



全国高等职业教育规划教材

高级维修电工 实训教程

主 编 张静之 刘建华

副主编 庄德渊 孙国荣

电子课件下载网址 www.cmpedu.cn



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



全国高等职业教育规划教材

高级维修电工实训教程

主 编	张静之	刘建华
副主编	庄德渊	孙国荣
参 编	江 山	王勤易



机械工业出版社

《高级维修电工实训教程》一书以职业能力为核心,整合了所需掌握的基本知识和技能实践,按等级、分模块的模式编写。全书共分为4章,第1章包括锯齿波发生器,三角波发生器,方波三角波—发生器,正弦波—方波—三角波发生器,移位寄存器控制,脉冲顺序控制器,数字定时器与减法循环计数器。第2章包括电阻性负载、电感性负载、带续流二极管电感性负载以及带电感性负载的共阳极接法的三相半波可控整流电路,电阻性负载、电感性负载、电感性负载带续流二极管的三相半控桥式整流电路,电阻性负载、电感性负载的三相全控桥式整流电路以及双反星形可控整流电路。第3章包括欧陆514C双闭环直流调速系统和西门子MM440变频器的应用。第4章是三菱FX_{2N}系列PLC控制技术,包括运料小车系统、机械滑台系统、机械手系统、混料罐系统、红绿灯运行系统、花式喷泉系统、传送带系统、污水处理系统、计件包装系统以及分拣系统。

本书适用于高职自动化、电气工程、机电一体化等专业高级维修电工技能鉴定实训课程的教材,也可作为相应的职业技能培训教材。此外,还可作为电气工程技术人员参考书。

为了配合教学,本书配有电子教案,读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后免费下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

高级维修电工实训教程/张静之,刘建华主编. —北京:
机械工业出版社, 2011.6
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-34092-8

I. ①高… II. ①张…②刘… III. ①电工-维修-
高等职业教育-教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第063492号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:王颖 版式设计:霍永明
责任校对:刘秀丽 责任印制:杨曦
北京京丰印刷厂印刷
2011年7月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·14.75印张·360千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-34092-8
定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材电子类专业 编委会成员名单

主 任	曹建林						
副 主 任	张中洲	张福强	董维佳	俞 宁	杨元挺	任德齐	
	华永平	吴元凯	蒋蒙安	祖 炬	梁永生		
委 员	(按姓氏笔画排序)						
	尹立贤	王用伦	王树忠	王新新	邓 红	任艳君	
	刘 松	刘 勇	华天京	吉雪峰	孙学耕	孙津平	
	朱咏梅	朱晓红	齐 虹	张静之	李菊芳	杨打生	
	杨国华	汪赵强	陈子聪	陈必群	陈晓文	季顺宁	
	罗厚军	姚建永	钮文良	聂开俊	袁 勇	袁启昌	
	郭 勇	郭 兵	郭雄艺	高 健	崔金辉	曹 毅	
	章大钧	黄永定	曾晓宏	蔡建军	谭克清		
秘 书 长	胡毓坚						
副秘书长	戴红霞						

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

为了适应我国的高等职业教育的迅速发展,“以就业为导向”的教学改革不断深化,以职业能力为依据组织课程内容逐渐取代了以往的实验和认知课程。目前,市面上适用于高级维修电工实训的教材及参考书籍相对较少。有些教材是将原有的较为成熟的实验进行整合,存在着理论性较深、缺乏实际应用实例以及与工业生产实际脱节等缺陷,并不完全适用于高职类实训教学。

《高级维修电工实训教程》,一书以职业能力为核心,整合所需掌握的基本知识和技能实践,按等级、分模块编写。在内容上力求做到理论与实际相结合,课题安排遵循人的认知规律和技能培养规律,一个课题即为一项职业能力,课题之间既相对独立,又相互关联,符合循序渐进的教学要求,突出高职院校生产实习教学的特点。在技能实训上,依据由浅入深、由易到难的教学原则,力求培养出基本功好、灵活运用能力强的学生,使他们能得心应手地运用所学知识,在为今后学习设备的装配、修理等技能方面打下扎实而又牢靠的基础,同时有助于学生通过技能鉴定考核,真正掌握本职业的实用技术与操作技能。

