

教学思路实践

使用 Multisim 10

增补第七版

Tracy Shields 著

内含 Don Browning 提出的
基于 Electronics Workbench V.5 的教学思路

作者介绍

Tracy Shields 是一位电子工程师，在 25 年前她作为电子供应商服务部门的技术人员开始了电子行业的职业生涯。她在加拿大安大略省多伦多市 Seneca 大学的电子系有着十年的教学经验。Tracy 获得了电子工程学位，并且得到了电子计算机技术人员和电子通信技术学历，使她不仅有丰富的理论设计知识，还有着许多实际动手经验。在计算机和通信技术领域中，Tracy 目前为工程企业和咨询服务提供关于众多课题的电子电路设计。

Tracy Shields 是《RF Communications with Multisim》和《Electronics for Physics Student with Multisim》的作者，同样由 Electronics Workbench Corporation 出版。

教学思路实践（第七版）

必须指出，读者应考虑并采取本书中所论述的所有安全措施以避免任何潜在的危险。按照书中指导进行实验，表明读者愿意承担实验可能带来的危险。

美国国家仪器公司不提供任何形式的代表或保证，其中包括但不限于用于某种特定用途的适当性保证以及可销售性保证，就这里提供的资料而言也没有任何隐含的代表意义，并且不对这些资料负责。对于读者使用或依照本资料，整体或部分地导致任何特殊损害赔偿、间接损害赔偿或惩罚性损害赔偿，美国国家仪器公司均不承担责任。

Multisim 与 Electronics Workbench 名称和标志是 Electronics Workbench Corporation 的注册商标。所有其他注册商标是它们各自所有者的财产。

其他贡献者

本书关于 NI ELVIS 的章节由美国德克萨斯州奥斯汀市美国国家仪器公司的 Jordan Randall、Laura Feeney、Matthew Slaughter、Missy Dodd、Mark Kaschner 以及 Megan Beck 提供。

本书由 Electronics Workbench Corporation 的 John Olley 及 Evan Robinson 编辑。

要获取更多信息请联系

Electronics Workbench Corporation
111 Peter Street, Suite 801
Toronto, Ontario, Canada M5V 2H1
网址: www.electronicsworbench.com
电话: (416) 977-5550 传真: (416) 977-1818

出于教学目的，本书范围内的所有实验指导允许进行复制。Multisim 电路可以为课堂使用进行复制。未经版权所有人美国国家仪器公司事先的书面许可，不得以任何形式或方式翻印或使用本出版物的其它部分。本出版物版权所有，受到加拿大、美国法律以及国际版权公约条款保护。

谨以此书献给我的父母

Marjorie 和 Ken。

目录

全书目标教师说明	6
关于Multisim和LabVIEW	7
本书与电路文件的关系	7
加深理论	8
实验仿真	9
工作台实验	9
和真的一模一样	9
教师实验	10
第一章 直流电路和戴维宁定理	11
第一章引言	13
基本电路行为概念巩固	14
安捷伦万用表	16
压控电流源和三相电源	17
使用可变电阻和开关改变电路数值	18
压控电阻	20
元器件额定值	21
戴维宁定理	22
实验指导 1-1: 电阻色环	26
实验指导 1-2: 基本电路	27
实验指导 1-3: 基本电路	30
实验指导 1-4: 可变电阻特性	33
第二章 由示波器和滤波器引入波特图作图器	34
示波器介绍	36
波特图作图器介绍	38
低通滤波器	40
串联RLC谐振电路滤波器	42
同时比较: 有源与无源滤波器	44
安捷伦示波器	45
滤波器向导	46
实验指导 2-1: 示波器一	47
实验指导 2-2: 示波器二	49
实验指导 2-3: 使用示波器测量幅值和相移	51
实验指导 2-4: 低通滤波器	53
实验指导 2-5: 串联谐振电路滤波器	56
第四章 晶体管	59
双极型晶体管介绍	60
场效应管特性: 漏极和跨导	62
实验指导 4-1: 共基极电路	63
实验指导 4-2: 发射极跟随器	66
实验指导 4-3: 带有无旁路电阻的共发射极电路	69
实验指导 4-4: 两级晶体管放大器	72
实验指导 4-5: 测量结型场效应管特性	74
实验指导 4-6: 结型场效应管动态特性的测量	76

实验指导 4-7: 结型场效应管动态跨导测量.....	78
实验指导 4-8: 双极型晶体管共发射极电路向导.....	81
实验指导 4-9: 双极型晶体管两级电路向导.....	82
第五章 故障排除与问题解决.....	83
仿真环境下的实际挑战.....	85
故障排除任务.....	86
问题: 用知识来思考.....	87
问题解决技巧.....	88
连接问题解决与设计的桥梁.....	90
故障排除任务 5-1: 串联电阻.....	93
故障排除任务 5-2: 直流电路 2.....	95
故障排除任务 5-3: 直流电路 3.....	97
故障排除任务 5-4: NPN分压器偏置.....	99
故障排除任务 5-5: NPN部分旁路发射极电路.....	101
故障排除任务 5-6: 共基极电路配置.....	103
故障排除任务 5-7: 两级放大器电路故障排除.....	105
故障排除任务 5-8: 黑盒问题 1、2.....	107
第六章 运算放大器.....	109
运算放大器介绍.....	110
实验指导 6-1: 运算放大器探索 1——反向交流放大器.....	111
实验指导 6-2: 运算放大器探索 2——同向交流放大器.....	114
实验指导 6-3: 有源带通滤波器.....	116
实验指导 6-4: 串联旁路稳压器.....	118
实验指导 6-5: 积分器.....	120
实验指导 6-6: 相移谐振电路.....	122
实验指导 6-7: 脉宽调制器.....	123
第七章 晶闸管与开关.....	125
晶闸管与开关介绍.....	126
实验指导 7-1: SCR——SCR的简单电阻控制.....	127
实验指导 7-2: 探索DIAC特性.....	129
实验指导 7-3: SCR与DIAC.....	131
实验指导 7-4: 使用相移以及DIAC控制SCR.....	133
实验指导 7-5: 压控开关(VCS)应用.....	135
第八章 数字电路.....	137
数字电路介绍.....	138
555 定时器无稳态振荡器.....	139
异步计数器.....	140
译码器.....	142
使用离散元件的同步BCD计数器.....	144
实验指导 8-1: 555 定时器无稳态振荡器及向导.....	146
实验指导 8-2: 数字电路范例 1.....	150
实验指导 8-3: 数字电路范例 2.....	153
实验指导 8-4: 数字电路范例 3.....	155
实验指导 8-5: 数字电路范例 4.....	157

绪论

章节目录

本章包含以下内容：

- 全书目标教师说明
- 关于Multisim和LabVIEW
- 本书与电路文件的关系
- 加深理论
- 实验仿真
- 工作台实验
- 和真的一模一样
- 教师实验

全书目标教师说明

本书意在向教师提供可以依照的实践教学思路来源。它包含一系列广泛的主题，从基本直流电路直至射频通信的入门课题。它是由一名教师为其他教师所写，以便使用更少的资源达到更多的成果：

- 占用时间更少
- 损耗更低
- 您以及您学生的成就感更强

为满足电子系学生远程教育的要求，我设计了许多实验活动。学生不必顾虑部件和仪器会损坏，能够自由地学习，节省了时间和成本。同时，在确实具备一定素质之后，学生们能够，我认为也应该在指导下使用“真实的仪器”。

我已经使用 Multisim 许多年了，并且随着它的每次更新都会更加爱不释手。随着学习电子学需求的增长，这个程序得以不断更新。它非常易于使用。其中的仪器和元器件与现实世界中的极为相似。有一些仪器，例如安捷伦万用表、示波器和函数发生器就是物理实验室中的实际仪器。学生们在 Multisim 中使用这些仪器可以立即将这些知识应用于实际的工作台上。虚拟现实存在于这些仪器中！Multisim 支持使用 NI LabVIEW 的虚拟仪器，支持将信号输出到 LabVIEW 环境中。Multisim 还支持现实世界中输入的 LabVIEW 信号。在第十章的 SpectrumAnalyzerIntro 实验中，可以找到使用 LabVIEW 虚拟仪器的实例。在整个实验手册中，NI ELVIS 面包板环境起着重要的辅助作用。

美国国家仪器公司收购 Electronics Workbench 对所有电子系学生的教育加入了令人振奋的色彩。得益于环境可互换性的增强，从实际的电子世界到仿真的电子世界，再由仿真反过来指导实际的流程能够无缝衔接。

Multisim 的突出强项是：

- 为远程教育提供虚拟实验室
- 使学生熟悉仪器和元器件使用
- 其易用性使学生能够将精力集中在电子学的学习上
- 更为有效地教学故障排除概念

如果您正在教授电子学，我相信本书中的许多思想都会对您有帮助。

关于 Multisim 和 LabVIEW

Multisim 作为电子学教学领域的领导者已经有超过 20 年的历史。在此期间，大量新特性、元器件和仪器被加入到 Multisim 的数据库中。在北美洲有 50 多本著名的电子学教科书使用 Multisim 作为其软件补充说明。在远程教学项目中，Multisim 的虚拟实验室环境使它成为理论部分之外的理想实验工具。

美国路易斯安娜州西北州立大学 Thomas M. Hall 等人做了比较使用仿真实验室教学和传统的硬件实验室教学有效性的研究。结果表明，两者之间学生取得的成绩没有明显差异。

美国国家仪器有 30 多年制定行业标准的历史。在 1986 年首次问世的 LabVIEW 为工程界带来了一场革命。LabVIEW 是实验室虚拟仪器工程工作台的头字母缩写，它是自带 450 个信号处理和分析内嵌函数的图形化编程语言。LabVIEW 在 1992 年首次推出了 Windows 平台下运行的版本。

由于 LabVIEW 不仅具有编程语言的灵活性，还具有专为测试、测量和自动化设计的内嵌工具，您可以创建从简单的温度控制直至复杂仿真和控制系统的各种应用。无论您从事于何种项目，LabVIEW 一定具备您需要的工具。要获取更多信息，请访问 www.ni.com/labview/whatis/。

NI 教学实验室虚拟仪器套件 (NI ELVIS) 是一个基于 LabVIEW 的设计与原型开发环境。NI ELVIS 包括基于 LabVIEW 的虚拟仪器、数据采集设备、用户定制设计的工作台工作站和一块原型板。本书中的许多实验指导要求学生 NI ELVIS 原型板上搭建他们的电路。

本书与电路文件的关系

本书的十二个章节都带有各自相关的电路文件。大部分电路文件包括原理图和实验指导，可以作为讲义印发。每个实验指导要求学生打开文件、运行仿真并解答问题。许多实验指导中还包括使用 NI ELVIS 的练习。NI ELVIS 实验中的面包板示意图展示.ms10 文件中包含元器件的数值和布线。每个 NI ELVIS 练习还包括一些附加问题，帮助学生加深对电路行为的理解。

Multisim 附带的用户手册参考资料可供您进一步查阅。同样，选中一个元器件或仪器后，按下 F1 键，学生和教师能够打开所感兴趣对象的帮助窗口。主工具栏上的帮助按钮具有索引功能，也非常易于使用。

在示波器、波特图作图器、频谱分析仪和网络分析仪章节，您会看到仪器本身的图片。它可以用作讲义印发或是使用投影仪进行说明。您可以在 SpectrumAnalyzerIntro.ms10 文件的说明框中看到如何使用频谱分析仪的说明。注意在使用频谱分析仪的时候，完成一个完整的频谱响应测量需要一定时间。

大多数电路文件带有说明框，其中有小测验或实验指导。您还可以创建自己的说明框，并使用这些文件作为实验作业和测验，之后可以保存在磁盘上统一收集；如果是远程教育，则可以通过网络电子邮件统一收集。学生们在说明框中可以直接回答所有的问题。所有的电路文件都有明确标识的文件名，除非您希望对学生隐藏一些文件。

本书涵盖了从基本直流电路分析直至射频通信的一系列主题。特别的，在第五章深入讨论了故障排除的重要问题。您可以在这一章节了解到如何设置密码，使学生无法访问。

第十一章不但介绍了网络分析仪，同时还为学生展示了仿真仪器的诸多特性。您还可以在 Multisim 附带的用户手册或是我的另一本实验指导手册《RF Communications with Multisim》中，了解更多关于网络分析仪的信息。

第十二章讨论了 Multisim 独特的测验功能。为您展示了多项选择题测验创建和打分的简单方法，以及使单项分值分配更加公平的策略。问题链接特性作为用户友好的测验特性，能够使您简单地设定是非题和多项选择题。学生们在电路文件中完成作答后，可以通过电子邮件上交给您。第十二章所有的测验问题以及实验指导书中其他一些文件都包括是非题以及多项选择题。在许多文件中，还要求学生用 Multisim 搭建自己电路。搭建电路的相关指导位于每个文件的说明框中。

您可以根据具体需要调整所有方法、步骤和电路文件。

加深理论

本书涉及的资料可以同时用于传统课堂和虚拟课堂。基本理论中教授相关的计算，作为电路行为预测的基础。

电路、仿真、说明框和仪器均可以打印。打开一个仪器窗口，按下 ALT-PRINT SCREEN，就可以将仪器信息复制到剪贴板，进而可以粘贴到文字处理软件、PowerPoint™或其他软件中。

实验仿真

本书中涉及了许多电路文件，它们都能够独立进行仿真。电路中还附有传统实验问题以及小测验。学生通过运行仿真，将仿真结果与理论计算结果进行比较，应鼓励他们思考两者出现差异的原因。元器件数值发生变化、电源增加或降低、电位器和可变电容数值变化，直至整个电路发生变化，只要运行仿真，就可以立即显示结果。

学生不必局限于理论结果。通过设定误差可以模拟实际的元器件行为。您会发现 Multisim 提供了交互性很高的环境，其中可以使用大量元件和仪器，从而克服了在传统实验室中十分费时的局限性。

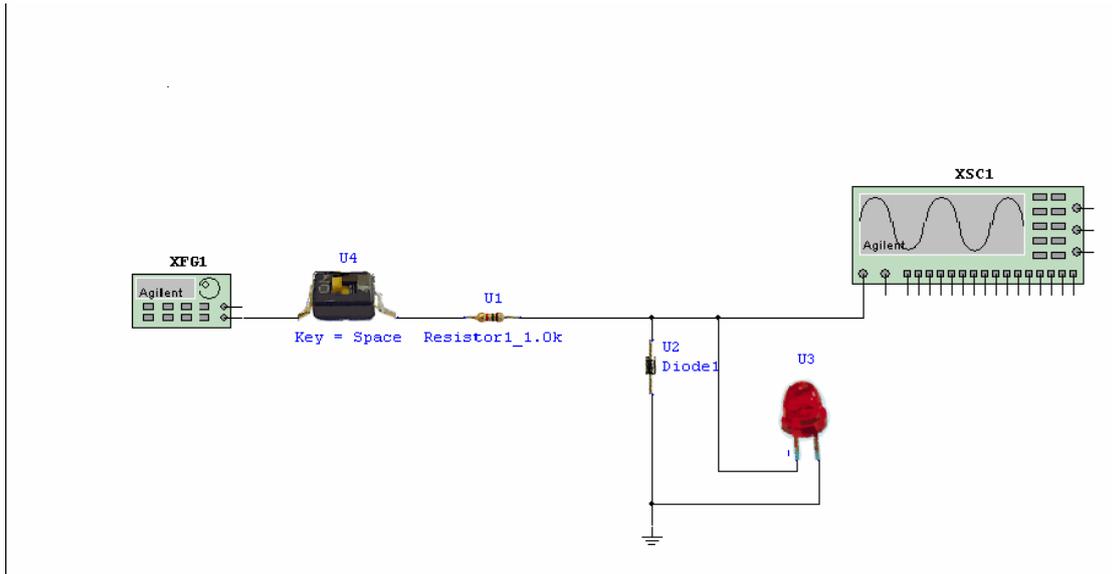
在最新的 Multisim 版本中加入了许多新型元器件和特性，这些包括多种变换器、三相电源、压控晶体管、多个安捷伦测量仪器、示波器、伏安表、多功能动态测量探针、可随仿真变化的说明框、面包板窗口以及电子表格视图、页外连接器等特性。还可以在说明框中加入声音和视频。在第四章中加入了新的晶体管电路向导实验。晶体管电路向导特性可以为您节省时间，使学生能够研究不同参数，扩大理论和实验范畴，对晶体管更深入地理解。在绪论中介绍的问题链接特性为测验提供了更友好的用户界面。许多实验中还加入了夹钳式电流探针的使用。

工作台实验

学生们通过 Multisim 学习电子仪器的使用能够直接过渡到工作台仪器使用，他们有能力使用实际的仪器。他们不仅在学习关于各个主题的理论，他们已经了解如何使用它们。他们能够使用仪器，购买辨认元器件，发现在实际的实验室环境中出现的问题。他们学习的效果更好，因为这不再生填鸭式教学。对于作为教师的您来说，最终有什么结果呢？就我的经验而言，这意味着在毕业那天，您可以为更多学生感到骄傲。

和真的一模一样

作为一个简单的三维元器件演示，打开第一章文件夹中的 `AsRealAsItGets.ms10`，并运行仿真。记住与使用实际的函数发生器一样，在使用之前，要打开安捷伦函数发生器、安捷伦示波器和 Tektronix 示波器。



AsRealAsItGets.ms10

教师实验

打开 ToTheInstructor.ms10 文件，阅读或播放如何自定义学生工作区的指导，从而使学生不能使用部分工具栏。

第一章 直流电路和戴维宁定理

章节目录

本章包含以下内容：

- 第一章引言
- 基本电路行为概念巩固
- 安捷伦万用表
- 压控电流源和三相电源
- 使用可变电阻和开关改变电路数值
- 压控电阻
- 元器件额定值
- 戴维宁定理

本章实验指导

以下实验指导从实验指导 1-1：电阻色环开始：

- 实验指导 1-1：电阻色环
- 实验指导 1-2：基本电路
- 实验指导 1-3：基本电路
- 实验指导 1-4：可变电阻特性

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
AgilentMultimeter	一台在许多实验室设施中使用的实际仪器的范例。
Ohm	串并联电路行为范例。
RatedComponents	两个独立电路中的 Multisim 元器件额定值范例。
TwoOtherSources	电路 A 与 Ohm.ms10 相同，但它使用压控电流源。电路 B 是一个连接到四输入示波器的三相电源。
Ohms2	使用可变电阻和开关改变电路中的数值。
ResistorColorCodes	使用 Multisim 的三维元器件仿真色环电阻实验。
Thevenin1	电路分析的戴维宁方法。
Thevenin1A - Thevenin1C	戴维宁分析三个步骤中的等效电路。（适用于

	使用投影仪或 PowerPoint。))
Thevenin1_TS	Thevenin1 含有错误的版本。
Thevenin2	带有两个电源电路的戴维宁分析。
Thevenin2_TS	Thevenin2 含有错误的版本。
VoltageControlledResistor	压控电阻设置与行为范例。

第一章引言

Multisim 鼓励同时使用多个仪器，这意味着可以监视的运行特性的数量是没有限制的。学生有机会观察在改变原理图中任何感兴趣元器件时产生的影响。这种特性能够立即提供结果，从而完美解决了电子学教学中“如果……会怎么样”的问题。

您可以让学生预测电路行为，然后立即让他们观察结果。鼓励学生参与这个交互式过程，培养将基本概念进行“综合”考虑的思维方式。这可以使传统课堂教学和远程教学的课程变得更为生动。

这种回答“如果……会怎么样”问题的增强特性在巩固对基本电路行为的理解中十分有效：

- 远程教育
- 课堂演示
- 软件实验室设置

在远程教育中，利用这些特性，学生们能够自己熟悉仿真仪器，而且它们与传统实验室里的实际仪器十分相似。这样就大大减少了完成课程教学所需要的仪器、元器件的动手实践时间。

第一章提供了实验指导，鼓励学生自己进一步参与互动式的学习过程。为了较早引入故障排除的方法步骤，加入了含有错误的两个文件。双击感兴趣的元器件就可以修改电压值和电阻值。使用多功能动态测量探针可以快速、高效地测量电路各处的电压。要开始仿真电路进行计算，学生可以选择**仿真/运行**菜单或单击开关。

基本电路行为概念巩固

目标

巩固串并联电路的基本电路行为相关概念。

先修知识

学生应已掌握电压、电流测量单位，并且能够使用 Multisim 测量表和电压探针。

备注

为了更加逼真地仿真实验室的实验室环境，可以设置每个元器件的误差。双击感兴趣元器件可以完成这个设置。

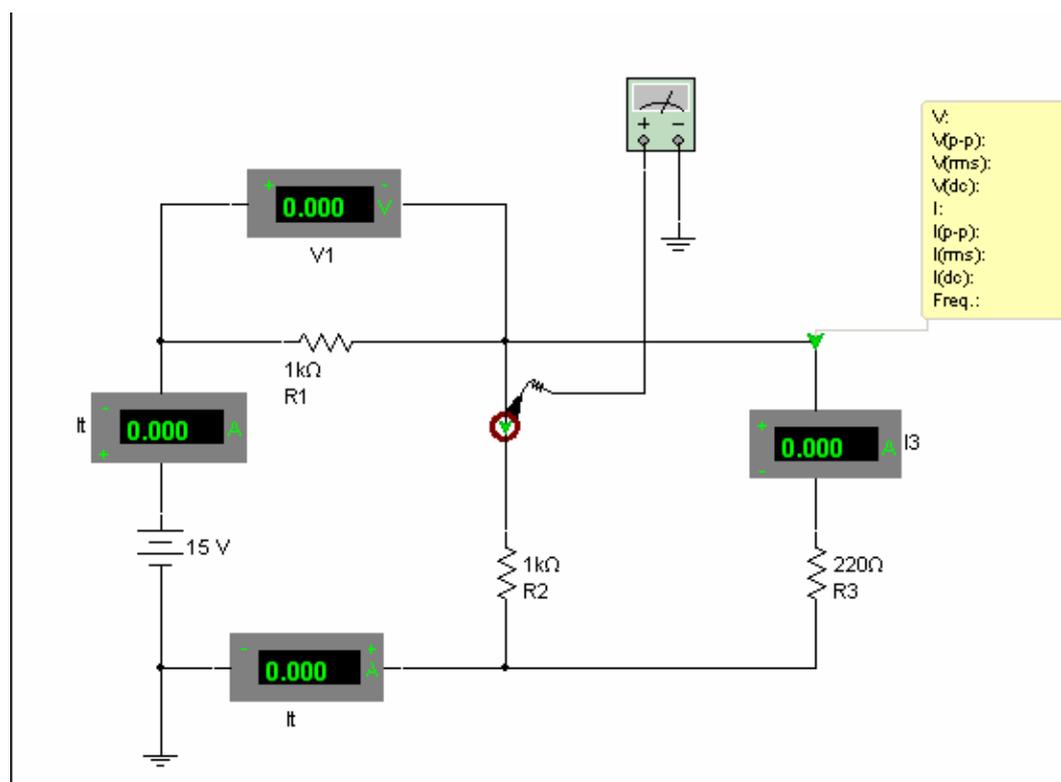


图 1-1: Ohm.ms10

步骤

1. 打开文件 Ohm.ms10。
2. 计算电路中所有电压和电流的数值。将这些数值记录在实验指导中。
3. 使用电源开关或从菜单中选择**仿真/运行**开始求解电路，将测量结果与计算结果进行比较检查。

4. 任选一个电阻，选定一个新值。
5. 预测电路中每个电压和电流的*变化趋势*（数值增加、数值减小或没有变化），并将您的预测结果记入实验指导中。
6. 计算新的电流和电压数值，并记下它们。
7. 使用电源开关或从菜单中选择**仿真/运行**开始求解电路。*比较*预测结果和仿真结果。

电流探针与夹钳式电流探针相似，它将电线中通过的电流转换为电压，作为探针的输出。在这个电路中，探针的输出连接至万用表。使用时，将万用表设置为 **V**，将读数按照 **1 V/mA** 转换为安培。

相关实验指导

实验指导 1—2：基本电路

安捷伦万用表

目标

使学生熟悉 Multisim “逼真的” 虚拟万用表。本实验将指导学生学会真实仪表的基本使用方法，包括在故障排除实例中使用的连续特性。

备注

安捷伦万用表位于仪器工具栏的右下方。

步骤

1. 打开 AgilentMultimeter.ms10。

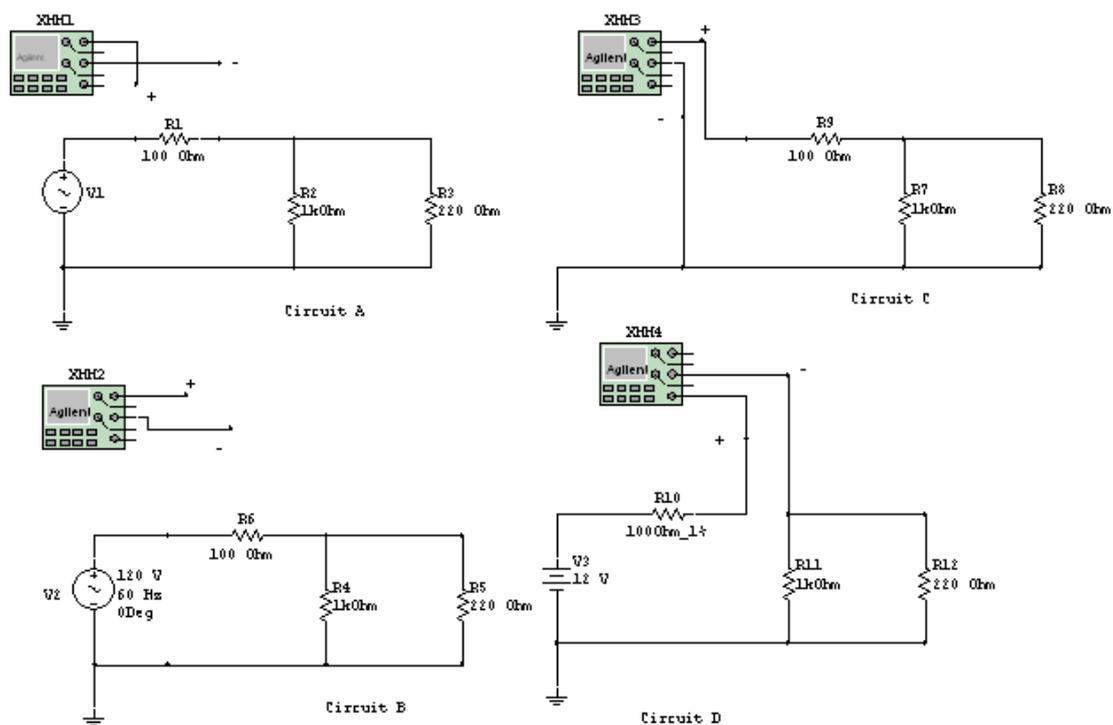


图 1-2: AgilentMultimeter.ms10

2. 打开电路说明框。
3. 单击开关或选择**仿真/运行**开始仿真。

压控电流源和三相电源

目标

使学生熟悉 Multisim 的压控电流源和三相电源。

备注

TwoOtherSources.ms10 中的电路 A 与 Ohm.ms10 的电路相同,唯一不同的是使用了压控电流源。输出电流 I2 按照输入端子提供的电压变化。两者的关系,即输出电流与输入电压之比,称为跨导。这个比例设定为 $1 \times 10e-3$ Mhos。压控电压源、流控电压源和流控电流源也都在数据库中找到。电路 B 是使用 Multisim 四通道示波器的三相电源范例。三相电源可以在数据库中找到。

步骤

1. 打开 TwoOtherSources.ms10。观察电路 A。

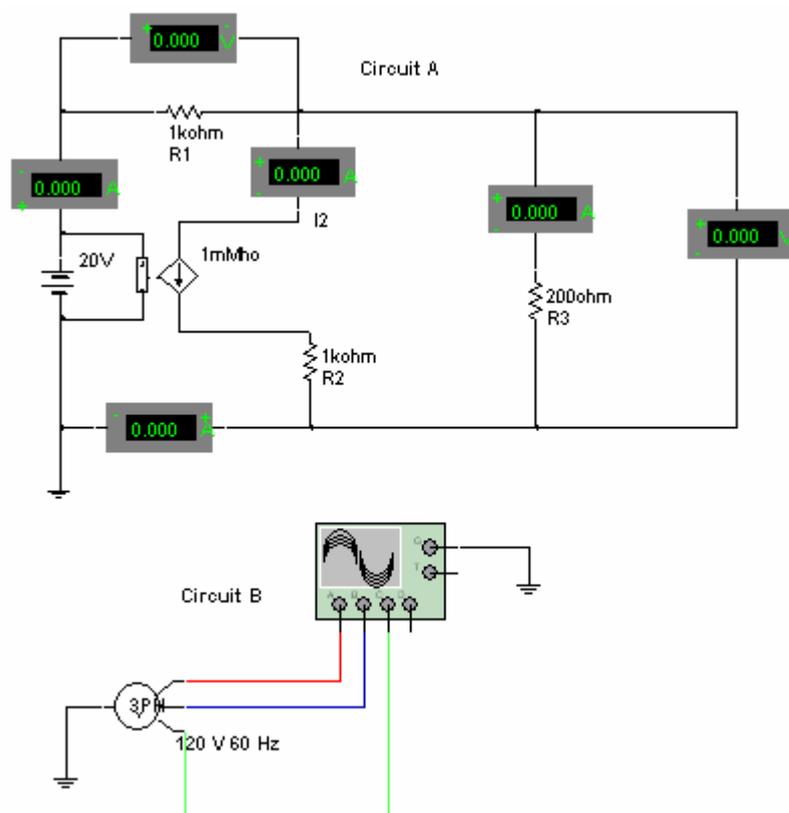


图 1-3: TwoOtherSources.ms10

2. 电机开关或选择**仿真/运行**, 运行仿真。
3. 将显示的结果与在 Ohm.ms10 中得到的结果进行比较。
4. 观察电路 B, 按照电路说明框中的指导进行实验。

使用可变电阻和开关改变电路数值

目标

观察串并联电路行为。

备注

为了使仿真更加接近实际实验室环境，可以设置每个元器件的误差。双击感兴趣元器件可以设置其误差。

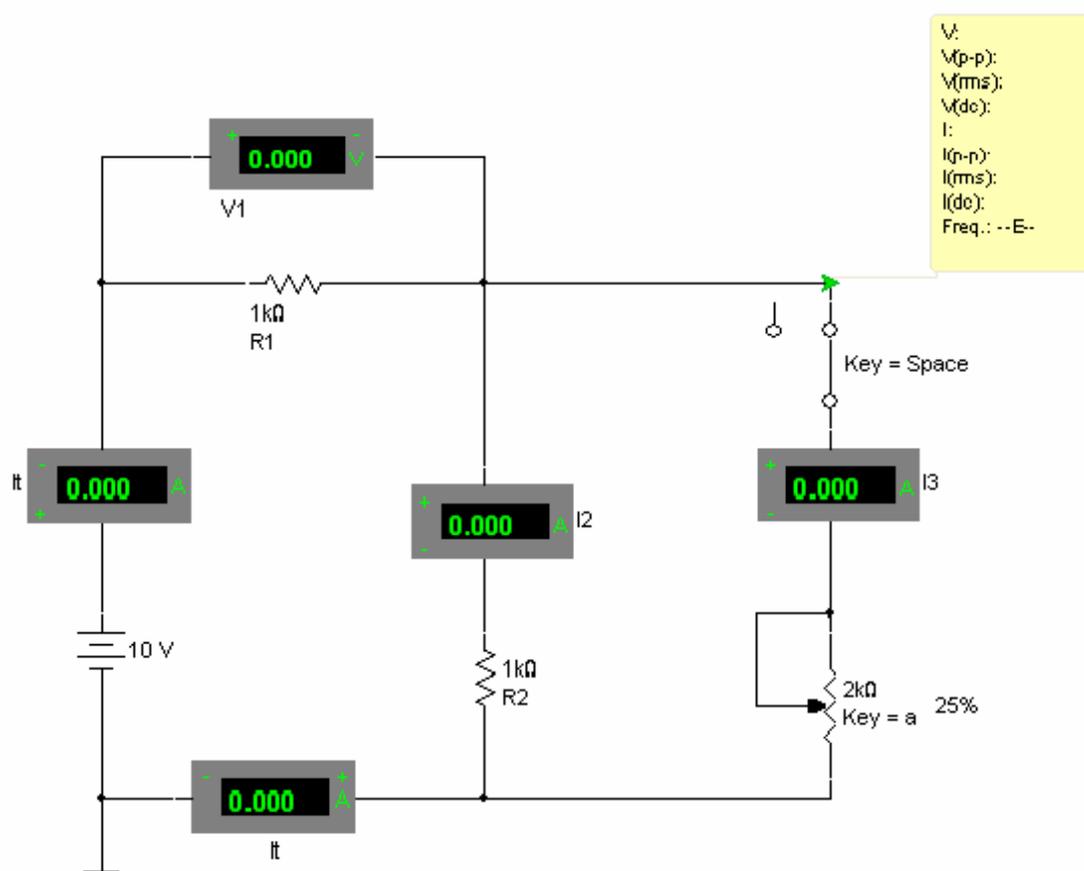


图 1-4: Ohms2.ms10

步骤

1. 打开电路文件 Ohms2.ms10。
2. 闭合开关。将电位器设定为 25%。求解电路计算 R3 的值。
3. 按 A 键或 SHIFT-A 键改变 R3 的值，使之显示为 60%。您还可以将鼠标悬停在电位器上，拖动出现的滑杆。在仿真过程中也可以调节电位器的值。
4. 预测电路中每个电压和电流的变化趋势。
5. 利用电压和电流的测量结果计算 R3 的新值。

