

运算放大器电路实践

青少年电子入门快车

周亦武



福建科学技术出版社

●青少年电子入门快车

运算放大器 电路实践

周亦武

(闽)新登字 03 号

青少年电子入门快车
运算放大器电路实践

周亦武

*

福建科学技术出版社出版、发行

(福州市东水路 76 号)

福建省新华书店经销

福建省科发电脑排版服务公司排版

福安市印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 7.875 印张 2 插页 179 千字

1998 年 7 月第 1 版

1998 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—8 000

ISBN 7-5335-1276-6/TN·170

定价:12.20 元

书中如有印装质量问题,可直接向承印厂调换

丛书编委：(按姓氏笔划为序)

王乃成 (中国人民解放军运输工程学院)

孙 漪 (西安交通大学)

孙威娜 (华中理工大学)

吴淑泉 (华南理工大学)

杜效农 (天津理工学院)

周亦武 (大连海事大学)

林成武 (沈阳工业大学)

柯锡明 (东南大学)

徐洪水 (浙江大学)

徐宝琨 (吉林大学)

程卫东 (中国科学技术大学)

蔡声镇 (福建师范大学)

青少年电子入门
快车

吕新奎
五九年
首首

国家信息产业部吕新奎副部长题词

编辑的话

近20年来,电子技术得到了飞速的发展,从航天飞机的发射升空、“火星探路者”号的成功登陆,到卫星全球定位系统(GPS)、巨型计算机的研制,从海湾战争、抗震救灾、维和行动,到与我们生活息息相关的大屏幕高清晰度彩色电视机、VCD、DVD视盘机、手提电话……我们无不感受到电子技术的无穷魅力以及对我们社会生活的巨大影响。同时,电子技术又是那么地“平易近人”。一把烙铁、几个元件、一本书,迷得一代代的青少年“乐不思蜀”……谁能否认当今的电子大师们不正是从这条路上走来的?谁又敢说今天的“小电子迷”不能成为明日的电子大师?即便是平平凡凡,他们也乐此不疲,沉迷于电子世界,增长知识,陶冶情操,服务社会。

“青少年电子入门快车丛书”是一套面向青少年朋友的电子入门读本。丛书将电子学知识分成各个相对独立的专题,分册论述。各个分册大致包括了基本知识、元器件特性、基本电路原理与分析、实用电路制作等内容,并注重反映电子科学发展的最新技术及其应用。丛书力求通俗易懂,同时强调知识性、实用性、系统性,让青少年

朋友们能够在较短时间内掌握电子技术的基本知识及制作技能。

在丛书出版之际，特别要感谢参加本丛书编写的专家们，他们大都来自全国各大院校。在为国家培养高级电子人才之余，他们仍不忘普及科技知识的社会责任，百忙之中，天南海北，共同为本丛书的出版而辛劳。国家信息产业部吕新奎副部长、清华大学的李鹤轩教授、中国电子科技大学的过璧君教授、浙江大学的陈曾济教授、大连海事大学的吕健先生以及福州市少年宫的林正山高级工程师等，也为全书的策划组稿提出了宝贵的建议，福建师范大学的许瑞珍老师为丛书编写了生动有趣的电子知识短文，在此一并致谢。

我们诚恳地希望全国电子行业的专家们能继续关注“青少年电子入门快车丛书”的成长，并希望广大青少年朋友能将学习中遇到的问题及萌发的建议告诉我们，让我们一起为普及电子知识而努力。

前 言

20 世纪 60 年代初期发展起来的半导体集成电路大大推动了现代科学技术的发展。最先出现的是数字集成电路。以后又出现了以差动放大器为主体的非线性集成电路,这种非线性集成电路最初主要用于模拟计算机中实现运算功能,所以被称为集成运算放大器。其实它能用来处理各种模拟信号,实现放大、振荡、调制和解调、模拟信号的加、减、乘、除及比较等等功能,还广泛地应用于脉冲电路。因此,集成运算放大器的意义已远远不止是“运算”了,但其名称却一直沿用至今。

本书是为帮助具备一定基础电路知识的青少年电子爱好者而写的。阅读本书的预备知识不超过基础代数和基本的直流—交流电路的理论。本书从运算放大器的基础理论知识入手,介绍运算放大器电路的设计方法及使用运算放大器的各种技巧,列举了各种实用电路,旨在使青少年初学者在使用运算放大器方面变成能手,并启发有经验的电子爱好者产生新的设想,增强其解决问题的能力。

第一章介绍了集成运算放大器的发展历程、种类及运算放大器的工作原理,使读者对集成运放有一个粗略的了解。

第二章解释了运算放大器的基本特性参数,透彻地理解这一部分内容可以使你在排除电路故障、设计更高级电路方面技高一筹。另外给出了集成运放的简单测试方法。作为初学者可先浏览本章内容,在学习后续章节知识时再结合实际重新学习领会运算放大器的基本特性参数。

