

线性集成电路 实用电路手册

〔日〕横井与次郎 著

国防工业出版社

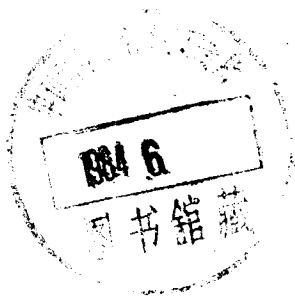
R 73-0000
84
1

线性集成电路实用电路手册

〔日〕 横井与次郎 著

陈 挺 译

张伟贤 校



国防工业出版社

1111495

内 容 简 介

本书介绍了各种线性集成电路以及由其构成的各种实用电路的基本原理和应用。包括各种模拟放大器和数学运算电路、正弦和非正弦波的形成和变换电路、合成电抗电路、有源滤波器、RC定时器、D/A和A/D转换器、V-f和f-V转换器、鉴相和锁相电路、调制和解调电路以及电源电路等等。为了便于读者查用，书中还收入了一些具有实用价值的参考线路和图表，并附有本书所用集成电路一览表。可供无线电通讯、遥控遥测、自动化控制、雷达、电视、音响以及计算机等技术部门的工程技术人员及有关专业师生参考。

リニア IC 实用回路マニュアル

横井与次郎 著

ラジオ技術社 1975

*

线性集成电路实用电路手册

〔日〕横井与次郎 著

陈 挺 译

张伟贤 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张15¹/₈ 380千字

1984年1月第一版 1984年1月第一次印刷 印数：00,001—16,500册

统一书号：15034·2582 定价：1.85元

译 者 序

线性集成电路广泛地应用于无线电通讯、遥控遥测、自动化控制、雷达、电视以及国民经济各个领域，为模拟与数字技术的发展开拓了一个新的器件领域。

线性集成电路的应用，标志着电子技术发展到了一个新的阶段。正由于众所周知的多种优点，它已成为当前电子设备小型化和提高工作可靠性的重要技术途径，所以，正确地选择和运用这种电路，不仅可以提高整机的技术性能，而且可以简化整机结构。

鉴于目前对线性集成电路的应用日趋增多，为了使读者较多地了解 and 运用这种器件，我们译出《线性集成电路实用电路手册》一书。本书比较系统地介绍了典型线性集成电路的特性及工作原理。全书侧重于定性分析及实际应用，其特点是电路参数避免了繁杂的数学推导，而是运用图表和实验数据，直接给出计算关系式，并通过实际电路举例加以说明，内容简明扼要，浅显易懂；书中还收集了许多具有实用价值的参考线路和图表，适于从事电子技术的工程技术人员参考。

原书于 1975 年出版，近几年来在线性集成电路的发展和创新上又有了很大进步，该书虽不能完全反映这种现状，但对基本原理的了解和运用手段的掌握，仍可提供有益的帮助，具有一定的通用价值。

在翻译中，我们对业已发现的原书中的错误作了更正。由于水平所限，原书以及翻译中的错误和不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

原 序

线性集成电路的出现，不仅带来了电子机器的小型化和电路设计的简单化，而且也可以认为是使半导体电路更单纯化的基本形式，所以它为电子技术的发展带来了划时代的变革。

例如，在以往由分立元件构成的射极接地放大器中，在求取增益时，不得不采用在本质上还不太清楚的所谓 h 参量和矩阵方法，而在构成线性集成电路基本电路的差分放大器中，为了达到同一目的，只要用 $g_m \cdot R_c$ 这样简捷的算式就足以表达了。

在有源滤波器等的电路中也是一样。因为使用晶体管放大器，增益的计算是复杂的，且由于晶体管的离散性，其增益并非一定，所以，理论计算值和实际测量值就很难取得一致。如果使用集成电路运算放大器，则在电阻的误差范围内，放大器增益与计算值是一致的，而且滤波器整个实际特性也可以和计算值取得相当一致。

