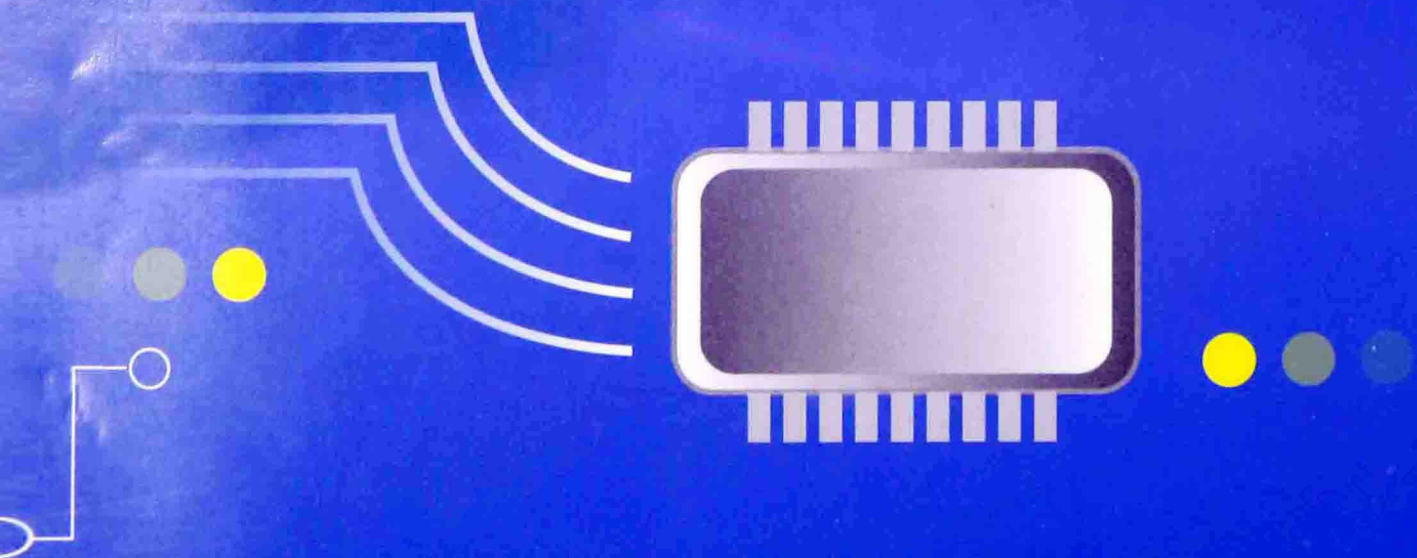


高等院校电子信息类
卓越工程师培养系列教材

模拟电子电路

Analog electronic
circuits

吴友宇 主 编
刘可文 副主编



科学出版社

高等院校电子信息类卓越工程师培养系列教材

模拟电子电路

吴友宇 主 编

刘可文 副主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍模拟电子电路的基本理论、基本分析方法和基本设计步骤与方法。全书共有 13 章, 包括半导体基础知识、半导体二极管及其电路、双极型三极管及其放大电路、单极型场效应管及其放大电路、功率放大电路、集成运算放大电路、负反馈放大电路、信号的运算与处理电路、正弦信号产生电路、直流稳压电源和电路 Multisim 仿真。

本书编写侧重电类专业卓越工程师计划的教学, 注重电路的设计实践。全书编写遵从循序渐进的思维方式, 章节安排合理, 每章后面有丰富的客观和主观练习题, 有利于教与学。

本书可作为高等学校电子信息类专业和电气工程、自动化、计算机等相关专业的本科教材, 也可供相关工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路 / 吴友宇主编. —北京: 科学出版社, 2014.8
高等院校电子信息类卓越工程师培养系列教材
ISBN 978-7-03-041745-9