第三章给出运算放大器电路的设计方法，使初学者可以直接按步骤进行电路设计。

第四章从理论上对部分实用的运算放大器电路进行分析，使读者深入地理解运算放大器及各外部器件在电路中的作用。

第五章介绍运算放大器在不同领域的各种实际应用电路，读者可直接按照所给的电路图及说明实现所要求的功能。

第六章讲解了使用运算放大器的一些实用技术、在实际使用过程中可能发生的问题及解决方法。

附录中给出了一些图表资料，这些资料不论对初学者还是有经验者都是非常有用且能带来很大方便的。

本书偏重于集成运放的实际应用，可能多有疏漏，望读者指正。

编著者

1998. 1



目 录

第一章 概述	(1)
--------------	-----

第二章 运算放大器的基本特性及其测试	(9)
--------------------------	-----

一、集成运算放大器的主要技术参数	(9)
------------------------	-----

(一) 开环电压增益 A_{VD} (差模电压增益)	(9)
------------------------------------	-----

(二) 输入失调电压 V_{IO}	(10)
---------------------------	------

(三) 输入偏置电流 I_B	(11)
------------------------	------

(四) 输入失调电流 I_{IO}	(11)
---------------------------	------

(五) 开环输入电阻 R_{ID}	(12)
---------------------------	------

(六) 最大差模输入电压 V_{IDR}	(13)
------------------------------	------

(七) 共模抑制比 CMRR	(13)
----------------------	------

(八) 共模输入电压范围 V_{ICR}	(15)
------------------------------	------

(九) 输入失调电压温度系数 (失调电压温漂) ...	(15)
-----------------------------	------

(十) 最大输出电压 V_{OM} (输出峰—峰值电压 V_{OPP}) ...	(16)
---	------

(十一) 最大输出电流 I_{OM}	(16)
----------------------------	------

(十二) 静态功耗 P_C	(17)
-----------------------	------

(十三) 开环输出电阻 R_{os}	(17)
(十四) 电压转换速率 SR	(18)
二、集成运放的简单测试	(19)
第三章 运算放大器电路设计	(24)
一、运算放大器基本原理及基本电路	(24)
(一) 运算放大器基本应用原理	(24)
(二) 运算放大器电路的计算方法	(26)
(三) 运算放大器的基本电路	(27)
二、基本运算放大器电路设计	(36)
(一) 反相放大器电路	(36)
(二) 同相放大器电路	(40)
(三) 电压加法放大器电路	(43)
(四) 差动直流放大器电路	(45)
(五) 方波发生器电路	(46)
第四章 实用运算放大器电路分析	(48)
一、信号放大电路	(48)
(一) 零漂移运算放大器	(48)
(二) 大功率输出运算放大器	(49)
(三) 同相串联式差动放大器	(50)
(四) 同相并联式差动放大器	(52)
(五) 交流放大器	(54)
(六) 高输入阻抗交流放大电路	(56)
二、有源滤波电路	(57)

(一) 低通有源滤波器	(58)
(二) 二阶高通滤波器	(60)
(三) 二阶带通滤波器	(62)
(四) 带阻滤波器	(63)
三、信号发生电路	(64)
(一) 正弦波产生电路	(64)
(二) 方波产生电路	(66)
(三) 三角波发生电路	(68)
(四) 单稳态多谐振荡器	(72)
(五) 双稳态多谐振荡器	(73)
四、信号处理电路	(74)
(一) 迟滞比较器	(75)
(二) 窗口比较器	(76)
(三) 精密整流电路	(79)
(四) 电压—电流变换电路	(81)
(五) 电压—频率变换电路	(82)
(六) 积分电路	(83)
(七) 微分电路	(85)
五、调节电路	(87)
(一) 比例—微分电路 (PD 调节器)	(87)
(二) 比例—积分电路 (PI 调节器)	(89)
(三) 比例—积分—微分电路 (PID 调节器)	(91)
六、逻辑电路	(93)
(一) “与” 门	(93)
(二) “或” 门	(94)
(三) “与非” 门	(95)
(四) “或非” 门	(96)

(五) “RS” 触发器	(96)
--------------------	------

第五章 运算放大器应用电路及制作 (99)

一、放大器..... (101)

(一) 单电源反相放大器.....	(101)
-------------------	-------

(二) 单电源同相放大器.....	(103)
-------------------	-------

(三) 简单音频电压放大器的应用	(105)
------------------------	-------

(四) 均衡前置放大器.....	(106)
------------------	-------

(五) 有源音调控制放大器.....	(107)
--------------------	-------

(六) 音程均衡器.....	(109)
----------------	-------

(七) 光电放大器.....	(111)
----------------	-------

(八) 有线对讲机.....	(113)
----------------	-------

(九) 简单的 OCL 扩音机	(116)
-----------------------	-------

(十) 数控增益放大器.....	(118)
------------------	-------

二、变换电路及信号发生器..... (119)

