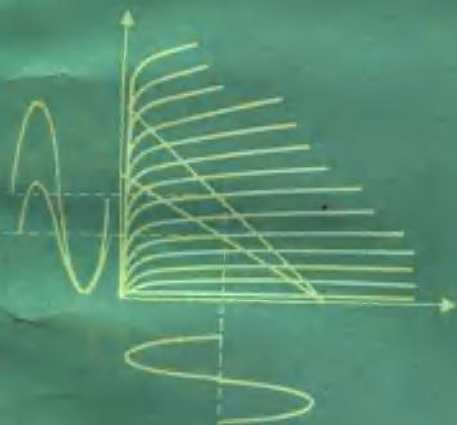


电子线路入门

〔日〕山根武彦 著



科学出版社

内 容 简 介

本书主要是从电子管的发展史讲起,写得比较浅近易懂,既有理论,又有实际应用,每章后面都附有练习题.书中主要内容是概述了电子线路、电子管、使用电子管的各种电路、晶体管及其各种电路、无线电接收机等.可供具有初中文化程度的广大工农兵、知识青年阅读,也可供有关专业的师生参考.

山根武彦
電子回路の入門
東京電機大学出版局

电 子 线 路 入 门

(日) 山根武彦 著

董炯明 译

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

天津市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1979年1月第一次印刷 印张: 11 1/8

字数: 217,000

统一书号: 15031·199

本社书号: 1201·16-7

定 价: 0.90 元

译者前言

电子技术是二十世纪发展最为迅速，应用最为广泛的科学技术之一。当代，无论是上天还是入海；是探测遥远的星体还是向微观世界进军；是工业自动控制还是日常生活；是原子能的利用还是医学、生物学、……几乎可以说没有一个科技领域不是被电子技术所渗透的。

当前，我国广大人民在华主席为首的党中央的英明领导下，为在本世纪内把祖国建设成四个现代化的社会主义强国，正在进行一次新的长征。一场伟大的技术革命和技术改造的群众运动已在全国蓬勃兴起。为此，广大工农兵和知识青年迫切需要掌握一些有关电子技术的基本知识，以便应用到自己的工作中去。

本书是一本介绍电子线路的入门读物。全书共十章，可分成三大部分。第一部分是电路基础概念；第二部分是真空管电路；第三部分是晶体管电路。在阅读第二部分和第三部分的过程中遇到基础概念性的东西时，请读者回过头去再重温第一部分。

限于水平，译文中必定会存在不少错误和疏漏之处，希望广大读者批评指正。

译者

目 录

译者前言	i
第一章 序论	1
1.1 电子学的历史	1
1.2 对电子的探索	13
1.3 符号的选取	18
1.4 基尔霍夫定律的要点	19
练习题 1	22
第二章 电子线路基础	23
2.1 对数的重要性	23
2.2 对数知识的简单介绍	25
2.3 分贝的计算	28
2.4 谐振电路及其应用例子	31
2.5 什么叫带宽	43
2.6 电压源和电流源	44
2.7 过渡现象	48
2.8 脉冲及其基础例题	51
2.9 微分电路与积分电路	55
练习题 2	59
第三章 电子线路的基本概念	62
3.1 什么叫放大	62
3.2 放大器的种类	64

3.3	关于放大器的失真	69
3.4	什么叫振荡	73
3.5	关于反馈	80
3.6	什么叫调制	82
3.7	什么叫解调	91
3.8	外差检波和超外差检波	94
3.9	整流平滑作用和整流电源	96
	练习题 3	98
第四章	电子管	101
4.1	什么是电子管	101
4.2	从二极管到多极管	104
4.3	处理超高频的真空管	116
4.4	稳压放电管和闸流管	119
4.5	关于电路图的简化和各种接地方式	121
	练习题 4	123
第五章	真空管放大电路	126
5.1	真空管的放大作用	126
5.2	供给栅偏压的方法	129
5.3	等效电路的考虑方法	132
5.4	放大倍数的计算	136
5.5	非调谐放大电路	141
5.6	负反馈放大电路	147
5.7	调谐放大电路	149
	练习题 5	152
第六章	真空管振荡·调制·解调电路	154
6.1	振荡条件	154