I. ①模… II. ①吴… III. ①模拟电路—高等学校—教材 IV. ①TN710
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 193336 号

责任编辑: 潘斯斯 / 责任校对: 蒋 萍

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 26 1/4

字数: 622 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

模拟电子技术是电子信息类专业必修的一门技术基础课程。

18 世纪末人类开始电磁现象方面的研究，电子学进入孕育期；随着真空电子管的出现，标志着电子学的诞生；1947 年圣诞节前夜，肖克利、巴丁和布拉顿发明了晶体管，标志着电子学进入儿童期，晶体管是 20 世纪在电子技术方面最伟大的发明；1959 年，美国 TI 公司的基尔比 (Jack S. Kilby) 制成了人类历史上第一片集成电路样品；集成电路的出现和应用，标志着电子学进入了蓬勃发展的青年期。随后半个多世纪，集成电路按照摩尔定律快速发展，为计算机技术、网络技术、汽车技术和数码技术的发展奠定了坚实的基础。

经过 12 年中小学教育，当你叩开大学校门，进入知识的海洋，立志在电子信息领域发展，恭喜你的正确选择，进入了“常青行业”。

那么大学四年你应该学会什么？学生必须做好时间管理，掌握自学能力。

那么大学四年你应该适应什么？针对大学课堂上老师飞速地讲课，学生大多是云里雾里，从来都是一知半解，需要你课下花大量时间、精力消化。

那么大学四年你应掌握什么理论基础？基础课程有高等数学课程、大学物理课程、各门工程数学课程；电路、模拟电子技术基础和数字电子技术基础三门专业基础课程。通过这些课程的学习，你将受益终生。

那么大学四年你应掌握什么技术？通过参加各项实践活动，掌握基本的电路设计、安装、调试和测试技术；积极参加各类学科竞赛提升能力，如全国大学生数学建模大赛、全国大学生电子设计大赛、Freescale 智能车大赛、全国大学生节能环保竞赛和挑战杯竞赛等。通过这些实践项目锻炼，会开拓你的眼界，使你心灵手巧，使你顿悟学到的知识，掌握项目开发的流程，培养团队合作精神。

卓越工程师培养系列教材《模拟电子电路》是根据本课程的教学基本要求和作者二十多年的教学经验和心得体会编写的，也可作为教授有关课程的教师和学生的参考资料。

在编写过程中，注重基本概念、基本电路和基本分析方法的阐述；由于课程具有工程性和实践性的特点，在本书第 1 章提醒读者必须建立工程观念和实践观念，介绍了元器件的选择方法，介绍了网上学习资源网址；在介绍电路基本原理后，尽可能介绍相关的集成电路芯片，激发读者应用芯片的热情；鉴于 EWB 仿真软件应用广泛，在第 13 章介绍了其升级换代版本 Multisim 13.0，并使用 Step By Step 的方法讲述如何绘制电路、如何分析电路的静态工作情况和动态工作情况等。每章后面附有大量的主观和客观题，帮助读者学习消化相关知识。

本书的初衷是为配合卓越工程师课程设置和改革，学生在大一下学期开设“数字电子技术基础”课程，在大二上学期开设“模拟电子技术基础”课程，并且在课程内容中突出实践和工程应用。本书与《数字电子电路与逻辑设计》(刘可文主编)配套使用，既适合于“模拟电子技术基础”课程先开设，“数字电子技术基础”课程后开设，因为涵盖半导体基础知识、二极管和三极管知识；也适合于“数字电子技术基础”课程先开设，“模拟电子技术基础”课程后开设，因为涵盖了数模和模数转换器。

在本书编写过程中，作者参考了很多课程教材，参考并引用了集成电路生成厂商的相关技术资料；在编写过程中得到 TI 公司胡国栋工程师的大力支持，得到了 NI 公司汪洋工程师的鼎力帮助，在此对他们表示衷心的感谢。参加本书编写工作的有：吴友宇(第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 7 章、第 9 章、第 11 章和第 13 章)、刘可文和王林涛(第 2 章)、许菲(第 5 章)、曾刚(第 6 章)、卢珏(第 8 章)和周鹏(第 10 章和第 12 章)；吴友宇负责组稿和定稿；由刘可文审稿。在此对本书编写作出贡献的所有老师表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限，难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