6. 仿真电路，将预测结果与仿真结果进行比较。
7. 断开开关。预测电路中每个电压和电流的变化趋势。
8. 求解电路。运行仿真并与您的结果进行比较。

相关实验指导

实验指导 1—3：可变电阻实验

压控电阻

目标

使学生熟悉 Multisim 的压控电阻（VCR）。压控电阻与其他电阻一起组成电路，构成动态元件模型。本实验重点讨论电路中压控电阻如何工作。

备注

伏特表和安培表位于指示器组件框中。

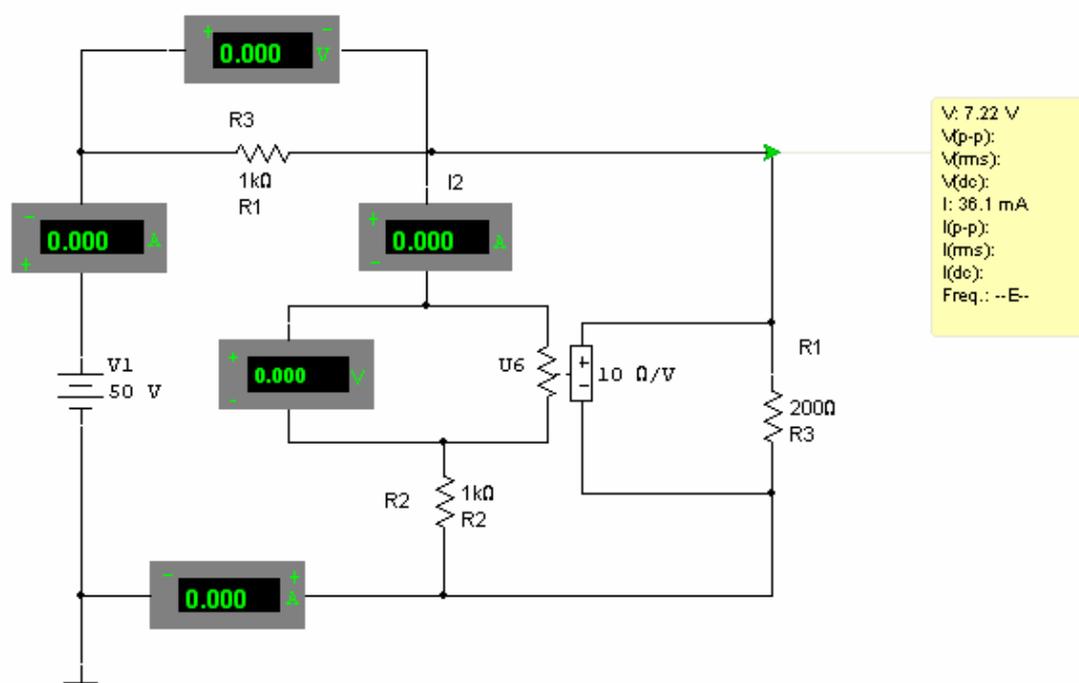


图 1—5: VoltageControlledResistor.ms10

步骤

1. 打开 VoltageControlledResistor.ms10。
2. 打开说明框。
3. 单击开关或选择**仿真/运行**，执行仿真。

元器件额定值

目标

加深理解实际实验室环境中，使用元器件额定值的重要性。

备注

类似的动手实验也可以在非仿真环境下进行，但是由于其内在的危险性，一般而言很少进行。

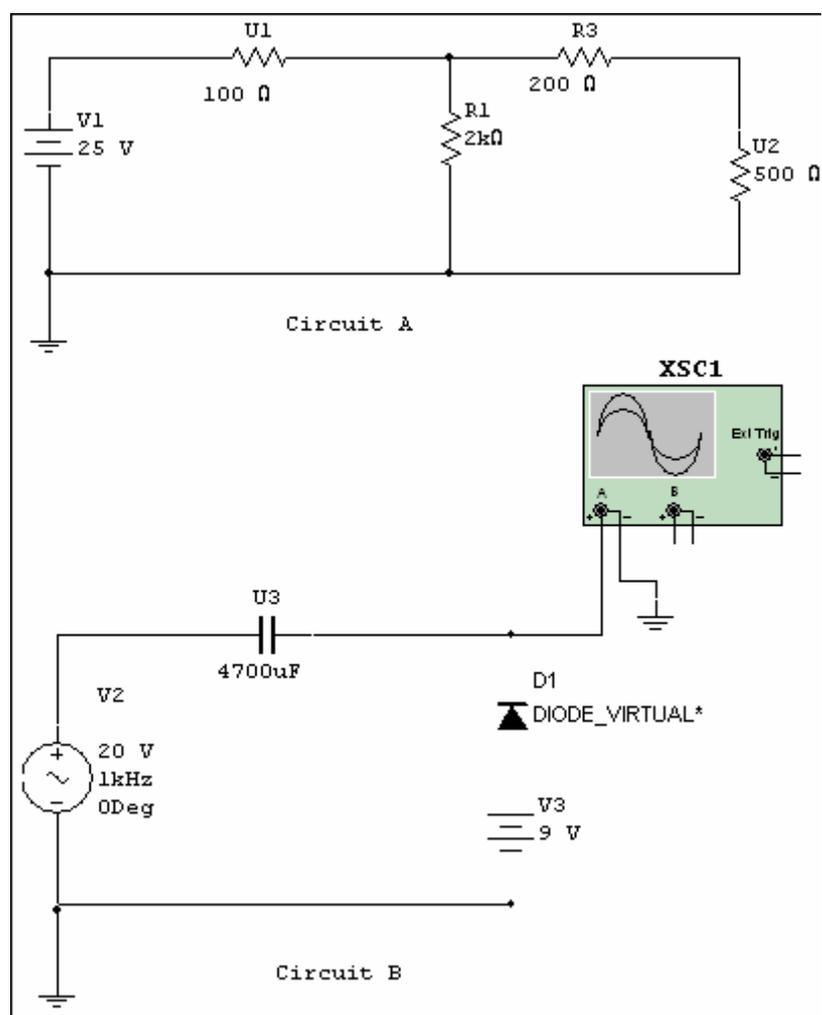


图 1-6: RatedComponents.ms10

步骤

1. 打开 RatedComponents.ms10。
2. 打开说明框。
3. 单击开关或选择**仿真/运行**，运行仿真。

戴维宁定理

本章余下的文件介绍戴维宁定理：

- 电路文件 Thevenin1.ms10 的说明框中附有实验指导，一步步指导学生利用这一网络分析方法求解电路。
- 电路 Thevenin1A 至 Thevenin1C 展示了求解戴维宁电路的每个步骤。
- 电路文件 Thevenin2 包含一个更为复杂的两个电源的电路，提供更进一步练习。

说明：电路 Thevenin1.ms10 的单步求解文件以及电路 Thevenin1A 至 Thevenin1C 可以在实验之前打印，用于投影仪或使用 PowerPoint 进行课堂演示。

目标

通过仿真，演示并练习使用戴维宁定理分析复杂电路的步骤。

先修知识

学生应已掌握如何求解串并联电路。

您需要以下电路文件：

- Thevenin1.ms10
- Thevenin1A.ms10 至 Thevenin1C.ms10
- Thevenin2.ms10。

备注

计算等效电路对学生而言是个难点。由于可以直接按照教科书中具体的分析步骤求解问题，戴维宁方法还是相对直观的。

步骤

1. 打开电路文件 Thevenin1.ms10。说明框中包含学生实验指导的样本。如果需要给学生布置作业或小测验，您可以修改具体数值或按照课程教科书替换电路。

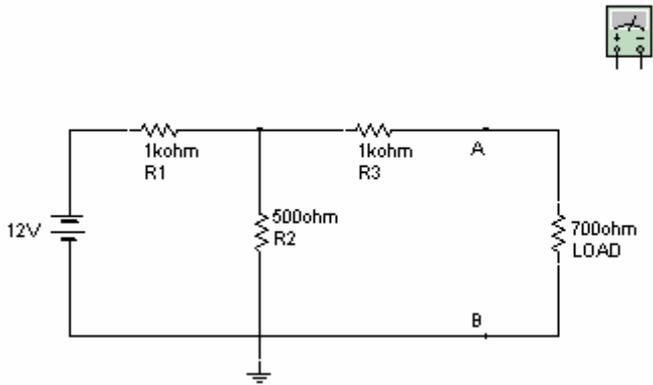


图 1-7: Thevenin1.ms10

2. 测量初始负载的电压和电流。
3. 断开负载电阻，将其移到工作空间的其它位置，例如移到原来电路的下方。（参照文件 Thevenin1A.ms10）。

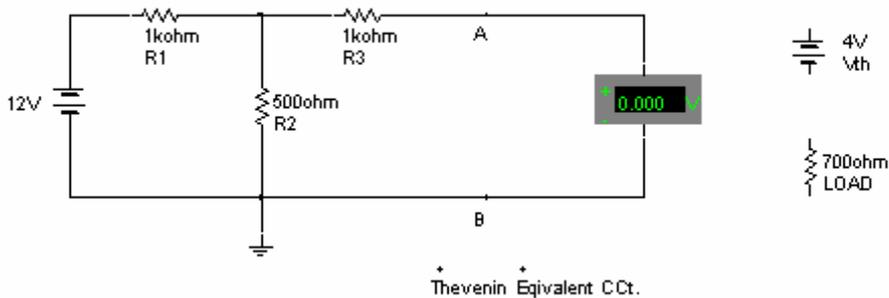


图 1-8: Thevenin1A.ms10

4. 让学生用伏特表测量开路电压，并在电路中创建一个该数值的直流电源。
5. 下一步，将所有电路直流电源移去，替换为短路导线，让学生测量开路电阻。创建一个该数值的电阻。（参照文件 Thevenin1B.ms10）。

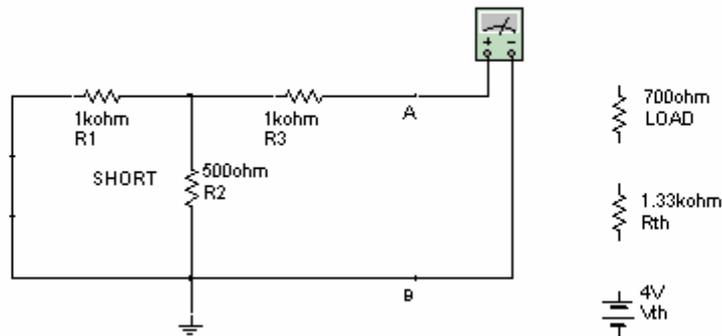


图 1-9: Thevenin1B.ms10

6. 在一个独立的、更为简单的电路中，连接 V_{th} 、 R_{th} 和初始负载电阻。这就是戴维宁等效电路，它与原来电路的行为完全相同。

说明：现在用一个直流电源、一个电阻和负载电阻的组合替换了整个电路。（参照文件 Thevenin1C.ms10）。

您可以看到初始电路和新的戴维宁等效电路在负载两端的电压相同、通过负载的电流也相同，因此这个过程是正确的。您还可以同时将初始电路和戴维宁等效电路中负载电阻的数值改变，演示这个定理的正确性。学生们会发现两者的结果相同，从而证明了戴维宁等效电压和等效电阻与负载电阻无关。

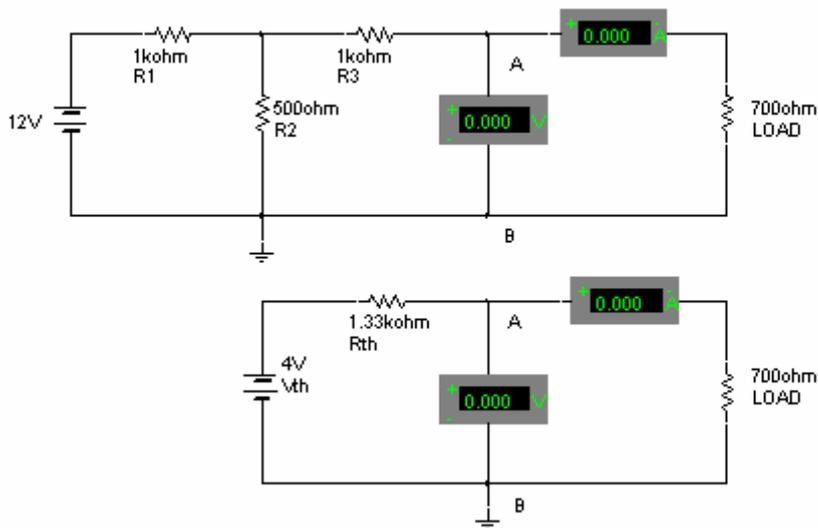


图 1-10: Thevenin1C.ms10

思路扩展

Multisim 可以用于远程教学、使用 PowerPoint 进行课堂演示、甚至使用投影仪输出。利用计算机实验室可以使许多学生一步步进行各种范例，同时促进基本理论的理解。

一旦学生理解了戴维宁定理的基本概念，他们就能够将它应用于来自关于直流、交流理论教科书的许多电路，同样还可以应用于如晶体管、场效应管等动态元件。

电路 Thevenin2.ms10 提供了一个更为复杂电路的范例，它包括两个电源。学生可以用与 Thevenin1 相同的实验指导进行分析。电路 Thevenin1 至 Thevenin1C 包括基本电路以及使用戴维宁定理的每个步骤。

可以使用任何教科书中的电路范例替换给出的电路。

附加挑战

有两个电路中含有错误，并用字母“TS”进行标记。作为教师，您可以在**选项/电路限制/常规标签**下，取消选中**隐藏元器件错误**复选框，观察这些错误。如果您设置了密码，就可以在下发这些文件前，防止学生访问。

Multisim 提供了帮助巩固加深基本理论的理想故障排除环境。说明框用于指导学生故障排除的过程。在本书的故障排除章节进一步讨论了问题解决的逻辑。本章中关于故障排除的电路是 Thevenin1TS.ms10 和 Thevenin2TS.ms10。

参考资料

主题	参考资料
万用表	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
安培表	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
伏特表	Multisim 用户手册：第八章《仪器》

实验指导 1-1: 电阻色环

姓名: _____ 编号: _____ 班级: _____

开始

打开文件 ResistorColorCodes.ms10。

问题

根据电阻色环填写以下电阻的数值。

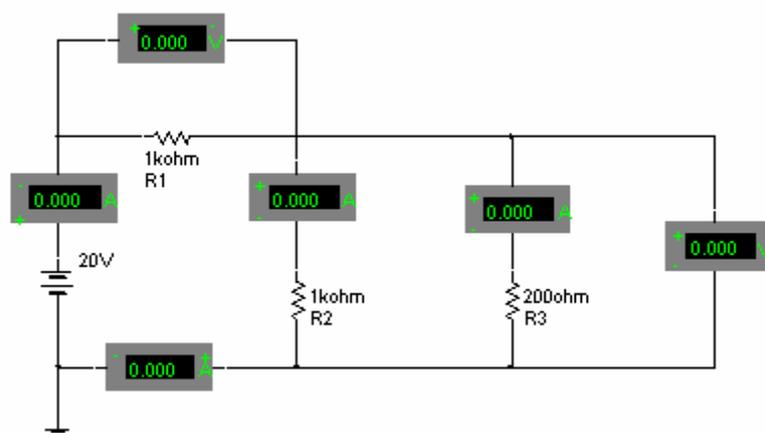
- | | | <u>数值</u> |
|-----|--|-----------|
| 1. |  黄色、紫色、棕色 | _____ |
| 2. |  黄色、紫色、红色 | _____ |
| 3. |  红色、红色、红色 | _____ |
| 4. |  棕色、黑色、红色 | _____ |
| 5. |  棕色、黑色、橙色 | _____ |
| 6. |  棕色、黑色、黑色 | _____ |
| 7. |  橙色、白色、红色 | _____ |
| 8. |  绿色、蓝色、黄色 | _____ |
| 9. |  灰色、红色、橙色 | _____ |
| 10. |  白色、棕色、蓝色 | _____ |
| 11. |  棕色、黑色、蓝色 | _____ |

实验指导 1—2：基本电路

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Ohm.ms10



问题

1. 根据电路完成下表。

物理量	计算结果	测量结果	%差异
I_t			
V_1			
I_1			
I_2			
I_3			
$V_{2/3}$			

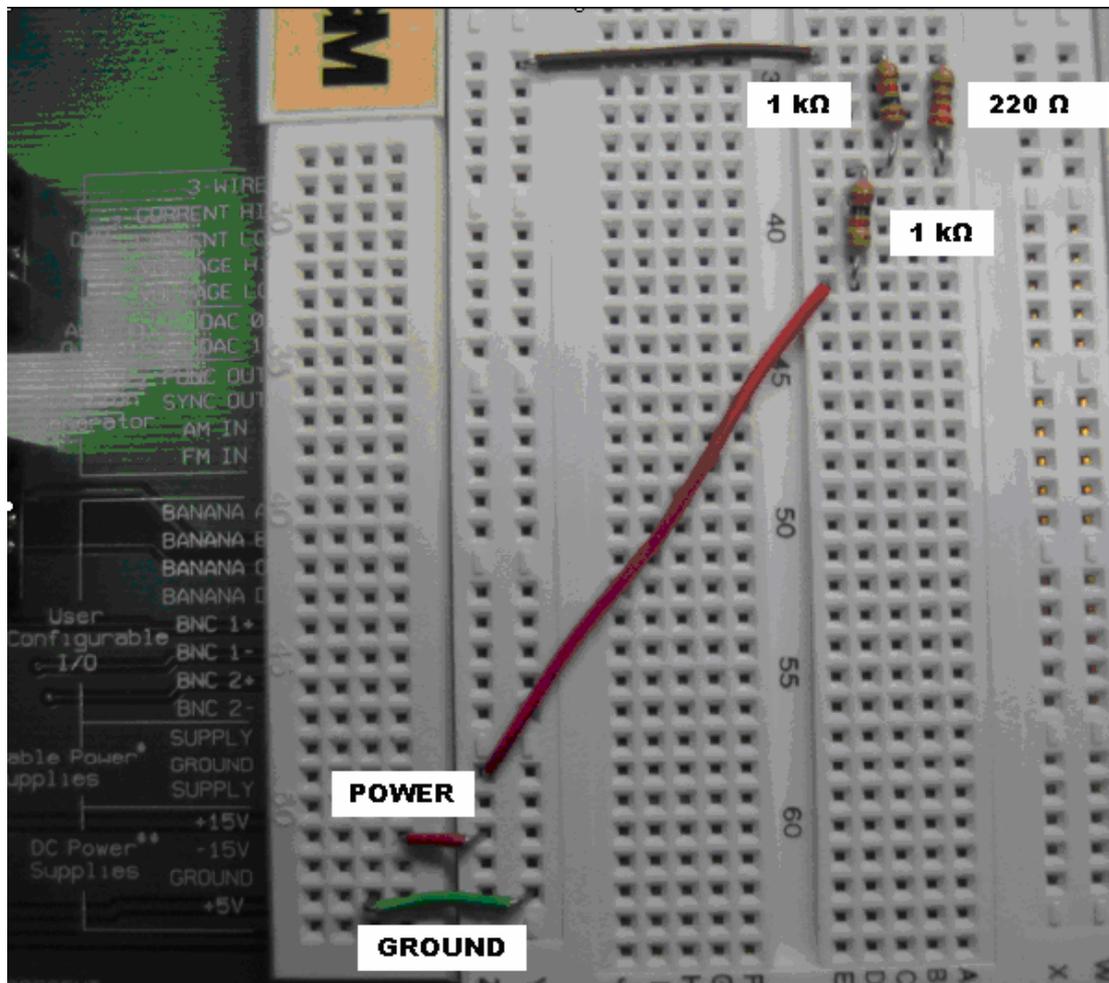
2. 预测电路的基本行为：

如果_____改变为_____，预测的变化趋势是：_____（增加、减小、不变）。

NI ELVIS 练习

开始

1. 在 Multisim 中打开文件 Ohm.ms10。
2. 按照下图所示，在您的 NI ELVIS 面包板上搭建电路 Ohm.ms10。



问题

1. 根据电路完成下表。写出计算步骤。

物理量	计算结果	仿真结果	测量结果	%差异
I_1				
V_1				
I_2				
I_3				

2. 观察到的结果与您的计算结果及仿真结果吻合吗？如果不吻合，原因是什么？

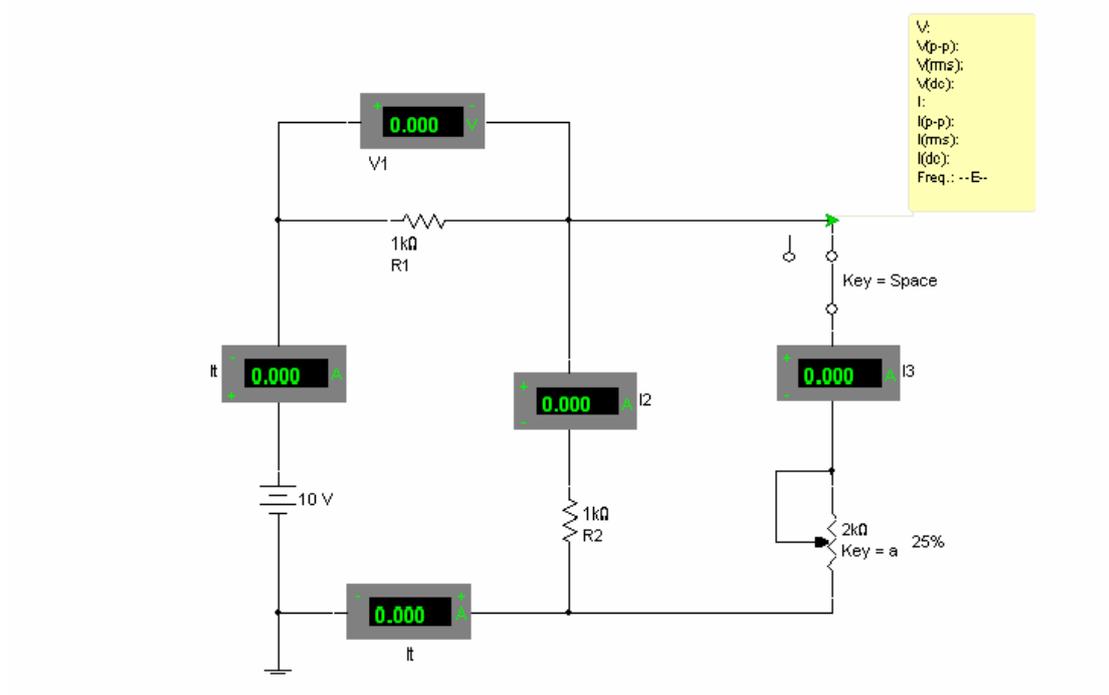
3. 预测电路的基本行为（增加、减小、不变）：
- a) 如果 R_1 改变为 $100\ \Omega$ ， I_2 将会_____。
 - b) 如果 R_1 改变为 $2k\ \Omega$ ， I_1 将会_____。
 - c) 如果 R_2 改变为 $2k\ \Omega$ ， I_2 将会_____。
 - d) 如果 R_2 改变为 $100\ \Omega$ ， V_1 将会_____。
 - e) 如果 R_2 改变为 $100\ \Omega$ ， I_3 将会_____。
 - f) 如果 R_3 改变为 $100\ \Omega$ ， I_3 将会_____。

实验指导 1—3：基本电路

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Ohms2.ms10。



问题

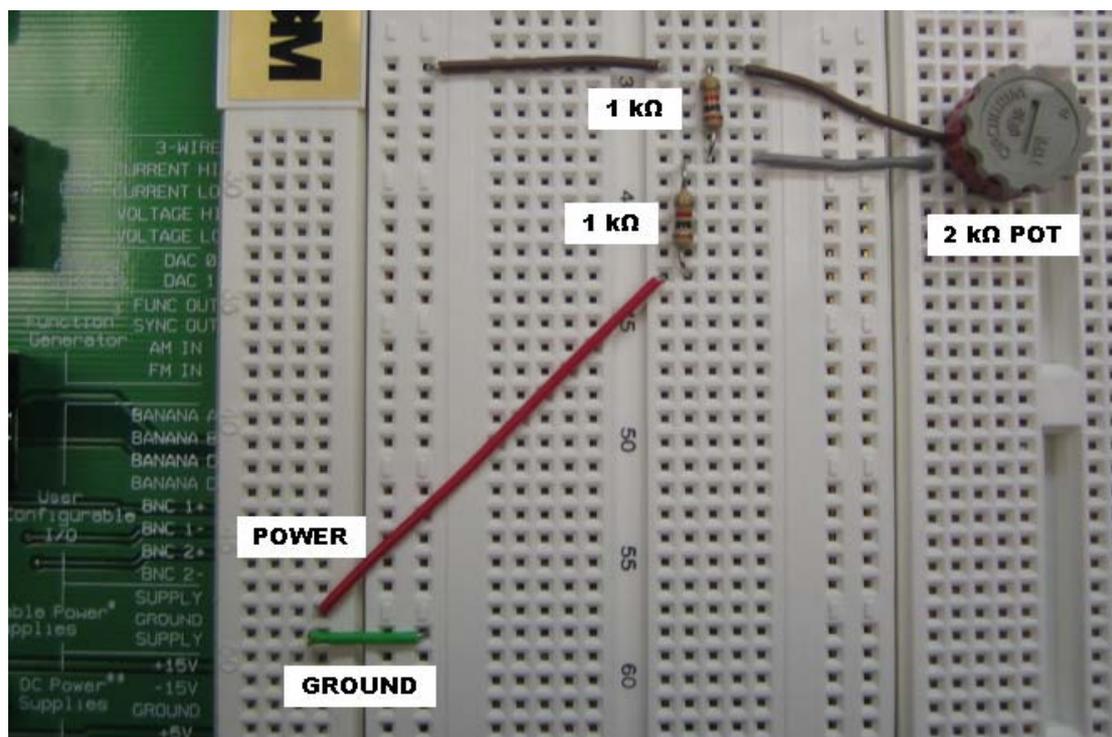
1. 根据电路完成下表。

物理量	变化趋势	计算结果	测量结果	%差异
I_1				
V_1				
I_1				
I_2				
I_3				
R_3				

NI ELVIS 练习

开始

1. 在 Multisim 中打开文件 Ohms2.ms10。
2. 按照下图所示，在您的 NI ELVIS 面包板上搭建电路 Ohms2.ms10。



问题

1. 将电位器设置为 25%，根据电路完成下表。写出计算步骤。

物理量	计算结果	仿真结果	测量结果	%差异
R_3				
I_1				
V_1				
I_2				
I_3				

2. 如果将电位器电阻增加到 60%，预测电阻中各个电压和电流结果的变化趋势。

物理量	变化趋势
I_1	
V_1	
I_2	
I_3	

3. 将电位器设置为 60%，根据电路完成下表。

物理量	计算结果	仿真结果	测量结果	%差异
R_3				

I_1
 V_1
 I_2
 I_3

4. 将仿真电路中的电位器改变为 73%。根据电压和电流的测量值，计算 R_3 的新值。写出计算步骤。

$R_3 =$ _____ 欧姆

5. 如果将开关打开，预测电路中各个电压和电流结果的变化趋势。

物理量 **变化趋势**

I_1
 V_1
 I_2
 I_3

6. 将开关打开，根据电路完成下表。

物理量	计算结果	仿真结果	测量结果	%差异
I_1				
V_1				
I_2				
I_3				

实验指导 1—4：可变电阻特性

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开电路文件 Ohms2.ms10。

问题

1. 闭合开关。
2. 将电位器设置为 25%。
3. 求解电路并计算 R3 的数值。写出计算过程。
R3 = _____ 欧姆
4. 按 A 键或 SHEFT-A 键调整 R3 的数值，使它显示为 60%（电位器可以在仿真过程中调整）。您还可以将鼠标悬停在电位器的上方，拖动出现的滑杆。预测电路中每个电压和电流结果的*变化趋势*。写出计算过程。
5. 使用电压和电流的测量值计算 R3 的新值。写出计算过程。
R3 = _____ 欧姆
6. 求解电路，并将预测结果、仿真结果和测量结果进行*比较*。
7. 断开开关。预测电路中每个电压和电流的*变化趋势*。
8. 求解电路。
9. 运行仿真，比较您的结果。

第二章 由示波器和滤波器引入波特图作图器

章节目录

本章包含以下内容：

- 示波器介绍
- 波特图作图器介绍
- 低通滤波器
- 串联RLC谐振电路滤波器
- 同时比较：有源与无源滤波器
- 安捷伦示波器
- 滤波器向导

本章实验指导

以下实验指导从实验指导 2-1：示波器一开始：

- 实验指导 2-1：示波器一
- 实验指导 2-2：示波器二
- 实验指导 2-3：使用示波器测量幅值和相移
- 实验指导 2-4：低通滤波器
- 实验指导 2-5：串联谐振电路滤波器

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
AgilentOscilloscope	介绍一台在许多实验室设施中使用的实际仪器。
Filter1	介绍波特图作图器。在线性和对数坐标轴上，设置比例尺、使用标记准确测量 RC 低通滤波器。分贝表示与相位测量。
Filter1TS	Filter1.ms10 含有错误的版本。
Filter2	无源 RC 滤波器和使用运算放大器的有源滤波器在带负载与不带负载时的性能对比。
Filter3	使用波特图作图器研究无源带通滤波器。
Filter4	使用波特图滤波器研究无源陷波滤波器。
Filter4TS	Filter4.ms10 含有错误的版本。

Scope1	介绍示波器。测量幅值和时间并计算频率。
Scope2	信号的示波器调节技巧，其中示波器设置为信号的初始值。
Scope3	使用示波器进行相位和幅值测量。
Wizard1	介绍滤波器向导的使用。

Multisim 使学生在 学习示波器设置以及它们在电路分析中的应用时，不会对仪器和元器件造成任何损坏。

对于远程教学，学生通常使用他们自己的计算机，这样就能够使用这个仿真程序，在接触实物之前用足够多的时间使自己熟悉。对于传统的课堂教学，您可以选择在让学生使用实物之前，要求学生演示仿真仪器的正确使用。

本章主要讨论在 Multisim 仿真环境中使用示波器和波特图作图器。文件 Scope1.ms10 可以得出波形的周期、幅值和频率。并将向学生介绍电压源的均方根值转换特性。

文件 Scope2.ms10 包含显示示波器初始设置的电路。对应的实验指导要求学生预测使用哪个示波器控件以及如何调节，才能够最佳地观察波形。还将使用 Scope2.ms10 测量幅值和相移。文件 Scope3.ms10 给出了低通滤波器，将使用示波器测量 3dB 点，使学生们完全理解波特图作图器的功能。

文件 AgilentOscilloscope.ms10 使一个附加的示波器教程。在电路文件 Filter1.ms10 以及 Filter2.ms10 分别给出了附加的低通滤波器和高通滤波器。在文件 Filter3.ms10 和 Filter4.ms10 还给出了带通滤波器和带阻滤波器。这样给文件命名使学生不能够直接从文件名判断滤波器的类型。

示波器介绍

目标

使学生学会使用示波器测量重复波形频率和幅值的正确方法。

先修知识

您将需要电路文件 Scope1.ms10。

学生应已掌握：

- 熟悉作图、设定图象的坐标轴、频率、周期和幅值的基本概念。
- 能够将正弦波的均方根值转换为峰值和峰峰值。
- 经过示波器基本功能的介绍性学习（讲座、录像、教科书阅读作业等等），包括设置垂直轴灵敏度（V/Div）和水平轴灵敏度（时间基准），以达到最大可能的精度。

备注

本节包括两个实验指导和两个电路文件。首先要求学生使用电路文件 Scope1.ms10 计算周期、幅值和频率。文件 Scope2.ms10 与第二个实验指导一起使用。它提供了一个信号发生器，连接到设置为初始状态的示波器。实验指导要求学生考虑考虑显示与控制件的关系，调整哪个控制件以及如何调整才能有效地得到有意义的数值显示。

说明：在仿真过程中，学生都可以单击暂停按钮暂时停止仿真，并进行更准确的测量。

步骤

本节使用 Multisim 展示示波器的使用，可以按照讲座方式教学。如果您按照这种方式，我建议您为学生提供实验指导讲义，这样学生能够跟上教学内容，将注意力集中在本节的主题上。

要求每一位学生完成实验指导。完成后，整个班级一起讨论结果。

相关实验指导

- 实验指导 2-1

思路扩展

您需要以下文件：

- Scope2.ms10 基本示波器练习。
- Scope3.ms10 相移测量。

- AgilentOscilloscope.ms10 附加示波器基本练习。

在完成这里给出的三个入门练习（Scope1、Scope2 以及 AgilentOscilloscope），学生还需要更多关于示波器的练习和熟悉过程。您或许希望按照一系列示波器课程，使学生熟悉示波器的以下功能：

- 交流/直流耦合以及直流电压测量
- 垂直、水平位置控件应用
- 触发功能的操作与应用
- AUTO、A、B、EXTERNAL
- 相移测量（时间域）
- 使用李萨如图形测量相移
- B/A 与 A/B 控件设置应用。

使用示波器测量相移

文件 Scope3.ms10 给出了简单 RC 滤波器相位和幅值综合测量的实例。推荐使用的学生实验指导位于文件的说明框中。

参考文献

主题	参考文献
函数发生器	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
示波器	Multisim 用户手册：第八章《仪器》

波特图作图器介绍

目标

- 介绍利用波特图作图器分析频率选择性电路的概念
- 介绍利用波特图作图器显示范例电路的电压响应和（可选）相移
- 说明利用波特图作图器解释比例、对数与分贝等数学概念的有效性。

先修知识

您需要电路文件 Filter1.ms10 与 Filter2.ms10。

学生应已掌握：

- 了解如何计算容性与感性电抗
- 能够由电阻、电容和电感计算得到总电抗
- 能够作图或使用计算器计算电抗电路的相角
- 能够辨认两个正弦波的示波器轨迹，指出幅值和相移，并能在示波器上测量正弦波的幅值。
- 能够将电压比例转换为分贝表示，将分贝表示转换为电压比例（可选）。

关于波特图作图器操作的几点说明

1. 在垂直轴上：
 - **F** 代表终值。在线性模式下，它是预计最大的输出与输入的比例。在对数模式下，它是预计最大的分贝增益或衰减。
 - **I** 代表初值。在线性模式下，它是预计最小的比例。在对数模式下，它是最小的分贝增益或衰减。
2. 在水平轴或称频率轴上：
 - 对于感兴趣的需要显示的频率响应而言，**F** 是最大期望频率，**I** 是最小期望频率。
3. 垂直游标只能在水平轴上移动，能够简单进行准确的测量。
 1. 数字读数给出了游标与图象曲线交点的坐标。
4. 使用波特图作图器时，您需要一个信号源。可以选用函数发生器或正弦波电压源。