在 AM（幅度调制）电路中也是一样。晶体管调制电路包括有乘法环节、平方和开关环节等，分析起来是相当困难的。但在用集成电路乘法器构成的乘积 AM 电路中，AM 波是所谓载波和调制信号的乘积，故整个电路仍然是按调幅基本原理而工作的，但分析起来却容易得多。

在这样一些集成电路线路中，因为可以根据电子电路的基本理论进行分析，所以确切地掌握基本理论，是设计制作良好线路的关键所在。

集成电路是具有高度功能的器件，所以一旦使用不当而产生故障以后，是没有办法挽回的。

正如在生物体中，只有每一个细胞能正常地工作，整个生物

体才能生存。在电子机器中也是一样，只有单个电路能稳定地工作，才能保证整个机器可靠地运转。

在本书中，对一些电子电路及重点集成电路的基本分析占有一定篇幅，但由于篇幅的限制，不得不削减对每个环节的详细叙述。不过，从实际应用出发，在编著过程中，对避免出现差错这一点还是给予了足够重视的。

在写此书的过程中，遇到的困难是关于确定技术术语的问题。在集成电路发展相当迅速的今天，就电子电路的系统化和技术术语的编撰及统一而言，完全采用原来那一套办法是不行的。这一点，特别是在我国（日本），电子电路的理论并未广泛地为人们所掌握，所以只是单纯凭着自己的想象，自以为是地去理解和处理关于技术术语的问题，那是粗率的。

本书中的术语，也是由多种形式组合起来的，既有将外文用假名音译的，也有译成日语的，还有按国内所规定的，以及用外文缩写词表示的等等。当然其中也有笔者独自命名的术语。

电子世界是个广阔的世界，虽然有着部分已经确知的领域，但这仅是一部分而已，还有不少地方没有被系统化起来，所以宽阔的领域等待着人们发挥自己的独创性去开拓。

马克思在《资本论》法语版序言中曾经讲道：“在科学上没有平坦的大道，只有不畏劳苦沿着陡峭山路攀登的人，才有希望达到光辉的顶点。”在电子技术领域中，无数事实说明这是千真万确的。如果本书能为读者在实践中提供微小帮助的话，对于笔者来说，真是喜出望外了。

横井与次郎

1975年3月

目 录

第 1 章 线性集成电路的品种与功能

1.1 线性集成电路的分类	1
1.2 按功能与电路的分类	2
1.3 复合组件的品种和结构	6
1.3.1 孪生晶体管	6
1.3.2 组合晶体管阵列	6
1.4 放大器系列集成电路品种	7
1.4.1 音频放大器	7
1.4.2 视频放大器	7
1.4.3 射频/中频放大器	7
1.4.4 差分放大器	8
1.4.5 运算放大器	9
1.4.6 模拟乘法器	12
1.4.7 电源用集成电路	13
1.4.8 收音机/电视机用解调电路	15
1.5 开关系列集成电路品种	16
1.5.1 模拟开关	16
1.5.2 比较器	16
1.5.3 定时器	17
1.5.4 读出放大器	18
1.5.5 可控硅触发电路	18
1.6 线性集成电路的封装	18

第 2 章 线性集成电路的电路构成及工作原理

2.1 线性集成电路的电路构成特征	27
2.1.1 与分立元件电路的比较	27
2.1.2 集成电路的基本电路	28
2.1.3 集成电路中的二极管	31
2.2 差分放大器的工作原理和特性	32
2.2.1 差分晶体管的工作原理	32
2.2.2 差分放大器的恒流电路	35

2.2.3	实际差分放大电路	37
2.3	运算放大器的电路及特性	39
2.3.1	运算放大器的电路构成	39
2.3.2	运算放大器实际电路及特性	41
2.3.3	运算放大器的技术数据及术语	53
2.3.4	理想的和实际的运算放大器	67
2.3.5	采用运算放大器的优点	70