本书由上海工程技术大学高职学院张静之、刘建华主编。其中第1章由刘建华编写;第2章的2.1~2.4节由江山编写;第2章的2.5~2.10节、第3章由张静之编写;第4章第4.1、4.2节由王勤易编写;第4章第4.3、4.4节由庄德渊编写;第4章第4.5~4.10节由孙国荣编写;全书由张静之负责统稿。本书的PPT由张静之、崔雅君、翟凌云、李萌制作。在编写过程中,参考了一些书刊并引用了一些资料,在此对其作者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写经验不足,错误在所难免,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 电子技术	1
1.1 锯齿波发生器	1
1.1.1 课题分析	1
1.1.2 锯齿波发生器工作原理	1
1.1.3 锯齿波发生器安装调试步骤及实测波形记录	5
1.1.4 知识点拓展 锯齿波发生器故障排除	7
1.2 三角波发生器	7
1.2.1 课题分析	7
1.2.2 三角波发生器工作原理	8
1.2.3 三角波发生器安装调试步骤及实测波形记录	9
1.2.4 知识点拓展 三角波发生器故障排除	10
1.3 方波三角波—发生器	10
1.3.1 课题分析	10
1.3.2 方波三角波—发生器工作原理	11
1.3.3 方波三角波—发生器安装调试步骤及实测波形记录	13
1.3.4 知识点拓展 方波三角波—发生器故障排除	14
1.4 正弦波—方波—三角波发生器	15
1.4.1 课题分析	15
1.4.2 正弦波—方波—三角波发生器工作原理	16
1.4.3 正弦波—方波—三角波发生器安装调试步骤及实测波形记录	17
1.4.4 知识点拓展 正弦波—方波—三角波发生器故障排除	17
1.5 移位寄存器控制	17
1.5.1 课题分析	17
1.5.2 各单元电路的工作原理	19
1.5.3 移位寄存器控制安装调试步骤及实测波形记录	25
1.5.4 知识点拓展 两片 CC40194 实现数据串、并行转换	25
1.6 脉冲顺序控制器	28
1.6.1 课题分析	28
1.6.2 各单元电路的工作原理	29
1.6.3 脉冲顺序控制电路安装调试步骤及实测波形记录	32
1.6.4 知识点拓展 CC40192 功能拓展	33
1.7 数字定时器与减法循环计数器	34
1.7.1 课题分析	34
1.7.2 各单元电路的工作原理	36

1.7.3	电路安装调试步骤及实测波形记录	39
1.7.4	知识点拓展 用与非门组成的振荡器的工作原理	39
第2章	电力电子技术	41
2.1	带电阻性负载的三相半波可控整流电路	41
2.1.1	课题分析	41
2.1.2	带电阻性负载的三相半波可控整流电路的工作原理	42
2.1.3	带电阻性负载的三相半波可控整流电路安装调试步骤	44
2.1.4	带电阻性负载的三相半波可控整流电路测试	48
2.1.5	知识点拓展 三相半波电阻性负载 $\alpha > 30^\circ$ 后的波形分析	50
2.2	带电感性负载的三相半波可控整流电路	51
2.2.1	课题分析	51
2.2.2	带电感性负载的三相半波可控整流电路的工作原理	52
2.2.3	带电感性负载的三相半波可控整流电路安装调试步骤	55
2.2.4	带电感性负载的三相半波可控整流电路测试	56
2.2.5	知识点拓展 TC787/TC788 集成触发电路	57
2.3	带续流二极管的三相半波可控整流电路	61
2.3.1	课题分析	61
2.3.2	带续流二极管的三相半波可控整流电路的工作原理	62
2.3.3	带续流二极管的三相半波可控整流电路安装调试步骤	64
2.3.4	带续流二极管的三相半波可控整流电路测试	65
2.3.5	知识点拓展 晶闸管的过电压保护	65
2.4	带电感性负载共阳极接法的三相半波可控整流电路	69
2.4.1	课题分析	69
2.4.2	带电感性负载共阳极接法的三相半波可控整流电路的工作原理	70
2.4.3	带电感性负载共阳极接法的三相半波可控整流电路安装调试步骤	72
2.4.4	带电感性负载共阳极接法的三相半波可控整流电路测试	73
2.4.5	知识点拓展 晶闸管的过电流及其保护	73
2.5	带电阻性负载的三相半控桥式整流电路	76
2.5.1	课题分析	76
2.5.2	带电阻性负载的三相半控桥式整流电路的工作原理	76
2.5.3	带电阻性负载的三相半控桥式整流电路安装调试步骤	80
2.5.4	带电阻性负载的三相半控桥式整流电路测试	81
2.5.5	知识点拓展 晶闸管的串联使用	83
2.6	带电感性负载的三相半控桥式整流电路	84
2.6.1	课题分析	84
2.6.2	带电感性负载的三相半控桥式整流电路的工作原理	85
2.6.3	带电感性负载的三相半控桥式整流电路安装调试步骤	88
2.6.4	带电感性负载的三相半控桥式整流电路测试	88
2.6.5	知识点拓展 晶闸管的并联使用	90
2.7	带续流二极管的三相半控桥式整流电路	91
2.7.1	课题分析	91
2.7.2	带续流二极管的三相半控桥式整流电路的工作原理	92

