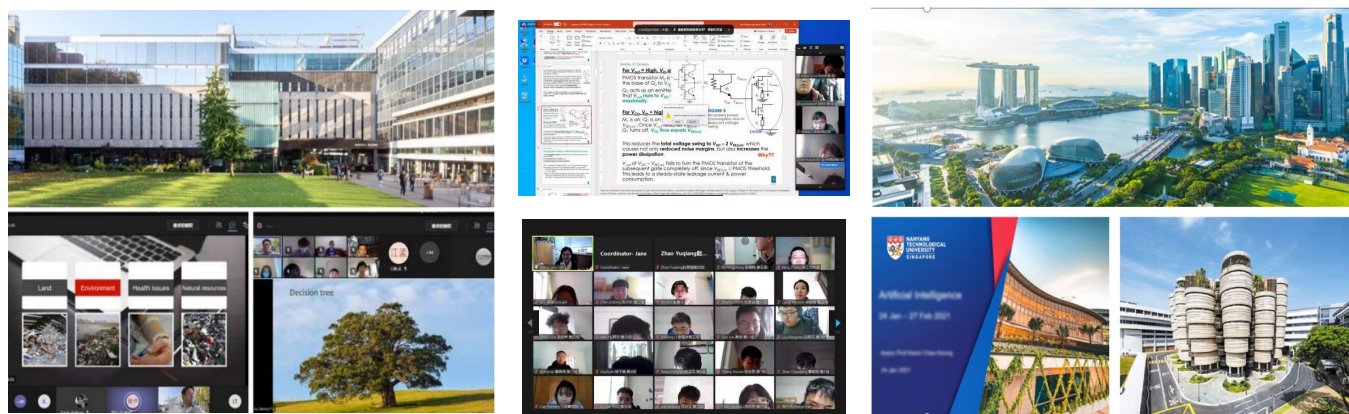


帝国理工学院集成电路（芯片）设计实践项目

帝国理工学院 (ICL) & 南洋理工大学 (NTU)



★项目概览

主办单位：帝国理工学院 (Imperial College London)，直译为伦敦帝国学院，全称为帝国科学、技术与医学学院 (Imperial College of Science, Technology and Medicine)，简称帝国理工 (IC)，世界顶尖公立研究型大学，在国际学术界有着顶级声望，是世界最具创新力的大学之一。帝国理工学院是英国罗素大学集团、欧洲研究型大学联盟和国际科技大学联盟成员，与牛津大学、剑桥大学、伦敦大学学院、伦敦政治经济学院等校并称为金三角名校和 G5 超级精英大学。学院校友中，有 14 位诺贝尔奖得主、3 位菲尔兹奖得主。2021QS 世界大学排名：第 8 位。

协办单位：南洋理工大学 (Nanyang Technological University)，简称南大，NTU、是新加坡的一所研究型大学。南洋理工大学是环太平洋大学联盟、全球大学校长论坛、新工科教育国际联盟成员，全球高校人工智能学术联盟创始成员、AACSB、国际事务专业学院协会会员，国际科技大学联盟发起成员。南洋理工大学在纳米材料、生物材料、功能性陶瓷和高分子材料等许多领域都享誉盛名，是一所工商并重的综合性大学。2022 年 QS 世界大学排名第 12 名，2022 年 U.S. News 世界大学排名 33 位，2021 年 U.S. News 能源与燃料、纳米科学、材料科学学科世界排名第一，

项目主题

本项目以集成电路设计为主题，「Integrated circuit design research and practice」Workshop Program，课程内容涉及模拟集成电路、数字集成电路两方面，由帝国理工学院和南洋理工大学两所高校官方学术课程、科研实训两部分组成，讲堂师资由两所顶尖高校的知名教授、行业专家组成，项目内容主要包括：教授/专家讲座、学术研讨、分组专业实践、分小组结业设计、学生交流互动等。

项目日程

本项目暂定 2022 年 7 月 18 日-8 月 27 日

项目时长初步计划为 6-8 周左右，学生将分成若干小组，分别完成两个学校课程布置的作业需求，分小组完成对应的科研设计。

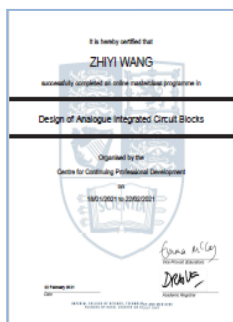
课时安排

集成电路，又称 IC，按照其功能、机构的不同，可分为模拟集成电路、数字集成电路和数/模混合集成电路三大类，本次科研设计项目将结合两所世界顶级名校的课程特色，分别侧重从模拟集成电路和数字集成电路方向展开，课程分布分别如下：

