**数字集成电路设计**

**课程代码：85190060**

**课程中文名称：数字集成电路设计**

**课程英文名称：**Design of Digital Inetegrated Circuit

**学分：3.0 周学时：3.0-0.0**

**面向对象：三年级本科生**

**预修课程要求：电子电路基础、数字系统设计**

**一、课程介绍**

**（一）中文简介**

当今集成电路设计的趋势是更小尺寸的晶体管，更大面积的芯片，更高速的时钟频率，更低的功耗，更大规模的互连和更加复杂的层次化设计要求。本课程介绍集成电路设计领域的发展历程及最新技术发展趋势，重点介绍集成电路设计中功耗、速度、面积、成本、可靠性、测试、验证、软硬件协同等因素在各层次集成电路模块单元及系统级设计中的考虑与体现，并以智能手机为代表的移动计算系统级芯片为例进行技术讲解。**本课程受国家级双语示范课程建设项目支持。**

**（二）英文简介**

*Nowadays, the trend of IC design is towards smaller transistors, larger area chips, higher clock frequency, lower power consumption, larger scale interconnection and more complicated hierarchical design requirements. This course (Introduction to IC design)focuses on factors such as power, speed, size, cost, reliability, test, verification, software-hardware co-design and so on which should be considered in IC module and system designs indifferent levels. Students will also learn the latest technology trends. The course also will introduce the technology of the system-on-chips of mobile computation via the typical example of smart phones.****This course is supported by National Program of Bilingual Demonstration Course.***

**二、教学目标**

**（一）学习目标**

通过本课程的学习，学生应理解并重视大规模集成电路设计中功耗、速度、面积、成本、可靠性、测试、验证、软硬件协同等因素在各种单元模块及芯片系统级设计中的影响，懂得如何在大规模集成电路设计中分析这些因素，理解并初步掌握大规模集成电路设计时需要关注的问题以及解决这些问题的基本方法，了解国际最新的集成电路发展趋势以及近几年以智能手机为代表的移动计算的快速发展。课程注重知识引导，培养学生自发性学习动力，为今后其相关专业的研究与深造打下良好基础。

**（二）可测量结果**

通过课堂讨论、课程作业以及考试等环节进行考核与测量。

1. 了解集成电路发展历史、最新趋势以及基本的分析手段；
2. 掌握集成电路制造工艺的基本流程、布局与封装；
3. 掌握MOS管的基本工作特性与电路等效模型，并会量化分析；
4. 了解半导体工艺中互连线的主要设计参数与几种常见等效模型，了解互连寄生效应对集成电路设计的影响，高级互连技术，包括总线技术、片上网络技术；
5. 掌握CMOS反相器的静态特性、动态特性、传播延时及功耗计算；
6. 掌握静态CMOS与动态CMOS组合电路的特点与性能，包括面积、速度与功耗等参数；
7. 掌握基本时序电路的设计规则，了解流水线概念，了解同步、异步时序对集成电路设计的影响；
8. 了解并掌握常见的基本集成电路单元模块的设计，主要包括加法器、乘法器、移位器和存储器等；
9. 了解并掌握集成电路的测试与验证的手段和方法；
10. 了解智能手机及其芯片的发展历程和趋势，智能手机芯片的硬件结构、软件体系及软硬件协同设计方法；
11. 了解智能手机芯片中的应用处理器、基带处理器、射频芯片、传感器、存储结构、软件栈、操作系统、应用程序等内容；
12. 了解CPU核、GPU核的基本工作方式、发展历程及最新技术。