6.2	LC 振荡电路与变频电路	157
6.3	石英晶体振荡器	159
6.4	AM 波发生电路	161
6.5	AM 波的解调	165
6.6	FM 波发生电路	168
6.7	多谐振荡器	169
6.8	锯齿波发生电路	176
	练习题 6	180
第七章 半导体二极管和三极管		182
7.1	半导体	182
7.2	什么是半导体二极管	188
7.3	二极管的种类	190
7.4	什么是半导体三极管	193
7.5	晶体管电路与真空管电路的比较	198
7.6	晶体管的 α 和 β	200
7.7	晶体管的特性和工作	204
7.8	晶体管电路的相位关系	207
7.9	晶体管的种类	209
7.10	晶体管与真空管的比较	218
7.11	h 参数与 I_{CO}	219
7.12	偏置电路和稳定系数	227
	练习题 7	233
第八章 晶体管放大电路		237
8.1	放大电路与负载线	237
8.2	等效电路的考虑方法	245
8.3	各种接地方式的参数变换	251

8.4 放大倍数的计算	254
8.5 非调谐放大电路	257
8.6 负反馈放大电路	266
8.7 调谐放大电路	271
练习题 8	273
第九章 晶体管振荡·调制·解调电路	276
9.1 振荡电路与变频电路	276
9.2 AM 波发生电路	279
9.3 FM 波发生电路	282
9.4 AM 波与 FM 波的解调	283
9.5 整流电路	287
9.6 多谐振荡器	290
9.7 锯齿波发生电路	292
9.8 整形电路	293
9.9 特殊半导体器件	298
练习题 9	308
第十章 无线电接收机	312
10.1 关于超外差式收音机	312
10.2 输入谐振电路和本机振荡谐振电路	318
10.3、真空管五灯超外差式收音机	321
10.4 半导体六管超外差式收音机	328
练习题 10	332
练习题略解	336

第一章 序 论

1.1 电子学的历史

电子学是利用电子流的一门工程科学。它不仅被应用在电信、雷达、自动控制、电子计算机等部门,今天甚至已深深地渗透到机械工程、化学工程和医疗卫生等各个领域。

电子学的早期历史是与电信技术的发展相联系的,电信技术随着电子管性能的改善而获得进展.当晶体管出现以后,电子学的应用领域迅速扩大,特别是促进了需要大量元件的电子计算机等部门的发展。目前,技术工作者正致力于研制在更小的体积里容纳更多元件的集成电路(IC)。据称,人脑中约有 150 亿个脑细胞,其中,即便是善于动脑的人,大概也只有三分之一,即 50 亿左右的脑细胞在进行工作。假使能够制造出与人脑相当或超过人脑的电子装置,那么今天的电子学把注意力集中在集成电路上的大方向将是完全正确的。不过,今后或许还会发现或发明迄今预料不到的划时代的崭新电子器件。如果回顾一下,在十八世纪,机器的使用替代了人的体力劳动,我们把这称做第一次工业革命;近年来,由于电子计算机的出现,开始替代人的脑力劳动,可以认为第二次工业革命正在进行之中。由此,不难看出电子学所肩负的科技

重任。

在表 1.1 中列出了与电子学发展有关的大事记。我们通过介绍其中的几件大事，来看一看电子学的发展历史。

表 1.1

年 代	主要发明·发现	年 代	主要发明·发现
1831	法拉弟 电磁感应作用	1923	皮尔斯 石英晶体振荡器
1837	莫尔斯 电报机	1926	八木秀次 波道式天线
1847	基尔霍夫 网络定律	1928	茨沃金 光电摄像管
1864	麦克斯韦 预言电磁波	1929	赫尔 闸流管
1875	布劳恩 矿石的检波作用	1930	阿布尔顿 E·F 层的发现
	贝尔 电话机	1935	阿姆斯特朗 调频(FM)方式
1883	爱迪生 热电放射效应	1936	哈里斯 射束管
1886		1937	福斯特, 希莱 电抗管
1888	赫兹 发生电磁波	1941	美国开始电视广播
1893	罗基 金属屑检波器	1946	爱卡德, 莫克里 电子计算机 (ENIAC)
1895	马可尼 无线电报	1948	巴丁, 布拉坦 晶体管 (点接触形)
1897	布劳恩 阴极射线管	1950	美国研制彩色电视成功
1901	费森登 外差法	1951	肖克莱 面结合形晶体管
1904	弗莱明 二极管	1952	东京至大阪 4000 兆周电视中继
1906	德·福雷斯特 三极管		法恩 区域提纯法
1919	阿姆斯特朗 超外差法	1958	江崎玲于奈 隧道二极管
1920	美国开始无线电广播		

