



# 基于虚实融合的模拟电子线路实验设计与实践

李 亮, 徐 焱, 张秀鸯

(浙江传媒学院 媒体工程学院, 杭州 310037)

**摘要:** 该文以学习者的操作数据为核心, 构建基于虚实融合的模拟电子线路实验过程, 将传统多媒体实验预习方法升级为虚拟实验预习方法。通过虚拟实验交互操作采集信息, 以数据作为依据联系实验操作、总结等过程, 改变传统的以实验结果为驱动的实验教学组织模式, 将实验转化为阶段性目标集合。此外将测量数据与预习数据建立信息比对模型, 实现实验过程的自我校正。通过虚实融合的模拟电子线路实验设计, 从实验学习、实验过程以及实验结果等方面建立多维度、科学化的实验评价体系。

**关键词:** 虚拟实验; 虚实融合; 数据驱动; VISA

中图分类号: G642

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20200592

## Design and Practice of Analog Electronic Circuit Experiment Based on Integration of Virtual and Reality

LI Liang, XU Yao, ZHANG Xiuyang

(School of Media Engineering, Communication University of Media, Hangzhou 310037, China)

**Abstract:** This paper takes the learners' operational data as the core and proposes constructing analog electronic circuit experiment process based on virtual-reality integration. The method of traditional multimedia experiment preview is upgraded to the method of virtual experiment preview. Information is collected by virtual experimental interactive operation. Processes such as experimental operation and summary will be practiced based on the data. The traditional experimental teaching organization model driven by experimental results is changed. The experiment is transformed into a set of stage goals. Besides, information comparison model is established between the measurement data and the preview data to achieve self-correction of the experimental process. Through the design of analog electronic circuit experiment, a multi-dimensional and scientific experimental evaluation system is established from the experimental learning, the experimental process, and the experimental results.

**Key words:** virtual experiment; virtual-reality integration; data-driven; VISA

实验教学相对于理论教学更具有直观性、综合性和创新性。因此, 在教学上遵循基础性、综合性、研究性、开放性的基本原则, 对于提高学生的综合素质、工程实践能力和科研创新能力具有不可替代的重要作用<sup>[1-2]</sup>, 特别是针对电子类、计算机类、通信类以及机械类等相关专业的电子线路实验<sup>[3]</sup>。帮助学习者在实验电路测量、验证以及设计等过程中, 通过实验现象及实验分析, 理解和获取更有效的知识内容<sup>[4]</sup>。

目前虚拟实验和实体实验之间存在一定程度

上的联通, 但在内容上更多的是基于教学内容的抽象性知识联通<sup>[5]</sup>, 并未达到基于数据、学习内容、评价体系的全方位联通<sup>[6]</sup>。这就造成了虚拟实验在模拟电子线路实验应用过程中, 传统的实体实验过程使学生无法将抽象的实验测量、验证以及设计内容在操作过程中进行有效应用的问题<sup>[7]</sup>。导致理论性的虚拟实验学习与实践性的实验操作出现知识断层<sup>[8]</sup>。

因而, 利用虚实融合的虚拟实验构建方法, 以学习者的学习交互数据和行为数据作为虚拟实

收稿日期: 2020-12-11; 修回日期: 2021-02-25

基金项目: 2019 年教育部产学合作协同育人项目 (201902179016)。

作者简介: 李亮(1979-), 男, 硕士, 高级实验师, 主要从事虚拟实验、增强现实、虚拟现实和教学交互设计方面的研究。

验与实体实验的连接工具，提出一种以数据为核心，虚拟实验与实体实验相结合的虚拟实验构建方式。构建一个在理论学习、虚拟实验、实验学习三者之间循环迭代的过程，将虚拟实验与实体实验进行有机结合，以提高虚拟实验在整体实验教学中所发挥的作用。