2.7.3	带续流二极管的三相半控桥式整流电路安装调试步骤	93
2.7.4	带续流二极管的三相半控桥式整流电路测试	95
2.7.5	知识点拓展 晶闸管对触发电路的要求	96
2.8	带电阻性负载的三相全控桥式整流电路	97
2.8.1	课题分析	97
2.8.2	带电阻性负载的三相全控桥式整流电路的工作原理	98
2.8.3	带电阻性负载的三相全控桥式整流电路安装调试步骤	103
2.8.4	带电阻性负载的三相全控桥式整流电路测试	103
2.8.5	知识点拓展 KCZ3 集成六脉冲触发电路	105
2.9	带感性负载的三相全控桥式整流电路	109
2.9.1	课题分析	109
2.9.2	带感性负载的三相全控桥式整流电路的工作原理	109
2.9.3	带感性负载的三相全控桥式整流电路安装调试步骤	113
2.9.4	带感性负载的三相全控桥式整流电路测试	113
2.9.5	知识点拓展 带续流二极管三相全控桥	114
2.10	双反星形可控整流电路	115
2.10.1	课题分析	115
2.10.2	双反星形可控整流电路的工作原理	117
2.10.3	双反星形可控整流电路安装调试步骤	118
2.10.4	双反星形可控整流电路测试	119
2.10.5	知识点拓展 KCZ6 集成六脉冲触发电路	120
第3章	自动控制技术	125
3.1	欧陆 514C 双闭环不可逆调速控制	125
3.1.1	课题分析	125
3.1.2	欧陆 514C 双闭环直流调速装置控制器的功能	126
3.1.3	欧陆 514C 双闭环不可逆调速控制的调试与测试	130
3.1.4	知识点拓展 速度、电流双闭环调速系统	131
3.2	欧陆 514C 双闭环可逆调速系统	136
3.2.1	课题分析	136
3.2.2	逻辑无环流可逆调速系统	137
3.2.3	欧陆 514C 双闭环可逆调速控制的调试与测试	140
3.2.4	知识点拓展 V-M 系统(晶闸管-电动机系统)可逆电路	141
3.3	西门子 MM440 变频器多段固定频率(转速)控制	146
3.3.1	课题分析	146
3.3.2	西门子 MM440 变频器参数设置方法	147
3.3.3	常用参数简介	150
3.3.4	西门子 MM440 参数设置与调试	156
3.3.5	知识点拓展 MM440 变频器的端子功能与接线	158
第4章	PLC 控制技术	162
4.1	PLC 控制送料小车系统	162
4.1.1	课题分析	162
4.1.2	编制 PLC 控制送料小车程序	163

4.1.3 知识点拓展 三菱 FX _{2N} 系列 PLC 编程软件的使用	165
4.2 PLC 控制机械滑台系统	168
4.2.1 课题分析	168
4.2.2 编制 PLC 控制机械滑台程序	169
4.2.3 知识点拓展 FX _{2N} 系列 PLC 的面板	172
4.3 PLC 控制机械手系统	176
4.3.1 课题分析	176
4.3.2 编制 PLC 控制机械手程序	177
4.3.3 知识点拓展 PLC 的组成	180
4.4 PLC 控制混料罐系统	184
4.4.1 课题分析	184
4.4.2 编制 PLC 控制混料罐程序	185
4.4.3 知识点拓展 PLC 的工作原理	186
4.5 PLC 控制红绿灯运行系统	189
4.5.1 课题分析	189
4.5.2 编制 PLC 控制红绿灯程序	190
4.5.3 知识点拓展 FX _{2N} 系列 PLC 的输入、输出继电器	193
4.6 PLC 控制花式喷泉系统	197
4.6.1 课题分析	197
4.6.2 编制 PLC 控制花式喷泉程序	198
4.6.3 知识点拓展 状态元器件与状态转移图	201
4.7 PLC 控制传送带系统	204
4.7.1 课题分析	204
4.7.2 编制 PLC 控制传送带系统程序	205
4.7.3 知识点拓展 步进顺控指令	207
4.8 PLC 控制污水处理系统	207
4.8.1 课题分析	207
4.8.2 编制 PLC 控制污水处理系统程序	208
4.8.3 知识点拓展 PLC 系统的规划与设计	211
4.9 PLC 控制计件包装系统	213
4.9.1 课题分析	213
4.9.2 编制 PLC 控制计件包装系统程序	214
4.9.3 知识点拓展 PLC 选型与硬件系统设计	216
4.10 PLC 控制分拣系统	217
4.10.1 课题分析	217
4.10.2 编制 PLC 控制分拣系统程序	218
4.10.3 知识点拓展 节省输入、输出点数的方法	221
参考文献	224

