

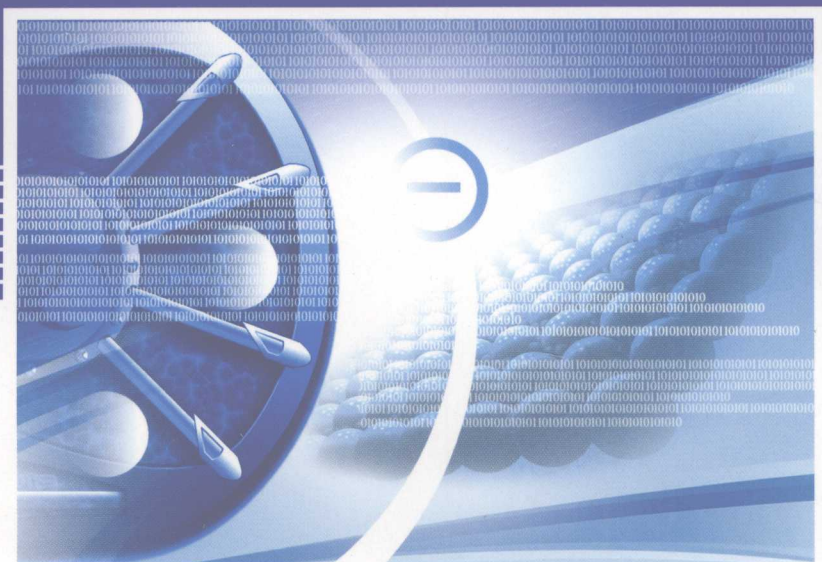


21世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

模拟电子技术实验与仿真

moni dianzi jishu shiyan yu fangzhen

■ 主编 郭锁利



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪全国高等教育应用型精品课规划教材

模拟电子技术实验与仿真

主 编 郭锁利

副主编 刘延飞 闫四海

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据高等院校工科专业模拟电子技术基础实验课程的基本要求,结合多年模拟电子技术实践性教学改革的经验,跟踪模拟电子技术发展的新形势和教学改革不断深入的需要,针对加强学生实践能力和创新能力培养的教学目的而编写的。

本书分为三个部分:第一部分是实验的基本知识,介绍了模拟电子技术实验常用的测量方法和技术、模拟电子电路调试技术和故障排除方法;第二部分是模拟电子技术实验,包括基本实验、综合实验和设计实验;第三部分是模拟电子技术实验仿真,介绍了7个模拟电子电路实验,使学生学会并掌握 Multisim9.0 在模拟电子技术仿真中的应用。

本书具有一定的广度和深度,可作为高等院校工科各专业的模拟电子技术实验教材使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术实验与仿真/郭锁利主编. 北京:北京理工大学出版社,2009.8
ISBN 978-7-5640-2759-9

I. 模… II. 郭… III. ①模拟电路-电子技术-实验-高等学校-教材
②电子电路-计算机仿真-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 150710 号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室) 68944990 (批销中心) 6811084 (读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市南阳印刷有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/8.75

字 数/163千字

版 次/2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印 数/1~4000册

定 价/22.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

21 世纪是科技全面创新和社会高速发展的时代,面临这个难得的机遇和挑战,本着“科教兴国”的基本战略,我国已着力对高等学校进行了教学改革。为顺应国家对于培养应用型人才的要求,满足社会对高校毕业生的技能需要,北京理工大学出版社特邀一批知名专家、学者进行了本系列规划教材的编写,以期能为广大读者提供良好的学习平台。

本系列规划教材贴合实践。作者在编写之际,广泛考察了各校应用型学生的学习实际,本着“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,力求提高学生的实际运用能力,使学生更好地适应社会需求。

一、教材定位

- ✚ 以就业为导向,培养学生的实际运用能力,以达到学以致用目的。
- ✚ 以科学性、实用性、通用性为原则,以使教材符合课程体系设置。
- ✚ 以提高学生综合素质为基础,充分考虑对学生个人能力的提高。
- ✚ 以内容为核心,注重形式的灵活性,以便学生易于接受。

