

轻松解图系列

教你看懂 模拟实用电路

孙余凯

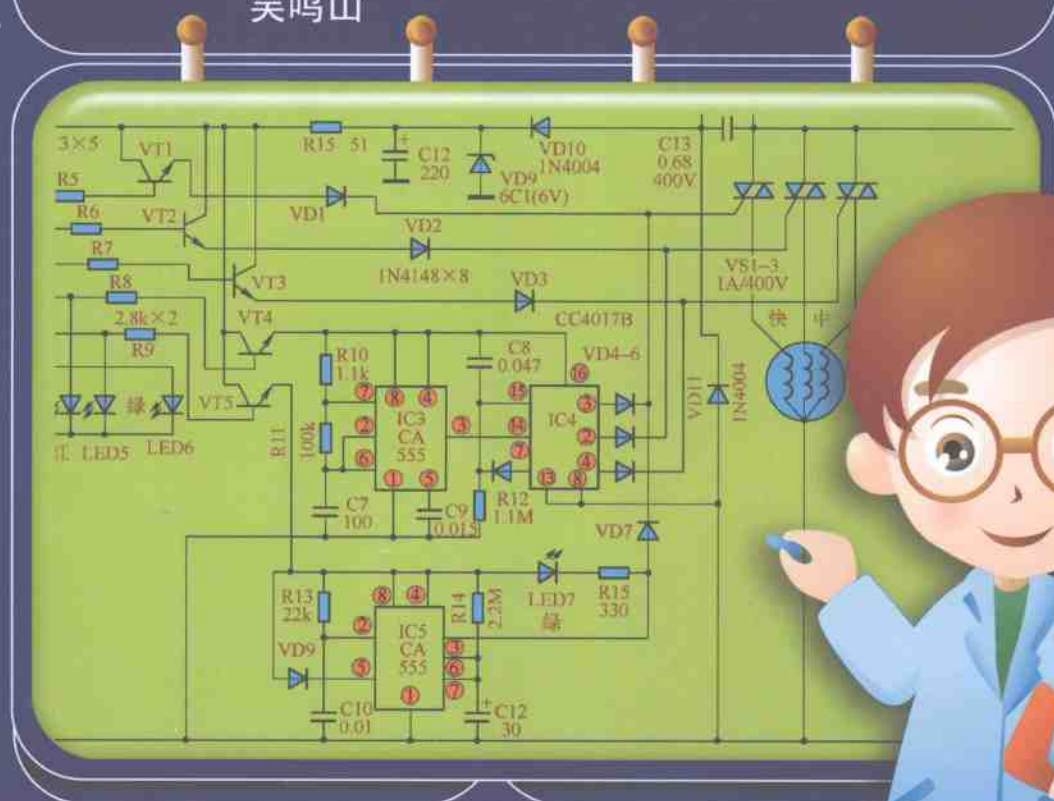
○○○

项绮明

等编著

<http://www.phei.com.cn>

吴鸣山



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

轻松解图系列



教你看懂模拟实用电路

孙余凯 项绮明 吴鸣山 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在介绍模拟电路基础知识和模拟电路常用元器件的结构特点、工作原理及使用注意事项的基础上,采用在电路图中标注的方法,详细介绍放大器及音源改善类,调制/解调类,电源与各种保护类,日用电器性能改善、娱乐及波形产生类,自动控制与控制类,灯光与显示类,报警、提醒、电子开关与电子继电器类,测量、检测、转换器等模拟基础实用电路的工作原理、电路特征、元器件作用及应用中须注意的问题,使读者一目了然,十分直观。

本书可供相关院校的师生、电子产品开发人员及爱好者参考,尤其适合模拟电路初学者,不仅可以使初学者提高阅读电路图的能力,还可以帮助读者正确处理实际工作(如产品开发、产品维修)中遇到的问题。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

教你看懂模拟实用电路 / 孙余凯等编著. —北京: 电子工业出版社, 2009.1

(轻松解图系列)

ISBN 978-7-121-07686-2

I. 教... II. 孙... III. 模拟电路—电路图—识图法 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 170968 号

策划编辑: 富 军

责任编辑: 宋兆武 张 京

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550 千字

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

模拟电路是由电子元器件构成的处理模拟信号的电路，它是各种电子设备的重要组成部分。任何一个复杂的模拟系统电路都是由模拟应用的基础电路经过扩展、综合、改进等方式演变而成。因此，理解各种模拟典型应用电路的原理，不但对阅读和分析新的模拟系统电路有很大的帮助，对产品开发、工农业生产中现有设备的技术改造也有很大的帮助。本书正是为了满足这一要求而编写的。

本书是《教你看懂数字实用电路》的姐妹篇，在本书的编写过程中，力图把内容的重点放在培养分析问题和解决问题的能力上，其目的就是要使读者具有会看、会分析、会检测、会动手组装调试电路的技能。

