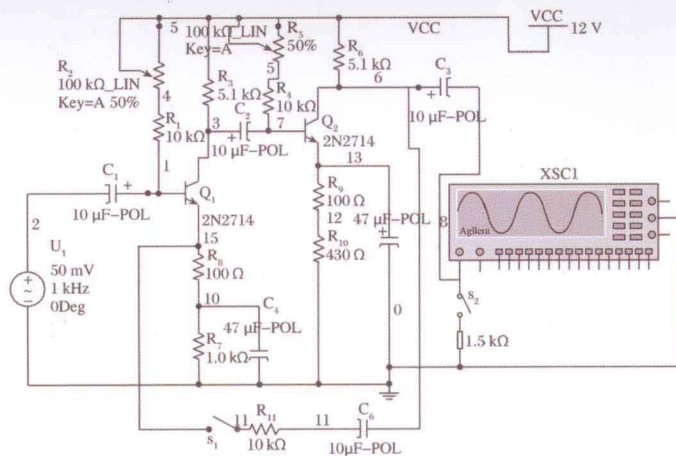


总主编 段书凯 马燕

模拟电子技术实验

主 编 陈跃华 赵庭兵 王丽丹
副主编 李北川 王进华 宋培森

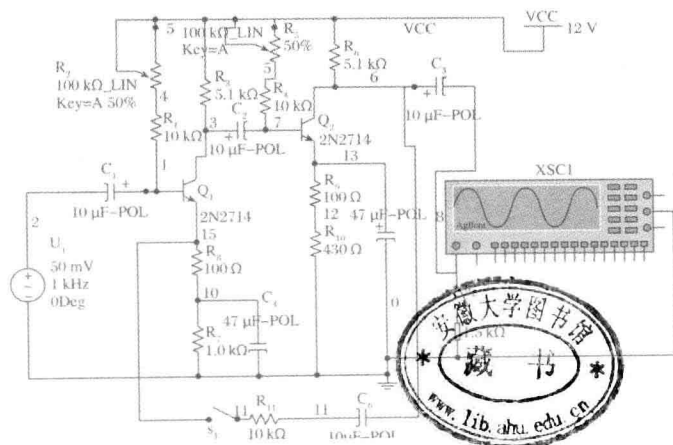


国家一级出版社 全国百佳图书出版单位



西南师范大学出版社

主 编 陈跃华 赵庭兵 王丽丹
副主编 李北川 王进华 宋培森



西南師範大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实验/陈跃华,赵庭兵,王丽丹主编

——重庆:西南师范大学出版社,2013.4

大学电工与电子技术实验教学示范中心教材

ISBN 978-7-5621-5067-1

I. ①模… II. ①陈… ②赵… ③王… III. ①模拟电
路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV.

①TN710—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 186997 号

大学电工与电子技术实验教学示范中心教材

模拟电子技术实验

MONI DIANZI JISHU SHIYAN

主 编:陈跃华 赵庭兵 王丽丹

责任编辑:张浩宇

封面设计:戴永曦

出版发行:西南师范大学出版社

(重庆·北碚 邮编:400715

网址:www.xscbs.com)

印 刷:重庆紫石东南印务有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:11

字 数:240 千字

版 次:2013 年 6 月第 1 版

印 次:2013 年 6 月第 1 次

书 号:ISBN 978-7-5621-5067-1

定 价:22.00 元

编 委 会

大学电工与电子技术实验教学示范中心教材

主 任:段书凯 马 燕

副主任:王丽丹 赵庭兵 陈跃华

成 员:(排名不分先后)

陈跃华	邓凌云	段书凯	邓 毅
李北川	卢从娟	李果平	罗庚荣
李慧芳	马 燕	宋培森	王 嘉
王进华	王丽丹	王晓东	谢 熹
詹 明	赵庭兵	邹文静	周雪莲
张 奕			

序

大学电工与电子技术实验教学示范中心教材

为深入贯彻落实《教育部关于全面提高高等教育质量的若干意见》(教高〔2012〕4号)和《教育部等部门关于进一步加强高校实践育人的若干意见》(教思政〔2012〕1号)文件精神,根据《教育部、财政部关于“十二五”期间实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”的意见》(教高〔2011〕6号),教育部大力加强专业类实验教学示范中心建设,实验教材建设是其中的重要内容。