二、编写原则

- ✚ 定位明确。为培养应用型人才,本系列教材所列案例均贴合工作实际,以满足广大企业对于应用型人才实际操作能力的需求,增强学生在就业过程中的竞争力。
- ✚ 注重培养学生职业能力。根据专业实践性要求,在完成基础课的前提下,使学生掌握先进的相关操作软件,培养学生的实际动手能力,提高学生迅速适应工作岗位的能力。

三、丛书特色

- ✦ 系统性强。丛书各教材之间联系密切,符合各个学校的课程体系设置,为学生构建牢固的知识体系。
- ✦ 层次性强。各教材的编写严格按照由浅及深,循序渐进的原则,重点、难点突出,以提高学生的学习效率。
- ✦ 先进性强。吸收最新的研究成果和企业的实际案例,使学生对当前专业发展方向有明确的了解,并提高创新能力。
- ✦ 操作性强。教材重点培养学生的实际操作能力,以使理论来源于实践,并最大限度运用于实践。

北京理工大学出版社

前 言

模拟电子技术是高等工科院校的重要专业基础课之一，是一门理论性和实践性都很强的课程。面对 21 世纪培养创新人才的需要，结合当前高校模拟电子技术实验教学的具体情况，应按照实验能力培养的规律，着力培养学生独立思考和勇于创新的精神。实验是该课程的一个重要环节，通过这一实践性教学环节，不仅要达到巩固和加深理解所学知识的目的，更重要的是训练实验技能，根据理论知识来指导实验，树立工程实际观点和严谨的科学作风。本书即是基于“学习是基础、思考是关键、实践是根本”的指导思想编写而成的。

使用本书应重点放在：

- (1) 注意理论对实践的指导作用，对实验结果应能做出理论分析和正确解释。
- (2) 注重训练实验基本技能及积累实践经验。
- (3) 细心观察，善于发现问题并解决问题，注意创新能力的培养。

本书介绍了模拟电子技术基础实验的基本知识，深入浅出地阐述了模拟电路实验的基本方法、测试原理，以及电子元器件的识别和参数测试方法；引入了 17 个基本实验项目，包括单级放大电路、负反馈放大电路、运算放大电路和集成稳压电源等的交、直流信号测试内容；详细介绍了 Multisim 9.0 电路仿真软件的基础知识、基本操作并提供了具体操作实例。

本书的指导思想是培养学生掌握电子实验基本技能和基本测试技术。为此，本书在编写时融合了电路分析基础、电子测量技术等相关理论知识。实验项目的选取力求做到验证性实验侧重基本技能的训练，设计性实验利用计算机仿真软件及虚拟仪器等对电路进行仿真设计、运行和分析，帮助学生发现问题、分析问题、解决问题，使学生更好地掌握基础实验知识、基本实验技能，为独立完成综合性、设计性实验打下扎实的基础。

本书具有一定的广度和深度，可作为高等院校工科各专业的模拟电子技术实验教材使用。

全书共分三部分，郭锁利负责全书的修改和定稿，并主编第 1、2、3 部分主

要内容，第3部分其他章节由刘延飞编写，闫四海参与编写了部分实验内容和全书的校对和文字修改工作；由罗正文副教授主审。

本书在编写过程中得到第二炮兵工程学院基础实验中心和电工电子技术教研室的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在一些不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一部分 模拟电子技术实验基础

