

基础电子电路

[日] 大越孝敬 著

李永和 译

人民教育出版社

内 容 简 介

本书是根据日本东京大学教授、工学博士大越孝敬所著《基础电子回路(第二版)》一书译出。原书是日本东京大学工学院电气工程系、电子工程系三年级学生的教科书。

本书主要讲述处理从超低频到甚高频正弦信号的电子电路技术。全书共分十三章,分别介绍了放大基础、场效应晶体管和结型晶体管及其等效电路、宽频带放大器、直流放大器、选频放大器、放大电路的噪声、功率放大器、反馈放大器、振荡电路、调制和解调电路、电源电路、集成电路。在附录中概述了电子管及其等效电路和晶体管放大器的各种特性。每章末附有习题,书末有习题解答。

本书适合于自学,可供大专院校无线电技术和电子技术专业师生和从事这方面工作的技术人员参考。

责任编辑 谭骏云

基础电子电路

[日] 大越孝敬 著

李永和 译

*

人民邮电出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民邮电出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 9.375 字数 220,000

1981年12月第1版 1983年6月第1次印刷

印数 00,001—27,500

书号 15012·0386 定价 1.25 元

译 者 的 话

本书主要讨论处理从超低频到甚高频正弦信号的电子电路技术。虽然篇幅不长,但内容丰富、立论严谨、基本概念清楚,在内容安排上也有独特之处,而且比较注重教学法,很适合于自学。归纳起来有以下几个主要特点:

一、本书着重于对物理概念的理解,而不着重数学推导,这就较好地处理了篇幅短和内容多的矛盾。通过大量习题和书末习题解答加深对基本概念的理解。

二、以对比的形式讲述各种器件电路,重点介绍模型简单、易于理解的场效应晶体管电路,而后以对比、补充的形式介绍模型较复杂的结型晶体管电路,指出二者的相同点和差别。

三、在内容安排上,考虑到先修课和后续课之间的关系,适当引入了关于器件的概述。而且也不是片面无益地追求体系完整性,而是从便于读者自学的角度出发,写成便于学习的形式。在讲述放大器内容时,打破常规,先讲述宽频带放大器。

四、作者有较丰富的教学经验,强调学习方法,给读者指明了如何才能学到较完整的知识。

在本书的翻译过程中,得到各方面的支持和帮助,在此一并表示感谢。由于水平有限,译文中难免有错误和不妥之处,敬希读者批评指正。

译 者

1981年4月22日

于北京

修订版序言

本书的旧版本(1967年出版)是笔者有生以来第一次独自编写的单行本。写那本书还是刚当上副教授时的事。现在还时时亲切地回想起当时竭尽全力、集中精神字斟句酌的情景。另一方面,由于当时年轻幼稚,还加上了有些自负的序言。现在重读起来,真感到有些惭愧。但是,按惯例,仍将原序言以“旧版序言”的形式保留下来。

旧版本出版十二年以来,有幸获得了三万多位读者。这期间承多方面指正,作了些小的修改。但是,由于电子电路技术有了很大的发展,所以在以电子管为主、晶体管为辅的旧版本中,即使再加修改,也不能适应时代的要求了。

因此,这次遵从欧姆出版社有关各位的建议,删去了有关电子管电路的内容(收在附录中的概述除外),而全面改写成以晶体管电路、场效应管(FET)电路及集成电路为主的形式,这就是这本《基础电子电路》(第二版)。与旧版本一样,如能敬领诸位读者的斧正,将不胜荣幸之至。

最后,值本修订本出版之际,谨向曾给予作者诚挚帮助的欧姆出版社出版部诸位先生致以深切的谢意。

大越孝敬

于1979年8月7日修订版脱稿之日

旧版序言

本书是以给东京大学工学院电气工程系、电子工程系三年级学生讲授“基础电子电路”课程的笔记为基础而编写成的。虽因篇幅所限及其他原因,有的章节删去了详细的讨论,但基本内容没有变动。同时对基本内容加了详细的说明,所以本书也可作为一本自学书使用。

在东京大学,这门课程贯穿第三学年的前、后两个学期,需用一年时间。但是,由于电子管工程的课程在第三学年的前一个学期才开始讲,有关半导体的课程在第三学年的后一个学期才开始讲,因此几乎不能指望在开始讲本课程时学生就已具备有关电子管和晶体管的预备知识。正因为这样,在本书的开头部分收入了有关电子管和晶体管的概述。并且,出于同样的原因,如果通读全书,也会感到前半部分比后半部分阐述得更详细些。这两点也是和出版社方面商谈的结果,我认为对于用本书进行自学的一般读者来说,这也是他们所希望的编写形式吧。因此,不是片面无益地去追求电子电路工程学方面的完美的体系,而是写成便于学习的形式罢了。

