

怎样使用 运算放大器

[英] E.A. 帕尔 著

翟钰 叶治政 译

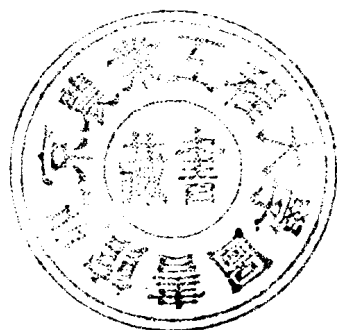
何金茂 校

7A72.7
9

怎样使用运算放大器

【英】E. A 帕尔

翟 钰 叶治政 译
何金茂 校



人民邮电出版社

2567/23

内 容 简 介

本书主要介绍如何使用运算放大器。书中以通俗易懂的形式，结合实用介绍了各种运算放大电路的原理和应用。内容由浅入深，分为运算放大器、基本电路、振荡器、音频电路、滤波器、其它电路、常用运算放大器、电源、安装提示和故障检查等九章，既有电路理论知识，又有具体实践知识，而且适于自学、便于实践。书中许多电路具有实用价值。

本书可供有关大专院校师生、从事电子技术的工程技术人员、无线电业业余爱好者学习参考。

HOW TO USE OP AMPS

E.A.Parr

BERNARD BABANI (publishing) LTD

1982

怎样使用运算放大器

〔英〕E.A.帕尔

翟 钰 叶治政 译

何金茂校

责任编辑：李振刚

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32

1985年12月第一版

印张：4.75

页数：76

1985年12月第一次印刷

字数：109千字

印数：1—8,000册

统一书号：15045·总3134-有5443

定价：1.00元

译 者 序

本书以通俗易懂的语言介绍运算放大器的基本知识和它的各种应用。书中不仅提供了大量的具有实用价值的典型电路，还介绍了许多实践知识和调试经验。书中介绍的设计、计算方法简捷实用，具有一定特色。它既是一本学习运算放大电路的入门书，又是一本运算放大电路的应用手册。既可供从事电子技术的工程技术人员和有关大专院校师生参考，也可作为自学电子技术的读者和广大业余爱好者的自学读物。

书中虽然采用的是国外运算放大器型号，但可根据第七章中提供的参数指标，很方便地找到国内相对应的型号，除个别运算放大器外，国内均有类似产品可供选用，而且国外一些常用型号，如741等，国内已有正式产品。

本书第一、二、三、七、九章由翟钰译出，第四、五、六、八章由叶治政译出，全书由何金茂教授审校。

由于译者水平有限，译文中不妥和错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

1983年8月

怎样使用运算放大器

运算放大器也许是电子工程师用得最多的集成电路。以一个普通晶体管的价格就可买到一个由几百个“元件”组成，并具有很高的增益和已知特性的集成电路。因而运算放大器就成了从音频电路到工业控制的各种实用电路的基本组成部件。

本书可作为设计各种运算放大器的入门书，它既是一本运算放大器的电路集，又是一本设计、计算的参考书。书中尽量避免采用数学的分析方法，以便广大的读者、工程师或业余爱好者学习。

书中分为：运算放大器、基本电路、振荡器、音频电路、滤波器、其它电路、常用运算放大器、电源、安装提示和故障检查等九章。

致 谢

我要衷心感谢允许我采用在“应用无线电”、“电子学”和“无线电设计师”刊物上以我的名义发表过的资料的编辑们、无偿提供技术援助和数据、图表的得克萨斯仪器公司和无线电标准元件公司。

最后，还要感谢我的妻子艾尼逊(*Alison*)，她把我的潦草的手稿整理、打印成清晰工整的本文。

Andrew Parr

1982.4

目 录

第一章 运算放大器	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 直流放大器	(1)
1.3 运算放大器的术语	(5)
1.3.1 直流增益 (AVD)	(5)
1.3.2 单位增益带宽 (BW)	(5)
1.3.3 上升速率 (SR)	(6)
1.3.4 输入失调电压 (V_{IO})	(6)
1.3.5 失调电压温度系数 ($\propto V_{IO}$)	(7)
1.3.6 输入基极偏置电流 (I_{IB})	(7)
1.3.7 输入失调电流 (I_{IO})	(7)
1.3.8 共模抑制比 ($CMRR$)	(7)
1.4 稳定性	(8)
1.5 调零	(9)
1.6 保护	(10)
1.7 封装	(11)
1.8 比较器	(12)
第二章 基本电路	(14)
2.1 引言	(14)
2.2 反相放大器	(14)
2.2.1 原理说明	(14)
2.2.2 设计一个反相放大器	(16)
2.3 同相放大器	(17)