第一章	模拟电子技术实验基本测量方法	1
第二章	常见故障及排除方法	4
2.1	调试技术	4
2.2	检查故障的一般方法	7

第二部分 模拟电子技术实验

实验 1	晶体管共射极单管放大器	11
实验 2	射极跟随电路	18
实验 3	两级交流放大电路	21
实验 4	结型场效应管放大器	24
实验 5	差动放大器研究	28
实验 6	负反馈放大器的研究	32
实验 7	集成运算放大器指标测试	35
实验 8	集成运算放大器的运算应用研究	41
实验 9	波形发生电路	46
实验 10	波形发生器设计与调试	49
实验 11	功率放大器设计与测试	53
实验 12	互补对称功率放大电路	56
实验 13	压控振荡器	58
实验 14	有源滤波器的研究	61
实验 15	声光控制灯开关	63
实验 16	串联稳压电路	65
实验 17	直流稳压电源设计	68

第三部分 模拟电子技术实验仿真

实验 1	共射极放大电路仿真分析	70
实验 2	差动放大电路仿真分析	79

实验 3	负反馈放大电路仿真分析	83
实验 4	单电源功率放大电路仿真分析	88
实验 5	集成运算放大器线性应用仿真分析	91
实验 6	集成运算放大器非线性应用仿真分析	98
实验 7	直流稳压电源仿真分析	101
附录	105
附录 A	常用电子元器件	105
附录 B	TPE - A5 II 模拟电路实验箱	129
参考文献	131

第一部分 模拟电子技术实验基础

第一章 模拟电子技术实验基本测量方法

在实验中，为了测量某些参数、特性或观察某些现象所采用的方法都称为实验方法。诸如对静态工作点和交流电压的测量方法，放大器 A_v 、 r_i 、 r_o 的测量方法，幅频、相频特性的测量方法……都是本实验课中最常用和最基本的方法，因此，又把这些实验方法称为基本实验方法。

基本实验方法在实验中多次出现，而且它们具有典型性和代表性，很多实验都是在掌握基本实验方法的基础上进行的。因此，下面重点介绍 6 个基本实验方法。

1. 测量静态工作点的方法

表示三极管静态工作点 (V_{BE} 、 V_{CE} 、 I_B 、 I_C) 的 4 个量中 I_B 、 I_C 可以通过测量已知电阻上的电压而间接求得。因此，测量静态工作点的关键就是测量静态电压 V_{BE} 和 V_{CE} 。

测量静态电压时，要用万用表的直流电压挡，因为直流电压挡测量的是电压平均值，所以当被测直流电压上叠加一个平均值为零的交流分量（如不失真的正弦波）时，对测量量无影响。反之，对测量量有影响。所以，在测量静态工作点时，应去掉信号源，将放大器的输入端对地短接（切不可将信号源短路），然后再进行测量。

2. 测量交流电压的方法

用双路晶体管毫安级电压表测量交流电量时，表盘上的刻度值是按正弦波有效值刻度的。因此在测量正弦波的电压时，要注意波形是否失真。在测量交流电压时，始终要用示波器来监视波形，当出现以下情况时，不能进行测量。

- (1) 正弦波波形失真。
- (2) 测量时电路中存在自激振荡。
- (3) 测量时存在外来干扰信号。

对于非正弦量（如矩形波），也不能用该表测量，这时可使用示波器进行测量。

3. 测量 A_v 、 r_i 、 r_o 的方法

- (1) 测量 A_v 。已知 $A_v = V_o/V_i$ ，其中 V_o 、 V_i 都应是正弦波，在测量时也要

用示波器监视输出波形。在信号不失真的条件下测量输出电压 V_o ，否则不能测量。

(2) 测量 r_i 。测量输入电阻 r_i 的等效电路如图 1.1.1。测量时先取合适的 V_o 值，就可测得相应的 V_i 值，而 R 是已知的（应选取 R 与 r_i 的数量级相同），否则 r_i 的值可由下式计算：

$$r_i = \frac{V_i}{V_o - V_i} R$$

注意：应在 V_o 不失真而且数值保持不变的条件下，测量 V_o 和 V_i 的值。

(3) 测量 r_o 。测量输出电阻 r_o 的等效电路如图 1.1.2 所示。测量时先取合适的输入信号值，在保持 V_i 不变的条件下分别测出 R_L 开路时的输出电压 V_o 和带负载 R_L (R_L 取值与 r_o 的数量级相同) 时的输出电压 V_o' ，则 r_o 的值可由下式计算：