本书的主要内容是处理“从超低频到甚高频段(VHF)的正弦信号”的电子电路技术。关于特殊波形的产生和处理、脉冲电路工程等,相当于本书的续篇,计划作为本专业教科书的另一册,将由其他作者来编写。

我认为所谓“弄懂”某一事物,是有阶段的。即使已完全理解了表示某一量的数学式子的推导,但只要不理解“为什么在讨论中用那个量,是否还有更方便的量”,就不能在头脑中建立起完整的

知识体系。同样，即使已经懂得为某种目的能够使用某个电路，如果不理解“那个电路对那个目的是否最合适”、“如果是最合适的话，为什么？”那么，就不是真正掌握了那种电路，也就不能灵活应用。换句话说，理解事物的必然性在整个学习过程中是最重要的。

笔者本身的经验也是这样：学生时代学过的东西，具体的数学式的计算等几乎没有什么印象了；但是，长时间怎么也不容易搞懂的“必然性”突然得到启示一下搞懂了，这时会感到由衷的喜悦，“噢，原来是那么个道理啊！”只有这类事情却是难以想象地印在头脑里了。

在写这本书的时候，笔者希望能使读者理解其“必然性”，即使是一点点也好。现在，脱稿以后再回头来读时，却对是否果真达到了预期的目标不敢自信了。但是各位读者若能从本书的某处得到那怕是一、两个象“噢，原来是那么个道理啊！”那样的感觉的话，作者就喜出望外了。

最后，谨向给予本书写作机会并不断给以鼓励的岡村总吾教授、通读原稿并提出了许多宝贵意见的多田邦雄副教授致以深切谢意；作者文笔拙劣，又十分执拗，欧姆出版社出版部的诸位对此不仅十分体谅，还给予了诚恳的帮助，在此也向他们表示深切的谢意。另外，由于作者的疏忽或理解不深，谬误之处在所难免，若蒙读者斧正，将十分荣幸。

大越孝敬

于1967年4月4日脱稿之日

目 录

第一章 放大的基础	1
1.1 可用功率和阻抗匹配	1
[1] 可用功率	1
[2] 戴维南定理和诺顿定理	2
[3] 阻抗匹配	2
[4] 偏离匹配条件时供给功率的减小	3
[5] 利用附加无损耗四端电路保证可用功率的不变性	4
1.2 放大的概念	5
[1] 什么是放大器	5
[2] 电压增益、电流增益和功率增益的关系	6
1.3 增益的单位	9
习题	11
第二章 场效应晶体管的工作特性及等效电路表示法	13
2.1 半导体	13
[1] 半导体的定义及其分类	13
[2] 锗的晶体结构	14
[3] 本征半导体	15
[4] 掺杂半导体	15
[5] pn 结	16
[6] 耗尽层	17
2.2 各种半导体放大器件	18
[1] 结型晶体管和场效应晶体管(FET)	18
[2] 绝缘栅 FET(IG-FET) 和结栅 FET(J-FET)	19
2.3 FET 的结构和工作原理	19
[1] 绝缘栅 FET 的结构	19
[2] 绝缘栅 FET 的工作原理	21
[3] 漏极电流的饱和特性	22
[4] p 沟道绝缘栅 FET	23
[5] 结栅 FET 的结构和工作原理	23

[6] FET 的工作型式·····	24
2.4 用 FET 的放大电路的基本组成·····	25
[1] 接地方式和在电路图中的表示法·····	25
[2] 供给直流电压的方法·····	25
2.5 FET 的特性参数·····	29
[1] 夹断电压 V_p ·····	29
[2] 饱和漏极电流 I_{DSS} ·····	29
[3] 跨导 g_m ·····	29
[4] 漏极-源极电阻 r_{DS} ·····	30
[5] 栅极电流和输入电容·····	30
[6] 绝缘栅 FET 和结栅 FET 特性上的相似点和不同点·····	30
2.6 FET 的小信号等效电路·····	31
[1] 对应于小信号输入的 FET 的工作方式·····	31
[2] 电流源型等效电路·····	32
[3] 更一般的等效电路·····	33
2.7 小信号时的负载特性·····	34
[1] 电阻负载的情况·····	34
[2] 负载为复数阻抗 Z_L 的情况·····	35
[3] 近似的等效电路·····	35
[4] 密勒效应·····	35
[5] 源极接地式以外的情况·····	37
2.8 大信号时的负载特性·····	37
[1] 波形失真和倍频作用·····	37
[2] 利用泰勒级数展开分析失真·····	38
[3] 图解法·····	38
习题·····	41

