

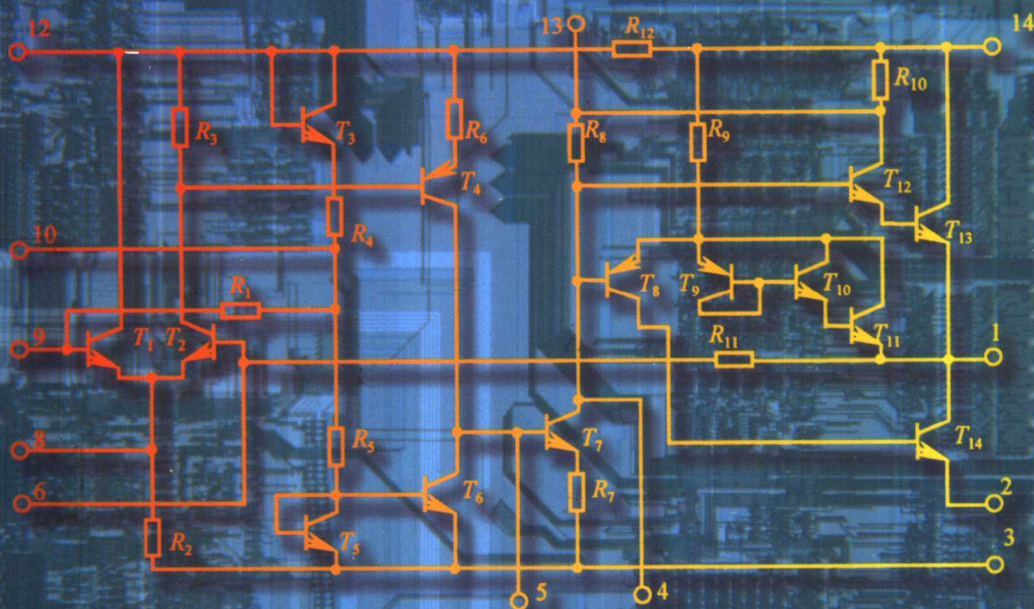
世界银行贷款

21世纪初高等教育教学改革项目

低频电子线路

实验

沈明发 黄伟英 潘小萍 孙良雕 编著

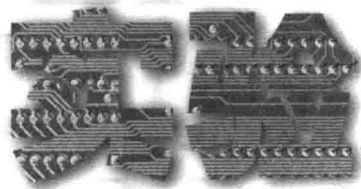


暨南大学出版社
Jinan University Press

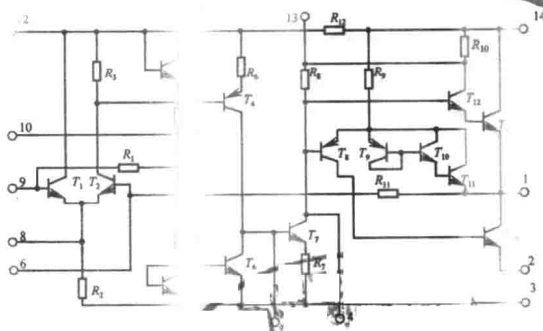
世界银行贷款

21世纪初高等教育教学改革项目

低频电子线路



沈明发 黄伟英 潘小萍 孙良雕 编著



暨南大学出版社
Jinan University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

低频电子线路实验/沈明发, 黄伟英, 潘小萍, 孙良雕编著. —广州:
暨南大学出版社, 2001.10

ISBN 7-81079-019-6

I. 低…

II. ①沈… ②黄… ③潘… ④孙…

III. 低频-电子电路-实验-高等学校-教材

IV. TN 710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 058633 号

出版发行: 暨南大学出版社

地 址: 中国广州暨南大学

电 话: 编辑部 (8620) 85225262 85220289 85225277

发行部 (8620) 85223774 85225284 85220602 (邮购)

传 真: (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (发行部)