**三、课程要求**

**（一）授课方式与要求**

1.采用多媒体投影教学，课程网站：<http://10.212.45.210/67120110>

2.为巩固、熟练掌握所学知识，课后安排作业和讲座、实践环节（部分学生)。

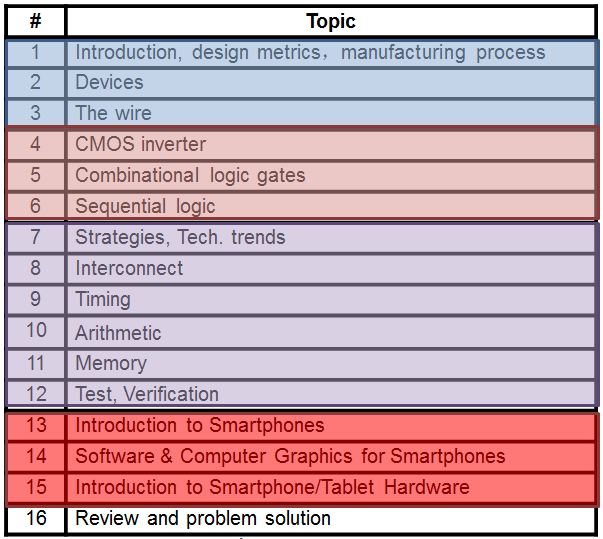
1. **考试评分与建议**

1.学期结束进行期末考试。

2.按照平时作业40％(包括大作业)、期末60％，评出最终成绩。

**四、教学安排**

**图示16次课的Outline如下，共四个部分，蓝色器件工艺部分，粉色电路部分，紫色模块部分，红色系统（智能手机）部分。**

****

**具体分解后的教学模块共18个，如下安排：**

**1.课程介绍和集成电路设计方法（2学时）**

**主要内容：**

介绍本次课程的内容及安排；介绍集成电路产业的发展历史，以及当前所面对的挑战；介绍集成电路设计及制造相关的性能、评价准则等。

1. 课程介绍
2. 集成电路的历史和挑战
3. 集成电路性能分析

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3。

**思考题：**

集成电路发展的驱动力是什么？

**2.制造工艺及集成电路布局（2学时）**

**主要内容：**

集成电路设计中的基本工艺流程，包括晶圆、光刻工艺流程、及常见工艺步骤（如扩散、离子注入、刻蚀）；CMOS电路中版图设计的基本规则；IC封装相关内容。

1. 制造过程中的基本工艺流程
2. 基本规则介绍
3. 封装

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3。

**思考题：**

晶体管电路的棒图设计。

**3.器件（2学时）**

**主要内容：**

综述半导体二极管及MOSFET晶体管的工作情况。介绍了对这些器件进行模拟的各种方法，从简单的模型到复杂的SPICE模型。这是我们后续进行数字电路基本单元设计分析的基础。对二极管及MOS管的特性进行更进一步分析，建立更为接近实际的模型。

1. 二极管特性和分析
2. MOS管特性和分析
3. 二级效应和电路模型
   1. 二级效应：
   2. 电路模型
   3. 人工分析
   4. MOS电容模型

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3。

**思考题：**

共2-3题，其中1题是二极管相关，其余MOS管相关，见PPT，需计算。

**4.导线（2学时）**

**主要内容：**

深入分析在现代半导体工艺中互连线的作用和特性。指出决定导线寄生参数（电容、电阻、电感）值的主要参数，介绍合适的导线模型以帮助我们进一步分析。

1. 导线寄生问题：
2. 寄生电容
3. 寄生电阻
4. 寄生电导
5. 导线模型：
6. 理想模型
7. 集中模型
8. 分布模型
9. 传输线

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

课堂PPT补充介绍材料。

**思考题：**

传输线相关的题目，给定激励、源端阻抗、终端阻抗，求传输线响应。

**5.CMOS反相器（2学时）**

**主要内容：**

从静态特性、动态特性、传播延时、功耗等多方面对CMOS反相器做严格和深入的分析，并依据此考察工艺变化对反相器性能指标的影响。

1. 反相器介绍
2. 动态特性：
3. 传播延时
4. 反向链延时
5. 功耗：
6. 动态功耗
7. 直接路径电流
8. 静态功耗

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3。

**思考题：**

根据反相器的特性，思考集成电路中低功耗的解决方法和途径。

**6.CMOS组合逻辑与时序分析（3学时）**

**主要内容：**

广泛的分析各种组合CMOS数字电路的特点和性能，包括它们的面积、速度和功耗。对组合逻辑进行建模，分析影响其性能的各种因素，给出提高其性能的建议等。

1. 静态CMOS：
2. 静态互补CMOS
3. 输入模式在延时上的影响
4. 逻辑努力
5. 功耗
6. 有比逻辑
7. 动态CMOS：
8. 动态门
9. 动态功耗

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3。

**思考题：**

根据逻辑表达式，设计CMOS静态互补组合逻辑。

**7.静态和动态时序电路（3学时）**

**主要内容：**

时序电路通常由组合逻辑和寄存器组成，由寄存器保持状态。上一节已经介绍过了组合逻辑，要构成时序电路，我们需要对寄存器的构成及特性做深入的讨论和分析。

1. 主从触发电路
2. 非理想时钟
3. 流水线
4. 施密特触发器
5. 单稳态电路
6. 非稳态电路

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3。

**思考题：**

分别设计一种静态和动态的寄存器。

**8.数字IC的实现策略和趋势（3学时）**

**主要内容：**

简要描述了数字集成电路设计实现策略及相关前沿领域知识。介绍了过去数十年间出现的许多实现形式、技术和工具。

1. SoC设计挑战
2. 实现策略
   1. 定制电路设计
   2. 半定制电路
      1. 以单元为基础的设计方法
      2. 以阵列为基础的设计方法
3. 结构复用
4. **平台化设计发展趋势**

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

课堂PPT补充介绍材料。

**思考题：**

数字IC设计正在发生怎样的变化？谁又能够承受这样的变化？

**9.互连问题（3学时）**

**主要内容：**

互连寄生现象对数字集成电路各项设计指标的影响正在增加。互连引起的三种类型的寄生效应（电容的、电阻的和电感的）都会影响信号的完整性并降低电路的性能。本节主要分析互连效应对电路工作的影响。