如何利用波特图作图器辅助频率响应教学

许多教师喜欢尽早介绍频率响应，因为这样可以展现即便是简单的电路也可以有重要的应用。有些教师却不愿这样做，因为除了直流电路理论之外，似乎还需要更多的数学知识。

低通电路的数学分析确实具有挑战性，但是概念本身并不复杂。其中的原则可以如下简单叙述：

- 在低频段，低通滤波器的输出电压几乎与输入电压相等。
- 随着输入频率增加，输出电压降低。

根据以上叙述，学生们能够自己归纳出必定存在一个过渡开始发生的**截至频率**。

可以将 **Multisim** 波特图打印出来，使用投影仪展示随着电路数值变化，响应曲线的渐变过程。尤其在无法使用 **PowerPoint** 时，这些打印稿可以作为讲义。

波特图作图器是向学生介绍滤波器和谐振电路的理想工具。对照波特图作图器的显示结果，可以清楚地展示幅值响应随着频率的变化，以此介绍频率响应的概念。

由于使用 **Multisim** 时，仪器的使用不成为问题，如果愿意，还可以将关于频率响应讨论的顺序颠倒过来：

- 首先，波特图作图器的图象给出电路的总频率响应。在对数-对数波特图上，例如截至（转折）频率等，非常容易观察到。
- 学生能够在波特图作图器上观察到结果，因此您可以讨论如何使用示波器测量同样的结果。学生就能够发现如果使用示波器，进行这项费时的滤波器响应图象测量时，会遇到什么问题。

波特图作图器使您能够就频率响应进行全面的讨论。一旦通过波特图理解了概念，您就可以介绍后续理论，因为整体概念已经清楚。

在您演示谐振电路时，结果更加令人振奋。串联 **RLC** 电路的谐振频率在波特图上十分明显。利用波特图图象教授带宽概念变得十分容易。

低通滤波器

向学生提问随着电源频率的增加，想象一下输出电压会如何变化。经过讨论，学生们应该想到降低电容的电抗会影响输出。一旦学生们理解了电容两端的电压会降低，他们就可以开始学习电路 Filter1.ms10，如下图所示，其中波特图作图器连接到一个直流网络。

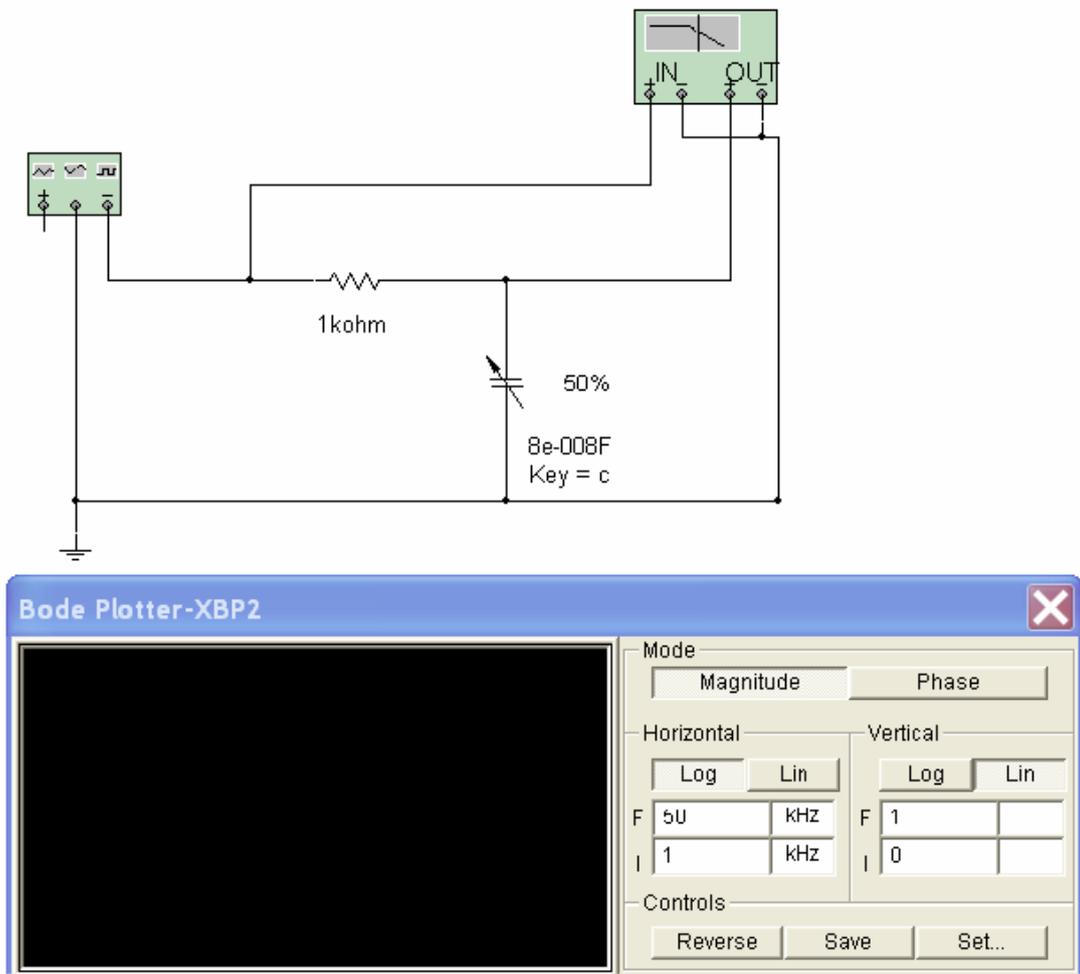


图 2-1: Filter1.ms10

如果水平轴和垂直轴的对数选项都打开，波特图显示在达到截至频率之前，输出（几乎）保持恒定。在截至频率之后，输出随着频率线性地降低。

如果垂直轴使用线性坐标，而水平轴使用对数坐标，波特图显示输出随着频率降低。

如果这个图清楚地显示了整体特征，您可以让学生使用波特图作图器的标记特性，对几个特定频率进行测量。他们只需找出感兴趣的频率范围，对线性范围选择适当的设置。

说明： 标记位置的读数以输出对输入的 *比例* 进行显示，而不是绝对的电压值。

在讨论的这个时候，您可以转入相位测量，展示电路随频率变化的相移。在多个频率测量相位能够加深学生对电路行为的基本概念。

在学生了解如何使用波特图作图器测量相移后，让他们将波特图作图器更换为示波器，例如电路 Scope3。他们可以使用示波器用传统的方法测量相位差异。

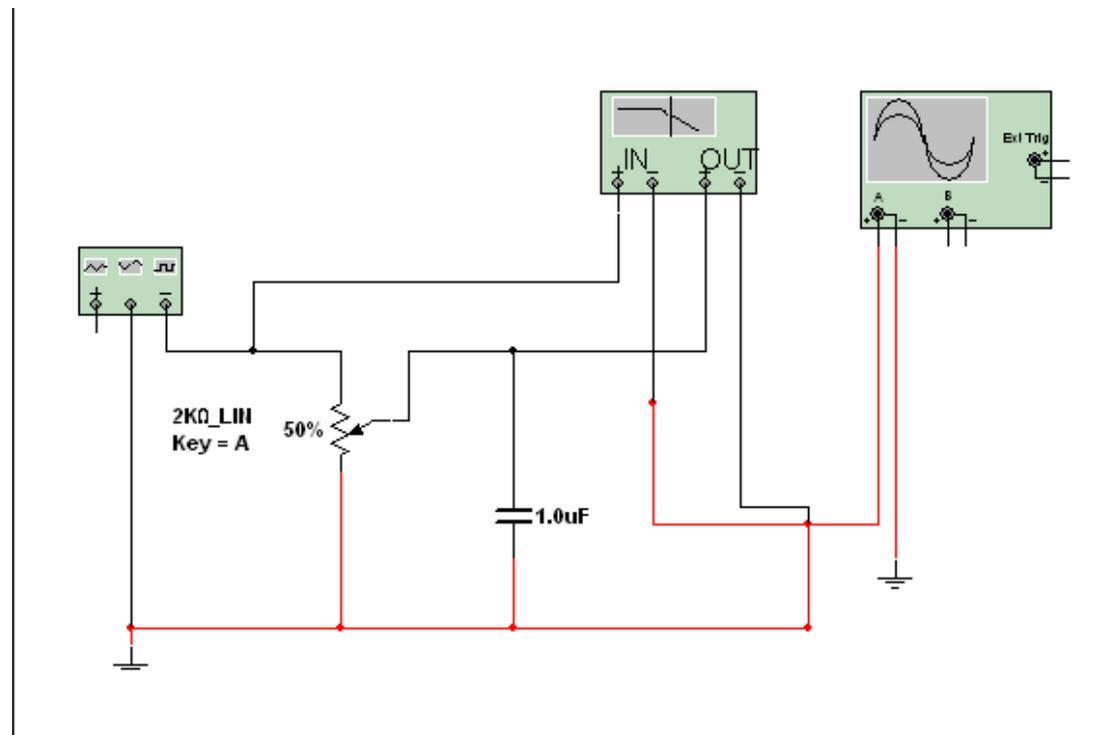


图 2-2: Scope3.ms10

学生完成波特图作图器的测量之后，他们就可以开始一些分析工作了。他们可以在几个选定的频率进行计算，确认得到的读数。学生会逐渐习惯用对数表示的物理量，并且能容易地将分贝值与比例相互转换。

此外，他们可以将示波器代替波特图作图器连接到电路中，确认特定频率下的结果，例如转折频率。这点下，输出幅值为电压源的 0.707 倍，相位落后 45° 。当学生了解到他们可以使用波特图作图器而不是重复地进行电压比例与相位计算的时候，他们更能容易地接受频率响应的概念。

在讲述基本概念之后，您可以使用电路中的可变电阻改变电阻值。如果合适，可以让学生们按照后面给出的实验指导范例中的任何一个，计算新的电路。

相关实验指导

实验指导 2-4: 低通滤波器。

串联 RLC 谐振电路滤波器

在学习非谐振滤波器之后，由于其中输出电压总是低于电源电压，学生们看到一些无源电路产生的输出电压比电源电压高几倍时，通常会比较惊讶。

推荐步骤

您可以让学生预测串联 RLC 电路的响应曲线。这可以帮助他们理解为什么输出电压会在谐振频率上取得峰值。波特图示波器的图象使结果十分清楚。您可以看到电路电阻对谐振峰值的影响，以及改变电容或电感值对谐振频率有何影响。在完成这些定性的工作后，学生应该更加愿意通过一些计算验证他们的观察结果。

先修知识

您需要以下文件：

- Filter1.ms10
- Filter2.ms10
- Filter3.ms10
- Filter4.ms10
- Wizard1.ms10

相关实验指导

实验指导 2—5：串联谐振电路滤波器

思路扩展

在研究串联谐振 RLC 电路的基本特性之后，可以进一步观察改变 L 或 C 的值对谐振频率的影响，还有改变电路电阻对带宽的影响。

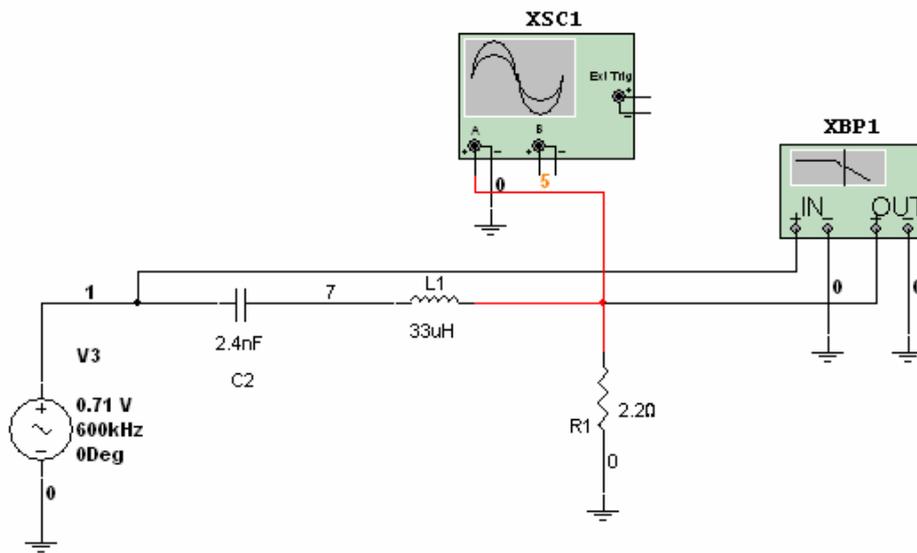


图 2-3: Filter3.ms10 演示波特图作图器

同时比较：有源与无源滤波器

文件 Filter2.ms10 展示了如何使用 Multisim 同时比较（理论上）完成同样功能的两个电路的特性。（这本实验中，它们分别是一个用简单 RC 电路实现的低通滤波器和一个用运算放大器实现的有源滤波器）。

这个文件让学生比较在带负载与不带负载下的电路特性，观察一个电路相对另一个电路的有点。

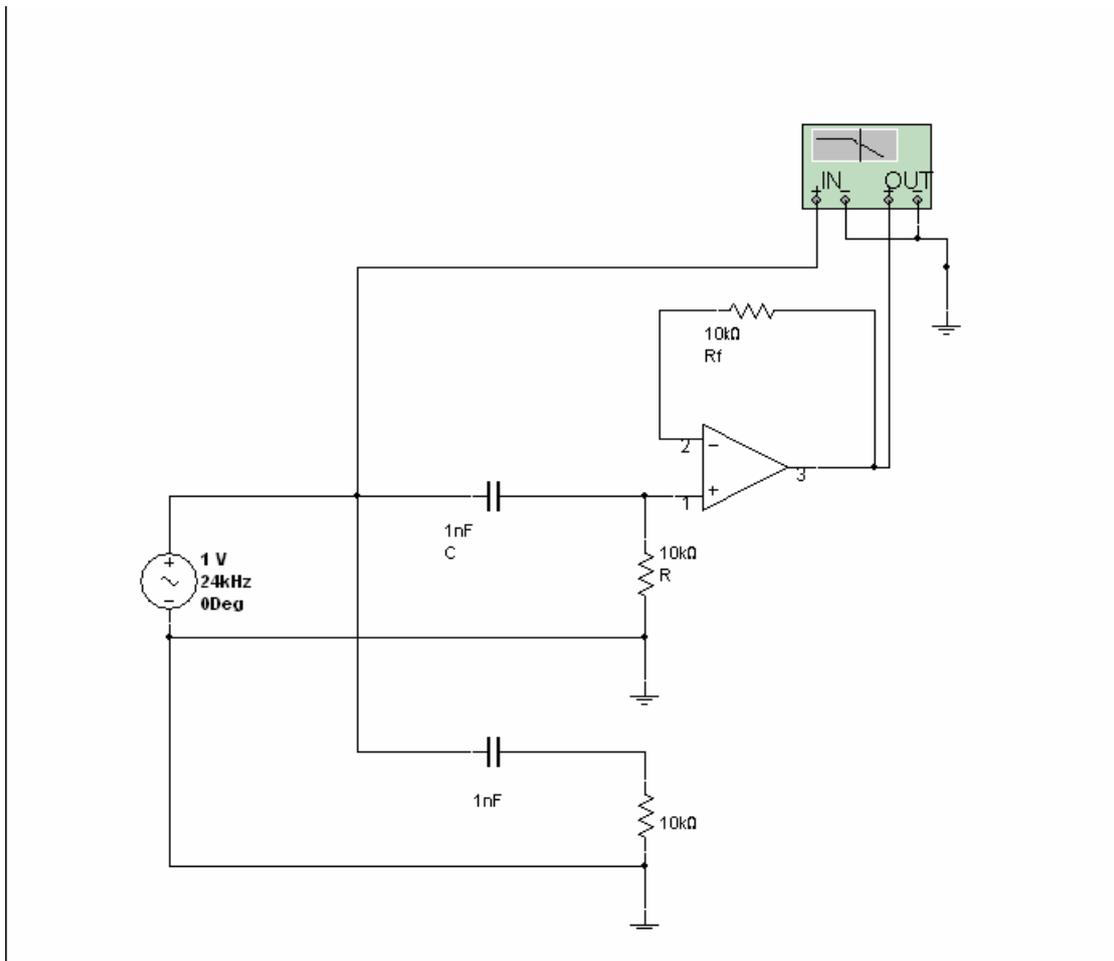


图 2-4：Filter2.ms10

Multisim 允许学生同时研究两个电路，评价每个电路各自的优点和缺点。有源滤波器的优点可以通过在电路上加入适当数值的负载来展示（例如与滤波器电阻相同的负载）。

文件的说明框中包含推荐的关于每个电路基本实验的实验指导。

安捷伦示波器

目标

使学生熟悉 Multisim 的安捷伦示波器，并展示学生在仿真环境中使用真实示波器的优势。本实验还展示了使用 Multisim 分级模块的优点。

备注

安捷伦示波器位于仪器工具栏中。

步骤

1. 打开 AgilentOscilloscope.ms10。

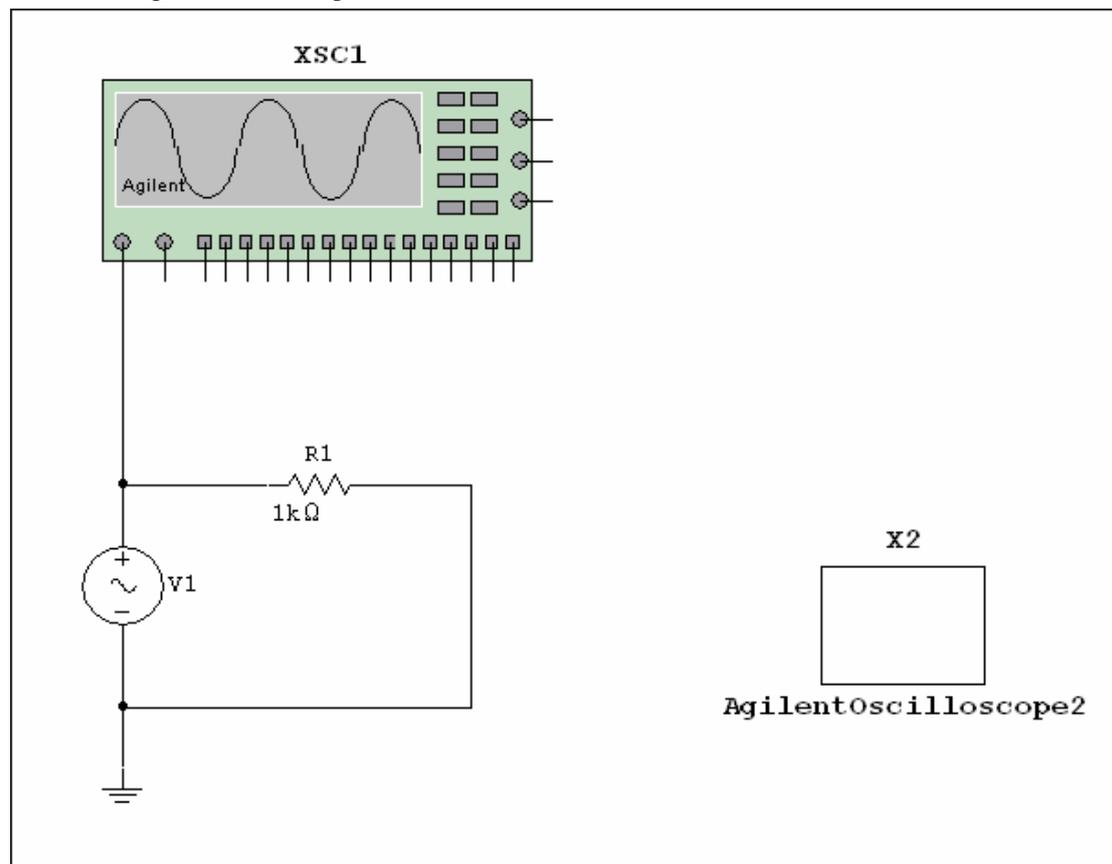


图 2-5: AgilentOscilloscope.ms10

2. 打开说明框，完成所有分级模块的步骤。
3. 单击开关或选择**仿真/运行**，运行仿真。

滤波器向导

目标

让学生熟悉 Multisim 的滤波器生成特性。展示研究滤波器行为时，使用向导特性的优点。

备注

滤波器向导位于工具菜单中。

步骤

1. 打开 Wizard1.ms10。
2. 打开说明框，完成步骤。
3. 单击开关或选择**仿真/运行**，运行仿真。

附加挑战

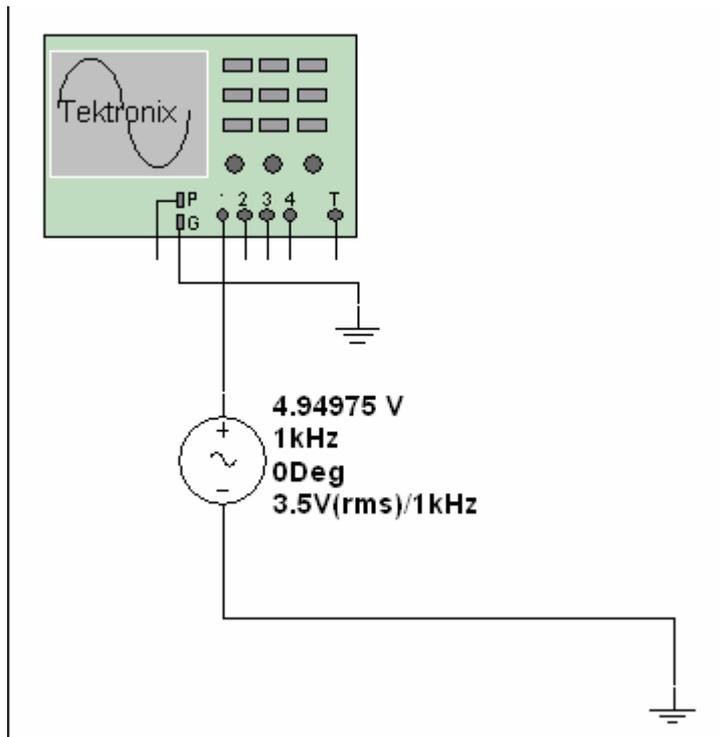
有三个电路中含有错误，并用字母“TS”进行标记。在**选项/电路限制/常规标签**下，取消选中**隐藏元器件错误**复选框，并双击元器件和电源可以观察这些错误。如果您设置了密码，就可以在下发这些文件前，防止学生访问。说明框用于指导学生故障排除的过程。在本书的故障排除章节进一步讨论了问题解决的逻辑。本章中关于故障排除的电路是 Filter1TS.ms10、Filter3TS.ms10 以及 Filter4TS.ms10。

实验指导 2-1：示波器一

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开电路文件 Scope1.ms10。



问题

1. 计算信号的峰峰值。

$V_{\text{out(p-p)}} =$ _____ 伏特

2. 计算信号的周期。

$T =$ _____ = _____ 秒或 _____ 毫秒

3. 确定 V/Div 控件设置，使显示的波形大约分成四段（垂直方向），而且正弦波形的峰值不超过屏幕的最上端或最下端（波形的峰值不能被切除或削平）。

需要设定的 V/DIV = _____

4. 确定时间基准控件的设置，使大约可以显示两个波形周期（水平方向）。

需要设定的时间基准 = _____ ms/div

5. 按照计算数值设置示波器控件，单击电源开关或从菜单中选择**仿真/运行**，进行电路仿真。确认这些设置能够得到所需的显示。

说明：要得到最佳的测量精度，单击**暂停**按钮，使波形静止。

6. 测量峰与峰之间或穿越点之间 x 轴时间分段的个数，得到周期。

T1 = _____

T2 = _____

周期 (T2-T1) = _____

计算频率 (Hz) = _____

7. 测量峰峰电压值。

正向峰值电压 = _____

负向峰值电压 = _____

峰峰值电压 = _____

8. 确认在合理范围内，测量结果与原理图上的数值吻合。
9. 找出导致实际频率和幅值与其测量结果之间存在差异的因素。

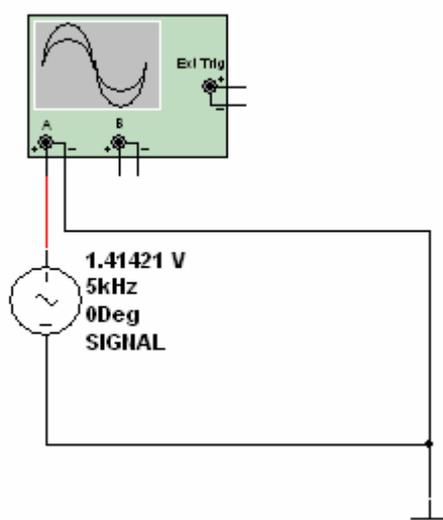
10. 双击直流电源查看其设置。注意电压幅值设定与其下方的电压均方根值设定。试着改变幅值设定，观察得到的均方根电压。

实验指导 2-2: 示波器二

姓名: _____ 编号: _____ 班级: _____

开始

打开文件 Scope2.ms10。



问题

1. 使用电源开关开始求解电路。
2. 要得到最佳观察和精度的设置，单击**暂停**按钮，使示波器窗口的波形静止。分析初始显示：
 - a) 要使测量更精确，应该将时间基准设置增加（每分段表示更多时间）还是减小（每分段表示较少时间）？解释您的回答。
 - b) V/Div 设置应该增加（每分段表示更高电压）还是减小（每分段表示更低电压）？解释您的回答。
 - c) 应该首先调节哪个控件才能够使得信号幅值的峰值可见？解释您的回答。
3. 调节 V/Div 设置，直到能够观察到信号的峰值，并且信号在屏幕上至少显示三个分段。
4. 记录 V/Div 设置。
5. 调节时间基准设置，直到大约能够显示两个完整的周期。

- a) 记录时间基准设置。

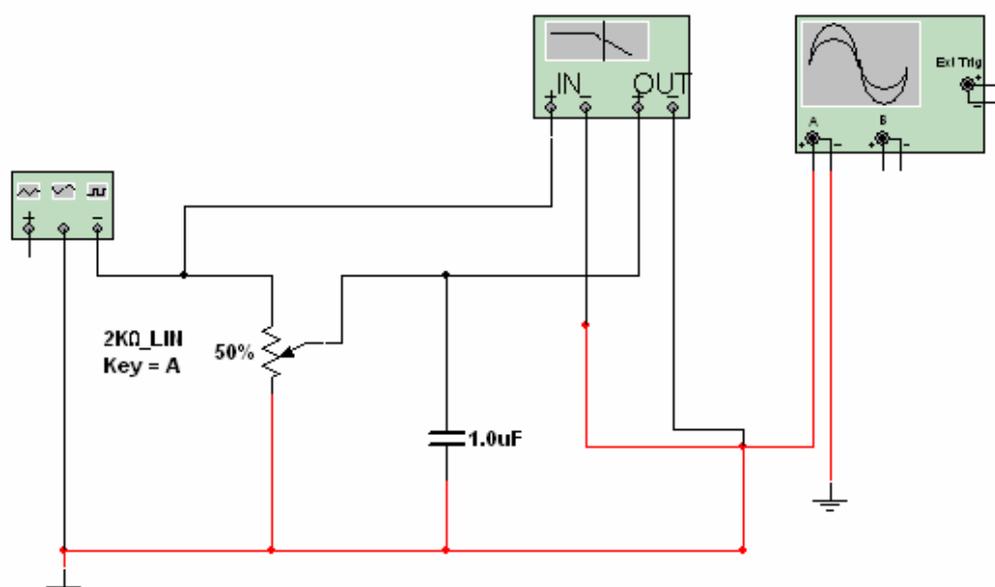
- b) 用这个图象确定信号的幅值和周期。从测得的周期计算信号的频率。写出所有测量得到与计算得到的数值。

实验指导 2—3：使用示波器测量幅值和相移

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Scope3.ms10。



说明

- 电路中包含可变电阻。这使您能够改变 R 的数值，展示转折频率或相移的变化。
- 显示的电阻数值是它最大的取值。可变元件的默认设置是最大值的 50%。
- 要改变电阻，按 **A** 增加数值，按 **SHIFT-A** 减小数值。您还可以将鼠标悬停在可变电阻上，拖动出现的滑杆。
- 在这些电路中，还可以使用可变电容与可变电感。

问题

1. 求解电路。

说明： 确保示波器设置显示不超过波形的两个周期（处于精度考虑）。

2. 确定输入与输出幅值的比例，以及在各自波形上对应两点之间的时间差。要确定时间差，可以使用波形的峰值，或是各自波形穿越零点的点。
3. 输入与输出对应点的时间差（使用相继峰值点）：

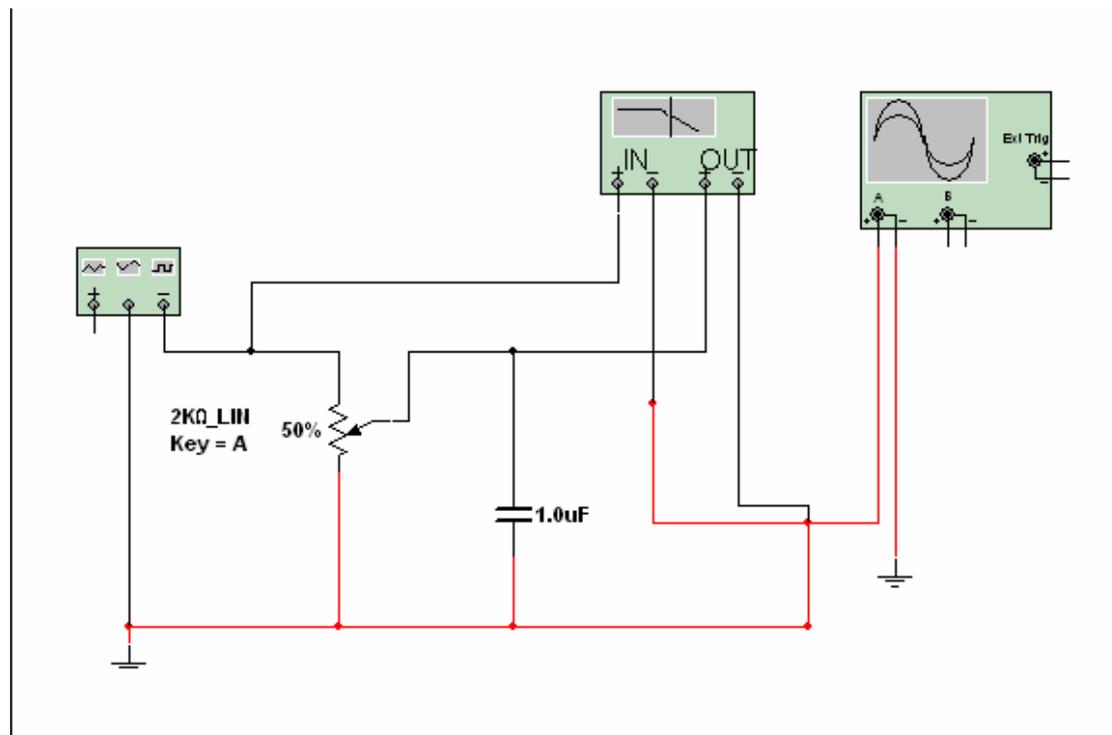
- a) $T_1 - T_2 =$ _____
- b) 波形周期 = _____
- c) 相移 = _____ $\times 360 =$ _____ 度
4. 输出相对输入是相位超前还是滞后? 解释理由。

实验指导 2-4：低通滤波器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Scope3.ms10。



说明

- 电路的输出在 10 Hz 以及更低的范围内几乎与输入相等（相差 5% 以内），直到某一个特定的频率为止；之后输出开始下降（电路的**衰减**开始增加）。

问题

1. 双击打开波特图滤波器。
2. 在响应曲线中，确定如下数据：
 - a) 当输出下降到（约为）输入的 95% 时，输出相对输入的比例是_____。
 - b) 这点对应的频率是_____ Hz。
 - c) 选做——将输入/输出比例转换为分贝表示。写出计算过程。
在_____ Hz，衰减为_____ dB。
3. 输出下降到（约为）输入 70.7% 时的频率是多少？
 - a) 频率 = _____ Hz
 - b) 选做——将比例转换为分贝表示。写出计算过程。注意这点称为 -3 dB 频率或称转

折频率。

在_____ Hz, 衰减为_____ dB。

4. 输出下降到(约为)输入 10%时的频率是多少?

a) 频率 = _____ Hz

b) 选做——将比例转换为分贝表示。写出计算过程。

在_____ Hz, 衰减为_____ dB。

5. 不通过计算, 说明为什么输出会随着频率增加而下降?