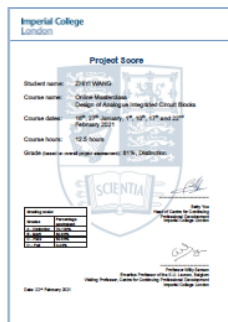
帝国理工学院：以模拟集成电路为侧重点，约 16 学时（45 分钟/学时）；

南洋理工大学：以数字集成电路为侧重点，约 40 学时（45 分钟/学时），其中专业课 24 学时，研讨辅导课 17 学时；

ICL 项目证书



项目证书



成绩单

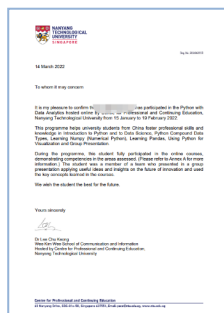


推荐信

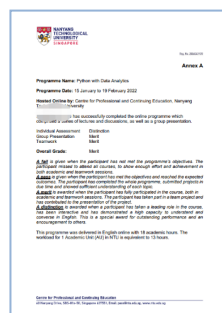
NTU 项目证书



项目证书



推荐信



成绩单



优秀学员证明

- ◆ 完成研习课程、结业课题的所有学员将获得项目结业证书；
- ◆ 结业课题 presentation 的优胜小组，所有组员将会获得授课教授签发的推荐信

项目详情

项目概况

- ◆ **项目专业课程学时：**共 56 学时专业课程学习（45 分钟/学时），其它时段为自学、课后作业、分组科研实践时间。
- ◆ **学员分组实践：**课余将分小组完成特定的研习课题作业，并完成研习课题结业汇报。
- ◆ **项目科研成绩评定：**项目学习期间，学员务必完成两所高校教授布置的多个作业，学员最终成绩将以课后作业及项目研习课题 PK 成绩，作为最终项目评审成绩。项目结束后，每位学员将分别获得两所学校结业证书、项目成绩单，优胜小组组员还可获得教授推荐信。

课程详情：本项目的学术课程、研习课程的将主要涉及模拟集成电路和数字集成电路的相关内容，课程主题将主要选自（但不限于）：

- MOS Transistor Theory MOS 晶体管理论
- Nonideal I-V Effects 非理想的 I-V 效应
- Semiconductor fabrication process, and layout design rules 半导体的制造工艺和布局设计规则
- Circuit Characterisation & Performance Estimation 电路表征和性能估计
- Introduction to BiCMOS technology and BiCMOS digital circuit BiCMOS 技术简介和 BiCMOS 数字电路
- Introduction to CAD flow for ASICs 大规模集成电路辅助设计流程简介
- Advanced Boolean Algebra 高级布尔代数
- Boolean Representation and Manipulation: BDDs 布尔的表现以及操作：二叉决策图
- Technology Mapping 工艺映射
- Static Timing Analysis for Logic Networks 逻辑网络的静态时序分析
- Intro to ASIC Layout 大规模集成电路布局简介
- Network Partitioning by Classical Algorithms 通过经典算法进行网络分区
- Component Placement for ASICs 大规模集成电路的元件放置
- Component Routing for ASICs 大规模集成电路的组件布线
- Electrical Timing Analysis for Interconnect 互连的电气时序分析
- Data Structures for Dynamic Layouts 动态布局的数据结构

- Layout DRC and Extraction 布局DRC和提取
- Technology 工艺
- Moding 建模
- Basic Circuits 基本电路
- Digital-analog & analog-digital converters 数字模拟&模拟数字转换器
- Manufacturing of VLSI 大规模集成电路的生产制造