1. 会看

所谓会看，就是能看懂典型应用电路原理图，了解电路各部分的组成及其工作原理。为此，本书加强了对模拟电路基础知识及常用元器件知识的介绍。

2. 会分析

所谓会分析，就是能对基础单元电路的工作性能进行定性和定量的分析及估测。为此，本书加强了对基础原理和基本分析方法的介绍。

3. 会检测与会动手组装调试

所谓会检测与会动手组装调试，就是使读者会选用有关的元器件，以及对各种应用电路进行组装调试，这是本书的重点。为此，在讲解电路工作流程时，对各种元器件的参数要求、组装后的调试方法及注意事项也做了必要的说明。

本书最大的特点是将每个实际应用电路的工作原理、电路特征、元器件的作用及应用注意事项标在了典型电路图上的相应位置上，可使读者一目了然，十分直观。

本书由孙余凯、项绮明、吴鸣山编著，参加本书编写工作的人员还有金宜全、吕晨、孙余平、陈芳、孙余明、吕颖生、孙莹、孙庆华、胡家珍、吴永平、徐绍贤、孙余正、刘忠新、王五春、周志平、许风生、王燕芳、王燕玉、谭长义、陈帆、项宏宇等。

本书在编写过程中，参考了大量的书刊杂志及相关资料，参考过何立、禰显佳、杨雯、李定宣、卿太全、张建明、王洪伟、刘兵、曾庆贵、李学海、陈有卿、张晓东、苏成富、顾平和等作者的文章，在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免出现错误和不妥之处，敬请广大读者批评、指正。

编著者

目 录

第1章 模拟电路基础知识	1
1.1 模拟电路的特点及类型	1
1.1.1 模拟电路的特点	1
1.1.2 模拟电路的类型	1
1.2 半导体基础知识	2
1.2.1 半导体、晶体与PN结	2
1.2.2 半导体的特性	3
1.3 半导体二极管	4
1.3.1 二极管的种类	4
1.3.2 二极管的结构	5
1.3.3 二极管的单向导电性	5
1.3.4 各种二极管的电路符号	6
1.3.5 二极管的主要参数	6
1.4 半导体三极管	7
1.4.1 三极管的基本结构	8
1.4.2 三极管的电路符号	9
1.4.3 三极管的类型	9
1.4.4 三极管的基本工作条件	10
1.4.5 三极管在电路中的基本连接方式	11
1.4.6 三极管的输入特性和输出特性	12
1.4.7 三极管三种工作状态的特点	13
1.4.8 晶体三极管的电流放大原理	14
1.4.9 晶体三极管的电子开关原理	15
1.4.10 晶体三极管的主要参数	15
1.4.11 表面安装三极管	16
1.4.12 世界各国晶体管引脚识别	16
1.5 场效应晶体管	20
1.5.1 场效应管与晶体管的比较	20
1.5.2 场效应管的类型	21
1.5.3 结型场效应管的基本结构	21
1.5.4 绝缘栅场效应管	23



1.5.5	场效应管的主要参数	26
1.5.6	常用场效应管	28
1.6	光电器件	28
1.6.1	发光二极管	29
1.6.2	光敏晶体管	31
1.6.3	光电耦合器	33
1.7	晶闸管	36
1.7.1	普通晶闸管	36
1.7.2	双向晶闸管	38
1.8	单结晶体管	39
1.8.1	单结晶体管的结构及电路符号	39
1.8.2	单结管特性及主要参数	40
1.8.3	单结管的振荡电路	41
第2章	放大器及音源改善类实用电路	43
2.1	收音类实用电路	43
2.1.1	由 FM 接收电路 TDA7010T 构成的收音电路	43
2.1.2	由调频接收电路 TDA7010T 构成的 FM/AM 收音电路	43
2.1.3	由 FM 电路 TDA7021T 构成的立体声收音电路	43
2.1.4	由 AM 收音电路 ZN414Z 构成的太阳能电池式收音电路	43
2.1.5	由 TDA7088T 收音电路构成的电调谐 FM 立体声收音电路	48
2.2	话筒类实用电路	48
2.2.1	由放大电路 μ PC1651 构成的变声无线话筒电路	48
2.2.2	由功放电路 TDA2822 构成的无线话筒电路	48
2.2.3	由 2 只晶体管构成的高保真无线话筒电路	52
2.2.4	由 4 只晶体管构成的远距离无线话筒电路	52
2.3	对讲机实用电路	52
2.3.1	由功放块 LM389 构成的无线对讲机电路	52
2.3.2	由 5 只三极管构成的对讲机电路	52
2.3.3	由 FM 低压集成块 TA7792 构成的 1.5 V 对讲电路	57
2.4	功率放大类实用电路	57
2.4.1	由 4 只三极管构成 1.5 V 的 Hi-Fi 功率放大电路	57
2.4.2	由 14 只三极管构成的甲类放大电路	57
2.4.3	由 VMOS 场效应管构成的 100 W 功放电路	57
2.4.4	由驱动电路 XG2020D 构成的 45 W 高保真功放电路	62
2.4.5	由降噪集成块 LM1894 构成的具有降噪功能的功率提升电路	62
2.4.6	由功放电路 LM389 构成的 MP3 收音接续电路	62
2.4.7	由功放块 STK6153 构成的 2×200 W 功率放大电路	62
2.4.8	由 STK3048A 放大电路构成的 Hi-Fi 功率放大电路	67