本系列丛书作为电子信息类专业的实验指导教程,主要培养学生的创新能力和实际操作能力。当前的电子信息类专业的实验教材存在一些问题,例如,实验课时较少,学生实际动手操作能力不强;实验教学形式单一,没有针对学生的具体情况来制定相应的教学方案;实验教学计划、教学大纲比较陈旧,已不能很好地满足学生发展的需要等。因此,改革当前的电子信息专业的实验课程,注重在实验教学中培养学生的创新实践能力有着十分重要的意义。

本系列教材突出了教学科研有机结合,实现科研成果向实验教学内容的有效转化,使学生了解科技最新发展和学术前沿动态,激发科研兴趣,启迪科研思维,掌握科研方法,培养科研道德,提升科学研究和科技创新的能力。教材中的每个实验都包含实验目的、实验原理、实验设备、实验预习要求、实验步

骤、实验现象等内容,而且每个实验都有 Multisim 的仿真步骤,为学生的预习提供了方便。本系列丛书将几门课程的实验综合于一体,删除一些重复和过时的实验课程,为学生减少学习任务;而与此同时又新增了一些设计和综合性的实验,着重培养学生的创新能力和实际操作能力,使学生通过实验教学“掌握基本的实验操作方法,能够正确地使用仪器设备,准确地采集实验数据。具有正确记录、处理数据和表达实验结果的能力;认真观察实验现象进行判断、逻辑推理、得出结论的能力;正确设计实验(包括选择实验方法、实验步骤和仪器设备等),并通过查阅手册、工具书及其他信息源获得信息以解决实际问题的能力。

该系列教材是在融合电子信息学科的自身特点,并汲取多位专家建议的基础上编撰而成。当然,编写实验课程的教材是一项比较浩大的工程,本系列教材仅仅是一次探索、一次尝试,疏漏差错在所难免。但我们愿以此抛砖引玉,欢迎广大读者批评指正。

编 者

前言

“模拟电子技术”是相关学科专业的一门重要的技术基础课,实验是学习者学习和掌握这门课程的重要环节。同以往的实验教材比较,本实验指导书在内容和宗旨上都有了较大改变,旨在更有效地培养学习者的实验技能和创新能力,促进学习者全面而富有个性地发展。实验课一是采用实物实验与仿真实验相结合的形式,打破传统实验观念,以使实验教学形式更加灵活,实验内容、手段更加丰富,也为学生提供更多动脑动手的机会,二是精选了一些具有实战价值的综合实验以培养学生分析、解决实际问题的能力。三是实验中所例元件符号,尽可能采用国际常用符号。在附录中列出了部分基本技能训练知识,可在实验前学习掌握。

第一章安排了具有可选余地的 13 个模拟电子技术基础实验,以满足学习者“纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行”的要求。通过实验不仅要达到巩固和加深学生对所学电子技术理论知识的理解,熟悉电子电路中常用电子元器件的性能,掌握常用电子仪器的使用和电子电路测量基本原理和方法的目的,还

要达到在“做中学”与“学中做”中逐步形成知识与技能的目的。

第二章安排了 8 个模拟电子技术综合实验,有的注重功能实现,从而了解电路的一些典型应用;有的注重调试方法,从而培养解决实际问题的能力;还有一类实验是要通过理论计算来正确理解电路,从而指导调试和应用。本实验指导书虽然提供了完成实验的参考技术路线,但旨在抛砖引玉,实验者不必受此约束,以完成任务为目标,根本目的还是在于培养学生分析问题和解决问题的能力。实验可通过查阅参考资料、相互探讨等方式进行,从而锤炼意志、培养协作精神,进而形成正确的情感态度与价值观。

第四章安排了 5 个在电路仿真设计软件 Multisim 9.0 平台上的模拟电子技术实验,旨在借助于计算机仿真的强大功能,突破时间和空间的限制,使实验方式更加灵活。这也代表了现代电子设计的理念和发展方向,彻底模糊了动脑和动手的界线。

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书不妥之处在所难免,恳请批评指正。书末附有作者多年收集整理的一些资料,供实验时参考。

