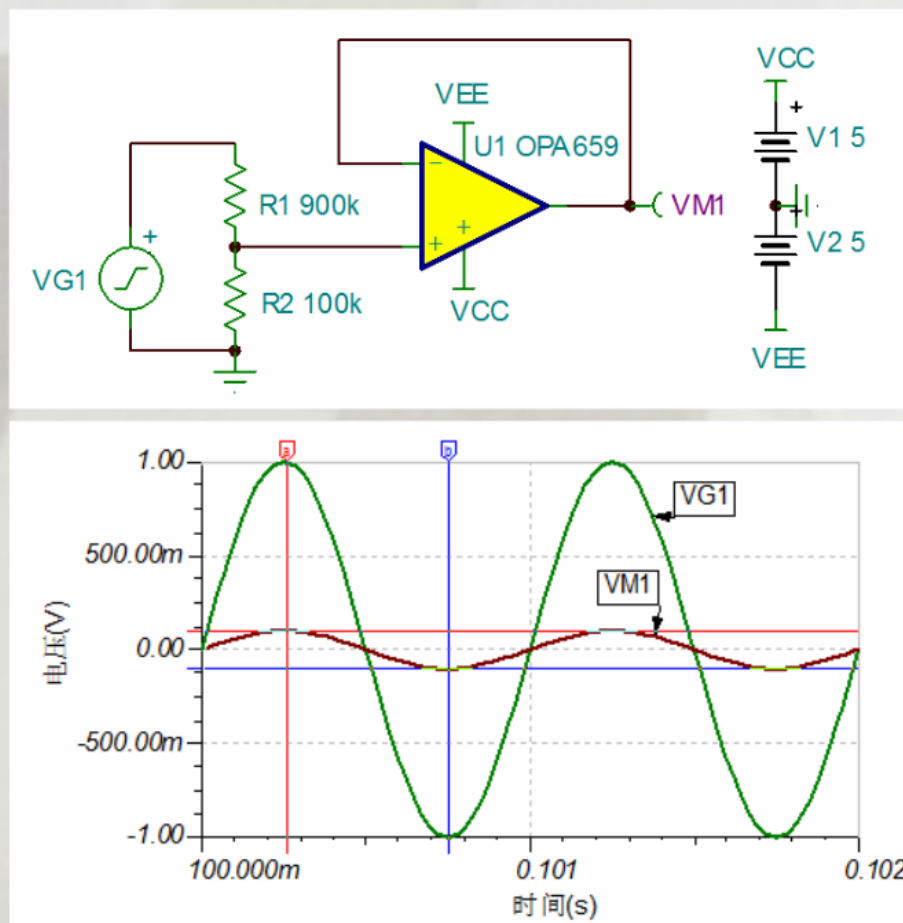
## Bioplor输入运放的输入失调电流

- 示波器探头衰减缓冲电路
- 虽然用的也是很贵的运放
- 但是输出产生了直流偏移



## FET输入运放的输入失调电流

- 失调电流是 $\mu\text{A}$ 还是 $\text{nA}$
- 输入阻抗是 $\text{M}\Omega$ 还是 $\text{G}\Omega$
- 不举出工程上实例，大家对这些指标是“麻木不仁”的。



离开剂量谈毒性都是耍流氓

得过且过是天性

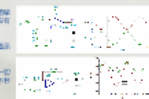
就得举活不了的例子，否则空洞的谈指标等于废话

不是活不下去花那冤枉钱干什么？

# 运放电路的讲解

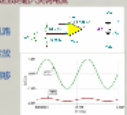
- 穷举工程上用的上的全部理想运放电路。
- 用反面的仿真案例来说明高性能运放到底好在哪。
- 仿真出特殊运放的功能

实际有用的运算电路




这么多电路就打算能记住  
预备将来当字典来翻的

Bipolar输入级和输入级电路

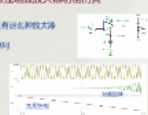


FET输入级和输入级电路

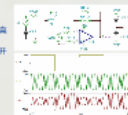


器件参数和电路模型  
得仔细研究  
如何设计不了的时候，马上知道电路和模型哪里  
不要搞不清楚电路在干什么？

压控增益放大器功能仿真



别人的压控增益放大器

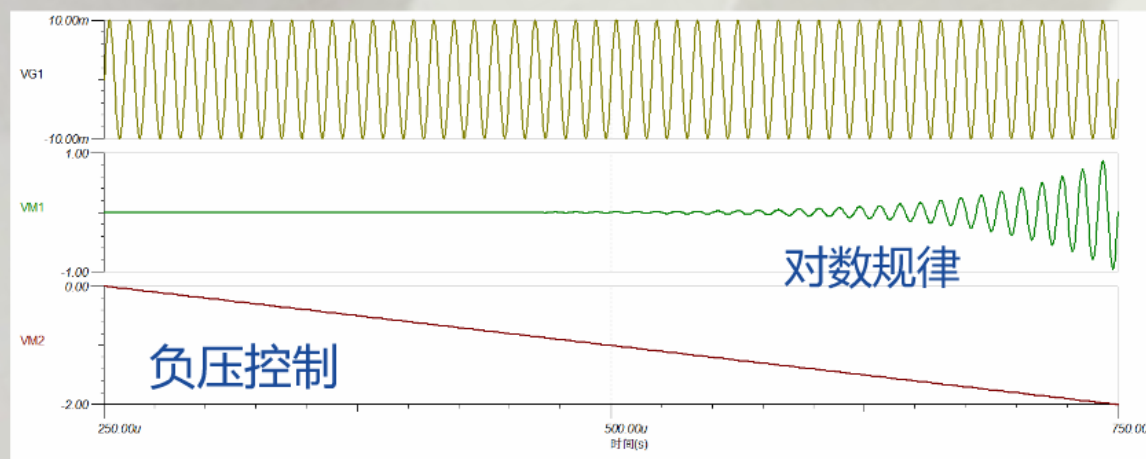
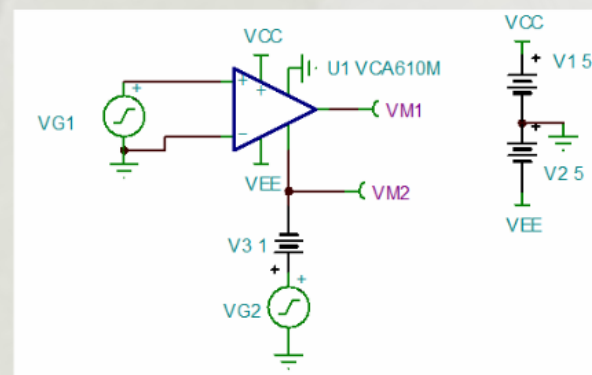