1864 年, 麦克斯韦预言电磁波的存在并发表了电磁方程式。这个电磁方程式是基于安培、亨利、法拉弟等人的实验研究的基础上提出的, 它预言了电磁波应该具有的性质。由于它是由二个偏微分方程式来表示的, 即便对那些学过高等数学知识的人来说, 看起来也颇为吃力。在这里, 我们只介绍这二个偏微分方程式所表达的物理意义。第一方程式表示了

“电流的磁作用”，第二方程式表示了“电磁感应定律”。更通俗地说，第一方程式表明：如果存在着传导电流和位移电流，那么如图 1.1 所示，在该处必定会产生磁场的涡流。

所谓传导电流，是在导线中流动着的电流。所谓位移电流，是指当中间隔有电容器一类的电介质(绝缘体)的二个电

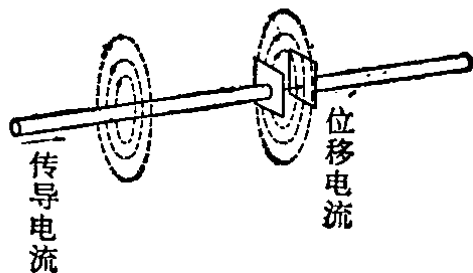


图 1.1

极间的电压随时间而变化时，尽管没有电荷的移动，但能产生与电流流动的场合相同的效果，位移电流即由此而得名。

第二方程式表明：当磁场随时间而变化时，在该处必定产生电力线的涡流。

继麦克斯韦预言电磁波以后，著名的发明家爱迪生在 1877 年发明了留声机并对电话机进行了改进，以后又发明了电灯(1879 年)及电影(1893 年)。1883 年，爱迪生还发现了一件非常有意义的物理现象。当他在如图 1.2 所示的电灯泡内接入一根电极时，电表指针即产生偏转；如果使电池极性反向，指针就静止不动了。但是，爱迪生毕竟是一个发明家，他并不把主要精力放到探索和追求自然界的规律性上面去。事实上，根据当时的科学知识水平，这是一个无法解释的物理现象。这个现象就是所谓爱迪生效应(热电放射效应)。直到 1900 年，汤姆逊等人才对这个现象进行了说明，由此而诞生了真空管，并促进了无线电通信技术的迅速发展。

我们利用图 1.3 来说明爱迪生效应。为讨论简便起见，假定在导线和电表均不产生电压降。在图(a)中，灯丝左端

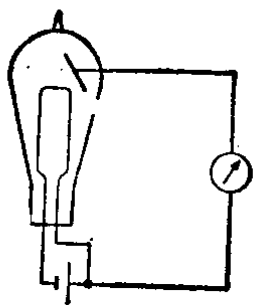
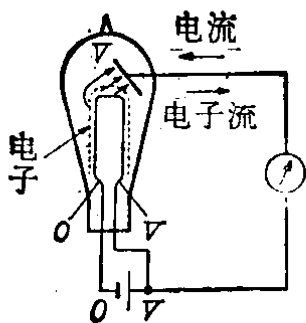
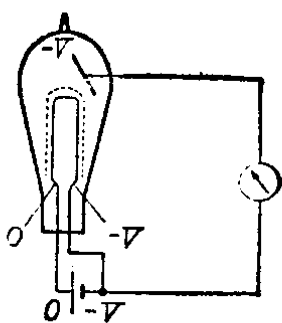


图 1.2 爱迪生效应



(a)



(b)