6. 将波特图显示改变为相位显示, 测量在上述确定频率下的相移(超前或滞后)。

a) 输出为 95%时, 相移 = _____ 度。

b) 输出为 70.7%时, 相移 = _____ 度。

c) 输出为 10%时, 相移 = _____ 度。

7. 双击打开示波器。观察波形。频率为 200Hz。

示波器测得的幅值为_____ V。

8. 双击函数发生器。将频率改变为 2000 Hz。

示波器测得的幅值为_____ V。

9. 将函数发生器的频率改变为 20 kHz。示波器测得的幅值是_____ V。

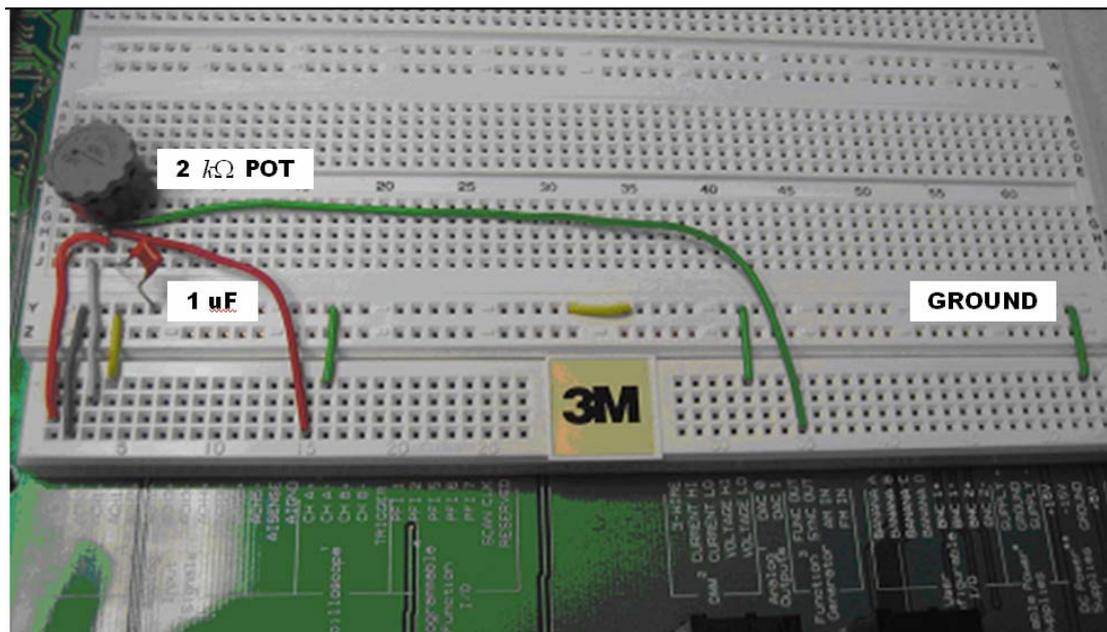
注意三个读数幅值是不同的。您是否预见到这一点呢? 请说明理由。

NI EVLIS 练习

开始

1. 打开文件 Scope3.ms10。

2. 按下图所示搭建电路。



问题

1. 运行仿真。将函数发生器设置为 100 Hz。调节电位器的数值，观察示波器。您观察到什么变化？解释原因。
2. 在 NI ELVIS 原型板上搭建电路。运行函数发生器和示波器。调节电位器并观察变化。解释实际数据与仿真数据中存在的任何差异。

实验指导 2—5：串联谐振电路滤波器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Filter1.ms10、Filter2.ms10、Filter3.ms10 或 Filter4.ms10。

问题

1. 双击打开波特图示波器窗口。
2. 设置波特图坐标轴为：
 - 垂直：线性， $F=1$ ， $I=0$
 - 水平：线性， $F=50$ kHz， $I=1$ kHz。
3. 滤波器响应是什么类型？圈出正确的选项：
 - 高通
 - 低通
 - 带通
 - 带阻
4. 测量响应曲线峰值处的谐振频率以及电压增益。
 $F_o =$ _____ kHz

电压增益 = _____
5. 测量电压增益下降至（大约）为峰值增益 70% 的频率（-3 dB）。
 f_1 （高于 F_o ）= _____ kHz

 f_2 （低于 F_o ）= _____ kHz
6. 这两个频率的差是多少（滤波器的带宽）？
带宽 = _____ kHz

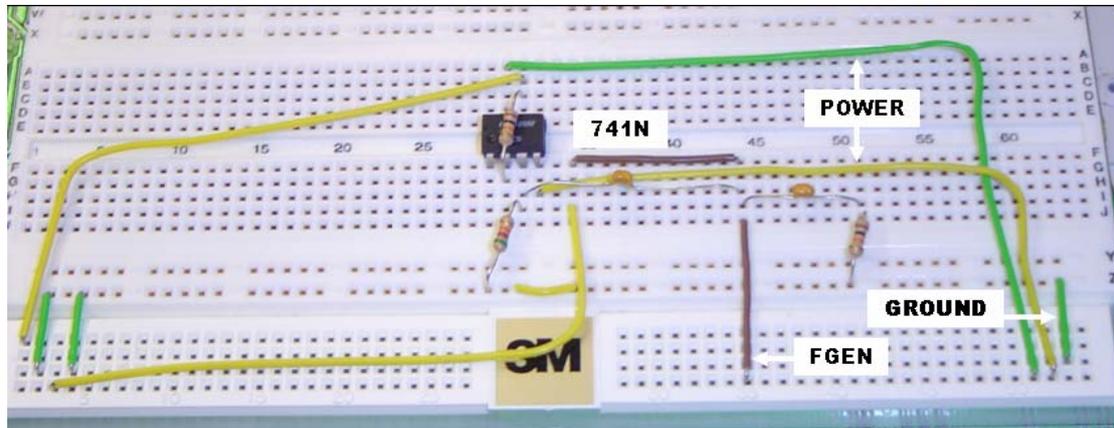
观察结论

1. 这些电路中，一般而言，谐振频率与带宽之间有什么关系？
2. 在带通和带阻电路中，这个比例与电压增益相比有什么关系？

NI ELVIS 练习

开始

1. 在您的 NI ELVIS 面包板上搭建电路 filter2.ms10。电路输入就是函数发生器的输出，电路的输出取自运算放大器的输出管脚。

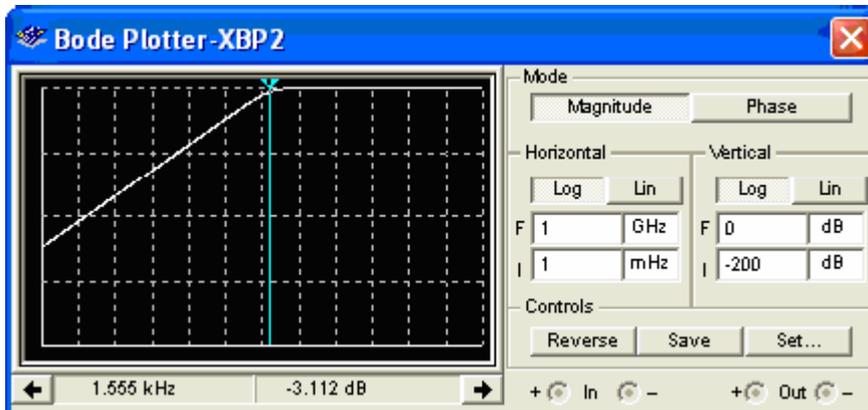


说明

- 您搭建了一个有源高通滤波器。这意味着高频信号能够无衰减地通过电路，而低频信号受到衰减。

问题

1. 在搭建电路之后，在 NI ELVIS 中运行波特图分析器。然后打开 filter2.ms10 并运行仿真。比较仿真得到的波特图分析与实际波特图分析器得到的结果。
2. 高通滤波器的截至频率是多少？
3. 如何改变电路使截至频率升高或降低？



第四章 晶体管

章节目录

本章包含以下内容：

- 双极型晶体管介绍
- 场效应管特性：漏极和跨导

本章实验指导

本章实验指导从实验指导 4-1：共基极电路开始。

- 实验指导 4-1：共基极电路
- 实验指导 4-2：发射极跟随器
- 实验指导 4-3：带有无旁路电阻的共发射极电路
- 实验指导 4-4：两级晶体管放大器
- 实验指导 4-5：测量结型场效应管特性
- 实验指导 4-6：结型场效应管动态特性的测量
- 实验指导 4-7：结型场效应管动态跨导测量
- 实验指导 4-8：双极型晶体管共发射极电路向导
- 实验指导 4-9：双极型晶体管两级电路向导

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
CommonBase	共基极电路特性探索。
CommonCollector	发射极跟随器电路特性及阻抗性质探索。
CommonEmitter	共发射极电路性质探索。
CommonEmitterTS,TSA,TSB	含有错误的共发射极电路。
FETCurve1	用描点法测量结型场效应管的漏极特性并作图。
FETCurve2	使用示波器动态显示结型场效应管的漏极特性曲线。
FETTransconductance	使用示波器动态显示结型场效应管的跨导曲线。
TwoStageAmplifier	两级晶体管放大器探索。研究增益、工作电压、最大无失真输出。使用 Multisim 的页外连接器特性，从而可以在各自单独的页面中研究电路各级。

双极型晶体管介绍

本章包含双极型晶体管（BJT）与场效应管（FET）的电路文件和实验指导。本章的重点是诸多电路的分析并与仿真结果进行比较。应鼓励学生们在电路各处进行测量。发射极带有无旁路电阻的共发射极电路供学生通过实验探索在增益和阻抗之间权衡。

两级放大器电路带有相关的实验指导，位于电路文件的说明框中，并可以打印。同样，还提供了一个含有错误的电路。

先修知识

学生应已掌握求解晶体管电路的方法，包括直流、交流分析以及阻抗特性。

备注

- 用提供的万用表测量相关的电压或电流。双击仪表显示其窗口。
- 双击直流电源，增加其电压。

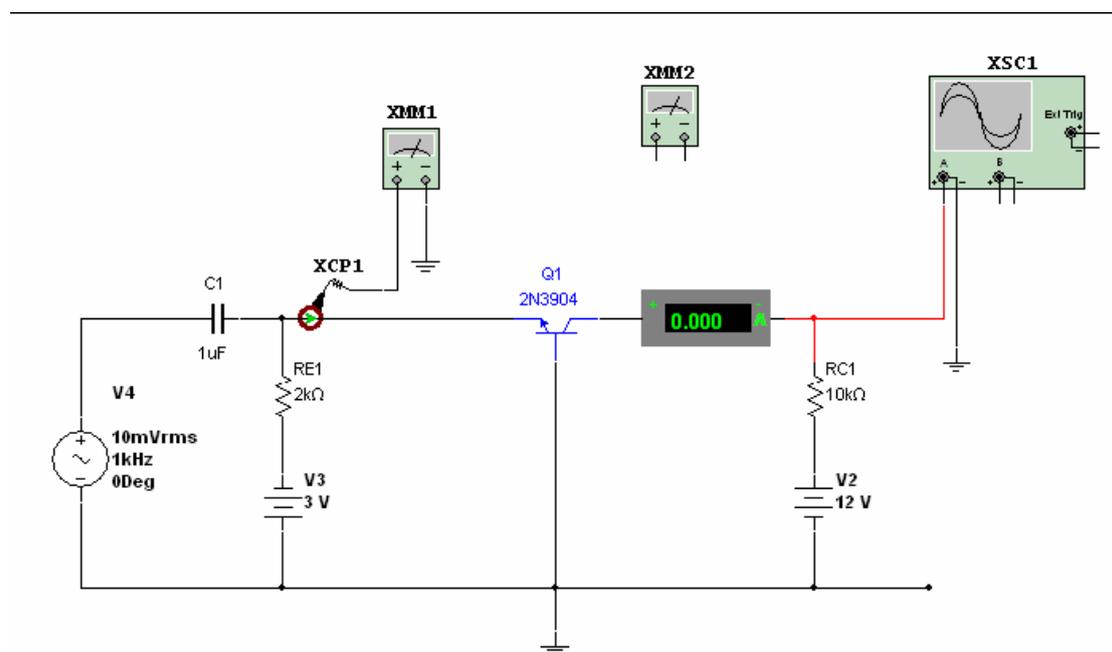


图 4-1：CommonBase.ms10

相关实验指导

- 实验指导 4-1：共基极电路
- 实验指导 4-2：发射极跟随器
- 实验指导 4-3：带有无旁路电阻的共发射极电路

● 实验指导 4-4: 两级晶体管放大器

思路扩展

1. 对两级放大器电路进行故障排除见第五章。
2. 文件 FETCurve1.ms10、FETCurve2.ms10 和 FETTransconductance.ms10 说明了如何使用 Multisim 绘制结型场效应管的特性曲线。
3. FETCurve1.ms10 说明了手动绘制（描点法）结型场效应管漏极特性曲线簇的方法。
4. FETCurve2.ms10 说明了使用示波器绘制漏极特性的动态曲线的方法。
5. FETTransconductance.ms10 说明了使用示波器绘制结型场效应管跨导动态曲线的方法。
6. 这三个文件中说明的原则可以扩展至几乎所有其他的有源元件。

场效应管特性：漏极和跨导

目标

提高对场效应管工作原理的理解。

先修知识

您需要以下电路文件：

- FETCurve1.ms10
- FETCurve2.ms10
- FETTransconductance.ms10

备注

在这些练习中，您可以替换为任何其他场效应管。您还可以在编辑模型窗口中修改场效应管的特性。

相关实验指导

- 实验指导 4-5：测量结型场效应管特性
- 实验指导 4-6：结型场效应管动态特性的测量
- 实验指导 4-7：结型场效应管动态跨导测量

附加挑战

有三个电路中含有错误，并用字母“TS”进行标记。在**选项/电路限制/常规标签**下，取消选中**隐藏元器件错误**复选框，并双击元器件和电源可以观察这些错误。如果您设置了密码，就可以在下发这些文件前，防止学生访问。说明框用于指导学生故障排除的过程。在本书的下一章中，进一步讨论了问题解决的逻辑。

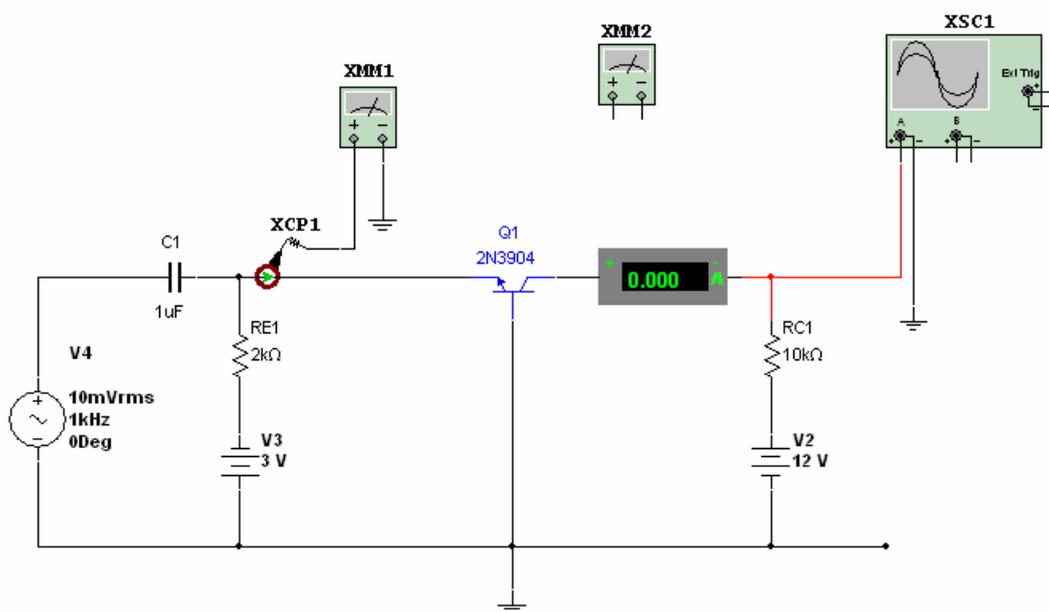
关于故障排除的电路是 CommonEmitterTS.ms10、CommonEmitterTSA.ms10 以及 CommonEmitterTSB.ms10。

实验指导 4-1：共基极电路

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 CommonBase.ms10。



说明

- 用提供的万用表测量相关的电压或电流。
- 双击直流电源，增加其电压。

问题

1. 计算 I_E (发射极电流)。
2. 利用 $\alpha = 0.95$ ，计算 I_C (集电极电流)。
3. 计算 R_C 和 V_{RC} 两端的电阻。

4. 计算 VC。

5. 运行仿真并使用万用表将结果与第一步至第四步的结果进行比较。

电流探针的功能如同一个模拟的夹钳式电流探针，它将通过导线的电流转换为探针的输出电压。在这个共基极电路中，探针的输出连接至万用表。使用的时候，将万用表设置为电压 V，利用 1 V/mA 的转换比例得到输出的安培读数。

IE =

IC =

VRC =

VC =

6. 观察输出波形。电压增益是多少？您预测电压的增益是多少？记住共基极电路配置通常是利用其较高的电压增益。

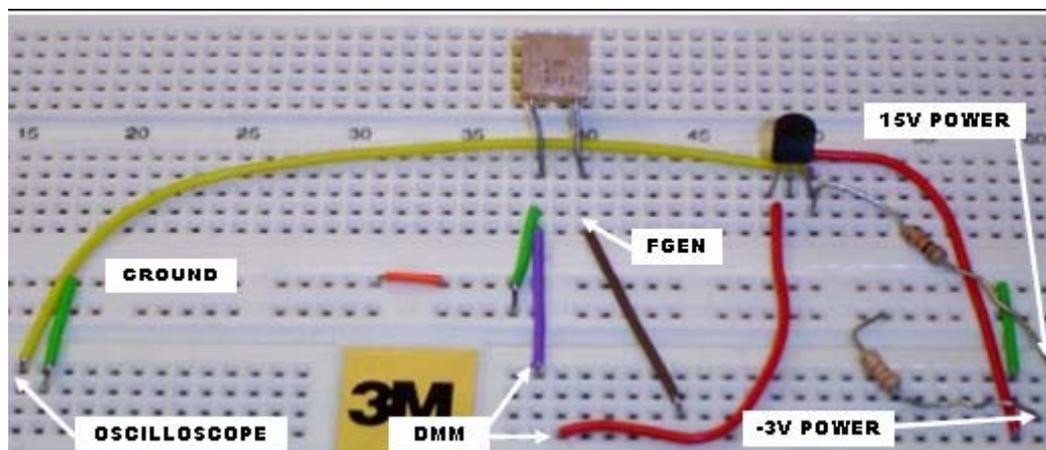
Av =

7. 计算最大无失真的电压放大倍数。将电路的输入电压改变为该电压，并运行仿真检查结果。

NI ELVIS 练习

开始

在 NI ELVIS 面包板上搭建 CommonBase.ms10 中的电路。如果您缺少某一个电阻、电容或是电压源，修改文件中的数值为您可用元器件的数值。例如，+12 V 电源可以替换为 +15 V 直流电源。-3 V 电源可以用可变电源提供，交流电源则用函数发生器提供。



说明

- 请确保使用 NI ELVIS DMM 的电流输入。您只能同时在电路中使用一个 DMM。

问题

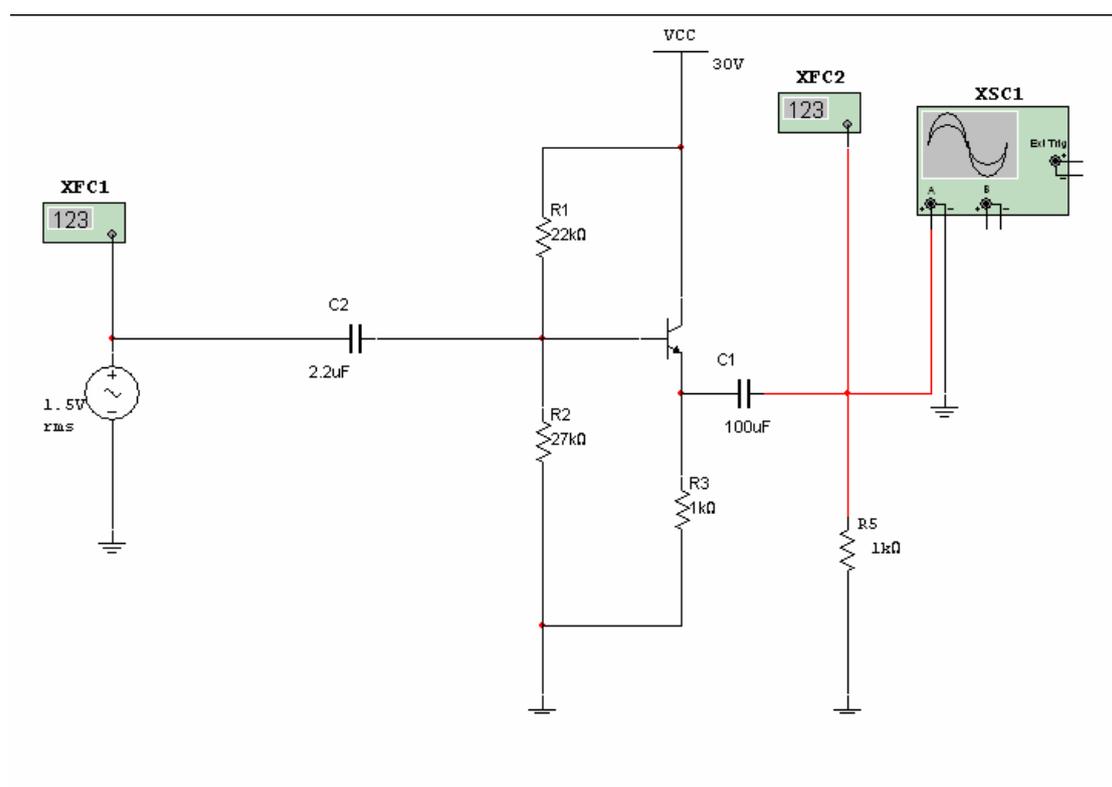
1. 您的仿真结果与使用 NI ELVIS 万用表和示波器的测量结果相比，是否吻合？

实验指导 4-2：发射极跟随器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 CommonCollector.ms10。



说明

- 用提供的万用表测量相关的电压或电流。
- 双击仪表打开其窗口
- 双击直流电源，增加其电压。

问题

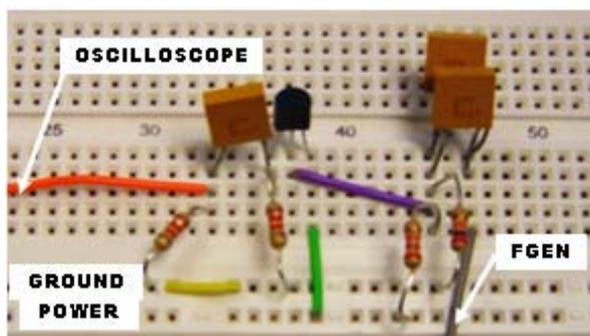
1. 您预测电路是放大还是衰减？
2. 这个电路体现了什么值得利用的特性？

3. 利用 $\beta = 100$ ，计算基极电流。
4. 计算发射极电流。
5. 计算发射极电压。
6. 双击打开输入的频率计数器，注意运行的频率。
您预测放大器输出频率会改变还是会保持不变？
使用输出频率计数器检查您的结果。
7. 计算 A_v 。
8. 运行仿真，并将您的结果与使用提供的万用表和示波器得到的仿真结果进行比较。

NI ELVIS 练习

开始

在您的 NI ELVIS 面包板上，搭建仿真过的 CommonCollector.ms10 电路，使用函数发生器作为交流电源。在 ELVIS 中，没有明确标出的频率计数器，但是示波器提供了频率测量。



说明

- 使用 NI ELVIS 函数发生器作为交流电源时，回忆 V_{rms} 和正弦波幅值之间的关系， $V_{\text{rms}} =$

$1/\sqrt{2}$ V。NI ELVIS函数发生器软件前面板使用幅值表示正弦波的强度，而Multisim电路则使用 V_{rms} 。

- 在图中，使用两个 $1 \mu\text{F}$ 电容作为 $2 \mu\text{F}$ 电容使用。

问题

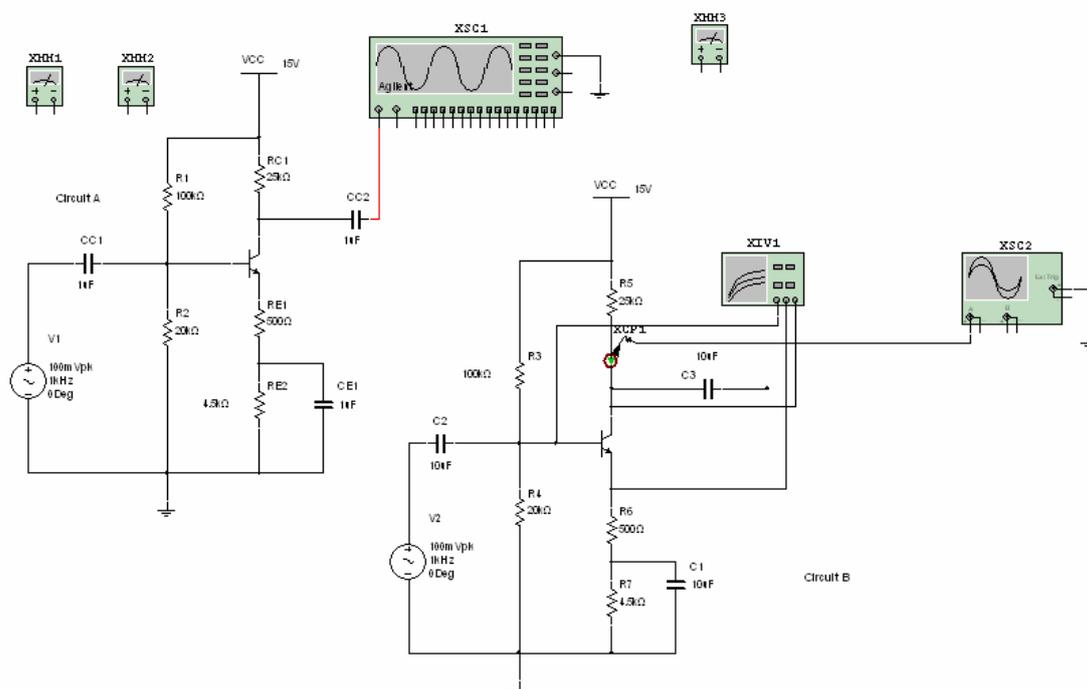
1. 运行仿真电路，将示波器测量结果与 NI ELVIS 示波器测量结果进行比较。分别对频率与幅值进行比较的结果怎样？

实验指导 4—3：带有无旁路电阻的共发射极电路

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

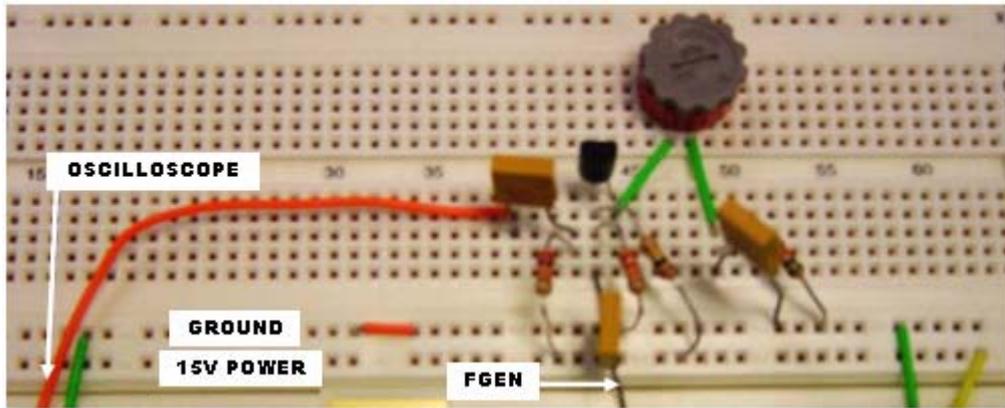
开始

打开文件 CommonEmitter.ms10。



问题

1. 在电路 A 中，利用 $\beta = 100$ ，计算 VC。
2. 计算电压增益 A_v 。
3. 计算无失真最大输入电压。
4. 运行仿真检查结果。



问题

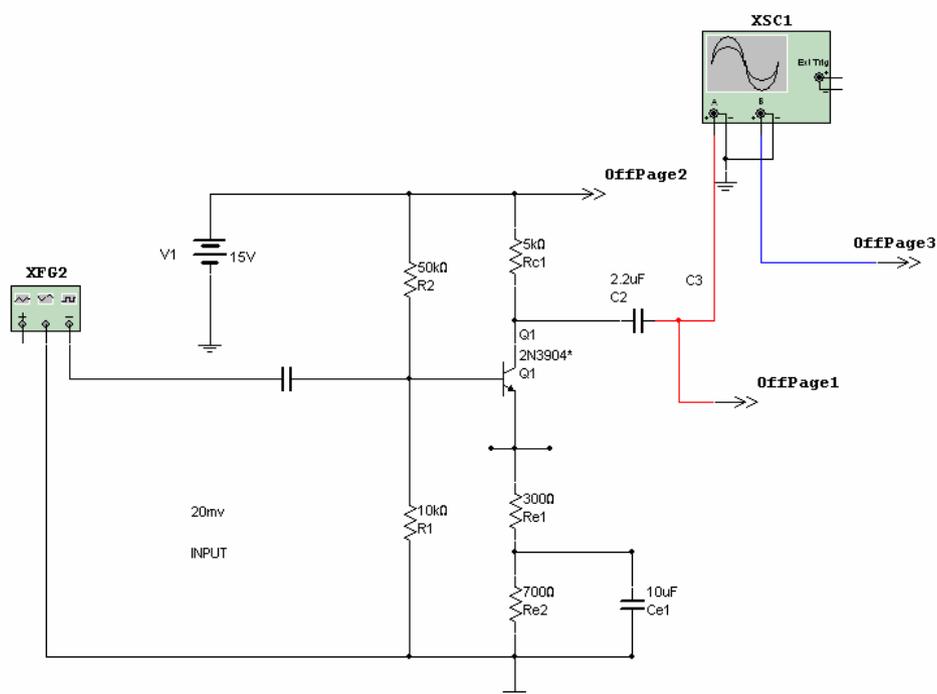
1. 运行仿真，改变电位器的电阻值。使用示波器观察先前短接电阻 R_{E1} 时观察到的饱和现象。在 NI ELVIS 上，搭建同样电路。在改变电位器的同时，使用 NI ELVIS 示波器观察输出。将仿真结果与实际结果进行比较。
2. 您是否发现了发射极无旁路电阻数值与电压增益之间的关系？这个关系与上述第八个问题中找到的关系吻合吗？

实验指导 4-4：两级晶体管放大器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 TwoStageAmplifier.ms10。



有两个文件被打开。第一个文件包含第一级电路以及说明框中的一些问题，第二个文件包含第二级电路。使用页外连接器连接两级电路。

说明

本练习利用更复杂的电路说明了如何使用“三步”学习方法。它强调了综合理论、软件仿真和“实际”结果的重要性，实际结果会包含由于理论与带有误差的实际元器件导致的差异。

学生应该具有全面分析多级晶体管放大器电路的背景知识，包括直流偏置、交流输入阻抗以及电压增益（可能还包括频率响应）。

第五章中重新出现了引入错误的本电路，以便在仅仅借助理论不足以解决问题时，提供更深入的故障排除的实际训练。

问题

测量放大器电路的以下工作特性。标出进行过哪些测量并写出所有计算过程。电路中包含与这些步骤类似的实验指导。

1. 确定 20 mV_(峰-峰) 输入的输出电压。
 $V_{\text{out}} = V_{\text{(峰-峰)}}$ 或 $V_{\text{(RMS)}}$
2. 测量放大器的电压增益。
表示为比例：电压增益 =
表示为分贝标记：
电压增益 =
3. 输出开始出现失真（截波）时的输入幅值是多少？
4. 找出无失真的最大允许输入。
5. 测量并记录电路中各个位置所有的直流和交流电压。您可以记录在纸上、说明框中、或是使用**放置/文本**命令直接记录在电路中。
6. 打开电路 B 的伏安分析器。运行仿真。您能观察到什么？

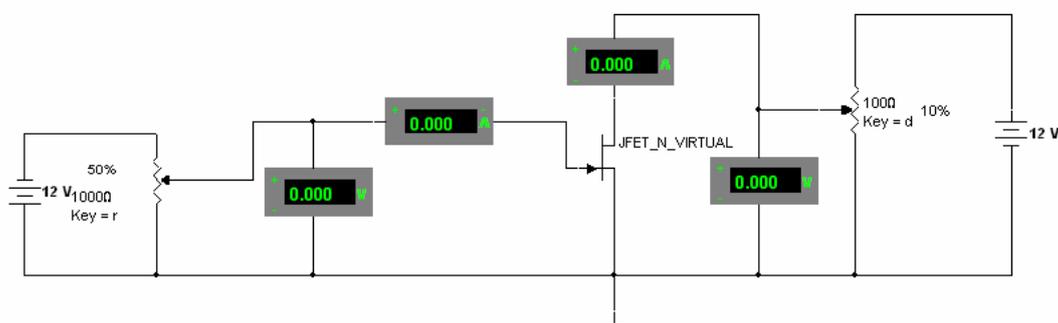
说明：您可以在第五章中，使用这些读数对电路进行故障排除。

实验指导 4—5：测量结型场效应管特性

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 FETCurve1.ms10。



说明

电路中两个电位器的作用是方便调节栅极偏置电压 V_{gs} 和漏极与源极间电压 V_{ds} 。

- 按下 R 键增加栅极与源极偏置（相反的方向），按下 SHIFT-R 键减小 V_{gs} 至 0。您还可以将鼠标悬停在电位器上方，然后拖动现出的滑杆。
- 按下 D 键减小 V_{ds} ，SHIFT-D 键增加它。
- 使用电位器设置可能无法得到精确的电压调节。几毫伏不会对结果造成显著影响。

问题

1. 绘制漏极特性曲线：
 - a) $I_{dss} =$ _____ mA
 - b) 注意栅极电流 I_g 。 $I_g =$ _____
其大小不可忽略还是可以近似为零？
2. 设置 V_{gs} 为 0 V、 V_{ds} 为 12 V，测量漏极电流。讨论会导致选择场效应管而不是双极型晶体管的特性。讨论带有无旁路电阻的共发射极电路，以及发射极跟随器的配置。
3. 对于下表中每一个 V_{gs} 数值，将 V_{ds} 设置为置顶数值，测量并记录漏极电流 I_d 。

$V_{gs} = -6$

Vds	1.0 V	2.0 V	3.0 V	5.0 V	9.0 V	12.0 V
Id						

$$V_{gs} = -4$$

Vds	1.0 V	2.0 V	3.0 V	5.0 V	9.0 V	12.0 V
Id						

$$V_{gs} = -2$$

Vds	1.0 V	2.0 V	3.0 V	5.0 V	9.0 V	12.0 V
Id						

$$V_{gs} = -1$$

Vds	1.0 V	2.0 V	3.0 V	5.0 V	9.0 V	12.0 V
Id						

$$V_{gs} = 0$$

Vds	1.0 V	2.0 V	3.0 V	5.0 V	9.0 V	12.0 V
Id						

4. 在合适的线性轴的图表纸上绘制结果图象，参照教科书中的相应曲线，就您所得到的曲线进行讨论。

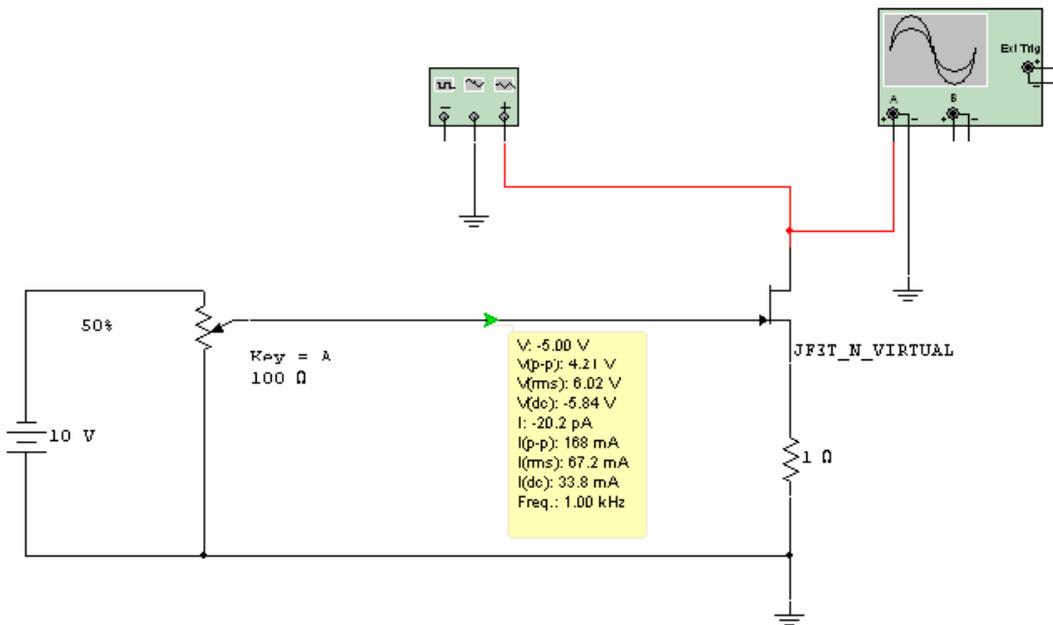
5. 根据测量结果，绘制这个结型场效应管的跨导曲线。

实验指导 4—6：结型场效应管动态特性的测量

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 FETCurve2.ms10。



说明

- 使用电位器可以改变栅极偏置电压 V_{gs} 。按下 R 键增加栅极相对源极的偏置（相反的方向），按下 SHIFT-R 将 V_{gs} 减小至 0 V。您还可以将鼠标悬停在电位器上方，拖动随之出现的滑杆。
- 使用电位器设置可能无法得到精确的电压调节。几毫伏不会对结果造成显著影响。
- 绘制曲线时，横轴是加在漏极的电压，而纵轴是漏极电流，通过施加在 1 欧姆电阻两端的电压测量。（电流灵敏度是对于 1 欧姆电阻两端每 1 毫伏得到 1 毫安电流。）由每一个 V_{gs} 的取值绘制出曲线。