2.4.9	由单片音频功放电路 LM3886 构成的具有无源零点伺服方式的功放电路	67
2.4.10	由运算放大器 CA3140 构成的高保真 BTL 功率放大电路	67
2.4.11	由运算放大器 OP275 构成的电子三分频功率放大电路	67
2.4.12	由放大电路 μ PC1651 构成的射频功率放大电路	71
2.5	音源改善、切换类实用电路	71
2.5.1	由 3 只晶体管构成的六输入端有源混合电路	71
2.5.2	由 4 只晶体管构成的 RC 移相式混响电路	71
2.5.3	由 μ PC1892 构成的四维三态环绕声信号处理电路	75
2.5.4	由电平检波集成块 NJM2072 构成的 Hi-Fi 音源切换电路	75
2.5.5	由信号放大电路 μ PC1651 构成的信号分配电路	75
2.6	前置放大及其他放大类实用电路	75
2.6.1	由 4 只场效应管构成的低噪声前置音调电路	75
2.6.2	由 6 只三极管构成的失真度极低的优质前置放大电路	81
2.6.3	由 4 只晶体管构成的视频宽带放大电路	81
2.6.4	由助听专用集成电路 WC531 构成的耳聋助听器电路	81
第 3 章	调制/解调类实用电路	85
3.1	无线遥控发射类实用电路	85
3.1.1	由编码发射电路 LC219 构成的无线遥控电路	85
3.1.2	由遥控发射集成块 KIA7333P 构成的无线发射电路	85
3.1.3	由编码集成块 HT12E 构成的无线遥控发射电路	85
3.1.4	由 FM 发射电路 MC2831A 构成的调频无线发射电路	89
3.1.5	由 4 只三极管构成的小功率中波发射电路	89
3.1.6	由开关集成块 TWH8778 构成的多路远距离无线报警发射电路	89
3.1.7	由 9 只晶体管构成的无线电遇难信号发射电路	93
3.1.8	由遥控发射集成块 DF-27 构成的无线遥控发射电路	93
3.1.9	由 6 只晶体管构成的无线遥控开关电路	93
3.2	红外遥控发射类实用电路	93
3.2.1	由编码集成块 TC9148P 构成的红外遥控发射电路	93
3.2.2	由与非门 CD4011B 构成的遥控信号发射电路	97
3.2.3	由拨号电路 LR40992 构成的红外遥控发射电路	98
3.2.4	由编码器 YYH26 构成的八通道遥控发射电路	98
3.2.5	由编码集成块 MK5087N 构成的 16 组遥控信号发射电路	101
3.2.6	由编码反射电路 LC219 构成的超声波、红外线发射电路	101
3.2.7	由功放块 LM386 构成的红外遥控耳机电路	101
3.2.8	由运算放大器 μ PC151C 构成的红外线信号发射与接收电路	101
3.3	无线遥控接收类电路	106
3.3.1	由遥控接收集成块 DJ-27 构成的无线遥控接收电路	106



3.3.2	由解码电路 LC220A 构成的无线长波遥控接收电路	106
3.3.3	由频率解调集成块 LM567 构成的遥控开关接收电路	106
3.3.4	由译码集成块 KIA7657P 构成的遥控接收电路	106
3.3.5	由天线放大电路 μ PC1651 构成的 30MHz 信号接收电路	111
3.3.6	由译码接收电路 LC220A 构成的无线电动机控制电路	111
3.4	红外遥控接收类实用电路	111
3.4.1	由放大电路 MC3373 构成的红外遥控接收电路	111
3.4.2	由 CD4017B 计数分频器构成的遥控信号源切换显示电路	111
3.4.3	由 CD4013B 触发器构成的遥控循环监视 8 路信号控制显示电路	116
3.4.4	由遥控电路 LC220A 构成的五挡调压遥控接收电路	116
3.4.5	由解码集成块 TC9150P 构成的红外遥控接收多路开关电路	116
3.4.6	由红外选频电路 μ PC1373 构成的单键 8 通道遥控开关电路	116
3.4.7	由译码器 YYH27 构成的八通道遥控接收电路	121
3.4.8	由计数集成块 CC4017B 构成的红外遥控开关电路	121
3.4.9	由解码集成块 MT8870 构成的四通道 16 组遥控信号接收电路	121
3.4.10	由红外接收电路 CX20106A 构成的遥控接收开关控制电路	121
3.5	超声波类遥控实用电路	126
3.5.1	由译码电路 LC220A 构成的超声波控制多路开关电路	126
3.5.2	由声控集成电路 SL517A 构成的超声波遥控开关电路	126
3.5.3	由 5 只三极管构成的亚超声遥控开关电路	126
3.6	解调类实用电路	130
3.6.1	由解码块 LM567 构成的具有收音功能的 FM 载波传呼主机电路	130
3.6.2	由解码块 LM567 构成的 FM 载波传呼接收电路	130
3.6.3	由解调电路 LD398D 构成的卫星电视接收解调电路	130
3.6.4	由解码集成块 NE567 构成的莫耳斯音调解码驱动电路	130
3.7	调制类实用电路	136
3.7.1	由编码集成块 YX018 构成的彩色编码调制电路	136
3.7.2	由调制集成块 μ PC1507 构成的射频调制电路	136
第 4 章	电源与各种保护类实用电路	139
4.1	交流稳压类实用电路	139
4.1.1	由 3 只晶体管构成的具有防冲击功能的交流稳压电路	139
4.1.2	由红外接收电路 CX20106 构成的红外遥控调压电路	140
4.1.3	由显示驱动电路 SL322 构成的全自动交流稳压电路	141
4.2	线性直流电源类实用电路	142
4.2.1	由稳压块 LM317 构成的 0~20V 可调电源电路	142
4.2.2	由 3 只晶体管构成的适用电源电压范围为 100~260 V 间的宽稳压 电源电路	143
4.2.3	由稳压块 LM317 构成的输出电压可在 $\pm 5 \sim \pm 8$ V 间调整的稳压	

