

# 模拟电子技术的理论、仿真与实验同步教学探析

钟伟荣 张茂平

(暨南大学理工学院物理系, 广东 广州 510632)

摘要: 本文以模拟电子技术中负反馈放大器部分内容为例, 基于教学实践, 探讨如何实现从传统分离式教学到理论、仿真和实验同步教学的转变。实行同步教学后, 学生对于实验与理论的关联思考更加深入, 学习兴趣更加浓厚, 促进了学生综合性思维与创新能力的提高。

关键词: 模拟电子技术; 理论教学; 仿真实验; 实验教学; 教学改革

## 一、引言

传统的模拟电子技术(简称“模电”)课程一般包括理论课和实验课, 没有仿真。通常理论课与实验课是在两个学期分开教学。这种传统教学方式考虑了学生先具备理论知识后再进行实验, 更容易出效果。有其优势, 如教学秩序可以做到井然有序, 理论与实验教学互不干扰, 教学评价标准清晰, 老师负担轻, 执行容易。但劣势也明显, 比如学生学习枯燥, 理论知识的消化缓慢, 学习印象不够深刻。掌握知识不够扎实的学生因间隔时间过长造成实验时, 已遗忘理论课知识, 进而影响实验课效果。

仿真实验, 也称线上实验, 作为线下实验的重要而有效的补充, 特别是新冠疫情期间得到最大程度的执行。模电的线上实验最常用的软件是 Multisim, 限于课时, 没有安排课时训练。虽然仿真与线下实验有一定差距, 但是仿真基于电路原理建模, 可以考虑非理想化问题, 从而更贴近实验。例如, 运算放大器的实现, 理想运算放大器的输入、输出特性曲线应为从  $-V_{CC}$  过 0 到  $+V_{CC}$  的阶跃函数, 但实际上线性区有一定的斜率, 饱和区电压也达不到  $\pm V_{CC}$ , 且正负引脚的输入也超过最大输入限制。阶跃图如图 1 所示, 只要足够小的数据间隔, 其有一斜率曲线, 这与实验比较贴近。

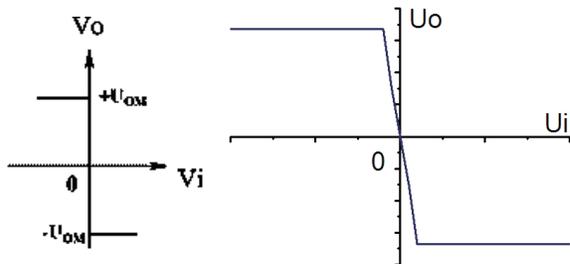


图 1 反向过零比较器的电压传输特性, 左图为理想比较器, 右图为实际比较器

Multisim 软件在 741 运放的实现中, 不是简单理想化, 其建模考虑了运放内部结构的输入输出特性, 即多级负反馈放大电路等。这些特点说明仿真是一条从理论通往实验事实的重要桥梁, 使学生在进行实验前可以对实验电路设计有一个总体印象, 大大提高实验课的效果。在当前互联网+与智能化逐渐成为科技发展的主要潮流的形势下, 仿真是当代人才培养不可绕开的话题。因此, 如何将理论、仿真和实验同步教学有机结合起来是本科电子相关专业面临的挑战和紧迫任务。在教学实践基础上, 从理论到仿真, 再到实验的同步教学取得一些成果, 并受到学生欢迎。

## 二、理论、仿真与实验同步教学的实施

以模电中“负反馈放大器”部分内容为例, 探讨如何实现从传统分离式教学到理论、仿真和实验同步教学的转变。

### (一) 课时安排

重新安排学时是实现同步教学的关键。本文提出的课时安排

原则是: 先理论课, 再仿真, 最后实验。章节内容讲解, 理论课与实验课间隔不超过两周, 仿真穿插其中。在学生保持对新知识的新鲜感中推进实验教学, 避免学生遗忘知识点, 有利于保持教学连续性。具体安排, 理论课 3-4 学时, 将部分内容调整到仿真和实验中进行讲解和演示, 以加深学生的理解和掌握。实验课 3 学时, 仿真不安排课时, 以作业形式布置。