学习电路，有能仿真的电路模型  
和能仿真电路的仿真模型  
没的仿真的，就的仿真的  
要仿真的电路模型



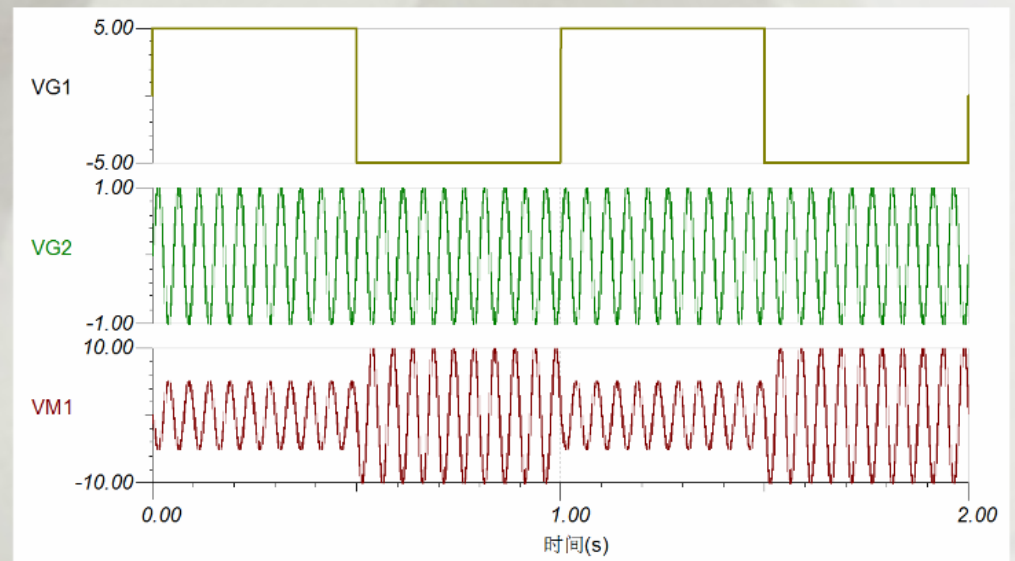
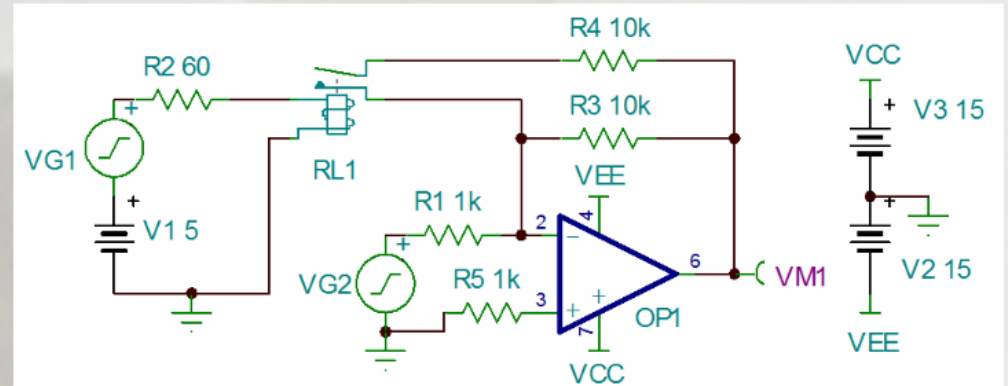
# 压控增益放大器功能仿真

- 需要知道世界上有这么种放大器
- 突出使用上的便利



# 穷人的程控增益放大器

- 没有条件创造条件也要仿真
- 工程实践中，可以用切换开关的方法实现程控增益



学海无涯，有些知识知其皮毛即可

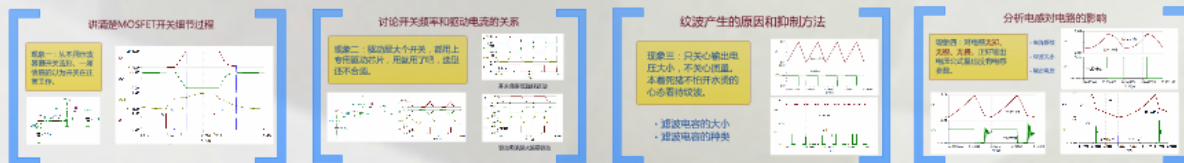
科班教育最大的好处就是

没吃猪肉，起码也看过猪跑

搜索也得知道关键词不是

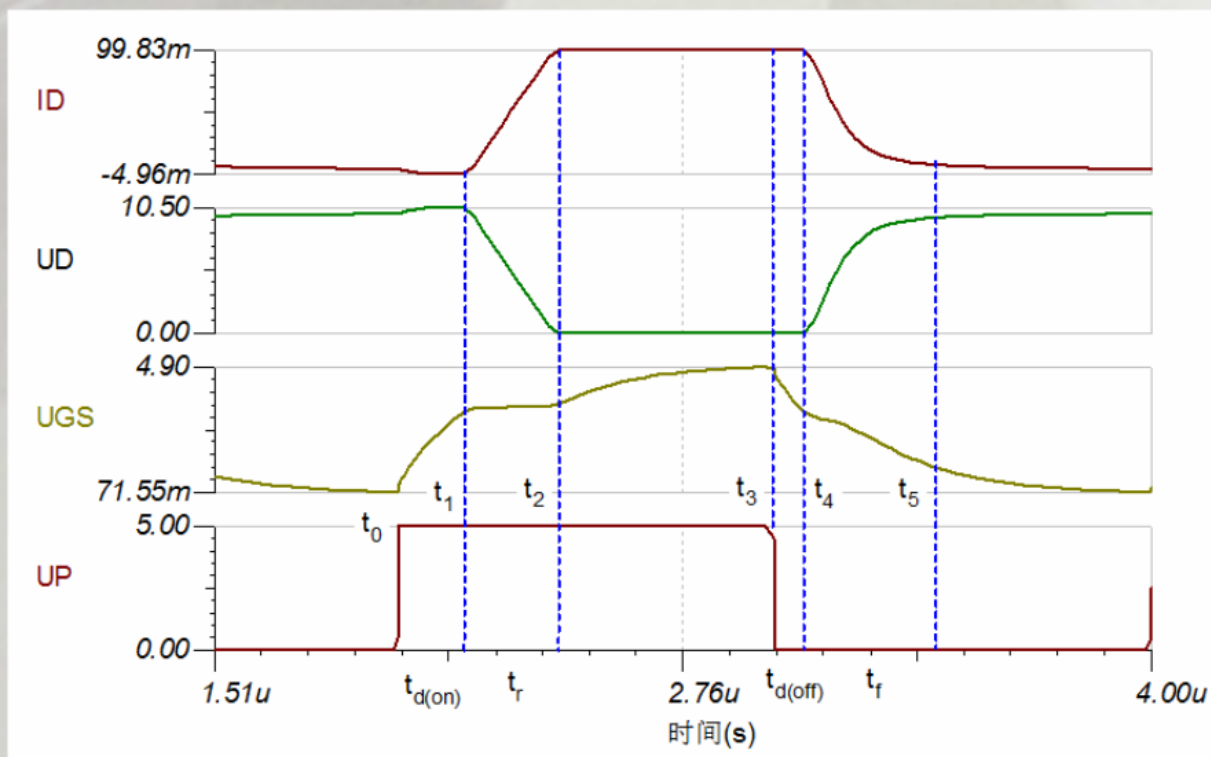
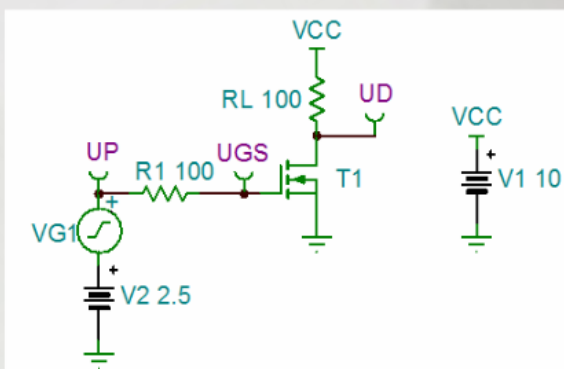
# 电源的讲解

- 电源有别于其他模拟电路，主电路很少且无法创意，成败在细节。伤其九指不如断其一指，贵精不贵多。
- 针对斩波电路，详细讨论驱动、隔离、纹波、开关频率、电感量对电路影响。