### 1 系统结构概述

在基于虚实结合的融合性虚拟实验的具体实验环境的改造上，以目前的实验环境为基础，构建最小成本的适合虚实融合的实验室环境，具体构建如图 1 所示。

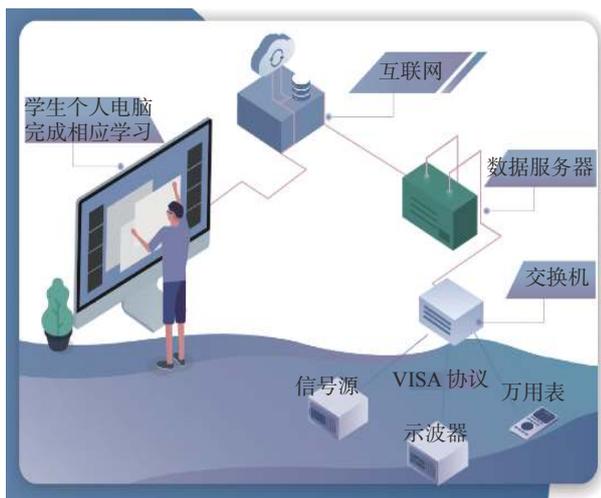


图 1 虚实融合的实验室平台构建示意图

1) 虚拟实验平台的构建：从整体设计方案考虑需要实现基于 PC 和 android 的跨平台性以及学习者和教学者访问边界性，以浏览器作为承载平台，使用 html5 的 canvas 作为虚拟电路的设计、交互容器，以 javascript 作为逻辑控制语言，实现相应的实验逻辑需求。

2) 实验室内环境构建：由于近年来生产的示波器、信号源以及万用表等设备在网络连接上大部分都支持 VISA 协议的数据控制和互通，因而在实验室网络连接上，通过交换机，在实验室内搭建局域网络环境，并为每台设备配备局域网内独立的 IP 地址以便于数据访问以及指令传递。

3) 数据存储管理：在局域网内布置一台数据服务器，主要用来存储学习者的虚拟实验设计数据(包括电路设计以及器件参数设计)、操作数据和过程测量数据等信息。同时服务器需要联通互联网，方便学习者在外部环境下对于虚拟实验相关的访问及传递。

4) 实验室内虚拟实验再现：考虑到具体的搭建成本以及场地等方面的要求，以低成本的 android 平板电脑作为虚拟实验设计内容再现和数据测量的配合端，学生也可以通过自带的手机、平板电脑或者 PC 作为实验辅助端，这样设计有效减轻了实验辅助端需要购置电脑所带来的成本压力。

### 2 虚拟实验系统功能

根据以上的设计思路，在虚拟实验部分以 web 作为承载工具，借助 web 跨平台性和普遍性的特点，随时随地为学生提供教学服务。在系统功能角色的构建上，分为教师端和学生端两个部分。

#### 1) 学生端

学生端的主要功能包括实验学习、实验操作以及系统管理 3 部分功能。

##### ①实验学习功能

学习功能主要是针对实验教学过程中学生对于学习内容方面的需求所构建的学习环节。在学习功能的组织上，采用文本类、视频类以及虚拟实验类等内容组织形式逐步深入，以适应学习内容学习阶段化进展的需求。同时，通过实验功能部分的虚拟实验相关功能(如图 2 所示)，模拟学生在实验过程中的实验电路设计以及器件参数设计，并实现实验操作过程和实验反馈信息，给学生以直观的操作认识。同时，在虚拟实验学习功能中，对于学生的虚拟操作过程数据进行采集和存储，为实验操作过程提供数据依据。