$$r_o = \left(\frac{V_o'}{V_o} - 1 \right) R_L$$

注意：应在输出波形不失真的条件下，测量 V_o 、 V_o' 的值。

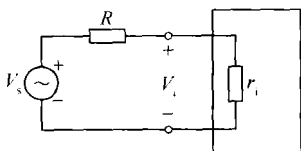


图 1.1.1 输入电阻测量

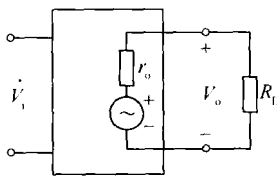


图 1.1.2 输出电阻测量

4. 测量幅频特性和上、下限频率的方法

(1) 测量幅频特性。测量幅频特性时，应先选择一个适当频率（约在中频范围）的输入信号，再用示波器观察输出波形，在 V_o 不失真的情况下固定 V_i ，然后重新调节输入信号频率，当 V_o 达到最大时，该频率即为中频。因中频范围较宽，所以可以选择一个整数值做中频。

用毫安级电压表调出中频时的 V_o 值，调节示波器幅度微调旋钮，使 V_o 的波形的峰-峰值在荧光屏上为 6 大格。然后以中频为准分别向高和低调节信号发生器的频率，使示波器上的波形的峰-峰值分别到中频的 0.9、0.8、0.7、0.6、0.5，并记录相应的频率。

注意：改变输入信号频率时，要始终保持 V_i 不变。

(2) 测量上、下限频率。与测量幅频特性方法相同，仍以中频为准，分别向高和向低调节信号发生器的频率，使 V_o 的峰-峰值在荧光屏上为 4.2 大格时，记录相应的信号频率，则分别为上限频率和下限频率。

5. 用双踪示波器观察两波形相位关系的方法

用双踪示波器观察两个波形的相位关系时，示波器必须在外同步状态下工

作。对一般示波器来说，外同步信号可采用被测系统的输入信号，也可以采用被测系统的输出信号。适当调节 Y_A 和 Y_B 衰减器，使荧光屏上得到的波形大小适当。具体做法是：将被测系统的输入信号加至 Y_A （或 Y_B ），输出信号加至 Y_B （或 Y_A ），再将输出（或输入）加至“触发输入”端，此时“触发极性”应拨至“外⁺”（或“外⁻”）位置，适当调节 Y_A 和 Y_B 衰减器，就可以在荧光屏上得到被测系统输入和输出信号的相位关系。

第二章 常见故障及排除方法

在模拟电路实验中，经常出现诸如电路没有输出、实测数据与理论分析不一致、出现自激等故障。这些故障的出现往往是不可避免的，有人把它称为常见故障。为了做好实验和提高实验技能，应当有一个正确对待故障的求实态度，还应该掌握分析故障、查找原因的方法。

作为指导老师，应根据问题的难易程度采用“提示”和“指点”的方法，帮助学生分析和思考，尽量少做或不做正面回答。作为学生，应当在实验前充分预习，做到心中有数，实验中善于发现故障、分析故障、查找原因，从而排除故障。

除了常见故障外，还有诸如接电源后元件损坏、保险烧毁、电源短路等故障。我们称它为“非正常”故障。这种故障我们应该极力避免。出现这种故障的主要原因是没有严格按照实验要求进行实验，没有按照操作规程进行操作所致。一旦出现“非正常”故障，应立即断掉电源并请指导教师帮助查找原因排除故障，并吸取教训。

2.1 调试技术

实践表明，一个电子装置，即使按照设计的电路参数进行安装，往往也难以达到预期的效果。这是因为人们在设计时，不可能周全地考虑各种复杂的客观因素（如元件值的误差，器件参数的分散性，分布参数的影响等），必须通过安装后的测试和调整，来发现和纠正设计方案的不足，然后采取措施加以改进，使装置达到预定的技术指标。因此，调试电子电路的技能对从事电子技术及其有关领域工作的人员来说，是不可或缺的。

