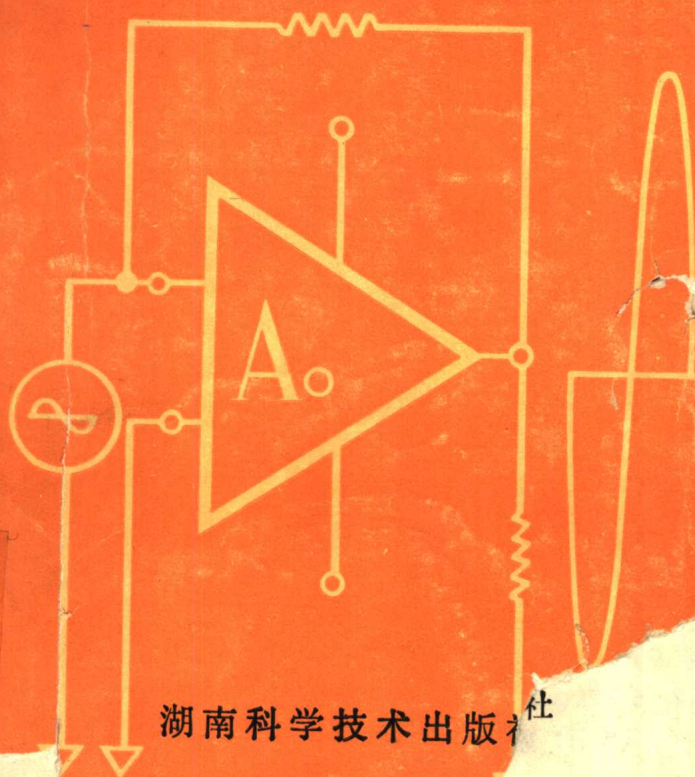


运算放大器与 线性集成电路

国防科技大学 张文仲 王家瀛编



湖南科学技术出版社

运 算 放 大 器 与

线 性 集 成 电 路

国防科技大学 张文仲 王家瀛

湖南科学技术出版社

一九八〇年·长沙

运算放大器与线性集成电路

国防科技大学 张文仲 王家滨 编

责任编辑：周翰宗

*

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1980年12月第1版第1次印刷

字数：302,000 印张：11 印数：1—4,800

统一书号：15204·45 定价：1.40 元

内 容 简 介

本书是以1977年美国出版的《运算放大器和线性集成电路》一书为主，并参考1976年美国出版的《运算放大器手册》和部分国内资料编译而成。目的是介绍如何利用集成器件去代替晶体管线性电路。全书共十四章：第一章是使用集成运算放大器的基本知识；第二章到第七章介绍用集成器件构成放大、振荡、电源及其他实用电路；第八、九章是集成运算放大器的交、直流特性；第十章是根据器件特性设计反相放大器；第十一到十三章介绍调制器、解调器、有源滤波器、有源校正网络和集成定时器，最后一章介绍国产线性集成电路和运算放大器特性测试。除第十和十四章外，其他各章均附有习题。

本书可供通信、仪表、制造控制和自动化技术等专业师生参考，也可供学习和使用半导体线性电路的广大读者参考。

原英文书名：Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits, R. F. Coughlin and F. F. Driscoll, 1977; Manual for Operational Amplifier Users, J. D. Lenk, 1976.

目 录

第一章 使用集成运算放大器的基本知识 (1)

1-0 引言 (1)

1-1 运算放大器的引出端 (3)

1-1.1 普通运算放大器 (3)

1-1.2 运算跨导放大器 (6)

1-2 开环电压增益 (7)

1-3 开环输入、输出电阻 (10)

习题 (12)

第二章 放大器 (13)

2-0 引言 (13)

2-1 反相放大器 (14)

2-1.1 并联电压负反馈电路 (14)

2-1.2 直流和交流信号的反相放大过程 (15)

2-1.3 闭环电压增益及其精度 (19)

2-2 反相加法器和音频混频器 (23)

2-3 有增益的反相加法器 (25)

2-4 反相平均放大器 (27)

2-5 同相放大器 (27)

2-5.1 电压串联负反馈电路 (27)

2-5.2 同相放大过程 (28)

2-5.3 闭环电压增益及其精度 (31)

2-5.4 闭环输入电阻和输出电阻 (33)

2-6 电压跟随器 (35)