问题

1. 绘制漏极动态特性曲线：
 - a) 将 V_{gs} 设置为零， V_{ds} 设置为 12 V。观察这个 V_{gs} 数值下的漏极特性曲线。与教科书中的经典特性曲线或文件 FETCurve1.ms10 绘制得到的结果曲线相比，讨论这种情况下特性曲线的形状。

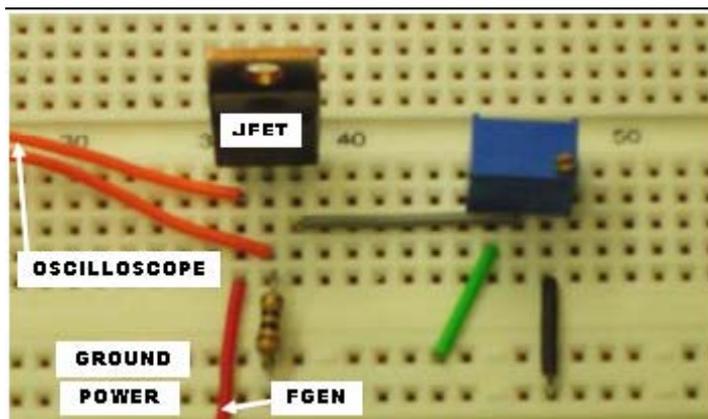
- b) 改变 V_{gs} 并重复测量。如果您已经在 FETCurve1.ms10 中进行过测量，将本实验的动态特性曲线上的对应点与过去绘制的曲线进行比较。

2. 根据实验结果完成一个简要的实验报告。

NI ELVIS 练习

开始

在您的 NI ELVIS 面包板上，搭建 FETCurve2.ms10 电路。电路的输入使用可变电源和函数发生器。输出连接到示波器的两个通道上。



说明

- NI ELVIS 函数发生器可提供最大 2.5 V_{pp} 电压。

问题

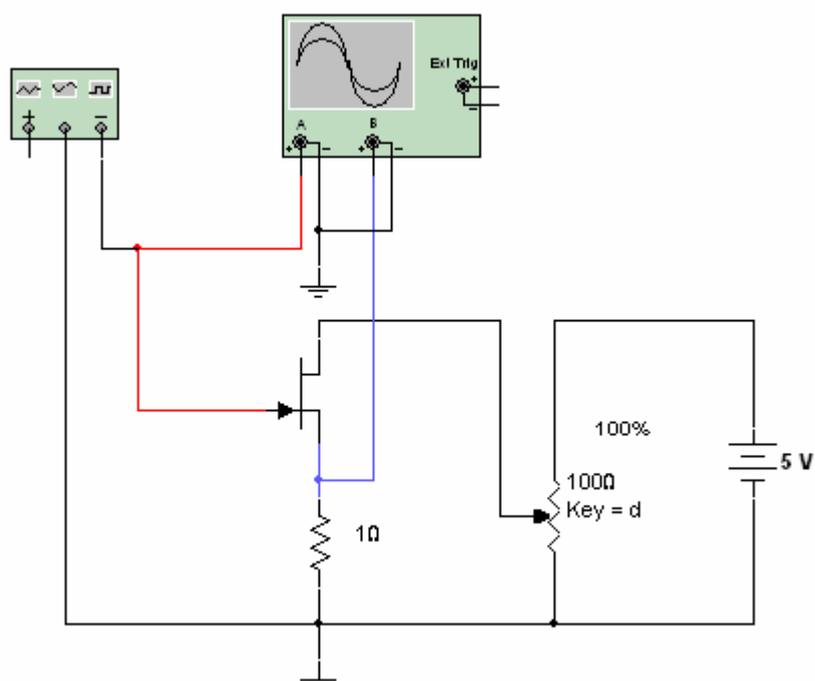
1. 在观察 NI ELVIS 示波器的两个通道时，使用电位器改变 V_{gs} 。描述您观察到的结果与仿真结果相比有什么不同。
2. 使用 NI ELVIS 的双线电流电压分析器绘制漏极特性曲线。要完成这个测量，您需要将电路断开示波器和函数发生器。将晶体管的漏极与 DMM 的电流 i_i 输入相连接，将晶体管的源极与电流 i_o 相连接。要了解更多关于连接方法的信息，请参阅 NI ELVIS 帮助。将结果与 Multisim 绘制的曲线进行比较。

实验指导 4-7：结型场效应管动态跨导测量

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 FETTransductance.ms10。



说明

- 使用电位器可以改变漏极源极偏置电压 V_{ds} 。按下 D 键增加栅极相对源极的偏置（相反的方向），按下 SHIFT-D 将 V_{ds} 减小至 0 V。您还可以将鼠标悬停在电位器上方，拖动随之出现的滑杆。
- 使用电位器设置可能无法得到精确的电压调节。几毫伏不会对结果造成显著影响。
- 绘制曲线时，横轴是加在栅极的电压 (V_{gs})，而纵轴是漏极电流，通过施加在 1 欧姆电阻两端的电压测量。（电流灵敏度是对于 1 欧姆电阻两端每 1 毫伏得到 1 毫安电流。）由每一个 V_{ds} 的取值绘制出曲线。

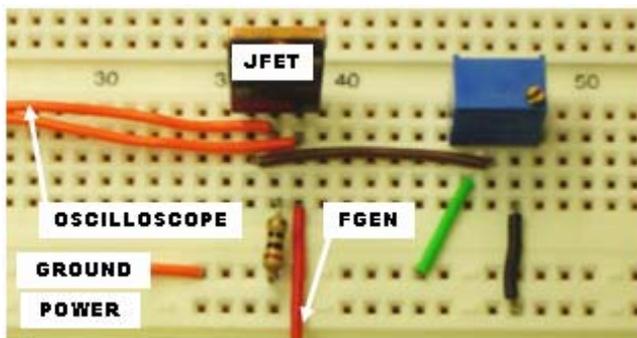
问题

1. 绘制动态跨导特性曲线：
 - a) 将 V_{ds} 设置为 12 V。观察这个 V_{ds} 数值下的跨导特性曲线。与教科书中的经典特性曲线或文件 FETCurve1.ms10 绘制得到的结果曲线相比，讨论这种情况下特性曲线的形状。
 - b) 将这条曲线中 I_{dss} 的取值与文件 FETCurve1.ms10 或 FETCurve2.ms10 得到的值相比较，讨论其不同。
 - c) 改变 V_{ds} 并重复测量。如果您已经在 FETCurve1.ms10 中进行过测量，将本实验的动态特性曲线上的对应点与过去绘制的曲线进行比较。
2. 根据实验结果完成一个简要的实验报告。

NI ELVIS 练习

开始

打开 FETTransductance.ms10，在您的 NI ELVIS 面包板上搭建电路。用函数发生器和可变电源作为电路输入，并使用示波器的两个通道比较函数发生器输入与漏极电流。



问题

1. 观察 NI ELVIS 示波器的两个通道，使用电位器改变 V_{ds} 的数值。描述您的观察结果与仿真结果比较的结果。
2. 使用 NI ELVIS 的双线电流电压分析器绘制漏极特性曲线。要完成这个测量，您需要将电路断开示波器和函数发生器。将晶体管的漏极与 DMM 的电流 hi 输入相连接，将晶

体管的源极与电流 I_o 相连接。要了解更多关于连接方法的信息, 请参阅 NI ELVIS 帮助。
将结果与 Multisim 绘制的曲线进行比较。

实验指导 4—8：双极型晶体管共发射极电路向导

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 BJT CE Wizard.ms10。

问题

1. 选择工具/电路向导/共发射极双极性晶体管放大器向导。搭建一个单级放大器电路，使其增益为 125、 $V_{CC}=10$ 伏特、1 kHz 输入频率。检查电路参数并搭建电路。
2. 按照实际元器件调整电路各个数值，并保持电路增益在 125 上下 10% 范围内。双击每一个元器件可以改变其数值。
3. 讨论您放大器设计的缺点和优点。
4. 计算无失真允许的最大输入电压。

实验指导 4—9：双极型晶体管两级电路向导

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 BJT 2 Stage Wizard.ms10。

问题

1. 选择工具/电路向导/共发射极双极性晶体管放大器向导。搭建一个两级放大器电路，使其 $V_{CC}=15$ 伏特、1 kHz 输入频率。每个放大器的增益应为 100。使用 $\beta = 125$ 。检查您的电路参数并搭建每个电路。
2. 按照实际元器件调整电路各个数值，并保持电路增益在需要增益的上下 10% 范围内。双击每一个元器件可以改变其数值。
3. 讨论您放大器设计的缺点和优点。
4. 计算无失真允许的最大输入电压。
5. 重新计算无失真允许的最大输入电压。
6. 为什么需要在共发射极电路设计中加入无旁路电阻？这个电阻的加入是怎样影响电路的？

第五章 故障排除与问题解决

章节目录

本章包含以下内容：

- 仿真环境下的实际挑战
- 故障排除任务
- 问题：用知识来思考
- 问题解决技巧
- 连接问题解决与设计的桥梁

本章故障排除任务及实验指导

本章实验指导从故障排除任务 5-1：串联电阻开始。

- 故障排除任务 5-1：串联电阻
- 故障排除任务 5-2：直流电路 2
- 故障排除任务 5-3：直流电路 3
- 故障排除任务 5-4：NPN分压器偏置
- 故障排除任务 5-5：NPN部分旁路发射极电路
- 故障排除任务 5-6：共基极电路配置
- 故障排除任务 5-7：两级放大器电路故障排除
- 故障排除任务 5-8：黑盒问题 1、2

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
CommonBaseTS	排除晶体管设置故障，以确定其所处的工作区域。
Puzzle1-6	黑盒问题。通过测量确定黑盒中的元器件。
SeriesParallel2	串并联电路故障排除。
SeriesParallel3	串并联电路故障排除。
TroubleShooting1	使用欧姆表排除串联电路故障。
TroubleShooting2	晶体管分压器偏置问题。
TroubleShooting3	晶体管放大器问题。
TroubleShooting4	两级晶体管放大器（分压器偏置、部分旁路的共发射极电路）
寻找错误练习文件：	
GateFaults	独立集成电路门错误。
GateFaults2	集成电路错误。

仿真环境下的实际挑战

学生们在进入电子学的第一年学习时，需要面对许多挑战。他们必须有足够的数学技巧，以使用对于他们而言，可能还相对陌生的概念。他们必须学会电子学的理论知识，同时还要熟悉各种相关的仪器。

学生通常通过他们自己遇到的错误开始了解故障排除。这通常使他们很困惑，尤其如果他们还没有完全消化相关的基础理论。大量的时间常常都花在介绍各种概念以及处理损坏的元器件和仪器上，而实际上故障排除概念的介绍却十分简洁明了。这点对于学生和教师来书都令人沮丧。

使用 **Multisim** 教授故障排除概念是完美的解决方案。您可以使用 **Multisim** 创建电路，使它包含您自己定义的错误或是在程序中提供的错误。使用 **Multisim** 提供的错误，您可以通过设置密码防止学生直接访问它们。

通过创建并锁定子电路也可以隐藏错误。您可以使用说明框指导学生隔离错误。这样学生就可以使用提供的元器件和电源修正错误。

使用动态测量探针可以快速测量电压电平。**Multisim** 的电子表格特性允许学生观察到所有元器件的所有选定特性。学生还可以在电子表格中操作所有这些特性。

最后，您就会发现学生们开始培养起一种逻辑思维过程。故障排除不仅仅是学生教育的重要部分之一，在学生们不断学习理论知识的同时，故障排除部分的技巧使学生们对理解电子学原理获得了信心。

在介绍部分之后是几个故障排除练习，作为开始的练习。它们中大多数是由 **Electronics Workbench Corporation** 出版的《**Troubleshooting with Electronics Workbench**》一书中的电路，直接选取或稍加修改而成的电路。这些文件的密码已经被清除，您可以查看这些电路中包含的错误。但是在将这些文件给学生使用之前，您应该加上您自己的密码。

故障排除任务

目标

增加学生对电路进行故障排除的经验。

先修知识

您需要以下文件：

- TroubleShooting1.ms10 — TroubleShooting4.ms10
- SeriesParallel2.ms10
- SeriesParallel3.ms10
- CommonbaseTS.ms10。

学生应已：

- 基本熟悉基本串并联电路、晶体管特性以及电压放大器
- 基本熟悉电抗电路特性。

相关故障排除任务

- 故障排除任务 5-1：串联电阻
- 故障排除任务 5-2：直流电路 2
- 故障排除任务 5-3：直流电路 3
- 故障排除任务 5-4：NPN 分压器偏置
- 故障排除任务 5-5：NPN 部分旁路发射极电路
- 故障排除任务 5-6：共基极电路配置
- 故障排除任务 5-7：两级放大器电路故障排除

问题：用知识来思考

用最佳方式解决问题

教授电子学为了增强一些电子学概念，通常需要引入教科书中的问题。许多情况下，它们会强调“复杂计算”或是按照教科书中的固定步骤以及一些实验步骤进行。Multisim 给予教师更多的灵活性。

使用 Multisim，您给出了一些问题，用于提高学生解释由电路（或仪器）得到读数或数值的能力，通过这些数值并不能直接得到完整信息。解释黑盒行为要求学生选择并聪明地调整及测试仪器、解释读数、应用基本理论，最重要的是进行各种思考和问题解决。

与故障排除练习一样，这些可能会包括在教师的审查下，设置密码限制对一些部件或模型的访问。我们已经移除了这些文件的密码，使您能够直接了解黑盒内的情况。然后，在让学生使用之前，您需要给这些电路文件加入您自己的密码。单击**选项/电路限制**下的密码按钮就可以完成这个设置。

您可以通过创建与锁定子电路制作出新的问题。如果原始文件经过保护放在网络上，使用这些黑盒问题是有利的。学生可以将原始文件复制到他们的软盘上、解答问题、将他们的解答写入说明框中、再将软盘返还给教师评价。或者，他们可以将解答文件复制到另一个目录供以后参考。

随着学生们对解答黑盒问题越来越有信息，可以给出仅仅使用已知信息或仪器，无法解答的问题。当学生有信心告诉您这个问题无解时，概念得到了进一步巩固。

示例问题

六个示例性的黑盒问题位于电路文件 **Puzzle1.ms10** 至 **Puzzle6.ms10** 中。在电路的后续页或文件的说明框中包含提示、示例实验指导以及解答问题的推荐方法。

问题解决技巧

目标

练习问题解决技巧以及针对问题的思考方法。

先修知识

您需要电路文件 `Puzzle1.ms10` 和 `Puzzle2.ms10`。

学生需要熟悉交流状态下 RC、RL 和 RLC 电路的行为，包括幅值响应以及随着频率变化发生的相移。

备注

这里的每个黑盒都是一个子电路（在前文叙述过），作为一个独立的元器件工作。在 `Puzzle1.ms10` 中，黑盒的行为类似一个电容；在 `Puzzle2.ms10` 中，黑盒的行为类似一个电感。

步骤

1. 打开文件 `Puzzle1.ms10` 或 `Puzzle2.ms10`。

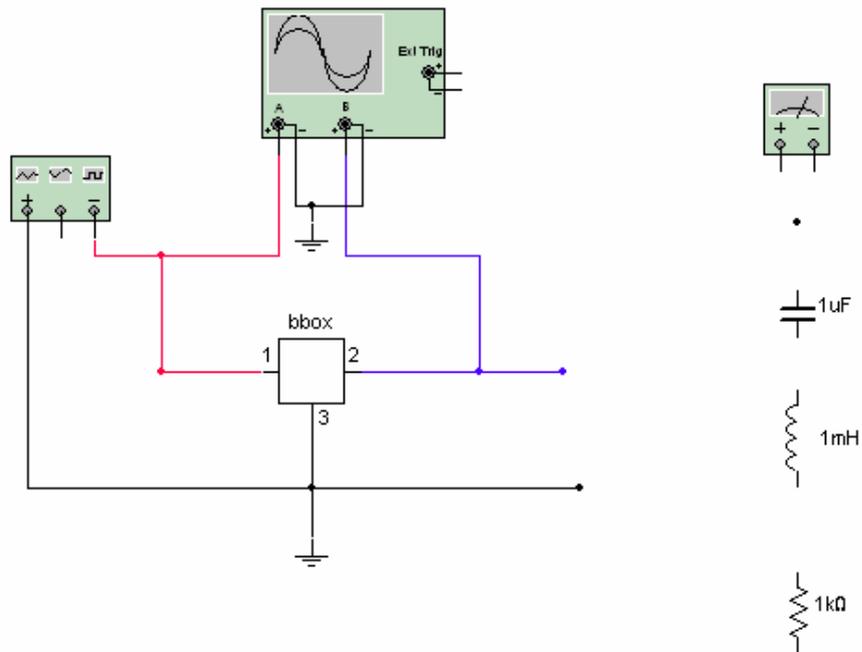


图 5-1: `Puzzle1.ms10`

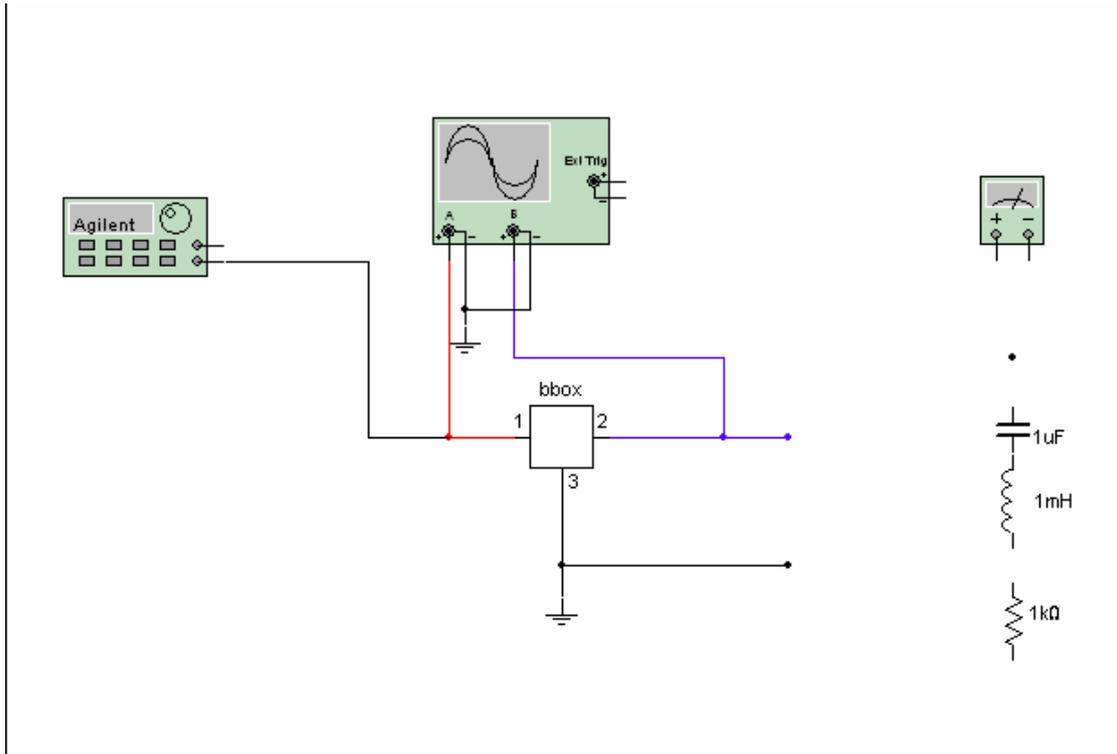


图 5-2: Puzzle2.ms10

2. 以班级为单位，对能够采用的问题解决方法进行讨论。这里的目标是得到一个与文件中“黑盒问题”实验指导中推荐的相似方法。
3. 实验指导的设计适用于两个问题单独使用或一起使用。如果您得到了一个足够接近的问题解决方法，那么可以将其中一个黑盒问题布置给学生解答。将实验指导印发，指导他们完成实验指导解答问题。

相关实验指导

- 故障排除任务 5-8: 黑盒问题 1、2

连接问题解决与设计的桥梁

目标

练习问题解决技巧以及针对问题的思考方法。

先修知识

您需要电路文件 Puzzle3.ms10 至 Puzzle6.ms10。

学生应该了解如何使用函数发生器和电压表，包括选择电压表的直流或交流功能。

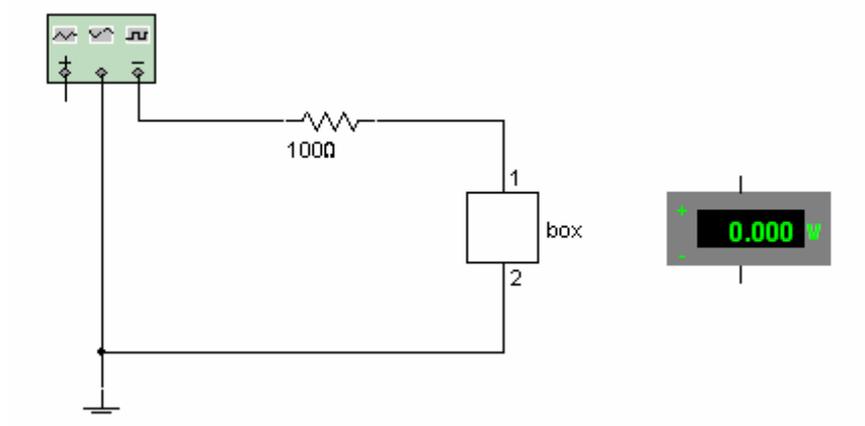


图 5-3: Puzzle3.ms10

思路扩展

在剩下的三个问题中，学生已知黑盒中的元器件，但是不知道其构造。问题要求他们确定电路构造，并且使用提供的元器件搭建电路，使得其行为与黑盒的行为相同。学生们可以将问题保存至软盘，并将它提交给教师进行评价。

建议您关闭 Puzzle4 至 Puzzle6 的元器件访问（参照选项/电路限制/工具栏）。这样，学生们就只能使用提供在“面包板”上的元器件。以下是这三个问题。

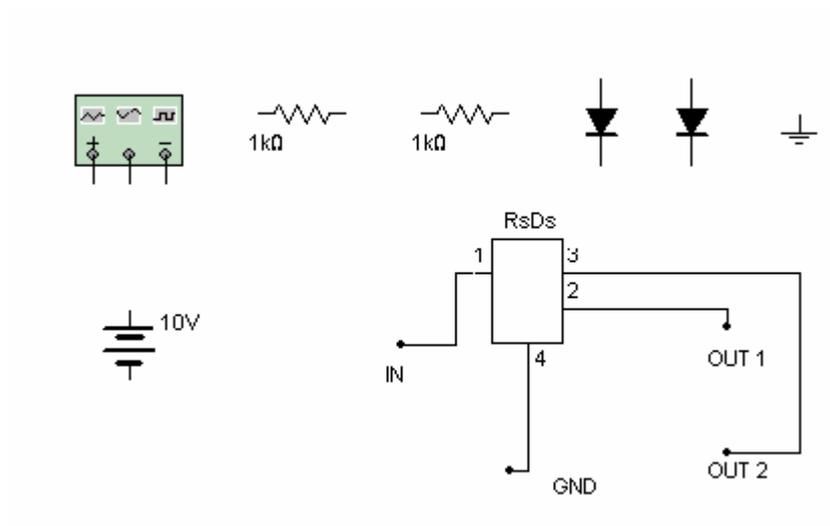


图 5-4: Puzzle4.ms10

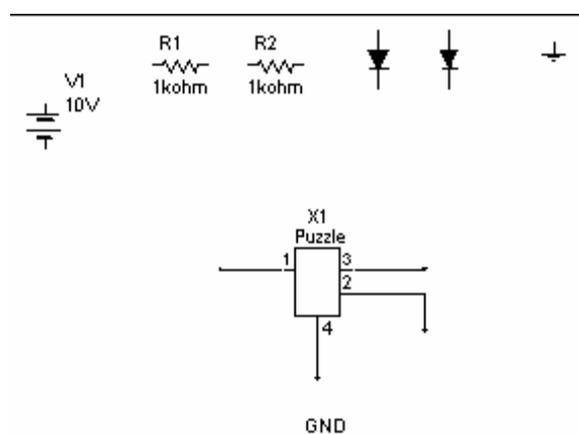


图 5-5: Puzzle5.ms10

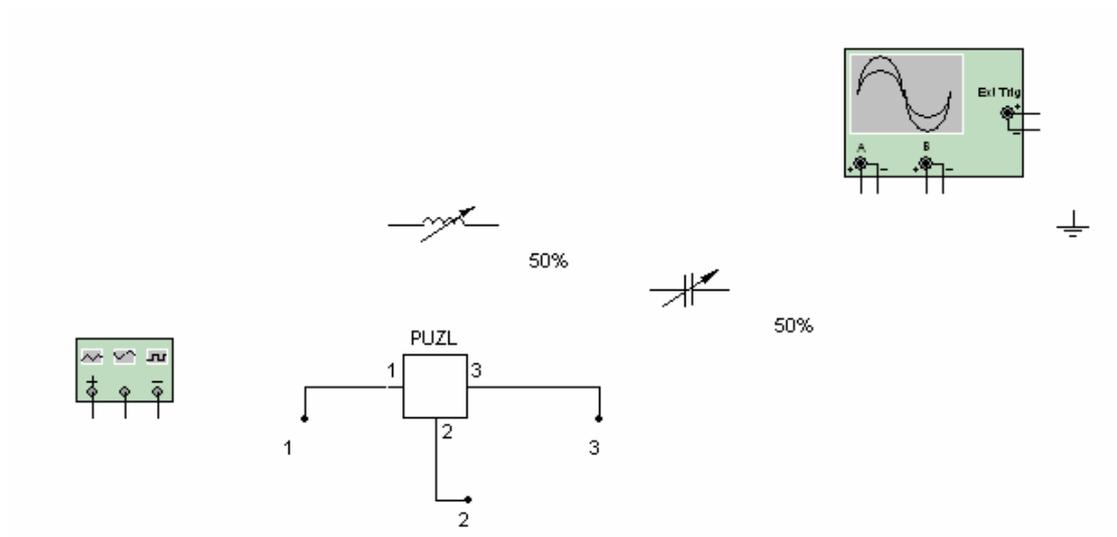


图 5-6: Puzzle6.ms10

参考文献

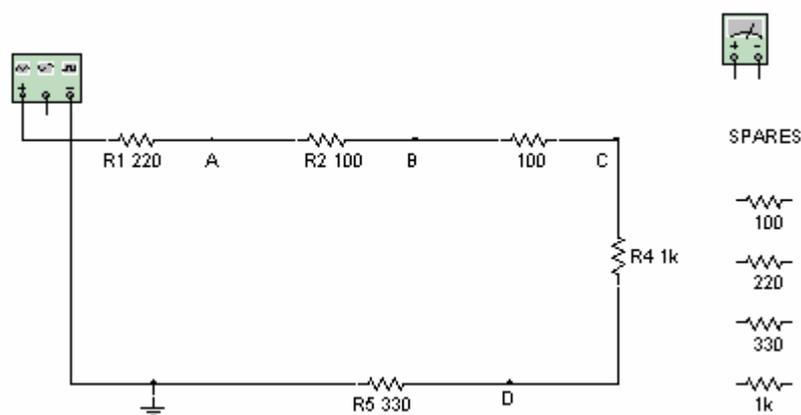
主题	参考文献
示波器	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
说明框	Multisim 用户手册：第二章《使用原理图—基础》
密码	Multisim 教师手册：第一章《教师指导》
限制	Multisim 教师手册：第一章《教师指导》

故障排除任务 5—1：串联电阻

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 TroubleShooting1.ms10。



说明

总电阻 $R_T = 1.75 \text{ k}\Omega$ （正常工作）。

建议

- 测量总串联电阻
- 将测得的 R_T 与正确数值进行比较
- 是否能够立即确定错误所在呢？也就是说，两者的差是否等于原理图中所示电阻数值之一呢？如果是的话，检查那个可疑的电阻（或是多个电阻，可能有几个电阻都有相同的数值。）
- 如果错误不够明显，逐个检查电阻
- 将出错的电阻用提供的备用元件更换，检查电路电阻是否正常。

说明：在这个报告中，并不一定需要测量所有的数值。较好的故障排除步骤意味着您只要进行必要的测量就可以找到问题。完成这点之后，使用提供的备用元件替换出错元件，再检查电路是否正常工作即可。

故障排除报告

1. 初始问题表现：

2. 用于隔离错误进行的测量:

R1 =

R2 =

R3 =

R4 =

R5 =

出错电阻是

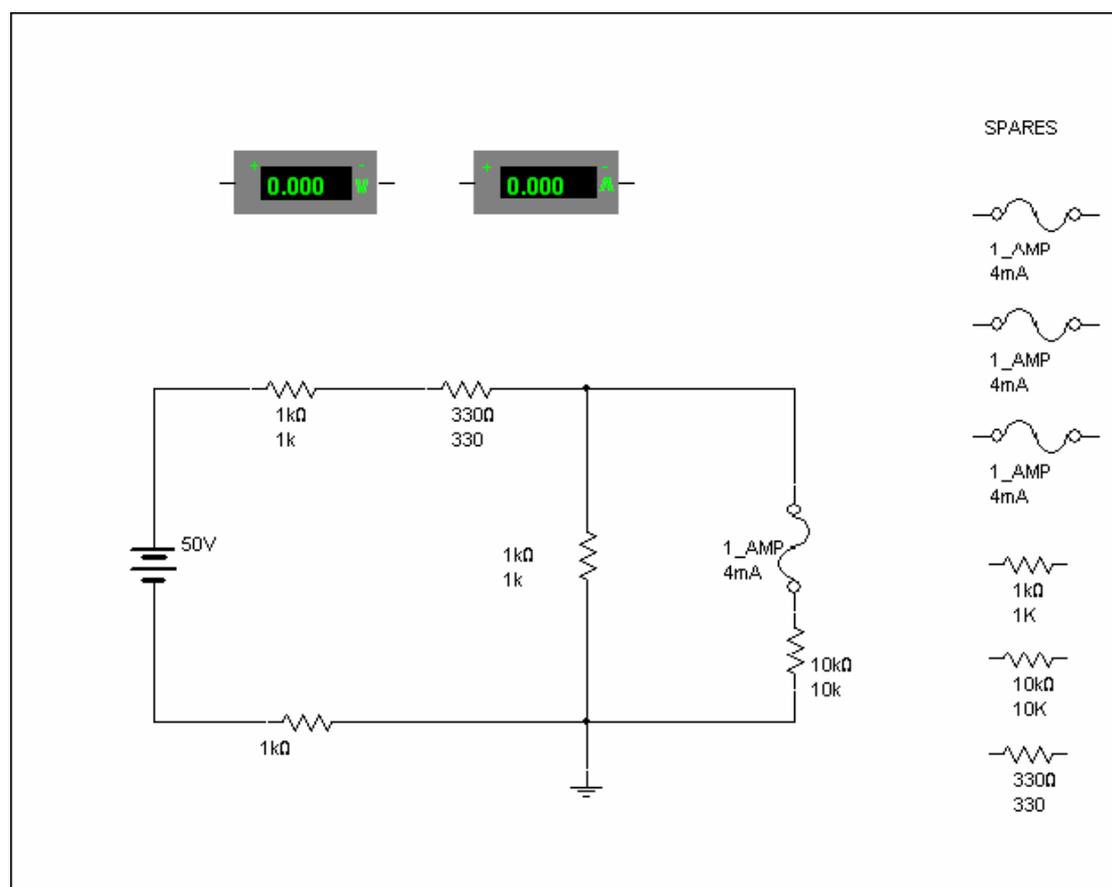
修复结果 R_T

故障排除任务 5—2：直流电路 2

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 SeriesParallel2.ms10。



问题

1. 求解电路。（使用电源开关。）
2. 描述问题。
3. 描述可能导致所观察到问题的错误可能性。

4. 更换可以元件，求解电路，检查电路是否正常工作。
提示：您只有三个备用保险丝。结果如何？

5. 继续排除电路故障。简要叙述步骤和结果。

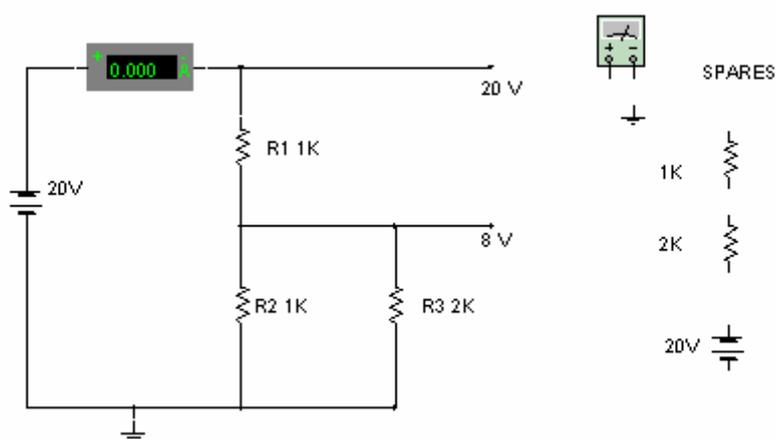
6. 解决方法是什么？

故障排除任务 5—3：直流电路 3

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 SeriesParallel3.ms10。



说明

- 电路正常工作时的电压和电流如服务手册中标出。
- 提供的一些备用元件用于替换出错元件，之后按照“服务手册”中标出的正确数值检查电路工作是否正常。
- 问题可能是电路开路、电路短路或是数值出错。