调试的常用仪器有：万用表、示波器和信号发生器等。

下面介绍一般的调试方法和注意事项。

1. 调试前的直观检查

电路安装完毕，通常不宜急于通电，先要认真检查一下。检查内容包括：

(1) 连线是否正确。检查电路连线是否正确，包括错线（连线一端正确，另一端错误）、少线（安装时完全漏掉的线）和多线（连线的两端在电路图上都是不存在的）。查线的方法通常有两种：

1) 按照电路图检查安装的线路。这种方法的特点是，根据电路图连线，按一定顺序逐一检查安装好的线路，由此可比较容易地查出错线和少线。

2) 将实际线路对照原理电路进行查线。这是一种以元件为中心进行查线的方法。把每个元件(包括器件)引脚的连线一次查清,检查每个去处在电路图上是是否存在。这种方法不但可以查出错线和少线,还容易查出多线。

为了防止出错,对于已查过的线,通常应在电路图上做出标记,最好用指针式万用表“ $\Omega \times 1$ ”挡,或数字式万用表“ Ω ”挡的蜂鸣器来测量,而且直接测量元、器件引脚,这样可以同时发现接触不良的地方。

(2) 元、器件安装情况。检查元、器件引脚之间有无短路,连接处有无接触不良,二极管、三极管、集成器件和电解电容极性等是否连接有误。

(3) 电源供电(包括极性)、信号源连线是否正确。

(4) 电源端对地(⊥)是否存在短路。在通电前,断开一根电源线,用万用表检查电源端对地(⊥)是否存在短路。

若电路经过上述检查,并确认无误后,就可转入调试。

2. 调试方法

调试包括测试和调整两个方面。所谓电子电路的调试,是以达到电路设计指标为目的而进行的一系列的测量—判断—调整—再测量的反复进行过程。

为了使调试顺利进行,设计的电路图上应当标明各点的电位值、相应的波形图以及其他主要数据。

调试方法通常采用先分调后联调(总调)。

我们知道,任何复杂电路都是由一些基本单元电路组成的,因此,调试时可以循着信号的流程,逐级调整各单元电路,使其参数基本符合设计指标。

这种调试方法的核心是,把组成电路的各功能块(或基本单元电路)先调试好,并在此基础上逐步扩大调试范围,最后完成整机调试。采用先分调后联调的优点是,能及时发现问题和解决问题。新设计的电路一般采用此方法。对于包括模拟电路、数字电路和微机系统的电子装置更应采用这种方法进行调试。因为只有把三部分分开调试后,分别达到设计指标,并经过信号及电平转换电路后才能实现整机联调。否则,由于各电路要求的输入、输出电压和波形不匹配,盲目进行联调,就可能造成大量的器件损坏。

除了上述方法外,对于已定型的产品和需要相互配合才能运行的产品,也可采用一次性调试。

按照上述调试电路原则,具体调试步骤如下:

(1) 通电观察。把经过准确测量的电源接入电路,观察有无异常现象,包括有无冒烟、是否有异常气味、手摸元器件是否发烫、电源是否有短路现象等。如果出现异常,应立即切断电源,待排除故障后才能再通电。然后测量各路总电源电压和各器件的引脚的电源电压,以保证元、器件正常工作。

通过通电观察,确认电路初步工作正常,就可转入正常调试。

(2) 静态调试。交流、直流并存是电子电路工作的一个重要特点。一般情

况下，直流为交流服务，直流是电路工作的基础。因此，电子电路的调试有静态调试和动态调试之分。静态调试一般是指在无外加信号条件下所进行的直流测试和调整过程。例如，通过静态测试模拟电路的静态的工作点，数字电路的各输入端和输出端的高、低电平值及逻辑关系等，可以及时发现已经损坏的元、器件，判断电路工作情况，并及时调整电路参数，使电路工作状态符合设计要求。