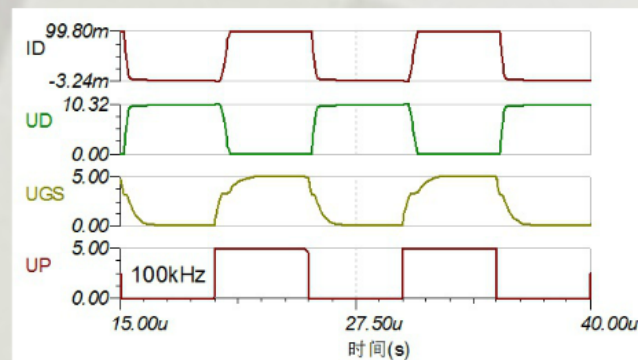
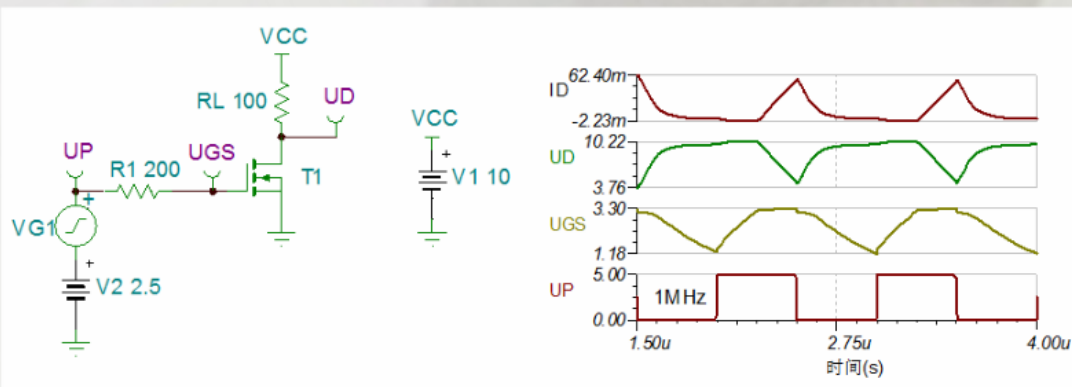
# 讲清楚MOSFET开关细节过程

现象一：从不用示波器测开关波形。一厢情愿的以为开关在正常工作。

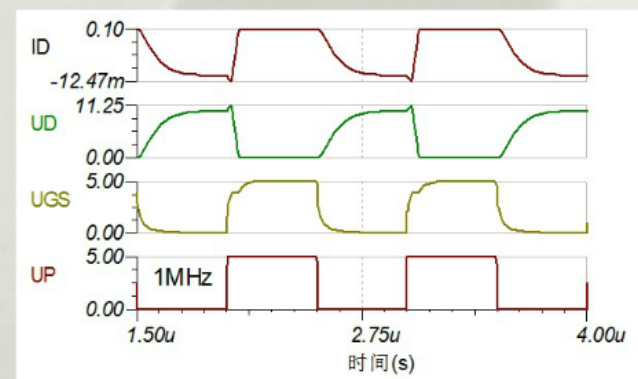


# 讨论开关频率和驱动电流的关系

现象二：驱动屁大个开关，都用上专用驱动芯片，用就用了吧，选型还不合适。



开关频率低越好驱动

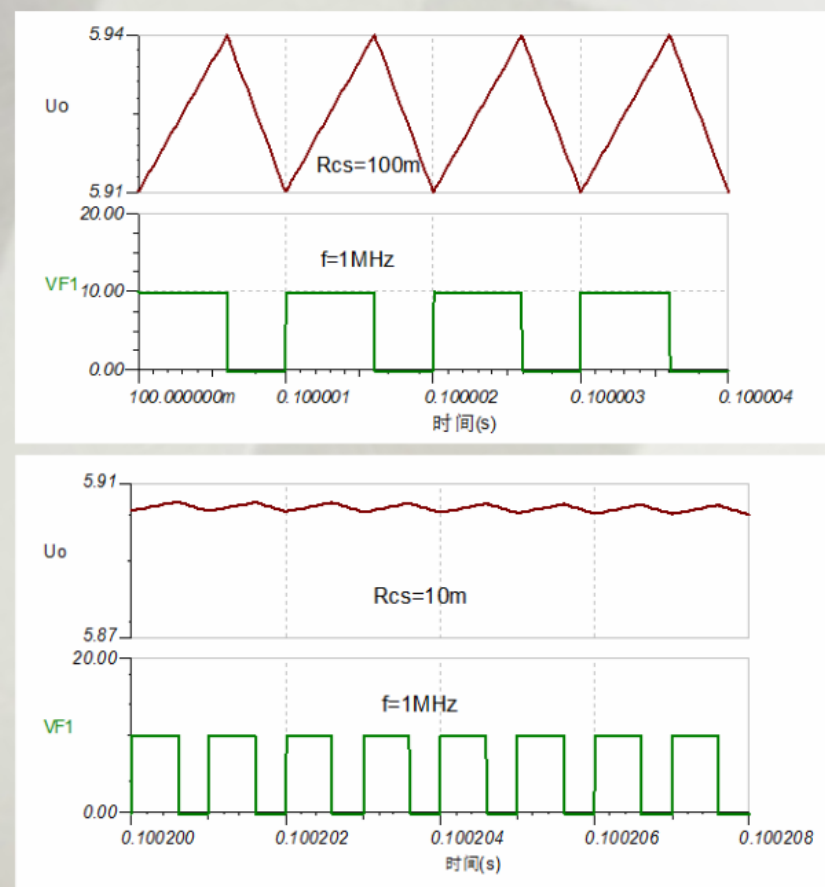


驱动电流越大越易驱动

# 纹波产生的原因和抑制方法

现象三：只关心输出电压大小，不关心质量。  
本着死猪不怕开水烫的心态看待纹波。

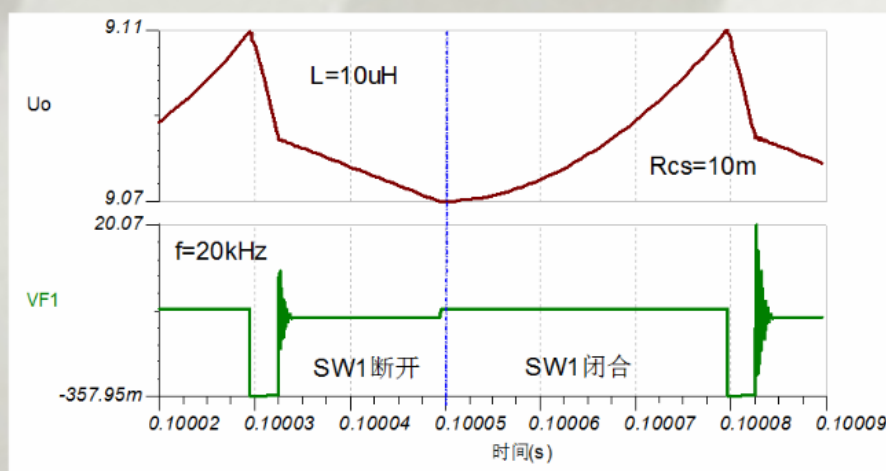
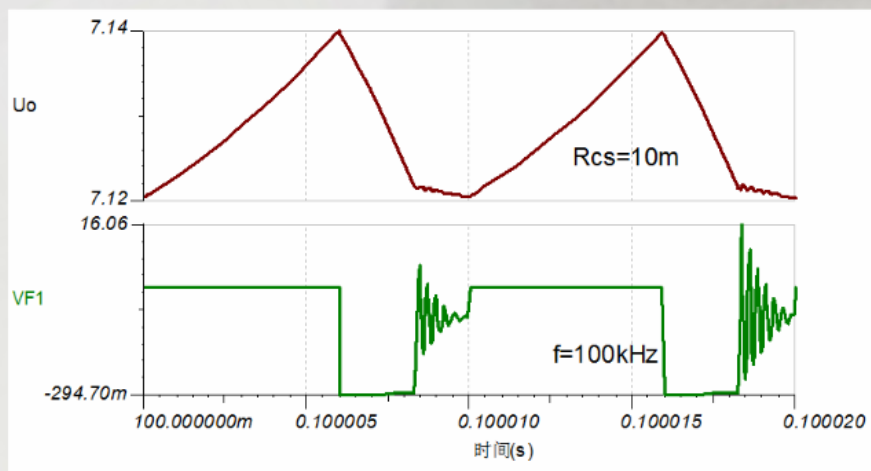
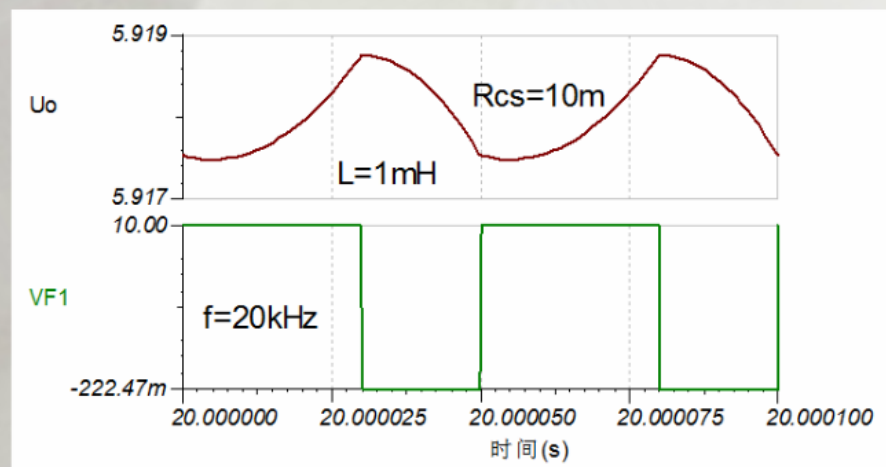
- 滤波电容的大小
- 滤波电容的种类