邮 编: 510630

网 址: <http://www.jnupress.com> <http://press.jnu.edu.cn>

排 版: 暨南大学出版社照排中心

印 刷: 新会棠下中学印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 17

字 数: 390 千

版 次: 2001 年 10 月第 1 版

印 次: 2001 年 10 月第 1 次

印 数: 1-3000 册

定 价: 26.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社发行部联系调换)

前 言

本书是世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革项目《电子信息工程专业教学内容与课程体系改革的研究与实践》中基础实验课程的研究成果,是作者在多年实验教学的基础上,为适应 21 世纪实验教学改革的需要,培养学生的实际动手能力,特别是分析与解决实际问题的能力和创新意识而编写的电子线路实验教材。

本书在实验内容的编排上具有以下几个特点:

1. 创新性

将实验内容分为基础型、设计型和提高型 3 个层次。基础型实验的大部分内容,是以电子线路的基本理论为基础,介绍电路的原理、安装和性能参数的测量方法。在设计型实验中,除了给出实验任务外,还介绍了设计方法,并举例说明电路的设计过程,学生可根据实验题目的指标要求,参照所介绍的方法,自己设计、安装和调试电路,因此很适合学生自学和独立进行实验操作,增强理论与实践相联系的能力、电路的设计以及分析和解决实际问题的能力。在提高型实验中,要求学生根据实验题目的技术指标要求,综合运用所学知识,查阅参考资料,完成小型系统的设计制作任务。它包括制定出系统的总体方案和论证方案的可行性、设计单元电路和实验方案、安装与调试电路,以培养学生的综合设计和创新能力。

2. 适应性

本教材在内容的组织上充分考虑到教学的适应性,可作为高等学校理工科电子、电气、信息、通信、电子信息工程、自动控制、计算机应用和非电类专业电子线路实验课程的教材,教师可根据本专业相关课程和学生的实际情况,选用其中的实验内容。

3. 通用性

实验室只需配置示波器、信号发生器、直流稳压电源、晶体管毫伏表、万用电表等常用的仪器设备,学生配备插件电路板(面包板)和必要的元器件,就可开出实验课。

全书分为 6 章,沈明发同志和潘小萍同志共同编写了第二章的实验三至实验十四、第三章、第四章和第五章的第八节至第九节的内容。黄伟英同志和孙良雕同志共同编写了第一章、第二章的实验一、实验二、实验十五,第五章的第一节至第七节以及第六章的内容。本书由沈明发同志组织编写、修改和定稿,并为本书绘制了大部分插图。

暨南大学何锡年教授仔细审阅了书稿,并提出了宝贵的建议,在此深表感谢!

本书在编写过程中,得到了暨南大学教务处领导和电子工程系领导的关心和支持,世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革项目的主持人黄君凯副教授对本书的编写提出了意见并给予热心的帮助,在此一并表示谢意!

限于编者水平及时间仓促,书中错误在所难免,恳请广大师生和读者提出批评和建议。

编者

2001 年 6 月于广州暨南园

内 容 简 介

本书是世行贷款 21 世纪初高等教育教学改革项目《电子信息工程专业教学内容与课程体系改革的研究与实践》中基础实验课程的研究成果,是作者在多年实验教学的基础上,为适应 21 世纪实验教学改革的需要,培养学生的实际动手能力,特别是分析与解决实际问题的能力和创新意识而编写的电子线路实验教材。

全书分为 4 部分:第 1 部分介绍了电子线路的测量技术与测量方法;第 2 部分为实验内容,分别安排了基础型、设计型和提高型实验;第 3 部分介绍了常用仪器的使用方法;第 4 部分介绍了部分常用的电气符号和元器件的命名法及其技术指标。