问题

1. 启动电路检查工作时的电压和电流。用尽可能少的测量分析结果隔离错误。不要随意更换元件。
描述您的方法，包括测量以及下一步测量的理由。
 - a)
 - b)
 - c)
 - d)
 - e)

- f)
- g)
- 2. 说明结果。

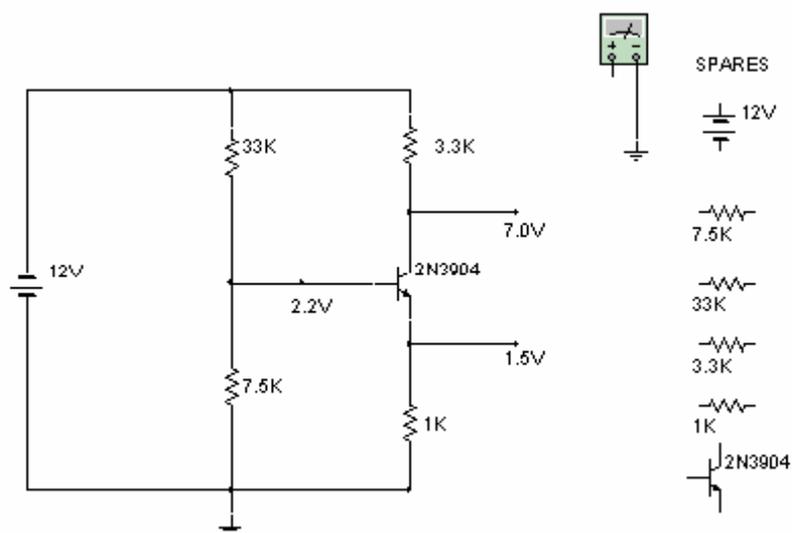
- 3. 更换出错元件，检查电路工作是否正常。

故障排除任务 5-4: NPN 分压器偏置

姓名: _____ 编号: _____ 班级: _____

开始

打开文件 TroubleShooting2.ms10。



说明

- 较好的故障排除步骤要求在每步测量之后进行思考
- 记住: *并非*以下提供的所有测量都是必要的。

问题

1. 说明用于找出本电路问题的步骤。直流测量:

$$V_{CC} =$$

$$V_C =$$

$$V_B =$$

$$V_E =$$

$$V_{CE} =$$

$$V_{BE} =$$

2. 哪个测量能够指出出错元件? 解释理由。

3. 下一步该如何进行？

结果：

4. 因此可以得出出错元件是：

5. 替换出错元件，检查电路工作是否正常。修复结果是否令人满意？

6. 有几个测量是必要的？

$$V_C =$$

$$V_{E1} =$$

$$V_{BE} =$$

$$V_B =$$

$$V_{E2} =$$

$$V_{CE} =$$

2. (如果明显) 可能的问题是:

3. 下一步测量是:

结果:

4. (如果必要) 进行更多测量。

5. 出错元件是:

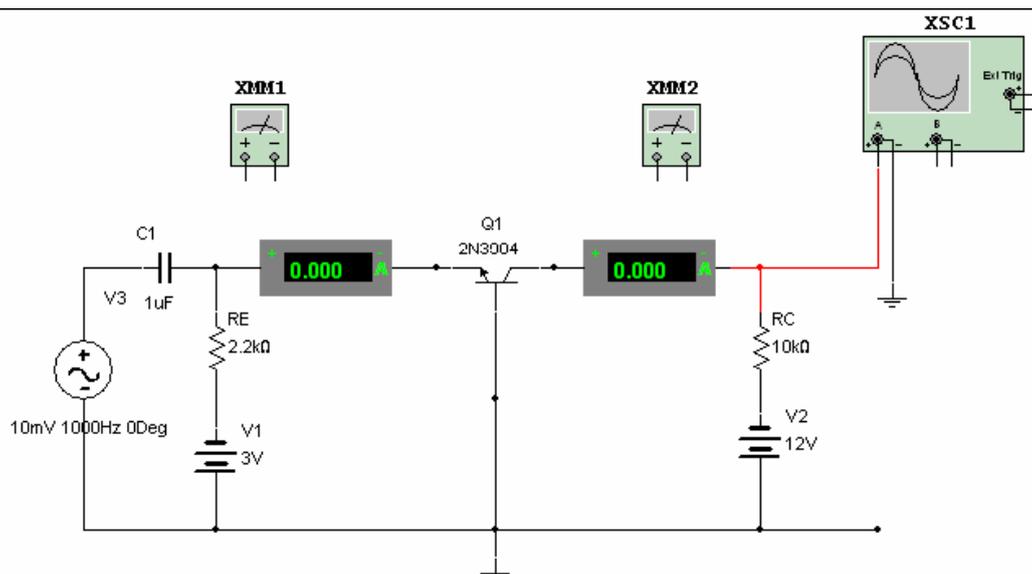
6. 替换出错元件, 检查电路是否正常工作。修复结果是否令人满意?

故障排除任务 5—6：共基极电路配置

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 CommonBaseTS.ms10。



说明

- 晶体管应工作在线性区域使电路正常工作。

建议

- 用示波器测量输出电压
- 测量发射极与基极之间的电压
- 如果错误不够明显，测量集电极与基极之间的电压。
- 替换导致错误的元器件或电源。

说明：在这个报告中，并不一定需要测量所有的数值。较好的故障排除步骤意味着您只要进行必要的测量就可以找到问题。完成这点之后，使用提供的备用元件替换出错元件，再检查电路是否正常工作即可。

问题

1. 计算 I_E 。

2. 使用 $\alpha = 0.90$, 计算 I_C 。

3. 计算 RC 两端的电压 V_{RC} 。

4. 计算 V_C 。

5. 运行仿真, 使用万用表比较步骤 1 至步骤 4 的结果。
 $I_C =$
 $I_E =$
 $V_{RC} =$
 $V_C =$
6. 这些数值与您的理论分析结果相比结果如何? 这个电路中是否存在问题? 如果存在的话, 问题是什么?

7. 测量基极与发射极之间的电压。
 $V_{BE} =$

8. 测量基极与集电极之间的电压。
 $V_{BC} =$

9. 晶体管工作在哪个区域?

10. 为什么?

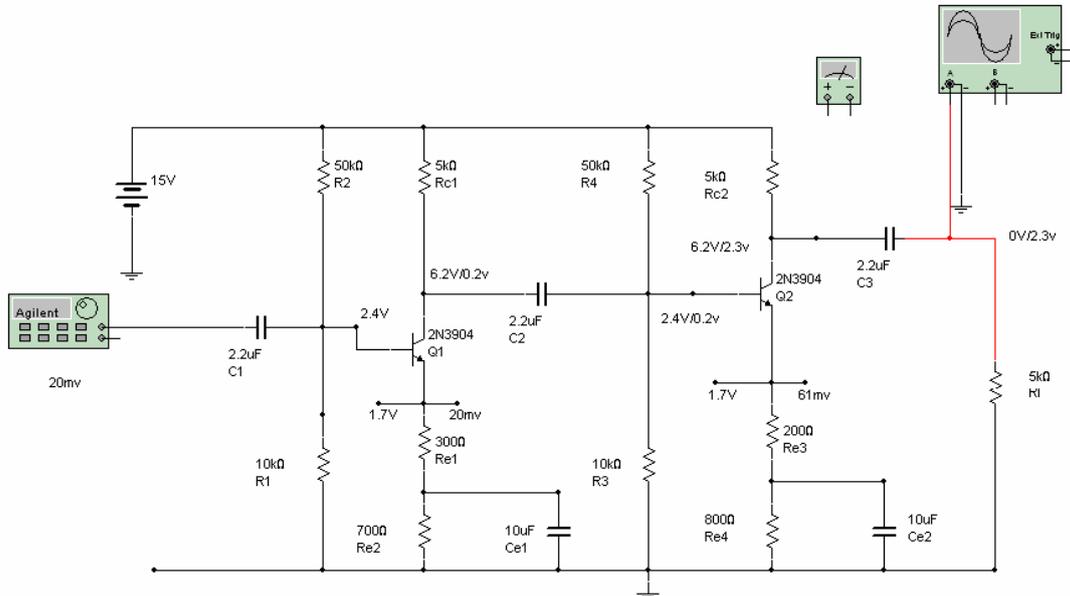
11. 您应该如何修改电路使晶体管能够工作在线性区域?

故障排除任务 5—7：两级放大器电路故障排除

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 TroubleShooting4.ms10。



说明

- 总电压增益（近似）= 115
- 低 3 dB 频率 = 100 Hz
- 对于输入电压 V_{in} 为 1000 Hz、20 mV（峰—峰值）， V_{out} 为 2.3 V（峰—峰值）
- 直流电压用“V”标记，交流电压用“v”标记（峰—峰值）。

建议

- 问题可能是电容数值变化、由于电阻数值出错或晶体管电流增益剧烈变化导致偏置状态变化。
- 记住：移除交流输入，检查直流偏置状态常常是有效的。
- 记住较好的故障排除方法是设法通过尽可能少的测量诊断出问题所在。

问题

1. 说明您用于分离电阻出错元器件使用的步骤、测量以及结论。
 - a)
 - b)
 - c)
 - d)
 - e)

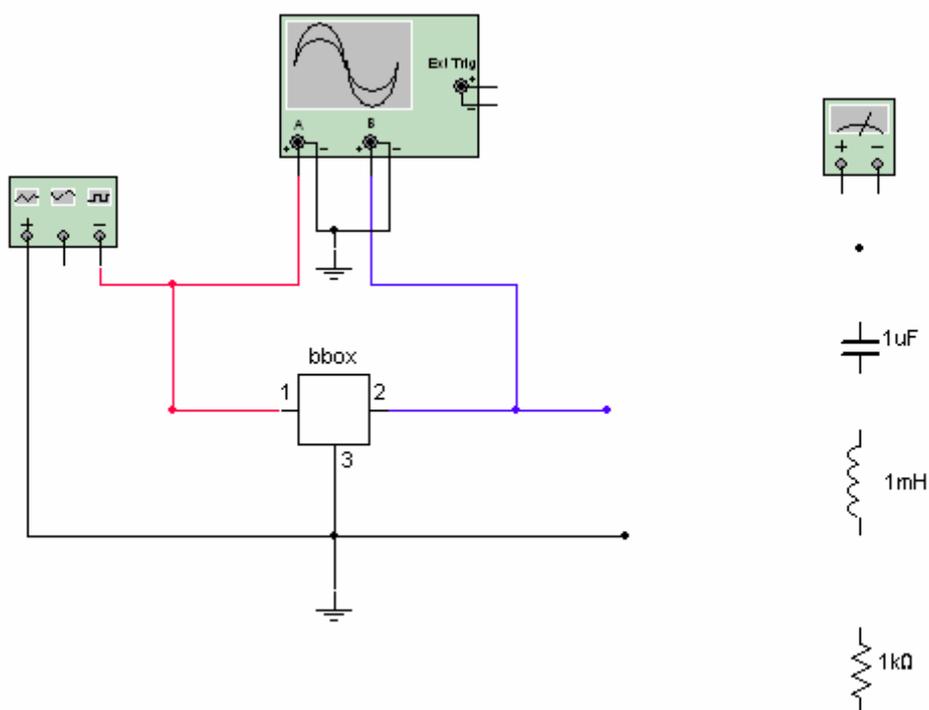
最终报告

故障排除任务 5—8：黑盒问题 1、2

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Puzzle1.ms10 或 Puzzle2.ms10。



问题

1. 将信号发生器设定为某一频率与幅值。（试着从 1 kHz 以及 10 V 峰值开始。）
2. 观察示波器通道 A 与 B 的输入与输出电压。
3. 将电阻（负载电阻）连接至输出（推荐从 1 k 数值开始）。
4. 调节发生器频率、负载电阻数值，使得输出幅值与输出有明显差异。
5. 相移给出了未知元器件特性的提示：
不存在相移意味着它是电阻性的。
相位超前意味着它是电容性的。
相位滞后意味着它是电感性的。

测量：

负载电阻数值_____

频率_____

输入幅值_____

输出幅值_____

是否存在相移? _____

是否需要改变电阻数值? _____

新的电阻值_____

6. 如果需要改变:

输入幅值_____

输出幅值_____

是否存在相移? _____

超前还是滞后? _____

7. 未知元器件特性 (圈出一个):

电阻性

电感性

电容性

8. 写出您用于判断未知元器件数值的计算过程:

第六章 运算放大器

章节目录

本章包含以下内容：

- 运算放大器介绍

本章实验指导

本章实验指导从实验指导 6-1：运算放大器探索 1——反向交流放大器开始。

- 实验指导 6-1：运算放大器探索 1——反向交流放大器
- 实验指导 6-2：运算放大器探索 2——同向交流放大器
- 实验指导 6-3：有源带通滤波器
- 实验指导 6-4：串联旁路稳压器
- 实验指导 6-5：积分器
- 实验指导 6-6：相移谐振电路
- 实验指导 6-7：脉宽调制器

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
ActiveBandPassFilter	有源带通滤波器。
Integrator	进行积分的电路。
InvertingAmplifier	反向运算放大器电路的交流运行。
NonInvertingAmplifier	同向运算放大器电路的交流运行。
PhaseShiftOscillator	相移谐振电路。
PWM	脉宽调制电路。
SeriesPassVoltageRegulator	带有运算放大器误差放大的线性串联旁路稳压器电路。

运算放大器介绍

本章练习旨在使学生培养起对运算放大器方面主题的兴趣。

根据可以利用的设备，讲授可以通过几种形式进行：

- 使用远程教学
- 使用 PowerPoint 进行课堂演示
- 使用软件实验室

不论讲授以哪种方式进行，练习的目的在于促进课堂之内之外关于仪器以及电路行为的讨论，以便增进对基本理论的理解。

文件 Integrator.ms10、ActiveBandPassFilter.ms10、SeriesPassVoltageRegulator（带有运算放大器误差放大的线性串联旁路稳压器电路）以及 PWM.ms10（脉宽调制器）需要对运算放大器更深入的知识，它们应该在之后关于运算放大器应用课程中使用。

目标

介绍如何使用 Multisim 使学生们熟悉运算放大器基本工作概念的方法。

先修知识

您将需要以下电路文件：

- InvertingAmplifier.ms10
- NonInvertingAmplifier.ms10

学生应已熟悉：

- 在 Multisim 环境中测量，包括使用示波器和仪表测量
- 运算放大器的基本理论

参考文献

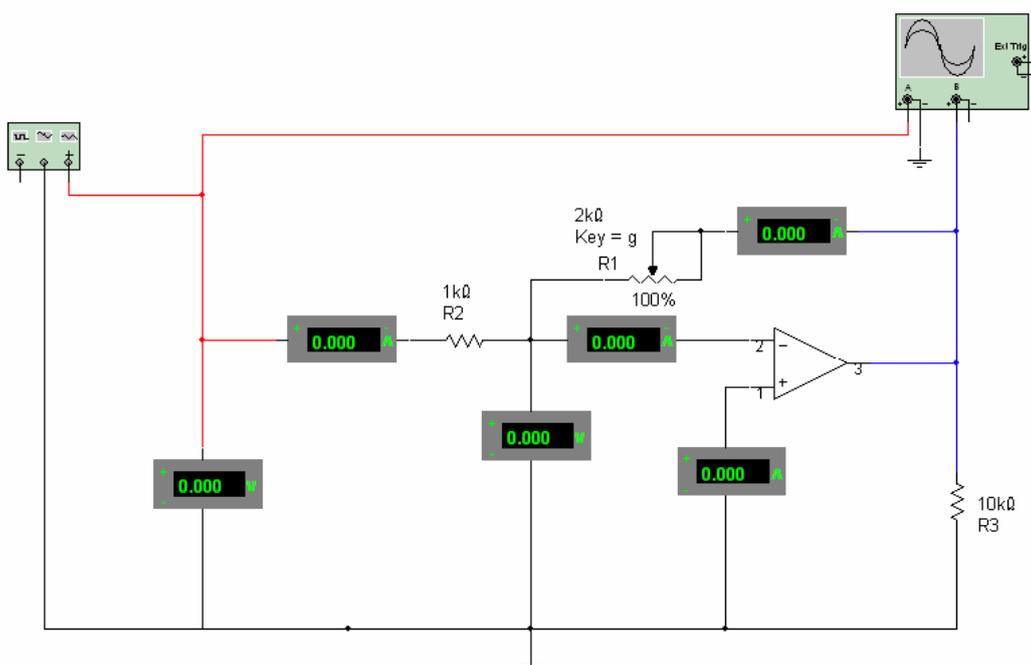
主题	页码
波特图作图器	Multisim 用户手册：第八章《仪器》

实验指导 6—1：运算放大器探索 1——反向交流放大器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 InvertingAmplifier.ms10。



问题

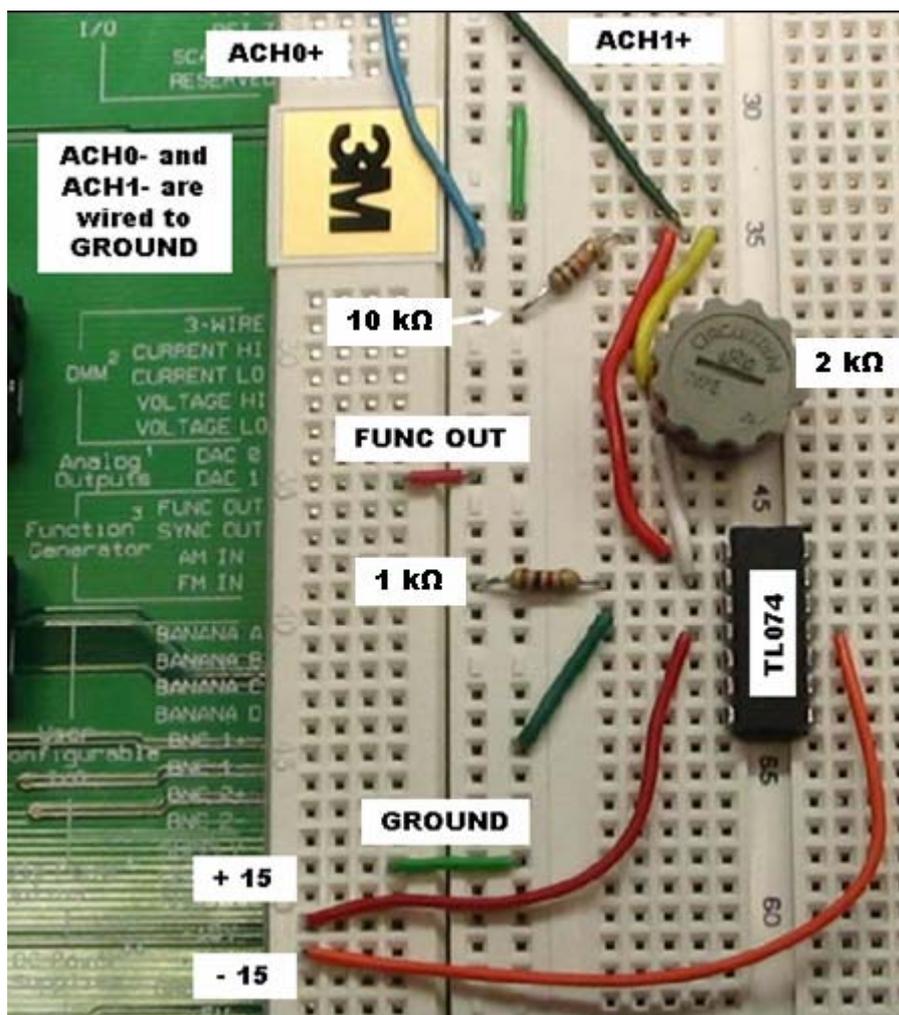
1. 设置输入为 0 V (输入电位器 P 设置为 0%)，观察所有交流电压和电流。与教科书或讲座理论进行比较。
2. 使用 G 或 SHIFT-G 键选择一个新的输入电压数值，改变输入，重复这个观察。您还可以将鼠标悬停在电位器上，拖动随之出现的滑杆。
3. 检查反向输入端与同向输入端的差乘以开环增益是否等于输出。
 - a) 反向端 =
 - b) 同向端 =
 - c) 差 =

- d) 开环增益 =
- e) 计算结果 =
- f) 测量输出 =
- 4. 使用示波器或波特图作图器找出上下转折频率（或称截至频率）。
 - a) 上转折频率 =
 - b) 下转折频率 =
- 5. 增加输入幅值直至输出出现截波。将输出的最大峰-峰值与电源电压进行比较。
 - a) 最大峰-峰值输出 =
 - b) 电源电压 =

NI ELVIS 练习

开始

在 Multisim 中打开文件 InvertingAmplifier.ms10。如下图所示，在您的 NI ELVIS 面包板上搭建电路。



说明

- 使用 NI ELVIS 硬件中的函数发生器控制电路正弦波输入的频率和幅值。

问题

1. 在 Multisim 中：
 - a) 设置可变电阻 R1 为 0 Ω ，观察所有交流电压和电流。与教科书或讲座理论进行比较。
 - b) 使用 G 或 SHIFT-G 键选择一个新的 R1 数值，改变输入，重复这个观察。您还可以将鼠标悬停在电位器上，拖动随之出现的滑杆。

2. 在 NI ELVIS 上搭建的电路中，增加或减少电阻 R1。您能够观察到什么结果？

3. 检查反向输入端与同向输入端的差乘以开环增益是否等于输出。

仿真结果

测量结果

反向端

同向端

差

开环增益

计算结果

测量输出

4. 使用示波器或波特图作图器找出上下转折（-3dB）频率。

频率

仿真结果

测量结果

上转折频率

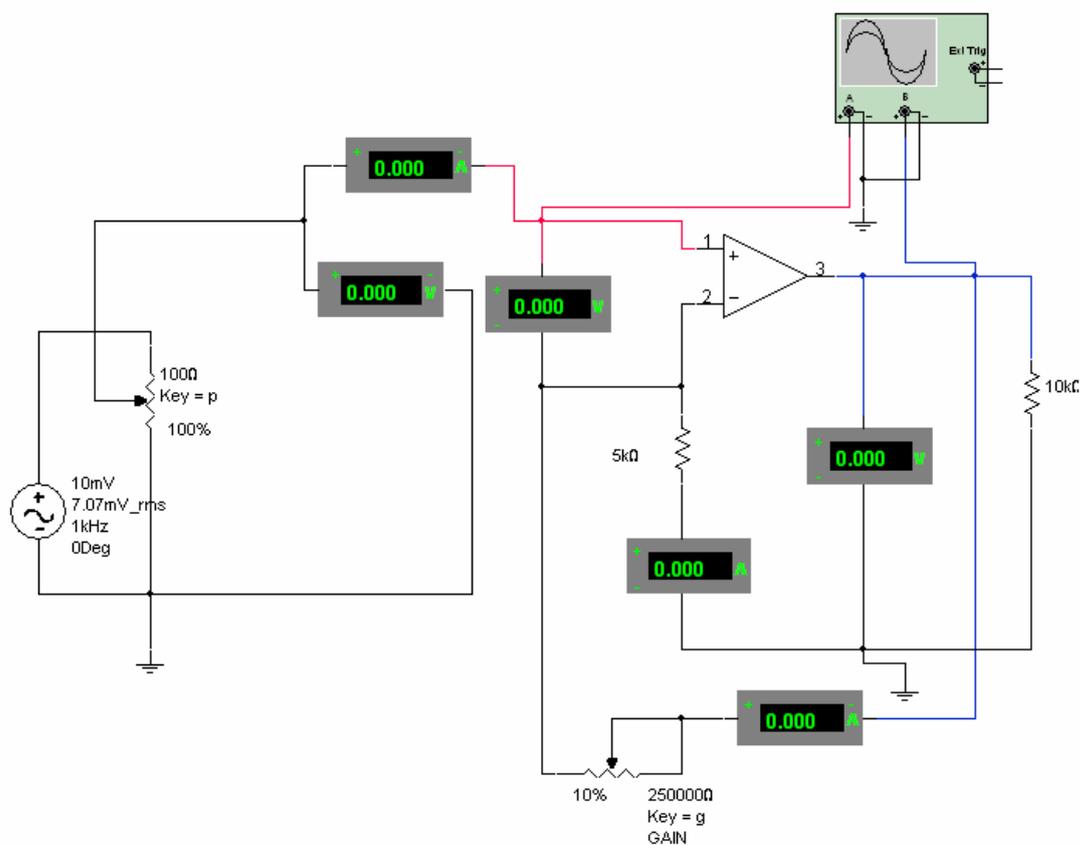
下转折频率

实验指导 6—2：运算放大器探索 2——同向交流放大器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 NonInvertingAmplifier.ms10。



问题

1. 设置输入为 0 V（输入电位器 G 设置为 0%），观察所有交流电压和电流。与教科书或讲座理论进行比较。

比较结果：

2. 使用 G 或 SHIFT-G 键选择一个新的输入电压数值，改变输入，重复这个观察。您还可

以将鼠标悬停在电位器上，拖动随之出现的滑杆。

比较结果：

3. 检查反向输入端与同向输入端的差乘以开环增益是否等于输出。

反向端 =

同向端 =

差 =

开环增益 =

计算结果 =

测量输出 =

4. 使用示波器或波特图作图器找出上下转折频率（或称截至频率）。

上转折频率 =

下转折频率 =

5. 增加输入幅值直至输出出现截波。将输出的最大峰—峰值与电源电压进行比较。

最大峰—峰值输出 =

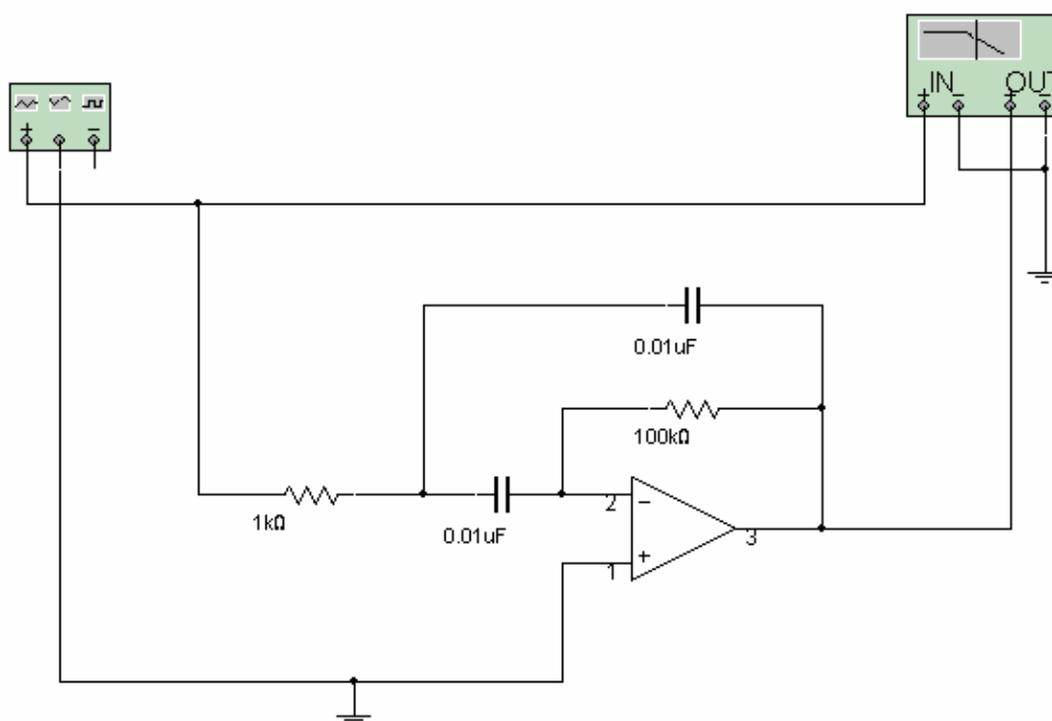
电源电压 =

实验指导 6—3：有源带通滤波器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 ActiveBandPassFilter.ms10。



设计信息摘录自 Winzer 著的《Linear Integrated Circuits》。

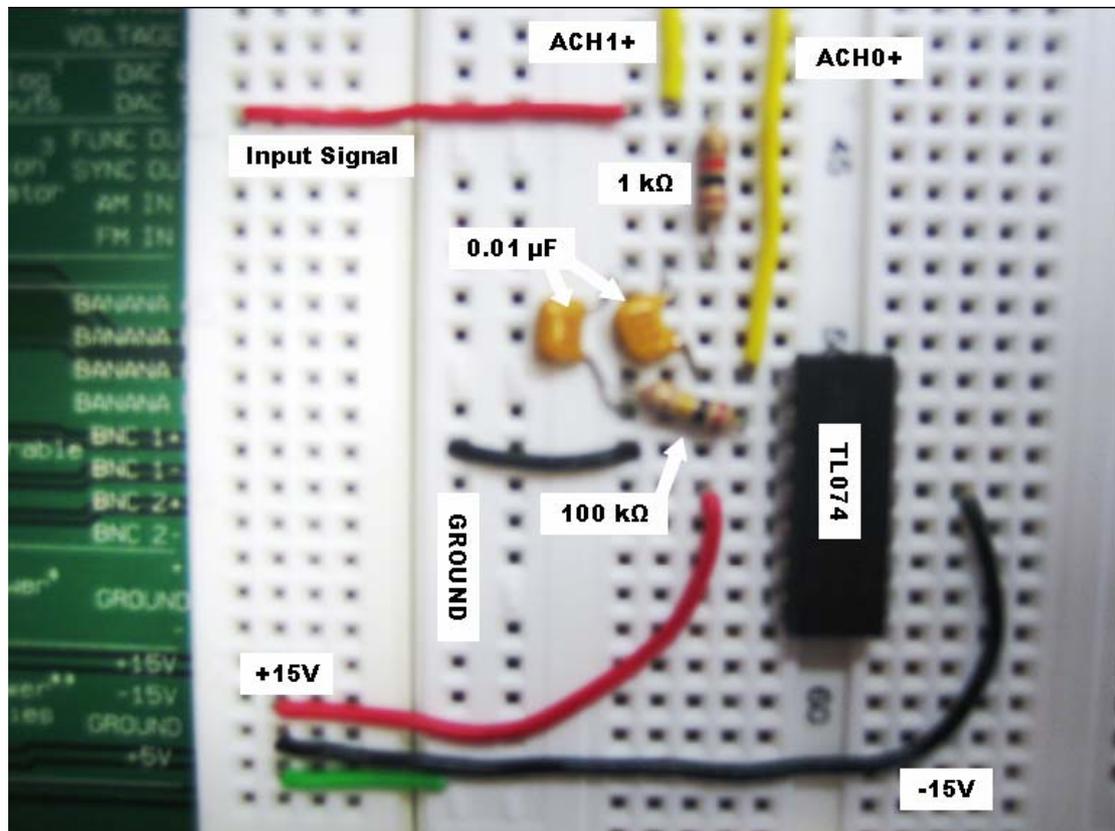
问题

1. 使用波特图作图器确定电路的增益和带宽。
2. 使用合适的设计资料，设计一个滤波器，使其中心频率为 4.7 kHz、品质因数 Q 为 4。

NI ELVIS 练习

开始

在您的 NI ELVIS 面包板上，搭建您在 ActiveBandPassFilter.ms10 文件中进行过仿真研究的带通滤波器电路。下图是一个实现范例。打开 ActiveBandPassFilter.ms10 并运行仿真，这样您就可以作为一个有用的参考，帮助理解电路是如何工作的。



在上图电路中，ACH0 用于测量输出电压，ACH1 用于测量输入电压。这两个通道的负极管脚均与地相连接。NI ELVIS 波特图分析器使用这两个模拟信号，通过在输入（FUNC OUT）生成必要的信号传入电路，得到电路的波特图响应。

问题

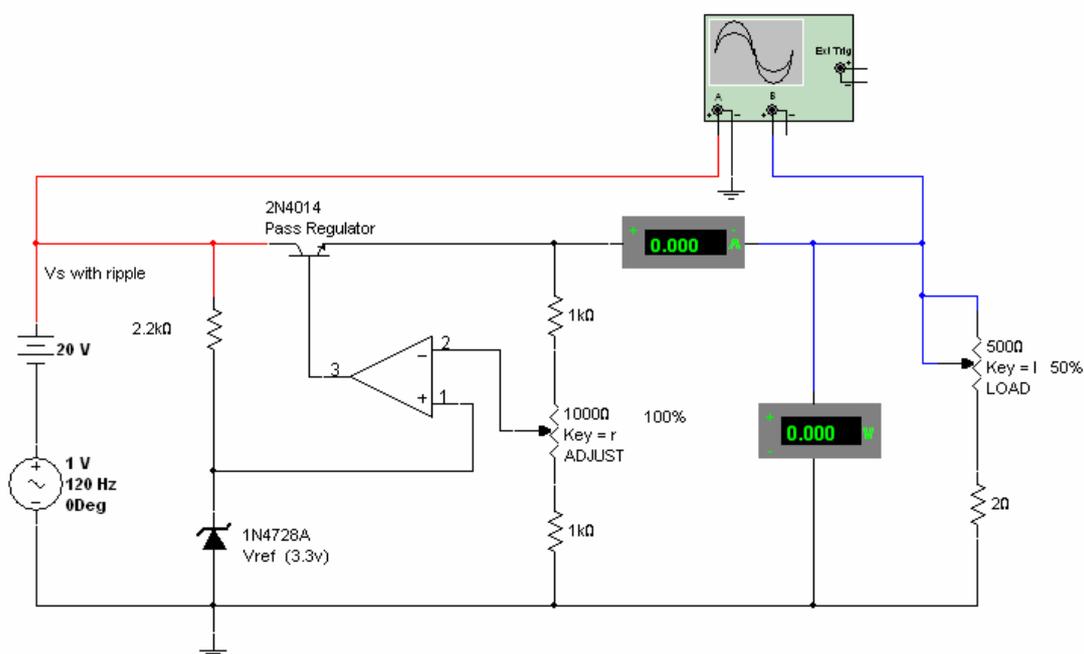
1. 使用您已经在课堂内学习过的运算放大器理论，分析上述电路。
2. 将您使用 NI ELVIS 得到的实际结果与仿真电路输出进行比较。