图 1.3 爱迪生效应的说明

的电压是 0 (伏), 右端是 V (伏), 阳极的电压也是 V (伏)。不难看出, 由于灯丝受热而放射出来的电子向处于高电位的阳极移动, 在阳极电路的导线中就有电流通过, 电表的指针也就产生了偏转。而在图(b)中, 电池极性反了一个向, 如取电池左侧为电压基准, 各部位的电位变成如图中所示那样, 即使灯丝放射出电子, 由于这些电子不可能被处于负电位的阳极所吸引, 阳极电路中没有电流通过, 电表指针自然静止不动。

在1883年, 德国技术工作者尼伯提出了制作扫描板(在圆板上呈螺旋形地打出许多小孔)的设想, 这种技术与电传真颇为相似, 对电视的诞生起了推波助澜的作用。其实, 早在1862年, 卡塞里就提出了电传真的非常简单的方法。1889年维拉提出用带有小镜子的旋转圆筒代替尼伯的扫描圆板。以此为基础, 没有多久, 人们终于看到了圆盘机械式电视的出现。

再说在1888年, 德国物理学家赫兹用实验证明了电磁波的存在。赫兹和麦克斯韦一样, 也是研究基础理论的科学家, 他没有想到电磁波可实际应用于无线电通信中。当他的友人问到利用于通信的可能性时, 他曾在信中回答说: 若要利用电磁波进行无线电通信, 非有一面和欧洲大陆面积差不多大

的巨形反射镜才行。

1893年，英国物理学者罗基提出了利用金属屑检波器检波，由继电器和打字机组成接收机。金属屑检波器首先是由布兰利在1891年提出的，罗基对此作了进一步改进。在玻璃管中放入金属屑，当接收到电波信号后管内因引起放电作用而使金属屑粘结起来，于是电池中的电流就能流过此处（金属屑分散时电流不通），这样便可检知到电波信号，也即起到了检波器的作用。但是，金属屑粘结起来以后不能马上分散开来。为此，罗基设计了在打字的同时能自动敲击玻璃管使金属屑分散开来的结构。不久，俄国人波波夫对罗基的接收机又进行了改良，因为继电器接触时要产生火花，为了消除其影响，在电路中接入扼流线圈。

马可尼是意大利人。在他二十岁的那年夏天，他在电气杂志上读到了介绍赫兹的研究工作的文章。当时他想，难道不可以利用赫兹波（即电磁波）来进行通信吗？从此他就反复实验，不断改进自己设计的装置，最后终于获得了成功。以火花振荡器为一方，将导线高高地挂在树上；另一方与埋在地下的金属板相连。就这样，在三楼的实验室与1.7公里远的山丘之间成功地进行了通信实验。此后，为了使之实用化，马可尼去英国，在英国邮政部的赞助下继续进行悉心研究。在一次公开实验表演中，成功地进行了十二公里距离的通信。于是，他在1897年正式创立英国马可尼公司，两年后又在美国建立了子公司。从此以后，无线电公司在全世界各地如雨后春笋般地出现了。

