

邮 电 中 等 函 授 试 用 教 材

电子电路

方建邦 赵鸿忠 编著 赵裕臣 审

人 民 邮 电 出 版 社



内 容 提 要

本书是根据近年来的教学实践，为邮电中等函授各专业编写的试用教材。

全书共八章，包括半导体器件，低频小信号放大电路，负反馈电路，低频功率放大电路，直流放大，整流滤波、稳压及正弦波振荡等内容。此外，对电子管及其放大电路也作了一些介绍。

为了便于自学，在内容叙述上力求通俗易懂，由浅入深地阐明问题，并结合各章的特点，提供思考题与习题、小实验、小结，以供学习参考。

本书适于邮电中等函授各专业作基础教材，也可供给从事电子技术的技术员、技术工人阅读。

邮电中等函授试用教材

电 子 电 路

方建邦 赵鸿忠 编 著

赵 裕 臣 审

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1983年7月 第 一 版

印张：19 4/32 页数：306 1983年7月河北第一次印刷

字数：504千字 印数：1—23,000册

统一书号：15045·总2719—无6235

定价：1.90 元

前 言

本书是根据一九八〇年邮电中等函授“电子电路”教学大纲，为全国邮电中等函授编写的试用教材。

考虑到教材主要是针对中等文化程度的学员，本书力求不用高等物理与高等数学的计算公式和方法，而着重介绍基本概念，基本分析方法和实用的工程计算。

在编写过程中，力求作到理论联系实际。由于电子线路是一门实践性很强的学科，为使所学的理论能更好地指导实践，在进行各种放大电路理论分析时，均从主要指标和实际中可能遇到的问题出发，介绍工程中实用的分析计算方法，通过例题、习题介绍一些实用的电子线路与实际数据。

此外，考虑到近年来线性集成电路的发展，教材中增加了有关集成运算放大器的内容；又考虑到目前某些通信设备和仪表中还有一部分电子管电路，本书也编写了一些电子管与电子管放大电路的内容。

为了便于自学，本书在内容叙述上力求通俗易懂，由浅入深地阐明问题。

本书共八章，其中第一、二、三、四章由方建邦同志执笔，第五、六、七、八章由赵鸿忠老师执笔，全书由方建邦同志统编，并经赵裕臣同志审核定稿。

由于时间仓促，经验不足，书中难免有谬误之处，希望读者批评指正。

编者 1982.6

目 录

前言

第一章 晶体二极管和三极管

第一节 半导体基本知识	(1)
一、什么是半导体	(1)
二、半导体的原子结构	(3)
三、本征激发	(6)
四、杂质半导体	(8)
小结	(12)
思考题与习题	(13)
第二节 PN结	(14)
一、PN结的形成	(14)
二、PN结的单向导电性	(17)
小结	(19)
思考题与习题	(20)
第三节 晶体二极管	(20)
一、常用二极管的结构	(21)
二、二极管的伏安特性	(22)
三、二极管的主要参数	(25)
四、二极管的简易测量方法	(32)
思考题与习题	(33)
第四节 晶体三极管	(34)
一、三极管的结构	(34)
二、三极管的电流放大作用	(37)
三、三极管的特性曲线	(41)
四、三极管的主要参数	(46)
五、温度对三极管参数的影响	(52)

六、三极管的简易测试	(54)
小结	(58)
思考题与习题	(59)
小实验	(60)
附录一	(61)
附录二	(62)
附录三	(63)

第二章 低频电压放大器

第一节 基本放大电路的组成及工作原理	(69)
一、电路组成	(69)
二、放大器的工作原理	(72)
小结	(81)
思考题与习题	(81)
第二节 放大器的图解分析法	(83)
一、静态情况	(84)
二、动态情况	(89)
三、交流负载线	(95)
四、放大器的非线性失真	(97)
小结	(103)
思考题与习题	(104)
第三节 静态工作点的稳定	(106)
一、温度对静态工作点的影响	(107)
二、分压式电流负反馈偏置电路	(108)
三、具有电压负反馈的偏置电路	(114)
四、采用热敏电阻的偏置电路	(116)
小结	(116)
思考题与习题	(118)
第四节 放大器的等效电路法	(119)
一、晶体管的简化等效电路	(120)
二、晶体管输入电阻的估算	(123)