本书可供高等学校理工科电子、电气、信息、通信、电子信息工程、自动控制、计算机应用及非电类专业作为电子线路实验课的教材,也可供相关专业的师生和工程技术人员参考。

本书常用符号说明

一、基本符号

1. 电压和电流

u 、 i	交流电压、电流瞬时值
U 、 I	直流电压、电流值，正弦交流电压、电流的有效值
$u(i)$	小写下标表示交流电压（电流）瞬时值
$U(I)$	大写下标表示直流电压（电流）或平均电压（电流）
$u(i)$	小写下标表示正弦交流电压（电流）的有效值
$U(I)$	大写下标表示含有直流的电压（电流）瞬时值
U_Q 、 I_Q	静态工作点电压、电流
$\dot{U}$ 、 $\dot{I}$	正弦电压、电流复数值
U_m 、 I_m	正弦电压、电流的幅值
U_{p-p} 、 I_{p-p}	正弦电压、电流的峰峰值
U_{CC} 、 U_{EE}	集电极和发射极直流电源电压
U_{DD}	漏极直流电源电压
U_i	输入交流电压的有效值
U_o	输出交流电压的有效值
U_f	反馈电压的有效值
U_{REF}	基准电压
U_{IO} 、 I_{IO}	输入失调电压、电流
U_{id} 、 U_{ic}	差模输入电压、共模输入电压

2. 功率

P_o	输出功率
P_{Omax}	最大输出功率
P_i	输入功率
P_D	直流电源提供的功率

3. 频率

f	频率
f_c	截止频率
f_0	中心频率
BW 、 Δf	带宽、通频带
ω	角频率

4. 电阻、电容、电感

R 、 r	电阻
R_s	信号源内阻

R_L	负载电阻
R_i	输入电阻
R_o	输出电阻
R_{if}	有反馈时的输入电阻
R_{of}	有反馈时的输出电阻
R_w	电位器
C	电容
L	电感

5. 增益或放大倍数

A	增益、放大倍数
A_f	反馈放大器的增益、反馈放大器的放大倍数
A_{uo}	开环电压增益、开环电压放大倍数
A_u	接有负载 R_L 时的电压增益、电压放大倍数
A_{uc}	共模电压增益、共模电压放大倍数
A_{ud}	差模电压增益、差模电压放大倍数
A_{uf}	闭环电压增益、闭环电压放大倍数
A_{um}	中频区电压增益、中频区电压放大倍数

二、器件参数符号

b	基极
c	集电极
e	发射极
g_m	跨导
r_{be}	共发射极接法下基极与发射极之间的微变电阻
D	二极管、场效应管的漏极
D_z	稳压管
G	场效应管的栅极
I_{CM}	集电极最大允许电流
I_D	流过二极管的电流、漏极电流
U_{RM}	二极管承受的最大反向电压
I_{DSS}	场效应管的饱和漏电流
S	场效应管的源极
T	晶体三极管、场效应管
U_p	场效应管的夹断电压
U_z	稳压管的稳定电压
β	共发射极接法下的集电极电流放大倍数

三、其他符号

$CMRR$	共模抑制比
Q	静态工作点
F	反馈系数
S_v	稳压电路的稳压系数

T	周期、热力学温度
τ	时间常数
η	效率
T_r	变压器
φ	相位差

目 录

1 实验预备知识	1
1.1 电子线路实验须知	1
1.1.1 电子线路实验的意义和目的要求	1
1.1.2 电子线路实验环节	2
1.1.3 实验安全措施	4
1.2 电信号基本参数的测量方法	4
1.2.1 电压的测量方法	4
1.2.2 周期的测量方法	7
1.2.3 频率的测量方法	7
1.2.4 相位差的测量方法	7
1.3 阻抗的测量方法	9
1.3.1 输入阻抗的测量方法	9
1.3.2 输出阻抗的测量方法	9
1.4 幅频特性与通频带的测量	10
1.4.1 幅频特性的测量	10
1.4.2 通频带的测量	11
1.5 增益和损耗的测量	12
1.5.1 分贝的定义	12
1.5.2 绝对电平与相对电平	12
1.5.3 分贝的不同表示形式	12
1.5.4 增益和损耗的测量	13
1.6 电子仪器及电路的接地、共地和去耦	14
1.6.1 接地与共地	14
1.6.2 去耦	15
1.7 实验电路安装与调试技术	17
1.7.1 实验电路安装	17
1.7.2 布线的一般原则	18
1.7.3 电路调试和故障的排除	19
1.8 印制电路的设计与制作	20
1.8.1 印制电路板图设计原则	21
1.8.2 印制电路板制作	22
1.8.3 电路板的焊接	22

