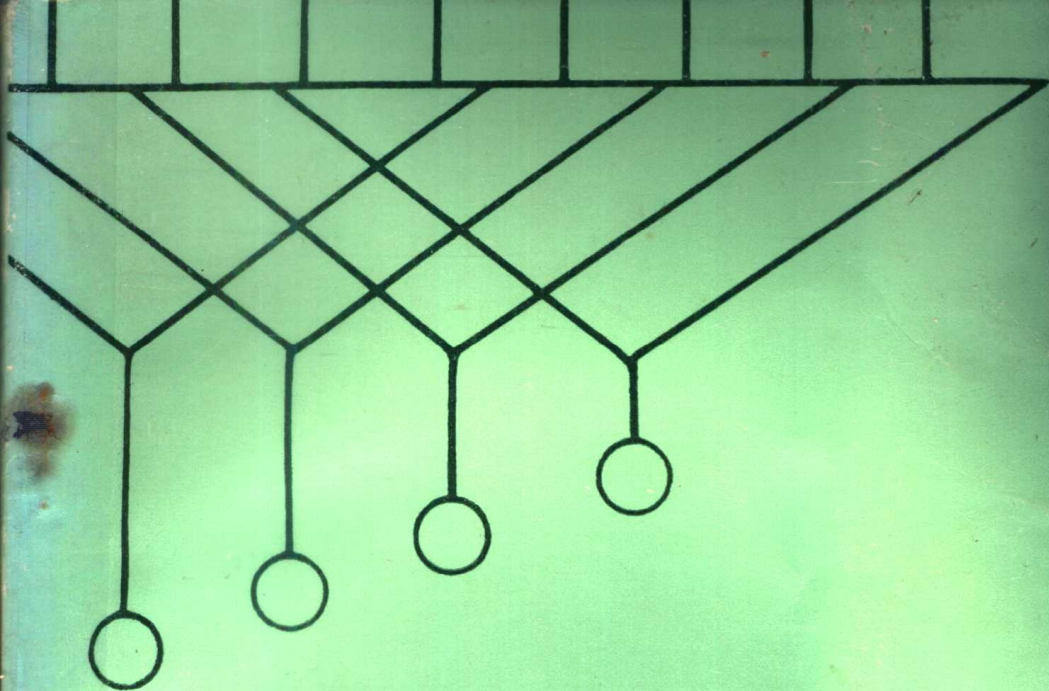




运算放大器 电路设计及实验

[美] H. M. 伯林 著

科学出版社

2.7
18

运算放大器电路设计 及实验

[美] H. M. 伯林 著

郭维芹 郭文中 译

科 学 出 版 社

1987

内 容 简 介

本书是美国布莱克斯堡进修教育丛书之一。此书介绍了基本运算放大器电路的设计和工作,以及用来阐明这些基本电路的设计和工作的35个以上的实验。这些基本电路包括:线性放大器、微分器和积分器、电压和电流变换器、比较器、整流器、振荡器、有源滤波器以及单电源供电电路。在最后一章还介绍了越来越普及的仪表放大器。

本书的特点是内容新,实例多,实用性强,叙述简明扼要,深入浅出。本书可供在职科技人员阅读,也可供大专院校师生参考。

Howard M. Berlin
DESIGN OF OP-AMP CIRCUITS,
WITH EXPERIMENTS

Howard W. Sams & Co., Inc., 1981

运算放大器电路设计及实验

〔美〕 H. M. 伯林 著

郭维芹 郭文中 译

责任编辑 张建荣

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年3月第一版 开本: 787×1092 1/32

1987年8月第一次印刷 印张: 8 7/8

印数: 0001—4,200 字数: 200,000

统一书号: 15031·786

本社书号: 5194·15—7

定价: 2.10 元

译者的话

本书是美国布莱克斯堡进修教育丛书之一。

由于模拟集成电路本身的优异特性，它在电子技术各个领域中得到广泛的应用。它的应用领域包括：电子计算机、自动控制、精密测量、信号的产生和变换、信号处理、通讯、电源、医用电子设备、宇航等各种电子工程系统。