电路	144
4.2.4 由正负稳压块构成的高品质 $\pm 15\text{ V}$ 稳压电源电路	144
4.2.5 由 2 只场效应管构成的 $\pm 35\text{ V}$ 稳压电源电路	144
4.2.6 由稳压块 LM317 构成的 $80\sim 150\text{ V}$ 间可调稳压电路	144
4.3 开关电源类实用电路	148
4.3.1 由 4 只晶体管构成的自激式开关电源电路	148
4.3.2 由脉宽调制器 L4960 构成的开关电源电路	150
4.3.3 由开关电路 LM2579 构成的开关稳压电源电路	150
4.4 充电类实用电路	152
4.4.1 由三端稳压块 W7812 构成的大功率多用途充电电路	152
4.4.2 由时基电路 NE555 构成的具有自动断电功能的充电电路	153
4.4.3 由 3 只晶体管构成的调压、充电控制电路	153
4.5 保护类实用电路	153
4.5.1 由 3 只晶体管构成的过流、过载保护电路	153
4.5.2 由 3 只三极管构成的电子式过流保护电路	153
4.5.3 由 2 只三极管构成的过压保护电路	157
4.5.4 由 1 只晶闸管构成的多功能漏电保护电路	158
4.5.5 由光电耦合固态继电器构成的具有定相保护的多功能电源插座电路	159
4.5.6 由运放 $\mu\text{A}741$ 构成的全自动防窃电保护电路中检测部分	161
4.6 其他电源类实用电路	163
4.6.1 由 DC 变换电路 MAX720 构成的 $\text{SV}/1\text{ A}$ 不间断电源电路	163
4.6.2 由霍尔集成电路 UGN3020 构成的低功耗大电流恒流电路	164
4.6.3 由光电耦合器 BRT12 构成的 $110/220\text{ V}$ 电压自动切换电路	165
4.6.4 由 12 只二极管构成的三倍电源电压扩展电路	166
第 5 章 家用电器性能改善、娱乐及波形产生类实用电路	167
5.1 电扇类实用电路	167
5.1.1 由驱动器 PT2125 构成的红外遥控电扇电路	167
5.1.2 由开关集成块 5G673 构成的触摸式吊扇电子调速电路	167
5.1.3 由运放 TL082 构成的人体遥感电扇自动控制电路	167
5.1.4 由时序集成块 LT156 构成的电扇电子控制电路	172
5.1.5 由微处理集成块 MC9484A 构成的多功能电扇遥控电路	172
5.1.6 由解码电路 LC220A 构成的多功能电扇遥控接收电路	172
5.1.7 由语音电路 VT66A 构成的电扇模拟自然风控制电路	172
5.1.8 由音乐集成块 CW9300 构成的电扇模拟自然风控制电路	177
5.1.9 由 ILDZ 电扇集成块构成的计算机电扇控制电路	177
5.1.10 由 ILDZ 电扇集成块构成的计算机多功能定时电路	177
5.2 电铃、门铃类实用电路	177
5.2.1 由频率解码集成块 LM567 构成的无线电子门铃电路	177