2.3.1	原理说明	(17)
2.3.2	设计一个同相放大器	(17)
2.4	缓冲放大器	(18)
2.5	差分放大器	(19)
2.6	模拟计算机	(20)
2.6.1	引言	(20)
2.6.2	加法器和减法器	(21)
2.6.3	积分运算	(22)
2.6.4	微分器	(25)
2.6.5	乘法器和除法器	(26)
2.7	交流放大器	(30)
2.8	施密特触发器	(32)
2.9	增大电流输出	(36)
2.10	正/负极性放大器	(38)
第三章	振荡器	(42)
3.1	引言	(42)
3.2	施密特触发电路振荡器	(42)
3.3	函数发生器	(45)
3.4	压控振荡器	(45)
3.5	文氏电桥振荡器	(48)
3.5.1	引言	(48)
3.5.2	实际文氏电桥振荡器	(49)
3.5.3	幅度稳定的文氏电桥振荡器	(50)
3.6	正交振荡器	(51)
3.7	晶体振荡器	(53)
第四章	音频电路	(54)
4.1	引言	(54)

4.2	现场电话	(54)
4.3	音频混合器	(56)
4.4	功率放大器	(58)
4.5	音频前置放大器	(59)
4.6	沙声抑制器	(63)
4.7	转盘噪声滤波器	(63)
4.8	音调控制器	(64)
4.9	电平压缩器	(65)
4.10	婴儿报警器	(68)
4.11	电话监听器	(70)
4.12	噪声发生器	(72)
第五章	滤波器.....	(73)
5.1	引言	(73)
5.2	低通滤波器	(73)
5.2.1	简单低通滤波器	(73)
5.2.2	典型低通滤波器	(74)
5.3	高通滤波器	(75)
5.3.1	简单高通滤波器	(75)
5.3.2	典型高通滤波器	(76)
5.4	带通滤波器	(77)
5.4.1	引言	(77)
5.4.2	单级放大带通滤波器	(77)
5.4.3	两级带通滤波器	(79)
5.5	陷波滤波器	(79)
5.5.1	引言	(79)
5.5.2	单级放大陷波滤波器	(80)
5.5.3	两级放大可调陷波滤波器	(80)

5.5.4	Q值可调陷波滤波器	(81)
5.6	实际问题	(82)
第六章	其它电路	(84)
6.1	引言	(84)
6.2	窗口检测器	(84)
6.3	电压—电流和电流—电压变换器	(87)
6.4	斜波电路	(88)
6.5	相位超前电路	(90)
6.6	峰值拣选器	(91)
6.7	抽样和保持	(92)
6.8	温度计	(93)
6.9	温度控制器	(95)
6.10	精密检波器	(97)
6.11	光电子学	(99)
6.11.1	光敏电阻	(99)
6.11.2	光电二极管	(101)
6.11.3	光耦合	(102)
6.12	线性欧姆表	(105)
6.13	低电流表	(106)
6.14	运算放大器的测试器	(108)
6.15	随动系统	(110)
第七章	常用运算放大器	(113)
7.1	引言	(113)
7.2	运算放大器	(114)
7.2.1	741	(114)
7.2.2	301	(115)
7.2.3	702	(115)

7.2.4	709	(117)
7.2.5	308	(118)
7.2.6	725	(118)
7.2.7	748	(119)
7.2.8	531	(120)
7.2.9	3130	(121)
7.2.10	3140	(122)
7.2.11	ICL7611	(123)
7.2.12	其它运算放大器	(124)
7.3	双运算放大器	(124)
7.4	四运算放大器	(125)
7.5	比较器	(126)
7.5.1	710比较器	(126)
7.5.2	311比较器	(126)
第八章	电源	(128)
8.1	引言	(128)
8.2	运算放大器的电源	(128)
8.2.1	电池组	(128)
8.2.2	不稳压电源	(128)
8.2.3	稳压管稳压	(130)
8.2.4	集成稳压器	(131)
8.2.5	单电源工作	(132)
8.2.6	直流—直流变换器	(133)
8.3	运算放大器组成的电源	(134)
8.3.1	串联稳压器	(134)
8.3.2	并联稳压器	(134)
第九章	安装提示及故障检查	(137)