项目结业 学员将以小组为单位进行结业课题 Presentation，展示自己小组的设计方案。由主课教授担任结业比赛评委，进行提问、点评，并为最佳团队颁发推荐信。

🌟往期课程安排

ICL-课程安排:	
课程	主题
Lecture-1	Single-transistor RC circuits First-order RC circuits 一阶 RC 电路 Single-MOST amplifiers 单级 MOST 放大器 Source followers 源级跟随器 Cascodes 级联 Q&A 问&答
Lecture-2	Multiple-MOST circuit blocks 在线专业课: 多 MOST 电路模块 Current Mirrors 电流镜 Differential Pairs 差分对 CMOS inverter amplifier CMOS 反向放大器 Class-AB operation AB 类操作 Q&A 问&答
Lecture-3	CMOS Inverter amplifier design Introduction 介绍 Design procedure 设计程序 Optimisation 优化 Project Q&A 项目问&答
Lecture-4	Feedback systems Op amp circuits with Feedback 带反馈的运放电路 2nd-order op amp circuits 二阶运放电路 Stability of higher-order systems 高阶系统的稳定性 Q&A 问&答
Lecture-5	Op amp circuit configurations Symmetrical amplifiers 对称放大器 Use of Negative resistors 负电阻的使用 Folded cascodes 折叠的级联码 Miller opamps 米勒运算放大器 Q&A 问&答
Lecture-6	Design of a Miller CMOS op amp Specifications 规格 Design procedure 设计程序 Project Q&A 问&答
Lecture-7	Filters Filter types 过滤器类型 Switched-capacitor filters 开关电容滤波器 Noise 噪声

	Distortion 失真 FOM for filters 滤波器的品质因数 Q&A 问&答
Lecture-8	Design of fully-differential filter with high FOM Fully-differential operation 全差操作 Continuous-time filter for high-frequencies 高频率的连续时间滤波器 Noise and distortion considerations 噪音和失真考虑 Design procedure towards high Figure-Of-Merit 设计程序实现高品质因数 Project Q&A 问&答
Lecture-9	<u>小组结业汇报</u> Project Presentations 项目演讲 Group project presentations 小组结业演讲 Q&A and feedback 问答反馈 Announcement of winning project group 评选最佳小组
NTU-课程安排:	
课程	主题
Lecture-1	MOS Transistor Theory MOS Introduction 简介 MOS transistor theory MOS 晶体管理论 CMOS logic CMOS 逻辑 State-of-the art technologies 尖端技术
Tutorial 1	学生完成课后作业后，教授生做课后辅导，答疑
Lecture-2	Nonideal I-V Effects Transistor I-V Review 晶体管 I-V 回顾 Nonideal Transistor Behavior 非理想的晶体管行为 Velocity Saturation 速度饱和 Channel Length Modulation 通道长度调制 Body Effect 体效应 Leakage 漏电 Temperature Sensitivity 温度敏感度 Process and Environmental Variations 工艺和环境变化 Process Corners 工艺转角
Tutorial 2	学生完成课后作业后，教授生做课后辅导，答疑
Lecture-3	Semiconductor fabrication process, and layout design rules CMOS Fabrication CMOS 制造 Metallization 金属化 Layout Design Rules 布局设计规则 Layout Issues 布局问题 Scalable Design Rules 可扩展的设计规则 Stick Diagram 棍棒图
Tutorial 3	学生完成课后作业后，教授生做课后辅导，答疑
Lecture-4	Circuit Characterisation & Performance Estimation

	<p>How can we know the performance of a circuit? 我们怎样才能知道一个电路的性能?</p> <p>Simulation 仿真</p> <p>accurately predict detailed circuit behaviour 准确预测详细的电路行为</p> <p>allows design to be verified before fabrication 允许在制造前对设计进行验证</p> <p>Paper-and-pencil analysis 纸和笔的分析</p> <p>use of simple models 简单模型的使用</p> <p>rapidly estimate circuit behaviour 对电路行为的快速估计</p> <p>more intuition to how circuit works 对电路如何工作的更加直觉</p>
Tutorial 4	学生完成课后作业后，教授生做课后辅导，答疑
Lecture-5	<p>Introduction to BiCMOS technology and BiCMOS digital circuit</p> <p>Introduction 简介</p> <p>The BiCMOS Gate at a Glance BiCMOS 门电路概览</p> <p>The Static Behaviour and Robustness Issues 静态行为和稳健性问题</p> <p>Performance of the BiCMOS Inverter BiCMOS 逆变器的性能</p> <p>Power Consumption 功率消耗</p>
Tutorial 5	学生完成课后作业后，教授生做课后辅导，答疑
Lecture-6	<p>Closing report 结业汇报</p> <p>Group presentation 小组展示</p> <p>Live Q&A 现场问答</p> <p>Scoring and Summary 评分与总结</p>