三、放大器的等效电路法.....	(125)
小结.....	(132)
思考题与习题.....	(134)
第五节 多级放大器	(135)
一、级间耦合方式.....	(135)
二、多级放大器的基本性能.....	(138)
三、阻容耦合放大器的频率特性.....	(149)
小结.....	(157)
思考题与习题.....	(158)
小实验	(159)
附录四	(161)

第三章 放大器的负反馈

第一节 反馈的基本概念	(164)
一、什么叫“反馈”	(164)
二、反馈放大器的组成.....	(166)
三、反馈放大器的类型.....	(169)
四、反馈放大器举例.....	(181)
思考题与习题.....	(187)
第二节 负反馈对放大器性能的影响	(187)
一、负反馈对放大倍数的影响.....	(187)
二、负反馈对放大倍数稳定性的影响.....	(196)
三、负反馈对输入电阻的影响.....	(199)
四、负反馈对输出电阻的影响.....	(201)
五、负反馈对频率特性的影响.....	(203)
六、负反馈对非线性失真的影响.....	(205)
七、负反馈对内部噪声的影响.....	(206)
小结.....	(207)
思考题与习题.....	(207)
第三节 射极输出器	(208)
一、电路组成.....	(208)
二、基本特性.....	(209)

小结	(215)
思考题与习题	(216)
第四节 电流串联负反馈放大器	(217)
一、电路组成	(217)
二、基本特性	(219)
三、用途	(223)
思考题与习题	(224)
第五节 低频放大器的自激和防止	(225)
一、自激的概念	(225)
二、产生的原因和防止	(226)
思考题与习题	(231)
小实验	(231)

第四章 低频功率放大器

第一节 功率放大器的特点和分类	(234)
一、特点	(234)
二、分类	(237)
第二节 甲类单管功率放大器	(237)
一、变压器的作用	(237)
二、放大器的功率	(246)
三、放大器的效率	(254)
四、放大器的非线性失真	(258)
小结	(260)
思考题与习题	(261)
第三节 乙类推挽功率放大器	(262)
一、电路组成	(263)
二、工作原理	(264)
三、电路性能分析	(267)
四、放大器的非线性失真	(277)
小结	(283)
思考题与习题	(283)

第四节 无变压器功率放大器	(285)
一、无输出变压器功率放大器	(286)
二、互补对称功率放大器	(289)
三、无变压器功率放大器的功率	(303)
四、无变压器功率放大器的缺点	(305)
小结	(307)
思考题与习题	(307)
第五节 大功率管的保护	(309)
一、热致击穿及其保护措施	(309)
二、二次击穿及其防护措施	(312)
小实验	(314)
附录五	(314)

第五章 直流放大器

第一节 直流放大器的特点	(326)
一、信号的直接耦合问题	(326)
二、放大管的零点漂移问题	(329)
小结	(332)
思考题与习题	(333)
第二节 差动放大器	(333)
一、双端输入——双端输出式差动电路	(333)
二、实用电路介绍	(337)
三、主要参数计算	(339)
小结	(342)
思考题与习题	(342)
第三节 具有恒流源的差动电路	(344)
小结	(346)
思考题与习题	(346)
第四节 其它形式的差动电路	(346)
一、单端输入——双端输出式差动电路	(346)
二、双端输入——单端输出式差动电路	(349)

