

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8874.2013.04.022

中外大学研究生“电路与系统”课程体系建设对比研究

吴巨红, 杨力斌, 陈曾平

(国防科学技术大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

[摘要] “电路与系统”专业课程对很多应用领域具有支撑作用, 此外, 由于该学科领域与工程实践和器件发展密切相关, 课程内容还呈现出独有的特性。分析了“电路与系统”专业课程的特点, 并对比研究了国内外一些著名大学的研究生课程设置与建设情况, 最后对国内高校在电路与系统学科领域的课程建设提出了几点建议。

[关键词] 电路与系统; 研究生; 课程体系; 对比研究

[中图分类号] G642.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2013)04-0068-05

A Comparative Study on Circuit and System Postgraduate Curriculum Construction of Chinese and Foreign Universities

WU Ju-hong, YANG Li-bin, CHEN Zeng-ping

(School of ESE, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The postgraduate curriculum of Circuit and system is an important support for many applied subjects. Moreover, because this disciplinary field is closely related to engineering practice and development of devices, the curriculum contents show some particular characteristics. This paper analyzes these characteristics and make a comparative study on postgraduate curricula of some famous Chinese and foreign universities. And Finally, we put forward some suggestions on construction of circuit and system curriculum for Chinese universities.

Key words: circuit and system; postgraduate; curriculum; comparative study

一、引言

“电路与系统”学科研究电路与系统的理论、分析、测试、设计和物理实现。在国内, 它作为“电子科学与技术”的一个二级学科, 是电子科学与技术学科领域中一个重要研究方向。国外大学一般不用几级学科这种提法, 通常会在电子科学与计算机系或者学院中设置“电路与系统”研究中心(center)或者组(group&team), 因此, 在考察国外大学的课程体系时, 主要是依据其EE类(电子工程)课程设置。

电路与系统专业的课程设置通常包括与电路设计相关的专业基础、与应用相关的专用系统设计、以及必要的测量和实验等课程, 目的是使学生了解电路设计基本原理、概念和特点, 熟悉硬件设计、分析与工程实施的基本原理与方法, 初步掌握集成电路设计、以及用集成电路构成各种专用系统的方法, 为开展硬件系统设计方面的科研工作奠定基础。

从这些课程内容可以看出, “电路与系统”实际上属于应用基础研究领域, 其课程体系可以支撑很多研究领域, 例如信号与信息处理、通信、控制、计算机乃至电力、电

子等, 为各类重要电子信息系统设计提供必要的基础知识。该学科领域, 为“信息与通信工程”和“电子科学与技术”两个一级学科之间搭建了一个桥梁, 正是由于电路系统的有力支持, 才可能最有效地利用现代电子科学技术和最新的器件实现各种高性能的信息、通信、以及控制等复杂系统, 图1是电路系统支撑的常用应用领域。