2 基础型实验	25
实验一 常用电子元器件的识别	25
实验二 常用电子仪器的使用	32
实验三 单级放大器的安装与测试	38
实验四 负反馈放大器	49
实验五 场效应管放大器	60
实验六 差分放大器	65
实验七 集成运算放大器参数的测试	72
实验八 集成运放的应用(一)	81
实验九 集成运放的应用(二)	86
实验十 电压比较器的安装与测试	91
实验十一 方波、三角波发生器的安装与测试	98
实验十二 RC 振荡器的安装与测试	105
实验十三 有源滤波器的安装与测试	113
实验十四 集成功率放大器的安装与测试	125
实验十五 直流稳压电源的安装与调试	131
3 设计型实验	139
实验一 共射极放大器的设计	139
实验二 共源极放大器的设计	144
实验三 方波、三角波发生器的设计	150
实验四 RC 振荡器的设计	152
实验五 多级交流放大器的设计	156
实验六 有源滤波器的设计	162
实验七 直流稳压电源的设计	176
实验八 测量放大器的设计	185
4 提高型实验	188
实验一 扩音机的设计	188
实验二 集成运算放大器简易测试仪的设计	188
实验三 心电信号放大器的设计	189
实验四 晶体管输出特性曲线测试电路的设计	189
实验五 正、负跟踪双路直流稳压电源的设计	189
实验六 多路防盗报警器的设计	190
实验七 电子测温器的设计	190
实验八 电压/频率变换器的设计	191
实验九 调音器的设计	191
实验十 多种波形发生器的设计	192

5 常用仪器的使用	193
5.1 YX-960TR 万用电表	193
5.2 DT890B ⁺ 数字万用表	196
5.3 DA-16 型晶体管毫伏表	199
5.4 DA-16D 交流毫伏表	200
5.5 V-252 型二踪示波器	200
5.6 GFG-8016 型函数信号发生器	209
5.7 JWD-2 直流稳压电源	216
5.8 XJ4810 型半导体管特性图示仪	217
5.9 S907-1 自动失真度测试仪	226
6 常用电子元器件参考资料	231
6.1 部分电气图形符号	231
6.2 常用电子元器件型号命名法及主要技术指标	233
6.2.1 电阻器和电位器	233
6.2.2 电容器	238
6.2.3 电感器	240
6.2.4 半导体分立器件	241
6.2.5 模拟集成电路	256
主要参考文献	259

1 实验预备知识

1.1 电子线路实验须知

1.1.1 电子线路实验的意义和目的要求

1. 意义

电子线路是一门应用性很强的课程，而电子线路实验是该课程的重要教学环节之一。该课程的特点是强调实践与理论相结合，注重工程观念的培养和专业训练。在实验过程中，既能验证理论的正确性和实用性，又能从中发现理论的近似性和局限性。通过实验，往往可以发现新问题，产生新的设想，有利于培养学生的创新意识和创造能力。

目前，电子科学技术的发展日新月异，新器件、新电路相继产生。要认识和掌握并应用种类繁多的新器件和新电路，最为有效的途径就是进行实验。通过实验，可以分析器件和电路的工作原理，完成性能指标的检测；可以验证和扩展器件、电路的性能或功能的使用范围；可以设计并制作出各种实用电路、实用产品。实验也是科学研究工作的基础和手段，熟练掌握电子线路实验技术，对从事无线电技术工作的人员来说是至关重要的。

2. 目的和要求

通过电子线路实验以巩固和加深电子技术的基础理论和基本概念，使学生受到必要的基本实验技能的训练，学会识别和选择所需的元器件，设计、安装和调试实验电路，加强综合设计能力和创新能力的培养，在培养学生实际动手能力、分析问题和解决问题能力的同时，通过实验，使学生达到下述要求：