第3章 线性放大器

3.1	线性放大器的种类及特性	71
3.2	直接耦合的各种放大器电路	71
3.2.1	直接耦合放大器的功能及特性	71
3.2.2	由运算放大器构成的直接耦合放大器的形式和工作原理	74
3.2.3	运算放大器的失调调整方法	78
3.2.4	改变运算放大器增益的方法	80
3.2.5	高输入阻抗运算放大器	82
3.2.6	电流放大器和电流输出放大器	83
3.2.7	桥式放大器	87
3.2.8	电阻-电压转换器	89
3.2.9	测量用差分输入放大器	90
3.2.10	光电接收放大器	93
3.3	运算放大器的带宽扩展和宽带运算放大器	94
3.3.1	运算放大器的带宽扩展	94
3.3.2	宽带运算放大器及其应用	98
3.3.3	输入电容中和放大器	103
3.4	低频放大器	104
3.4.1	运算放大器构成的音频放大器	104
3.4.2	低噪声前置放大器	105
3.4.3	运算放大器构成的音频功率放大器	106
3.4.4	音调控制电路	107
3.4.5	电荷放大器	108
3.5	射频和中频放大器	109
3.5.1	射频放大器的形式及电路	109
3.5.2	中频放大器的形式及电路	110
3.5.3	平衡型变频器	112
3.6	运算放大器构成的积分和微分电路	113
3.6.1	基本积分电路	113
3.6.2	基本微分电路	114

3.6.3	运算放大器构成的基本积分电路	114
3.6.4	无直流量输入积分电路	118
3.6.5	高速积分电路	119
3.6.6	保持有直流量输入的积分电路	120
3.6.7	运算放大器构成的基本微分电路	122
3.6.8	运算放大器构成的实用微分电路	122
3.7	特殊线性电路	124
3.7.1	恒定增益移相电路	124
3.7.2	高精度电平转移电路	127
3.7.3	温度检测电路	128

第4章 非线性电路

4.1	何谓非线性电路	130
4.2	比较器	130
4.2.1	比较器的功能及特性	130
4.2.2	集成电路比较器	132
4.2.3	比较器电路	132
4.2.4	运算放大器构成的比较器	134
4.2.5	滞后比较器(施密特电路)	136
4.2.6	过零检测器	137
4.3	模拟开关	138
4.3.1	模拟开关的功能及种类	138
4.3.2	实用模拟开关及其特性	140
4.3.3	模拟多路转换/信号分离器	144
4.4	模拟存储器	145
4.4.1	何谓模拟存储器	145
4.4.2	取样保持电路	145
4.4.3	峰值保持电路	147
4.5	线性检波电路(AC-DC转换器)	150
4.5.1	半波线性检波电路	150
4.5.2	全波线性检波电路(绝对值电路)	153
4.5.3	同步检波电路	154
4.6	非线性放大器	155
4.6.1	对数放大器	155
4.6.2	指数放大器	158
4.6.3	自动增益控制放大器	159
4.6.4	折线近似电路	162
4.6.5	最大输入鉴别电路	163

4.6.6 极性反转电路	166
--------------------	-----

第5章 模拟运算电路

5.1 模拟运算的种类	167
5.2 运算放大器构成的加法与减法电路	167
5.2.1 运算放大器构成的加法电路	167
5.2.2 运算放大器构成的减法电路	168
5.2.3 运算放大器构成的加减法电路	168
5.3 模拟乘法及除法形式	169
5.4 可变 g_m 乘法器的原理和品种	173
5.4.1 可变 g_m 乘法器的原理	173
5.4.2 可变 g_m 乘法器的品种	177
5.5 乘除法实用电路	181
5.5.1 对数放大器构成的乘除法电路	181
5.5.2 MC1496构成的乘法和平方电路	181
5.5.3 CA3091构成的乘法电路	183
5.5.4 MC1494和CA3091构成的除法电路	184
5.5.5 平方根运算电路	185

