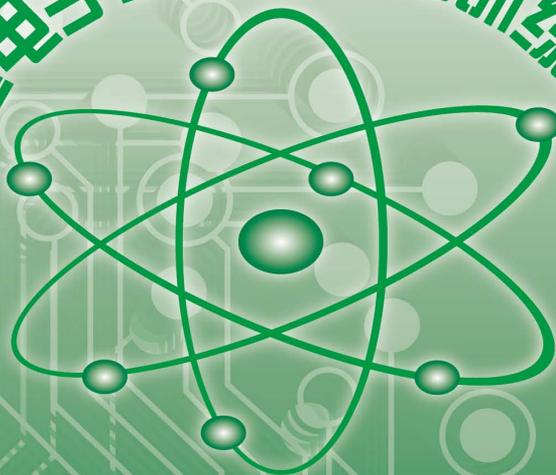


# 电子电路 调试与仿真

高建党 寸彦萍 徐晓津 著

卓越电子技术工程师训练计划



云南大学出版社  
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

# 电子电路 调试与仿真

高建党 寸彦萍 徐晓津 著

卓越电子技术工程师训练计划



云南大学出版社  
YUNNAN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

电子电路调试与仿真 / 高建党, 寸彦萍, 徐晓津著.

— 昆明: 云南大学出版社, 2016

ISBN 978-7-5482-2615-4

I. ①电… II. ①高… ②寸… ③徐… III. ①电子电路—调试方法②电子电路—计算机仿真 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第079915号

策划编辑: 鄢康贵

责任编辑: 李红

封面设计: 王嫒一

# 电子电路 调试与仿真

高建党 寸彦萍 徐晓津 著

出版发行: 云南大学出版社

印 装: 昆明深彩印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 7.75

字 数: 221千字

版 次: 2016年6月第1版

印 次: 2016年6月第1次印刷

书 号: 978-7-5482-2615-4

定 价: 28.00元

社 址: 昆明市翠湖北路2号云南大学英华园内

邮 编: 650091

电 话: (0871) 65031071 65033244

网 址: <http://www.ynup.com>

E-mail: [market@ynup.com](mailto:market@ynup.com)

本书若有印装质量问题, 请与印厂联系调换。(联系电话: 0871-65329857)

# 前 言

随着电子技术领域新技术、新材料、新元件的发展和社会需求的增加,新型电子产品的发展日新月异。20世纪80年代,由于电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)的发展,特别是近十年来大批各具特色的EDA软件应运而生,电子产品的开发方法发生了重大的变革,EDA方法实现了设计和仿真一体化。电路调试不仅决定着电子电路技术性能是否达到设计指标,而且是电子产品研发中的一个关键环节。用仿真技术来完成电子电路的调试,成本低、周期短、效率高,已逐渐成为电路设计的主流手段。本书为云南省教育厅“模拟电子技术和数字电子技术实验仿真研究”基金项目成果,本着“研以致用”的理念,将研究成果推向实际应用,让从事电子技术工程技术人员能够掌握应用电子电路仿真方法调试电路。本书包括四个部分,即电子电路调试与仿真研究、模拟电路调试与仿真、数字电路调试与仿真、电子产品设计方法,全书内容侧重于应用研究。

本书可纳入“卓越电子技术工程师训练计划”。电子技术工程技术人员要想进行电子产品的设计与开发,需要经过长期的工程技术实践,需要掌握多种类型电路,积累丰富的实际调试操作经验。本书系统介绍了53种电子电路的典型应用,并通过案例介绍了电子产品的设计方法,有助于电子技术工程技术人员掌握实用典型应用电路和电路工作原理及电路的调试方法,且通过典型应用电路仿真调试,可以缩短学习时间。另外,电子技术是电子、电气、通信、自动化、计算机技术等专业的技术基础课,计算机仿真技术可以将理论教学与实践教学有机地结合在一起。在理论教学时可以实时调用仿真电路,使所讲内容更加直观、方便、快捷,提高教师的授课效率和学生的学习效率。在实践教学时学生通过计算机仿真独立操作调试验证电路,减少实验器材的投入,降低实验成本,提高实验效率。学生应用EDA技术软件进行仿真调试,直接介入工程技术软件应用,为未来从事电子电气行业工作打下基础。

本书在模拟电路部分安排了15个项目,设计了28个仿真电路;数字电路部分安排了14个项目,设计了25个仿真电路。仿真电路基本涵盖模拟电路和数字电路典型应用电路,在实际使用中可根据不同层次、不同需求选用。另外,本书还配有典型应用电路仿真光盘,光盘中包括仿真电路操作版和仿真



电路视频版。视频版是将电路仿真全过程通过录屏软件制作成视频文件，并配以画外音讲解，读者看完视频可用操作版实际操作。

本书主要适用于从事电子技术工程领域工作的技术人员，也可作为高等学校电子电气相关专业的论文写作、实验实训、课程设计等环节的教学参考，仿真电路视频版可作为远程教育、网络教育实训教学资源。