(1) 看懂基本电子线路图，具有分析电路的能力；具有合理选用元器件并构成小系统电路的能力。

(2) 掌握查阅和利用技术资料解决实际问题的方法；具有分析和排除基本电子线路一般故障的能力。

(3) 掌握常用电子测量仪器的选择、仪器说明书的使用和仪器的使用方法；掌握各种电信号的基本测试方法。

(4) 能够根据实验任务拟定实验方案，独立完成实验，写出严谨的、有理论分析的、实事求是的、文字通顺和字迹端正的实验报告。

(5) 具有一定的综合设计能力和创新意识。

(6) 具有严肃、认真的工作习惯，实事求是的科学态度和团队协作精神；具有守纪

律、爱护公物的优良品质。

(7) 掌握实验室的安全用电知识。

1.1.2 电子线路实验环节

为了达到前述电子线路实验的预期目的和要求，必须做好实验前的预习、实验过程、实验报告和课程设计总结报告等几个主要环节。

1. 实验预习

实验能否顺利进行并收到预期的效果，很大程度上取决于实验前的预习和准备工作是否充分。因此每次实验前，必须详细阅读实验讲义，明确每次实验的目的与任务，掌握必要的实验理论和方法，了解实验内容和实验设备的使用方法，在此基础上简要地写出实验预习报告，其内容包括：

- (1) 实验名称、日期、班级、姓名、学号。
- (2) 实验目的。
- (3) 完成预习要求，预期实验结果。
- (4) 实验原理（要求简明扼要）。
- (5) 实验电路图。
- (6) 实验设备。
- (7) 实验内容（只要求写实验项目和记录数据的表格、记录波形图的坐标）。

2. 实验过程

正确的操作程序和良好的工作方法是实验顺利进行的保证。因此，进行实验时要求做到：

(1) 按编号入座后，认真检查每次实验使用元器件的型号、规格和数量是否符合要求，检查所用电子仪器设备的状况，若发现故障应报告指导教师及时排除，以免耽误上课时间。

(2) 认真听取指导教师对实验的介绍。

(3) 根据实验电路的结构特点，采用合理的接线步骤，一般按“先串联后并联”，“先接主电路后接辅助电路”的顺序进行，以避免遗漏和重复。接线完毕，要养成自查的习惯。

(4) 实验电路接好后，检查无误方可接入电源（注意：接入电源前要调整好电源，使其大小和极性满足实验要求）。要养成实验前“先接实验电路后接通电源”，实验完毕后，“先断开电源后拆实验电路”的操作习惯。

(5) 电路接通后，不要急于测定数据，要按实验预习时所预期的实验结果，概略地观察全部现象以及各仪表的读数变化范围。然后开始逐项实验，测量时要有选择地读取几组数据（为便于检查实验数据的正确性，实验时应带计算器）。读取数据时，要尽可能在仪器仪表的同一量程内读数，减少由于仪器仪表量程不同而引起的误差。

(6) 如实验中要求绘制曲线，至少要读取 10 组数据，而且在曲线的弯曲部分应多读几组数据，这样画出的曲线就比较平滑准确。

(7) 测量数据经自审无误后送指导教师复核，经检查正确后才拆掉电路，以免因数据错误需要重新接线测量而花费不必要的时间。

(8) 实验结束后，应做好仪器设备和导线的整理以及实验台面的清洁工作，做到善始善终。

3. 实验报告

实验报告是实验工作的全面总结。写报告的过程，就是对电路的设计方法和实验方法加以总结，对实验数据加以处理，对所观察的现象、所出现的问题以及采取的解决方法加以分析、总结的过程。实验报告要求文句通顺、简明扼要、字迹端正、图表清晰、结论正确、分析合理。

对于工科学生来说，撰写实验报告是一种基本技能训练，通过写实验报告，能够深化对技术基础理论的认识，提高技术基础理论的应用能力；提高记录、处理实验数据，分析与判断实验结果的能力；培养严谨的学风和实事求是的科学态度；锻炼科技文章的写作能力等。因此，撰写实验报告是实验工作不可缺少的一个重要环节，不可忽视。具体要求如下：