第三章 结型晶体管的工作特性及等效电路表示法·····42

3.1 结型晶体管的结构和工作原理·····	42
[1] 结型晶体管的结构·····	42
[2] pnp 晶体管和 npn 晶体管·····	43
[3] 电流放大系数·····	44
[4] 基极接地式放大·····	44
[5] 发射极接地式放大·····	45
[6] 晶体管的静态特性·····	46

3.2 晶体管的小信号等效电路	47
[1] 对应于基极接地式的二电源等效电路	47
[2] 对应于基极接地式的 T 型等效电路	48
[3] 对应于发射极接地式的 T 型等效电路	49
[4] 对应于集电极接地式的 T 型等效电路	50
[5] h 参数	50
3.3 晶体管的近似等效电路	52
[1] 晶体管电路和 FET 电路的差别	52
[2] 基极接地式的近似等效电路	52
[3] 发射极接地式的近似等效电路	54
[4] 跨导 g_m 的性质	56
[5] 等效电路参数随工作状态的变化	57
[6] 不取近似时的晶体管放大器的各种特性	57
3.4 高频时晶体管的特性	58
[1] 和 FET 情况的差别	58
[2] 电流放大系数的截止频率	58
[3] 高频时的小信号等效电路	60
3.5 晶体管电路的直流稳定性	62
[1] 稳定系数	62
[2] 电流反馈式偏置电路	63
习题	65

第四章 宽带放大器

4.1 宽带放大器的必要性	66
4.2 多级宽带放大器的组成	67
[1] 放大器的级联和低频寄生振荡(汽船声)	67
[2] 去耦电路	69
[3] 各种级间耦合电路	69
[4] 晶体管放大器的情况	70
4.3 阻容耦合 FET 放大器的频率特性	71
[1] 等效电路	71
[2] 表示频率特性的一般公式	73
[3] 各频段内的近似解	73
[4] 总的频率特性	75

4.4 阻容耦合 FET 放大器的宽带化	77
[1] 增益带宽积	77
[2] FET 的品质因数	78
[3] 放大器的多级级联	79
[4] 峰化	80
[5] 低频段特性的改善	83
[6] 源极旁路电容对低频段特性的影响	84
4.5 阻容耦合晶体管放大器	85
[1] 概述	85
[2] 直流的设计	86
[3] 中频段和低频段的频率特性	86
[4] 高频段的频率特性	87
4.6 分布放大器	89
4.7 变压器耦合放大器的频率特性	91
[1] 等效电路	91
[2] 在各频段的近似解	92
习题	94

第五章 直流放大器

5.1 直接耦合式直流放大器	95
[1] 无补偿的直接耦合式直流放大器	95
[2] 串联补偿式	97
[3] 并联补偿式	98
[4] 差分直流放大器	98
5.2 调制式直流放大器	101
[1] 放大器整体的组成	101
[2] 香农-染谷采样定理	103
[3] 机械斩波器	103
[4] 二极管斩波器	104
[5] 晶体管斩波器和 FET 斩波器	105
[6] 其他调制器	106
[7] 解调器(同步检波器)	106
5.3 直流放大器整体的问题	107
[1] 零点漂移	107

[2] 调制式中的调制频率·····	108
[3] 各种直流放大器的比较·····	109
5.4 复合式放大器·····	109
习题·····	111
第六章 选频放大器 ·····	112
6.1 选频放大器的必要性及其组成方法·····	112
[1] 必要性·····	112
[2] 理想的选频放大器·····	112
[3] 选频放大器的组成·····	113
6.2 各种选频级间耦合电路·····	114
6.3 单调谐放大器·····	115
[1] 电容耦合单调谐放大器·····	115
[2] 增益带宽积·····	118
[3] 互感耦合、初级调谐次级非调谐电路·····	118
[4] 互感耦合、次级调谐初级非调谐电路·····	120
6.4 双调谐放大器·····	121
[1] 双调谐电路的分析·····	121
[2] 临界耦合·····	123
[3] 频率特性·····	124
[4] 临界耦合时的各种特性·····	125
6.5 选频放大器的多级连接·····	126
6.6 参差调谐放大器·····	127
[1] 两级参差放大器·····	128
[2] 三级参差放大器·····	128
6.7 晶体管调谐放大器·····	129
[1] 和FET情况的差别·····	129
[2] 中和电路的设计·····	130
[3] 放大的极限频率·····	131
习题·····	133
第七章 放大电路的噪声 ·····	135
7.1 噪声产生的原因及其基本性质·····	135
[1] 外部噪声和内部噪声·····	136
[2] 噪声的大小·····	136