全书由云南开放大学高建党老师写作统稿，寸彦萍老师执笔完成模拟电路中差分放大器部分，徐晓津老师执笔完成模拟电路中功率放大器部分。全书由“211”物理研究所姚立斌研究员、开放大学罗骥教授、龚玲平教授审稿，他们对书稿提出了很好的建议，对开拓作者写作思路提供了极大的帮助，写作团队全体人员对此表示衷心的感谢。由于作者水平有限，书中疏漏和不妥之处难免，恳请读者给予批评指正。

作 者  
2016年5月

# 目 录

第一章 电子电路调试与仿真研究 .....	(1)
§ 1.1 仿真技术的背景 .....	(1)
§ 1.2 电子电路调试与仿真研究的意义 .....	(1)
§ 1.3 常用电路仿真软件 .....	(3)
§ 1.4 NI Multisim 10 仿真软件介绍 .....	(4)
§ 1.5 电子电路仿真的主要技术性能 .....	(6)
§ 1.6 电子电路仿真的操作步骤 .....	(7)
§ 1.7 典型应用电路的仿真 .....	(7)
§ 1.8 电子电路调试与仿真案例 .....	(8)
第二章 模拟电路调试与仿真 .....	(11)
§ 2.1 基本放大电路 .....	(11)
§ 2.2 静态工作点稳定的放大电路 .....	(15)
§ 2.3 共集电极放大电路 .....	(19)
§ 2.4 共基极放大电路 .....	(23)
§ 2.5 差分放大器 .....	(27)
§ 2.6 电流源电路 .....	(30)
§ 2.7 多级放大器 .....	(34)
§ 2.8 功率放大器 .....	(39)
§ 2.9 集成运算放大器的基本运用 .....	(43)
§ 2.10 加法电路与减法电路 .....	(47)
§ 2.11 积分电路与微分电路 .....	(49)
§ 2.12 电压比较器 .....	(52)
§ 2.13 信号产生电路 .....	(54)
§ 2.14 整流与滤波 .....	(58)
§ 2.15 二极管的应用 .....	(61)



<b>第三章 数字电路调试与仿真</b> .....	(64)
§ 3.1 波形变换电路 .....	(64)
§ 3.2 逻辑门电路 .....	(67)
§ 3.3 组合逻辑电路设计 .....	(70)
§ 3.4 加法运算电路 .....	(74)
§ 3.5 编码器电路 .....	(75)
§ 3.6 译码器电路 .....	(77)
§ 3.7 数据选择器与数据分配器 .....	(81)
§ 3.8 触发器 .....	(84)
§ 3.9 同步计数器设计 .....	(86)
§ 3.10 集成计数器的应用 .....	(89)
§ 3.11 移位寄存器与序列脉冲发生器 .....	(93)
§ 3.12 555 定时器及应用 .....	(96)
§ 3.13 数模转换器 .....	(98)
§ 3.14 模数转换器 .....	(102)
<b>第四章 电子产品的设计方法</b> .....	(105)
§ 4.1 电子产品设计的基本条件 .....	(105)
§ 4.2 电子产品开发和设计方法 .....	(106)
§ 4.3 电子小产品的设计流程 .....	(107)
§ 4.4 电子产品设计选题案例 .....	(109)
§ 4.5 电子小产品设计案例：非编码红外遥控开关 .....	(113)
<b>参考文献</b> .....	(118)
<b>特别说明</b> .....	(118)

# 第一章 电子电路调试与仿真研究

## § 1.1 仿真技术的背景

仿真是对现实系统抽象的模仿。仿真技术在工程技术研究中是一种特别有效的研究手段。例如，20 世纪初科学家在实验室建立水利模型，进行水利学方面的研究。20 世纪 50 年代和 60 年代在航空工业采用仿真技术，使大型客机的设计和研制周期缩短 20%。应用飞行仿真器在地面训练飞行员不仅节省大量燃料和经费，而且不受气象条件和场地的限制。在军事工业方面，采用仿真试验代替实弹试验可使实弹试验的次数减少 80%。在核电工业采用仿真系统，能对核电站进行调试、维护和排除故障。现代仿真技术不仅应用于航空、航天、电力、化工、机械等工业过程控制领域，而且日益广泛地应用于社会、经济、生物等领域，如交通控制、城市规划、资源利用、环境污染防治、生产管理、市场预测、人口控制等。因此，对仿真技术进行研究具有非常重要的意义。

计算机软硬件技术方面的发展为仿真技术提供了先进的工具和条件，加速了仿真技术的发展。人们应用计算机技术、软件技术、信息技术对现实系统进行抽象模仿，从中得到所需要的信息，仿真技术帮助人对现实系统进行研究。计算机仿真技术具有高效、安全等特点，受环境条件的约束较少，已成为分析、设计、运行、评价、培训的重要方法。工程系统的仿真起源于自动控制领域，仿真技术从最初的演示模型逐步发展到今天，涵盖机、电、液、磁、热、气等多个专业领域，仿真技术将工业产品的设计、制造、运行维护技术活动提升到前所未有的水平。作为工程技术人员，虽然不一定是仿真技术的专家，但需要关注自己专业领域的仿真技术研究成果，关注如何使用本专业仿真软件解决工程中的实际问题，从而降低仿真技术的应用门槛，提高仿真技术的应用水平。