# 分析电感对电路的影响

现象四：对电感无知、无视、无畏。正好输出电压公式里也没有电感参数。

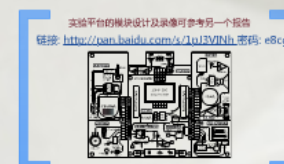
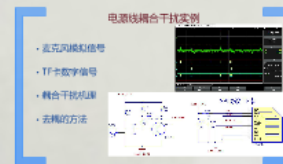
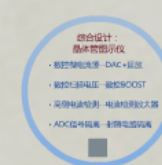
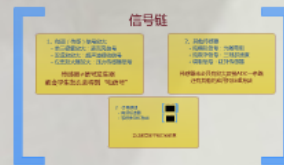
- 电流断续
- 纹波大小
- 输出电压





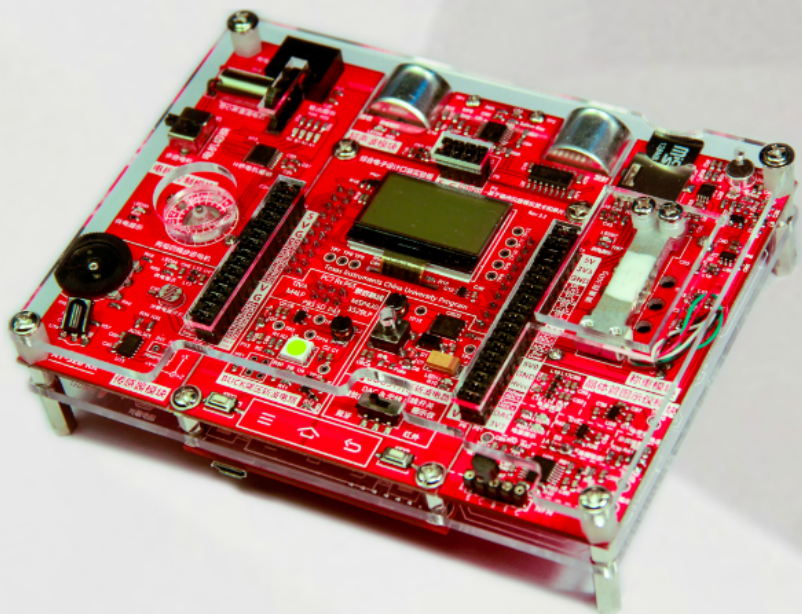
# 综合实验平台设计

- 引入单片机，真实反映模拟和数字的分工。
- 覆盖尽量典型的模拟电路。
- 设计过程详尽，不仅有新增的模拟知识点，还包含设计遇到的实际问题。



# LaunchPad系列单片机对插设计

为了看得懂代码，增加独立的  
4章节单片机知识



第6章 单片机编程基础知识

第8章 用户实验例程

附录C ST7567与图形库

附录D SD卡与文件系统

# 综合实验平台设计

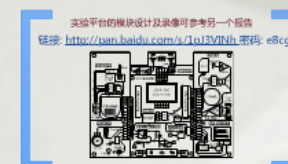
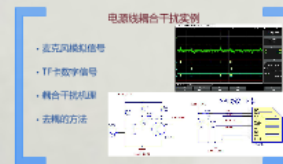
- 引入单片机，真实反映模拟和数字的分工。



- 覆盖尽量典型的模拟电路。



- 设计过程详尽，不仅有新增的模拟知识点，还包含设计遇到的实际问题。



# 信号链

## 1、微弱（传感）信号放大

- 单三极管放大：麦克风信号
- 双运放放大：超声波接收信号
- 仪表放大器放大：压力传感器信号

传感器 ≠ 信号发生器  
教会学生怎么去得到“电信号”

## 2、其他传感器

- 纯模拟信号：光敏电阻
- 纯数字信号：三轴加速度
- 调制信号：红外传感器

传感器未必只有放大后接ADC一条路  
还有其他的应用和处理方法

## 3、信号调理

- 有源滤波器
- 双极性DAC输出



验证前面所学知识和仿真

## 1、微弱（传感）信号放大

- 单三极管放大：麦克风信号
- 双运放放大：超声波接收信号
- 仪表放大器放大：压力传感器信号

传感器 ≠ 信号发生器

教会学生怎么去得到“电信号”