十余年来，随着作为模拟集成电路的代表性器件——通用型集成运算放大器的迅速发展，国内外已发表了大量文献并出版了不少专著。但是，迄今还没有一本象本书那样从设计和实验的角度对集成运算放大器电路作全面系统介绍的书。作者在本书中偏重于工程概念，用尽量少的数学工具来研究基本运算放大器电路的基本概念和工作原理，并通过安排35个以上的典型实验来阐明这些基本电路的设计方法，为读者深入理解和具体应用运算放大器创造了有利条件。无疑，这有益于更多的读者去阅读它。

由于作者具有丰富的实际工作经验，本书在内容安排和叙述上具有很多特点：取材合适、联系实际、深入浅出、层次分明、叙述生动、简明扼要。所以，它很适合初次接触电子技术的读者自学，也非常适合作为大专院校电子学课程的补充教材和电子技术实验的参考书。

在酝酿翻译本书时，得到华中工学院康华光教授和清华大学黄昌宁副教授大力推荐，他们对原书所持的肯定的态度，促成了本书的出版。

在翻译过程中，凡我们认为原书有错误之处，一一进行

了订正。限于译者水平，译文中难免有许多不妥之处，欢迎读者批评指正。

本书一至四章由郭维芹翻译，其余由郭文中翻译。最后由郭维芹对全书进行统一校对。

译 者

1985年9月于上海第二工业大学

前 言

目前应用最为广泛的集成电路或许就是运算放大器了。它使用方便，只要懂得一些基本的代数知识就够了。这大概就是目前设计许多电子线路比十年以前更为简便的原因，在那时人们还在使用电子管和晶体管。

本书介绍了基本运算放大器电路的设计和工作，以及用来阐明这些基本电路的设计和工作性能的35个以上的实验。这些基本电路包括：线性放大器、微分器和积分器、电压和电流变换器、比较器、整流器、振荡器、有源滤波器，以及单电源供电电路。这并不意味着本书是一本包括一切现有的运算放大器电路的资料集，也不是一本包括各种现有电路类型工作特性的教科书。然而，它是一本叙述基本电路设计方法的教科书和工作手册。对于那些使用许多运算放大器的比较复杂的系统，这些基本电路就是组成它们的标准部件。因此，本书对于那些初级实验员或者依靠自学来学习基础知识的业余爱好者是十分有用的；本书作为大专院校线性集成电路教程的补充材料也是非常合适的，特别对于那些具备实验条件的院校尤为合适。

前九章论述了利用双极型和诺顿（Norton）型运算放大器的基本电路，并提供了大量的数字运算例子。此外，最后一章介绍了越来越普及的仪表放大器，这种放大器对于放大低电平信号是十分有用的。运算放大器或许是目前应用中用途最为广泛的集成电路，以致于某一本书的著者宣称：“运算放大器是避孕药丸发明以来一项最伟大的成就！”

如同我的其他著作一样，在这里我衷心感谢弗吉尼亚工业学院和弗吉尼亚州立大学的戴维·拉森和彼得·罗尼和Tychon公司的工作人员，他们对本书提出了有价值的意见并给予有益的帮助。衷心感谢E & L仪器公司对我的研究工作的不断支持。另外，十分感谢在本书中提到的许多制造厂商，这些厂商为我复制技术数据提供了方便。

H. M. 伯林

目 录

第一章 运算放大器是什么? (1)

引言—目标—理想运算放大器—运算放大器的图示符号
—运算放大器数据表—增益与频率响应—电源—完成的
实验—试验板—建立实验的规则—实验的格式—有用的
提示与建议—实验导引—实验 1—实验 2—实验 3—实
验 4—实验 5—实验 6

第二章 基本的线性放大电路 (74)

引言—目标—同相放大器—反相放大器—直流输出失调
—电压跟随器—加法放大器—差分放大器—实验导引—
实验 1—实验 2—实验 3—实验 4—实验 5

第三章 微分放大器和积分器 (107)

引言—目标—微分器—积分器—实验导引—实验 1—实
验 2

第四章 电压与电流电路 (125)