[3] 噪声相加法则.....	137
[4] 白色噪声.....	137
[5] 噪声电压的方均值与频带宽度成正比.....	138
7.2 电阻所产生的噪声.....	138
[1] 热噪声.....	138
[2] 电流噪声.....	140
7.3 电子器件的噪声.....	140
[1] 散弹噪声.....	141
[2] 闪变效应噪声.....	141
[3] 晶体管的情况.....	141
[4] FET 的情况.....	142
7.4 噪声系数.....	142
[1] 噪声量(<i>noisiness</i>)的量度.....	142
[2] 噪声系数.....	143
[3] 噪声系数和内部噪声的关系.....	144
[4] 多级放大器的噪声系数.....	144
[5] 噪声温度.....	145
[6] 信号源的噪声温度.....	146
[7] 低噪声放大器的必要性.....	147
7.5 噪声系数的计算举例.....	148
[1] 噪声系数的计算.....	148
[2] 使噪声系数最小的条件.....	148
[3] 频率特性.....	149
习题.....	150

第八章 功率放大器 151

8.1 功率放大器的问题及其分类.....	151
[1] 什么是功率放大器.....	151
[2] 功率放大器的性能.....	152
[3] 按工作点分类.....	152
8.2 A 类功率放大器(结型晶体管情况).....	154
[1] 电阻负载的情况.....	154
[2] 变压器耦合和电感耦合的情况.....	156
8.3 A 类功率放大器(FET 情况).....	157

8.4 推挽放大器	158
[1] 推挽放大器的优点	158
[2] A 类推挽放大器和 B 类推挽放大器	160
[3] 合成特性曲线	160
[4] 推挽放大器的效率	162
[5] 倒相电路	164
8.5 窄带功率放大器	164
[1] 一般结构	164
[2] B 类调谐式放大器的分析	165
[3] 推挽调谐放大器	166
8.6 倍频放大器	167
习题	169
第九章 反馈放大器	170
9.1 反馈的基本理论	170
[1] 增益的变化	170
[2] 正反馈和负反馈	171
[3] 利用负反馈改善增益稳定性	171
[4] 利用负反馈减小失真	171
[5] 反馈电路的稳定性: 奈魁斯特判定法则	172
9.2 反馈放大器的输入输出阻抗	176
[1] 电压反馈和电流反馈	176
[2] 输入阻抗	176
[3] 输出阻抗	177
9.3 源极跟随器和栅极接地放大器	178
[1] 源极跟随器	178
[2] 栅极接地放大器	180
9.4 集电极接地电路(射极跟随器)	182
[1] 概述	182
[2] 小信号等效电路	183
9.5 反馈放大器的特殊应用	185
[1] 运算放大器	185
[2] 反馈式选频放大器	186
习题	188

第十章 振荡电路	190
10.1 振荡电路的分类	190
10.2 振荡理论	191
[1] 正反馈式振荡电路的振荡条件	191
[2] 振荡频率和振荡振幅	192
[3] 在三点式连接电路中所表示的振荡条件	193
10.3 LC 振荡电路	194
[1] 基本型式	194
[2] 哈特莱电路	195
[3] 推挽振荡电路	196
[4] 蝶形电路	196
10.4 RC 振荡电路	197
[1] 在低频时 LC 振荡器的局限性	197
[2] 移相式 RC 振荡电路	197
[3] 特尔曼振荡器	198
[4] 采用阻止选频性电路的振荡器	199
10.5 石英晶体振荡电路	200
[1] 石英晶体振子	200
[2] 利用石英晶体振子的并联谐振的振荡电路	202
[3] 利用石英晶体振子的串联谐振的振荡电路	203
[4] 桥式振荡电路	204
[5] 谐波振荡器	205
10.6 对振荡器的性能要求及其改善	205
[1] 对振荡器的性能要求	205
[2] 自动输出控制	206
[3] 自动频率控制	207
习题	208