1. 互连寄生效应
   1. 互连寄生效应影响
   2. 电容寄生效应
   3. 电阻寄生效应
2. **高级互连技术与最新发展趋势**
   1. 总线
   2. 片上网络与多核

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

课堂PPT补充介绍材料。

**思考题：**

高级互连技术的优势。

**10.数字电路中的时序问题（3学时）**

**主要内容：**

介绍不同的时序方法，重点放在普遍采用的同步方法上。分析时钟信号在空间和时间上的变化所带来的影响及解决办法。

1. 数字系统的时序分类
   1. 同步数字系统
   2. 异步数字系统
   3. 混合数字系统
2. 时钟偏斜和时钟抖动
3. 时钟分配
4. 基本模块
   1. 数据通路模块
   2. 控制模块
   3. 互连模块
   4. 存储器模块

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

课堂PPT补充介绍材料。

**思考题：**

深入领会建立时间和保持时间，时钟偏斜与抖动。

**11.加法器、乘法器和移位器（3学时）**

**主要内容：**

介绍数字集成电路中常见运算功能模块的不同设计方法，主要包括加法器、乘法器、移位器等。

1. 加法器
   1. 全加器
   2. 进位旁路加法器和脉动进位加法器
   3. 线性进位选择加法器和平方根进位选择加法器
2. 乘法器
   1. 部分积
   2. 进位保留乘法器
   3. 树形乘法器
3. 移位器
   1. 桶形移位器
   2. 对数移位器

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

CK-CPU嵌入式系统开发教程，潘赟等，科学出版社，ISBN：978-7-03-032097-1，出版日期：2011-9。

**思考题：**

运算功能模块的关键路径。

**12.存储器（3学时）**

**主要内容：**

介绍存储器的主要种类及相应的结构原理，一些常见的存储技术和外围电路。

1. 存储器分类和存储器结构
2. 只读存储器
   1. OR ROM
   2. NOR ROM
   3. NAND ROM
3. 非易失性存储器
4. 读写寄存器
   1. 静态随机存取存储器
   2. 动态随机存取存储器
5. 存储器外围电路
6. 半导体存储器发展趋势

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

CK-CPU嵌入式系统开发教程，潘赟等，科学出版社，ISBN：978-7-03-032097-1，出版日期：2011-9。

**思考题：**

存储器与逻辑单元发展趋势的区别。

**13.测试设计电路、验证与EDA工具（3学时）**

**主要内容：**

介绍集成电路面向测试的设计方法及常见EDA工具简介。

1. 测试目的
2. 测试电路的组成部分与方法
3. EDA工具
4. IC高级验证方法

**阅读材料：**

数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

课堂PPT补充介绍材料。

**思考题：**

为什么要采用面向测试的设计？

**14.智能手机介绍（3学时）**

**主要内容：**

介绍嵌入式系统面向移动计算的发展趋势，智能手机的历史和发展，能量和性能，智能手机的当前角色。

1. 移动计算嵌入式系统
2. 智能手机生态环境、移动操作系统与应用、硬件结构和芯片
3. 能量和性能
4. 智能手机的角色

**阅读材料：**

课堂PPT补充介绍材料。

**大作业**

**15.智能手机的软硬件环境及计算图形学（3学时）**

**主要内容：**

介绍智能手机的软硬件环境和计算机图形学与GPU的关系。

1. 安卓系统
2. 高通公司结合芯片与软件的应对措施
3. 计算机视觉
4. 计算图形学与GPU

**阅读材料：**

课堂PPT补充介绍材料。

**16.智能手机与平板的芯片硬件介绍（3学时）**

**主要内容：**

介绍应用处理器、基带处理器、射频芯片、传感器、存储结构等。

1. 应用处理器：移动CPU、移动GPU
2. 射频芯片
3. 基带芯片
4. 存储

**阅读材料：**

课堂PPT补充介绍材料。

**17.课程复习和习题解答（3学时）**

1. 课程复习
2. 习题讲解
3. 工业界实例分析

**思考题：**

本学期这门课的学习目标是什么？

**18.大作业相关内容的讨论（2学时）**

**五、参考教材及相关资料**

1、数字集成电路设计:设计透视(第2版)/Digital Integrated Circuits: A Design Perspective(Second Edition)(影印版)，Jan M. Rabaey、Anantha Chandrakasan、 Borivoje Nikolic，清华大学出版社ISBN：7-302-07968-4，出版日期：2004-3；

2、现代VLSI设计:基于IP核的设计(第4版)/ Modern VLSI Design: IP-Based Design (Fourth Edition)，Wayne Wolf，电子工业出版社出版日期：2009-8；

3、CK-CPU嵌入式系统开发教程，潘赟等，科学出版社，ISBN：978-7-03-032097-1，出版日期：2011-9；

4、Multi-process System-on-Chip, Wayne Wolf, 2005;

5、课堂PPT材料。

*5. Course PPT materials.*

**六、课程教学网站：**

<http://10.212.45.210/67120110> 供课件下载、资料下载、通知与研讨