三、单端输入——单端输出式差动电路.....	(351)
四、输入信号为一般形式的差动电路.....	(352)
小结.....	(353)
思考题与习题.....	(353)
第五节 集成运算放大器	(356)
一、概述.....	(356)
二、集成运算放大器.....	(357)
三、BG301集成运算放大器	(358)
四、集成运算放大器的应用.....	(365)
小结.....	(371)
思考题与习题.....	(372)

第六章 整流及稳压电路

第一节 整流电路	(374)
一、半波整流电路.....	(375)
二、全波整流电路.....	(377)
三、桥式整流电路.....	(382)
四、倍压整流电路.....	(385)
小结.....	(388)
思考题与习题.....	(388)
第二节 滤波电路	(392)
一、电容滤波电路.....	(392)
二、电感滤波电路.....	(399)
三、 Γ 型滤波电路.....	(399)
四、 π 型滤波电路.....	(400)
五、纹波系数.....	(401)
小结.....	(402)
思考题与习题.....	(403)
第三节 硅稳压管稳压电路	(405)
一、硅稳压二极管的特性和主要参数.....	(406)
二、硅稳压管稳压电路的分析.....	(410)
三、稳压电路的主要质量指标.....	(413)

四、硅稳压管稳压电路的设计.....	(415)
小结.....	(416)
思考题与习题.....	(417)
第四节 串联型晶体管稳压电路.....	(418)
一、简易串联型晶体管稳压电路.....	(418)
二、实用简易串联型稳压电路.....	(420)
三、具有放大环节的稳压电路.....	(421)
四、典型的串联型稳压电路设计.....	(430)
五、串联型稳压电路性能的改进.....	(434)
小结.....	(438)
思考题与习题.....	(438)

第七章 正弦波振荡器

第一节 振荡器的工作原理	(440)
一、基本原理.....	(440)
二、振荡条件.....	(442)
三、电路组成.....	(442)
四、振荡的建立和稳定.....	(442)
小结.....	(445)
思考题与习题.....	(445)
第二节 LC振荡电路	(445)
一、LC并联电路的特性	(447)
二、变压器反馈振荡电路.....	(448)
三、电感反馈(电感三端式)振荡电路.....	(452)
四、电容反馈(电容三端式)振荡电路.....	(457)
五、电容三端式振荡电路的改进.....	(459)
六、三端式振荡电路相位条件的判别方法和加强正反馈的措施(461)	
七、LC振荡器的调整	(462)
小结.....	(464)
思考题与习题.....	(465)
第三节 振荡频率的稳定和石英晶体振荡器	(468)
一、振荡频率的稳定.....	(468)

二、石英晶体振荡器	(471)
小结	(476)
思考题与习题	(477)
第四节 RC振荡器	(479)
一、RC相移式振荡电路	(479)
二、RC桥式振荡电路	(482)
小结	(488)
思考题与习题	(488)

第八章 电压控制器件及电路

第一节 二极管	(491)
一、热电子发射	(491)
二、二极管的结构	(492)
三、二极管的特性曲线	(495)
四、二极管的主要参数	(497)
五、二极管整流电路	(499)
六、二极管的几个极限参数	(502)
小结	(503)
思考题与习题	(503)
第二节 三极管	(504)
一、三极管的构造和栅极的控制作用	(504)
二、三极管特性曲线	(507)
三、三极管的参数	(510)
四、三极管参数的求法	(512)
五、三极管的极间电容及其影响	(514)
小结	(515)
思考题与习题	(515)
第三节 五极管	(516)
一、四极管	(517)
二、五极管	(520)
小结	(523)
思考题与习题	(523)