实验指导 6—4：串联旁路稳压器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 SeriesPassVoltageRegulator.ms10。



说明

- 原始电源表示为 20 V 直流电源与交流电源串联，以模拟一个 120 Hz、约 3 V（峰-峰）的全波纹波电源
- 使用 L 或 SHIFT-L 键改变负载电流
- 使用 R 或 SHIFT-R 键改变稳压输出电压。您还可以将鼠标悬停在电位器上，拖动随之出现的滑杆。

问题

1. 将电压调整电位器设置为中间位置（50%），计算预测的输出电压。
2. 将电压调整电位器以及负载电位器设置为中间位置（50%），测量输出电压、电流以及纹波。

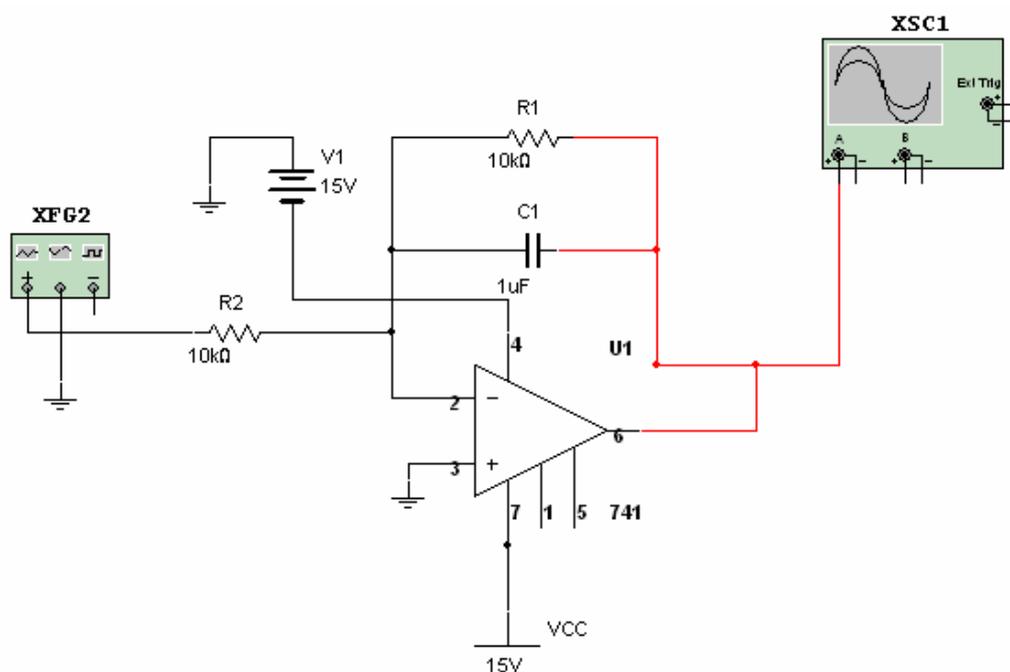
3. 将输出电压调整为 6 V 左右，在负载电阻每变化 10% 时，绘制输出电压以及纹波相对负载电流的曲线。
4. 根据测量结果，计算电路的稳压作用。
5. 根据测量结果，计算电路抵抗纹波电压的作用。
6. 在最大负载电流状态下，降低输入电压直至稳压作用消失。（纹波保持不变。）记录这个数值。
7. 使用其他类型的晶体管进行实验，探索晶体管特性对电路性能的影响。记录您的发现。

实验指导 6—5：积分器

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Integrator.ms10。



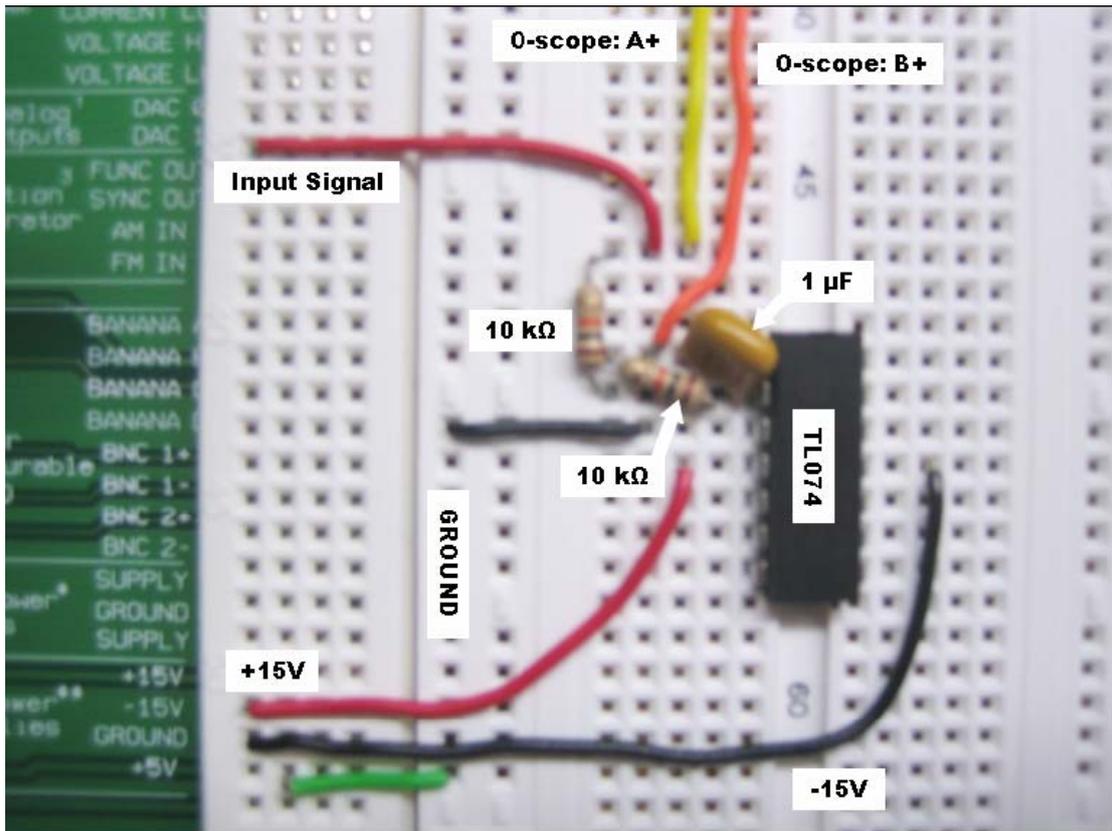
问题

1. 已知峰—峰值电压=20 V、频率=1 kHz，输出为三角波，计算 V_{out} 。
2. 运行仿真，比较您的结果。

NI ELVIS 练习

开始

在您的 NI ELVIS 面包板上，搭建您在 Integrator.ms10 文件中进行过仿真研究的积分器电路。下图是一种实验范例。打开 Integrator.ms10 并运行仿真，这样您可以作为一个有用的参考，帮助理解电路是如何工作的。



在上述电路中，函数发生器（FUNC OUT）用于生成幅值为 2 V 的 1 kHz 三角波输入信号。示波器的通道 A 是电路输入，通道 B 是电路输出。A 与 B 管脚均与地相连接。

问题

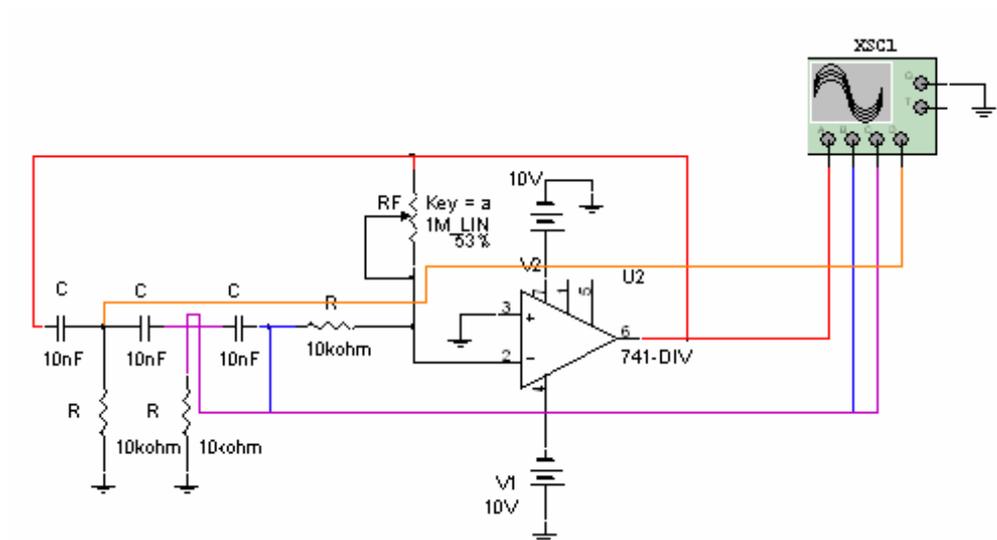
1. 使用您已经在课堂内学习过的运算放大器理论，分析上述电路。
2. 将您使用 NI ELVIS 得到的实际结果与仿真电路输出进行比较。

实验指导 6—6：相移谐振电路

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 PhaseShiftOscillator.ms10。



问题

1. 运行仿真。请耐心等待。到开始出现振荡需要几秒钟等待。
2. 测量输出频率。
3. 改变电位器直至开始出现振荡。计算开始出现振荡处 R_f/R 的值。

$R_f/R =$

电位器 S =	脉冲宽度 =	占空比 =
电位器 G =	脉冲宽度 =	占空比 =
电位器 R =	脉冲宽度 =	占空比 =

3. 将环路增益改变约 20%，重复实验。讨论其对电路运行的影响。

电位器 S =	脉冲宽度 =	占空比 =
电位器 G =	脉冲宽度 =	占空比 =
电位器 R =	脉冲宽度 =	占空比 =

第七章 晶闸管与开关

章节目录

本章包含以下内容：

- 晶闸管与开关介绍

本章实验指导

本章实验指导从实验指导 7-1：SCR——SCR的简单电阻控制开始。

- 实验指导 7-1：SCR——SCR的简单电阻控制
- 实验指导 7-2：探索DIAC特性
- 实验指导 7-3：SCR与DIAC
- 实验指导 7-4：使用相移以及DIAC控制SCR
- 实验指导 7-5：压控开关（VCS）应用

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
DiacCharacteristics	DIAC 特性。
PhaseShiftControl	SCR 导通相移控制。
SCR1	熟悉 SCR（电阻控制）。
SCRDiac	使用 DIAC 的 SCR 电路。
VoltageControlledSwitch	使用压控开关和 RC 电路组成张弛振荡器。

晶闸管与开关介绍

本章的练习旨在培养学生对晶闸管以及开关主题的兴趣。这些练习目的在于向学生演示每个元器件的特性。

根据教学需要以及设施条件，讲授可以采用多种方式：

- 作为远程教学课程的一部分
- 使用投影仪进行课堂演示
- 使用 PowerPoint
- 作为软件实验室。

希望这些练习能够激发更多对于这些主题理论的兴趣。本章将介绍开关元器件的基本特性，元器件包括 SCR、DIAC 以及压控开关（VCS）。还包括相移控制小节。本章一共包括五个相关.ms10 文件。

目标

介绍开关元器件的基本特性，例如 SCR 和 DIAC，使用 SCR、DIAC 以及包括在 Multisim 元器件列表中的 VCS 进行简单的交流电源相位控制。

先修知识

学生应已能够：

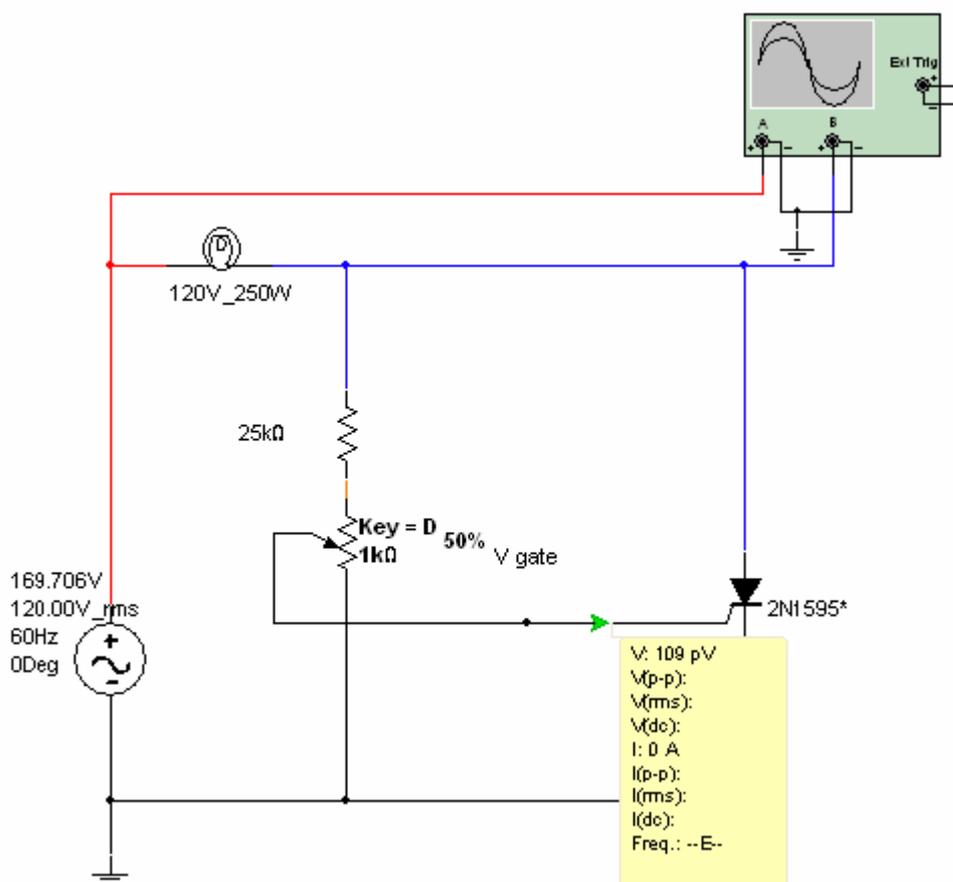
- 熟悉 Multisim 以及测量，包括使用示波器和仪表进行交流和直流测量。（或参阅以下备注）
- 基本了解 SCR 以及 DIAC（最为）基本的理论
- 熟悉 RC 电路中的 RC 时间常数以及相移。

实验指导 7-1: SCR——SCR 的简单电阻控制

姓名: _____ 编号: _____ 班级: _____

开始

打开文件 SCR1.ms10。



说明

- 电位器 D 起“亮度”控制作用。
- 当 SCR 导通时，灯发光。

问题

1. 假设当门电压达到 1 V 时 SCR 接通（导通），并且亮度控制设置为 25%（滑动端与地之间的电阻为 250 欧姆），计算当 SCR 接通时，在交流电源波形中点的位置。（也就是说，这点的角度是多少？）

2. 在这个情况下，计算 SCR 的导通角。

3. 将亮度控制设定为 25%，求解电路。通过测量确认通过步骤 1 与步骤 2 得到的计算结果。

4. 找出导通角：
 - a) 通过实验确定使得 SCR 完全导通（导通角 $> 170^\circ$ ）以及刚好停止导通处的亮度控制设置。

 - b) 通过计算确认这些点与理论结果吻合。

5. 记录理想 SCR 的 V_{gt} 、 I_{gt} 以及 I_h 数值。

6. 将灯的额定功率改变为 10 瓦特，设置亮度控制为 25%，求解电路。
7. 解释为什么和前一种情况一样，在电源电压达到零之前，SCR 就失去导通状态？

8. 将 SCR 从理想模型改变为 2N1599。求解电路并解释为什么这个 SCR 的导通状态一直持续到正半周结束为止。（检查模型数值）。

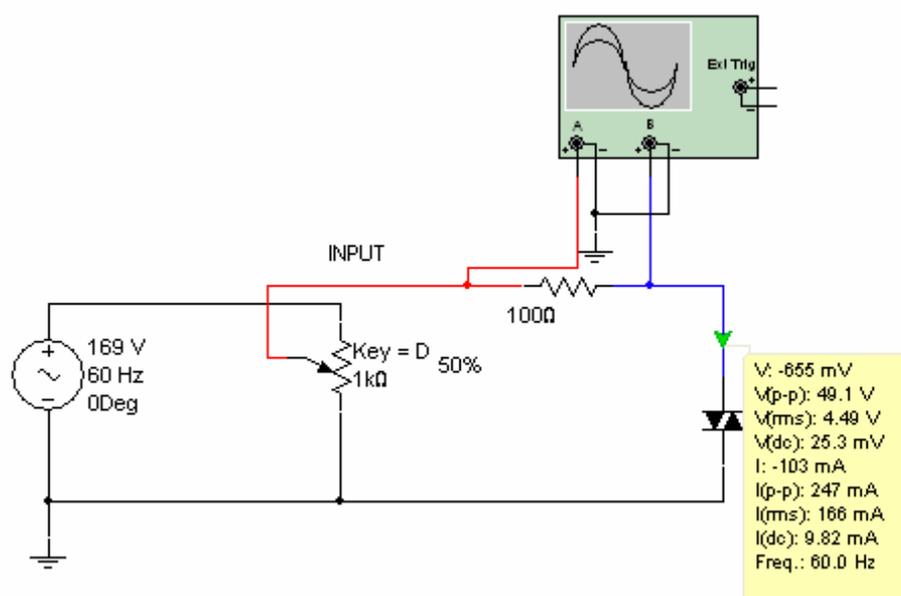
9. 选择一个不同的 SCR，重复步骤 1 至 3。简要报告探索实验结果。

实验指导 7-2: 探索 DIAC 特性

姓名: _____ 编号: _____ 班级: _____

开始

打开文件 DiacCharacteristics.ms10。



说明

- 电位器 D 改变施加在 DIAC 上的电压
- 100 欧姆电阻将通过 DIAC 的电流限制在一个安全级别内。

问题

1. 假设当施加的电压达到 10 V 时 DIAC 接通 (导通), 并且输入控制设置为 50% (滑动端与地之间的电阻为 500 欧姆), 计算当 DIAC 接通时, 在交流电源波形中点的位置。(这点的角度是多少?)
2. 将输入控制设定为 50%, 求解电路。通过测量确认通过步骤 2 得到的计算结果。

3. 改变输入。记录 DIAC 停止导通处的输入电压。解释理由。

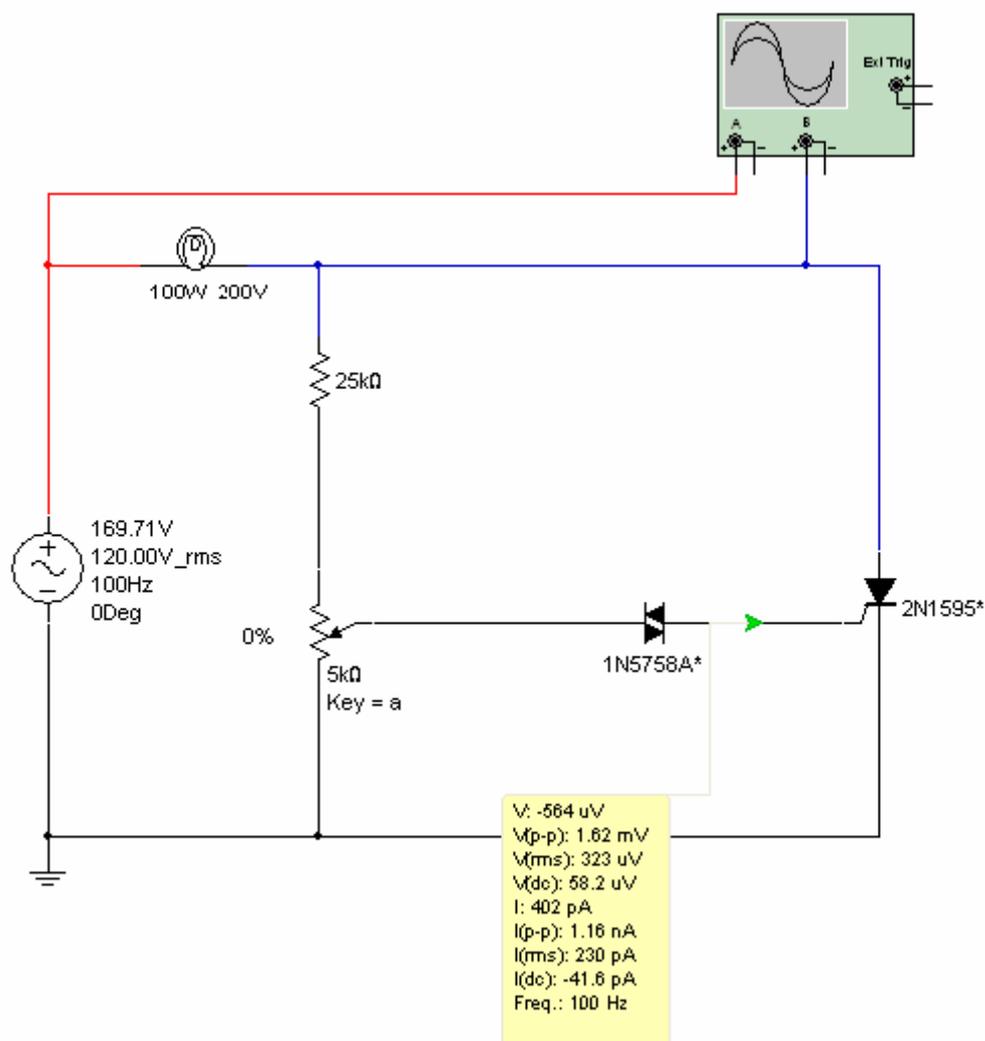
4. 记录理想 DIAC 的 V_s 、 V_{tm} 以及 I_h 数值（通过编辑模型窗口获得）。

实验指导 7—3: SCR 与 DIAC

姓名: _____ 编号: _____ 班级: _____

开始

打开文件 SCRDiac.ms10。



说明

- 电位器 A 起“亮度”控制作用。
- 当 SCR 导通时，灯发光。

问题

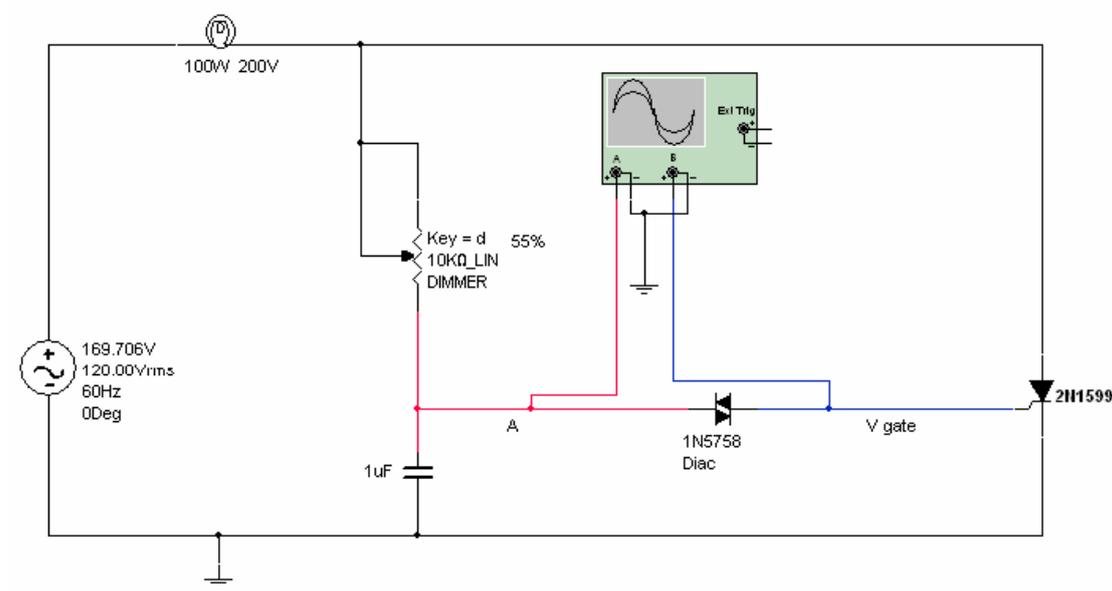
1. 假设当门电压达到 1 V 时 SCR 接通（导通），并且亮度控制设置为 50%（滑动端与地之间的电阻为 2.5 千欧姆），DIAC 的击穿电压是 10 V。计算当 SCR 接通时，在交流电源波形中点的位置。（也就是说，这点的角度是多少？）
2. 在这个情况下，计算 SCR 的导通角。
3. 将亮度控制设定为 50%，求解电路。通过测量确认通过步骤 2 与步骤 3 得到的计算结果。
4. 找出导通角：
 - a) 通过实验确定使得 SCR 完全导通（导通角 > 170 度）以及刚好停止导通处的亮度控制设置。
 - b) 通过计算确认这些点与理论结果吻合。
5. 记录理想 SCR 的 V_{gt} 、 I_{gt} 以及 I_h 数值（通过编辑模型窗口获得）。
6. 将灯的额定功率改变为 10 瓦特，设置亮度控制为 50%，求解电路。解释为什么和前一种情况一样，在电源电压达到零之前，SCR 就失去导通状态？

实验指导 7-4：使用相移以及 DIAC 控制 SCR

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 PhaseShiftControl.ms10。



说明

- 这个实验向学生们展示如何利用相移以及 DIAC 对 SCR 进行更宽的导通控制。
- 电位器 D 起“亮度”控制作用。
- 注意当 SCR 导通时，灯发光。

问题

1. 假设当门电压达到 1 V 时 SCR 接通（导通），并且亮度控制设置为 50%（滑动端与地之间的电阻为 10 千欧姆），DIAC 的击穿电压是 10 V。计算当 SCR 接通时，在交流电源波形中点的位置。（这点的角度是多少？）
2. 在这个情况下，计算 SCR 的导通角。

3. 将亮度控制设定为 50%，求解电路。通过测量确认通过步骤 2 与步骤 3 得到的计算结果。（包括在电路中 A 点处电压相移的测量。）

4. 找出导通角：
 - a) 通过实验确定使得 SCR 完全导通（导通角 > 170 度）以及刚好停止导通处的亮度控制设置。

 - b) 通过计算确认这些点与理论结果吻合。

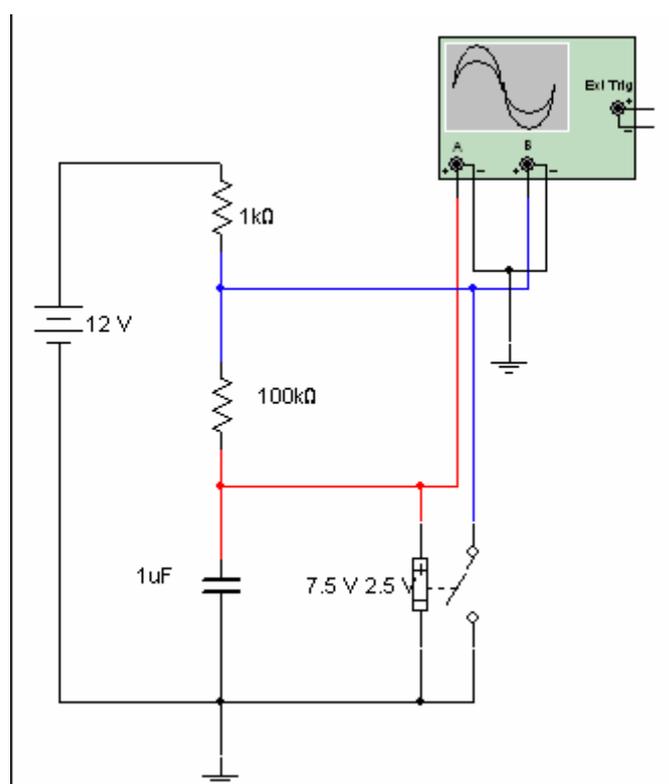
5. 简要汇报探索实验结果，包括解释相比之前的简单控制电路，为什么这个电路对导通角有更强的控制。（参见文件 SCR1.ms10 以及 SCRDiag.ms10）。

实验指导 7-5：压控开关（VCS）应用

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 VoltageControlledSwitch.ms10。



说明

- 这个电路可用于演示或探索 RC 时间常数。
- 这个电路使一个张弛振荡器，它模拟 555 定时器处于无稳态振荡器的运行。当电压为 10 V（即 555 定时器的上阈值 $2/3 V_{cc}$ ）时，VCS 处于闭合状态；当电压为 5 V（即 555 定时器的下阈值 $1/3 V_{cc}$ ）时，VCS 处于断开状态。

问题

1. 求解电路，测量电容充电以及放电的时间。
2. 利用 RC 时间常数理论，将充电、放电时间与理论数值进行比较。

3. 要进行更多探索，双击 VCS 以设置 VCS 的阈值电压。

第八章 数字电路

章节目录

本章包含以下内容：

- 数字电路介绍
- 555 定时器无稳态振荡器
- 异步计数器
- 译码器
- 使用离散元件的同步BCD计数器

本章实验指导

本章实验指导从实验指导 8—1：555 定时器无稳态振荡器及向导开始。

- 实验指导 8—1：555 定时器无稳态振荡器及向导
- 实验指导 8—2：数字电路范例 1
- 实验指导 8—3：数字电路范例 2
- 实验指导 8—4：数字电路范例 3
- 实验指导 8—5：数字电路范例 4

本章电路

以下是本章所使用电路的文件名列表以及对应的简单说明。

文件 (.ms10)	说明
Dig1, Dig1A—C	组合逻辑电路及数字测试仪器循序渐进的介绍。
555Astab	无稳态振荡器工作下的 555 定时器。
AsynchronCounter	使用离散 JK 触发器的异步计数器。
SynchronCounter	使用离散 JK 触发器和逻辑门的同步计数器。
Demultiplexer	三八译码器。

数字电路介绍

本章包含八个文件，展示 Multisim 在数字电路工作方面的一些特性。对于 Multisim 提供的数字测试仪器的基本特性也进行了演示。

电路 Dig1.ms10、Dig1A.ms10、Dig1B.ms10 以及 Dig1C.ms10 是用不同的方法研究同一个电路。可以用任何数字电路范例替换电路。这个电路是一个组合逻辑电路，与教科书《Digital Fundamentals》(Floyd 著，第五版)中的范例相似。电路包含限位开关，监视某一特定功能。如果输入是低电平，发光二极管熄灭。如果输入是高电平，发光二极管点亮。Multisim 还允许选择使用蜂鸣器替换发光二极管。

电路文件 555Astab.ms10 还提供了使用 Multisim 中 555 定时器的演示。异步计数器以及译码器的例子在文件 AsynchronCounter.ms10 以及 Demultiplexer.ms10 中。

这些文件用于使远程教育以及传统课堂中的学生熟悉可以使用的各种数字元件。它们提供了一个仿真的动手学习机会，相对使用更为传统的实验室而言，能够得到更多好处。

目标

- 使用 Multisim 进行数字电路实验
- 介绍多种在 Multisim 中可用的数字元件
- 介绍并演示在 Multisim 中可用的 555 定时器使用。

先修知识

学生应已学习过数字电路理论的入门知识，包括：

- 与门、或门、真值表、触发器、同步与异步计数器、RC 时间常数以及 555 定时器
- 对 Multisim 环境有一定认识，包括使用万用表、示波器以及各种元器件。