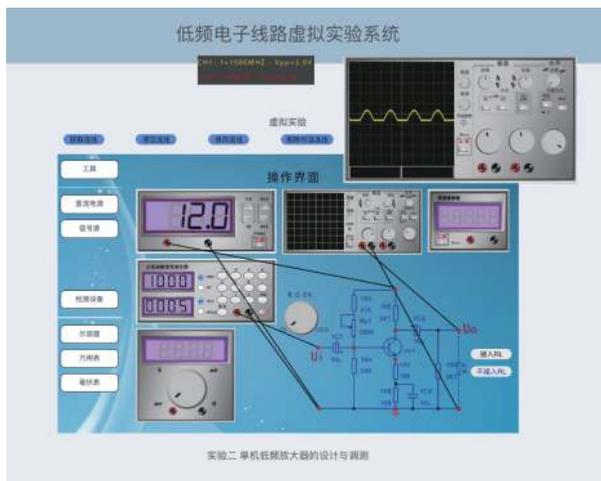


图 2 系统运行界面

##### ②实验操作功能

实验功能主要是针对学生在学习功能完成

后,进入实验室进行实体实验操作过程中的辅助性功能。在实体实验功能中,学习者首先可以借助于服务器的功能,调取在虚拟实验预习操作过程中的电路设计和参数设计内容,并进行重现。在实验过程中,预先设定的关键点实验可以借助于虚拟示波器功能调取,使实体示波器显示数据,与虚拟实验的理论数据进行对比,实现判定实验过程中的错误数据信息等功能。

### ③系统管理功能

系统功能模块主要是针对学习者的个人信息以及操作数据进行管理。主要完成个人基本信息维护以及回顾实验学习、操作相关的历史数据。

### 2) 教师端

教师作为系统的一个独立角色,其主要的功能是了解与其教学相关的学习者实验学习情况。包括学生个体的实验完成情况、实验交互情况以及对于学生群体(如学生班级等)的整体实验完成情况,并对相应的数据进行可视化处理,建立直观准确的数据曲线、表格,便于教师用户对于教学内容进行相应的组织和调整。

## 3 实验教学设计

下面以电子线路实验中的单级低频放大器的设计与调试为例,详细地介绍虚实结合的构建方法。

单级低频放大器电路的设计与调试是在低频电子线路实验课程教学体系中一个典型的实验项目。在本校具体的实验教学大纲上,要求学生在课前预习中,首先在一个预先给定的电路结构上,根据理论知识和已知条件确定电路中各个关键性电阻的阻值以及静态,设计一个简单的单级低频放大器。并在完成设计的基础上研究静态工作点对于电路输出所产生的影响。在实体实验中,学生选取实验室提供的电阻模块,搭建实验电路并验证设计内容。这是一个综合设计性、研究性和验证性的实验项目。

在构建单级低频放大器设计与调试虚拟实验的过程中,首先需要完成电路的设计,通过电路的设计使实验过程更加清晰。

### 1) 虚拟电路设计与搭建

在每一个虚拟实验操作事件的建立时,都会生成一个描述当前虚拟实验操作的描述性文件,其用来存储当前虚拟实验操作的过程性数据以及结果性数据,在与实体实验之间进行交互的时候

也是以这个文件作为参考进行数据通信。

在电路搭建上,在器件库中查找所需要的器件单元并选取,将器件编号写入到浏览器程序的数据中,拖拽到指定位置后释放,器件单元将会根据器件的大小信息以及释放位置的坐标信息,计算出电路器件单元在电路区域内的坐标定点信息,并根据器件库建立时所设定的输入点和输出点的坐标信息进行相对计算,获取当前电路单元在整个电路区域中的坐标信息,并以对象列表的形式写入到当前虚拟实验操作事件所对应的数据存储文件。

在电路设计上,学生根据实验条件(如负载电阻  $R_L$ , 电源电压  $V_{CC}$  等)结合实验原理,设计实验电路中可编辑虚拟电阻节点交互界面中选择电阻的标称阻值,进行保存,如图3所示。保存的结果将会写入到当前虚拟电路设计相对应的描述文件中。在完成电路节点阻值设计后,系统将会根据电路原理以及当前设定的阻值等信息,建立电路的数学关系模型,以确定电路输入与输出之间的数学关系。