20 世纪 80 年代，由于电子设计自动化 (Electronic Design Automation, EDA) 的发展，电子产品的开发方法发生了重大的变革，特别是近十年来大批各具特色的 EDA 软件应运而生，使电子产品的开发方式发生了质的变化，电子产品开发由传统方法转变为计算机辅助设计，计算机辅助设计已是当今电子产品设计的主流手段。EDA 方法开发电子产品成本低，周期短，效率高，实现了设计和仿真调试一体化，电子电路仿真仅是电子设计自动化的一个组成部分。

## § 1.2 电子电路调试与仿真研究的意义

电子电路调试的目的是使电子电路实现它的技术性能，电子电路仿真是调试的技术



手段。电子电路的仿真是应用计算机动态图形显示方式实时模拟电子电路实际工作状态，对模仿的结果进行分析、计算、统计，并以数据文件的形式显示出来。从事电子产品设计和开发的工程技术人员需要对所设计电路进行实验调试，如果采用实物实验，不但费工费时，而且其结果的准确性受到实验条件、实验环境、制作水平等因素的影响，工作效率低，因此用仿真技术进行电子电路调试逐渐成为电路设计的主流手段。

电子电路调试与仿真研究意义主要有以下三个方面：

### 1. 仿真技术在新产品开发中的应用

随着社会需求的增加，新技术、新材料的发展，新型电子元器件的开发，新型电子产品的发展日新月异，电路调试成为电子产品研发中的一个关键环节，调试决定着产品的技术性能是否达到预期的设计指标、产品的设计是否合理。设计离不开调试，调试可以用实体调试和计算机仿真调试。采用实体调试不但费工费时，而且结果的准确性受到实验条件、实验环境、制作水平等因素的影响，工作效率低。现代电子产品的设计模式就是用计算机仿真技术来完成电子电路的调试，即在电路设计完成后使用计算机进行电路实验。电路实验一是验证电路功能的正确性、合理性；二是进行多种电路形式和参数的比较研究，实现电路设计的优化。计算机仿真技术在电子产品的设计、研发中可大幅度降低成本，缩短周期，目前计算机仿真技术水平的实验结果与真实电子元器件、电子仪器实验结果已达到相当高度的统一，这在国内外电子产品的开发、设计、生产中已得到广泛的证实。

### 2. 仿真技术在电子技术工程技术人员训练中的应用

电子技术工程技术人员不仅需要掌握典型应用电路的工作原理，而且需要掌握典型应用电路的调试方法，因为任何一个复杂的电子设备都是由基本典型应用电路组合而成。电子技术典型电路主要在高校专业教科书中介绍，教科书的侧重点在于电路原理分析和计算，对电路的调试训练十分有限。电子电路的调试和设计技能需要经过长期的工程技术实践，需要掌握多种类型电路，积累较多实际操作经验，这样才能进行电子产品开发设计。电子技术工程技术人员可以通过典型应用电路仿真调试，进行自主学习，可缩短学习时间，仿真技术的应用也可以大大缩短训练的进程。

### 3. 仿真技术在教学改革中的应用

电子技术是电子电气、通信技术、自动化、计算机等专业的技术基础课，传统的教学方法是先学习理论知识，后做实验来验证所学理论知识。在学习理论知识的过程中学生感到内容抽象，难以理解。在实验教学时，实验需要的电子仪器设备、电子元器件品种多，实验成本高，效率低；实验的组织形式是小组学习，这就难以保证个体化需求。应用计算机仿真技术，学生在理论学习时可运用仿真电路，通过多媒体仿真演示实验结果，让学生首先获得感性知识，实现从实践到理论启蒙的认知过程，通过感性知识来掌握理性知识，再通过理性知识来指导实践。计算机仿真技术手段可以将理论与实践有机地结合在一起，借助计算机仿真技术教学方法，所讲内容更直观、快捷，能提高教师的授课效率和学生的学习效率，降低实验教学成本。改变电路接线形式或某个元件参数可实时地观察电路的变化，验证理论，学生在自己的计算机上安装仿真软件可自主学习和实验，由仿真软件提供的虚拟仪器、元件进行实验可以更直观、安全、高效。



对于远程函授教育及专业培训,学生不集中,实验开展较为困难,我们可以通过互联网实现电子电路实验远程教学,把各类教学资源通过互联网送到学生手中,只要有电脑、有网络就可以学习,实现无纸化、开放化教学,学生可以通过互联网自己做实验,实现实验教学网上互动。