### (二) 理论课的任务

分离教学情况下, 理论课的讲解内容比较多。包括反馈的基本概念及判断方法、负反馈的四种基本组态、方块图和表达式、倍数分析、负反馈对放大电路性能的影响、负反馈电路稳定性以及其他形式的反馈, 等等。这些内容的讲解约需要 6-7 节课。如果进行同步教学, 理论基础课可以减半。主要是原理讲解与问题提出。首先, 负反馈放大基本概念和电路原理, 如图 2 所示的负反馈放大电路图, 其包含两大部分: 基本放大电路 A 和反馈回路 F。基本放大电路的作用是放大输入信号, 反馈回路主要作用是传输反馈信号。整个电路输入信号  $U_i$  与反馈信号  $U_f$  叠加后, 净输入信号  $U_i$  减少, 从而构成负反馈电路。图 2 的讲解是必要的, 目的是让学生建立负反馈的概念。接下来就是讲解负反馈放大电路的一些性能指标如何。对于电路稳定性与其他形式反馈的内容可以略过, 因此这一部分学时 2 个即可。其次, 问题提出。采用同步教学后, 理论课的一些内容可以以问题形式提出, 作为课后作业留给学生思考和为下一步仿真和实验准备。也就是专门用 1 学时进行问题设问。例如, 负反馈放大电路中, 基本电路引入负反馈后, 如何影响放大电路的性能? 各种负反馈放大电路的构成如何? 如电压串联负反馈的构成如何? 直流、交流和交直流负反馈放大电路如何构造, 等等。目的是让学生在接下来的实验或仿真过程中进行回答, 强化学生对重点信息的自学能力。

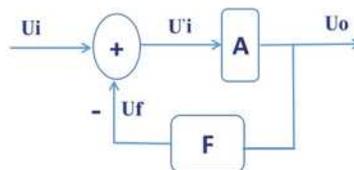


图 2 负反馈放大电路原理图

### (三) 仿真实验的穿插应用

仿真实验是线下实验的重要补充。在理论教学中, 利用仿真软件对电路进行建模和仿真, 以展示电路的工作原理和性能特点。例如, 在负反馈放大器部分, 通过仿真实验, 让学生观察不同反馈系数对放大器性能的影响, 加深对负反馈放大器的理解。比如, 理论课后将实验设备和电路的具体参数和型号告知学生。在此基础上, 学生可以构造与实验实际电路相符的电路, 如图 3 所示的仿真电路设计图。

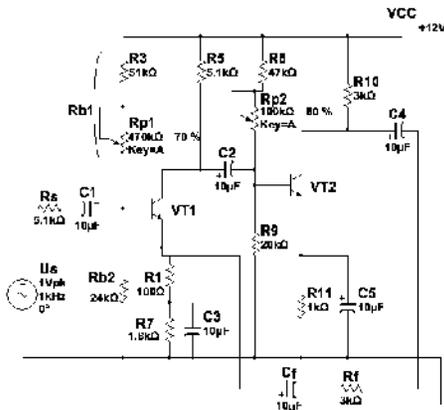


图3 负反馈放大的仿真设计电路

围绕实验的要求，根据图3，仿真部分的主要内容包括静态工作点的调整和动态性能测试两大部分。在此以动态性能测试为重点，如表1所示，测量负反馈电路的  $U_i$ 、 $U_i'$ 、 $U_f$  和  $U_o$ ，并通过计算得到负反馈放大电路的电压放大倍数  $A_{uf}$ ，输入电阻  $R_{if}$ 、输出电阻  $R_{of}$  以及反馈系数  $F_u$ 。表格中分为实验值和理论值两部分，分别通过不同方式得到。根据模拟电路原理，实验值的计算公式分别为： $F_u=U_f/U_o$ ； $A_u=U_o/U_i$ ； $A_{uf}=U_o/U_i'$ ； $R_{if}=R_s U_i/(U_s-U_i)$ ； $R_o=RL(U_o-U_o')/U_o'$ 。理论值的计算公式分别为： $F_u=R_1/(R_1+R_f)$ ； $A_{uf}=A_u/(1+A_u F_u)$ ； $R_{if}=R_i(1+A_u F_u)$ ； $R_{of}=R_o/(1+A_u F_u)$ 。通过在软件 Multisim14 上完成表1中仿真数据。

表1 负反馈放大电路的动态性能测试

	$U_s$ (mV)	$U_i$ (mV)	$U_f$ (mV)	$U_o$ (mV)
实验值	2.981	2.043	2.118	60.6
仿真值	3.000	2.413	2.360	70.4
	$F_u$	$A_{uf}$	$R_{if}$	$R_{of}$
实验值	0.034	23.5	21.24K	64
仿真值	0.0335	29.2	20.96K	64.8
理论值	$F_u=R_1/(R_1+R_f)$	$A_{uf}=A_u/(1+A_u F_u)$	$R_{if}=R_i(1+A_u F_u)$	$R_{of}=R_o/(1+A_u F_u)$
	0.033	28.6	337.6K	87

(四) 实验过程与问题解决。

在教学中，我们探讨了理论、仿真和实验同步教学的实施。以负反馈放大电路为例，我们发现三者存在一定的差异。在实验测量值中，包括  $U_s$ 、 $U_i$ 、 $U_f$  和  $U_o$  等参数，这些参数的差异主要是由于设备的系统误差和测量误差引起的。然而，对于  $R_{if}$  来说，差异较大，不能简单地归因于测量误差和仪器系统误差。