9.1 安装提示	(137)
9.2 故障检查	(139)

第一章 运算放大器

1.1 引言

运算放大器也许是电子工程师用得最多的集成电路。以一个普通晶体管的价格就可买到一个由几百个“元件”组成的并具有很高增益和已知特性的集成电路。因而运算放大器就成了从音频电路到工业控制的各种实用电路的基本组成部件。

对许多人来说,运算放大器和741是一个可以互相替换的术语,但是实际上,741只不过是整个运算放大器家族里最普通的一员。本书可作为设计一般运算放大器的入门书,它既是一本运算放大器应用电路集,又是一本设计计算的参考书。书中尽量避免采用数学分析的方法,以便广大的业余爱好者学习。

1.2 直流放大器

用分立元件设计直流放大器是很困难的,其原因并不难看出。例如图1.1中,有一个简单的直流放大器,加入输入信号 V_{in} ,输出为 V_{out} 。遗憾的是,这个电路可能成为一个温度计,而是一个很差的放大器。

第一级晶体管TR1和所有的晶体管一样,其特性与温度有关。最主要的特性是,温度每变化 1°C 将引起基极和发射极间

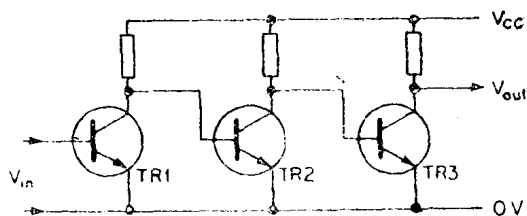


图 1.1 简单的直流放大器

的电压 V_{BE} 改变 $2mV$ ，温度每改变 $10^{\circ}C$ 而引起集电极和发射极间的穿透电流 I_{CEO} 改变 1 倍。这些影响在晶体管 $TR1$ 集电极产生的电压变化，与输入信号 V_{in} 引起的电压变化是难以区别的。因为直流放大器常用来放大几个毫伏数量级的输入电压，所以上述输出电压受温度影响的情况显然是不能允许的。

因此大多数直流放大器都是由图 1.2 所示的长尾对组成。 $TR1$ 和 $TR2$ 是一对特性完全相同的晶体管，并由一块公共散热片保持两个管子的温度相同。在理想电路中， $TR1$ 和 $TR2$ 的 V_{BE} 及 I_{CEO} 随温度的变化将完全相同，两者刚好相互抵消，从而使输出电压 V_{out} 只与输入电压 V_{in} 有关。

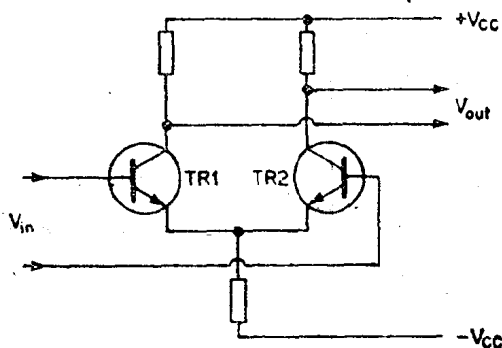


图 1.2 长尾对电路

即使采用配好对的晶体管设计一个高增益的直流放大器，也要做大量细致的工作，然而生产高增益的直流放大器，采用集成电路是理想的，可由生产厂很快完成。在一个芯片上所有晶体管都有完全相同的特性，而芯片的体积很小，这就保证了芯片上所有元件具有相同的温度。所以用集成电路可以做成增益很高和受温度影响极微的直流放大器。

第一个集成电路(IC)的直流放大器是709，它是在本世纪60年代中期由菲尔基德(Fairchild)提出的(在私人笔记中提到过709，它是我使用过的第一个集成电路，也是我所损坏的第一个，使雇主主化了18英镑。15年后的今天，同样一个芯片却只值50便士)。用现在的水平来看，709还存在许多不足之处，因而产生了运算放大器的整个家族。其中最常用的是作为通用元件来描述过的741。