## § 1.3 常用电路仿真软件

电路系统的仿真需要计算机技术、仿真软件技术、信息技术的支撑。电路仿真系统所用的计算机一般是通用计算机,仿真软件是专用仿真软件,信息技术主要是针对远程(网络)交互应用。随着计算机处理能力的增强,功能强大的电路仿真软件应运而生,使仿真软件的应用和普及成为可能。目前电路仿真软件有多种,如 PSpice、saber、PLECS、PSIM、CASPOC、Protel99SE、NI Multisim 等,下面对这几种仿真软件做简要介绍。

### 1. PSpice 仿真软件

PSpice 属于元件级的仿真软件,模型采用 Spice 通用语言编写,移植性强,常用于信息电子电路,现在所使用较多的 PSpice 8.0,工作于 Windows 环境,占用硬盘空间 60M 左右,软件包括原理图编辑、电路仿真、激励编辑、元件库编辑、波形图等几个部分,使用时是一个整体。PSpice 的电路元件模型反映实际型号元件的特征,通过对电路方程运算求解,能够反映仿真电路的细节,特别适合于对电力电子电路中开关暂态过程的描述。

### 2. saber 仿真软件

saber 仿真软件被誉为全球最先进的系统仿真软件,也是唯一的多技术、多领域的系统仿真产品,现已成为混合信号、混合技术设计和验证工具的业界标准,可用于电力、电子、机械、光学、光电、机电一体化及自动控制等不同类型系统构成的混合系统仿真。多领域混合系统仿真是 saber 的最大特点,是其他仿真软件所不能比拟的。

### 3. PLECS 仿真软件

PLECS 仿真软件曾被誉为全球最专业的系统级电力电子电路仿真系统,也是一款用于电路及控制的多功能仿真软件,尤其适用于电力电子及传动系统。PLECS 独立版本已于 2010 年开发,自此 PLECS 脱离了 Matlab/Simulink。PLECS 独立版具有控制元件库及电路元件库,采用优化的解析方法,运算速度更快,其控制部分可以在 PLECS 独立版本中直接、快速模拟仿真。

### 4. PSIM 仿真软件

PSIM 是专门用于电力电子及电机控制领域的专业化仿真工具,和其他仿真软件的最大差别在于环路扫频速度快,仿真速度快,原理图仿真基本都能收敛,设计者完全可根据所掌握的主电路、控制方法等知识直接进行设计。

### 5. CASPOC 仿真软件

CASPOC 是主要面向电力电子及电气驱动的功能强大的系统级模拟软件。使用 CASPOC 仿真软件可以简单快速地建立电力电子、电机、负载和控制量的多级模型。这个多级模型包括交互式电力供应的电路级模型、电机/负载的部件级模型以及控制算法的系统级模型,使用 CASPOC 稳定的求解器快速、精确地仿真,将该模型的时域波形、向量



和谐波直观动态地显示出来，使用户便于在电力电子领域内进行系统级设计和分析。

#### 6. Protel99SE 仿真软件

Protel99SE(Second Edition)是 Protel 公司基于 Windows 环境下的 EDA 电路集成设计系统，能实现从电学概念设计到生产数据、分析、验证和设计数据管理。由于高度集成性与扩展性其已成为世界 PC 平台上最流行的电子设计自动化软件。Protel99SE 在原理图设计和电路仿真方面增加了许多小功能，而其最主要的改进体现在印刷电路板设计系统方面。Protel99SE 共分 5 个模块，分别是原理图设计、PCB 设计(包含信号完整性分析)、自动布线器、原理图混合信号仿真、PLD 设计。

#### 7. NI Multisim 仿真软件

NI Multisim 是一款专门用于电子电路设计与仿真的 EDA 工具软件。作为 Windows 下运行的个人桌面电子设计工具，NI Multisim 是一个完整的集成化设计环境。NI Multisim 计算机仿真与虚拟仪器技术可以很好地解决理论教学与实际动手实验相脱节的问题，学生可以将刚刚学到的理论知识用计算机仿真真实地再现出来，并且可以用虚拟仪器技术设计出真正属于自己的电子电路。Multisim 是电子电路设计、电子学教学首选软件工具。

另外还有 Proteus、Orcad、Systemview、Matlab、EWB 等多种仿真软件，这里不再介绍。各种仿真软件品种不同、版本不同、针对性不同、应用特点不同，使用过程中大相径庭，读者应根据实际需要选用仿真软件。

## § 1.4 NI Multisim 10 仿真软件介绍

仿真软件的选用关键在于用途，在明确了用途以后，就要考虑到仿真软件的功能、元器件数量、虚拟仪器的品种、软件是否便于学习和掌握、操作界面是否清晰直观、对仿真计算机是否有特殊要求等。前面我们已简单介绍了几种仿真软件，无论从仿真元件库中元件的数量上，还是从虚拟设备的种类以及虚拟分析的方法上讲，NI Multisim 10 都更胜一筹，尤其是电路故障的隐蔽设置，更为教学提供了极大的方便。所以，在教学中，NI Multisim 10 是目前普遍采用的电路仿真软件，该软件能完全满足目前教学中的各种试验、仿真、考核等。