(1) 在预习报告的基础上，对实验的原始数据进行整理，用适当的表格列出测量值和理论值，按要求绘制好波形图、曲线图等。

(2) 运用实验原理和掌握的理论知识对实验结果进行必要的分析和说明，从而得出正确的结论。

(3) 对实验中存在的一些问题进行讨论，并回答思考题。

(4) 对实验方法、实验电路的选择、老师的教学方法等提出有创意性的建议。

4. 课程设计总结报告

课程设计的总结报告是对学生写科学论文和科研总结报告的能力训练。通过写报告，不仅把设计、组装、调试的内容进行全面总结，而且把实践内容上升到理论高度。总结报告应包括以下几点：

(1) 课题名称。

(2) 内容摘要。

(3) 设计内容及要求。

(4) 比较和选定所设计的方案以及系统框图。

(5) 单元电路设计、参数计算和器件选择。

(6) 完整的电路图和电路的工作原理。

(7) 组装调试的内容，包括：

1) 使用的主要仪器和仪表。

2) 调试电路的方法和技巧。

3) 测试的数据、波形以及与设计计算结果的比较分析。

4) 调试中出现的故障、原因及排除方法。

(8) 总结设计电路的特点和方案的优缺点，指出课题的核心和实用价值，提出改进意见、展望。

(9) 列出系统需要的元器件。

(10) 实验的收获和体会。

(11) 列出参考文献。

1.1.3 实验安全措施

为了人身与仪器设备安全,保证实验顺利进行,进入实验室后要遵守实验室的规章制度和实验室安全规则。

1. 人身安全

(1) 实验时不允许赤脚;各种仪器设备应有良好的接地线。

(2) 仪器设备、实验装置中通过强电的连接导线应有良好的绝缘外套,芯线不得外露。

(3) 在进行强电或具有一定危险性的实验时,应有两人以上合作;测量高压时,通常采用单手操作并站在绝缘垫上。在接通交流 220V 电源前,应通知实验合作者。

(4) 万一发生触电事故时,应迅速切断电源,如距电源开关较远,可用绝缘器具将电源线切断,使触电者立即脱离电源并采取必要的急救措施。

2. 仪器安全

(1) 使用仪器前,应认真阅读使用说明书,掌握仪器的使用方法和注意事项。

(2) 使用仪器时,应按照要求正确接线。

(3) 实验中要有目的地扳(旋)动仪器面板上的开关(或旋钮),扳(旋)动时切忌用力过猛。

(4) 实验过程中,精神必须集中。当嗅到焦臭味、见到冒烟和火花、听到劈啪声、感到设备过烫及出现保险丝熔断等异常现象时,应立即切断电源,在故障未排除前不得再次开机。

(5) 搬动仪器设备时,必须轻拿轻放;未经允许不得随意调换仪器,更不准擅自拆卸仪器设备。

(6) 仪器使用完毕,应将面板上各旋钮、开关置于合适的位置,如万用表功能开关应旋至“OFF”位置等。

1.2 电信号基本参数的测量方法

电信号,按其波形可分为正弦波信号和非正弦波信号;按其传输形式可分为随时间连续变化的模拟信号和不连续的数字信号。不论哪种信号,其基本参量均为电压、电流和功率,其次是频率、相位和时间(周期、脉冲宽度及脉冲前后沿时间等)。以下介绍电信号的电压、频率、周期、相位等基本参数的测量方法。

1.2.1 电压的测量方法

电压分为直流电压和交流电压。直流电压的大小可用直流电压表、万用表的直流电

压档和示波器测得；交流电压可用交流电压表和示波器测量。测量时要根据交流电压的频率范围选择测量仪器仪表，因为不同的仪器仪表有不同的工作频率范围。交流电压信号可用峰峰值 U_{p-p} 、峰值 U_m 、平均值 $\bar{U}$ 和有效值 U_0 表示。对于周期性信号 $u(t)$ ，其全波整流平均值可用下式表示，即