引言—目标—恒流源—电流-电压转换器—电压-电流转
换器—实验导引—实验 1—实验 2—实验 3—实验 4

第五章 非线性信号处理电路 (144)

引言—目标—比较器—峰值检测器—“精密的”整流器
—对数放大器—实验导引—实验 1—实验 2—实验 3—
实验 4—实验 5

第六章 信号发生器 (170)

引言—目标—正弦波—正弦/余弦振荡器—方波和三角
波发生器—阶梯波发生器—实验导引—实验 1—实验 2
—实验 3

第七章 有源滤波器 (187)

引言—目标—什么是有源滤波器？—二阶VCVS滤波器
—多环反馈带通滤波器—状态变量滤波器—陷波器—实
验导引—实验1—实验2—实验3

第八章 单电源供电..... (211)

引言—目标—单电源偏置—反相放大器—求和放大器—
差分放大器—实验导引—实验1—实验2

第九章 诺顿运算放大器..... (223)

引言—目标—工作性能—偏置—同相放大器—反相放大
器—求和放大器—差分放大器—其它应用—实验导引—
实验1—实验2—实验3—实验4—实验5—实验6

第十章 仪表放大器..... (256)

引言—目标—仪表放大器—一个应用—实验导引—实验
1

参考文献..... (268)

附录A 闭环特性的推导..... (269)

附录B OA-2运放设计箱..... (273)

第一章 运算放大器是什么？

引言

运算放大器是什么？在本章中，我们要定义什么是运算放大器，并且要讨论区别器件类型的若干参数。

目 标

在读完本章之后，你就能做下列工作：

- 定义下列术语：

通道隔离

反相输入端

闭环增益

环路增益

共模抑制比

同相输入端

增益-带宽乘积

开环增益

输入偏流失调

运算放大器

输入失调电流

输出电阻

输入失调电压

输出电压摆幅

输入电阻

摆动速率

输入电压范围

- 理解典型运算放大器数据表
- 测量一些通用运算放大器的参数

理想运算放大器

在考察实际运算放大电路之前，先单独简略地考察一下

运算放大器。运算放大器这个术语原先用来描述用作模拟计算机基础的许多高性能直流放大器。而今的集成电路运算放大器是一种具有非常高增益、用外部反馈网络来控制其响应的直流放大器。

不带外部反馈的运算放大器称为开环模型。我们可以用它来描述理想运放的下列特性：

1. 开环增益无限大.
2. 输入电阻无限大.
3. 输出电阻为零.
4. 带宽无限宽.
5. 当输入电压为零时输出电压为零（即失调为零）.

然而，实际上没有一个运算放大器能满足理想运算放大器这五个开环特性。不过，如我们在以后各章将要看到的，这是无关紧要的。

运算放大器的图示符号

在不同的图书、杂志中，运算放大器的图示符号有如图1-1的两种形式。不管哪一种形式，运算放大器都有两个输入

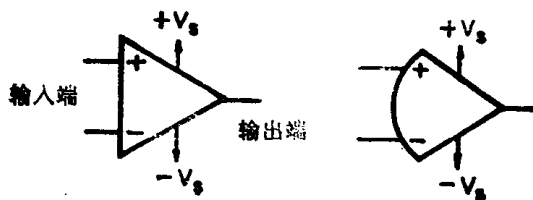


图1-1 运算放大器图示符号

端：一个反相输入端即（-）输入端，和一个同相输入端即（+）输入端。运算放大器都只有一个输出端。一般，运算

放大器采用双极性供电，如图1-1所示。比较典型的应用范围是 $\pm 5\text{V}$ 到 $\pm 15\text{V}$ 。因为在实际应用中电源线的连接是不言而喻的，故通常在电原理图中省略不画。

运算放大器数据表

要理解一个运算放大器的众多性能，最好的途径或许还是考察一张制造厂家的数据表，它可能要占一本集成电路参数手册的好几页。如图1-2所示，数据表通常包括下列信息：

1. 运算放大器总体描述。
2. 内部等效电路图。
3. 器件引脚的排列。
4. 绝对的最大额定值。
5. 电气特性。
6. 典型的特性曲线。

在本节中，我们要以741型运算放大器为典型例子讨论大多数重要参数。

最大额定值

参数表中（例如图1-2）给出的最大额定值是在不会损坏的情况下安全使用所能承受的最大值。

1. 电源电压 ($\pm V_s$)