Multisim 本是加拿大图像交互技术公司(Interactive Image Technoligics 公司，IIT 公司)推出的以 Windows 为基础的电子线路仿真软件，是 IIT 公司电子线路仿真软件 EWB(Electronics Workbench, 虚拟电子工作台)的升级版，后 IIT 公司被美国 NI 公司收购，更名为 NI Multisim。NI Multisim 10 包含有电路仿真设计模块 Multisim、PCB 设计模块 Ultiboard、布线引擎 Ultiroute、通信电路分析与设计模块 Commsim 四个部分，能完成从电路的仿真设计到印刷线路版图生成的全过程，Multisim、Ultiboard、Ultiroute 及 Commsim 四个部分相互独立，可以分别使用。

NI Multisim 10 软件是一款专门用电子电路仿真与设计的 EDA 工具软件，作为 Windows 下运行的个人桌面电子设计工具，其构成一个完整的集成化设计环境，通过计算机仿真与虚拟仪器技术将电子电路理论设计与实际调试有机结合在一起。NI Multisim 10 具有如下特点：



### 1. 直观的工作界面

整个操作界面就像一个电子实验工作平台，电路所需的电子元件和测试仪器均可直接拖放到工作台上，轻点鼠标就可用导线将它们连接起来，虚拟仪器的控制面板和操作方式与实物相似，测量数据、波形、特性曲线如同真实仪器。

### 2. 丰富的元器件

软件元件库提供了数十家世界知名生产厂商生产的元器件，总量 17000 多种，同时能方便地对元件各种参数进行编辑和修改，能利用模型生成器及代码模式创建自己的元件。

### 3. 强大的仿真功能

以 SPICE3F5 和 Xspice 的内核作为仿真引擎，通过 Electronic Workbench 带有增强设计功能将数字和混合模式仿真性能进行优化，包括 SPICE 仿真、RF 仿真、MUC 仿真、VHDL 仿真、电路导向等功能。

### 4. 丰富的虚拟仪器

NI Multisim 10 提供了 22 种虚拟仪器供电路测试，有的是现实中存在的测试仪器，有的是现实中不存在的测试仪器。这些仪器的设置和使用与真实的一样，还可根据需要创建自定义仪器，使用起来非常灵活。下面是 NI Multisim 10 提供的 22 种虚拟仪器清单：

Multimeter 万用表

Function Generator 函数信号发生器

Wattmeter 瓦特表

Oscilloscope 双踪示波器

Bode Plotter 波特图仪

Wordt Generator 字符信号发生器

Logic Analyzer 逻辑分析仪

Logic Converter 逻辑转换仪

Distortion Analyzer 失真度分析仪

Spectrum Analyzer 频谱分析仪

Network Analyzer 网络分析仪

Measurement Probe 测量探针

Four Channel Oscilloscope 四踪示波器

Frequency Counter 频率计数器

IV Analyzer 伏安特性分析仪

Agilent Simulated Instruments 安捷伦仿真仪器

Agilent Simulated Oscilloscope 安捷伦仿真示波器

Tektronix Simulated Oscilloscope 泰克仿真示波器

Voltmeter 伏特表

Ammeter 安培表

Current Probe 电流探针

Lab VIEW Instrument 实验实视图仪器



### 5. 完备的分析手段

NI Multisim 10 提供了 17 种分析手段, 分别是直流分析、交流分析、瞬态分析、傅里叶分析、噪声分析、失真度分析、直流扫描分析、直流和交流灵敏度分析、参数扫描分析、温度扫描分析、传输函数分析、最差情况分析、极点和零点分析、蒙特卡罗分析、线宽分析、嵌套扫描分析、批处理分析。还具有用户自定义分析功能, 它们利用仿真产生的数据执行分析, 具有数据共享、数据关联功能。

### 6. 完善的后处理功能

NI Multisim 10 具有完善的后处理功能, 对分析结果进行数学和逻辑运算, 生成各种统计报表, 生成 PCB 布线, 提供网络共享文件等。

## § 1.5 电子电路仿真的主要技术性能

电路调试是电子电路设计必不可少的工作环节, 可以用实体调试和计算机仿真调试。实体调试需要有场地、器件、仪器设备, 调试成本高, 周期长; 计算机仿真调试则是应用虚拟实验平台对电路进行可行性验证。电路仿真属于电子设计自动化(EDA)的组成部分, 一般把电路仿真分为三个层次, 即物理级、电路级和系统级, 本研究运用的是电路级仿真。仿真能否真实地反映出调试的结果, 主要体现在以下三个方面。

#### 1. 真实性

电路实体调试时需要不断地改变接线方式和元件参数。接线方式和元件参数千变万化, 不论是什么样的接线方式、什么样的元件参数, 电路系统一定存在相应的结果, 采用计算机仿真也应该得到与实际电路系统相一致的结果。这就要求计算机通过仿真软件具有实时分析计算能力。计算机仿真只能是对真实电路系统的逼近, 而且是越接近真实系统越好。仿真结果真实性决定于仿真软件的设计水平, 即所谓仿真软件的精度, 仿真软件的精度取决于三大技术指标, 仿真软件静态工作点分析、瞬态分析、直流扫描和交流小信号分析能力, 涉及傅里叶分析、参数分析、温度分析、蒙特卡罗分析、噪声分析、传输函数分析、直流和交流灵敏度分析、失真度分析、极点和零点分析等, 而且是仿真功能越强大, 所涉及的分析能力越强。