于武汉理工大学

2014 年 5 月 5 日

目 录

前言

第 1 章 引言	1
1.1 电子技术发展简史	1
1.2 模拟信号与数字信号	3
1.2.1 模拟电路与模拟信号	3
1.2.2 数字电路与数字信号	4
1.2.3 电子系统及组成	4
1.3 电子电路的学习方法	5
1.3.1 建立工程观念	5
1.3.2 建立实践观念	5
1.3.3 掌握常用仪器设备使用	5
1.3.4 抓好三基学习	6
1.3.5 学会资料检索和大量阅读课外知识	6
1.3.6 仿真软件辅助设计	6
1.4 预备知识	6
1.4.1 分压和分流计算	6
1.4.2 戴维南定律	7
1.4.3 诺顿定律	7
1.4.4 电容器的交直流特性	7
1.4.5 元器件的 E 系列标称方法	8
1.4.6 电阻的用途和选用	9
1.4.7 电容的用途和选用	9
1.5 常用电子网站	11
1.5.1 电子技术学习网站	11
1.5.2 单片机学习网站	11
1.5.3 FPGA 学习网站	12
1.5.4 元器件数据手册速查网站	12
1.5.5 元器件购买网站	12
1.5.6 著名芯片制造商网站	12
本章小结	12
习题 1	12
第 2 章 半导体基础及二极管	14
2.1 半导体基础知识	14

2.1.1	本征半导体	14
2.1.2	杂质半导体	16
2.1.3	载流子的漂移运动和扩散运动	17
2.2	PN 结	17
2.2.1	PN 结的形成	17
2.2.2	PN 结单向导电性	18
2.2.3	PN 结的反向击穿	19
2.2.4	PN 结的电容效应	20
2.3	半导体二极管	21
2.3.1	二极管的结构	21
2.3.2	二极管的伏安特性	22
2.3.3	二极管的主要参数	23
2.3.4	二极管的等效模型	23
2.3.5	二极管应用电路	26
2.4	稳压二极管	27
2.4.1	稳压管的伏安特性	27
2.4.2	稳压管的主要参数	28
2.5	其他类型二极管	29
2.5.1	发光二极管	29
2.5.2	光电二极管	29
2.5.3	变容二极管	30
2.5.4	肖特基二极管	30
	本章小结	31
	习题 2	31
第 3 章	双极型三极管及其放大电路	35
3.1	双极型三极管	35
3.1.1	双极型三极管简介	35
3.1.2	双极型三极管的电流分配关系	35
3.1.3	双极型三极管的特性曲线	37
3.1.4	双极型三极管的主要参数	39
3.1.5	双极型三极管的选型	40
3.2	放大电路的基本概念	42
3.2.1	放大电路的信号	42
3.2.2	放大电路的放大作用	42
3.2.3	三极管放大电路的三种组态	43
3.2.4	放大电路的性能指标	43
3.3	基本共射放大电路的工作原理	44
3.3.1	基本共射放大电路的组成	44