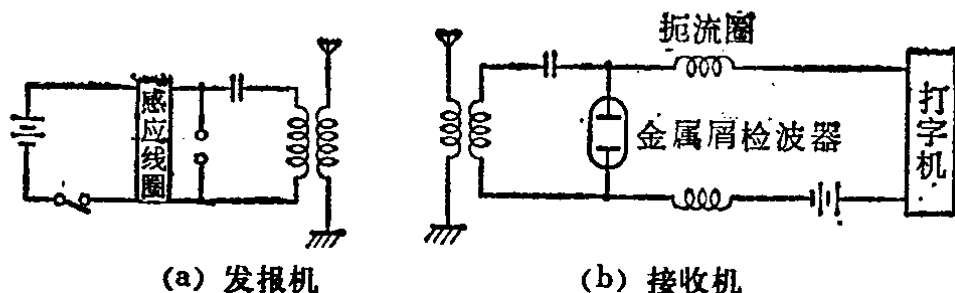


图 1.4 马可尼的无线电报机

1912 年，发生了首航赴美的泰台尼克号邮轮在大西洋遇难的事件^{*}。遇难之际，离泰台尼克号 93 公里的卡尔巴夏号接收到了从泰台尼克号发出的 SOS 无线电呼救信号，立即驰往出事地点，救出了 700 人。据事后调查，当时在距出事地点 30 公里范围内还有一艘加里福尼亚号，但因无线电师睡熟了而没有听到呼救信号；此外，在 40 公里范围内尚有没有设立无线电台的货轮。自从这个遇难事件发生以后，社会上清楚地认识到无线电通信的重要性，不久就制订了一定吨位以上的船舶必须设立无线电台的法律条款。与此同时，随着真空管的进步，美国人费森登成功地进行了无线电话的实验研究。从火花振荡发展到连续振荡，用无线电发射机可以把新闻报导和音乐节目定时地发送出去，这引起了社会上的巨大反响。无线电通信获得了日新月异的发展。

说起真空管，以发现右手定则和左手定则著称的弗莱明在 1904 年首先发明了二极管。当时，他在伦敦爱迪生电灯公司担任科学顾问。他想，难道不可以把爱迪生效应利用于对

^{*} [译注]泰台尼克号邮轮(Titanic)，排水量 4 万 6 千吨，1911 年在英国建成。在其作处女航海(开往美国)的途中，于 1912 年 4 月 14 日在加拿大纽芬兰岛附近的洋面上与冰山冲撞而沉没，身死者计 1517 人。

无线电信号检波吗？他在接收机的天线电路中接入了封装有阳极(屏极)和灯丝(阴极)的真空管。就这样，二极管诞生了。接着在 1906 年，美国的德·福雷斯特作了在灯丝和阳极之间加一栅极的实验，结果发现只要栅极电压有一较小变动则可控制阳极电流(屏流)的较大变动。就这样，三极管诞生了。不过，由于当时认为在管内有必要残留部分气体，致使其平均使用寿命只有 50 小时左右，因此实用价值不大。

1910 年，德国人哥德发明了分子泵。1913 年，阿诺尔特和朗缪尔阐明了高真空度对于真空管的重要性，把真空管内部抽成高度真空，使用寿命可延长到 1000 小时，性能变得非常稳定。这是个大胆的突破。因为在当时，有好几位著名学者都错误地认定：如果管内抽成完全真空，那么阴极就不可能发射出电子来。

到了 1919 年，美国的阿姆斯特朗开始研究超外差式接收机，1920 年公开发表其研究成果。外差法最早是由费森登在 1901 年提出的，所谓外差法，是在接收无线电报时，在接收机中产生本机振荡信号与输入信号之间产生差频信号，这个差频信号就是音频信号，从而推动扬声器工作。而所谓超外差法，也是采取同样的方法，但产生的差频信号是超音频信号(中频信号)，然后对其再进行放大和检波。超外差法的优点是：由于把高频信号降低成为中频信号(而且是一个固定的中频信号)，即使增加放大级数，也不易引起自激振荡，从而提高了接收机的灵敏度和选择性。阿姆斯特朗早年在哥伦比亚大学作助手时曾以研究“再生电路”而受人注目，超再生与超

外差的发明更使他闻名于世。在这以后，他又致力于研究消除由天电引起的噪声问题，研究表明，从本质上说来要完全消除调幅（AM）波的噪声是不可能的。就这样，促使他发明了新的调频（FM）方式，这是 1935 年的事情。为了使调频方式得以实用化，他请求美国无线电公司给以协助。但该公司拒绝协作，主要理由是利用超短波不能把信号传送到比地平线更远的地方；接收机的价格高而不符合大众化；还必须建造新的发射台等等。为此，他决心用自己的力量来让人们认识调频方式的价值。他一方面在纽约郊外建造自己的发射台，另一方面举行旅行演讲，介绍调频方式。就这样，他终于使人们认识到调频方式的长处。

1928 年，茨沃金发明了光电摄像管。俄国革命前他曾在俄国的无线电报电话公司工作。当时他就希望能从事电视的研制工作。以后到美国，进入威斯汀豪斯公司致力于研究电视。他在长时间的研究过程中经受了多次实验失败之后，终于研制成功敏感度很高的铯-镁光电池，在此基础上制造出电视摄像管。1930 年茨沃金到美国无线电公司继续研究电视。在茨沃金等人的努力下，1941 年美国开始电视广播。