这是允许提供给运算放大器的正负电压最大值。

2. 内部耗散功率 (P_D)

这是在给定的环境温度下（例如， $500\text{mW}@<75^\circ\text{C}$ ），运算放大器能够耗散的最大功率。

3. 差模输入电压 (V_{id})

这是允许加在 (+)、(-) 输入端之间的最高电压。

4. 输入电压 (V_{icm})

这是可同时提供给两个输入端与地之间的最大输入电压，也称为共模电压。一般共模电压之最大值等于电源电压。

5. 工作温度 (T_a)

这是运算放大器在厂商规定的技术条件范围内工作的环境温度范围。注意，军用级 (741) 比民用级或业余品 (741C) 有更宽的温度范围。

6. 输出短路持续时间

这是运算放大器的输出端允许对地或对任何一个电源电压短路的时间。

电气特性

运算放大器的电气特性通常是在给定的电源电压及环境温度下标明的。不过，某些参数也可以有一些附加条件，如特殊的负载或源阻抗。一般来说，每一个参数都有最小值、典型值和 (或) 最大值。

输入参数

1. 输入失调电压 (V_{oi})

这是要使输出电压为零而必须提供给某一输入端的电压。请记住：对理想运算放大器，输出电压失调为零！

2. 输入偏置电流 (I_b)

这是流入两个输入端的电流的平均值。理想情况是两个输入端偏置电流相等。

3. 输入失调电流 (I_{os})

这是当输出电压为零时两个输入偏置电流的差。

说明

$\mu A741$ 是一种具有高开环增益、内部补偿、高共模抑制和优越的温度稳定性的高性能运算放大器。 $\mu A741$ 有短路保护并便于失调电压调零。

特点

- 内部频率补偿
- 短路保护
- 失调电压可以调零
- 优越的温度稳定性
- 高输入电压范围
- 不会阻塞

绝对最大额定值

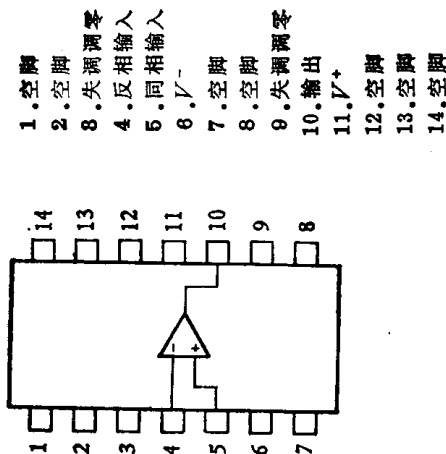
	$\mu A741C$	$\mu A741$
电源电压	$\pm 18V$	$\pm 22V$
内部功率损耗 (注1)	500mW	500mW
差动输入电压	$\pm 30V$	$\pm 30V$

线性集成电路

引脚排列

A 封装

(顶视图)

等级 $\mu A741CA$

输入电压 (注 2) $\pm 15V$ $\pm 5V$

在失调调零和 V^- 之间的电压 $\pm 0.5V$ $\pm 0.5V$

工作温度范围 $0^{\circ}C$ 至 $+70^{\circ}C$ $-55^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$

贮藏温度范围 $-65^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$ $-65^{\circ}C$ 至 $150^{\circ}C$

负载温度

 <低温焊接60秒> $300^{\circ}C$ $300^{\circ}C$

输出短路持续时间 (注 8) 长时期的 长时期的

注

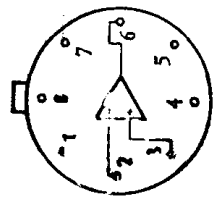
1. 额定值适合于表面温度达到 $125^{\circ}C$, 环境温度大于 $+75^{\circ}C$ 时, 额定值以 $6.5mW/^{\circ}C$ 线性减低.

2. 电源电压小于 $\pm 15V$ 时, 绝对最大输入电压等于电源电压.