3.3.2	放大电路的两点规定	44
3.3.3	交变信号的传输	45
3.3.4	放大电路的两种工作状态	46
3.3.5	两种工作状态的分析思路	46
3.3.6	三极管放大电路的特点	46
3.4	基本共射放大电路的静态分析	47
3.4.1	静态工作点估算法	47
3.4.2	静态工作点的图解法	48
3.4.3	动态工作的图解法	50
3.4.4	静态工作点与失真	52
3.4.5	图解分析法的应用范围	55
3.5	小信号模型分析法	55
3.5.1	指导思想	55
3.5.2	三极管的 H 参数及其等效电路	55
3.5.3	用 H 参数等效电路分析基本共射放大电路	57
3.6	射极偏置放大电路	62
3.6.1	温度对工作点的影响	62
3.6.2	射极偏置电路静态分析	63
3.6.3	射极偏置电路动态分析	65
3.7	共集电极电路	68
3.7.1	电路组成	68
3.7.2	静态分析	68
3.7.3	动态分析	68
3.7.4	自举放大电路	70
3.8	共基极放大电路	71
3.8.1	电路组成	71
3.8.2	静态分析	71
3.8.3	动态分析	71
3.8.4	三种组态放大电路的比较	72
3.9	多级放大电路	74
3.9.1	多级放大电路的耦合方式	74
3.9.2	多级放大电路静态分析	76
3.9.3	多级放大电路动态分析	77
	本章小结	80
	习题 3	80
第 4 章	场效应管及其放大电路	94
4.1	单极型晶体管概述	94
4.2	结型场效应管	94

4.2.1	JFET 的结构	94
4.2.2	JFET 的工作原理	95
4.2.3	JFET 的特性曲线	96
4.2.4	JFET 的主要参数	98
4.3	绝缘栅场效应管	98
4.3.1	N 沟道增强型 MOSFET 的结构	99
4.3.2	N 沟道增强型 MOS 管的工作原理	99
4.3.3	N 沟道增强型 MOS 管的特性曲线和电流方程	100
4.3.4	MOSFET 的主要参数	101
4.4	N 沟道耗尽型 MOS 管	101
4.4.1	基本结构	101
4.4.2	工作特性	101
4.5	各种场效应管特性比较及注意事项	102
4.5.1	各类 FET 的特性	102
4.5.2	使用场效应管的注意事项	103
4.5.3	场效应管与三极管的性能比较	103
4.6	场效应管放大器及其静态分析	104
4.6.1	场效应管放大电路的三种组态	104
4.6.2	场效应管的直流通路及静态估算分析	105
4.7	场效应管放大器的动态分析	107
4.7.1	场效应管小信号模型等效电路	107
4.7.2	场效应管放大电路动态工作分析	108
	本章小结	112
	习题 4	112
第 5 章	功率放大电路	117
5.1	功率放大电路概述	117
5.1.1	功率放大电路的主要特点和指标参数	117
5.1.2	功率放大电路的类型	118
5.2	乙类互补对称功率放大电路	120
5.2.1	电路及工作原理	120
5.2.2	参数计算	121
5.3	甲乙类互补对称功率放大电路	124
5.3.1	利用二极管提供偏置的互补对称电路	125
5.3.2	VBE 扩大电路	125
5.4	其他类型互补对称功率放大电路	126
5.4.1	单电源互补功率放大电路	126
5.4.2	采用复合管(达林顿管)的互补功率放大电路	127
5.4.3	桥式推挽功率放大电路	129

5.5	功率器件及其选用	129
5.6	常用集成功率放大器	131
5.6.1	TDA2030A 简介	131
5.6.2	TDA2030A 的典型应用电路	131
	本章小结	133
	习题 5	133
第 6 章	集成运算放大器	138
6.1	差分放大电路	138
6.1.1	差模信号和共模信号	138
6.1.2	射极偏置差分放大电路	139
6.1.3	差分放大电路交流性能指标分析	141
6.1.4	改进的差分放大电路	145
6.1.5	差分放大电路的电压传输特性	147
6.2	集成运算放大器的电流源	148
6.2.1	基本镜像电流源	148
6.2.2	比例电流源	148
6.2.3	微电流源	149
6.2.4	多路电流源	149
6.2.5	使用电流源作为有源负载	150
6.3	集成运算放大器	151
6.3.1	概述	152
6.3.2	集成运算放大器的性能参数	153
6.3.3	集成运算放大器的种类及使用	155
6.3.4	典型集成运算放大器 HA741 分析	156
6.3.5	集成运算放大器的保护及扩展	158
	本章小结	159
	习题 6	160
第 7 章	放大电路的频率响应	164
7.1	频率响应的基本概念	164
7.1.1	频率响应定义	164
7.1.2	频率失真与非线性失真	164
7.1.3	放大电路的耦合与幅频响应	165
7.1.4	截止频率与通频带	166
7.2	对数频率响应——折线波特图	166
7.2.1	分贝表示放大倍数	166
7.2.2	波特图	166
7.2.3	波特图绘制步骤	166
7.3	RC 电路的频率响应	167