2-7 具有两个和 n 个输入的同相加法器	(38)
2-8 测量值和计算值的差别	(40)
习题	(40)

第三章 比较器和多通道采样-保持电路 (42)

3-0 引言	(42)
3-1 理想比较器	(42)
3-1.1 过零检测器	(42)
3-1.2 非零电平检测器	(45)
3-2 用正反馈消除噪音影响	(48)
3-2.1 噪音对比较器的影响	(48)
3-2.2 正反馈和门限电压	(50)
3-2.3 滞后和输入-输出特性	(53)
3-3 输出电平的限幅	(55)
3-3.1 单齐纳管限幅	(55)
3-3.2 双齐纳管限幅	(57)
3-4 两个用于数字电路的比较器	(58)
3-4.1 用于数字电压表的比较器	(58)
3-4.2 用于逻辑电路的比较器	(59)
3-5 用于控制电路的三电平比较器	(60)
3-6 双向越限检测器	(62)
3-7 集成电路比较器	(64)
3-7.1 710型集成电路比较器	(64)
3-7.2 111/311型集成精密比较器	(66)
3-8 模拟多路转换器	(69)
3-9 采样-保持电路	(73)
习题	(77)

第四章 特选的实用电路 (79)

4-0 引言	(79)
--------------	--------

4-1	高阻直流电压表	(79)
4-2	高阻交流电压表	(81)
4-3	电压-电流转换器: 浮地负载	(82)
4-3.1	负载电流的电压控制	(82)
4-3.2	齐纳二极管检测器	(82)
4-3.3	二极管检测器	(83)
4-4	发光二极管检测器	(84)
4-5	给接地负载提供恒定电流	(85)
4-5.1	用(+)输入端控制负载电流	(85)
4-5.2	用(-)输入端控制负载电流	(86)
4-5.3	用差动电压控制负载电流	(87)
4-5.4	恒定大电流源, 接地负载	(88)
4-6	短路电流测量	(89)
4-7	测量光探测器的电流	(91)
4-7.1	光敏电阻	(91)
4-7.2	光敏二极管	(91)
4-7.3	太阳能电池	(92)
4-8	电流放大器	(92)
4-9	移相器	(93)
4-10	留声机前置放大器	(95)
4-10.1	唱片刻纹均衡	(95)
4-10.2	放音均衡	(95)
4-10.3	前置放大器电路	(97)
4-11	音调控制	(97)
	习题	(99)

第五章 信号发生器

5-0	引言	(101)
5-1	自激多谐振荡器	(101)
5-1.1	多谐振荡器的工作原理	(101)
5-1.2	振荡频率	(103)

5-2	单稳多谐振荡器	(104)
5-3	斜坡电压发生器	(107)
5-4	线性阶梯波发生器	(110)
5-5	可调定时器	(112)
5-6	三角波发生器	(114)
5-6.1	基本工作原理	(114)
5-6.2	具有滞后电压和用(+)输入端敏感电压的比较器	(116)
5-6.3	三角波发生器电路	(118)
5-7	锯齿波发生器	(119)
5-7.1	锯齿波电路的基本要求	(119)
5-7.2	可控单结晶体管	(121)
5-7.3	锯齿波发生器的工作原理	(121)
5-8	电压-频率变换器	(123)
5-8.1	电压控制振荡器	(123)
5-8.2	频率调制和频移开关	(123)
5-9	正弦波振荡器	(124)
5-9.1	振荡器理论	(124)
5-9.2	振荡器调试	(125)
5-9.3	文氏电桥振荡器	(126)
习题		(127)

第六章 电源和功率放大器

6-0	引言	(129)
6-1	变压、整流和滤波	(129)
6-2	直流电压调整特性和交流纹波电压	(132)
6-3	双极性和双值未稳压电源	(136)
6-4	电压调整的必要性	(138)
6-5	齐纳二极管调整器	(138)
6-6	基本运算放大器调整器	(140)
6-6.1	运算放大器调整器	(140)

6-6.2 具有齐纳参考电压的运算放大器调整器	(141)
6-7 升流运算放大器调整器	(142)
6-7.1 调整晶体管	(142)
6-7.2 电流放大管	(144)
6-8 短路或过载保护	(144)
6-9 109型5V集成电路电压调整器	(146)
6-10 双极性集成稳压电源	(147)
6-11 功率放大器	(148)
习题	(149)