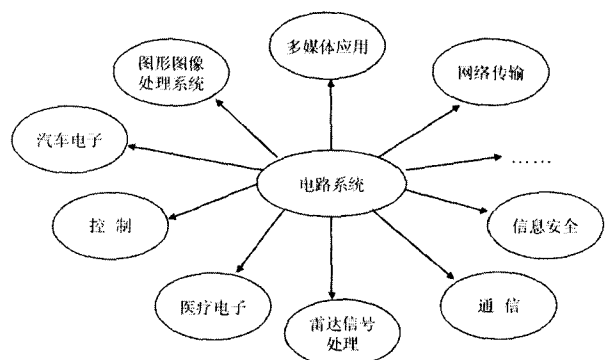


图1 电路系统支撑的常用应用领域

本文作者通过参加“十一五”以及“十二五”学科与课程建设, 对“电路与系统”学科建设的情况有了深切感受和体会, 以下将围绕中外大学研究生课程设置情况进行

[收稿日期] 2013-04-20

[作者简介] 吴巨红(1968-), 女, 辽宁沈阳人, 国防科技大学电子科学与工程学院 ATR 实验室副教授, 硕士生导师, 博士。

对比研究，为国内高校的学科发展和建设提供一些建议。

二、“电路与系统”专业课程的特点

“电路与系统”专业课程除具有基础性外，该学科领域与工程实践和器件发展密切相关，其专业课程设置特点还体现为以下几个方面：

1) 课程内容涉及知识面十分广泛，不仅要求学生掌握与电路系统相关的基本原理，还要了解和学会必要的设计工具以及仪器设备的使用，了解当前主流器件及其发展特点；

2) 设计类课程具有很强的综合性，各类电路系统都要满足特定应用背景的需求，因此要求学生在进行设计时能够自觉综合运用领域知识，对系统设计进行约束；

3) 实践性：“动手”是该领域课程最显著的特点，实践环节是不可或缺的教学内容；

4) 动态性和开放性，器件能力的快速发展及更新，直

接影响到系统的构成方式、性能指标等，甚至改变系统设计的指导思想，因此，教学内容的设置必须要考虑这一影响，保持高度的动态性和开放性。

正是基于课程的上述特点，国内外各高校在进行课程建设时，都采取了一些相应的措施，各有所长。在教学内容方面，一般涵盖了集成电路设计以及电路系统的应用设计等技术。

三、国内外大学课程情况对比分析

(一) 国外一流大学课程设置情况

国外几乎所有电子与计算机工程类研究生课程都会开设电路相关课程。本节我们综合国际高等教育研究机构 QS (Quacquarelli Symonds) 近年电子工程专业世界大学排名^[1,2]、以及国内公认电子类有影响力的学校，从中选取几所国外大学进行研究，其电路相关的课程设置情况见表 3-1 (排名不分先后)。

表 3-1 国外大学课程设置情况 (仅列出电路相关课程)^[3,4,5,6,7]

高校名称	课程设置
麻省理工学院 (MIT)	电路与电子，微电子器件和电路，高级电路技术，高速通信电路和系统，数字集成电路的设计和分析
加州大学洛杉矶分校 (UCLA)	模拟集成电路设计，高级数字信号处理电路设计，嵌入式和实时系统，高级数字集成电路，射频电路与系统分析和设计，计算机系统上的 LSI，电路和信号处理专题，高级电子工程研讨，电子工程研究专题研讨
加州大学伯克利分校 (UCB)	微电子电路导论，数字电子技术导论，工程电子技术，线性和非线性电路，微电子器件和电路，集成电路器件，半导体电子，线性集成电路，数字集成电路导论，通信集成电路，计算机辅助设计和集成电路导论，嵌入式系统导论，逻辑综合，VLSI 信号处理，固态电子学，固态电子器件，量子光和光子，超导器件和电路，模拟集成电路，高级模拟集成电路，高级数字集成电路，高级通信集成电路，先进 IC 处理和布局布线，集成电路的计算机辅助设计，VLSI 中的模拟数字接口，嵌入式系统设计：模型、验证和综合，固态电子器件研讨，电路设计研讨，电子工程研讨，微机接口实验
加州理工学院	电子工程导论、嵌入式系统导论、高级电子工程、电子工程研讨、数字电子技术和基于 FPGA 和 VHDL 的设计、反馈控制电路、模拟电路设计、混合模式集成电路、低噪声电子测量、电子实验、模拟电子工程实验、电子电路实验
帝国理工学院	模拟集成电路和系统、全定制集成电路设计、VHDL 和逻辑综合、模拟信号处理、数字信号处理和滤波器、高性能模拟电子、无线电广播频率电子、光纤通信、实时数字信号处理、微机电 (MEMS) 和纳米 (nano) 技术、仪器使用

(二) 国内高校课程设置情况

国内以“电路与系统”二级学科招收研究生的学校有几十所，我们根据武汉大学中国科学评价研究中心授权中国教育在线发布的 2011-2012 年研究生教育分专业 (电路

与系统专业) 高校排行榜^[8]，从中选取等级为 A 以上的部分大学 (有些不方便通过互联网查到课程设置情况的院校未被选择)，列出其课程设置情况，见表 3-2 (排名不分先后)。

表 3-2 国内大学课程设置情况 (仅列出电路相关课程)^[9,10,11,12,13,14,15]