7.3.1	RC 低通电路——高频响应	167
7.3.2	RC 高通电路——低频响应	169
7.4	单级放大器的高频响应	171
7.4.1	密勒定理	171
7.4.2	三极管的高频等效电路及简化	173
7.4.3	高频响应及上限频率	174
7.5	单级放大器的低频响应	176
7.5.1	低频等效电路及简化	176
7.5.2	低频响应及下限频率	177
7.6	多级放大器的频率响应	178
	本章小结	180
	习题 7	180
第 8 章	负反馈放大电路	183
8.1	反馈的基本概念	183
8.1.1	反馈放大器	183
8.1.2	有无反馈的判断	183
8.1.3	反馈极性的判断	184
8.1.4	交直流反馈判断	185
8.1.5	反馈放大器组态的判断	186
8.2	负反馈放大电路的四种基本组态	188
8.2.1	电压串联负反馈	188
8.2.2	电压并联负反馈	189
8.2.3	电流串联负反馈	189
8.2.4	电流并联负反馈	190
8.3	负反馈放大电路增益分析	191
8.3.1	负反馈放大电路的方框图	191
8.3.2	负反馈放大电路增益的一般表达式	192
8.4	负反馈对放大电路性能的改善	194
8.4.1	提高增益的稳定性	194
8.4.2	减少非线性失真	195
8.4.3	负反馈对放大器频率特性的影响	196
8.4.4	负反馈对输入电阻输出电阻的影响	197
8.4.5	引入负反馈的原则	200
8.5	负反馈放大电路的增益计算	202
8.5.1	利用虚短近似估算	202
8.5.2	利用放大倍数近似估算	202
8.6	负反馈放大电路产生自激振荡的原因及条件	204
8.6.1	产生自激振荡的原因	204

8.6.2	产生自激振荡的条件	205
8.6.3	负反馈放大电路稳定性的定性分析	205
8.6.4	负反馈放大电路稳定工作条件	206
8.6.5	负反馈放大电路中自激振荡的消除方法	207
	本章小结	210
	习题 8	212
第 9 章	信号的运算与处理电路	219
9.1	概述	219
9.1.1	理想运放参数	219
9.1.2	运放的线性工作状态——虚短和虚断	220
9.1.2	运放的非线性工作状态	221
9.2	运算电路	221
9.2.1	运算放大器的三种输入方式	221
9.2.2	基本运算电路	224
9.2.3	对数与指数运算电路	231
9.2.4	仪表放大器	233
9.2.5	电流-电压变换器和电压-电流变换器	234
9.3	有源滤波器	235
9.3.1	基本概念	235
9.3.2	一阶有源低通滤波器	237
9.3.3	简单有源二阶低通滤波器	238
9.3.4	有源二阶压控型低通滤波器	239
9.3.5	有源二阶反相型低通滤波器	241
9.3.6	二阶压控型高通有源滤波器	242
9.3.7	有源带通滤波器和带阻滤波器	242
9.4	电压比较器	245
9.4.1	电压比较器概述	245
9.4.2	单门限电压比较器	246
9.4.3	迟滞电压比较器	248
9.4.4	窗口比较器	251
9.4.5	方波发生器	251
9.5	集成运算放大器器件应用中应注意的问题	253
9.5.1	集成运放器件的选用	253
9.5.2	集成运放器件的测试	253
9.5.3	集成运放器件的调零	254
9.5.4	集成运放器件的保护	254
	本章小结	255
	习题 9	256