5.2.2	由时基电路 NE555 构成的声控电铃电路	181
5.2.3	由时基集成块 5G1555 构成的具有模拟犬叫的电子门铃电路	181
5.3	理疗、保健、驱虫类实用电路	181
5.3.1	由门电路 CC4011B 构成的电子生物波理疗仪电路	181
5.3.2	由时基电路 LM555 构成的冷光固化机电路	181
5.3.3	由时基集成块 NE555 构成的臭氧发生电路	187
5.3.4	由与非门 CC4011B 构成的臭氧发生电路	187
5.3.5	由 2 只晶体管构成的超声波雾化电路	187
5.3.6	由时基电路 CA555 构成的超声波驱虫电路	187
5.4	娱乐类实用电路	192
5.4.1	由 1 只场效应管构成的模拟海浪声电路	192
5.4.2	由开关集成块 5G673 构成的触摸式模拟动物声电子玩具电路	192
5.4.3	由时基电路 NE555 构成的电子模拟猫叫声电路	192
5.4.4	由录/放集成块 HT8656A 构成的电子鹦鹉模拟电路	192
5.4.5	由 8 只三极管构成的多音色电吉他效果电路	197
5.5	波形产生和信号发生类实用电路	197
5.5.1	由或非门 CC4001B 构成的多波形产生电路	197
5.5.2	由 CA555 构成的具有多种组合的音响产生电路	197
5.5.3	由与非门电路 CC4011B 构成的多声响产生电路	197
5.5.4	由 1 只晶体管构成的高频信号发生电路	201
5.5.5	由基准电路 LM336Z 构成的 1 kHz 方波产生电路	201
5.5.6	由波形产生集成块 ICL8038CC 构成的低频振荡器电路	201
第 6 章	自动控制与控制类实用电路	206
6.1	自动控制类实用电路	206
6.1.1	由 4 只晶体管构成的自动控制开关电路	206
6.1.2	由时基电路 5G1555 构成的电动流声器自动控制电路	206
6.1.3	由程控报时集成电路 KD483 构成的自动音乐打点报时电路	206
6.1.4	由时基电路 LM555 构成的自动干手器控制电路	210
6.1.5	由时基电路 NE555 构成的自动冲水控制电路	210
6.1.6	由时基电路 NE555 构成的间歇工作自动控制电路	210
6.1.7	由 2 只三极管构成的延时自动断电电路	210
6.1.8	由运放 LM324 构成的卡拉 OK 自动评分电路	210
6.1.9	由 3 只晶体管构成的负载全自动关机电路	216
6.1.10	由电压/频率转换器 LM331 构成的比例温度自动控制电路	216
6.1.11	由过零触发集成块 μ PC1701C 构成的温度自动控制电路	216
6.1.12	由时基电路 NE555 构成的加热自动控制电路	216
6.1.13	由反相器 CC4069B 构成的电动机自动控制电路	221
6.1.14	由比较集成块 AN6551 构成的电动机自动控制电路	221

6.2 控制类实用电路	221
6.2.1 由数字钟电路 LM8361 构成的大功率数字显示式控制电路	221
6.2.2 由时基电路 SG555 构成的单键多挡定时控制电路	221
6.2.3 由时基集成块 μ A556 构成的电动机正反转控制电路	226
6.2.4 由 4 只晶体管构成的最大功率达 1 kW 的相位控制电路	226
6.2.5 由 1 只继电器构成的电话分机控制电路	226
6.2.6 由 4 只晶体管构成的多功能电子控制电路	226
6.2.7 由时基电路 NE555 构成的多路门锁控制电路	231
第 7 章 灯光与显示类实用电路	233
7.1 LED 灯光类实用电路	233
7.1.1 由放射式发光集成电路 5G052 构成的 LED 旋转发光电路	233
7.1.2 由声控闪光电路 TC189 构成的 LED 声控循环闪亮电路	234
7.1.3 由双 BCD 加法计数器 CD4518 构成的锁存驱动 LED 显示电路	234
7.1.4 由钟控定时集成块 LR6838 构成的三段定时式 LED 数显电路	235
7.1.5 由彩灯控制集成块 YX9010 构成的梦幻 LED 闪光电路	237
7.2 彩灯类实用电路	238
7.2.1 由灯光控制器 SR63 构成的节日灯控制电路	238
7.2.2 由计数分频器 CD4017 构成的体育场馆大型记分牌控制电路	238
7.2.3 由十级点/线显示器 LM3914 构成的多功能大功率彩灯控制电路	238
7.2.4 由时基电路 LM555 构成的装饰彩灯控制电路	238
7.2.5 由显示集成块 LM3914 构成的广告灯控制电路	243
7.2.6 由时序集成块 LT156 构成的大功率背景花样彩灯电路	244
7.2.7 由彩灯控制集成块 YX9010 构成的梦幻彩灯电路	245
7.3 汽车灯光类实用电路	246
7.3.1 由 8 只晶体管构成的车辆灯光控制电路	246
7.3.2 由光敏三极管构成的汽车会车灯光自动转换电路	246
7.4 调光及其他灯光类实用电路	246
7.4.1 由触摸控制电路 LS7237 构成的触摸调光调速电路	246
7.4.2 由 3 只晶体管构成的调光定时催醒台灯电路	250
7.4.3 由语音电路 VT66A 构成的送客音乐灯电路	250
7.4.4 由时基电路 5G1555 构成的延时关灯电路	250
7.5 显示类实用电路	250
7.5.1 由时基电路 NE555 构成的电池电量显示电路	250
7.5.2 由计数显示集成块 MD8380 构成的速度与时间计数显示电路	254
第 8 章 报警、提醒、电子开关与电子继电器类实用电路	257
8.1 报警与提醒类实用电路	257
8.1.1 由功放电路 LM389 构成的报警电路	257
8.1.2 由与非门 CC4011B 构成的具有声光报警的瓦斯报警电路	257