第1章 电子技术

1.1 锯齿波发生器

1.1.1 课题分析

锯齿波发生器电路图如图 1-1 所示。

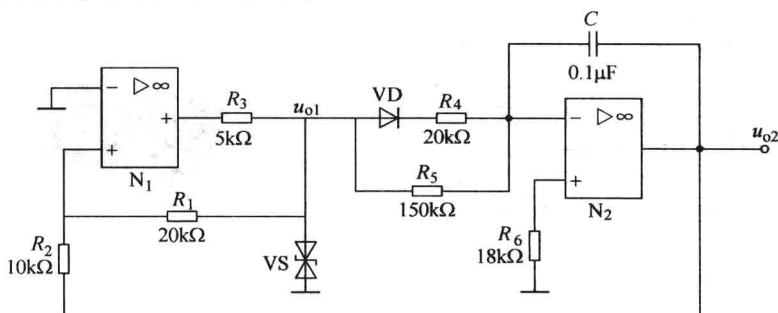


图 1-1 锯齿波发生器电路图

【课题目的】

- 1) 掌握集成运算放大器的实际应用电路，其中包括线性和非线性的应用。
- 2) 理解、分析由集成运算放大器组成的各类电路的原理。
- 3) 学会使用各种仪器仪表，能对电路中的关键点进行测试，并对测试数据进行分析、判断。

【课题重点】

- 1) 锯齿波发生器的电路图及其安装接线。
- 2) 锯齿波发生器电路的通电调试和使用示波器测量绘制波形。

【课题难点】

- 1) 图 1-1 中运算放大器 N_1 部分电路的接线。在运算放大器 N_1 的输入端 (R_2 前) 输入频率为 50Hz、峰值为 6V 的正弦波，用双踪示波器测量并同时显示输入电压及输出电压 u_{o1} 的波形，并记录传输特性。
- 2) 全部电路的接线。用双踪示波器测量输出电压 u_{o1} 及 u_{o2} 的波形，并记录波形。在波形图中标出波形的幅度和锯齿波电压上升及下降的时间，计算频率。
- 3) 锯齿波发生器电路的故障分析与排除。

1.1.2 锯齿波发生器工作原理

1. 运算放大器

集成运算放大器的输入级有两个输入端，其中一个输入端与输出端的相位相同，称同相

输入端，用“+”表示；另一个输入端与输出端的相位相反，称反相输入端，用“-”表示。运算放大器符号图如图 1-2 所示。

运算放大器均采用集成电路构成，集成运算放大器电路的品种繁多，型号也很多，在一块集成芯片上可以集成两个、4 个或更多个运算放大器。在使用集成运算放大器前，必须先掌握集成芯片引脚的功能。例如，型号为 NE5532 的芯片、4558 的芯片为双运算放大器集成电路，它的引脚分布与运算放大器电路对应关系如图 1-3 所示，其中图 1-3a 为引脚分布图，图 1-3b 为双运算放大器实物图。型号为 LM324 的芯片为四运算放大器集成电路，它的引出引脚分布图与四运算放大器实物图如图 1-4 所示。

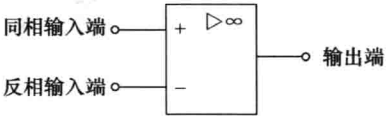


图 1-2 运算放大器符号图

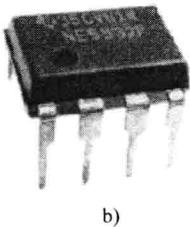
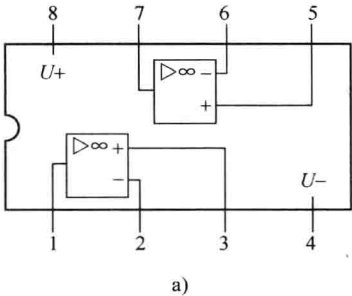


图 1-3 双运算放大器引脚分布图与实物图
a) 引脚分布图 b) 实物图

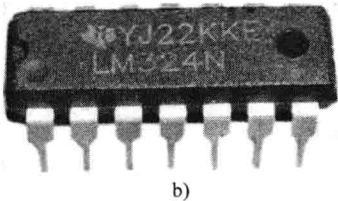
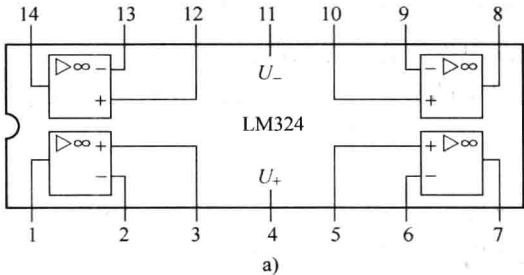