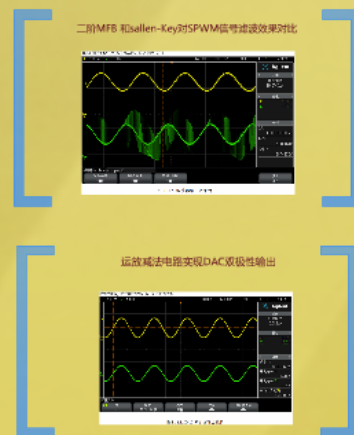
## 2、其他传感器

- 纯模拟信号：光敏电阻
- 纯数字信号：三轴加速度
- 调制信号：红外传感器

传感器未必只有放大后接ADC一条路  
还有其他的应用和处理方法

### 3、信号调理

- 有源滤波器
- 双极性DAC输出



验证前面所学知识和仿真

## 二阶MFB 和sallen-Key对SPWM信号滤波效果对比

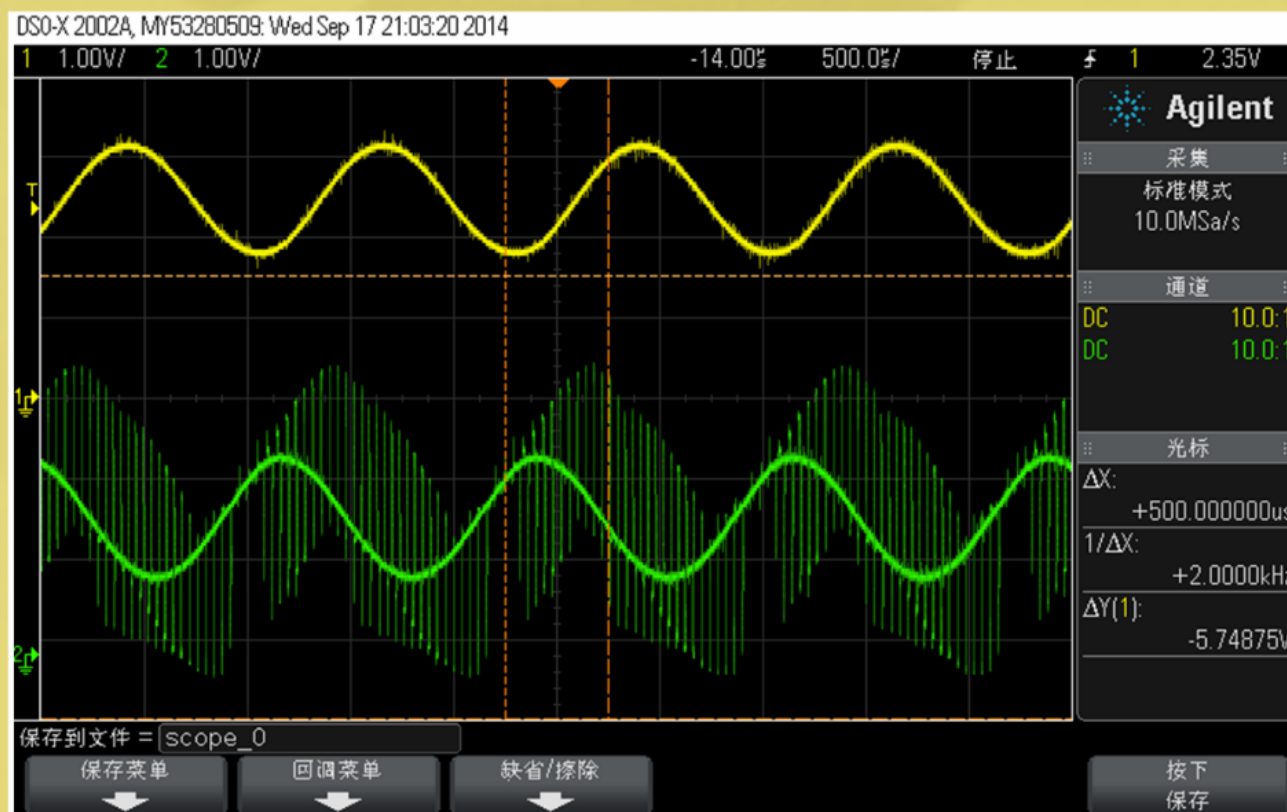


图 8.12.5 滤波器输出效果对比



## 运放减法电路实现DAC双极性输出

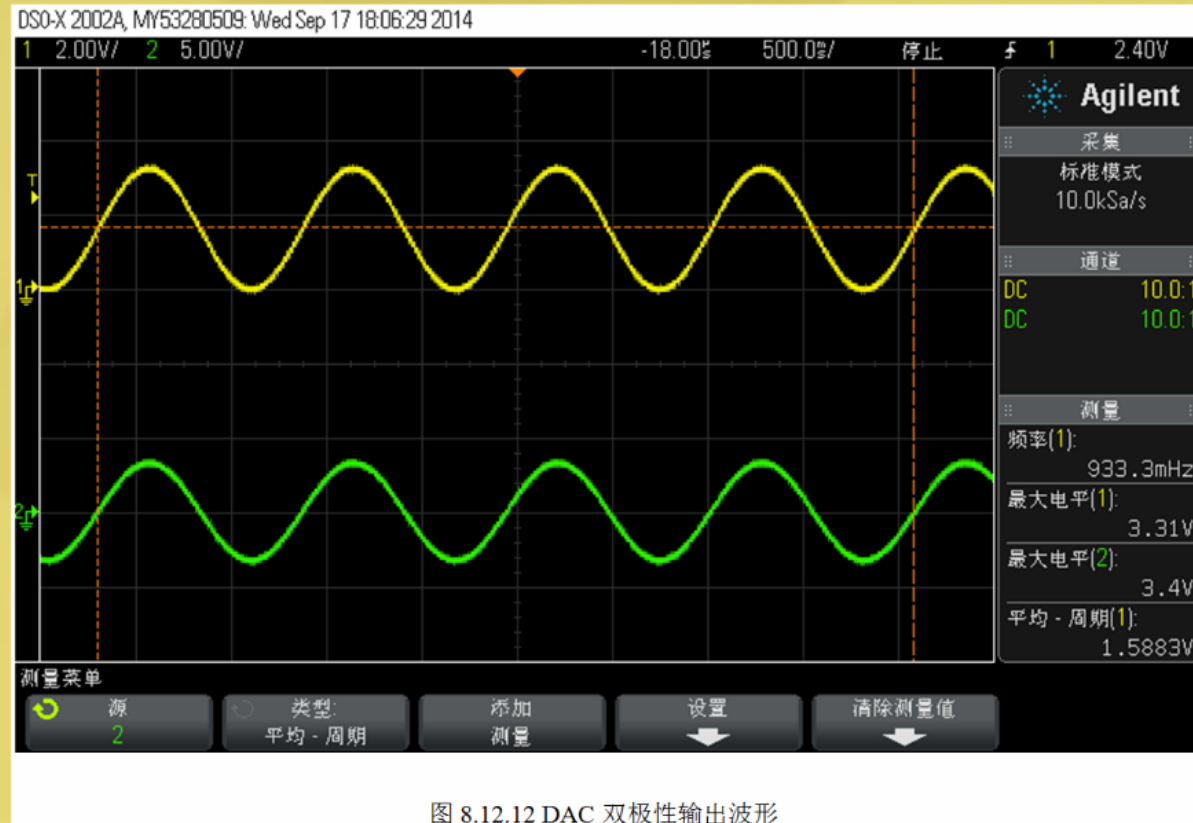
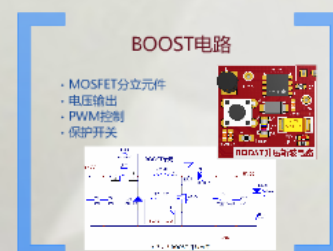
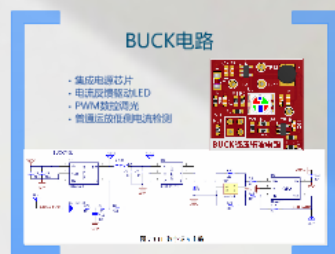


图 8.12.12 DAC 双极性输出波形

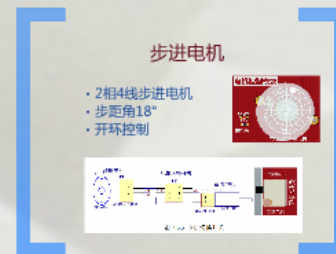
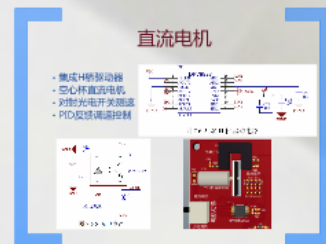
# 电源管理

- 集成芯片电流反馈型BUCK电路
- 分立MOSFET的BOOST电路



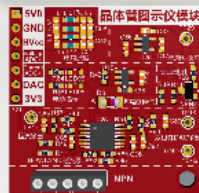
# 电机控制

- H桥驱动原理（D类功放）
- 光电测速
- 直流电机反馈控制
- 步进电机开环控制



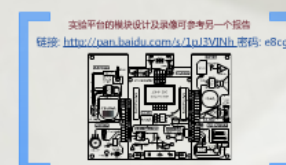
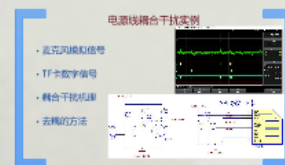
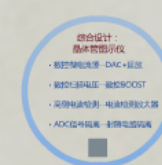
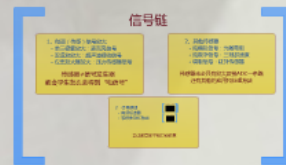
# 综合设计： 晶体管图示仪