第十一章 调制和解调电路 210

11.1 调制的种类和调制波的表示法	210
[1] 调制方式的种类	210
[2] 时域表示法	211
[3] FM 与 PM 的关系	211
[4] 频域表示法	212

[5] 向量表示法·····	214
11.2 振幅调制电路·····	215
[1] 基本思考方法·····	215
[2] 集电极调制电路·····	216
[3] 载波抑制调制电路·····	218
[4] 环形调制电路·····	219
[5] 单边带(SSB)调制电路·····	220
11.3 调幅波的解调电路·····	221
[1] 电路组成·····	221
[2] 检波效率·····	222
11.4 频率调制电路·····	223
[1] 频率调制方式的分类·····	223
[2] 电抗晶体管或电抗 FET·····	223
[3] 密勒效应的应用·····	225
[4] 阿姆斯特朗调制方式·····	225
11.5 调频波的解调电路·····	227
[1] 双调谐电路式·····	227
[2] 福斯特-西利(Foster-Seeley)电路·····	228
[3] 比检波器·····	229
11.6 预加重和去加重·····	230
[1] FM 和 PM 的相互变换·····	230
[2] 预加重和去加重·····	231
11.7 变频电路·····	232
[1] 变频电路的必要性·····	232
[2] 工作原理分析·····	234
[3] 实际的变频电路·····	235
习题·····	235

第十二章 电源电路····· 237

12.1 各种整流电路·····	237
[1] 概述·····	237
[2] 单相半波整流电路·····	237
[3] 单相全波整流电路·····	239
[4] 桥式全波整流电路·····	240
[5] 多相整流电路·····	240

[6] 倍压整流和多倍压整流电路·····	241
12.2 纹波及其滤波·····	243
[1] 纹波系数·····	243
[2] 利用电感滤波·····	244
[3] 利用附加并联电容滤波·····	244
[4] LC 滤波器·····	245
12.3 稳压电源·····	246
[1] 用途与分类·····	246
[2] 稳压元件·····	247
[3] 无反馈式稳压电路·····	248
[4] 反馈式稳压电路·····	249
12.4 稳流电源·····	251
[1] 稳压元件和放大元件的简单组合·····	251
[2] 带放大电路的反馈式稳流电路·····	251
习题·····	252
第十三章 集成电路 ·····	253
13.1 概述·····	253
[1] 集成电路的意义和发展史·····	253
[2] 实现集成电路的条件·····	254
[3] 集成电路的分类·····	255
[4] 集成电路的特点·····	256
13.2 双极型集成电路·····	258
13.3 MOS 集成电路·····	258
13.4 集成电路的实例·····	259
[1] 数字集成电路和模拟集成电路·····	259
[2] 模拟集成电路的种类·····	259
[3] 实例·····	260
习题·····	261
附录 ·····	262
附录一 放大电子管的工作特性和等效电路表示法·····	262
附录二 晶体管放大器各种特性一览表·····	269
习题解答 ·····	274

第一章 放大的基础

在本书的前面部分，我们以大约三分之二的篇幅讨论作为电子线路主体的放大电路。因此，在本章一开始就先说明几个有关放大的基本概念。首先，从电路之间阻抗匹配的观点引进可用功率的概念。再进一步说明：通常认为放大是“把可用功率增大”，这种提法是恰当的。最后，说明一下表示放大大小的量——增益。

1.1 可用功率和阻抗匹配

[1] 可用功率

设有某个内部包含电源、能向外输出自己的电能的二端电路（把这样的电路称做有源二端电路），我们把从这个电路的两端向外能提取的最大功率称做该电路的可用功率（*available power*）。在讨论信号的放大时，这种二端就是指如话筒或接收天线的输出端这样的端对。而下面将要讨论的“放大器”是有源四端电路，对放大器的输出端对，也同样可以定义可用功率。

然而，最易于直观研究的例子莫如家庭用的电源插座了。要想从插座取得尽可能大的功率，我们就接上一个阻值可变的电热器，试研究一下逐渐降低电阻值 R 时的情况。开始时，电流 I 逐渐增加，电热器所产生的热功率 $P = IV$ (V : 端电压) 也随之增加。但是（暂且认为保险丝没有熔断），当 I 的值达到某种程度时，由配电线路中的电阻所产生的电压降逐渐显著，使 V 降低，其结果使 P 达到某个最大值以后开始下降。因为这样的实验伴随着危险，所以绝对不能做。但是，即使直观地考察也显然可知，由电源插座或放大器输出端等能取得的功率不是无限大。下面再稍微定量地研究一