图 1-4 四运算放大器引脚分布图与实物图
a) 引脚分布图 b) 实物图

理想运算放大器特性如下。

在大多数情况下，将运算放大器视为理想运算放大器，就是将运算放大器的各项技术指标理想化。满足下列条件的运算放大器称为理想运算放大器，即

开环电压增益 $A_{ud} = \infty$ ；输入阻抗 $r_i = \infty$ ；输出阻抗 $r_o = 0$ ；带宽 $f_{BW} = \infty$ ；失调与漂移均为零等。

理想运算放大器在线性应用时的两个重要特性如下。

1) 其输出电压 U_o 与输入电压之间满足关系式：

$$U_o = A_{ud}(U_+ - U_-) \tag{1-1}$$

由于 $A_{ud} = \infty$ ，而 U_o 为有限值，所以， $U_+ - U_- \approx 0$ 。即 $U_+ \approx U_-$ ，称为“虚短”。

2) 由于 $r_i = \infty$ ，所以流进运算放大器两个输入端的电流可视为零，称为“虚断”。这说明运算放大器对其前级吸取电流极小。

上述两个特性是分析理想运算放大器应用电路的基本原则，可用于简化运算放大器电路的计算。

2. 运算放大器构成的积分电路

运算放大器构成的积分运算电路图如图 1-5 所示。

利用“虚短”概念，由于运算放大器“+”端直接经 R_2 电阻接地，所以 $U_- \approx U_+ = 0$ ，可知

$$i_1 = \frac{u_i}{R_1} \quad (1-2)$$

此时输出电压 u_o 为

$$u_o = -u_c = -\frac{1}{C_f} \int i_f dt \quad (1-3)$$

利用“虚断”概念，可知

$$i_f = i_1 \quad (1-4)$$

由此可将式 (1-2) 代入式 (1-3) 可得

$$u_o = -\frac{1}{R_1 C_f} \int u_i dt \quad (1-5)$$

上式表明 u_o 与 u_i 的积分成比例，式中的负号表示两者相反。 $R_1 C_f$ 为积分时间常数。

当输入信号 u_i 为阶跃电压时，则

$$u_o = -\frac{U_i}{R_1 C_f} t \quad (1-6)$$

运算放大器积分运算电路输入、输出波形关系图如图 1-6 所示。

3. 运算放大器构成的滞回比较器

图 1-7 所示是为运算放大器构成的滞回比较器电路图。

输入电压 u_i 加到反相输入端，通过电阻 R_f 连到同相输入端以实现正反馈。当输出电压为 $u_o = +U_o$ 时，有

$$u_+ = U'_+ = \frac{R_2}{R_2 + R_f} U_o \quad (1-7)$$

当输出电压为 $u_o = -U_o$ 时，有

$$u_+ = U''_+ = -\frac{R_2}{R_2 + R_f} U_o \quad (1-8)$$

设某一瞬间 $u_o = +U_o$ ，当输入电压 u_i 增大到当 $u_i \geq U'_+$ 时，输出电压 u_o 转变为 $-U_o$ ，发生负向跃变。当输入电压 u_i 减小到 $u_i \leq U''_+$ 时，输出电压 u_o 转变为 $+U_o$ ，发生正向跃变。如此周而复始，输出电压 u_o 随输入电压 u_i 的大小而变化为一矩形波（方波）电压。滞回比较器的传输特性如