- 数控微电流源--DAC+运放
- 数控扫描电压--数控BOOST
- 高侧电流检测--电流检测放大器
- ADC信号隔离--射随电路隔离



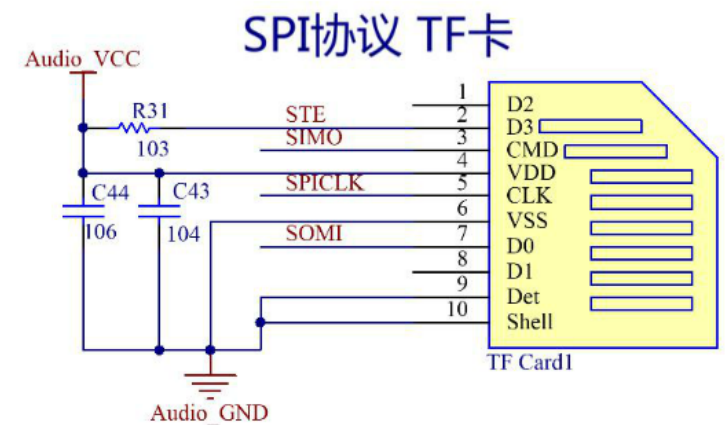
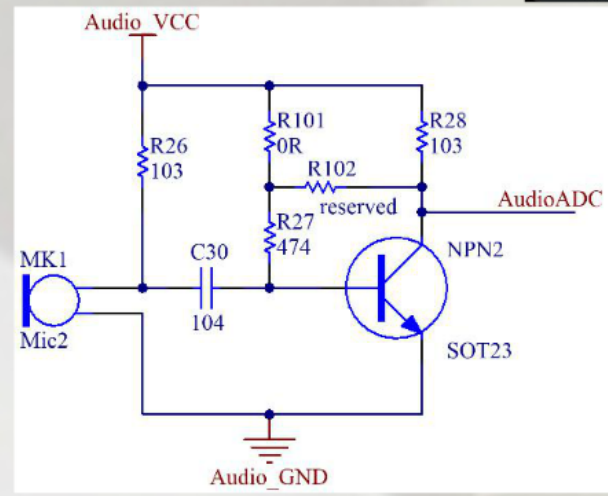
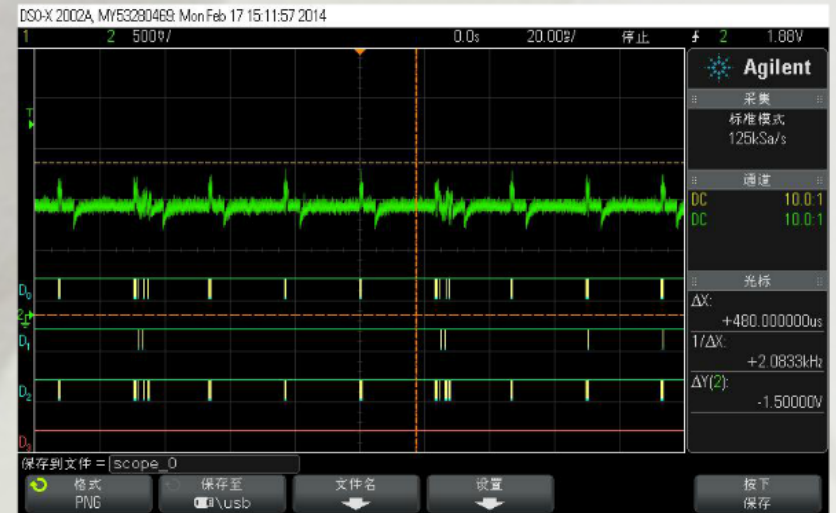
# 综合实验平台设计