第四节 束射四极管	(524)
小结	(526)
思考题与习题	(527)
第五节 多栅管和复合管	(527)
第六节 电子管的使用常识	(528)
一、电子管的命名方法	(528)
二、电子管的管脚及管座的识别	(530)
三、电子管各极电压、电流值	(531)
第七节 电压放大器	(531)
一、简单的放大器电路	(532)
二、静态工作点的确定	(532)
三、动态工作情况	(534)
四、放大器的图解法	(536)
五、栅偏压的作用及栅偏压电路	(540)
六、放大器的微变等效电路法	(544)
小结	(551)
思考题与习题	(552)
第八节 功率放大器	(554)
一、单管甲类功率放大器	(554)
二、推挽功率放大器	(560)
三、倒相器	(563)
四、实用电路举例	(567)
小结	(570)
思考题与习题	(571)
第九节 振荡器	(572)
一、变压器耦合振荡器	(572)
二、电感三端式振荡电路	(573)
三、电容三端式振荡电路	(573)
四、构成三端式电路的原则	(575)
小结	(575)
思考题与习题	(576)

第十节 场效应管及其放大电路	(577)
一、结型管 (<i>JFET</i>)	(577)
二、绝缘栅管 (<i>IFET</i> 或 <i>MOST</i>)	(586)
三、各种场效应管特性比较表	(595)
小结	(595)
思考题与习题	(597)

第一章 晶体二极管和三极管

目 的 要 求

在半导体基本知识学习中，必须弄清电子和空穴、 N 型半导体和 P 型半导体、载流子的漂移运动与扩散运动等区别。 PN 结是组成一切半导体器件的核心部分，一定要从物理概念上弄清 PN 结正向运用与反向运用两种情况下的本质区别。为学习晶体管内容打下基础。

在晶体二极管及三极管的学习中，要求掌握常用晶体管的基本结构、管内物理过程、电特性、主要参数及简易测试方法等，为今后学习、应用和研究各种晶体管电路奠定基础。

无论是晶体二极管还是三极管，都是由半导体材料构成的。为了能对今后讨论的晶体管及其电路有个比较深入的认识，下面先介绍一些半导体材料的基本特性。

第一节 半导体基本知识

一、什么是半导体

世界上的物质是形形色色的。它们都有着各自的特性，例如：橡胶柔软而具有弹性；钢铁坚硬而具有较大的分量。如果用导电性能来衡量，则可以将物质分成三大类。一类为导电性能良好的物质，通常称为导体。例如大多数的金属：银、铜、铝、铁……经常用做导电材料，象导线、开关、印刷电路板的铜皮等等。它们之中又以银的导电性能为最好。与导体不同的另一类是基本上不能导电的

材料，通常称为绝缘体。例如印刷电路板的塑料；电容器极板间的介质：陶瓷、玻璃、云母等；用作绝缘手套的橡胶…。在这两类之间还存在着一大类，它的导电性能介于导体和绝缘体之间，我们称之为半导体。例如用来制造晶体管的硅和锗，还有用来制造整流器的硒、氧化铜……。这些物质之所以具有不同的导电性能，主要在于物质的结构和内部矛盾性。

大家知道，各种物质都是由原子构成的。而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成的，电子分几层围绕着原子核不停旋转着，如图1-1-1(a)所示，就象行星围绕太阳转一样。由于原子

