

业余无线电爱好者自学读物之二

# 基础电子学



郑应光 编著 人民邮电出版社

## 内 容 提 要

本书是为广大业余无线电爱好者学习电子学基础知识而编写的。全书共分十章，在介绍晶体二极管、三极管、场效应管、集成电路、可控硅的工作原理的基础上，比较详细地分析了整流滤波电路、放大电路、振荡电路、稳压电路等基本电子电路。结合各章的内容，书中还安排了一些有实用价值的实验。每章后面附有小结和习题，书末有习题答案，以便于读者复习和巩固所学知识。

业余无线电爱好者自学读物之二

### 基础电子学

Jichu Dianzixue

郑应光 编著

责任编辑 赵桂珍

\*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

开本：787×1092 1/32 1989年1月 第 一 次印刷

印张：18 页数：256 1989年1月河北第1次印刷

字数：364千字 插页：1 印数：1—6 000册

ISBN7-115-03716-7/TN·131

定价：5.25元



## 出版说明

为了满足广大业余无线电爱好者自学电子技术的迫切需要，我们在中国电子学会普及工作部和华东地区电子科普创作研究会的支持和帮助下，组织华东地区作者编写了这套“业余无线电爱好者自学读物”。它的特点是具有较强的针对性、实用性和一定的趣味性，比较适合于具有初中以上文化程度的无线电爱好者自学。为了使读者循序渐进地掌握电子技术基础知识及实践技能，这套读物分七册出版：《实用电工基础》、《基础电子学》、《无线电广播与接收》、《电视广播与接收》、《脉冲和数字电路》、《实用电子测量》和《微电子技术应用》。各书讲述基本理论时以讲清物理概念为主，避免繁琐的数学推导；力求和爱好者的业余实践活动密切结合，按专题安排一定数量有实用性的实验项目，用理论知识把一个个实验串起来；每章后附有小结和习题，便于读者复习和巩固所学知识。读者可根据自己的实际情况，系统学习这套读物或选学其中的某几册。

编辑出版这样一套自学读物，对我们来说还是一个尝试。欢迎广大无线电爱好者对这套读物的内容和编写方法提出宝贵意见。

---

## 前 言

随着电子技术的飞速发展和人民生活水平的提高，电视机、收录机等过去被视为高档的电器，已进入寻常百姓家，成为人们日常生活中不可缺少的“伴侣”。与此同时，渴望掌握电子技术的人也越来越多，无线电爱好者的队伍犹如钱塘江的八月秋潮，正不断地发展壮大。

本书作为“业余无线电爱好者自学读物”的一个分册，是为了满足广大业余无线电爱好者学习和掌握电子学基础知识的需要而编写的。在编写过程中，力求做到科学性、通俗性和趣味性的有机结合，着重于讲清物理意义，避免繁琐的公式推导和数学计算。本书还安排了许多有实用价值的实验，介绍了一些实用电路，以便于读者理论联系实际，提高学习电子技术的兴趣，增强实际应用的能力。

陈传虞副教授认真审查了本书的初稿，对本书的编写给予了有力的支持和指导。刘豫东同志在各个实验的设计、装配和调试中做了大量的工作。作者在此表示深切的谢意。

由于时间仓促，作者水平有限，因此书中一定有许多不妥之处，期望得到广大读者的批评指正。

作 者

# 目 录

<b>第一章 晶体二极管和整流滤波电路</b> .....	( 1 )
<b>第一节 PN结</b> .....	( 1 )
一、半导体的特性 .....	( 1 )
二、P型半导体和N型半导体 .....	( 3 )
三、PN结的形成及其单向导电性 .....	( 7 )
四、PN结的反向击穿 .....	( 11 )
五、PN结的电容 .....	( 12 )
<b>第二节 晶体二极管</b> .....	( 13 )
一、晶体二极管的结构和类型 .....	( 13 )
二、二极管的伏安特性曲线与交流等效电路 .....	( 15 )
三、二极管的主要参数 .....	( 21 )
四、用万用表测试和判别二极管 .....	( 22 )
<b>第三节 整流电路</b> .....	( 23 )
一、单相半波整流电路 .....	( 25 )
二、单相全波整流电路 .....	( 27 )
三、单相桥式整流电路 .....	( 30 )
四、倍压整流电路 .....	( 32 )
<b>第四节 滤波电路</b> .....	( 35 )
一、电容滤波电路 .....	( 35 )
二、电感滤波电路 .....	( 39 )
三、复式滤波电路 .....	( 41 )
〔实验一〕 简易6V直流电源的制作 .....	( 44 )
一、电路及工作原理 .....	( 45 )
二、元件的选择 .....	( 45 )