编 者

目 录

第一章 模拟电子技术基础实验	1
实验一 PN 结基础实验	1
实验二 晶体管单级放大器	6
实验三 射极输出器	9
实验四 差动放大器	12
实验五 集成运算放大器基本运算电路	15
实验六 RC 正弦波振荡器	19
实验七 有源滤波器	24
实验八 电压比较器、方波和三角波发生器	30
实验九 集成功率放大器	35
实验十 集成稳压电源	41
实验十一 电流/电压转换电路	45
实验十二 电压/频率转换电路	48
实验十三 LC 振荡器及选频放大器	50
第二章 模拟电子技术综合实验	55
实验一 蔡氏混沌电路的设计与观察	55
实验二 用于霍尔元件的测量电路	59
实验三 PN 结测温电路	62
实验四 模数转换器的前置电路	64
实验五 晶体管串联型稳压电源	66

实验六 函数信号发生器	74
实验七 开关电源	77
实验八 简易模拟乘法器	84
第三章 Multisim 9.0 及仿真实验实例	88
第一节 概述	88
第二节 Multisim 9.0 常用功能	89
第三节 仿真实验实例	100
第四章 模拟电子技术仿真实验	113
实验一 两级阻容耦合放大器仿真实验	113
实验二 负反馈放大电路	121
实验三 结型场效应管放大电路	125
实验四 集成电路 RC 正弦波振荡器	127
实验五 可控硅调光电路	133
附录一 常用电子元件命名与质量判别	140
附录二 安装和焊接的基本技术	162
参考文献	166

第一章 模拟电子技术基础实验

实验一 PN 结基础实验

一、实验目的

1. 学会识别二极管的常见类型、外观和相关标识。
2. 掌握使用万用表等仪器检测各类二极管的一般方法。

二、实验原理

(一) 二极管的主要参数

正向电流 I_F : 在额定功率下, 允许通过二极管的电流值。

正向电压降 V_F : 二极管通过额定正向电流时, 在两极间所产生的电压降。

最大整流电流(平均值) I_{OM} : 在半波整流连续工作的情况下, 允许的最大半波电流的平均值。

反向击穿电压 V_B : 二极管反向电流急剧增大到出现击穿现象时的反向电压值。

反向峰值电压 V_{RM} : 二极管正常工作时所允许的反向电压峰值, 通常 V_{RM} 为 V_B 的三分之二或略小一些。常见二极管如图 1-1-1 所示。

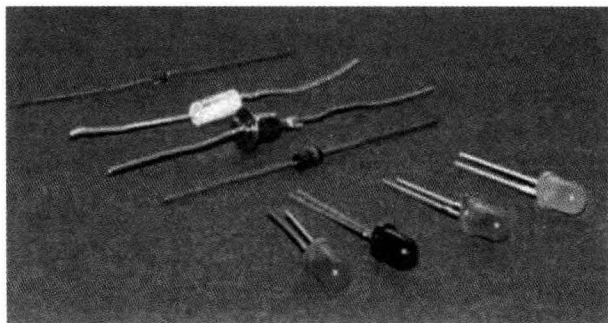


图 1-1-1 常见二极管

反向电流 I_R : 在规定的反向电压条件下流过二极管的反向电流值。

结电容 C : 电容包括势垒电容和扩散电容, 在高频场合下使用时, 要求结电容小于某一规定数值。

最高工作频率 F_M : 二极管具有单向导电性的最高交流信号的频率。

(二) 常用二极管

1. 整流二极管

将交流电流整流成为直流电流的二极管称为整流二极管, 它是面结合型的功率器件, 因结电容大, 故工作频率低。

通常, I_F 在 1 A 以上的二极管采用金属壳封装, 以利于散热; I_F 在 1 A 以下的采用全塑料封装, 由于近代工艺技术不断提高, 国外出现了不少较大功率的管子, 也采用塑封形式。如图 1-1-2、图 1-1-3 所示。