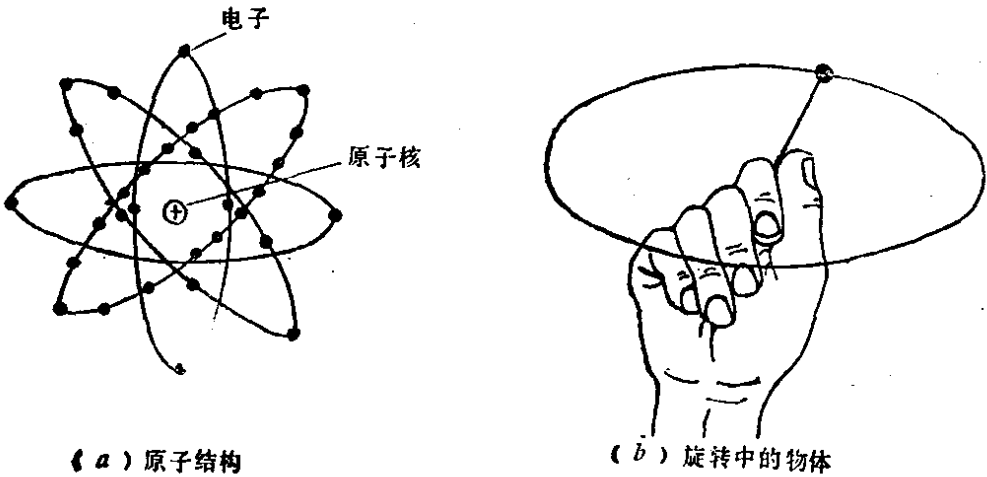


图 1 1-1 原子

核和电子带有异性电，所以电子不能脱离原子核的束缚而跑出去。那么，它会不会被吸到原子核核心上去呢？也不会的。因为电子是在围绕原子核作不停旋转的，这就好象我们用手牵着绳子的一端，而另一端拴着一个物体，当我们使物体旋转起来如图1-1-1(b)所示，虽然手在通过绳子用力的拉着物体，但由于它在旋转，所以是不会跑到你手中去的。这种情况与原子内部情形一样，所以电子既不会跑出来，也不会被吸到中心去，而是在一定的轨道上不停的转动着。原子核对核外电子的引力是愈向外愈弱。对导体来说，在室温下由于原子核对最外层电子的引力非常微弱，因此，一般都会在得到一定的热能之后，挣脱原子核的束缚而跑出来，通常称这样的电

子为自由电子，而不易跑出来的内层电子称为束缚电子。

在室温情况下，一般导体内部充满了自由电子，因此当在导体两端接上电源，有了电位差，形成电场。这些电子就要受到电场力的作用，而向电源正端运动，如图 1-1-2 所示。电荷的定向运动就形成了电流，按规定电流的正方向为电子流动的反方向，所以是自左而右的，通常把形成电流的带电粒子称为载流子。在导体内就是一种载流子，即是电子。

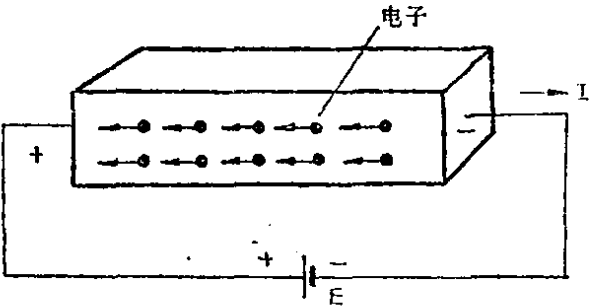


图 1-1-2 导体中的电流

对于绝缘体来说，由于原子核对核外电子的引力很大，束缚得十分牢固。因此，外层电子是不能脱离原子核而自由逸出，即使给其两端外加一定的电压，如图 1-1-3 所示。在电场力的作用下，也只能使电子的运行轨道改变一些，而不能使其外层电子成为自由电子。当然如果一再的增高外加电压，增强电场，最终有那么一个时刻，会把电子拉出成为自由电子，此时将出现大量做定向运动的电子，即产生大电流，从而使绝缘体由于过热而损坏，我们称之为发生了电击穿。这就是常见的有些电容器在使用时由于超过额定电压，而被击穿的情形。那么，介于导体和绝缘体之间的半导体的原子结构是什么样呢？它具有那些特性呢？

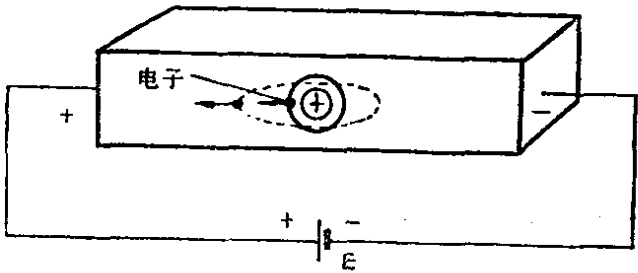


图 1-1-3 绝缘体

些，而不能使其外层电子成为自由电子。当然如果一再的增高外加电压，增强电场，最终有那么一个时刻，会把电子拉出成为自由电子，此时将出现大量做定向运动的电子，即产生大电流，从而使绝缘体由于过热而损坏，我们称之为发生了电击穿。这就是常见的有些电容器在使用时由于超过额定电压，而被击穿的情形。那么，介于导体和绝缘体之间的半导体的原子结构是什么样呢？它具有那些特性呢？