三、安装与调试 .....	( 46 )
第五节 整流滤波电路实例分析 .....	( 47 )
一、录音机用的电源电路 .....	( 47 )
二、电视机行输出的高压电路 .....	( 47 )
小结 .....	( 49 )
习题一 .....	( 50 )
<b>第二章 晶体三极管与放大电路基础 .....</b>	<b>( 52 )</b>
第一节 晶体三极管 .....	( 52 )
一、三极管的结构与分类 .....	( 52 )
二、三极管的电流分配与放大性能 .....	( 54 )
三、三极管的特性曲线 .....	( 63 )
四、三极管的主要参数 .....	( 69 )
五、用万用表测试和判别三极管 .....	( 72 )
第二节 基本放大电路 .....	( 75 )
一、放大电路的分类与主要性能指标 .....	( 75 )
二、共射基本放大电路 .....	( 78 )
三、放大电路的分析方法 .....	( 88 )
第三节 图解分析法 .....	( 89 )
一、静态分析 .....	( 89 )
二、动态分析 .....	( 91 )
三、电路参数对静态工作点的影响 .....	( 95 )
第四节 等效电路分析法 .....	( 97 )
一、三极管的简化微变等效电路 .....	( 98 )
二、放大器的微变等效电路分析法 .....	( 101 )
第五节 常用的偏置稳定电路 .....	( 105 )
一、温度对静态工作点的影响 .....	( 105 )
二、常用的偏置稳定电路 .....	( 106 )
第六节 共集放大——射极输出器 .....	( 115 )
一、静态分析 .....	( 116 )

二、动态分析 .....	( 116 )
三、射极输出器的应用 .....	( 119 )
第七节 共基放大器 .....	( 122 )
一、主要性能分析 .....	( 123 )
二、三种组态放大电路的比较 .....	( 124 )
第八节 多级放大器 .....	( 125 )
一、多级放大器的三种级间耦合方式 .....	( 126 )
二、阻容耦合多级放大器的性能计算 .....	( 129 )
第九节 放大器的频率特性 .....	( 133 )
一、放大器频率特性的概念 .....	( 133 )
二、简单RC电路的频率特性和相位特性 .....	( 136 )
三、单级阻容耦合放大器的频率特性 .....	( 138 )
〔实验二〕 助听器的制作 .....	( 144 )
一、电路及工作原理 .....	( 144 )
二、元件的选择 .....	( 145 )
三、安装与调试 .....	( 146 )
第十节 实用放大电路实例分析 .....	( 147 )
一、扩音机中的前置放大电路 .....	( 147 )
二、录音机中的电压放大电路 .....	( 148 )
小结 .....	( 149 )
习题二 .....	( 151 )
<b>第三章 负反馈放大器与正弦波振荡器 .....</b>	<b>( 155 )</b>
<b>第一节 反馈的基本概念 .....</b>	<b>( 155 )</b>
一、反馈的原理与分类 .....	( 155 )
二、反馈性质的判别和反馈类型的判别 .....	( 159 )
三、负反馈放大器举例 .....	( 160 )
四、负反馈放大器的方框图与增益的表达式 .....	( 163 )
<b>第二节 负反馈对放大电路性能的影响 .....</b>	<b>( 165 )</b>
一、提高增益的稳定性 .....	( 165 )

二、展宽通频带 .....	( 166 )
三、减小非线性失真 .....	( 167 )
四、改变输入电阻和输出电阻 .....	( 169 )
<b>第三节 负反馈放大器的简单分析 .....</b>	<b>( 171 )</b>
一、电流串联负反馈电路 .....	( 171 )
二、电压串联负反馈电路 .....	( 173 )
三、电流并联负反馈电路 .....	( 174 )
四、电压并联负反馈电路 .....	( 176 )
<b>第四节 负反馈放大器的自激振荡及其稳定 .....</b>	<b>( 177 )</b>
一、负反馈放大器的自激振荡 .....	( 178 )
二、负反馈放大器的稳定 .....	( 179 )
<b>第五节 振荡的基本概念 .....</b>	<b>( 181 )</b>
一、正反馈放大器与振荡器 .....	( 183 )
二、振荡器的分类 .....	( 184 )
三、振荡平衡条件 .....	( 185 )
四、振荡的建立与起振条件 .....	( 185 )
五、间歇振荡 .....	( 188 )
<b>第六节 LC振荡器 .....</b>	<b>( 188 )</b>
一、变压器耦合振荡器 .....	( 190 )
二、电感三点式振荡器 .....	( 193 )
三、电容三点式振荡器 .....	( 194 )
四、三点式振荡器构成的一般原则 .....	( 196 )
五、克拉泼振荡器与西勒振荡器 .....	( 197 )
<b>第七节 RC振荡器 .....</b>	<b>( 200 )</b>
一、RC移相式振荡器 .....	( 200 )
二、文氏桥振荡器 .....	( 201 )
<b>第八节 石英晶体振荡器 .....</b>	<b>( 204 )</b>
一、振荡器的幅度稳定和频率稳定 .....	( 204 )
二、石英晶体振荡器 .....	( 206 )