在分离教学模式下，学生往往简单地将这种差异归因于一般的测量误差。在同步教学中，我们鼓励学生深入思考负反馈放大电路中  $R_{if}$  的理论值与实验值之间显著差异的原因。

分析表1数据可知，这些参数的理论值、仿真值和实验值之间的一致性较高，其差异主要可归因于设备的系统误差和测量误差。然而，对于  $R_{if}$  而言，其理论值与实验值之间的差异显然不能简单地用系统误差或测量误差来解释。具体来说，实验与仿真结果较为接近，约为  $21K\Omega$ ，但理论值却高达  $337.6K\Omega$ ，二者相差一个数量级。

为了解释这一显著差异，我们从理论推导的公式出发，重新审视了放大电路的输入电阻计算公式。通过深入分析电路图，我们发现实际电路是一个多支路系统，而理论计算公式仅适用于具有负反馈的单个支路。因此，我们需要对输入电阻的计算方法进行修正，以考虑其他支路的影响。除了三极管支路外，还存在  $R_1$  和  $R_{b2}$  等其他支路。因此，总输入电阻应由三支路电阻的并联得

到，即  $R_{if}' = R_{if}/R_{b2}/R_1$ 。由于  $R_{if}$  和  $R_1$  的阻值远大于  $R_{b2}$ ，因此  $R_{if}'$  的值约等于  $R_{b2}$ ，即  $24K\Omega$ 。这一修正后的理论值与表1中的实验和仿真结果更为接近。

通过修正输入电阻的计算方法，我们获得了与实验和仿真结果更为一致的理论值。这一成果不仅验证了同步教学的有效性，而且激发了学生的自主设计潜能和学习主动性。这种教学模式有助于培养学生的综合思维能力和创新能力，提高他们分析和解决复杂问题的能力。

三、教学效果与评估

通过教学实践证明，实施理论、仿真和实验同步教学方式后，学生对模拟电子技术知识的兴趣更加浓厚，对实验与理论的关联思考更加深入。同时，这种教学方式在一定程度上促进了学生综合性思维与创新能力的提高。具体来说，实施同步教学方式后，学生的期末考试平均成绩比传统教学方式提高了约10%，同时学生对实验的掌握程度也得到了显著提高。此外，通过调查问卷和个别访谈等方式收集了学生对同步教学方式的反馈意见。结果显示，大部分学生认为这种教学方式能够提高学习效果和兴趣，加深对知识点的理解和掌握。同时也有少数学生提出了一些改进意见和建议，如加强课前预习和课后复习等。

四、结论与展望

本文深入探讨了模电中负反馈放大器部分内容的教学方式改革，提出了从传统分离式教学向理论、仿真和实验同步教学的转变方案。通过重新安排学时、调整理论课任务和仿真实验的穿插应用，实现了理论、仿真和实验的有机结合。实践证明，这种教学方式能够显著提高学生的学习兴趣 and 积极性，促进其综合性思维和创新能力的提升。未来，可以进一步推广这种教学方式在其他理工科课程中的应用，以培养更多具有创新精神和实践能力的人才。

然而，同步教学也面临一些挑战和问题。首先，合理安排课时和教学资源调度，确保教学进度和质量。其次，加强软件版权管理，避免不必要的版权纠纷。此外，重新构建成绩评价体系，将学生的实践能力和创新性思维纳入评价范围。最后，制定科学的教学方案和大纲，确保教学内容的完整性和系统性。

随着互联网+与智能化教学的不断发展，同步教学的方式将越来越受到学生的欢迎，如何适应时代要求，推进同步教学改革，培养具有创新性思维的人才，是每一位教学一线教师需要深入思考的问题。随着教育技术的不断发展和进步我们可以进一步探索更加先进的教学方法和手段如虚拟现实技术增强现实技术等。在模拟电子技术教学中的应用这些新技术可以为学生提供更加直观和生动的实验体验有助于提高教学效果和质量同时也可以为其他理工科课程的教学改革提供有益的参考和借鉴。

参考文献：

[1] 钟永春, 钟伟荣, 朱文国, 郑冬琴. 电路与模拟电子技术: 实验、仿真与设计 [M]. 广州: 暨南大学出版社, 2022.

基金项目: 2021年教育部高教司产学研合作协同育人项目, 基于雷实验平台的电路实验改革, 编号202101061009; 2022年教育部高教司产学研合作协同育人项目, 基于电工电子实践课程的创新实验项目建设探索, 编号220805789194645。

作者简介：

钟伟荣 (1975-)，男，汉族，广东湛江，博士，教授，研究方向：凝聚态物理与统计物理。