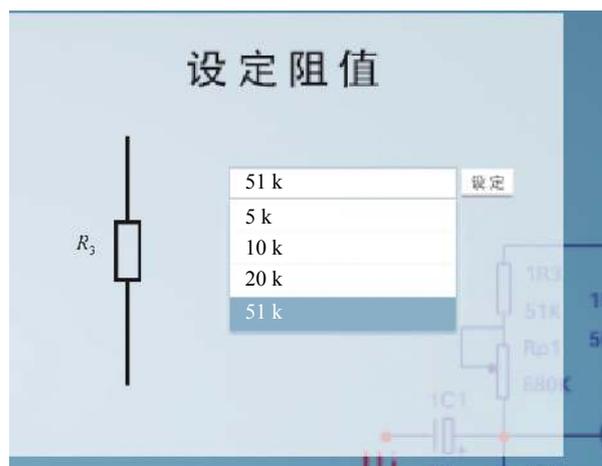


图3 虚拟电路电阻阻值设计

### 2) 静态工作点调试

在虚拟实验的静态工作点调试的实验中,其实现的实质是通过调整输入信号(信号源的输出幅度)以及实验电路中的可变电阻器来实现对于静态工作点的调试;在实现原理上,实现获取最终输出端与输入端、滑动变阻器之间的数学关系,之后采集当前信号源输出正弦信号的幅度值和滑动变阻器的阻值,带入到公式中,判定当前输出状态,并计算出在滑动变阻器的阻值数据下所能接受的最大幅度值之间的数据,判定是否出现失真

的状态，并存储于浏览器的内存堆栈中；当用户在寻找失真的过程中，将会在客户端进行计算，当达到失真临界点时，浏览器进行相应的响应，将失真数据模型发送给示波器模块，进行失真状态的展示；当用户通过调整滑动变阻器寻找静态工作点时，获取当前调整的滑动变阻器的数据之后，计算当前所能接受的最大输入幅度，重复这一个过程。

在调整静态工作点的过程中，将用户每一次调整的过程都作为一个独立的数据记录描述文件中，作为对于用户理解静态工作点的影响性参

数，通过调整的趋势，能够判断用户对于静态工作点以及调整静态工作点的理解。

### 3) 虚实之间的数据通信

虚拟实验对于实体实验数据的获取上，其关键点在于建立虚拟实验服务器与实体实验中的仪器设备的联通。在本方案的实现上，采用基于 VISA 协议的仪器设备，并在实验场地内构建局域网络，联通实验室内各个仪器设备；通过设备的 IP 地址映射设备的编号，使设备在系统内与用户的实验位置进行一一对应，具体的实现连接流程如图 4 所示。