三、各种正弦波振荡器性能的比较 .....	( 210 )
第九节 常用的负反馈放大器与振荡器电路实例分 析 .....	( 211 )
一、负反馈放大器应用实例 .....	( 211 )
二、正弦波振荡器电路 .....	( 214 )
小结 .....	( 216 )
习题三 .....	( 216 )
<b>第四章 低频功率放大器</b> .....	( 219 )
第一节 功率放大器的特点和分类 .....	( 219 )
一、功率放大器的特点 .....	( 220 )
二、功率放大器的分类 .....	( 223 )
第二节 甲类功率放大电路 .....	( 224 )
一、电路组成及工作原理 .....	( 224 )
二、甲类功放电路的图解分析 .....	( 226 )
第三节 变压器耦合乙类推挽功率放大电路 .....	( 228 )
一、电路组成及其工作原理 .....	( 229 )
二、图解分析 .....	( 231 )
三、交越失真及其改进措施 .....	( 233 )
第四节 无输出变压器的乙类功放 .....	( 236 )
一、互补对称OTL电路 .....	( 237 )
二、互补对称OCL电路 .....	( 244 )
第五节 功率放大器实例分析 .....	( 246 )
一、电视机伴音功放 .....	( 246 )
二、录音机功放 .....	( 247 )
小结 .....	( 249 )
习题四 .....	( 249 )
<b>第五章 放大器附属电路</b> .....	( 251 )
第一节 音调控制电路 .....	( 251 )

一、衰减式音调控制电路 .....	( 252 )
二、负反馈式音调控制电路 .....	( 258 )
三、图示式音调控制电路 .....	( 264 )
第二节 频率均衡电路 .....	( 267 )
一、用于电唱机的频率均衡电路 .....	( 267 )
二、用于录放机的频率均衡电路 .....	( 270 )
第三节 等响度补偿电路 .....	( 273 )
一、RC型等响度补偿电路 .....	( 274 )
二、LC型等响度补偿电路 .....	( 276 )
〔实验三〕 双声道立体声扩音器的制作 .....	( 277 )
一、电路及工作原理 .....	( 277 )
二、元件的选择 .....	( 280 )
三、安装与调试 .....	( 281 )
小结 .....	( 282 )
习题五 .....	( 282 )
<b>第六章 场效应管及其放大电路 .....</b>	<b>( 283 )</b>
第一节 场效应管 .....	( 283 )
一、结型场效应管 .....	( 284 )
二、绝缘栅型场效应管 .....	( 292 )
三、场效应管与晶体三极管的性能比较 .....	( 297 )
第二节 场效应管放大电路 .....	( 299 )
一、场效应管偏置电路 .....	( 300 )
二、场效应管的等效电路 .....	( 304 )
三、场效应管放大电路分析 .....	( 305 )
第三节 功率场效应管 (VMOS) 及其电路 .....	( 309 )
一、功率场效应管 .....	( 309 )
二、VMOS管功放电路 .....	( 311 )
〔实验四〕 晶体唱头的阻抗匹配 .....	( 313 )
一、电路及工作原理 .....	( 313 )

二、元件的选择 .....	( 313 )
三、安装与调试 .....	( 314 )
<b>第四节 场效应管电路实例分析</b> .....	( 315 )
一、收音机中稳定偏压的电路 .....	( 315 )
二、摄像机的视频预放电路 .....	( 316 )
小结 .....	( 317 )
习题六 .....	( 318 )
<b>第七章 集成放大电路</b> .....	( 319 )
<b>第一节 差动放大器</b> .....	( 319 )
一、直接耦合放大器的特殊问题 .....	( 319 )
二、差动放大器 .....	( 321 )
三、差动放大器的几种接法 .....	( 334 )
<b>第二节 集成电路简介</b> .....	( 338 )
一、集成电路的分类与特点 .....	( 338 )
二、集成运放 F 001 .....	( 340 )
三、集成运放的主要参数 .....	( 344 )
<b>第三节 集成运放的典型电路和基本运算放大器</b> .....	( 346 )
一、集成运放的基本单元电路 .....	( 346 )
二、典型的集成运放 F 007 .....	( 351 )
三、理想集成运放和基本运算放大器 .....	( 353 )
<b>第四节 集成运放的应用</b> .....	( 358 )
一、集成运放在信号运算中的应用 .....	( 358 )
二、集成运放的其它应用 .....	( 368 )
三、集成运放应用中的一些问题 .....	( 371 )
〔实验五〕 简易定时器的制作 .....	( 373 )
一、电路及工作原理 .....	( 374 )
二、元件的选择 .....	( 376 )
三、安装与调试 .....	( 377 )
<b>第五节 实用集成放大电路实例分析</b> .....	( 379 )