第6章 合成电抗电路

6.1 何谓合成电抗电路	187
6.2 模拟电感器	188
6.2.1 模拟电感器的原理	188
6.2.2 反相放大器构成的模拟电感器	189
6.2.3 同相放大器构成的模拟电感器	190
6.2.4 射频模拟电感器	191
6.3 电容乘法器	193
6.3.1 电容乘法器的原理	193
6.3.2 反相放大器构成的电容乘法器	193
6.3.3 可变电容乘法器	194
6.3.4 同相放大器构成的电容乘法器	194
6.3.5 电压控制可变电容乘法器	195
6.3.6 射频电容乘法器	195
6.4 压控变阻乘法器	196

第7章 有源滤波器

7.1 滤波器的基础理论	197
7.1.1 滤波器的形式及特性	197
7.1.2 有源滤波器的原理	198

7.1.3	有源滤波器的优缺点	200
7.1.4	有源滤波器的形式	200
7.1.5	有源滤波器频率与 RC 参数的计算	204
7.2	有源带通滤波器的形式	205
7.2.1	有源带通滤波器的电路形式	205
7.2.2	负反馈无源带阻滤波器及其有源带通滤波器	207
7.3	有源带通滤波器实用电路	212
7.3.1	文氏电桥正反馈带通滤波器	212
7.3.2	双 T 有源带通滤波器	212
7.3.3	桥 T 有源带通滤波器	213
7.3.4	模拟电感带通滤波器	216
7.4	有源带阻滤波器的形式	217
7.5	有源带阻滤波器实用电路	217
7.5.1	文氏电桥有源带阻滤波器	217
7.5.2	双 T 有源带阻滤波器	219
7.5.3	模拟电感有源带阻滤波器	219
7.6	有源低通滤波器的形式及特性	221
7.6.1	有源低通滤波器的电路形式	221
7.6.2	低通滤波器按特性分类	225
7.6.3	多节低通滤波器的构成方法	225
7.7	有源低通滤波器实用电路	228
7.7.1	超前-滞后低通滤波器	228
7.7.2	桥 T 低通滤波器	228
7.7.3	电容负载双 T 低通滤波器	229
7.8	有源高通滤波器的形式及特性	230
7.8.1	有源高通滤波器的电路形式	230
7.8.2	高通滤波器按特性的分类	232
7.8.3	多节高通滤波器的构成方法	233
7.9	有源高通滤波器的实用电路	233
7.9.1	滞后-超前高通滤波器	233
7.9.2	桥 T 高通滤波器	233
7.9.3	电阻负载双 T 高通滤波器	233

第 8 章 调谐振荡器

8.1	调谐振荡器的原理与形式	236
8.2	LC 振荡器	239
8.2.1	使用集成电路的 LC 振荡器	239

8.2.2	推挽 LC 振荡器	240
8.2.3	幅频稳定的 LC 振荡器	240
8.2.4	频率稳定的 LC 振荡器	242
8.3	RC 振荡器的振荡形式与振幅的稳定	242
8.3.1	RC 振荡器的形式	242
8.3.2	RC 振荡器振幅稳定方法	243
8.4	RC 振荡器的实用电路	245
8.4.1	移相振荡器	245
8.4.2	超前-滞后带通滤波振荡器	247
8.4.3	文氏电桥振荡器	249
8.4.4	双 T 有源带通滤波振荡器	252
8.4.5	桥 T 有源带通滤波振荡器	253
8.4.6	模拟电感构成的 RC 振荡器	258
8.4.7	多相 RC 振荡器	261
8.4.8	宽带 RC 振荡器	263
8.5	机械振子振荡器	267
8.5.1	晶体振荡器	267
8.5.2	音叉振荡器	268
8.6	电压控制振荡器	270
8.6.1	电压控制振荡器的形式	270
8.6.2	LC 电压控制振荡器	270
8.6.3	RC 电压控制振荡器	272
8.7	数字控制振荡器	275