一个直流放大器的芯片，其最简单的形式如图1.3所示，正好有六个连接端。正电源($+V_{cc}$)、负电源($-V_{cc}$)和输出端是显而易见的。还有两个用“+”和“-”表示的输入端，它相当于图1.2中两个晶体管的基极。它们分别叫作同相输入端和反相输入端，这还得作一些解释。

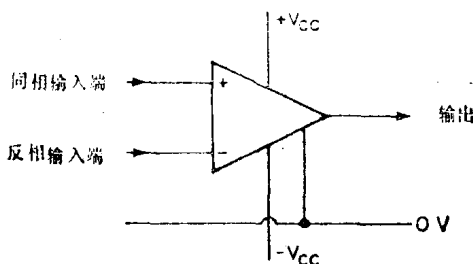


图 1.3 直流放大器的方块图

这个放大器放大两个输入端之间的电压。设“-”输入端接 $0V$ ，输入信号加到“+”输入端，如图1.4(a)所示。这样就会发现输出信号的极性和输入信号相同。如果把输入端反过来接，也就是把输入信号加到“-”端，而在“+”端接 $0V$ ，如图1.4(b)所示，这时输出信号的极性将和输入信号相反。所以，“同相”和“反相”是指输入信号的极性相对于由它引起的输出信号的极性而言的。

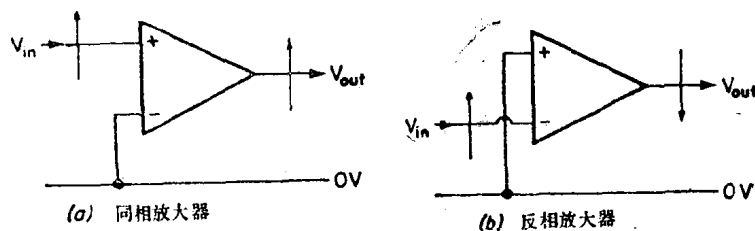


图 1.4 反相和同相连接

直流放大器的特点是具有很高的增益，如普通741的典型值是200000。正常情况下使用 $\pm 15V$ 电源，所以输入电压即使小于 $1mV$ 也会引起输出饱和。实际上就象我们将要看到的那样，所有直流放大器总是把高增益的组件连成负反馈使用，以获得所需的结果。

直流放大器用于测量、音频电路、滤波器设计和工业生产的控制中。它们已成为万用的器件、一种特殊的放大器，741型可能是最为成功和应用最广泛的一种。

早期的（非集成电路）直流放大器曾广泛应用于模拟计算机，并称之为运算放大器，因而“运算放大器”以后就成了所有直流放大器的名称。在本书中我们简称运放器（Op Amp）。

1.3 运算放大器的术语

在我们要使用运算放大器时，必须具备从众多的可用的集成电路中进行挑选的能力。为此，下面介绍用来描述运算放大器的一系列术语。

1.3.1 直流增益 (AVD)

它可能是一个最重要的术语，定义为输出电压的变化与输入电压变化之比值（一个典型值为30000）。通常用V/mV表示这个比值，如增益为30000，可表示为30V/mV。有时增益也用dB表示，定义为

$$AVD \approx 20 \log_{10} (V_{out}/V_{in}) \text{ 分贝(dB)}$$

1.3.2 单位增益带宽 (BW)

任何一个运算放大器都有一个相似于图 1.5 的频率响应，并且可以用多种方式定义。常用的一种方法是引用增益下降到 1 时的频率。如图 1.5 中 A 点所示，将该点的频率称为单位增益带宽。在音频放大电路的设计中引用 -3dB 两个点之间的频

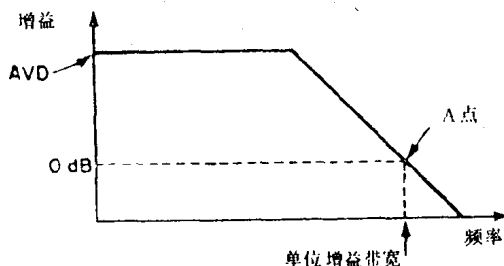


图 1.5 直流放大器的频率响应