- 引入单片机，真实反映模拟和数字的分工。
- 覆盖尽量典型的模拟电路。
- 设计过程详尽，不仅有新增的模拟知识点，还包含设计遇到的实际问题。



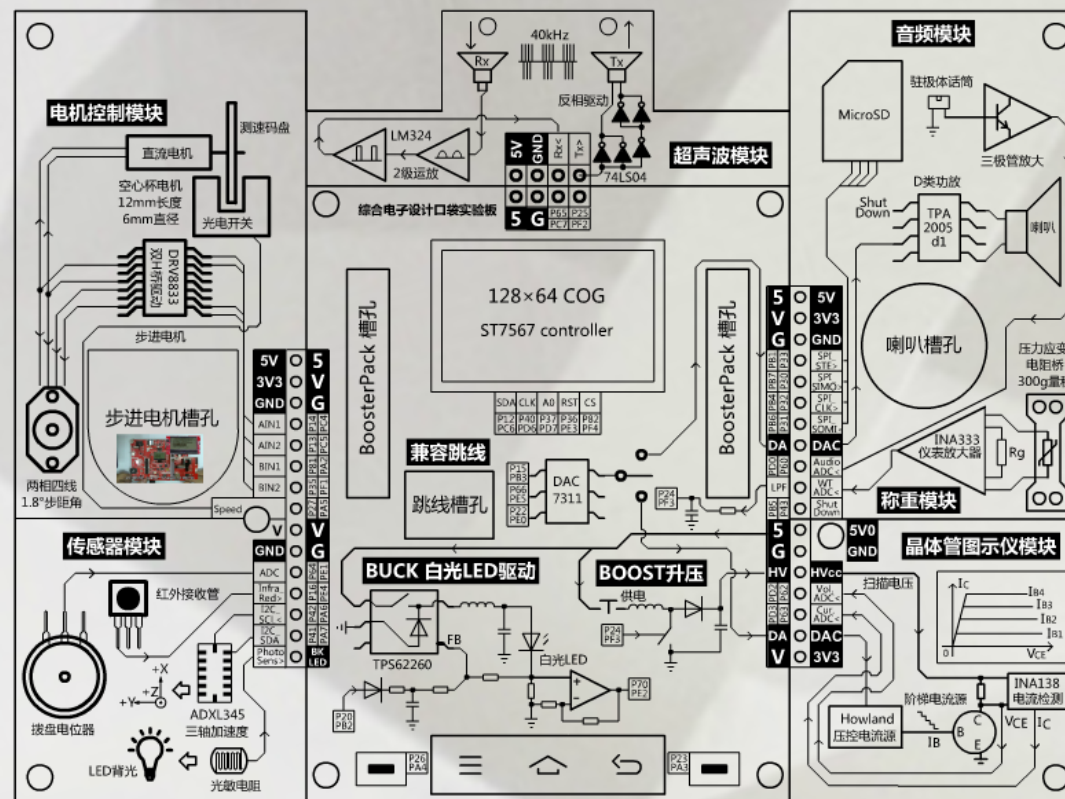
# 电源线耦合干扰实例

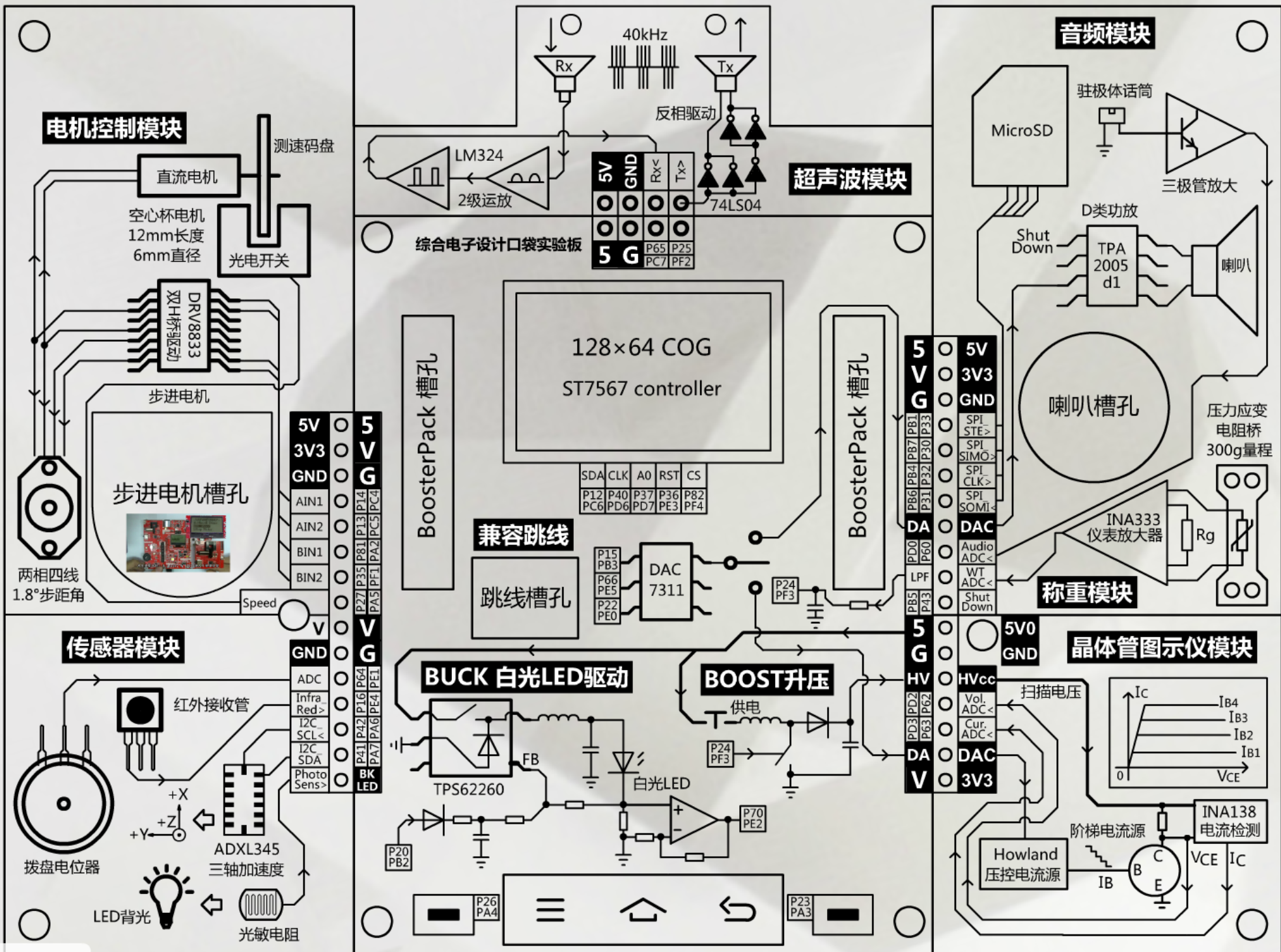
- 麦克风模拟信号
- TF卡数字信号
- 耦合干扰机理
- 去耦的方法



# 实验平台的模块设计及录像可参考另一个报告

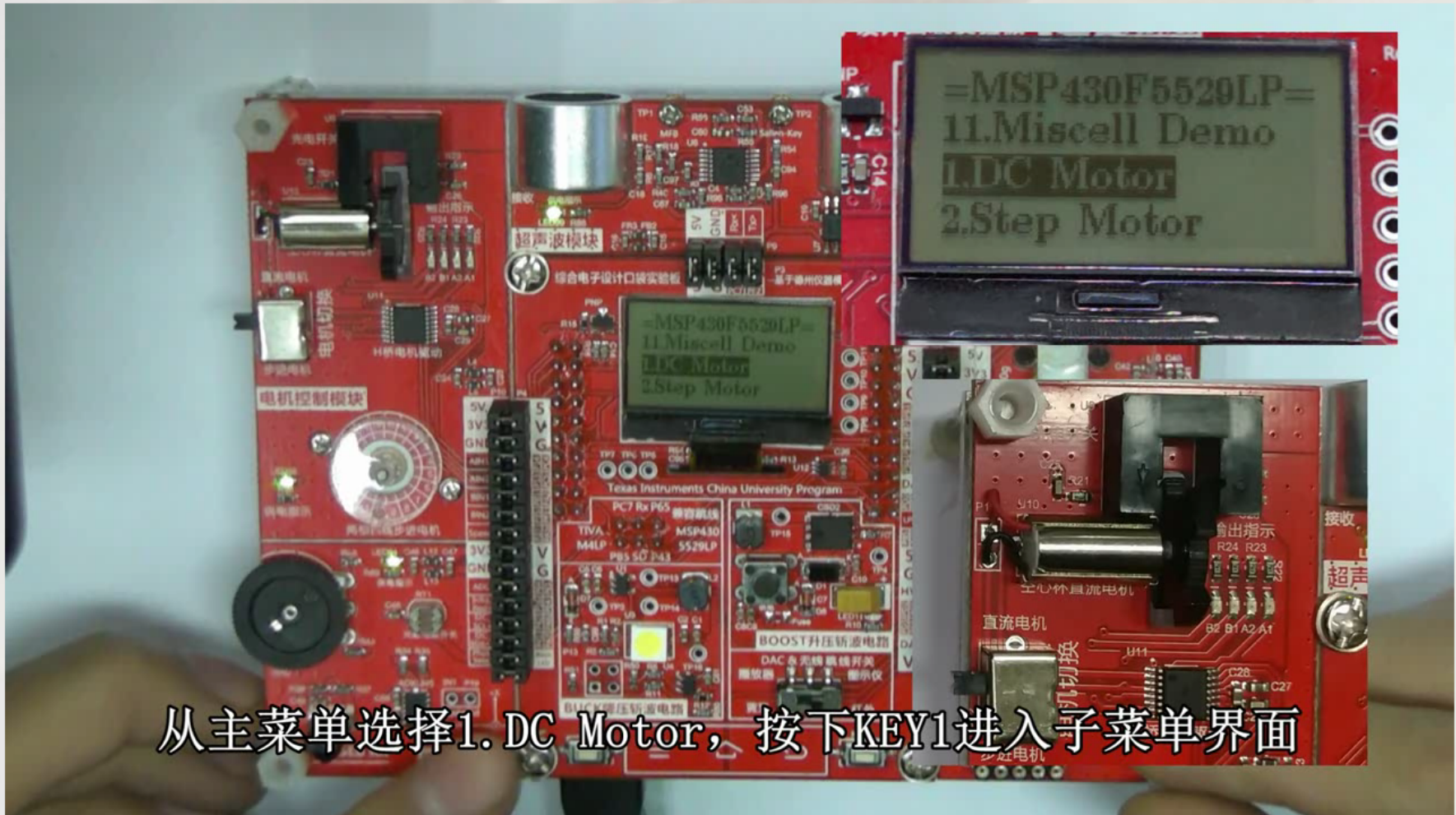
链接: <http://pan.baidu.com/s/1pJ3VINh> 密码: e8cg







# 直流电机控制



# 改革实践效果

- 针对创新班学生培训用途，完全没有问题。
- 在普通模电课上曲线救国，上半学期学知识，下半学期打补丁应付考试。
- 计划将《模拟电子设计导论》拆成两部分，先讲《工程技术篇》，后讲《理论基础篇》。《理论基础篇》目前难产中。

# 近期的一个工作：视频教程

- 找到一种接近板书效果的课程录制设备
- 分期将《模拟电子设计导论》中的知识点录成视频教程。
- 目前已在eeworld等4个网站上线“斩波电路”的7课。



第一次录的样片

- 1、视频教程的效果
- 2、关于“什么值得教、怎么教的会”的个人理解。





## 教室

[首页](#)[信号链](#)[电源](#)[MCU](#)[处理器](#)[无线](#)[解决方案](#)[参加考试](#)[技术论坛](#)

您的位置：TI教室 > 电源

技术分类：[全部](#) [信号链](#) [电源](#) [MCU](#) [处理器](#) [无线](#) [解决方案](#)

[开关电源](#) [AC/DC](#) [电源保护](#) [EMC|EMI](#) [电池管理](#) [WEBENCH](#) [稳压器](#) [TI联合大学教授录制](#)

课程类型：[全部](#) [精品课](#) [公开课](#)

### 公告栏

**MSP432产品培训**  
低功耗与高效数据处理完美结合

[最新发布](#) [最受欢迎](#)