第七章 仪表和电桥放大器

7-0 引言	(150)
7-1 基本差动放大器	(150)
7-2 远距离电压测量	(152)
7-2.1 用单端输入放大器测量	(152)
7-2.2 用差动放大器测量	(154)
7-3 基本差动放大器的改进	(155)
7-3.1 增大输入电阻	(155)
7-3.2 可调增益	(156)
7-4 仪表放大器	(158)
7-4.1 电路工作原理	(158)
7-4.2 参考输出电压	(159)
7-5 用仪表放大器敏感和测量	(160)
7-5.1 敏感端	(160)
7-5.2 电流和差动电压测量	(161)
7-6 基本电桥放大器	(163)
7-7 扩大电桥放大器的应用范围	(167)
7-7.1 接地式传感器	(167)
7-7.2 大电流传感器	(168)
7-8 测量小电阻变化	(168)
7-9 高输入阻抗电桥放大器	(170)

7-10 测量力、压力或加速度	(171)
习题	(171)

第八章 偏置、失调和漂移

8-0 引言	(173)
8-1 输入偏置电流	(174)
8-2 输入失调电流	(176)
8-3 偏流对输出电压的影响	(176)
8-3.1 (-)输入偏流的影响	(176)
8-3.2 (+)输入偏流的影响	(178)
8-4 失调电流对输出电压的影响	(179)
8-4.1 电压跟随器的电流补偿	(179)
8-4.2 其他放大器的电流补偿	(180)
8-4.3 偏流补偿小结	(180)
8-5 输入失调电压	(181)
8-5.1 定义和模拟	(181)
8-5.2 失调电压对输出电压的影响	(182)
8-5.3 输入失调电压的测量	(182)
8-6 加法器电路的输入失调电压	(184)
8-6.1 信号增益和失调电压增益的比较	(184)
8-6.2 为什么不用加输入去消除失调电压	(184)
8-7 消除偏流和失调电压的影响	(186)
8-7.1 设计和分析步骤	(186)
8-7.2 失调电压的调零电路	(186)
8-7.3 输出电压调零程序	(186)
8-8 漂移	(187)
习题	(189)

第九章 频带宽、转换速率、噪声和频率补偿

9-0 引言	(191)
--------------	-------

9-1 运算放大器的频率响应	(191)
9-1.1 内部频率补偿	(191)
9-1.2 频率响应曲线	(192)
9-1.3 单位增益频带宽度	(193)
9-1.4 上升时间	(194)
9-2 放大器对小信号的频率响应	(194)
9-2.1 开环增益对闭环增益的影响	(194)
9-2.2 具有1%增益精度的精密放大器的频率范围	(195)
9-2.3 10%增益精度的频率范围	(197)
9-2.4 小信号频带宽	(198)
9-3 转换速率和输出电压	(200)
9-3.1 转换速率的定义	(200)
9-3.2 限制转换速率的原因	(201)
9-3.3 正弦波的转换速率限制	(201)
9-3.4 转换速率计算曲线	(204)
9-4 输出电压中的噪声	(204)
9-4.1 外部噪声	(204)
9-4.2 运算放大器电路中的噪声	(204)
9-4.3 噪声增益	(205)
9-4.4 反相加法器中的噪声	(206)
9-4.5 小结	(206)
9-5 外部频率补偿	(206)
9-5.1 外部频率补偿的必要性	(206)
9-5.2 单个电容器补偿	(207)
9-5.3 前馈频率补偿	(208)
习题	(209)

第十章 反相放大器设计举例

10-0 引言	(210)
10-1 利用普通运算放大器设计	(210)
10-1.1 运算放大器的典型参数	(210)

10-1.2	设计计算	(212)
10-1.3	输入直流电平补偿	(216)
10-2	利用运算跨导放大器设计	(218)
10-2.1	运算放大器特性	(218)
10-2.2	设计计算	(223)

第十一章 利用乘法器进行调制、解调和变频 (228)