8.1.3	由与非门 CC4011B 构成的可控制抽气扇的瓦斯报警电路	257
8.1.4	由时基集成块 NE555 构成的声光报警电路	258
8.1.5	由 2 只晶体管构成的火灾报警电路	258
8.1.6	由模拟声电路 CW9562 构成的多通道报警电路	258
8.1.7	由开关电路 TWH8778 构成的振动报警电路	258
8.1.8	由功放电路 TDA2003 构成的报警电路	266
8.1.9	由功放电路 LM386 构成的多功能防盗报警电路	266
8.1.10	由语音集成块 KD153 构成的具有报警功能的对讲门铃电路	266
8.1.11	由语音电路 LQ46 构成的会喊“抓贼呀”的报警电路	266
8.1.12	由 4 只晶体管构成的具有备用电源的报警控制电路	267
8.1.13	由与非门 CC4011B 构成的电话防盗用报警电路	267
8.1.14	由功放集成块 LM386 构成的关门提醒电路	267
8.2	电子开关类实用电路	275
8.2.1	由时基电路 5G1555 构成的可定时循环开关的电路	275
8.2.2	由开关集成块 5G673 构成的 8 通道触摸式电子开关电路	275
8.2.3	由开关集成块 5G673 构成的触摸式 8 通道电子开关显示电路	275
8.2.4	由开关集成块 5G673 构成的触摸式密码开关电路	275
8.2.5	由 3 只三极管构成的磁感应式接近开关电路	276
8.2.6	由 2 只三极管构成的光控触摸开关电路	276
8.2.7	由调光集成块 M668 构成的触摸开关电路	276
8.2.8	由 D 触发器 CC4013 构成的可扩展式多路开关控制电路	276
8.2.9	由 SL517 声控集成块构成的红外线遥控开关电路	285
8.2.10	由 SL517 声控集成块构成的声控开关电路	285
8.2.11	由触摸电子开关 5G673 构成的 8 路开关电路	285
8.2.12	由 2 只三极管构成的交流触摸开关电路	285
8.2.13	由微波电路 RD9481 构成的检测开关电路	285
8.2.14	由晶体管构成的两种电子开关电路	286
8.2.15	由 10-4 线编码器 CC74HC147 构成的二—十进制编码开关电路	286
8.3	电子继电器类实用电路	286
8.3.1	由负载传感器 ZA-5N 构成的电子继电器电路	286
8.3.2	由光耦合电压发生器 LPVG 构成的直流功率固态继电器电路	286
第 9 章	测量、检测、转换器及其他实用电路	296
9.1	测量类实用电路	296
9.1.1	由 RS 触发器 T077 构成的钢缆长度测量电路	296
9.1.2	由场效应管构成的电子兆欧表电路	296
9.1.3	由双时基集成块 NE556 构成的电感测量电路	296
9.1.4	由时基电路 CA555 构成的电阻、电容与电感测量电路	300
9.1.5	由显示集成块 LM3914 构成的兆欧表电路	300

9.1.6	由显示集成块 LM3914 构成的 LED 单踪示波器电路	300
9.1.7	由显示集成块 LM3914 构成的 LED 双踪示波器电路	300
9.2	检测类实用电路	304
9.2.1	由与非门 CC4011B 构成的逻辑检测显示电路	304
9.2.2	由显示驱动电路 CA3161B 构成的真空度检测电路	306
9.2.3	由运放 LM324 构成的数显式车辆燃油量检测电路	306
9.2.4	由运放 μ A741 构成的汽车尾气浓度检测电路	306
9.2.5	由 A/D 变换器 CA3162E 构成的数显式车辆水温检测电路	306
9.2.6	由 A/D 变换器 CA3162E 构成的数显式车辆油压检测电路	311
9.2.7	由 A/D 变换器 CA3162E 构成的数显式车辆电源电压检测电路	311
9.2.8	由 1 只晶体管构成的多芯电缆检测电路	311
9.2.9	由反相器 CC4069B 构成的发光二极管温度表电路	311
9.3	转换器类实用电路	316
9.3.1	由电压/频率电路 LM331 构成的频率/电压变换电路	316
9.3.2	由驱动器 HL202A 构成的 V/I 变流电路	316
9.3.3	由功放电路 TDA2030 构成的频率-电流转换电路	316
9.4	其他类实用电路	316
9.4.1	由时基电路 CA555 构成的电话周围声响监听电路	316
9.4.2	由功放电路 LM386 构成的语音呼救电路	321
9.4.3	由石英钟集成块 KD483 构成的报时打点电路	321
9.4.4	由解码电路 LM567 构成的能识别 1.1~2.2kHz 信号的电路	321
9.4.5	由触摸调光电路 CS7232 构成的调功电路	321
9.4.6	由时基电路 5G7555 构成的时间累计电路	325
9.4.7	由高压开关管 MCR100-6 构成的脉冲点火电路	325
9.4.8	由 5 只晶体管构成的多功能电调谐信号源电路	325