★ 报名须知

- 申请对象** 全日制在读本科生大二及以研究生（集成电路、电子信息等相关专业优先录取）
- 项目名额** 本项目共计 48 人，额满即止；
- 截止时间** 本项目截止时间为 2022 年 6 月 30 日；
- 项目费用** 项目费用：15500 元人民币/人。
费用包含：项目注册费、研习课程费、科研实践费、证书材料寄送费以及行政管理费用；

★ 往期部分课程师资

Willy Sansen 教授:

1972 年获得鲁汶大学（KULeuven）理学硕士学位，并获得了加州大学伯克利分校的博士学位。自 1980 年以来，担任了比利时鲁汶天主教大学的全职教授，自 1984 年以来，一直领导 ESAT-MICAS 模拟设计实验室。63 篇博士论文的导师，撰写和合著了 635 篇出版物和 16 本书籍，其中包括《模拟设计要点》（Springer 2008）。IEEE 终身院士，也是 ISSCC-2002 会议的程序主席，现在是 IEEE 固态电路的前任主席。帝国理工学院持续专业发展中心的客座教授，自退休以来，定期为世界各地的电气和电子工程师提供模拟电子学方面的培训，Willy Sansen 教授为模拟集成电路成为微电子行业的重要组成部分提供了必要的领导。专注于模拟集成电路的设计，在比利时鲁汶大学的研究小组（ESAT-MICAS）也发展成为欧洲最大和最著名的研究小组之一。来自他的团队的设计已被世界各地的公司采用，用于无线通信、消费类电子产品的芯片，以及人工耳蜗和遥测系统的传感器。Willy Sansen 教授是使用计算机工具对电路进行符号分析的先驱，与单纯的数字分析方法相比，他在设计过程中提供了更深的洞察力和见解。其博士生以卓越的教学和启发能力著称，与工业界的合作也成功地产生了一些衍生公司，在世界范围内的工业界和学术界都获得了很高的地位。

Dr. Goh Wang Ling 教授

新加坡南洋理工大学教授，研究生院学术副院长（曾任工程学院副院长），研究方向包括数字/混合信号集成电路，以及生物医学和神经形态电路。英国贝尔法斯特女王大学电机及电子工程系获得电机及电子工程工程学士学位及微电子学博士学位。自 2012 年起，担任南洋理工大学教学委员会成员。于 2010 年获新加坡共和国总统颁授“国庆日奖”及“公共行政奖章(铜质)”。曾获多项教学奖项。2013 年，获得了三次南洋教育奖(大学奖)、首届南洋教育奖(学院级)和二年级南洋教育奖(校级)。于 2007 年首次获颁南洋杰出教学奖，这是颁给大学教师的最高教学荣誉。美国电气及电子工程师学会(IEEE)的高级成员。参与撰写了 1 篇国际专业技术参考文献，申请 16 项专利，并在国际期刊和会议上发表了 240 篇研究论文。

往期学员项目感言

自寒假参与这个研习项目以来，我一直保持着高度的学习热情和积极性，认真参加教授们的学术讲座，认真完成博士辅导课上的任务，在两个小组的科研实践中，充分发挥自己的作用，推动团队合作顺利进行。新加坡国立大学和南洋理工大学的教授牵头，联合英国帝国理工学院、美国 NASA 喷气动力实验室等集成电路各领域的专家共同执教的教学与科研项目。项目主要分为模电、数电和 Python 教学三个部分。现将在这个项目中的收获总结如下：

