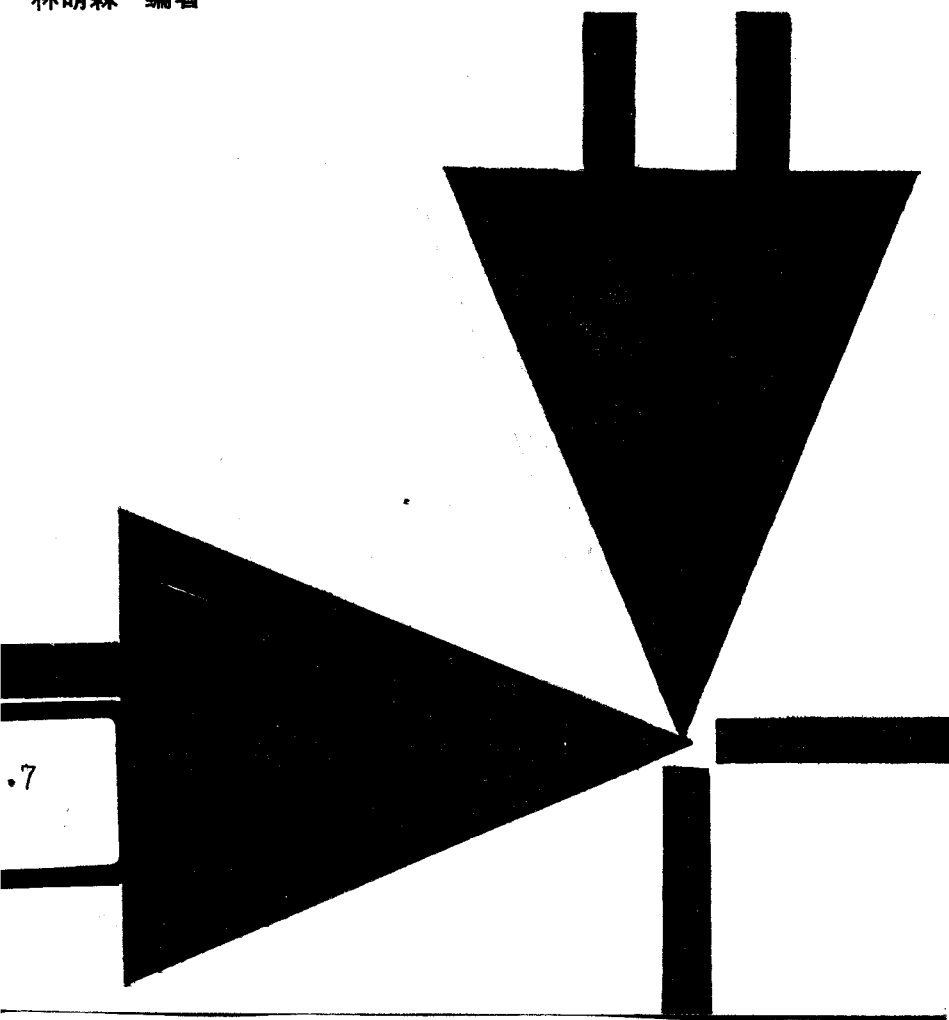


集成运算放大器的 使用技巧和应用

林萌森 编著



内 容 提 要

本书介绍的内容共有三章。第一章简略地介绍了集成运算放大器的基础知识和基本问题；第二章较详细地介绍了集成运放的识别、选用、代换和简易测试，讲解了由运放块组成的基本电路的调整、消振及保护措施，阐述了如何依据需要来改变运放块性能的灵活运用方法，并指出了使用中可能发生的问题及其对策等方面的使用技巧；第三章结合实例讲述了集成运算放大器的应用。

另外，在书的最后，给出了比较齐全的图表资料。这些资料无论是对于业余爱好者还是专业工作者来说，都是非常有用的。

集成运算放大器的使用技巧和应用

林萌森 编著

责任编辑 张晏

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街27号

北京朝阳展望印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：787×1092 1/32 1990年12月 第一版