第 9 章 弛张振荡器

9.1	弛张振荡器原理和形式	279
9.2	RC 电路的脉冲响应	280
9.3	滞后型自激多谐振荡器的基本电路和应用电路	282
9.3.1	自激多谐振荡器的基本构成及工作原理	282
9.3.2	运算放大器构成的自激多谐振荡器的基本电路	283
9.3.3	占空比可变自激多谐振荡器	286
9.3.4	三角波输出自激多谐振荡器	287
9.3.5	锯齿波输出自激多谐振荡器	287
9.3.6	宽带自激多谐振荡器	288
9.3.7	以电压控制占空比的自激多谐振荡器	290
9.4	函数发生器	291
9.4.1	函数发生器的原理	291
9.4.2	电压转换式函数发生器	292

9.4.3	三角波-正弦波变换器	296
9.4.4	锯齿波函数发生器	299
9.4.5	指数函数发生器	299
9.4.6	单片函数发生器	303
9.5	电压控制弛张振荡器	305
9.5.1	电压控制弛张振荡器的电路形式	305
9.5.2	乘法器构成的电压控制函数发生器	305
9.5.3	模拟开关转换式电压控制函数发生器	306
9.5.4	单片电压控制振荡器	306
9.5.5	由电流差分放大器构成的电压控制振荡器	307
9.6	关于振荡器电阻的选择	309

第10章 RC定时电路

10.1	定时电路的功能及任务	310
10.2	运算放大器构成的单稳多谐振荡器	311
10.2.1	单稳多谐振荡器的形式	311
10.2.2	运算放大器构成的积分式单稳多谐振荡器	311
10.3	运算放大器构成的延迟定时电路	315
10.3.1	延迟定时电路的形式	315
10.3.2	高精度延迟定时器	316
10.3.3	多延迟定时电路	317
10.4	长时间定时电路	318
10.5	单片定时电路	320

第11章 D/A转换器和A/D转换器

11.1	D/A转换器和A/D转换器的功能与用途	325
11.2	D/A转换器形式	325
11.2.1	R-2R梯形电阻式	326
11.2.2	加法器式	328
11.2.3	放大器增益可变式	328
11.2.4	恒流源开关式	330
11.2.5	脉冲积分式	330
11.3	D/A转换器的输入输出形式	331
11.4	D/A转换器的精度	333
11.5	D/A转换器的实用电路	333
11.5.1	R-2R梯形电阻式D/A转换器	333
11.5.2	放大器增益可变形D/A转换器	335
11.5.3	脉冲积分式D/A转换器	336

11.6	乘法D/A转换器	338
11.7	非线性D/A转换器	339
11.8	A/D转换器的形式	341
11.9	积分式A/D转换器的原理及形式	343
11.10	积分式A/D转换器实用电路	347
11.10.1	积分式V-f转换器	347
11.10.2	双斜率积分A/D转换器	348

第12章 V-f和f-V转换器

12.1	V-f转换器概要	351
12.2	V-f转换器的实用电路	352
12.2.1	简易积分式V-f转换器	352
12.2.2	简易函数压控振荡器式V-f转换器	353
12.2.3	I-f和V-T转换器	354
12.3	f-V转换器的概要和形式	355
12.4	f-V转换器的实用电路	357

第13章 功能电路

13.1	鉴相器和相位测量电路	359
13.1.1	鉴相器	359
13.1.2	相位测量电路	362
13.2	RC倍频电路	363
13.3	PLL的原理及其应用	365
13.3.1	PLL的基本原理	365
13.3.2	PLL集成电路的品种和特性	371
13.3.3	PLL的应用领域	374

第14章 AM调制解调电路

14.1	AM调制原理及调制形式	377
14.2	AM调制电路形式	378
14.3	AM调制实用电路	380
14.3.1	由乘法器构成的LC负载AM调制电路	380
14.3.2	由乘法器构成的可变 Q_m 的AM调制电路	381
14.3.3	开关AM调制电路	385
14.4	AM解调原理及形式	389
14.5	AM解调的实用电路	392
14.5.1	二极管AM解调电路	392