第一，在原有的基础上，对模拟集成电路有了更深入的理解，提升了自己的模拟集成电路设计和分析能力。在项目之前，我对模拟电路的认识停留在各个独立的电路模块上，基本只会分析各个模块的不同工作状态，尚不具备设计集成电路的能力。在 Sansen 教授的带领下，我对各种不同阻抗组合时的计算、基尔霍夫定律、以及波特图的绘制和分析有了更深的理解，并掌握了如何分析高通和低通滤波器、以及如何计算不同类型电路的增益。MOS 晶体管一直是课程中的重点，听了学术讲座后，我熟练地掌握了 MOST 常用模型及其伏安特性曲线的应用，掌握了在对电路进行交流分析时小信号模型的运用，以及作为一个电路设计者，通常要将 MOST 的工作状态设计在线性区或者饱和区，介于两者之间的区域一般在设计中是不被采纳的。在模拟集成电路中，运算放大器是常用的模块，而差分放大电路和电流镜则是组成这个模块必不可少的子模块。为了获得更大的增益，一个优秀的电路设计者通常会采用级联或负阻抗。在学术讲座中，我也认识到 CMOS 放大器的重要性及其良好的性能，掌握了多种类型运算放大器的配置和它们之间的优缺点，学会了如何根据不同的需求选择合适的电路结构，以及如何分析不同电路模块的噪声。此外，反馈系统的设计在集成电路中是必不可少的，设计方式具有灵活性，这部分的内容非常有趣，从中我掌握了三种补偿米勒运放的正零点的方法、以及通过前馈进行负零点补偿的方法。

第二，掌握了大规模集成电路设计流程和生产制造流程，以及如何运用布尔代数等数电知识简化和优化电路设计。在 Dr. He 的学术讲座中，我首先掌握了不同的数字逻辑门对应的 MOS 电路实例、以及逻辑设计和物理设计的关联性和不同之处，理解了不同设计阶段侧重点的不同，并对从提出 idea 到完成生产制造的全部流程有了最基本的认识。集成电路的设计固然重要，但生产制造也同样重要，Dr. He 由浅入深地给我们详细介绍了如何从晶圆获得芯片的过程。在这个过程中，加工是非常精密的，所用的仪器设备也是最先进的，比如光刻机。通过甩光刻胶、掩膜、曝光、显影、刻蚀等过程，不同的电路结构在晶圆上图形化，层层堆积起来，再经过布线等操作，最终得到芯片，这些过程看似简单，但没有高精度的仪器设备是不可能实现的，这也提醒我们设计高精度光刻机的紧迫性。对于非理想模型的 CMOS 晶体管特性，Dr. He 也做了全面分析，这让我认识到在实际过程中，设计出的电路的性能不可能是百分百理想的，它受到多种因素的影响，在设计时要综合考虑。此外，我也更加熟练地掌握了设计组合逻辑电路和时序逻辑电路的方法，以及在设计过程中需要考虑的影响因素和衡量性能的指标。

第三，初步掌握了 python 在数据科学中的运用，对机器学习有了更加全面的理解。在博士辅导课中，一个个不同的编程任务锻炼了我的 python 编程能力，也学会了使用 pandas、numpy、matplotlib 等包进行大数据处理、分析和可视化，这些都是非常实用的技能。带领我们的博士也分享了一些企业面试的技巧，这对我的帮助也很大。此外，课程中机器学习的内容非常吸引我，尽管讲的不多，但非常有趣，让我更深入地理解了监督学习、无监督学习等方式和聚类、神经网络等相关算法。

第四，经过两组团队合作的科研任务，我对如何合理进行任务分配和如何做好项目时间管理有了更深的心得体会，也提升了自己的科研能力和分析、解决难题的能力。在 Dr. He 的科研任务中，我阅读了较多有关选题的文献，提升了文献检索能力、英文文献阅读能力和提取有效信息的能力，这对我今后的研究生生涯有很大的帮助，虽然过程中充满挑战，但收获颇丰。同时，在这个课题中，我深入理解了一种先进的芯片设计结构——FinFET，拓宽了视野，让我对前沿技术有了一些认识，并把握了当前阶段集成电路设计的难点和突破方向。在 Sansen 教授的 project 中，我作为三人小组的 leader，带领组员分阶段有规划地完成了任务，不仅锻炼了自身的领导能力，也提升了分析复杂电路并提出优化方法的能力。在这个设计中，团队成员们积极探讨，提出不同的分析思路对电路进行模块划分和简化，并采用一些数学工具（如 MATLAB）对电路参数变化进行分析和可视化，得到了不错的结果。

总的来说，这次项目的内容是在学校所学基础上的衔接和提升，更加偏重于设计和分析能力，不局限于理论，在学习过程中颇有难度，但收获颇丰。