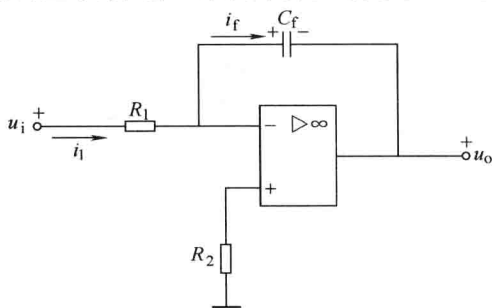


图 1-5 运算放大器构成的积分运算电路图

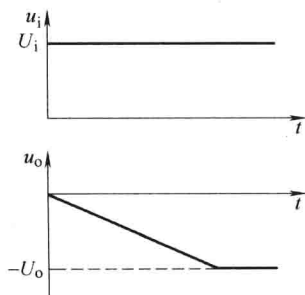


图 1-6 运算放大器积分运算电路的输入、输出波形关系图

图 1-8 所示。

滞回比较器引入电压正反馈后能加速输出电压的转变过程，改善输出波形在跃变时的陡度，同时具有回差，提高了电路的抗干扰能力。

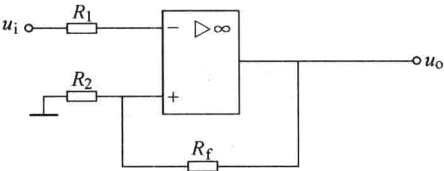


图 1-7 运算放大器构成的滞回比较器电路图

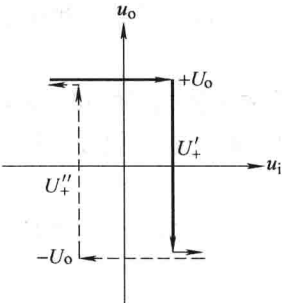


图 1-8 滞回比较器的传输特性

4. 锯齿波发生电路的工作原理

在图 1-1 所示电路中，由运算放大器 N_1 组成一个滞回特性比较器，输出矩形波。图中 VS 为双向稳压管，对 u_{o1} 输出的电压进行双向限幅。运算放大器 N_2 组成一个积分器，输出锯齿波。比较器输出的矩形波经积分器积分可得到锯齿波，锯齿波又触发比较器自动翻转形成矩形波，这样即可构成锯齿波、矩形波发生器。图 1-9 所示为锯齿波、矩形波发生器的输出波形关系图。

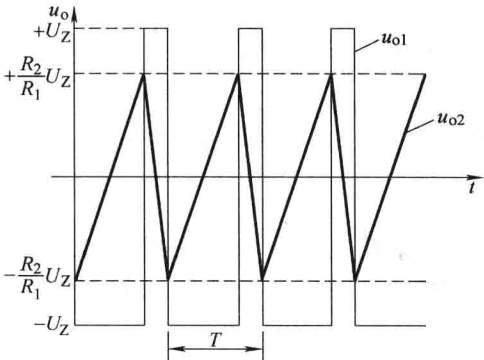


图 1-9 锯齿波、矩形波发生器的输出波形关系图

设比较器在初始时输出电压为正电压 U_Z ，这时二极管 VD 处于正向导通，电压通过 R_4 和 R_5 对积分器电容 C 进行充电（如图 1-10 所示），虚线为电容 C 的充电电路。积分器的输出为线性下降负电压，当积分器输出负电压 u_{o2} 通过电阻 R_2 时，比较器输出正电压经限幅后的 u_{o1} 为 U_Z 通过电阻 R_1 ，在比较器的正相输入端进行叠加，叠加后，当比较器的正相输入端口电压小于零时，比较器输出翻转。

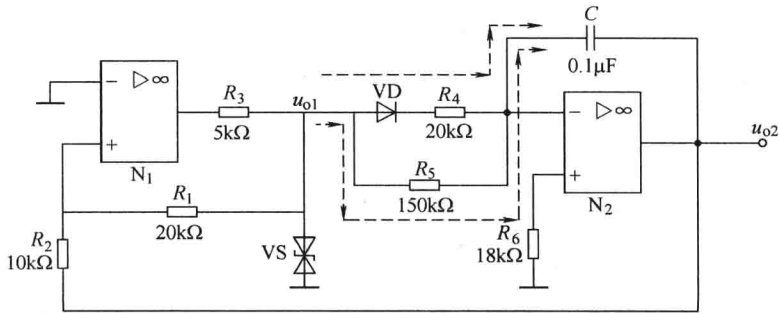


图 1-10 虚线为电容 C 的充电电流

这时输出的 u_{o1} 为 $-U_Z$ ，二极管反向截止，积分器电容通过电阻 R_5 进行放电，如图 1-11 所示，虚线为电容 C 的放电电路。此时的积分器输出电压 u_{o2} 上升，当上升到一定数值使比较器的正相输入端口电压大于零时，比较器输出再次翻转，输出正电压。

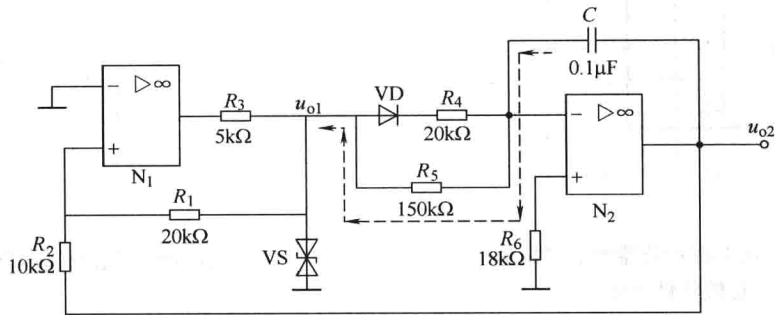


图 1-11 虚线为电容 C 的放电电流

由于二极管 VD 的单向导电性，使积分电路的充、放电回路不同，所以造成积分电路输出波形为锯齿波。同时，由于采用了运算放大器组成的积分电路，所以可实现恒流充电，使锯齿波线性大大改善。