(一) 电流—电压转换电路.....	(119)
--------------------	-------

(二) 具有限流特性的电压—电流变换器.....	(120)
--------------------------	-------

(三) 简单的电压—频率变换器.....	(121)
----------------------	-------

(四) 阻抗变换电路.....	(123)
-----------------	-------

(五) 正弦波、矩形波发生器.....	(124)
---------------------	-------

(六) 具有三角波和方波输出的压控振荡器.....	(126)
---------------------------	-------

(七) 峰值检波器.....	(127)
----------------	-------

三、检测与报警电路..... (128)

(一) 电子温度计.....	(128)
----------------	-------

(二) 湿度监视器.....	(131)
----------------	-------

(三) 秧棚湿度指示器.....	(133)
------------------	-------

(四) 可燃气体报警器.....	(134)
(五) 水位声光报警监视仪.....	(135)
(六) 电冰箱温度显示器.....	(137)
(七) 精密温度计.....	(141)
(八) 环境噪声检测器.....	(143)
(九) 定时报警器.....	(144)
(十) 触摸报警器.....	(145)
(十一) 粮仓温度测量报警器.....	(147)
(十二) 具有线性度校正的铂电阻测温电路.....	(149)
四、控制电路.....	(152)
(一) 声控电路.....	(152)
(二) 拍手开关.....	(154)
(三) 光电继电器.....	(156)
(四) 环境控制 LED 发光亮度	(157)
(五) 自动曝光定时器.....	(158)
(六) 彩照冲洗恒温器.....	(160)
(七) 孵蛋温度控制器.....	(162)
(八) 充电自控电路.....	(165)
五、电源电路.....	(166)
(一) 基本消除了纹波的稳压电源.....	(166)
(二) 4~20V 连续可调的稳压电源	(167)
(三) 高精度标准电压源.....	(168)
(四) 正、负电压分隔电路.....	(169)
(五) 12V 电池充电器	(170)
六、简单的测试仪器.....	(171)
(一) 音频电路测试仪.....	(171)
(二) 无表头的晶体管 β 测试仪.....	(173)

(三) 简易低频信号源.....	(175)
七、集成运放在收音机中的应用.....	(176)
(一) 集成运放中频放大器.....	(176)
(二) 集成运放检波电路.....	(177)
(三) 集成运放低频放大电路.....	(179)
 第六章 运算放大器电路调试.....	(182)
一、失调及调整.....	(182)
二、自激振荡及消振.....	(187)
三、保护电路.....	(191)
(一) 抗差模输入电压保护电路.....	(191)
(二) 过载保护电路.....	(192)
(三) 电源保护.....	(193)
四、高频或脉冲电路中使用运放的注意事项.....	(194)
五、安装调试中可能出现的问题及解决办法.....	(196)
(一) 调零不灵.....	(196)
(二) 出现自激振荡现象.....	(196)
(三) 电路有严重的漂移现象.....	(197)
(四) 制作印刷线路板应注意的问题.....	(197)
(五) 焊接和敷线.....	(197)
六、集成运放的选型及引线识别.....	(198)
(一) 熟悉集成运放的性能参数.....	(198)
(二) 集成运放的代换.....	(199)
(三) 引线的识别.....	(200)
 附录一 部分国产集成运算放大器参数.....	(202)

附录二	部分国外集成运算放大器参数.....	(220)
附录三	部分运算放大器管脚排列图.....	(232)
附录四	部分国产运算放大器典型接线图.....	(237)

第一章 概 述

运算放大器实质上是一种高增益的直流放大器。最早在 20 世纪 40 年代就诞生了。当时，主要把它用于模拟计算机中，进行线性和非线性的各种计算，故称为运算放大器。那时电子管是运算放大器的核心器件，到 50 年代，晶体管运算放大器制成，不仅缩小了体积，而且降低了功耗和电源电压，形成了比较理想的部件，其功能也远远超过了模拟运算的范围，被广泛地应用于各种电子技术领域中。但这种电路由彼此分开的晶体管、电容、电阻、电感组成，我们称为分立电路。在电路上有许多焊接点，这些焊点，只要有一点虚焊，就可能影响整个电路的性能。随着电路复杂性的增加，元器件越来越多，电路的可靠性成为突出矛盾。1964 年，世界上第一块单片集成运算放大器（简称集成运放）制成了。它把电路中所有的晶体管和电阻以及元件之间的连线一并制作在一小块硅片上，使之由“部件”变成了一个小器件，人们可以直接把它作为一种通用性器件灵活使用。与电子管和晶体管运算放大