第 1 章 模拟电路基础知识

电子电路按其功能可分为模拟电路和数字电路两大类。处理模拟信号的电路称为模拟电路。

1.1 模拟电路的特点及类型

模拟电路在信号传输、变换、产生、测量等方面应用相当广泛，对当今电子科学技术的各个领域有重要的影响。

1.1.1 模拟电路的特点

模拟电子技术是利用电路和系统实现各种模拟电信号的处理技术，运用模拟电子技术可对电信号、电路及系统进行研究。

模拟信号是指连续变化的电信号，又称连续信号，典型的模拟量为正弦函数。用模拟电路能够处理这类连续变化的信号。自然界中的许多物理量都是模拟量，如时间的变化、运动物体的位移、温度的变化等。

1. 模拟电路的模拟量

模拟电路是对电压或电流的模拟量进行放大、转换、调制的一种电子电路。

2. 模拟电路研究的信号

在模拟电路中，主要研究的是微弱信号的放大及各种类型的信号的产生、变换和反馈等。

1.1.2 模拟电路的类型

模拟电路可分为线性电路和非线性电路两大类。

1. 线性电路

使输出信号和输入信号的变化成线性关系的电路称为线性电路。例如，运算放大器、音频、中频及宽频带放大电路等。

线性电路又有两种类型：一种是通用类，如运算放大器；另一种是专用类，如应用于电视机和显示器的扫描电路及应用于音响的功放电路等。

2. 非线性电路

使输出信号和输入信号的变化不成线性关系的电路（但不是开关性质）称为非线性电路。例如，检波器、稳压器、调制器等。



1.2 半导体基础知识

半导体是模拟电路中最基本的物体，常用的半导体材料为元素周期表第四族的硅（Si）或锗（Ge）。

1.2.1 半导体、晶体与 PN 结

1. 半导体

物体根据其导电性能的差别可分为导体、绝缘体和半导体。

（1）导体

容易导电的物体（如铜、铁、银、铅、汞等金属）称为导体。

（2）绝缘体

难以导电的物体（如玻璃、云母、陶瓷、橡皮、塑料等）称为绝缘体。

（3）半导体

由导电能力介于导体和绝缘体之间的物质（如锗、硅、砷化镓等）制成的物体称为半导体。

常用的半导体材料有硅、锗、硒、砷化镓及金属氧化物、金属硫化物等。纯净的、不含任何杂质（纯净度在 99.999 999% 以上）的半导体材料（如硅、锗等四价元素）称为本征半导体。

2. 晶体

自然界中的一切物质都是由很小的物质微粒——原子构成的。原子是由带正电荷的原子核和按一定规律分布在原子核外并绕着原子核旋转的带负电荷的电子组成的。按原子排列形式的不同，物质可分为晶体和非晶体两类。

（1）晶体

晶体一般具有规则的几何形状，其内部的原子按照一定的晶体结构有规律地整齐排列着。

（2）非晶体

非晶体内部原子的排列是无规律的、杂乱无章的。

本征半导体属于理想的晶体，在热激发的作用下，其内部将产生载流子（指自由电子和空穴）。

3. N 型半导体和 P 型半导体

在本征半导体中，可以用扩散的方法掺入少量其他元素的原子。这些原子对半导体基体而言，叫做杂质，掺有杂质的半导体叫杂质半导体。杂质半导体一般可分为两类：N 型半导体和 P 型半导体。

（1）N 型半导体

N 型半导体是在纯净的硅或锗半导体中掺入少量的 5 价元素（如磷、砷、锑等）得到的。若掺入的是磷（P），硅晶体结构示意图如图 1-1（a）所示，则磷原子将在晶体中替代硅原子的位置，其中将有 4 个价电子与硅的价电子（只有 4 个）形成共价键。多余的一个价电子在共价键之外，只要有很小的激发能量，它就可以成为自由电子，而磷原子被电离为带正

电的磷离子。由于这种半导体中的载流子主要是自由电子，因此称为N型半导体，或者叫电子型半导体。在N型半导体中，电子（带负电荷）叫多数载流子，空穴（带正电荷）叫少数载流子。