11-0	引言	(228)
11-1	直流电压相乘	(229)
11-1.1	乘法器的刻度系数	(229)
11-1.2	乘法器象限	(229)
11-1.3	零点和刻度系数调整	(231)
11-2	数或直流电压的平方	(232)
11-3	倍频	(233)
11-3.1	倍频器原理	(233)
11-3.2	正弦电压的平方	(233)
11-4	相角检测	(235)
11-4.1	基本理论	(235)
11-4.2	相位表	(237)
11-4.3	大于 90° 的相角	(237)
11-5	调幅引论	(238)
11-5.1	幅度调制概念	(238)
11-5.2	用乘法器做调制器	(238)
11-5.3	平衡调制器的数学关系	(240)
11-5.4	和频与差频	(240)
11-5.5	边频和边带	(242)
11-6	标准调幅	(243)
11-6.1	调幅器电路	(243)
11-6.2	标准幅度调制器频谱	(245)
11-6.3	标准调幅调制器和平衡调制器的比较	(246)
11-7	调幅电压的解调	(246)

11-8	平衡调制器电压的解调	(250)
11-9	单边带调制和解调	(250)
11-10	频率偏移	(250)
11-11	模拟除法器	(252)
11-12	求平方根	(254)
11-13	用运算跨导放大器构成的乘法器电路	(255)
11-13.1	二象限乘法器	(255)
11-13.2	四象限乘法器	(256)
11-13.3	用一个运算放大器构成调制器	(262)
习题		(263)

第十二章 有源滤波器和有源校正网络(264)

12-0	引言	(264)
12-1	基本低通滤波器	(266)
12-1.1	电路原理	(266)
12-1.2	滤波器设计	(266)
12-1.3	滤波器响应	(268)
12-2	布特沃斯滤波器的响应曲线	(269)
12-3	-40db/10倍频程的布特沃斯滤波器	(270)
12-3.1	简化的设计程序	(270)
12-3.2	滤波器响应	(272)
12-4	-60db/10倍频程滤波器	(272)
12-5	高通布特沃斯滤波器	(275)
12-5.1	20db/10倍频程滤波器	(276)
12-5.2	40db/10倍频程滤波器	(278)
12-5.3	60db/10倍频程滤波器	(280)
12-5.4	幅值和相角比较	(282)
12-6	带通滤波器	(283)
12-6.1	定义和分类	(283)
12-6.2	窄带通滤波器	(285)

12-6.3 宽带通滤波器	(286)
12-7 带阻滤波器	(287)
12-8 有源校正网络	(289)
12-8.1 积分和微分放大器	(290)
12-8.2 有源校正网络	(293)
习题	(296)

第十三章 集成电路定时器

(298)

13-0 引言	(298)
13-1 555型定时器的工作方式	(299)
13-2 555型定时器的引出端	(300)
13-3 自激或不稳工作方式	(303)
13-4 555型定时器作为不稳多谐振荡器的应用	(308)
13-4.1 音调脉冲振荡器	(308)
13-4.2 可变占空因数振荡器	(309)
13-5 单稳工作状态	(310)
13-6 555型定时器作为单稳多谐振荡器的应用	(313)
13-6.1 液位控制	(313)
13-6.2 接触开关	(313)
13-6.3 分频器	(314)
13-6.4 遗失脉冲检测器	(316)
13-7 计数定时器	(316)
13-8 XR2240可编程定时器/计数器	(317)
13-9 定时器/计数器应用	(321)
13-9.1 定时应用	(321)
13-9.2 自激振荡器, 同步输出	(322)
13-9.3 二进制结构信号发生器	(324)
13-9.4 频率合成器	(324)
习题	(326)

第十四章 国产线性集成电路简介(328)

14-0 引言.....(328)

14-1 两种运算放大器的引出端和特性.....(328)

14-2 集成运算放大器特性的测试(331)

14-2.1 开环电压增益和静态功耗的测试.....(331)

14-2.2 输出动态范围 V_{OP-P} 的测试.....(333)

14-2.3 输入失调电压 V_{OS} 和失调电流 I_{OS} 的测量.....(333)

14-2.4 输入基极电流 I_B 的测量.....(334)

14-2.5 输入电阻的测量.....(334)

14-2.6 输出电阻的测量.....(335)

14-2.7 共模抑制比CMRR的测试.....(336)

14-2.8 开环频带宽度 Δf 的测试(336)

14-2.9 失调电压温漂的测试.....(337)

14-2.10 电源电压灵敏度的测试(337)

14-2.11 最大输出电流的测试(338)

14-3 集成稳压电源(338)