高校名称	课程设置
清华大学	模拟及混合信号系统设计，数字电路与系统的计算机辅助设计，高等模拟集成电路，结构化集成电路设计，MOS 集成电路设计与实践，射频集成电路测试，数字信号处理器结构分析
西安电子科技大学	非线性电路与系统，电子系统集成设计技术，微电子电路和系统设计，电路的优化设计，混合信号专用集成电路设计，大规模专用集成电路实验，数字系统测试与可测性设计，微机单片机接口实验，微机接口设计实验，可编程逻辑器件原理、应用与实验，DSP 技术及应用实验，基于 C 的单片机开发实验

高校名称	课程设置
中国科技大学*	模拟 CMOS 集成电路设计, 先进模拟集成电路设计技术, 半导体器件物理, 射频集成电路设计, 先进电子线路, 片上系统设计, 现代电子系统设计, PLD 与数字系统设计, 集成电路物理设计, 数据采集与处理技术, 超大规模集成电路设计, 嵌入式系统原理及应用, 射频电子学, 微波电路原理与设计, 专用信息处理芯片设计, 电路与系统专题, 先进电子器件的射频建模兼芯片验证
南京大学	电子信息前沿, DSP 与微控制器, 嵌入式系统实验, 生物医学电子学, 集成电路原理与设计, 现代半导体物理器件, 电子学进展, 近代电子学
电子科技大学	现代电路理论及应用, VLSI 电路和系统设计, 现代通信系统中的微波电路, 射频集成电路, 第四代通信中的发射机技术, 微波固态电路, 射频电子线路
东南大学	VLSI 设计技术, 集成电路设计技术基础, 射频集成电路设计基础, 光纤通信用集成电路设计, 专用集成电路设计
浙江大学	现代电路技术, 多值逻辑电路设计, 现代逻辑设计, 电路模拟分析技术, 现代 ASIC 设计技术

注: * 含博士生修学课程

国内高校的培养大纲一般还会给出这些课程所支撑的研究方向, 见表 3-3。
研究方向, 3-2 中列出的课程一般至少支撑三到四个以上

表 3-3 国内大学课程支撑的应用研究方向^[9-15]

高校名称	支撑研究方向
清华大学	通信与数字媒体处理芯片, 电子系统设计自动化, 模拟及数模混合集成电路设计, 射频与微波集成电路设计
西安电子科技大学	智能信息处理前沿方向的研究, 多传感器定位, 融合与系统仿真, 运动视觉系统及 SOC 电路, 嵌入式系统及高速信号处理技术, 信息与网络对抗系统, 影像工程与智能系统
中国科技大学	集成电路与系统设计, 智能信息处理, 嵌入式系统, 计算机应用, 复杂系统与复杂性研究
南京大学	图像处理与成像技术, 嵌入式系统, 智能控制系统, 现代电子设计
电子科技大学	非线性电路与系统, 神经网络, 射频、微波、毫米波电路与系统及集成技术, 集成系统芯片 (SoC) 设计与工具开发, RF MEMS 及系统集成, 绿色能源技术, 集成电路验证技术, 集成电路中的信号完整性, 电路与系统可靠性研究, 高线性高效率射频微波发射机技术
东南大学	射频和微波集成电路研究、超高速集成电路研究、光电集成电路研究、通讯网络 VLSI 研究、生物体植入电路与系统、系统芯片设计技术、嵌入式系统研究与应用、图像处理与传输、电路与计算机应用系统
浙江大学	现代数字电子学, 高信息密度集成电路设计, 数字集成电路设计与 CAD, 数字信号处理, 微机控制与应用, 智能仪器与自动检测系统, 网络通信与工业测控, 计算机数据通信与信息处理, 图像处理, 传感电子系统

(三) 中外大学课程设置与建设方面差异

通过对比, 发现中外大学课程设置与建设方面有一些共同点, 也存在一些差异, 具体体现在如下几个方面:

1) 都强调课程的基础以及对应用的支撑作用。例如, MIT 的“高速通信电路和系统”是专门面向通信应用的, 加州理工的“反馈控制电路”则面向控制系统问题。国内的大学在培养方案中会明确列出支撑的研究方向, 而国外的大学通常不具体规定。