(2) P型半导体

P型半导体是在纯净的硅或锗半导体中掺入少量的3价元素（如硼、铝、镓等）得到的。若掺入的是硼（B），硅晶体结构示意图如图1-1（b）所示，硼原子与硅原子构成共价键时，将因缺少电子而出现空位，这些空位很容易吸引附近的共键电子来填充，形成能够参与导电的空穴，而硼原子被电离为带负电的硼离子。由于这种半导体中的载流子主要是空穴，故称为P型半导体，或者空穴型半导体，能够提供空穴的杂质称为受主杂质。在P型半导体中，空穴（带正电荷）叫多数载流子，电子（带负电荷）叫少数载流子。

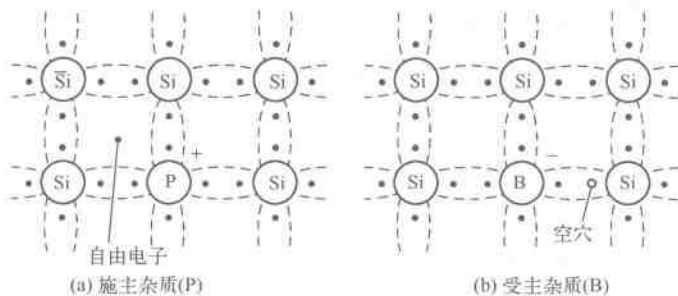


图1-1 硅晶体结构示意图

4. PN结

通过特殊的“扩散”制作工艺，将一块本征半导体的一半掺入微量的5价元素，变成N型半导体，而将其另一半掺入微量的3价元素，变成P型半导体，在P型半导体区和N型半导体区的交界处就会形成一个具有特殊导电性能的薄层，这就是PN结。它对P型区和N型区中多数载流子的扩散运动产生了阻力。

PN结靠P区的一边带正电，靠N区的一边带负电，这就在交界处产生了一个接触电位差（位垒），并形成一個方向由P区指向N区的内电场。

1.2.2 半导体的特性

一般导体的电阻率约为 $10^{-6} \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ；绝缘体的电阻率约为 $10^9 \sim 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$ ；而半导体的电阻率约为 $10^{-3} \sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ 。半导体除导电性能与导体和绝缘体不同以外，还具有以下特性。

1. 掺杂性

在半导体中掺入一些杂质可改变其电阻率和导电类型（即可形成电子导电型——N型半导体，或空穴导电型——P型半导体）。例如，在纯硅中掺入百万分之一的杂质（硼或磷），其电阻率就从 $214\,000 \Omega \cdot \text{cm}$ 下降到约 $0.4 \Omega \cdot \text{cm}$ ，导电能力提高500多万倍，利用半导体的这种掺杂性可以制成各种电子器件。

2. 温度敏感性

半导体的电阻率对温度很敏感，并随掺杂浓度不同，具有或正或负的温度系数。例如，纯锗在温度由 20°C 变到 30°C 时，其电阻率将下降一半左右，热敏电阻类元件就是利用

半导体的这种特性制成的。

3. 光敏感性

光照（或核辐射、强磁场等）能改变半导体的电阻率。例如，适当的光照可减小半导体的电阻率，利用半导体的这种光敏感性，可以制成光电半导体器件。

当然，半导体的热敏性和光敏性也有它不利的一面，会使制成的半导体二极管和三极管工作不稳等。

1.3 半导体二极管

P 型或 N 型半导体均具有导电能力，但不能直接用来制造半导体器件。通常采用 PN 结方式构成各种半导体器件。PN 结具有单向导电性，将 PN 结加上相应的电极引线和管壳，就成为了半导体二极管（或称晶体二极管，简称二极管）。

1.3.1 二极管的种类

二极管是利用 P 型半导体和 N 型半导体的结合面（PN 结）的独特导电性能制造的电子元件。根据其分类方法的不同，有以下各种类型。

1. 按材料分类

二极管按其所用的半导体材料分类，可分为锗（Ge）二极管和硅（Si）二极管、磷化镓（GaP）二极管及砷化镓（GaAs）二极管等。

2. 按制造工艺分类

二极管按制造工艺分类，可分为面接触型二极管和点接触型二极管。

3. 按用途分类

二极管按用途分类，可分为整流二极管、检波二极管、稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光电二极管、开关二极管、快恢复二极管、激光二极管、双向击穿二极管、磁敏二极管、肖特基二极管、温度效应二极管、隧道二极管、双向触发二极管、恒流二极管、体效应二极管等。

4. 按结构类型分类

二极管按结构类型分类，可分为半导体结型二极管、金属半导体接触二极管等。

5. 按封装形式分类

二极管按封装形式分类，可分为常规封装二极管、特殊封装二极管等。几种常见二极管的封装外形示意图如图 1-2 所示。

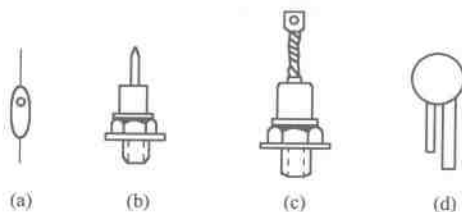


图 1-2 常见二极管封装外形示意图