#### 2. 交互性

运行仿真后会得到大量的数据, 仿真结果以数据、列表、图线方式显示出来, 电路仿真软件的元件库有数千个到 2 万个不等的仿真元件, 仿真软件设计者通过对仿真元件模型比较深入的研究, 集成了器件制造商所生产的元器件参数和元器件模型, 并根据最新器件的外部特性参数自定义元件模型, 构建自己的元件库。这些元器件的性能和参数与真实的元件非常接近。另外, 形象化的虚拟仪器是电路仿真软件的一个特色, 虚拟仪器可以帮助学习者了解电子仪器的作用、电子测量的方法和技术要领, 掌握电子仪器的各种操作方法, 特别是各种控制按钮、旋钮的功能。有的虚拟仪器的功能甚至超过了实际本身, 比较典型的是网络分析仪和逻辑分析仪。网络分析仪是分析射频组件和射频网络参数的专用仪器; 而 Multisim 的逻辑分析仪具有真正的数字电路分析功能, 符合实际数字系统分析的技术要求。部分软件还有虚拟的机电元件, 如灯泡、按钮、继电器、接触器



等电气元件，调用这些元件可构建机电控制电路。软件元件库中的数学和模拟控制器件可用于自动控制原理分析。

用户可根据自身的需要进行二次开发，从源代码级别开始的创新和工程化定制，并能够集成到原有的平台中去。二次开发功能是用户在实现知识和技术组织内共享和传承的同时，保护自身知识产权的必然选择。

### 3. 实时性

实时性是指仿真系统接收实时动态输入所产生的实时动态输出的时间差，实时仿真响应的快慢主要依赖于计算机运行速度和仿真算法，这两者都不是仿真软件使用者所能左右的，应用中要合理选择计算机和仿真软件。

## § 1.6 电子电路仿真的操作步骤

仿真软件有多种，读者使用哪一种仿真软件，按理说应系统地学习所选软件教程，全面掌握仿真软件的功能和操作。不同的仿真软件应用场合不同，功能差异较大，但单从仿真角度上讲，其操作过程则大同小异，这里以 NI Multisim 10 为例做简要介绍，介绍的出发点并不是让读者掌握如何使用软件，而是让读者将仿真操作的过程与实体操作过程进行对比，看有什么异同点，以便今后应用仿真技术设计电路有一个初步的脉络。

NI Multisim 10 基本的操作过程如下：

(1) 首先打开 NI Multisim 10 软件，熟悉一下界面环境。

(2) 从菜单栏或工具栏中逐一选择电路中需要用到电子元器件(注意电源和地分别为两个独立的“元件”)摆放在实验工作区，在此应编辑完成元器件的位置、摆放方向、代号、参数等。

(3) 将所有的电子元器件通过“导线”连接起来，单击元件一端，松手，这时出现连线，在想要与之连接的连接点再次点击，该“导线”就连好了。

(4) 从菜单栏或工具栏中逐一选择电路调试所需要仪器设备(如万用表、示波器、信号源等)摆放在实验工作区，按照测量要求连接好仪器设备的导线，双击虚拟仪器设备图标，可以设置仪器设备按键、旋钮、量程等。

(5) 在完成电路连接和参数设置以后，点击工具栏上仿真启动按钮(绿色三角按钮)，屏幕的右下方闪动绿色的滚动条，意味着接通电源，电路进入仿真状态。双击仪器设备图标立刻弹出显示框，显示该设备的测量结果。

若需要改变接线方式或修改元件参数时，首先点击工具栏上仿真停止按钮(红色矩形按钮)，再对连线、元件参数、仪器仪表修改编辑，待修改完成以后再次启动仿真。任何一种电路状态，通过仿真都可以提前预知实验结果，这就为从事电子技术工程的技术人员提供一条更加经济、高效的设计方法。

## § 1.7 典型应用电路的仿真

典型应用电路是指具有独立单元的、工程应用中比较成熟的电子电路。例如，在模



拟电路中对模拟信号的处理时有模拟信号的产生、放大、变换、运算、比较等，在数字电路中对数字信号的处理时有数字信号的产生、运算、编码、译码、寄存、计数等，所有这些信号处理都有相应的电路或专用的集成电路。典型应用单元电路是构成庞大电路系统的组成部分。工程技术人员要求能够选用典型应用电路，并能够调试典型应用电路。选用典型应用电路是电子产品开发最直接的方法，当然，由于信号处理的特殊要求，会对典型应用电路进行一些变形，但万变不离其宗，电路的基本结构是不会变的。调试电路不等于纯粹的“试”，而必须掌握电路的原理、各元件的作用、元件参数对电路性能的影响等，这样才能践行“理论指导下的实践”，真正做到有的放矢，实现电路的最优化。