一、性能优异的万用表 .....	( 379 )
二、集成立体声双声道功率放大器 .....	( 382 )
小结 .....	( 383 )
习题七 .....	( 384 )
<b>第八章 稳压电源 .....</b>	<b>( 386 )</b>
<b>第一节 硅稳压管稳压电路 .....</b>	<b>( 386 )</b>
一、稳压电路的类型与主要质量指标 .....	( 386 )
二、硅稳压管稳压电路 .....	( 389 )
<b>第二节 串联型晶体管稳压电路 .....</b>	<b>( 394 )</b>
一、基本调整管稳压电路 .....	( 394 )
二、具有直流放大的稳压电路 .....	( 396 )
三、采用辅助电源和差动放大器的稳压电路 .....	( 399 )
四、具有过流保护的稳压电路 .....	( 401 )
五、集成稳压电路 .....	( 405 )
〔实验六〕 稳压多电源的制作 .....	( 407 )
一、电路及工作原理 .....	( 408 )
二、元件的选择 .....	( 411 )
三、安装与调试 .....	( 412 )
<b>第三节 实用稳压电路实例分析 .....</b>	<b>( 412 )</b>
一、录音机中常用的稳压电路 .....	( 412 )
二、电视机中的稳压电路 .....	( 415 )
小结 .....	( 417 )
习题八 .....	( 417 )
<b>第九章 可控硅及其简单应用 .....</b>	<b>( 419 )</b>
<b>第一节 可控硅 .....</b>	<b>( 419 )</b>
一、可控硅的结构和工作原理 .....	( 419 )
二、可控硅的特性曲线与主要参数 .....	( 423 )
<b>第二节 可控整流电路 .....</b>	<b>( 427 )</b>
一、可控整流电路 .....	( 427 )

二、单结管触发电路 .....	( 431 )
【实验七】可控硅调光台灯的制作 .....	( 439 )
一、电路及工作原理 .....	( 439 )
二、元件的选择 .....	( 440 )
三、安装与调试 .....	( 441 )
第三节 常见可控硅实用电路的分析 .....	( 442 )
一、可控硅交流无触点开关 .....	( 442 )
二、实用可控整流型直流稳压电源 .....	( 443 )
小结 .....	( 445 )
习题九 .....	( 446 )
<b>第十章 电声器件</b> .....	( 447 )
第一节 传声器 .....	( 448 )
一、动圈传声器 .....	( 448 )
二、电容传声器 .....	( 449 )
三、其它型式的传声器 .....	( 452 )
四、传声器的型号命名、主要特性参数和使用常识 .....	( 452 )
第二节 扬声器和耳机 .....	( 454 )
一、扬声器 .....	( 455 )
二、耳机 .....	( 460 )
三、扬声器的型号命名、主要特性参数和使用常识 .....	( 462 )
第三节 拾音器 .....	( 463 )
一、速度型拾音器 .....	( 464 )
二、幅度型拾音器 .....	( 467 )
三、立体声拾音器 .....	( 469 )
四、拾音器的使用常识 .....	( 469 )
小结 .....	( 471 )
习题十 .....	( 472 )
<b>部分习题答案</b> .....	( 473 )
<b>附录一 国产半导体器件的型号命名法</b> .....	( 476 )

**附录二 常用半导体器件的主要参数 ..... ( 478 )**

# 第一章 晶体二极管和整流 滤波电路

打开我们日常生活的“伴侣”——电视机、收音机和录音机的后盖，可以看到各种各样的电子线路，而这些电子线路总离不开象晶体二极管、晶体三极管和集成电路这一类半导体器件。读者可能会问：为什么这些电子线路会有如此奇妙的功能，使我们能看到远在千里之外舞台上的轻歌曼舞，听到歌唱家婉转动听的歌声？这本《基础电子学》将为解开您的疑团打下基础。