(3) 动态调试。动态调试是在静态调试的基础上进行的。调试的方法是在电路的输入端接入适当频率和幅值的信号，并循着信号的流向逐级检测各有关点的波形、参数和性能指标。发现故障现象，应采取不同的方法缩小故障范围，最后设法排除故障。

测试过程中不能凭感觉和印象，要始终借助仪器观察。使用示波器时，最好把示波器的信号输入方式置于“DC”挡，通过直流耦合方式，可同时观察被测试信号的交、直流成分。

通过调试，最后检查功能块和整机的各种指标（如信号的幅值、波形形状、相位关系、增益、输入阻抗和输出阻抗等）是否满足设计要求，如必要，再进一步对电路参数进行合理的修正。

3. 调试中注意事项

调试结果是否正确，很大程度受测量正确与否和测量精度的影响。为了保证调试的效果，必须减小测量误差，提高测量精度。为此，须注意以下几点：

(1) 正确使用测量仪器的接地端。凡是使用地端接机壳的电子仪器进行测量，仪器的接地端应和放大器的接地端连接在一起，否则仪器机壳引入的干扰不仅会使放大器的工作状态发生变化，而且将使测量结果出现误差。根据这一原则，调试发射极偏置电路时，若需测量 V_{CE} ，不应把仪器的两端直接接在集电极和发射极上，而应分别对地测出 V_C 、 V_E ，然后将二者相减得 V_{CE} 。若使用干电池供电的万用表进行测量，由于电表的两个输入端是浮动的，所以允许直接跨接到测量点之间。

(2) 测量电压所用仪器的输入阻抗必须远大于被测处的等效阻抗。若测量仪器输入阻抗小，则在测量时会引起分流，给测量结果带来很大误差。

(3) 测量仪器的带宽必须大于被测电路的带宽。例如：MF-20型万用表的工作频率为20~20 000Hz。如果放大器的 $f_H = 100\text{kHz}$ ，就不能用MF-20来测试放大器的幅频特性，否则，测试结果就不能反映放大器的真实情况。

(4) 要正确选择测量点。用同一台测量仪器进行测量时，测量点不同，仪器内阻引进的误差大小将不同。

(5) 测量方法要方便可行。需要测量某电路的电流时，一般尽可能测电压而不测电流，因为测电压不必改动被测电路，测量方便。

若需知道某一支路的电流值，可以通过测取该支路上电阻两端的电压，经过换算而得到。

(6) 调试过程中,不但要认真观察和测量,还要善于记录。记录的内容包括实验条件,观察的现象,测量的数据、波形和相位关系等。只有有了大量的可靠的实验记录并与理论结果加以比较,才能发现电路设计上的问题,完善设计方案。

(7) 调试时出现故障,要认真查找故障原因,切不可一遇故障解决不了就拆掉线路重新安装。因为重新安装的线路仍可能存在各种问题,如果是原理上的问题,即使重新安装也解决不了。

我们应当把查找故障,分析故障原因,看成一次好的学习机会,通过它来不断提高自己分析问题和解决问题的能力。

2.2 检查故障的一般方法

故障是不期望但又是不可避免的电路异常工作状态。分析、寻找和排除故障是电气工程人员必备的实际技能。

对于一个复杂的系统来说,要在大量的元器件和线路中迅速、准确地找出故障是不容易的。一般故障诊断过程,就是从故障现象出发,通过反复测试,作出分析判断,逐步找出故障的过程。

1. 故障现象和产生故障的原因

(1) 常见的故障现象。

- 1) 放大电路没有输入信号,而有输出波形。
- 2) 放大电路有输入信号,但没有输出波形,或者波形异常。
- 3) 串联稳压电源无电压输出,或输出电压过高且不能调整,或输出稳压性能变坏、输出电压不稳定等。
- 4) 振荡电路不产生振荡。
- 5) 计数器输出波形不稳,或不能正确计数。
- 6) 收音机中出现“嗡嗡”的交流声和“啪啪”的汽船声等。