二、半导体的原子结构

目前用来制造晶体管的半导体材料，主要是硅和锗。下面介绍

这两种半导体材料的原子结构。首先介绍硅和锗的单个原子结构。硅的化学元素符号是Si，它有一个带正电的原子核和14个带负电的电子。这些电子分三层绕原子核不停的旋转着，如图1-1-4(a)所

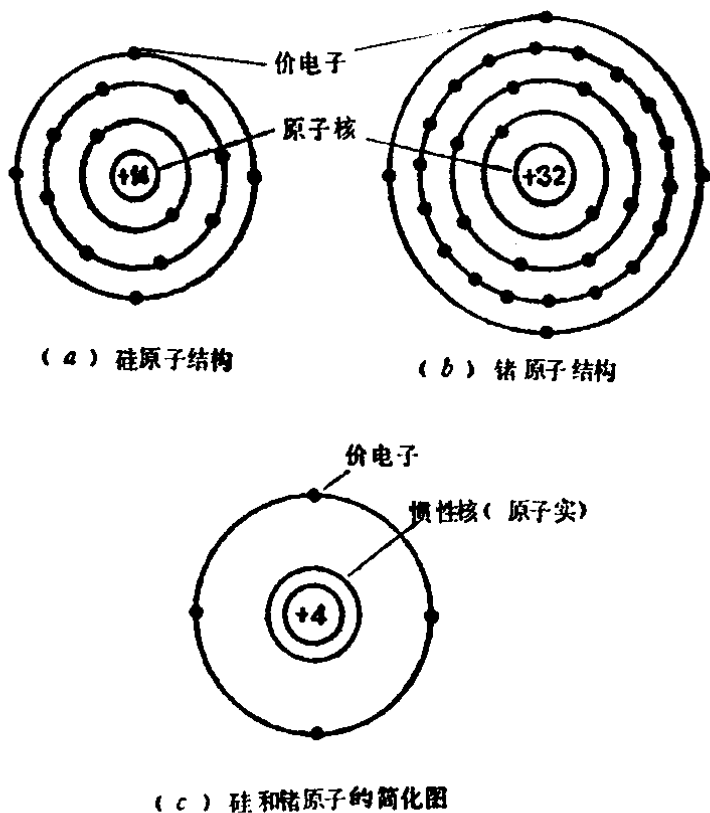


图 1-1-4 硅和锗的原子结构

示，第一层是两个，第二层八个，第三层四个。由于原子核带14个电子电量的正电，所以正常情况下原子呈现中性。锗的化学元素符号是Ge，它有32个电子，分四层绕原子核不停的转动着，如图1-1-4(b)所示。第一层是两个，第二层八个，第三层18个，第四层四个。一般只有最外层电子有可能脱离原子核的束缚逸出去参加导电。而内层电子是不大可能出去的，即总是被束缚在原子核的周围，为了便于说明问题，通常把它们看成一体，称为原子实或惰性核，用符号 $\odot$ 表示。对硅原子来说，其惰性核的净电量是 $14 - 10 = +4$ 个电子电量，这样加上最外层的四个单位的负电，对外仍不显电性。为了便于区分，通常称最外层的电子为价电子。有几个价电子就称为几价元素。硅和锗原子最外层的电子都是四个，所以硅和锗都是四价元素，如图1-1-4(c)所示。原子理论告诉我们，只有