XIV

14.5.2	乘积AM解调电路	393
14.5.3	开关AM解调电路	395
14.6	载波合成电路	398
14.6.1	双边带波的载波合成	398
14.6.2	平衡调制波的载波合成电路	399

第15章 FM/FS调制解调电路

15.1	FM/FS调制原理及形式	403
15.1.1	FM调制原理	403
15.1.2	FM调制形式	404
15.1.3	FS调制形式	406
15.2	FM调制实用电路	407
15.2.1	直接式FM调制电路	407
15.2.2	AM波矢量合成FM调制电路	408
15.2.3	锯齿波FM调制电路	409
15.2.4	PLL式FM调制电路	410
15.3	FS调制的实用电路	411
15.3.1	RC调谐振荡FS调制电路	411
15.3.2	RC弛张振荡器FS调制电路	412
15.4	FM/FS解调原理及形式	415
15.4.1	FM解调原理	415
15.4.2	FM解调形式	415
15.4.3	FS解调形式	417
15.5	FM/FS解调的实用电路	418
15.5.1	正交FM解调电路	418
15.5.2	PLL调频解调电路	418
15.5.3	PLL FS解调电路	420

第16章 电源电路

16.1	电源电路种类及电路形式	424
16.1.1	电源电路的种类	424
16.1.2	电源电路的形式	426
16.2	整流电路及其滤波电路	427
16.2.1	整流电路形式	427
16.2.2	滤波电路及电容器电容量	429
16.3	电源用集成电路的种类及特性	432
16.4	稳压电源的实用电路	435
16.4.1	固定输出电压、大电流输出稳压电源	435

16.4.2	可变输出电压、大输出电流稳压电路	440
16.4.3	双极性跟踪稳压电路	442
16.4.4	三端子稳压电路	443
16.4.5	开关稳压器	444
16.5	功率晶体管的散热片	445
¹ 6.6	基准电源电路	446

第17章 线性集成电路的使用注意事项

17.1	关于型号的选择	449
17.2	关于电源的旁路问题	449
17.3	关于集成电路的组装问题	452
附录	实用计算图表	453
	参考文献	465
	本书所用集成电路一览表	466

第 1 章 线性集成电路的品种与功能

1.1 线性集成电路的分类

一般来说，集成电路可以分为数字的和线性^①的两大类。如果将线性集成电路进一步给以划分，则可从结构、用途、功能及电路的工作状态等进行分类，如图 1.1 所示。当然，这些分类还不能明确地描绘出各自的所有差别，每类都还包括相当多的集成电路。

从结构上看，有混合式集成电路和单片式集成电路。所谓混合式集成电路，是指在陶瓷等基片上，采取印刷或者蒸发的办法，将 R 、 C 等元件制成以后，再将制备好的二极管和三极管的芯片焊接在上面所构成的。

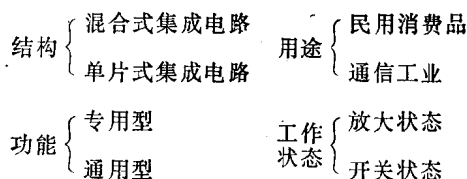


图1.1 线性集成电路的分类

单片式集成电路，是将电路中所必需的元器件，如二极管、三极管等有源器件及 R 、 C 等无源元件，全部制备在一块硅衬底上。

混合式集成电路的构成与分立元件电路相比，没有太大的区别。不过在线性集成电路中，利用了集成电路同一硅片中的孪生晶体管特性一致的优点，这在分离元件电路中是难以办到的。目前制作新的电路时，大多都是采用这种方法。

^① 习惯上，人们把线性集成电路的含义扩大到包括非线性集成电路，统称为模拟集成电路。

1111495