555 定时器无稳态振荡器

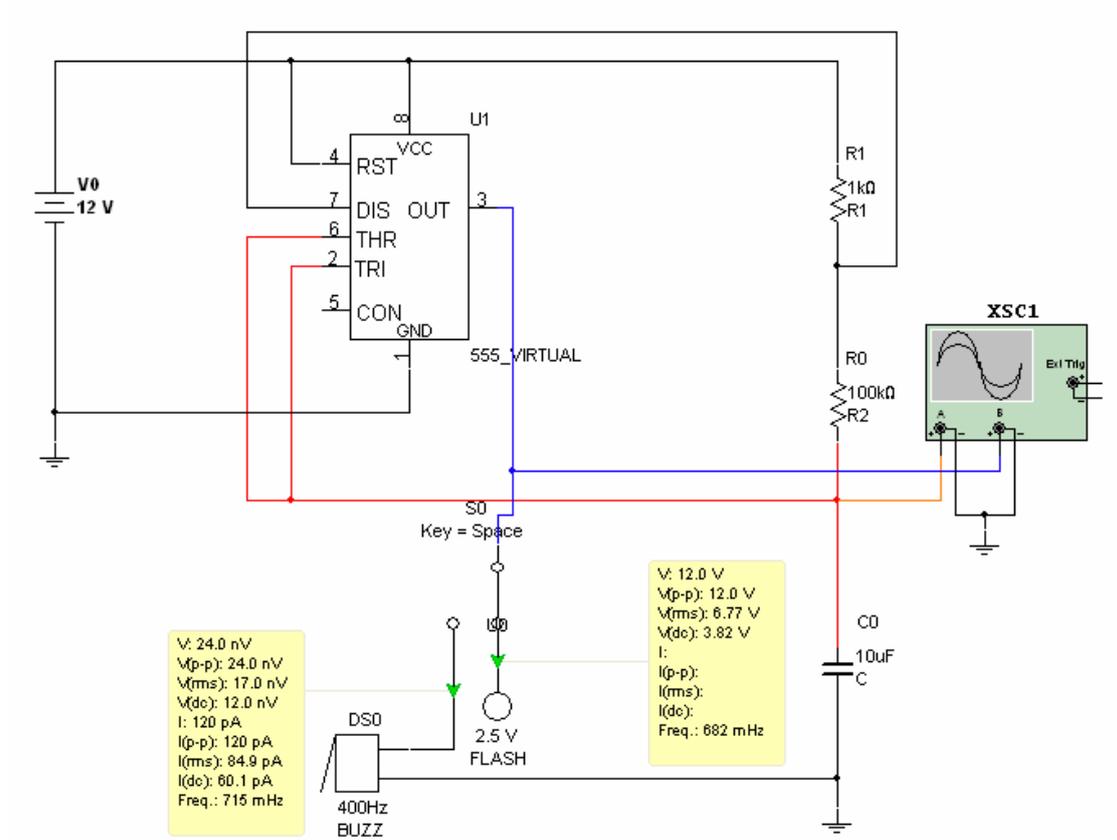


图 8—1: 555Astab.ms10

相关实验指导

- 实验指导 8—1: 555 定时器无稳态振荡器。

异步计数器

- 电路是使用 JK 触发器的 4 位计数器
- 结果读数同时用十六进制以及二进制显示
- 可以使用逻辑分析仪观察时序图。

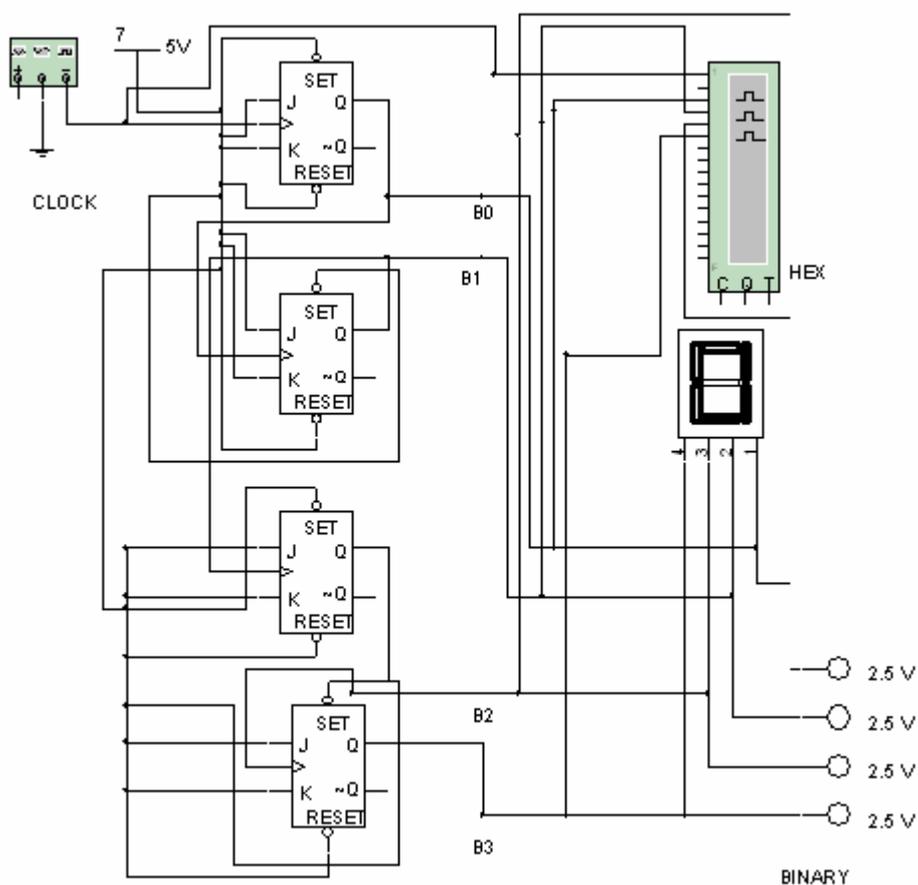


图 8-2: AsynchronCounter.ms10

步骤

1. 求解电路，在逻辑分析仪上观察各个输出的时序图。特别注意，比较时钟和四个输出的时序关系。

参考文献

主题	参考文献
逻辑分析仪	Multisim 用户手册：第八章《仪器》

译码器

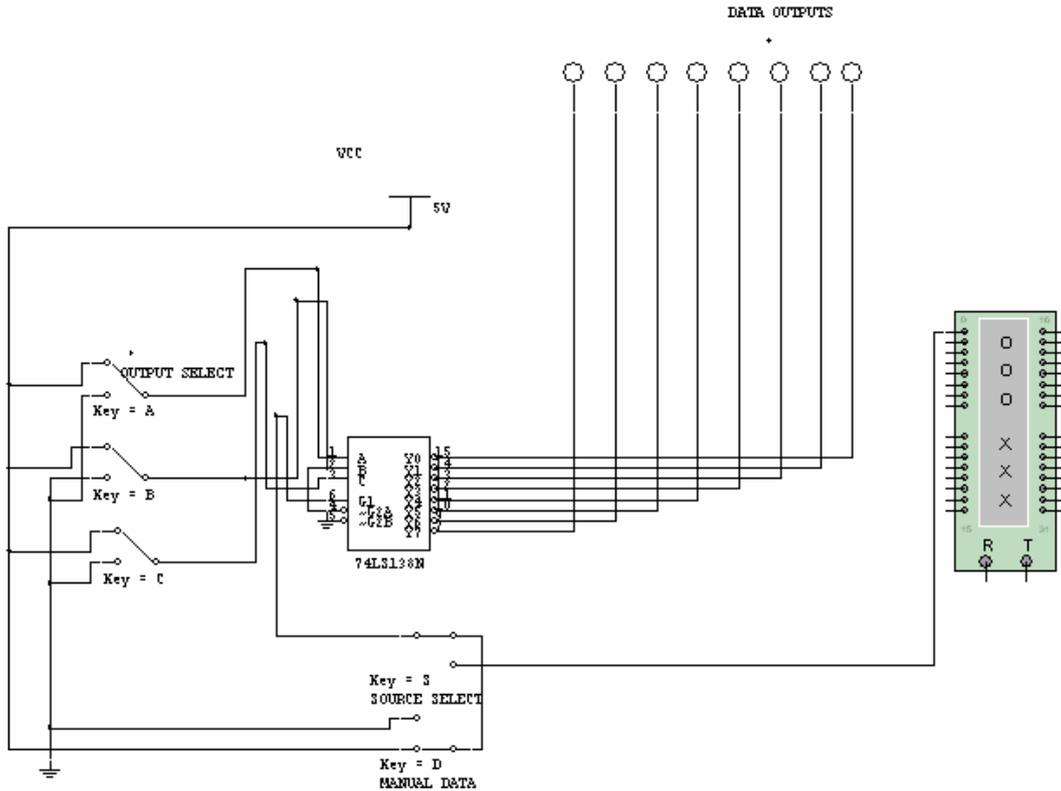


图 8-3: Demultiplexer.ms10

工作原理

在输入线路 G1 处的输入数据通过开关 A、B 与 C 选择，传送至输出。

74LS138N 作为译码器

- 开关 A、B 与 C 选择由输入数字线路 G1 传送得到的输出
- 输出线路 0 至 7 的逻辑状态用数据发光二极管进行显示。在没有数据时，数据线路通常处于高电平状态（在数据通信中称为无信号或“占”）
- 输入数据源可以是手动输入或是来自根据开关 S 位置确定的存储在字生成器中的序列
- 手动数据输入由开关 D 进行控制。

步骤

1. 打开文件 Demultiplexer.ms10。
2. 选择使用开关 S 的手动数据输入。设置数据线路选择开关 A、B 与 C，选择输出线路 5。
3. 求解电路，操作手动数据开关 D，改变数据状态并观察数据线路 5 处的发光二极管。检查数据发光二极管 5 的状态是否与数据开关 D 输入的状态相符合。

4. 设置数据线路，选择开关 A、B 与 C，选择任何其它输出线路，确认出现正确的数据是否与数据开关 D 相符合。
5. 使用开关 S 选择字生成器作为数据源。检查字生成器中的数据序列，在字生成器中选择循环。这样可以提供恒定的数据流作为输入。
6. 确认字生成器中的序列正确显示在数据输出中。
7. 改变字生成器中的数据序列，将这个序列发送至选定的输出，进行实验。
8. 完成一份简要的报告，总结这次实验的结果。

相关实验指导

- 实验指导 8-2：数字电路范例 1
- 实验指导 8-3：数字电路范例 2
- 实验指导 8-4：数字电路范例 3
- 实验指导 8-5：数字电路范例 4

参考文献

主题	页码
字生成器	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
逻辑转换器	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
布尔表达式	Multisim 用户手册：第八章《仪器》
真值表	Multisim 用户手册：第八章《仪器》

使用离散元件的同步 BCD 计数器

备注

- 用逻辑分析仪显示完整的时序图
- BCD 输入显示在 7 段显示器上。

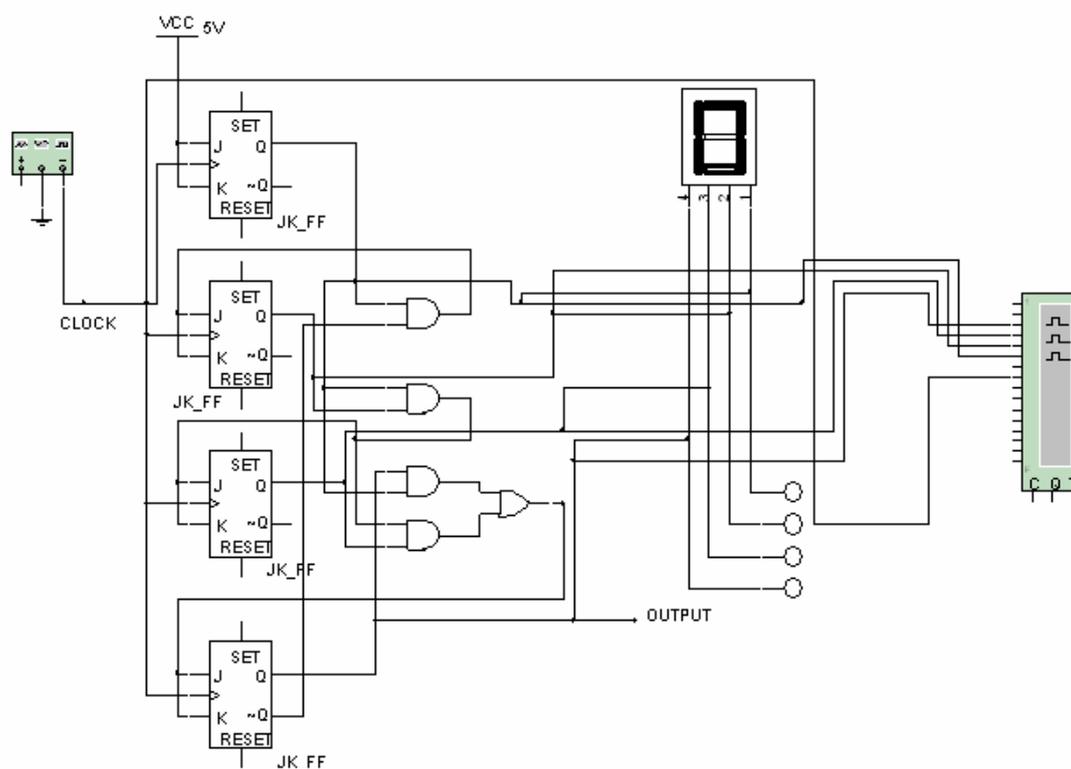


图 8-4: SynchronCounter.ms10

步骤

1. 打开文件 SynchronCounter.ms10。
2. 求解电路，在逻辑分析仪上观察各个输出的时序图。特别注意，比较时钟和四个输出的时序关系。

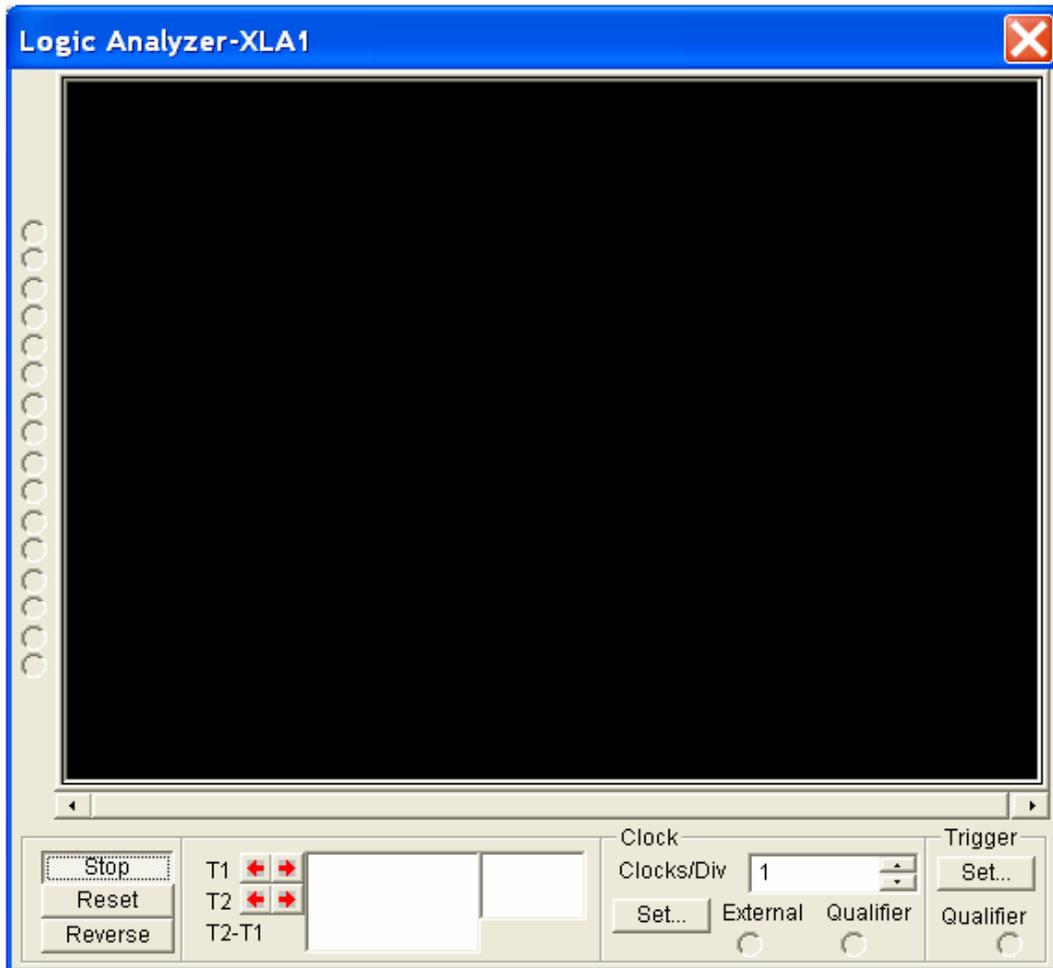


图 8-5: 逻辑分析仪

参考文献

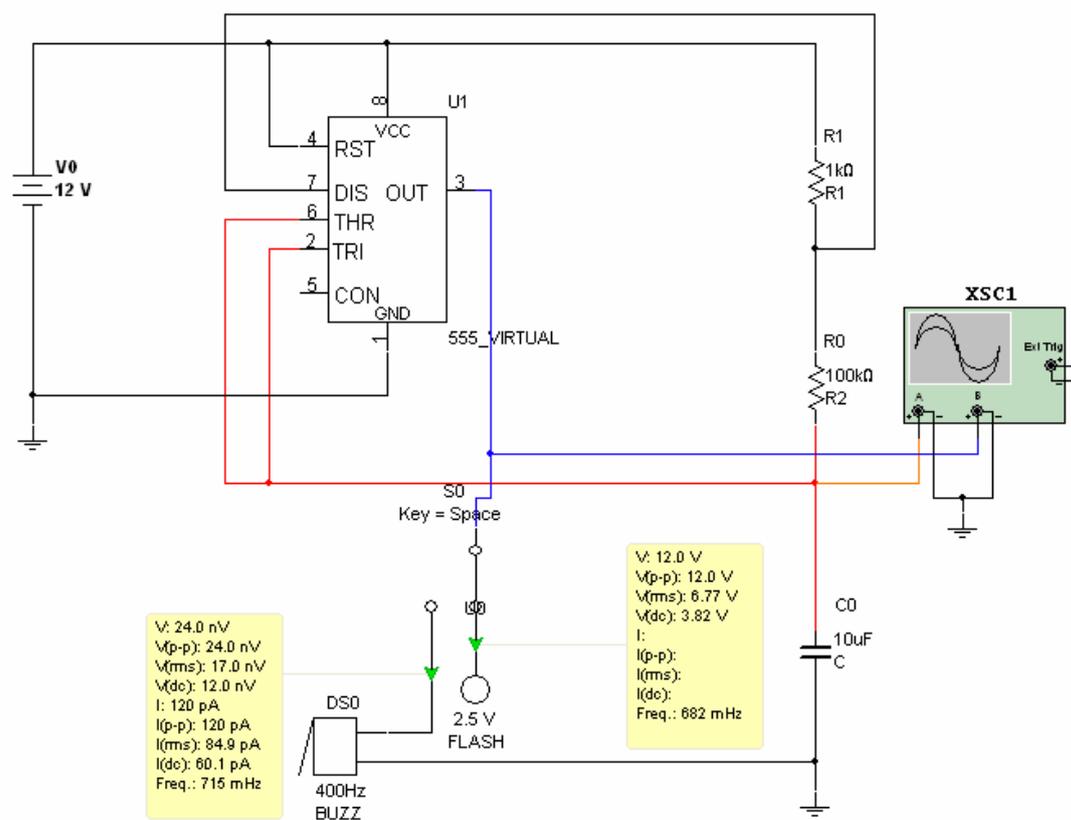
主题	页码
逻辑分析仪	Multisim 用户手册: 第八章《仪器》

实验指导 8—1：555 定时器无稳态振荡器及向导

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 555Astab.ms10。



问题

1. 对于所示电路，计算上临界值与下临界值。写出计算过程。

$$V_{(ut)} =$$

$$V_{(lt)} =$$

2. 计算电容从 $V_{(lt)}$ 充电至 $V_{(ut)}$ 所需要的时间。写出计算过程。

$$t1 = \text{_____} \text{ 秒。}$$

3. 计算电容从 $V_{(ut)}$ 放电至 $V_{(lt)}$ 所需要的时间。写出计算过程。

$t_2 =$ _____ 秒。

4. 计算振荡频率。

5. 计算输出波形的占空比。

6. 如果 R1 改变为 33 千欧姆，重复以上步骤 1 至步骤 4 的计算。

7. 求解电路（使用电源开关），利用蜂鸣器的输入，大致估计振荡频率。（用秒表为十个周期计时）。

8. 记录频率。

9. 使用示波器观察输出波形，以及定时电容 C 两端的电压波形。

10. 测量所有计算过的参数。
 - a) 两个波形图中，哪个显示了上临界值与下临界值电压（输出波形还是 C 两端的电压波形）？
测量结果 $V_{(U)}$ =
 $V_{(ut)}$ =
 - b) 哪个波形显示了电容的充电与放电时间（输出波形还是 C 两端的电压波形）？说明理由。
测量结果 $t_1 =$
 $t_2 =$
 - c) 测量振荡频率。写出计算过程。

 $f_{(振荡)} =$ _____ Hz
 - d) 这个结果与您们在步骤 7 得到的大致估计结果相比，是否吻合？

e) 测量占空比。写出计算过程。

占空比 = _____ %

11. 将 R1 改变为 33 千欧姆，重新进行步骤 10 a) 至步骤 10 d) 的测量。在适当的位置，写出测量与计算结果。

f) 测量结果 $V_{(ut)}$ = _____ V。

g) $V_{(ut)}$ = _____ V。

h) 测量结果 t_1 = _____ 秒。 t_2 = _____ 秒。

i) $f_{(振荡)}$ = _____ Hz

j) 占空比 = _____ %

12. 将 R1 改变为 1 千欧姆，将 10 k 电阻从管脚 5（即控制管脚）连接至地。

k) 预测对频率以及占空比的影响，并简要解释您的预测。

频率将会 _____

解释：

占空比将会 _____

解释：

l) 求解电路，测量频率以及占空比，并与您的预测结果进行比较。如果其中有显著差异，解释原因。

频率 _____ Hz

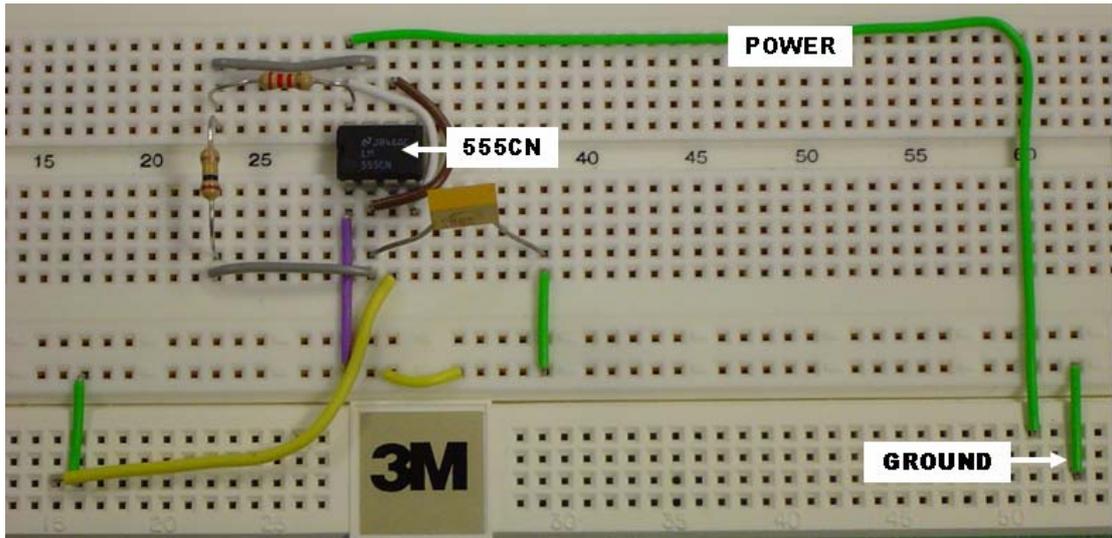
占空比 _____ %

13. 在主菜单中选择工具/电路向导/555 定时器向导。选择 $V_s=10$ V、频率 = 2 kHz。选择构造电路，将电路放置在您的工作区中。从仪器工具栏中选择示波器。将示波器连接至 555 定时器的输出，运行仿真，检查您的设置。

NI ELVIS 练习

开始

如下图所示，在您的 NI ELVIS 面包板上，搭建 555Astab.ms10 中所示的电路。这个电路展示了 555 定时器作为无稳态振荡器进行工作。



问题

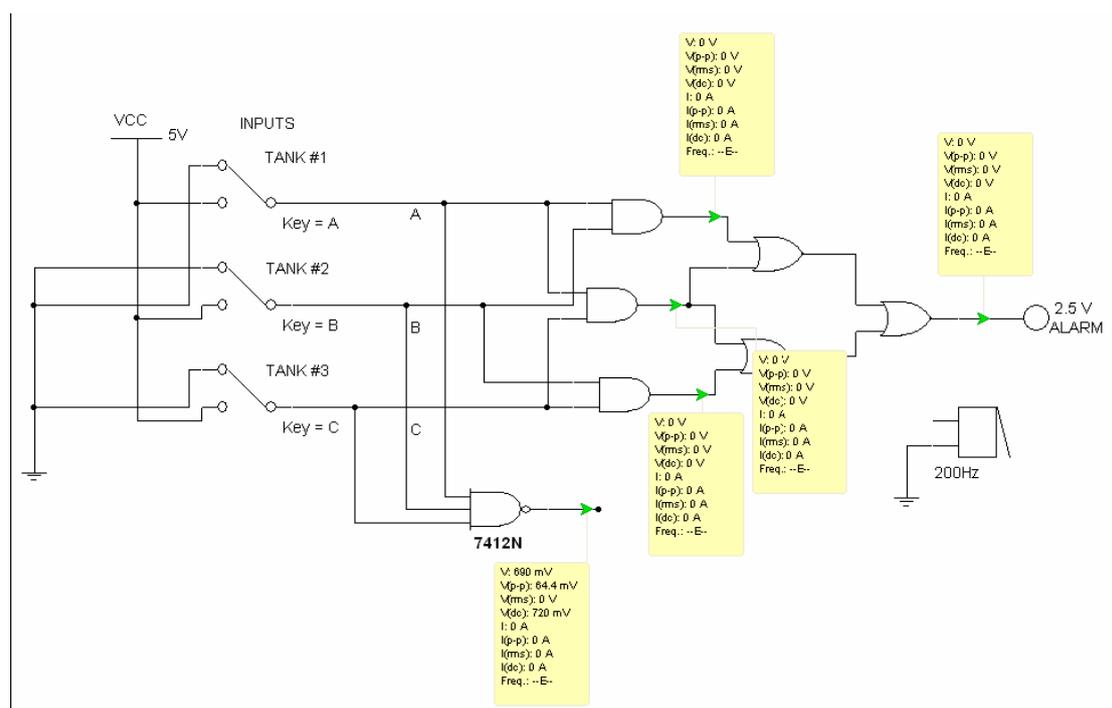
1. 运行 NI ELVIS 的示波器，打开 555Astab.ms10 并运行仿真。比较您得到的仿真结果以及 NI ELVIS 振荡器电路的结果。
2. 您观察到的电路输出的频率是多少？
3. 能观察到的电路输出的幅值是多少？

实验指导 8—2：数字电路范例 1

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Dig1.ms10。



说明

如果两个或两个以上 Tank 输入 (A、B 或 C) 处于高电平，报警指示器就会点亮。也就是说，其输出状态是高电平，或称为逻辑 1。要改变开关状态，按下其在上图中定义对应的键。如果希望得到声音报警，可以将压电蜂鸣器连接至输出。

电路计算

通过开关控制逻辑输入，手动计算真值表。

1. 这个电路有三个输入。那么总共有多少种输入的可能组合？
2. 使用开关将所有可能的逻辑状态输入到三个输入 A、B 和 C 中，填写以下真值表。

A	B	C	是否报警？

1. 任何布尔函数可以只使用与非门表示，也可以只使用或非门表示，或者使用与门、或门和非门的组合，因为它们在函数上是完整的。在下表中，填写如何仅仅使用与非门替换每一个非门、与门、或门以及或非门。

	画出门	画出等效与非门电路
非门		
与门		
或门		
或非门		

2. 在下面的空白中，作出一个卡诺图，使它与本实验指导中电路计算步骤 2 中的真值表相同。

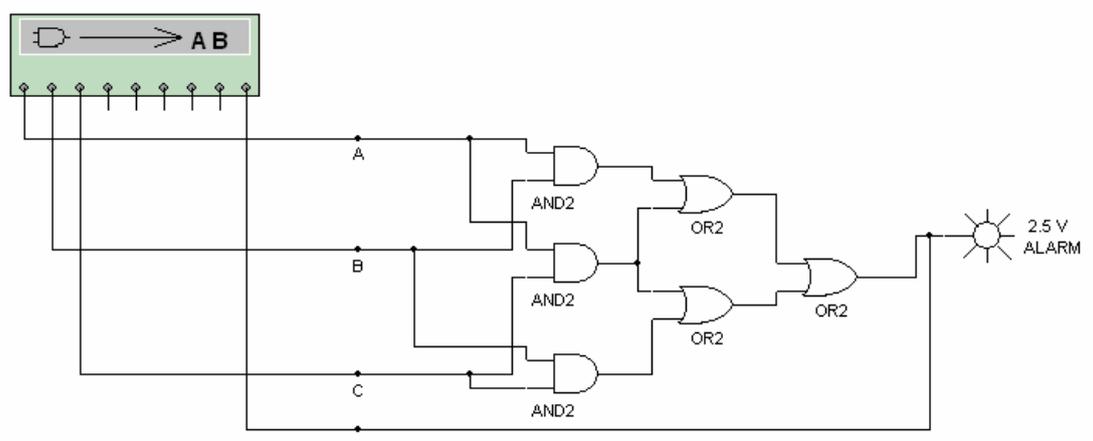
3. 布尔方程描述了逻辑电路的时序。
 以上命题是真还是假？ _____
 解释理由 _____

实验指导 8—3：数字电路范例 2

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Dig1A.ms10。



说明

如果两个（或两个以上）输入 A、B 或 C 处于高电平，报警指示器就会点亮。（也就是说，其输出状态是高电平，或称为逻辑 1。）

电路计算

使用逻辑转换器

逻辑转换器能够提供多达八个输入的所有可能逻辑状态，并且指示单个输出的状态。在这个电路中，仅需要三个输入。

问题

1. 求解电路，在打开的逻辑转换器中，选择（单击）第一个转换按钮。这样可以得到电路的真值表。记录真值表结果。

A	B	C	输出

2. 选择（单击）第二个转换按钮。这样能够得到电路的布尔表达式。记录布尔表达式。

3. 根据电路的逻辑分析，确认逻辑转换器给出的答案是正确的。写出所有计算过程。

真值表：

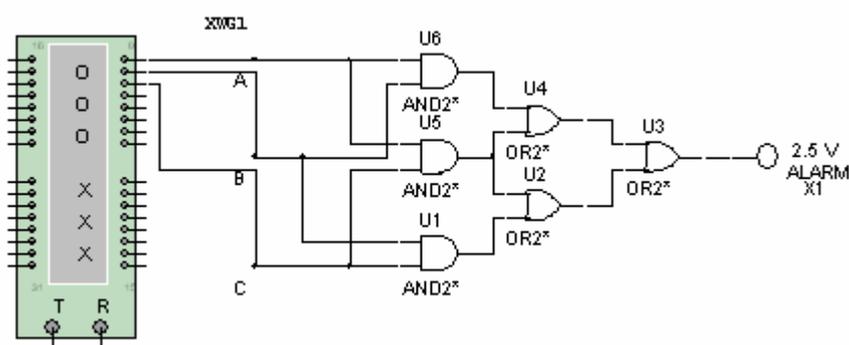
布尔表达式：

实验指导 8—4：数字电路范例 3

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Dig1B.ms10。



说明

如果两个（或两个以上）输入 A、B 或 C 处于高电平，报警指示器就会点亮。（也就是说，其输出状态是高电平，或称为逻辑 1。）

电路计算

使用字生成器

字生成器能够提供多达八个输入的所有可能逻辑状态，并且能够由一个数字输入“字”改变为下一个字。您可以设置多达 15 个输入字，通过将 1 或 0 输入每一个位中，而不一定要按照顺序。

输入以三种方式提供：

- 阶跃——每次“单击”阶跃窗口时，输入一个状态
- 突发——所有 15 中输入送入电路，然后停止计算
- 循环——输入持续地送入电路。在这个电路中，仅需要三个输入，因此将字生成器设置为八种可能的顺序二进制组合。

问题

1. 求解电路。送入电路输入的二进制字被突出显示。
电路的输出状态是否与输入相对应? _____

2. 在下面的真值表中输入这些状态。

3. 选择（单击）阶跃按钮。输入的字变化为第二个状态。
将输入逐步改变为所有可能的八种数字状态，完成电路的真值表。

A	B	C	输出

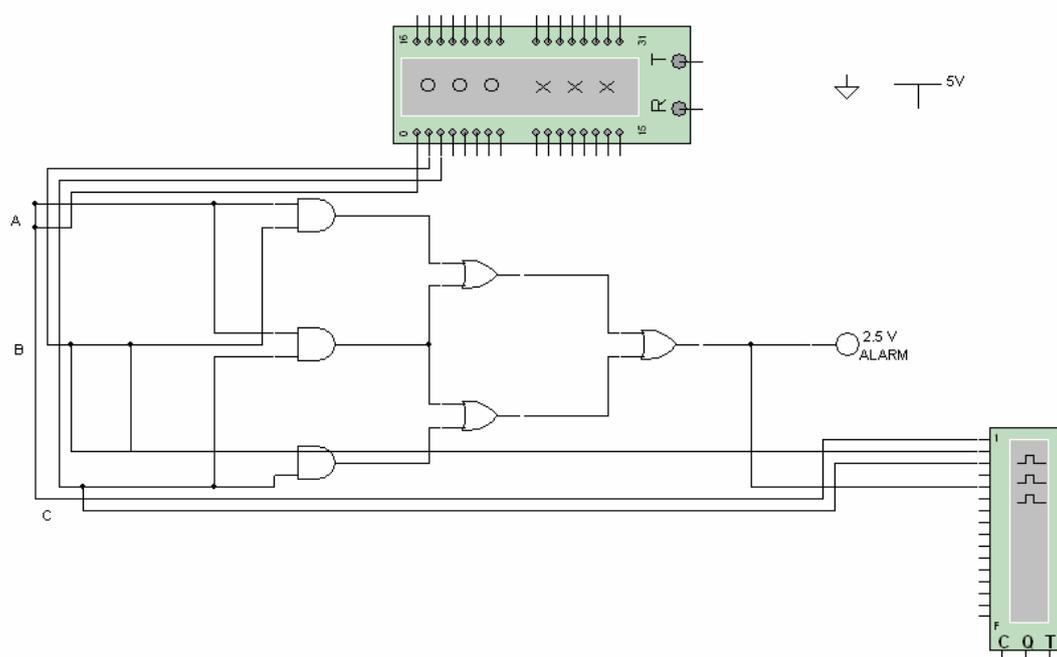
4. 根据电路的逻辑分析，确认逻辑转换器给出的答案是正确的。写出所有计算过程。
真值表

实验指导 8—5：数字电路范例 4

姓名：_____ 编号：_____ 班级：_____

开始

打开文件 Dig1C.ms10。



说明

如果两个（或两个以上）输入 A、B 或 C 处于高电平，报警指示器就会点亮。（也就是说，其输出状态是高电平，或称为逻辑 1。）

电路计算

使用字生成器以及逻辑分析仪

字生成器能够提供多达八个输入的所有可能逻辑状态，并且能够由一个数字输入“字”改变为下一个字。您可以设置多达 15 个输入字，通过将 1 或 0 输入每一个位中，而不一定要按照顺序。

逻辑分析仪是一个 8 通道示波器，能够测量电路中多达八个点的波形。在本实验中，三个输入显示在三个通道中，而输出显示在第四个通道中。

问题

1. 求解电路。
 - a) 在逻辑分析仪上观察波形。单击阶跃按钮，将输入逐步改变为所有可能的状态。解释结果。

 - b) 观察逻辑分析仪的波形。单击突发按钮。解释结果。

 - c) 观察逻辑分析仪的波形。单击循环按钮。解释结果。

2. 从您的数字电路教科书中选出一个相似的电路，使用在 Dig1 系列电路文件中的测试仪器和方法分析电路。递交一份描述您探索研究的简要而完整的实验报告，包括电路打印以及解答。