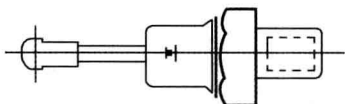


图 1-1-2 全密封金属结构



图 1-1-3 塑料封装

2. 检波二极管

检波二极管是用于把叠加在高频载波上的低频信号检出来的器件, 它具有较高的检波效率和良好的频率特性。

3. 开关二极管

在脉冲数字电路中, 用于接通和关断电路的二极管叫开关二极管, 它的特点是反向恢复时间短, 能满足高频和超高频应用的需要。

开关二极管有接触型, 平面型和扩散台面型几种, 一般 $I_F < 500 \text{ mA}$ 的硅开关二极管, 多采用全密封环氧树脂, 陶瓷片状封装, 引脚较长的一端为正极, 如图 1-1-4 所示。

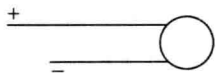


图 1-1-4 硅开关二极管全密封环氧树脂陶瓷片状封装

4. 稳压二极管

稳压二极管是由硅材料制成的面结合型晶体二极管, 它是利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点, 来达到稳压的目的, 因为它能在电路中起稳压作用, 故称为稳压二极管(简称稳压管), 其图形符号见图 1-1-5 所示。



图 1-1-5 稳压二极管的图形符号

当反向电压达到 V_Z 时,即使电压有一微小的增加,反向电流亦会猛增(反向击穿曲线很陡直),这时,二极管处于击穿状态。如果把击穿电流限制在一定的范围内,管子就可以长时间在反向击穿状态下稳定工作。稳压管的伏安特性曲线如图 1-1-6 所示。

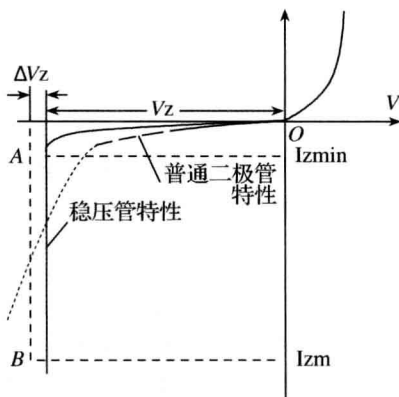


图 1-1-6 硅稳压管伏安特性曲线

5. 变容二极管

变容二极管是利用 PN 结的电容随外加偏压而变化这一特性制成的非线性电容组件,被广泛地用于参量放大器,电子调谐及倍频器等微波电路中。变容二极管主要是通过结构设计及工艺等一系列途径来突出电容与电压的非线性关系,并提高 Q 值以适合应用。

变容二极管的结构与普通二极管相似,其符号如图 1-1-7 所示。

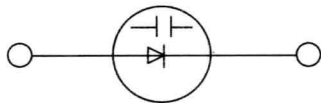


图 1-1-7 变容二极管图形符号

(三)选用二极管要注意的几个方面

1. 正向特性

加在二极管两端的正向电压(P 为正、N 为负)较小时(锗管小于 0.1 V,硅管小于 0.5 V),管子不导通,处于“死区”状态,当正向电压超过一定数值后,管子才导通,电压再稍微增大,电流急剧增加。不同材料的二极管,起始电压不同,硅管为 0.5~0.7 V 左右,锗管为 0.1~0.3 V 左右。

2. 反向特性

二极管两端加上反向电压时,反向电流很小,当反向电压逐渐增加时,反向电流基本保持不变,这时的电流称为反向饱和电流。不同材料的二极管,反向饱和电流大小不同,

硅管约为一微安到几十微安,锗管则可高达数百微安。另外,反向饱和电流受温度变化的影响很大,锗管的稳定性比硅管差。

3. 击穿特性

当反向电压增加到某一数值时,反向电流急剧增大,这种现象称为反向击穿,这时的反向电压称为反向击穿电压。不同结构、工艺和材料制成的管子,其反向击穿电压值差异很大,可由一伏到几百伏,甚至高达数千伏。

4. 频率特性

由于结电容的存在,当频率高到某一程度时,容抗小到使 PN 结短路,导致二极管失去单向导电性,不能工作。PN 结面积越大,结电容也越大,越不能在高频情况下工作。

(四) 二极管检测方法

二极管的极性通常在管壳上注有标记,如无标记,可用万用表电阻挡测量其正反向电阻来判断(一般用 $R \times 100$ 或 $\times 1 \text{ k}$ 挡),具体方法如下:

正向检测硅管,表针指示位置在中间或中间偏右一点;对于锗管,表针指示在右端靠近满刻度的地方表明管子正向特性是好的,如果表针在左端不动,则管子内部已经断路。

反向检测硅管,表针在左端基本不动,极靠近 0 位置;对于锗管,表针从左端起动一点,但不超过满刻度的 $1/4$,则表明反向特性是好的,如果表针指在 0 位,则管子内部已短路。

三、实验器材

1. 直流稳压电源;2. 函数信号发生器;3. 示波器;4. 数字万用表;5. 数字毫伏表;6. 实验电路板和连接导线;7. 计算机及其仿真软件。

四、预习要求

1. 仔细阅读“常用电子器件”中有关 PN 结的内容介绍。
2. 预习此次实验内容,了解实验目的、内容和基本步骤。

五、实验内容

(一) 用万用表测量二极管的正负极

用模拟万用表对半导体二极管正负极进行简易测试时,要选用万用表的欧姆 $R \times 10$ 和 $R \times 1 \text{ K}$ 挡。与万用表“+”输入相连的红表笔与表内电源的负极相通,而与万用表“-”输入端相连的黑表笔却与表内电源的正极相通。当测量出的电阻值较小时,黑表笔接的为二极管正极,反之,为负极,如图1-1-8所示。

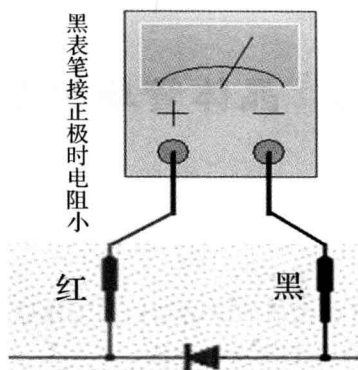


图 1-1-8 二极管正负极检测

(二) 普通发光二极管的检测

1. 用万用表检测。利用具有 $\times 10\text{ k}\Omega$ 挡的指针式万用表可以大致判断发光二极管的好坏。正常时,二极管正向电阻阻值为几十至 $200\text{ k}\Omega$,反向电阻的值为 ∞ 。如果正向电阻值为 0 或为 ∞ ,反向电阻值很小或为 0,则已损坏。这种检测方法,不能实地看到发光管的发光情况,因为 $\times 10\text{ k}\Omega$ 挡不能向 LED 提供较大正向电流。

如果有两块指针万用表(最好同型号)可以检查发光二极管的发光情况。用一根导线将其中一块万用表的“+”接线柱与另一块表的“-”接线柱连接。余下的“-”笔接被测发光管的正极(P区),余下的“+”笔接被测发光管的负极(N区),即两表串联使用。两块万用表均置 $\times 10\text{ }\Omega$ 挡。正常情况下,接通后就能正常发光。若亮度很低,甚至不发光,可将两块万用表均拨至 $\times 1\text{ }\Omega$ 挡,若仍很暗,甚至不发光,则说明该发光二极管性能不良或损坏。应注意,不能一开始测量就将两块万用表置于 $\times 1\text{ }\Omega$ 挡,以免电流过大,损坏发光二极管。

2. 外接电源测量。用 3 V 稳压电源或两节串联的干电池及万用表(指针式或数字式皆可)可以较准确测量发光二极管的光、电特性。如果测得 V_F 在 $1.4\sim 3\text{ V}$ 之间,且发光亮度正常,可以说明发光正常;如果测得 $V_F=0$ 或 $V_F\approx 3\text{ V}$,且不发光,说明发光管已坏。

六、实验报告

1. 实验电路。
2. 实验内容及实验步骤、实验数据。
3. 列表整理测量结果,分析产生误差原因。
4. 总结用万用表检测二极管的一般方法。

七、注意事项

必须整理实验数据,把实测数据与理论值进行比较,分析原因。

实验二 晶体管单级放大器

一、实验目的

1. 加深理解共射极晶体管放大器的电路结构和工作原理,加深理解电路元件参数对放大器性能的影响,掌握调整静态工作点的方法。
2. 进一步熟悉放大器的基本技术指标,掌握测量放大倍数、输入电阻、输出电阻以及最大不失真输出电压幅值的方法。
3. 熟悉常用电子实验仪器的使用方法。
4. 完成温度影响直流工作点的仿真实验研究。