本章先介绍PN结的形成，它的作用机理，以及由一个PN结构成的晶体二极管的特性和主要参数，接着讨论几种常用的晶体二极管整流与滤波电路，然后分析一种简易6V直流电源制作的实验，最后介绍两种实用的整流滤波电路。

## 第一节 PN结

### 一、半导体的特性

自然界的物质形形色色，千差万别，按照它们导电能力的强弱，可分为导体、半导体和绝缘体三类。导体就是容易传导电流的物质，如制造电线的铜、铝，焊接用的导线表面镀的银等。绝缘体就是不容易导电(或能够隔绝电流)的物质，如电线外面包的塑料或橡胶，制造云母电容器用的云母等。半导体是

一类导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，如锗、硅、砷化镓、大多数金属氧化物和金属硫化物等。我们用单位截面积、单位长度物体的电阻，即电阻率来衡量物体导电性能的优劣；电阻率越大，导电性能越差。导体的电阻率很小，一般为 $10^{-6} \sim 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ ；绝缘体的电阻率很大，一般为 $10^8 \sim 10^{20} \Omega \cdot \text{cm}$ ；半导体的电阻率介于导体和绝缘体之间。

为什么不同物质的导电能力有如此大的差别呢？原来，导体原子的最外层电子受原子核束缚力很小，在常温（一般为 $27^\circ\text{C}$ ）下很容易挣脱原子核的束缚而成为自由电子，因此导体中的载流子\*（即自由电子）数量多，导电性能好。绝缘体原子的最外层电子受原子核的束缚力很大，在常温下能挣脱原子核的束缚成为自由电子的机会很少，因此绝缘体中载流子很少，其导电能力就差。半导体的原子结构比较特殊，它的原子核对最外层电子的束缚力介于导体和绝缘体之间。在常温下，半导体的单位体积的载流子数目比导体少，比绝缘体多，故其导电性能介于二者之间。

半导体得到广泛应用，主要是由于它具有下列特性：

### （1）掺杂特性

在纯净的半导体中掺入微量（一般为百万分之一）的其它元素，称为掺入杂质，简称掺杂。掺杂会使半导体的导电能力大大加强。例如，纯硅中掺入百万分之一的磷，其电阻率由 $2.14 \times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ 急剧下降到 $0.2 \Omega \cdot \text{cm}$ ，相差100万倍。掺入杂质的性质不同，半导体的导电特性也不同。利用半导体的掺杂特性，可以制造出五花八门、不同类型的半导体器件，这些将在后文中详细介绍。如果半导体没有这个特性，它就不可能在现代电子工业中扮演极其重要的角色了。

---

\* 我们把 在电场作用下，能运载电荷形成电流的粒子称为载流子。



## (2) 热敏和光敏特性

半导体的导电能力随温度的升高按指数急剧增加，这就是它的热敏特性。例如，温度每升高 $10^{\circ}\text{C}$ ，纯锗的电阻率就要下降一半左右。此外，半导体受到光线照射时，其导电能力大大加强，且光照越强，其导电能力增强就越显著，这就是它的光敏特性。例如：硫化镉制成的光敏电阻，无光照时的电阻（暗电阻）大于500千欧，而有光照时的电阻（亮电阻）迅速下降，二者相差1500倍。利用半导体的热敏特性和光敏特性制成热敏元件（例如热敏电阻）和光敏元件（例如光敏电阻、光敏管），在自动控制系统和测量装置中得到广泛的应用。

## 二、P型半导体和N型半导体

制造半导体器件的材料主要是锗和硅的单晶体，它们是由大量的锗和硅原子按一定晶格规则排列而成的。由于这种半导体非常纯净，几乎不含杂质，所以称为本征半导体。本征半导体原子间的结合十分特殊，在一定的温度和光照条件下，外界热能和光能转化为电子的动能，极少数最外层的电子就容易挣脱原子核的束缚，成为自由电子。当一个最外层电子挣脱束缚、成为自由电子的同时，在它原来的地方就留下了一个空位，人们把这个空位叫“空穴”。显然，由于少了一个电子，则空穴带有一个单位的正电荷。如果这个空穴由邻近原子中的电子所填补，空穴便消失了，而在邻近地方产生新的空穴，或者说空穴由原来的位置移过去了，也就是说空穴象电子一样可以自由移动。本征半导体受热或在光的作用下所产生的自由电子\*和空穴是成对地出现的，所以称为“电子—空穴对”。我们把这种现象，称为“热激发”或“本征激发”。

\* 下文若不说明，电子均指自由电子。