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt \quad (1-1)$$

其有效值为

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [u(t)]^2 dt} \quad (1-2)$$

对于峰值为 U_m 的正弦信号： $u(t) = U_m \sin \omega t$ ，其全波平均值为

$$\bar{U} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |U_m \sin \omega t| d\omega t = \frac{2U_m}{\pi} = 0.636 U_m \quad (1-3)$$

其有效值为

$$U = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (U_m \sin \omega t)^2 d\omega t} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \quad (1-4)$$

同理，可求出峰值为 U_m 的三角波的平均值为 $U_m/2$ ，有效值为 $U_m/\sqrt{3}$ 。由此可见，不同波形的电压，尽管其峰值相同，但其平均值和有效值是不同的。

用示波器可以测得各种波形电压的峰值 U_m 。根据被测电压的波形的峰值，按表 1-1，可求出几种波形电压的平均值和有效值。

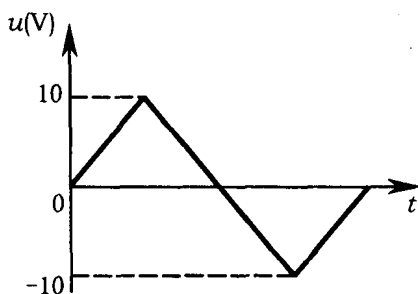


图 1-1

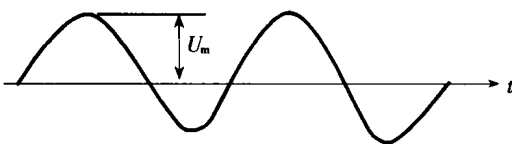
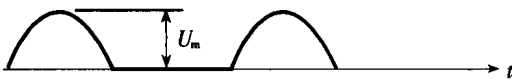
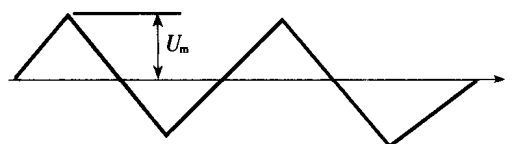
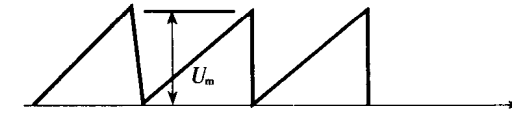
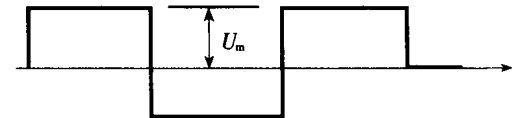
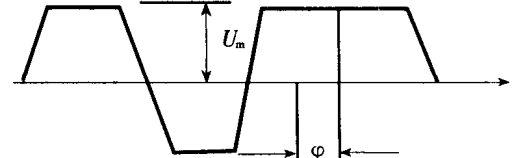
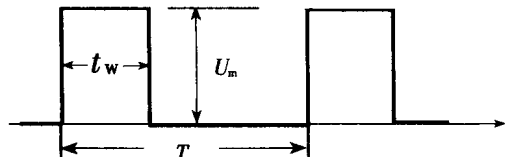
例如：用示波器测得三角波峰峰值 $U_{p-p} = 20V$ ，如图 1-1 所示，则峰值 $U_m = 10V$ 。查表 1-1 知有效值为

$$U = U_m / \sqrt{3} \approx 5.8V;$$

平均值为

$$\bar{U} = \frac{U_m}{2} = 5V$$

表 1-1 几种波形电压有效值、平均值与峰值的关系

波形名称	波 形 图	有效值	整流平均值
正弦波		$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2}{\pi} U_m$
半波整流		$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\pi} U_m$
全波整流		$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2}{\pi} U_m$
三角波		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{2}$
锯齿波		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$
方波		U_m	U_m
梯形波		$\sqrt{1 - \frac{4\varphi}{3\pi}} \cdot U_m$	$\left(1 - \frac{\varphi}{\pi}\right) U_m$
矩形脉冲		$\sqrt{\frac{t_w}{T}} \cdot U_m$	$\frac{t_w}{T} U_m$