相关结果7条



### 斩波电路(7) - Cuk, Speic, Zeta斩波电路

讲师：[qingdaofuqiang](#) 2015-09-29 16:30:06

本次课程由TI邀请青岛大学傅强老师录制，深入浅出的介绍了与电源技术相关的基础性知识，帮助大家更深入的了解产品，更轻松的进行产品的选型和设计。



### 斩波电路(6) - 升降压斩波电路

讲师：[qingdaofuqiang](#) 2015-09-29 16:29:24

本次课程由TI邀请青岛大学傅强老师录制，深入浅出的介绍了与电源技术相关的基础性知识，帮助大家更深入的了解产品，更轻松的进行产品的选型和设计。

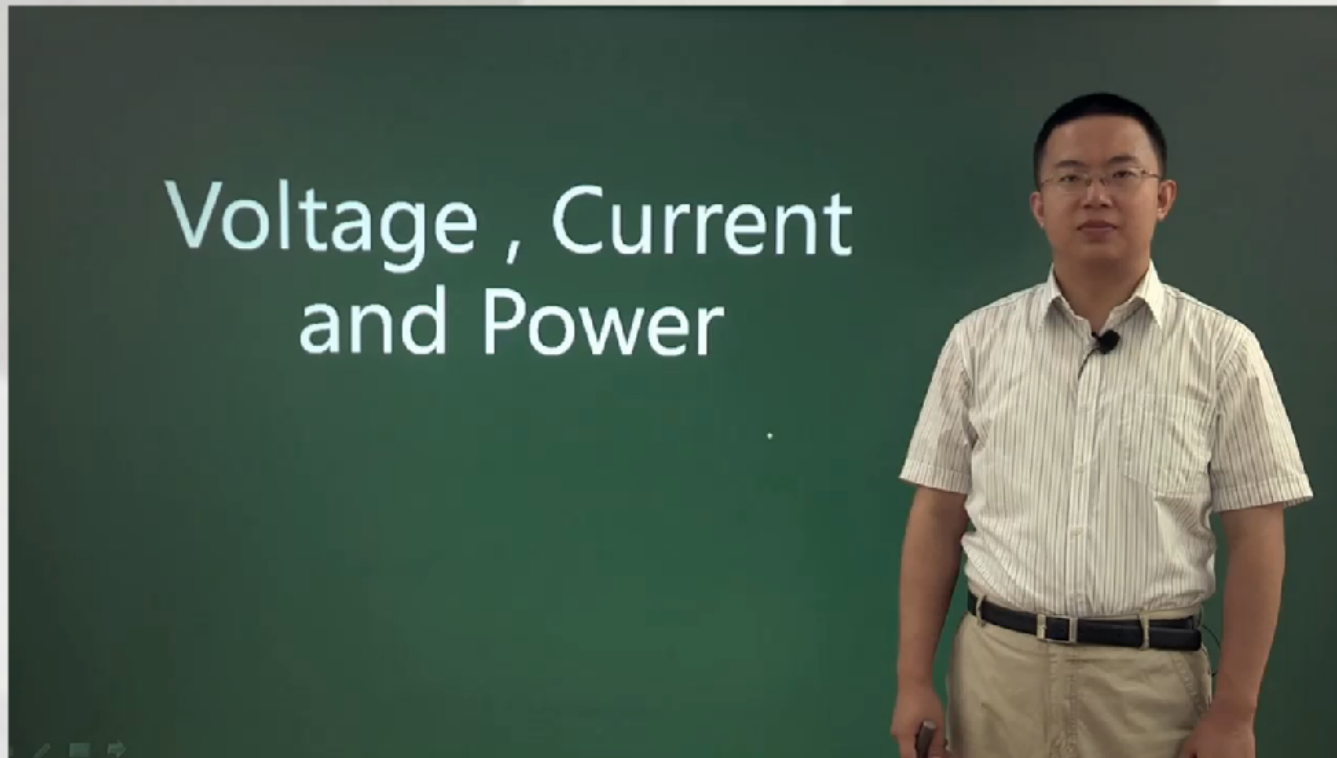
周排行

总排行

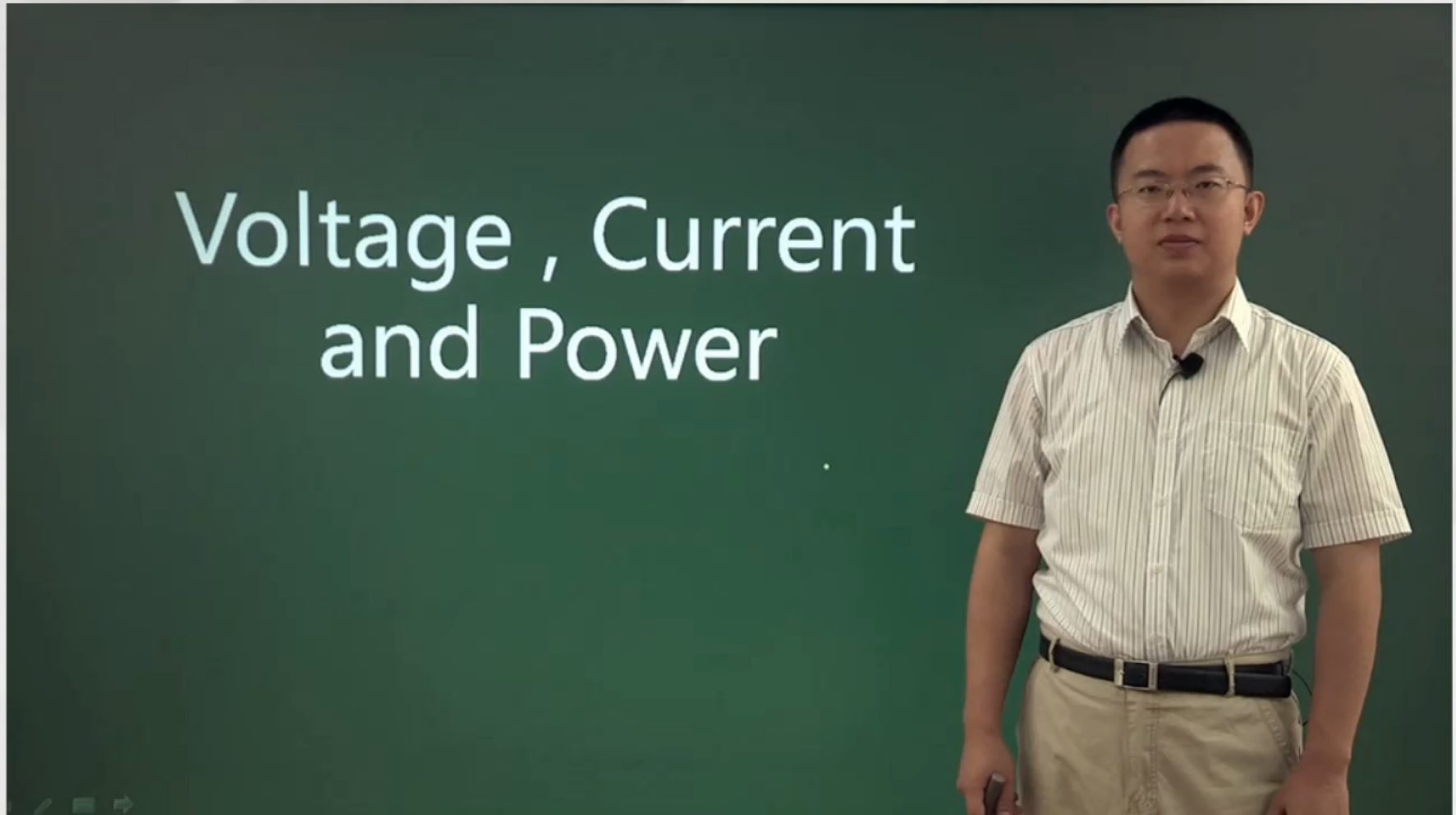
- 1 Flybuck解决方案—降压变换器衍生而成的多
- 2 WEBENCH 原理图编辑器
- 3 WEBENCH全新系列课程(下)
- 4 WEBENCH全新系列课程(上)
- 5 WEBENCH系列课程
- 6 易电源(Simple Switcher)产品详解
- 7 电池管理介绍
- 8 EEworld原创：大话TI CC2650
- 9 TM4C123G Launchpad入门课程
- 10 MSP432产品培训

## 第一次录的样片

- 1、视频教程的效果
- 2、关于“什么值得教、怎么教的会”的个人理解。



- 1、视频教程的效果
- 2、关于“什么值得教、怎么教的会”的个人理解。



# 模拟电子技术创新人才教学改革探索

青岛大学

傅强



资料拥有者同意该资料在TI官方网站予以传播