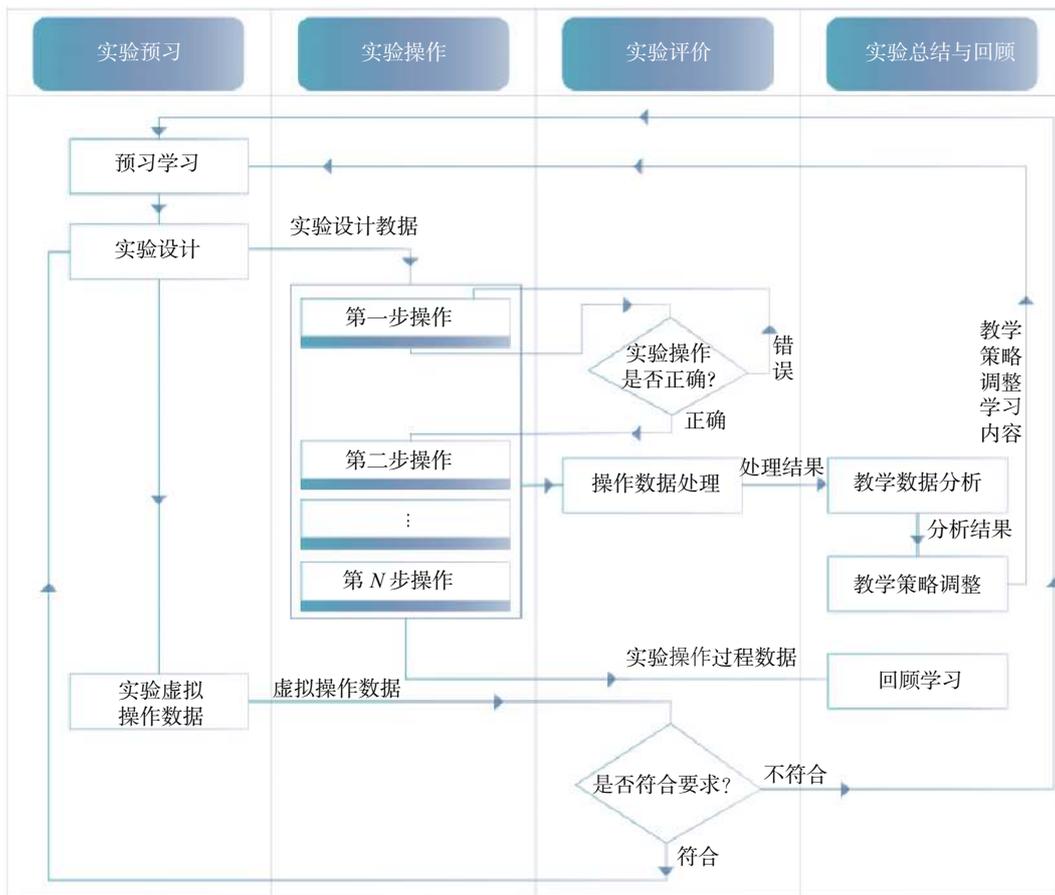


图 4 联通关系的建立

当用户在进行实体实验过程中，需要采集实体实验的数据并记录于虚拟实验系统时，用户首先需要在实体实验过程中通过设备操作，测量该测量点的数据，然后在实验辅助端根据实际电路测量节点，在虚拟实验操作界面中点击对应的节点，通过交互触发数据采集事件。数据采集事件将会根据用户的位置信息向服务器发出请求，获取与该位置信息相匹配的设备编号信息，并映射到设备的 IP 信息。之后服务器程序将会以该 IP 信

息作为依据，向对应的设备发送 VISA 协议请求，获取当前设备的数据，存储于虚拟实验系统中与该测试点相对应的数据节点中，如图 5 所示。

在完成虚拟实验电路中的各个关键数据点的数据采集后，系统可以将所获取的测量数据与虚拟实验中所生成的数学公式进行验证，判定学生实体实验操作过程是否正确，在结果数据上是否符合虚拟实验电路的数学关系。当不符合数学关系时，将会以输出点作为起点，反向遍历实验电

路各个点所采集的电路数据,并通过分析或提示的方式提醒学生在实验设计和实验操作过程中可能出现的问题。实验完成后以实验操作数据(包括时间、操作及操作频次等信息)为主进行数据处理,从而得到相关教学数据分析。根据结果使教师在教学内容及策略上做出相应调整以达到更好的实验效果。

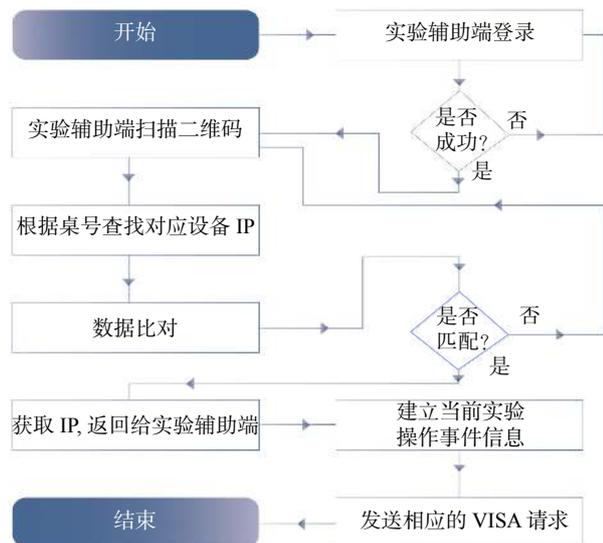


图5 虚实数据通信建立流程图

通过基于 VISA 协议的仪器设备控制程序来获取仪器设备的输出信号参数以及测量设备所获取的测量数据,能够更加便于分析学生在实验设计和实验操作过程中可能出现的问题,使学生的实验过程更加具有目的性,提升学生的实验水平。