以上是最常见的一些故障现象,还有很多奇怪的现象,在这里就不一一列举了。

(2) 产生故障的原因。故障产生的原因很多,情况也很复杂,有的是一种原因引起的简单故障,有的是多种原因相互作用引起的复杂故障。因此,引起故障的原因很难简单分类。这里只能进行一些粗略的分析。

1) 对于定型产品使用一段时间后出现故障,故障原因可能是元器件损坏,连线发生短路或断路(如焊点虚焊,接插件接触不良,可变电阻器、电位器、半可变电阻等接触不良,接触面表面镀层氧化等),或使用条件发生变化(如电网电压波动,过冷或过热的工作环境等)影响电子设备的正常运行。

2) 对于新设计安装的电路来说,故障原因可能是:实际电路与设计的原理

图不符；元器件使用不当或损坏；设计的电路本身就存在某些严重缺点，不满足技术要求；连线发生短路或断路等。

3) 仪器使用不正确引起的故障，如示波器使用不正确而造成的波形异常或无波形，接地问题处理不当而引入干扰等。

4) 各种干扰引起的故障。

2. 检查故障的一般方法

查找故障的顺序可以从输入到输出，也可以从输出到输入。查找故障的一般方法有：

(1) 直接观察法。直接观察法是指不用任何仪器，利用人的视、听、嗅、触等作为手段来发现问题，寻找和分析故障。

直接观察包括不通电检查和通电观察。

检查仪器的选用和使用是否正确，电源电压的等级和极性是否符合要求，电解电容的极性、二极管和三极管的管脚、集成电路的引脚有无错接、漏接、互碰等情况，布线是否合理，印刷版有无断线，电阻电容有无烧焦和炸裂等。

通电观察元器件有无发烫、冒烟，变压器有无焦味，电子管、示波管灯丝是否亮，有无高压打火等。

直接观察法简单有效，可作初步检查时用，但对比较隐蔽的故障无能为力。

(2) 用万用表检查静态工作点。电子电路的供电系统，半导体三极管、集成块的直流工作状态（包括元器件引脚、电源电压）、线路中的电阻值等都可用万用表测定。当测量值与理论值相差较大时，经过分析可找到故障。

现以两级放大器为例，正常工作时如图 1.2.1 所示。

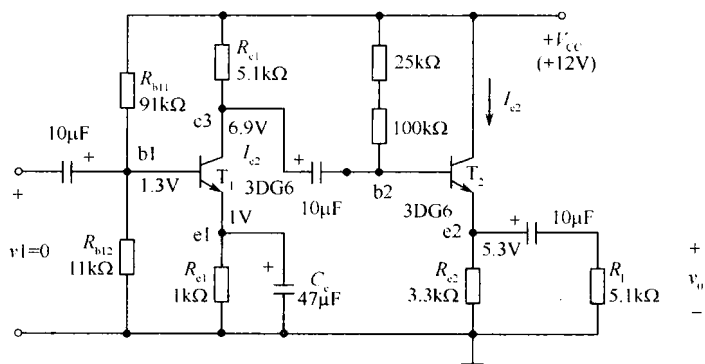


图 1.2.1 用万用表检查两级放大器故障的参考电压

静态时：($v_i = 0$)， $V_{B1} = 1.3V$ ， $I_{C1} = 1mA$ ， $V_{C1} = 6.9V$ ， $I_{E2} = 1.6mA$ ， $V_{E2} = 5.3V$ 。但实测结果 $V_{B1} = 0.01V$ ， $V_{C1} \approx V_{CE1} \approx V_{CC} = 12V$ 。考虑到正常放大工作时，硅管的 V_{BE} 约为 $0.6 \sim 0.8V$ ，现在 T_1 显然处于截止状态。实测的 $V_{C1} \approx V_{CC}$ 也证明