3. 短路也许是接地或接任一电源. 额定值适合于 $+125^{\circ}C$ 表面温度或 $+75^{\circ}C$ 环境温度.

T 封装

(顶视图)

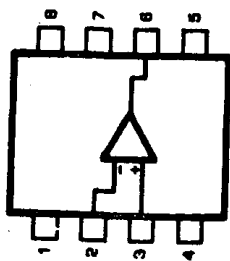


- 1. 失调调零
- 2. 反相输入
- 3. 同相输入
- 4. V^-
- 5. 失调调零
- 6. 输出
- 7. V^+
- 8. 空脚

等级 $\mu A741T/\mu A741CT$

V 封装

(顶视图)



- 1. 失调调零
- 2. 反相输入
- 3. 同相输入
- 4. V^-
- 5. 失调调零
- 6. 输出
- 7. V^+
- 8. 空脚

等级 $\mu A741CA$

等效电路

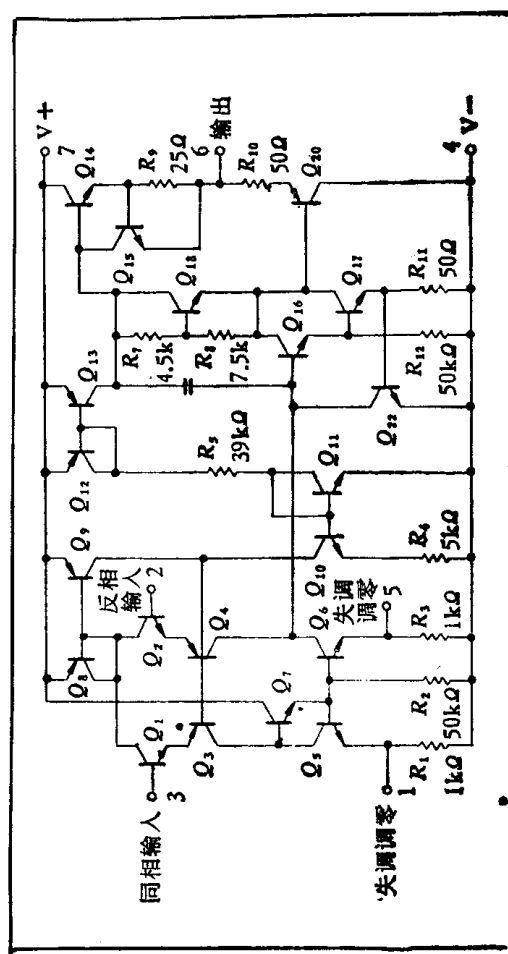


图1-2 $\mu A741$ 高性能运算放大器

线性集成电路 $\mu A741$

电气特性 ($V_s = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$, 除非另有规定)

参 数	最小值	典型值	最大值	单位	测 试 条 件
$\mu A741C$					
输入失调电压		2.0	6.0	mV	$R_s < 10k\Omega$
输入失调电流		20	200	nA	
输入偏置电流		80	500	nA	
输入电阻	0.3	2.0		M Ω	
输入电容		1.4		pF	
失调电压调整范围		± 15		mV	
输入电压范围	± 12	± 13		V	
共模抑制比	70	90		dB	$R_s < 10k\Omega$
电源电压抑制比		10	150	$\mu V/V$	$R_s < 10k\Omega$
大信号电压增益	20,000	200,000			$R_L > 2k\Omega, V_{out} = \pm 10V$
输出电压摆幅	± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V	$R_L > 10k\Omega$ $R_L > 2k\Omega$
输出电阻		75		Ω	
输出短路电流		25		mA	
电源电流		1.4	2.8	mA	
功率消耗		50	85	mW	
瞬态响应(单位增益)					$V_{in} = 20mV, R_L = 2k\Omega$ $C_L < 100pF$
上升时间		0.3		μs	
上冲		5.0		%	
摆动速率		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
下面技术条件适用于 $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$					
输入失调电压			7.5	mV	
输入失调电流			300	nA	
输入偏置电流			800	nA	
大信号电压增益	15,000				$R_L > 2k\Omega, V_{out} = \pm 10V$
输出电压摆幅	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$