1.1.3 锯齿波发生器安装调试步骤及实测波形记录

1) 如图 1-12 所示的电路为电压跟随器电路，可利用该电路测试运算放大器的好坏。若输出能跟随输入变化，则说明该运算放大器完好，否则，说明该运算放大器已损坏。对于有运算放大器的电路，在安装之前都需要对运算放大器进行测试以确定其能否正常使用。

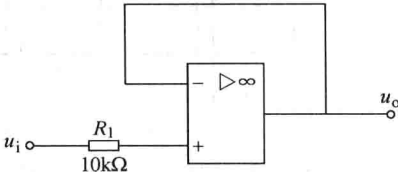


图 1-12 电压跟随器电路图

2) 完成如图 1-13 所示，运算放大器 N_1 部分电路的接线。

3) 通过函数发生器产生频率为 50Hz、峰值为 6V 的正弦波，在运算放大器 N_1 的输入端 (R_2 前) 输入该波形，用双踪示波器测量并显示输入电压及输出电压 u_{o1} 的波形，如图 1-14 所示。

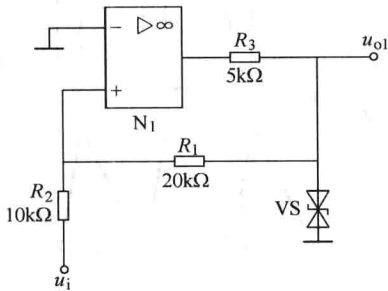


图 1-13 运算放大器 N_1 部分电路的接线图

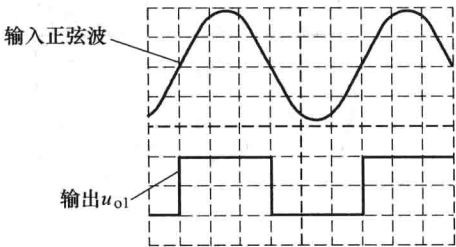


图 1-14 用双踪示波器测量并显示输入电压及输出电压 u_{o1} 波形

4) 按下双踪示波器 $\langle X-Y \rangle$ 键，测量并显示传输特性波形，如图 1-15 所示。在图 1-16 中绘制传输特性。

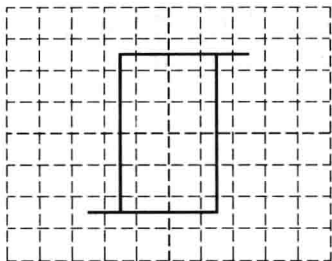


图 1-15 用双踪示波器测量并显示
传输特性波形

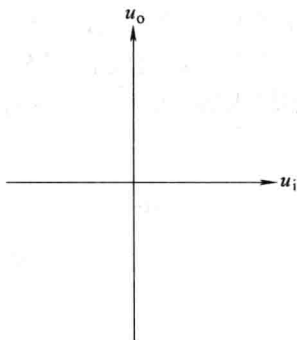


图 1-16 绘制传输特性

5) 完成全部电路的接线, 用双踪示波器测量输出电压 u_{o1} 的波形, 如图 1-17 所示; 测量输出电压 u_{o2} 的波形, 如图 1-18 所示; 用双踪示波器显示 u_{o1} 、 u_{o2} 波形的对应关系, 如图 1-19 所示。