#### 4 结束语

基于 VISA 通信协议的虚实构建体系、多粒度的虚拟实验电路构建方法以及网络分析法和实验电路分析法,针对单级低频放大器在教学上对于设计性、研究性等方面的要求,将虚拟实验与实体实验有效整合,从实验的预习、操作及总结等方面实现对实验全过程的管理,使实验设计、实验研究、实验分析等全方面更好地服务于实验教学。在教学理念上,以开放化教学为主导思想,结合实际教学特点,满足实验教师和实验学生在实验设计、实验研究、实验验证以及实验分析等多方面的教学要求。从实验预习、实验操作以及实验总结等多环节对实验教学进行辅助管理;在教学方式方法上,以数据作为驱动,对学生在实验预习、实验操作以及实验总结过程中的数据进行采集、分析以及反馈;在教学组织上,以目的

性、组织性为主的教学方式,提升教师在教学以及学生在学习过程中的效率;在面向于实验内容的评价体系构建上,以实验预习、实验操作以及实验总结进行全过程的实验评价,建立完善的实验评价体系。结合实验过程数据采集以及基于数据的结果评定方法,从实验学习、实验过程以及实验结果等方面建立多维度、科学化的实验评价体系,为学生实验评价提供全方面的数据支持。

本实验系统在本校进行实验性的应用,在应用过程中,获得了积极性的效果。在实验性的应用中,一个班采用本系统进行实验预习检测及实验效果检验,其他班采用传统的实验教学方法。通过实验考试成绩可以发现,采用本系统的班级实验操作考试平均分为 78.23 分,而传统实验教学班级成绩为 71.17 分,在考试成绩上提升了 9.91%。同时根据体验过虚实融合的实验学习的学生进行调查,认为虚实融合的实验学习对电子电路的理论学习有很大的帮助占调查人数的 78%。调查表明,学生在多次虚拟实验的练习中加深了实验步骤的印象,有效地解决了学生在实际操作上花费大量的时间去熟悉操作步骤的问题。学生认为通过虚拟实验的操作学习比枯燥的书本知识更加有趣,提高了学生在电子线路实验上的学习效率,调动了学生的学习积极性。

#### 参考文献

- [1] 司维,陈姝雨,刘泽军,等. 开放式虚实结合实验项目在实验教学中的应用[J]. 教育教学论坛, 2019(45): 273-274.
- [2] 余月,李凤霞,陈宇峰,等. 计算机编译原理课程虚拟实验设计与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(8): 123-126.
- [3] 王永慧,程知群,马学条,等. 电子信息类专业虚实结合实验教学项目建设与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(6): 184-188.
- [4] 郑云,吴怡. 移动通信虚拟仿真实验教学中心的建设与管理[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(3): 127-131.
- [5] 殷金曙,杜世民. 虚实结合数字电路实验平台开发[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(1): 108-112.
- [6] 苗风东,陈永超,丁电宽,等. 虚实结合的电类专业实验实践教学模式研究——以安阳师范学院为例[J]. 安阳师范学院学报, 2018(5): 132-135.
- [7] 潘玉恒,鲁维佳,陈佳慧,等. 电子信息类专业课程远程虚拟实验平台的构建[J]. 实验室科学, 2018, 21(3): 75-77.
- [8] 李剑锋,刘渊,王晓锋,等. 基于多粒度虚拟化的虚实融合网络仿真[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(6): 43-47.