NI Multisim 10 是设计电子电路的“工具”软件，要让这个“工具”在调试过程中发挥得淋漓尽致，完全依赖于是否熟练地掌握 NI Multisim 10，调试人员需要全面、系统地学习 NI Multisim 10 教程。

## § 1.8 电子电路调试与仿真案例

这里向读者介绍电子电路仿真调试案例，案例简述调试过程，介绍如何在电路设计完成以后通过仿真调试使电路达到最佳状态，仿真调试实验平台用截屏的方式向读者展示。如图 1-1 所示为静态工作点稳定的放大电路（也称为分压式电流负反馈放大电路），该电路的静态工作点不受三极管  $\beta$  值、环境温度变化等因素影响，放大电路的静态参数和动态参数比较稳定，是应用十分广泛的放大电路。读者可通过这个案例了解电子电路调试与仿真的具体应用。

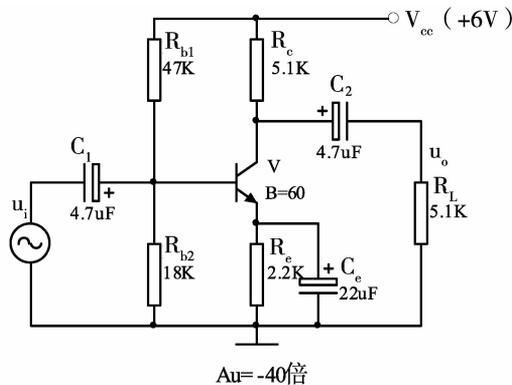


图 1-1 静态工作点稳定的放大电路

电路中各元件的作用： $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  为基极偏置电阻，用来确定静态基极电流； $R_c$  为集电极电阻，用来将三极管  $V$  的电流放大作用转换为电压放大； $R_e$  为发射极电阻，构成串联电流负反馈； $C_1$ 、 $C_2$  为耦合电容，用来隔直流通交流； $C_e$  为发射极电容，用来旁路交流信号； $C_e$  与  $R_e$  共同构成直流电流负反馈。

按照图 1-1 静态工作点稳定的放大电路元件参数，应用 NI Multisim 10 仿真调试，调用虚拟信号发生器、示波器，并在输入端和输出端分别接万用表实时测量交流信号有效值，双

击虚拟仪器设备图标，可以设置仪器设备按键、旋钮、量程等。仿真电路连接如图 1-2。

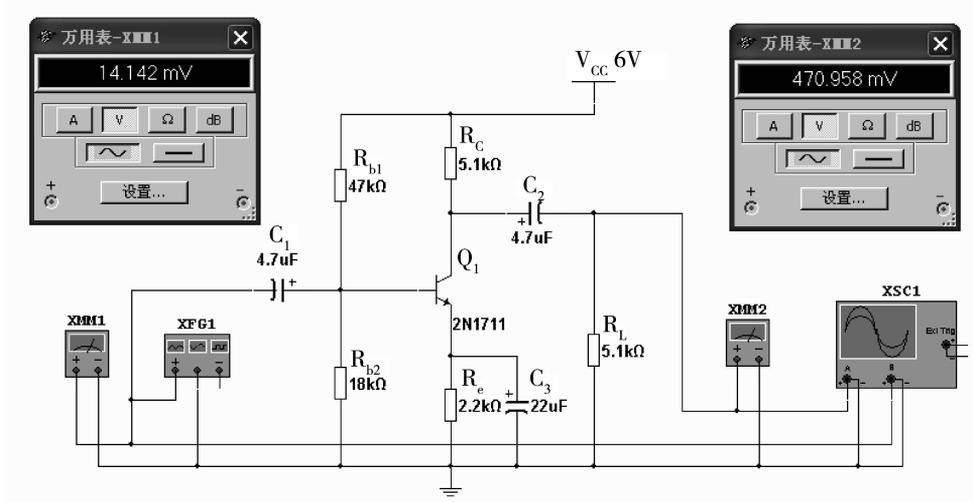


图 1-2 静态工作点稳定的放大器仿真电路

电路动态调试步骤如下：

(1) 将直流电源调到 6V，信号发生器的输出信号频率调至 1KHz，峰值电压调至 20mV 的正弦电压，设置万用表，启动仿真按钮，调整示波器就可观察到放大之后的输出波形。

(2) 逐步增加信号发生器的输出幅度，在示波器观察到的波形幅度也成比例地增加，当信号发生器的输出幅度增加到一定程度时，示波器观察到的波形出现上半部分削平或下半部分削平现象。上半部分削平造成的失真称为截止失真，如图 1-3(a)，下半部分削平造成的失真称为饱和失真，如图 1-3(b)，这是由于工作点不在交流负载线的中点所致。