第 10 章 正弦信号产生电路	264
10.1 正弦波振荡器的基本概念	264
10.1.1 正弦波振荡器的定义和组成	264
10.1.2 正弦波振荡器的分类	264
10.1.3 正弦波振荡平衡条件和起振条件	264
10.1.4 正弦波电路能否振荡的判断	266
10.2 RC 正弦波振荡器	267
10.2.1 RC 串并联选频网络的频率特性	267
10.2.2 RC 文氏电桥振荡器	268
10.3 LC 正弦波振荡器	271
10.3.1 LC 并联谐振回路的频率特性	271
10.3.2 变压器耦合 LC 振荡电路	274
10.3.3 LC 三点式振荡电路	275
10.4 石英晶体正弦波振荡器	279
10.4.1 压电效应	280
10.4.2 石英晶体的特性	280
10.4.3 石英晶体振荡电路	281
本章小结	282
习题 10	282
第 11 章 直流稳压电源	288
11.1 小功率整流滤波电路	288
11.1.1 单相整流电路	288
11.1.2 滤波电路	294
11.2 稳压管稳压电路	298
11.2.1 稳压电路的质量指标	298
11.2.2 稳压管稳压电路	300
11.2.3 稳压管稳压电路的参数设计	301
11.3 串联型稳压电路	303
11.3.1 串联型稳压电路原理	303
11.3.2 串联型反馈式稳压电路	303
11.3.3 串联型反馈式稳压电路的输出电压范围	304
11.3.4 调整管的选择	305
11.3.5 稳压电路的保护	305
11.4 集成稳压器及其应用	307
11.4.1 输出电压固定的三端集成稳压器	308
11.4.2 输出电压固定的三端集成稳压器的应用电路	309
11.4.3 输出电压可调的三端集成稳压器	311
11.4.4 输出电压固定的三端集成稳压器的应用电路	311

11.5 直流开关式稳压电路	313
11.5.1 直流开关式稳压电路的特点	313
11.5.2 串联式开关换能电路	314
11.5.3 串联开关型稳压电路的组成和工作原理	315
本章小结	317
习题 11	318
第 12 章 数模和模数转换	323
12.1 概述	323
12.2 数模转换器	323
12.2.1 D/A 转换器的基本工作原理	324
12.2.2 D/A 转换器电路	325
12.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	330
12.2.4 8 位集成 D/A 转换器 TLC5620	332
12.3 模数转换器	335
12.3.1 A/D 转换器的工作原理	335
12.3.2 A/D 转换器的主要电路形式	337
12.3.3 A/D 转换器的主要技术指标	346
12.3.4 8 位集成 A/D 转换器 TLC549	347
本章小结	349
习题 12	350
第 13 章 电子电路的 Multisim 仿真	353
13.1 概述	353
13.1.1 Multisim 的发展	353
13.1.2 Multisim 13.0 的基本功能	353
13.2 Multisim 的仿真软件环境与基本操作	354
13.2.1 Multisim 13.0 主界面	354
13.2.2 元件工具栏	355
13.2.3 电路创建与功能测试的基本操作	355
13.2.4 电路工作区绘图纸的调节	358
13.3 使用 Multisim 13.0 创建基本共射放大电路	359
13.3.1 创建基本共射放大电路	359
13.3.2 电路仿真与工作波形测试	362
13.4 基本共射放大电路静态工作点分析	363
13.4.1 Multisim 的分析菜单	363
13.4.2 Multisim 的电路网标显示	364
13.4.3 Multisim 的静态工作点分析	364
13.5 Multisim 的元件模型参数的修改	366
13.6 基本共射放大电路的动态分析	372