印张：7 4/32 页数：114 1990年12月北京第1次印刷

字数：160千字 印数：1—5 000册

ISBN7-115-04303-5/TN·376

定 价：3.00 元

前 言

集成运算放大器可以象普通晶体管一样，作为一种器件在电子电路中使用。不少无线电工作者和爱好者，喜欢用运放集成块安装一些实用的电子装置，这比全部使用晶体管组装的电路焊接更简便、调试也更容易、性能亦更优异。

运算放大器集成化了以后，虽说已经成为一种“器件”，但毕竟还是一个“放大器”，所以其内部构造、工作原理和使用方法等均比晶体管复杂，不少读者对它还不熟悉，为此在本书第一章先简略地介绍一下集成运放的基础知识和基本问题，以作为阐述后面问题的起点。

另外，因为集成运放发展的历史较晚，一些使用方面的技巧，是近些年来逐步总结出来的，一般读者不容易全部掌握。于是笔者根据多年积累的资料和实践经验，写成了“集成运算放大器的使用技巧”，作为本书的第二章。本章详细地介绍了这种器件的识别、选用、代换和简易测试；讲解了由运放块组成的基本电路的调整、消振和保护措施；阐述了如何根据需要来改变运放块性能的灵活运用方法；指出了使用中可能发生的问题及其对策等多方面的使用技巧。具体地指导读者如何安全、合理、高质量地组成各种基本电路。

第三章结合实例讲述集成运算放大器的应用。因为这种器件应用的范围较广，有些使用场合一般读者接触不到，本书就不作介绍了。书中重点例举一些运放作线性运用的实例，如集成运放在收音机、收录机、高保真扩音机、稳压电源等装置中

的应用。另外，因为这种器件已经深入到一些方今盛世的设备中，为了扩大视野，书中简略地介绍了集成运放在彩电新式数字调谐电路、录象机结露检测电路和微型计算机接口电路中的应用。在应用过程中的一个重要环节是制作，为了引导读者动手制作，书中详细介绍了几种高保真扩音机的安装方法，读者不仅可以学会扩音机的安装和调试，对其他方面的应用电路也可以触类旁通，效仿制作。

书的最后给出了比较齐全的图表资料，这些材料将给使用者带来很大的方便。不论对业余爱好者还是专业工作者，这些资料都是非常有用的。

书中若有不当之处，敬希读者指正。

林萌森

一九八九年五月于曲阜师范大学

目 录

第一章 集成运算放大器的基础知识和基本问题	(1)
第一节 概述	(1)
一、多级放大器变成了一个小器件.....	(1)
二、用途广泛的集成运算放大器.....	(2)
三、集成运放已经繁衍了四代.....	(3)
第二节 揭开集成运放的内幕	(4)
一、集成运放的封装型式.....	(4)
二、集成运算放大器的基本结构.....	(4)
第三节 衡量运放块质量的技术指标	(8)
一、集成运放的参数.....	(8)
二、集成运放的主要技术指标.....	(9)
第四节 理想化了的运算放大器	(12)
一、集成运放的理想化模型.....	(12)
二、理想运放和实际运放的对比.....	(13)
第五节 集成运放基本的闭环特性	(14)
一、集成运放最重要的外围电路——反馈网络.....	(14)
二、反相输入式反馈放大电路.....	(17)
三、同相输入式反馈放大电路.....	(19)
四、电压跟随器.....	(22)
五、包含交流负反馈的放大器.....	(22)
六、差动输入式放大电路.....	(23)
七、集成运放的频率特性.....	(25)

第六节 集成运放的开环运用	(26)
一、电压比较器	(26)
二、施密特触发器	(27)
第七节 集成运放的供电方式	(28)
一、两种供电方式	(28)
二、对普通运放块怎样实现单电源供电	(29)
三、单电源集成运算放大器	(32)
第二章 集成运算放大器的使用技巧	(34)
第一节 集成运放的型号和管脚排列	(34)
一、集成电路的命名方法	(34)
二、引出端子的排列和辨认	(35)
三、部颁标准对集成运放外引线排列的规定	(38)
第二节 失调及调整方法	(39)
一、失调	(39)
二、调零	(40)
三、具有温度补偿的调零电路	(47)
四、可以不进行调零的几种场合	(43)
第三节 集成运放的自激振荡和消振	(49)
一、产生自激振荡的原因	(49)
二、消振方法	(50)
三、相位补偿电路实例	(51)
四、不同增益时补偿元件值的选取	(53)
五、消振效果的检查	(56)
第四节 外接偏置和器件的典型接线图	(57)
一、集成运放的外接偏置电路	(57)
二、集成运放的典型接线图	(57)
第五节 集成运放的测试法	(58)