2) 在强调课程实践性环节上, 被采样大学的个体差异明显, 不同授课教师在教学安排上的差异更是存在。有些学校例如加州理工、西安电子科技大学、南京大学等开设了独立的实验课程, 而有些学校将实验与课堂教学绑定在一起的。非常值得称道的是 MIT 的《高级电路技术》课程设计, 该课程主讲教授结合课堂教学内容, 给学生布置了专门的课程设计内容, 包括三组实验 (Laboratory)、三组设计问题 (Design Problem), 每一组实验或设计问题都包

含若干项供学生根据能力和兴趣选作，并要求学生课余依托多种实验室（科研项目实验室、专用教学实验室）等场地去完成。主讲教授将课堂教学与课程设计安排的对应关系放到课程网页，让学生事先就知道每学完一个部分应该去完成哪些实践性内容。从这一点也可以看出 MIT 的教师对课程建设的重视程度，同时也揭示出连续几年 MIT 在 QS 电子工程学科排名中稳居前列的部分原因。

3) 在课程体系方面，国内外都有部分大学考虑到根据课程的深度、广度、难易度、以及选课对象在专业方向以及学习需求方面的差异，设置更加灵活多样的课程。例如，UCLA 同时开设了电子工程导论、高级电子工程、电子工程研究专题研讨等，分别为偏重基础和需要掌握更深入和前沿知识的学生设置；帝国理工在模拟集成电路方面的课程分别针对器件、设计、集成和应用开设不同课程，课程体系非常清晰，而在某些高校，这些内容经常被包含在一门课中；南京大学的课程体系也很清晰，表 3-2 中，电子信息前沿、电子学进展、近代电子学、生物医学电子学、集成电路原理与设计、现代半导体物理器件等也非常清晰地体现了器件、设计、应用的层次，兼顾到了前沿、基础与应用领域。

4) 在教学资源建设上，中外大学有明显的差异，国外大学课程配套的资源比较丰富，除讲义 PPT 外，主讲教师一般还会把课程大纲、学习要求、配套实验、以及与课程相关的非常丰富的学习资料（或者链接）放到网上，供学生分享，有些学校甚至允许非本校学生访问，真正做到了学术无国界。多数国内大学的教学资源体现为公开视频课的形式，一般限于各级别的“精品课程”，而且目前面向研究生的视频课很少，可能与研究生教学受众面较小有关。在这一点上，国内很多大学与国际一流大学还是有一定差距的。

四、对电路与系统学科领域课程建设的几点建议

通过上述对比研究发现，国内大学在进行研究生“电路与系统”课程建设时，仍有许多可以进一步优化和完善的空间。以下给出几点建议：

1) 增加层次化的配套实验教学环节。

层次化的实验教学可以包括两个部分：独立的实验课程，课程实验（依托某一课程，规定了专门学时和内容，与教学内容配套）两个部分。

目前国内很多高校经过国家 985 或者 211 建设，大幅提升了学生实验条件，能够为研究生提供良好的科研实验环境。专门的实验课程可以依托这类实验室，针对一大类课程中的关键知识点，讲授某一类实验的基本原理、常用器件、主要技术指标、常用仪器设备使用等。实验内容应该具有相当程度的综合性，例如设计几个实验专题，要求学生综合运用几门课程中讲授的知识和技能来完成这些实验专题。这样的训练对于研究生日后开展真正的科研活动是非常必要的。

课程实验主要体现为训练学生对某一门课程涉及知识点的运用，也可以设计一到两个综合性实验，将本门课程的几个知识点串起来。教学实践表明，受限于课时限制，此类实验的综合性不易太强，否则学生很难在开课的同时

确保高质量完成。

在实验教学中，MIT《高级电路技术》的指导理念也非常值得借鉴，课程大纲中明确指出：不强调设计方案在理论上最优，而是强调与真实世界约束紧密结合，能够利用现有条件达到理想的设计目的。体现了在电路系统设计中鼓励创造与开放性思维、以及实用的原则。

2) 注重科研成果向课堂的引进

研究生教学与本科生教学的一个重要区别之一在于：研究生教学更加注重与科研实际的紧密结合，在研究生培养周期的第一阶段，课堂教学占主要比例，科研活动用于辅助教学效果，在研究生培养周期的第二阶段，科研活动已不仅仅是教学活动的延续，它已成为教学活动的主要部分。