13.6.1	放大倍数的分析	372
13.6.2	输入电阻和输出电阻的分析	373
13.6.3	频率特性分析	374
13.7	瞬态分析	376
13.8	方波信号的傅里叶分析	378
13.9	共基放大电路仿真分析	380
13.9.1	静态工作点分析	381
13.9.2	放大倍数的分析	381
13.9.3	输入电阻和输出电阻的分析	382
13.9.4	频率特性分析	382
13.10	电阻伏安特性分析	383
13.11	二极管的伏安特性分析	385
13.12	三极管的伏安特性分析	385
13.13	功率放大器仿真分析	385
13.13.1	乙类 OCL 功放分析	386
13.13.2	甲乙类 OTL 功放分析	386
13.14	集成运算放大器应用电路仿真分析	388
13.14.1	同相比运算电路分析	388
13.14.2	反相比运算电路分析	389
13.14.3	一阶低通有源滤波器分析	390
13.14.4	二阶切比雪夫低通有源滤波器分析	391
13.15	用 Multisim 设计滤波器	391
13.16	温度扫描分析	393
	本章小结	395
	习题 13	395
	参考文献	397
	附录 模拟电子电路英语词汇	401

第 1 章 引 言

内容提要：本章将介绍电子技术的发展史和电子技术的应用现状，阐述电子电路课程的内容和学习方法，还将讲述电子技术学习的预备知识，以及与电子技术相关的网站。

1.1 电子技术发展简史

进入 21 世纪，人们面临的是以微电子技术、计算机技术和网络技术为标志的信息化社会。现代电子技术的广泛应用使社会生产力和经济获得了空前的发展，电子技术无处不在：收录机、彩电、音响、VCD、DVD、电子手表、数码相机、个人计算机、手机、U 盘、MP3、大规模的工业流水线、网络和通信设备、汽车电子设备、机器人、导弹、航天飞机、宇宙探测器等。可以说没有电子技术，现代生活无法想象。

在 18 世纪末和 19 世纪初，由于生产发展的需要，在电磁现象方面的研究工作发展很快。法国人库仑(Charles A. Coulomb)在 1785 年首先从实验室确定了电荷间的相互作用力，电荷的概念开始有了定量的意义。1820 年，奥斯特(Oersted H.C)在实验室发现了电流对磁针有力的作用，揭开了电学理论新的一页。同年，法国人安培(André Marie Ampère)，确定了通有电流的线圈的作用与磁铁相似，这就指出了此现象的本质问题。欧姆定律是德国人欧姆(Georg Simon Ohm)，在 1826 年通过实验而得出的。英国人法拉第(Michael Faraday)对电磁现象的研究有特殊贡献，他在 1831 年发现的电磁感应现象是以后电子技术的重要理论基础。在电磁现象的理论与使用问题的研究上，俄国人楞次(Lenz, Heinrich Friedrich Emil)发挥了巨大的作用，他在 1833 年建立了确定感应电流方向的定则(楞次定则)。其后，他致力于电机理论的研究，并阐明了电机可逆性的原理。楞次在 1844 年还与英国物理学家焦耳(J.P.Joule)分别独立地确定了电流热效应定律(焦耳-楞次定律)。

人类在自然界斗争的过程中，不断总结和丰富着自己的知识，电子学诞生了。在 1904 年美国弗莱明(John Ambrose Fleming) (图 1.1.1)利用热电效应制成了真空电子二极管，并证实了电子二极管具有“单向导电性”功能，二极管首先被用于无线电检波。

美国的德福雷斯特(Lee de Forest)在观看无线电发明家马可尼的无线电表演时，学习了无线电发报机的原理，并且了解到由于“金属屑检波器”的灵敏度太差，严重影响收发效果，德福雷斯特立下了发明更先进的无线电检波装置的宏图大志。就在研究进展不太顺利的时候，英国弗莱明发明真空二极管的消息传来，像闪电一般照亮了他前行的道路。德福雷斯特再也坐不住了，他一路小跑穿街走巷，选购玻璃管，添置真空抽气机，为自制电子管寻找材料。1906 年德福雷斯特(图 1.1.2)在弗莱明的二极管中放进了第三个电极——栅极而发明了真空电子三