第一章 使用集成运算放大器的基本知识

1-0 引言

半导体集成电路，一般分为数字电路和线性电路。目前，数字电路已是小规模、中规模和大规模集成电路，而线性电路则主要是集成运算放大器。

集成运算放大器是单块型集成电路。即在一块很小的半导体片上制成类似图1—1所示的直接偶合的差动式多级放大器；然后把它封装起来，形成图1—2所示的8脚、10脚或14脚的集成器件。显然，它较过去的晶体管多级放大器有很多优点：体积小、性能好、使用方便，特别是价格低廉。这使得集成运算放大器得到越来越广泛的应用。它不仅已成功地进入音频和射频通讯、测试仪表、过程控制、自动化技术和医学技术等许多领域，而且已进入日常生活中广泛应用的留声机、电唱机、收录音机和扩音机这类电声仪器。目前，美国集成运算放大器的年用量已高达数百万个。

有了集成运算放大器，我们就不必再去组装晶体管多级放大器了，使半导体线性电路的设计和调试大大简化。几年前需要几周时间才能设计出来的电路，现在只须用集成运算放大器作为功能块，加上几个外接元件即可完成。显然，分析和检查这种电路的故障也比处理与其相当的晶体管电路要容易得多。故如何用这种集成器件取代复杂的晶体管电路，已是各个领域的半导体线性电路设计者普遍重视的课题。

因为集成运算放大器和其他线性集成电路是半导体厂家提供的现成器件，所以对各个领域的半导体线性电路设计者来说，重要的是掌握器件的外特性和熟悉利用器件构成各种实用电路的具体方法，而并不需要掌握器件本身的电路原理和设计。本书就是着重讨论这些问题。所以全书的安排是：第一章介绍使用集成运算放大器的基本知识；第

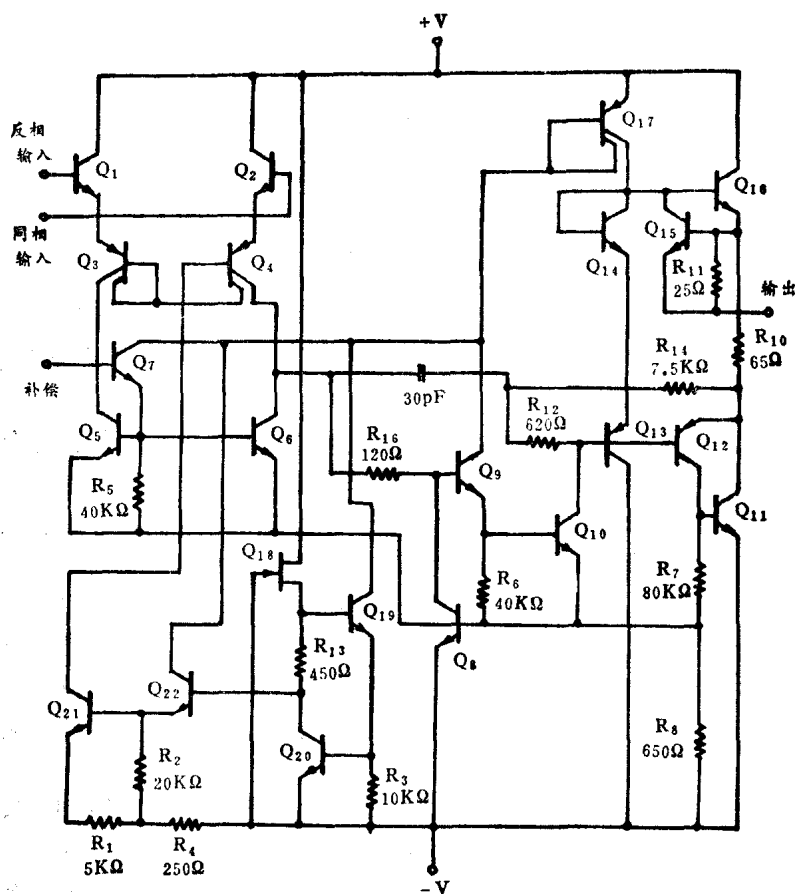


图1—1 运算放大器原理图

八、九章在讨论大量实用电路的基础上介绍运算放大器的交、直流电特性；第十四章介绍某些国产线性集成电路及其特性的测试方法，其余各章则分别讨论下述几种类型的实用电路：放大器，即交流放大器、直流放大器、电压跟随器、仪表放大器和电桥放大器等；振荡器，即正弦波振荡器、自激多谐振荡器、斜坡电压发生器和三角波、锯齿波、阶梯波发生器等；稳压电源和功率放大器；调制器与解调器；模拟运