“电路与系统”方向的研究生多数将成为电子信息领域的高级科研或者工程技术人才，而科研或者工程素质的培养绝非一朝一夕，因此，在第一阶段的课堂教学中就应该以此培养目标为导向，围绕该培养目标设计研究型、案例式课堂教学模式，将科研思想、科研成果引入课堂教学，不断拉近传统课堂教学与科研实践活动的距离，为研究生顺利转入第二阶段学习起到搭桥衔接的作用。

3) 课程设置注重差异化和层次化

根据课程的深度、广度、难易度，增设不同层次的课程，为不同专业方向以及学习需求的研究生提供灵活多样的选择。

这一条的实施可能会受到师资能力的限制。近年来，国内研究生人数逐年增长^[16]，而教师人数并没有按比例增长，特别是具有高级职称的研究生导师人数与研究生数量之比，目前远远低于欧美等国家，所以，大多数国内院校的课程只能更加注重基础性和通用性。

基于这样的客观实际，建议在正常的基础性与通用性研究生专业课程之外，由博士后、刚毕业的博士、或者研究生导师加博士生等多种层次的教师，开设一些专题研讨、导论、或者前沿之类的选修课程，一方面补充基础性与通用性课程在深度、宽度、前沿性等方面的不足，使课程体系更加丰满和具有灵活性，另一方面，也为科研成果进课堂提供更加多样化的渠道。

4) 加强教学资源、以及教学资源网络化建设

大多数课程的教学资源不外乎教材、课件、以及参考书等，但是正如本文第二部分所述，电路课程与器件发展密切相关，教学内容需要保持高度的动态性和开放性，半导体以及电子技术的高速发展，使得该领域的知识、经验、技能、甚至系统设计结构都处于不断变化的状态，可以说，动态性是该领域知识常态化的表现。如果授课内容不能时刻保持与领域知识的同步更新，那么学生所接受的知识将是过时的。教材、参考书等出版类载体，很难做到与领域知识发展同步，因此，除教材与参考书外，为学生补充其它形式的教学资源是十分必要的，相关器件的数据手册（datasheet）、常用测试仪器设备资料、常用电子器件、电子公司、电子杂志、以及电子论坛等都是非常有用的教学辅助资源，依托互联网，这些资源可以非常方便访问。

互联网作为传播知识的载体和快速渠道，非常适合作为教学资源建设的平台。MIT 的开放教学平台（MIT Open

CourseWare) 作为基于互联网的教学平台, 能够为学生提供课程大纲、教学与实验安排、设计工具、教师课程主页等链接, 通过这些链接, 可以方便地访问到教师的讲义课件、相关器件的数据手册、实验要求和指导、以及必要的参考书等, 而且这些课程资源都是完全公开的。帝国理工的学生需要通过学籍注册号登陆访问网络教学资源。

[参考文献]

- [1] QS 世界大学电子工程专业排名(2011), <http://rank.nihaowang.com/paiming/1198.html>2013.
- [2] 2012 - 2013QS 电子电气工程专业世界大学排名, <http://news.qidi.org/5324>
- [3] Courses by Department of MIT, <http://ocw.mit.edu/courses/#science-technology-and-society>
- [4] EE Graduate Level Courses in UCLA, <http://ar.newsmth.net/thread-3a264ef691587.html>
- [5] EECS Course WEB Sites, <http://inst.eecs.berkeley.edu/classes-eeecs.html>
- [6] Course of EE California institute of technology, <http://www.ee2.caltech.edu/courses>
- [7] MSc Analogue and Digital Integrated Circuit Design, <http://intranet.ee.ic.ac.uk/electricalengineering/eecourses/crslistpg.asp?c=A1>
- [8] 2011 - 2012 年研究生教育分专业排行榜: 电路与系统, http://kaoyan.eol.cn/baokao_6153/20111119/t20111119_708843.shtml
- [9] 2011 - 2012 学年研究生开课目录, <http://www.tsinghua.edu.cn/publish/ee/3696/index.html>
- [10] 培养大纲详细信息, <http://gr.xidian.edu.cn/planInfoIndexAction.do?fos ter PlanId=32>
- [11] 电路与系统专业(080902)研究生培养方案, http://est.ustc.edu.cn/jyp/pyfa/201209/t20120904_138975.html
- [12] 南京大学电路与系统专业(080902)硕士研究生培养方案, http://ese.nju.edu.cn/m_circuit_cn.php
- [13] 电路与系统学科硕士研究生培养方案, <http://www.doc88.com/p-913959797406.html>
- [14] 东南大学硕士研究生培养方案, <http://radio.seu.edu.cn/info/683>
- [15] 浙江大学信息科学与工程学院硕士生培养方案: 080902 电路与系统, <http://jieshao.kaoyantj.com/peiyangfangan/2005/06/06/33684720526B76CC.html>
- [16] 调查报告: 中国的研究生导师比是否正常, <http://henglish.com/new/p98877>.