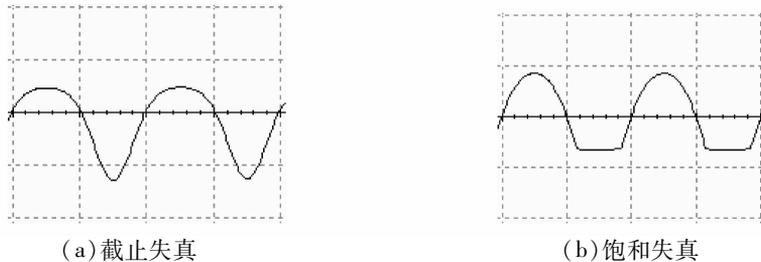


图 1-3 工作点不正确所造成的失真

(3) 按原理分析，截止失真是由于基极电流过小所致，需要减小  $R_{b1}$ ，提高三极管基极电位；饱和失真是由于基极电流过大所致，需要增加  $R_{b1}$ ，降低三极管基极电位。通过改变  $R_{b1}$  以消除失真，之后再重复上述(2)、(3)条，直至信号发生器的输出幅度缓慢增加，在示波器观察到的输出波形出现同时上下削顶失真时，电路调整到最佳状态。此时信号发生器输出的幅度已达到该放大器所能接收的最大输入幅度。



仿真操作过程是在完成电路连接和参数设置以后，点击工具栏上仿真启动按钮(绿色三角按钮)，屏幕的右下方闪动绿色的滚动条，意味着接通电源，此时电路就开始工作了。双击仪器设备立刻显示该设备的测量结果。若需要改变接线方式或修改元件参数，点击工具栏上仿真停止按钮(红色矩形按钮)，待修改完成以后再次启动仿真。

图 1-2 中万用表参数显示，在  $R_{b1} = 47\text{k}\Omega$  时，输入信号电压有效值为  $14.14\text{ mV}$ ，输出信号电压有效值为  $471\text{ mV}$ ，电压放大倍数为 33 倍。通过动态调试，当  $R_{b1} = 30\text{k}\Omega$  时达到最佳状态，如图 1-4。在输入相同信号幅度 ( $14.14\text{ mV}$ ) 的情况下，输出信号电压有效值达到  $698\text{ mV}$ ，电压放大倍数达到 50 倍，从这个实例可以看出，调试对放大电路的性能影响举足轻重。

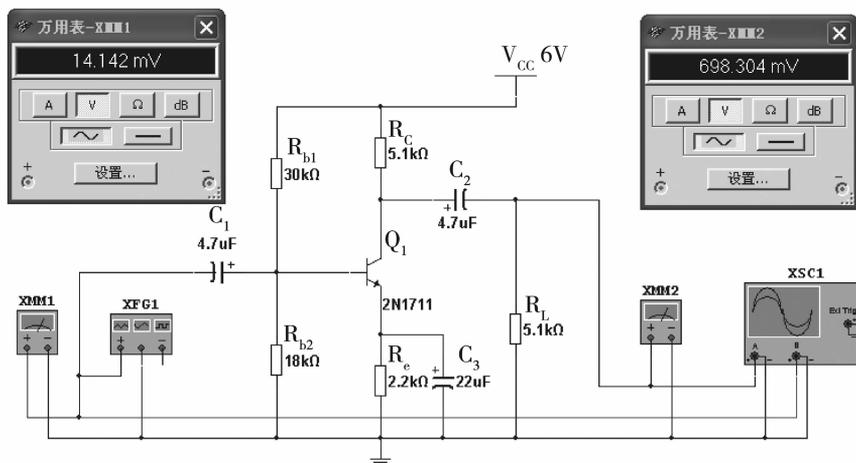


图 1-4 动态调试后静态工作点稳定的放大器仿真电路

为了调试方便， $R_{b1}$  可用一个  $100\text{k}\Omega$  的电位器代替。电路调试完成后再将  $R_{b1}$  固定下来，这时即使更换了一只与原来  $\beta$  值不同的三极管，静态工作点基本不变，放大器电压放大倍数  $A_u$  也基本不变，这就是本电路的优势所在。仿真电路输入输出波形如图 1-5 所示。

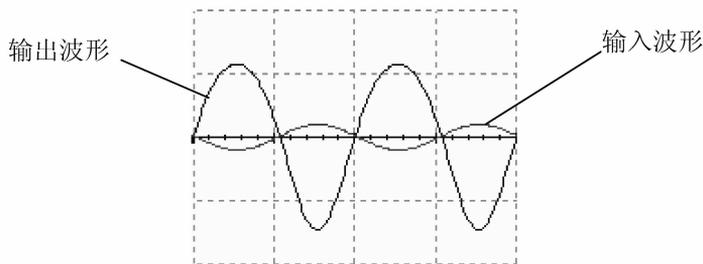


图 1-5 仿真电路输入输出波形

由于该电路静态工作点和电压放大倍数  $A_u$  稳定，由此静态工作点稳定的放大电路是比较成熟的电路，实际应用广，其他放大电路也是在此基础上演变而来。