二、实验原理

放大器电路的基本任务是不失真地放大输入信号。要使放大器能够正常工作,必须为其设置合理的静态工作点。为了获得最大不失真的输出电压,静态工作点一般应该选在晶体三极管输出曲线交流负载线的中点。如果工作点选得过高,就会引起饱和失真;而选得过低,会引起截止失真。对于小信号而言,由于放大器输出交流信号幅度很小,非线性失真不是主要问题,因此,静态工作点不一定要选在晶体三极管输出曲线交流负载线的中点,而可根据其他技术要求选择。如静态工作点选低一点,可使耗电小、噪声低、输入阻抗高;希望放大器增益高,静态工作点可适当选高一些。放大器基本电路如图 1-2-1 所示。放大器电路结构应满足晶体三极管发射结正向偏置,集电结反向偏置的电压关系。

三、实验器材

1. 直流稳压电源;2. 函数信号发生器;3. 示波器;4. 数字万用表;5. 数字毫伏表;6. 实验电路板和连接导线;7. 计算机及其仿真软件。

四、预习要求

1. 了解共射极晶体管放大电路的结构和工作原理,熟悉基本技术指标。
2. 了解 Multisim 9.0 仿真软件的功能,熟悉仿真实验方法。
3. 了解饱和失真、截止失真和非线性失真的原因,并观察波形,了解消除失真的方法。
4. 熟悉常用电子实验仪器的使用方法。

五、实验内容

1. 测量并计算静态工作点

实验按图 1-2-1 接线。

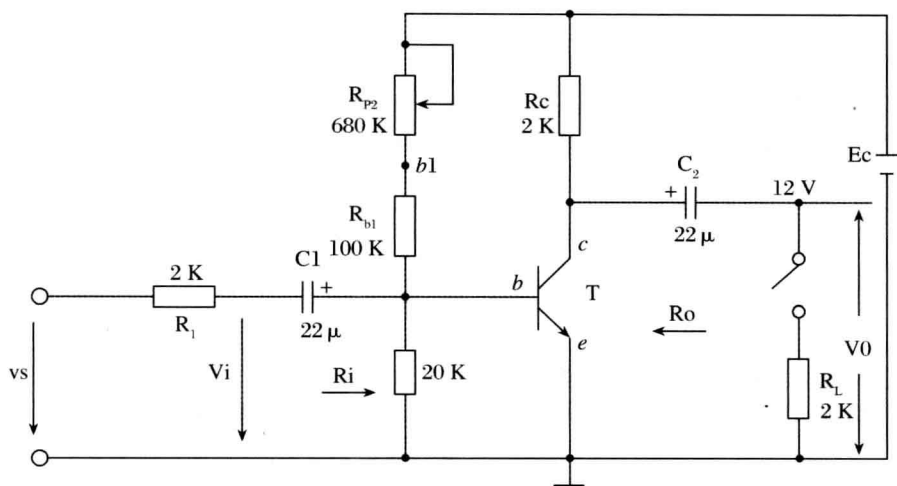


图 1-2-1 共射级晶体管放大电路

调节电位器 R_{P2} , 使 $V_C = E_C/2$ (取 6~7 V), 测静态工作点 V_C 、 V_E 、 V_B 及 V_{b1} 的数值, 记入表 1-2-1 中。

按下式计算 I_B 、 I_C , 并记入表 1-2-1 中。

$$I_B = \frac{V_{b1} - V_b}{100 \text{ k}} - \frac{V_b}{20 \text{ k}} \quad I_C = \frac{E_C - V_C}{R_C}$$

表 1-2-1

调整 R_{P2}	测量			计算	
V_C (V)	V_E (V)	V_B (V)	V_{b1} (V)	I_C (mA)	I_B (μ A)

2. 测量电压放大倍数, 观察输入输出电压波形和相位关系

在实验步骤 1 的基础上, 在输入端接入 $f=1 \text{ kHz}$, $V_s=20 \text{ mV}$ 的正弦信号, 负载电阻分别为 $R_L=2 \text{ k}\Omega$ 和 $R_L=\infty$, 用双踪示波器观察输入输出电压波形, 比较他们的幅度和相位关系。在输出波形不失真的情况下, 读幅度记于表 1-2-2 中, 并计算电路的电压放大倍数: $A_v=V_o/V_i$, 把数据填入表 1-2-2 中。