(责任编辑: 胡志刚)

(上接第 67 页)

功夫, 切实引进我们需要的、负责的、全身心投入工作的领军性学术大师充实学术队伍, 锻造出一支具有兵团作战能力的学科团队。在学术大师引进方面, 纵观国内高校, 我们已经远远落后。目前国家层面上先后出台了千人计划、青年千人计划、百人计划和长江学者计划等等, 但是这些人才计划在军事院校如何有效实施目前仍然是一个难题, 急需解决。

(三) 高水平学术论文产出

SCI 论文多当然标志着我们学术能力有了显著提高, 但是高水平学术论文特别是高被引论文更具学术意义。从上述国际一流物理学科的数据我们可以看出这一点。普林斯顿大学、哈佛大学、麻省理工学院等篇均被引远高于一般大学。当然要做到这一点, 也是个长期的过程。可喜的是, 我们学校已经意识到高水平学术论文的重要性, 出台了各种各样的政策来鼓励和引导高水平学术论文的产出。虽然部分手段还值得进一步商榷, 但是总体上目前政策具有较好的积极意义。

(四) 国内外合作交流

合作与交流是目前国内高校特别是军事院校存在的短板。国外的科研机构十分重视团队与团队之间的合作交流, 定期互访, 取长补短等等。如何进一步加强国内外合作研究, 提升自身的学术影响力是摆在我们军事院校面前的现实问题。要建设一流的基础学科, 就必须不断拓展国内外合作交流渠道, 加强合作交流手段机制平台建设, 强化合作交流研究。

最后, 一流的基础学科不是一蹴而就的, 也不是立竿见影的, 必须长期不懈地努力, 坚持创新和发展不动摇, 全系上下拧成一股绳, 经过十几年、甚至几十年的学术沉淀和积累才有可能实现。

五、结束语

以物理学科为例, 根据 ESI 数据库近年来最新统计资料并结合 2012 年全国一级学科评估结果, 本文详细阐述基础学科的发展概况, 并就建设高水平基础学科存在的优势和亟需解决的瓶颈问题做了初步探讨。

[参考文献]

- [1] 教育部学位与研究生教育发展中心. 2012 年全国一级学科排名(0702 物理学). 2013 - 01 - 29 [2013 - 06 - 01]. <http://www.cdgdc.edu.cn/webrms/xww/queryXKPG.do?flag=1&xkpgdxselect=0702>.
- [2] 汤姆森集团. ESI 数据库. 2013 - 03 - 02. [2013 - 06 - 01] <http://thomsonreuters.com/essential-science-indicators/>.
- [3] 董政娥, 陈惠兰. 基于 ESI 和 SCI - E 论文来源期刊分区的动画大学学科发展分析 [J]. 东华大学学报(自然科学版), 2012, 38(1): 107 - 112.
- [4] 董翔, 李万里, 杨淑华, 王睿. 基于 ESI 的兰州大学计算机科学学科数据统计分析 [J]. 科技咨询, 2011(2): 8 - 9.
- [5] 邱均平, 杨瑞仙. 基于 ESI 数据库的材料科学领域文献计量分析研究 [J]. 情报科学, 2010, 28(8): 1121 - 1126.

(责任编辑: 赵惠君)