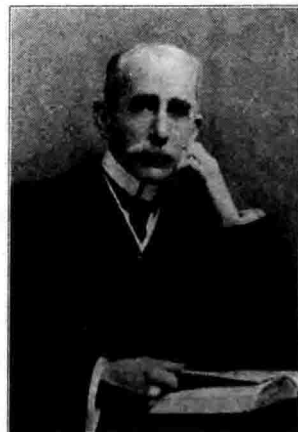


图 1.1.1 真空电子二极管
发明者弗莱明

极管，从而创造了早期电子技术上最重要的里程碑。半个多世纪以来，三极管在电子技术中立下了很大功劳；但是真空电子管毕竟成本高、制造烦琐、体积大、耗电多。

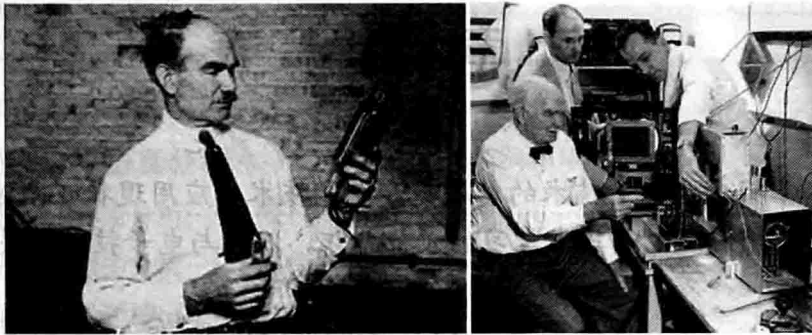


图 1.1.2 真空电子三极管发明者德福雷斯特

1900 年德国人普朗克(Planck)量子理论假说的出现，推动了人们对半导体材料的研究。经过贝尔研究所的肖克力(William B. Shockley)、巴丁(John Bardeen)、布拉顿(Walter H. Brattain)等多位科学家探索，人们发现了一种具有全新导电性质的固体材料——半导体，肖克力、巴丁、布拉顿通过不断的努力和多次试验，终于在 1947 年 12 月 23 日，圣诞节的前一天推出了晶体管，如图 1.1.3 所示。从发明晶体管以来，在大多数领域中已逐渐用晶体管来取代电子管。但是，在有些装置中，不论从稳定性、经济性或是功率上考虑，还需要采用电子管。



(a) 世界上第一只晶体三极管

(b) 肖克力(前)、巴丁(后右)和布拉顿(后左)

图 1.1.3 世界上第一只晶体三极管及其发明团队

根据记录，晶体管的发明时间应该是 1947 年 12 月 15 日，根据小组成员对这项工作的贡献大小，推举巴丁和布拉顿为发明人。考虑肖克力在发明前后对晶体管理论的研究成就，他和巴丁、布拉顿三人共同获得 1956 年诺贝尔物理学奖。

1959 年，美国 TI 公司的基尔比(Jack S. Kilby)、美国仙童(Fairchild)公司的诺伊斯(Noyis)分别将平面技术、照相腐蚀技术和布线技术组合起来，制成了人类历史上第一片集成电路样品。集成电路的出现和应用，标志着电子技术发展到了一个新的阶段。它实现了材料、元件、电路三者之间的统一；同传统的电子元件的设计与生产方式、电路的结构形式有着本质的不同。2000 年 10 月 10 日，77 岁的基尔比获得 2000 年诺贝尔物理学奖，如图 1.1.4 所示。

根据一个芯片上集成的微电子器件的数量，集成电路可以分为小规模集成电路(SSI) (10 或 12 门以内)、中规模集成电路(MSI) (10~100 门)、大规模集成电路(LSI) (100~1000 门)、很大规模集成电路(VLSI) (1000~1 万门)和超大规模集成电路(ULSI) (1 万门以上)等。按照