6) 绘制输出电压 u_{o1} 、 u_{o2} 波形, 如图 1-20 所示。在波形图中标出波形的幅度和锯齿波电压上升及下降的时间, 并计算频率。

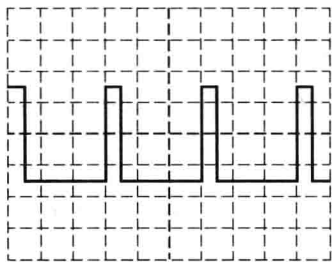


图 1-17 用双踪示波器测量输出
电压 u_{o1} 的波形

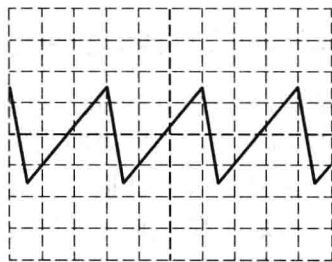


图 1-18 用双踪示波器测量输出
电压 u_{o2} 的波形

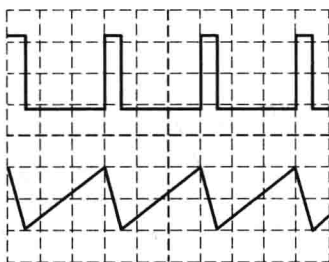


图 1-19 用双踪示波器显示 u_{o1} 、 u_{o2} 波形的
对应关系

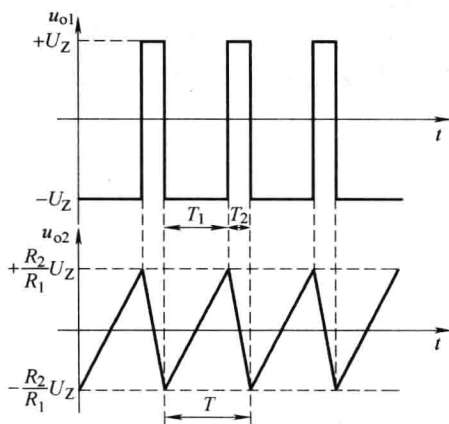


图 1-20 绘制输出电压 u_{o1} 、 u_{o2} 波形

在图 1-20 中, 上升时间为 T_1 、下降时间为 T_2 , 波形周期为 $T = T_1 + T_2$, 其频率 $f = \frac{1}{T}$ 。

1.1.4 知识点拓展 锯齿波发生器故障排除

在运算放大器电路中，若遇到故障，由于前、后两级互为输入（即第一级的输出 u_{o1} 作为第二级的输入信号，同时第二级的输出 u_{o2} 又作为第一级的输入信号），所以通常任何一级无信号，则整个电路输出均无信号。要排除故障必须借助信号发生器。

以信号发生器作为输入信号，将整个电路分为断开为 N_1 、 N_2 两个电路， N_1 电路如图 1-21 所示。在第一级的输入端 u_i 输入正弦波或三角波，由于第一级为滞回比较器电路，所以其输出应为方波，则说明第一级电路正常，否则，说明故障出在第一级，可进一步排查故障。若输出电压超过稳压管 VS 稳压值，则通常是稳压管支路出现断路。

N_2 部分电路如图 1-22 所示。在第二级的输入端 u_i 输入方波，由于第二级是积分电路，且由于二极管 VD 的作用造成电容 C 充、放电时间常数不同，所以第二级输出应为锯齿波。若第二级输出为锯齿波，则说明第二级电路工作正常，否则，说明故障出在第二级，可进一步排查故障。如出现波形为三角波，而非锯齿波，就说明充、放电时间常数相同，造成此故障的原因通常是二极管 VD 支路断路或二极管短路。

注意：无论排查哪一级故障，首先都应确定运算放大器工作电源是否正常，这是测试各级电路的先决条件。

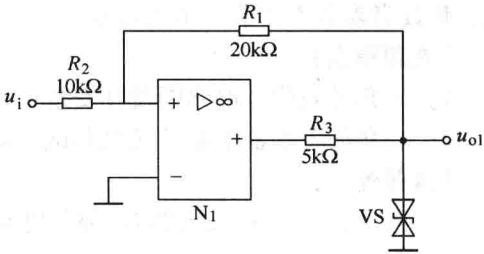


图 1-21 第一级 (N_1) 滞回比较器电路图

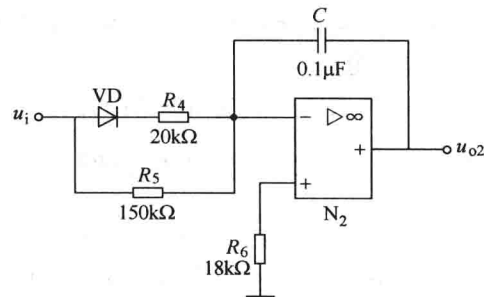


图 1-22 第二级 (N_2) 锯齿波形成电路图

1.2 三角波发生器

1.2.1 课题分析

三角波发生器电路图如图 1-23 所示。

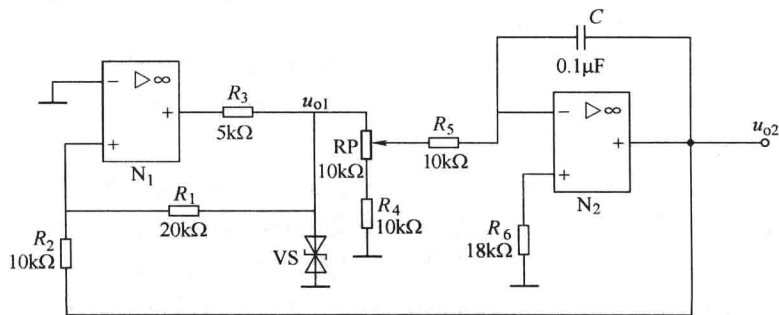


图 1-23 三角波发生器电路图