1946 年，世界上第一台电子计算机“埃尼爱克”（ENIAC）诞生。这台电子计算机是由美国宾夕法尼亚大学的爱卡德和莫克里设计的，共用了一万八千个真空管。接着在 1949 年，英国剑桥大学研制了一台采用程序存储方式的电子计算机。1950 年，宾夕法尼亚大学又制成了第二台电子计算机“埃特华克”（EDVAC）。

电子计算机的前身是机械式计算机。1944年，哈佛大学的艾肯发表了用三千个继电器和机械另件组装成的称做“ASCC”的机械电气混合式自动计算机。更早一些，麻省工科学院的布希在1935年制作了称做“微分分析机”的能用来解析微分方程的机器。如果进一步往上回溯，早在1890年，在美国联邦调查局工作的霍莱里斯制作了能自动整理调查结果的统计机；1822年，英国的巴贝基制作了差分机，这种机器能把多项式的计算分解成为加法运算，可用于制作数表。

电子计算机分成数字式与模拟式两大类。所谓数字式，其计算结果用数值来表示，举个身边的例子，算盘就是一种简单的数字式计算工具。所谓模拟式，其计算结果用示波器上的波形或仪表上的刻度来表示，也举个身边的例子，计算尺就是简单的模拟式计算工具。算盘早在公元前在中国就发明了，计算尺是英国的奥德莱特在1622年发明的。在这以后，曾提出著名的“帕斯卡原理”的帕斯卡于1642年使用齿轮制作了加法机。1673年，以创立微积分而知名的莱布尼兹制作了利用重复加法运算来代替乘法运算的计算机。晶体管的出现，使电子计算机得到进一步的发展。

1948年，美国贝尔电话研究所的巴丁和布拉坦发明了点接触形晶体管，1949同一研究所的肖克莱产生了面结合形晶体管的构想，于1951年发表了其研究结果。与点接触形晶体管比较，面接合形晶体管的工作原理清楚，噪声小，适于大量生产。目前，面接合形晶体管差不多完全替代了点接触形晶体管。

半导体的研究历史是从四十年代的二次大战时期开始的。当时,作为雷达用的检波器,需要有工作频率在数十兆周以上的性能优良的二极管,为此,展开了对硅单晶和锗单晶的基础研究。但是,等到研究走上正式轨道,战争已经结束了。在形形色色的实验中,发明晶体三极管(简称晶体管)的实验

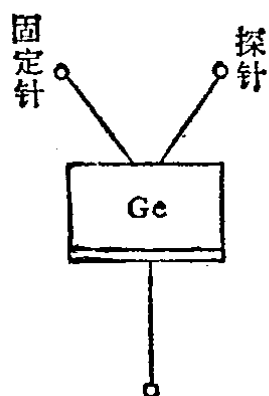


图 1.5

如图 1.5 所示。在锗(Ge)晶体上放置一枚固定针和一枚探针,利用加上负电压的探针来探查固定针附近的电位分布。结果发现,当探针向固定针靠近到 0.05 毫米处时,流过探针的电流变化能极大地影响流过固定针的电流变化。这就意味着,这个装置可以起到放大作用。

就这样,在研究阐明晶体二极管的本质的过程中,晶体三极管作为非常重要的副产品而诞生了。今天,晶体管大有代替电子管之势,其应用面愈来愈广。

发明晶体三极管的当初,大家都认为它不会象真空管中的灯丝那样地易于耗损,是一种永久性的电子器件。但实际使用起来,却发现性能很快就恶化,颇出人意料之外。究其原因,原来是结合部分吸附了不良气体而招致性能恶化。为此,必须作进一步改良。为了使晶体管能在更高频率下工作,技术工作者又提出了各种制造方法。纯粹的硅单晶开始很难获得,硅晶体管也就成了奇货可居的东西,经技术工作者反复摸索,终于出现了悬浮区域提纯法。以后又提出了耐高温、耐高压等要求,这促使技术工作者去作更进一步的研究。