一、用万用表进行粗测·····	(59)
二、用图示仪进行测试与显示·····	(62)
三、用示波器进行粗测·····	(67)
四、用运算放大器测试仪测试·····	(68)
第六节 集成运放的选用和代换·····	(73)
一、集成运放的类别·····	(73)
二、扩音机对运放块的要求以及器件的选用·····	(75)
三、次品运放块的灵活使用·····	(77)
四、集成运放的代换·····	(78)
五、代换时应注意的五个问题·····	(79)
第七节 集成运放的保护措施·····	(80)
一、输入端保护电路·····	(80)
二、输出端保护电路·····	(81)
三、电源端保护电路·····	(82)
第八节 集成运放的灵活运用·····	(83)
一、提高集成运放的输出电压·····	(83)
二、增加输出电流·····	(86)
三、增大输出功率·····	(87)
四、扩展频带·····	(90)
五、提高输入阻抗·····	(90)
六、新型功率集成运放的使用·····	(91)
第九节 使用中可能发生的问题·····	(92)
一、调零不灵·····	(93)
二、出现自激振荡现象·····	(93)
三、有严重的漂移现象·····	(94)
第十节 安装中的一些问题·····	(94)
一、制作印刷线路板应注意的问题·····	(94)

二、焊接和敷线	(95)
第三章 集成运算放大器的实际应用	(96)
第一节 用集成运放安装的简易仪器	(96)
一、无表头的晶体管 β 测试仪	(96)
二、在线电阻直接测量仪	(98)
三、简易低频信号源	(100)
第二节 集成运放在收音机中的应用	(101)
一、集成运放中频放大器	(101)
二、集成运放检波电路	(102)
三、集成运放低频放大电路	(103)
第三节 集成运放在收录机、电唱机中的应用	(106)
一、磁带放音放大器	(106)
二、磁带录音机前置放大器	(107)
三、晶体拾音器放大电路	(107)
第四节 集成运放音调控制电路	(108)
一、衰减式音调控制电路	(109)
二、反馈式音调控制电路	(112)
三、用有源滤波器控制音调	(117)
第五节 均衡放大器和等响度控制电路	(121)
一、集成运放均衡放大器	(121)
二、集成运放等响度控制电路	(123)
第六节 用集成运放安装的扩音机	(127)
一、用一个运放块组装的OCL扩音机	(128)
二、集成运放等响度OCL扩音机	(130)
三、集成运放CE803型OCL扩音机	(134)
四、30W $\times$ 2等响度立体声扩音机	(139)
五、集成运放OCL扩音机的检修	(144)

第七节 集成运放在彩电、录象机中的应用·····	(148)
一、彩电中新兴的数字控制调谐方式·····	(148)
二、NV系列录象机中的结露检测电路·····	(150)
三、VO——5630录象机磁鼓电动机驱动电路·····	(151)
第八节 运放在微型计算机输入、输出设备 中的应用·····	(153)
一、微型机的收录机I/O接口电路·····	(153)
二、由运放组成的数模转换器·····	(155)
三、由运放组成的模数转换器·····	(156)
第九节 用集成运放安装的稳压电源·····	(157)
一、高精度可调式稳压电源·····	(158)
二、基本消除了纹波的稳压电源·····	(159)
三、4~20V连续可调的稳压电源·····	(161)
四、0~50V连续可调的稳压电源·····	(163)
五、输出两种极性电压的稳压电源·····	(164)
附录使用说明·····	(167)
附录一 集成运放部标、厂标、国外参考型号对照表·····	(168)
附录二 集成运算放大器生产单位简称全称对照表·····	(183)
附录三 集成运算放大器参数数据表·····	(184)
附录四 国产集成运算放大器典型接线图·····	(210)
附录五 集成运算放大器外引线排列(顶视图)·····	(212)
附录六 部分集成运算放大器接线及管脚排列·····	(215)

第一章 集成运算放大器的基 础知识和基本问题

在使用集成运算放大器时，一般不需要具备很深的电子电路知识，但对一些和实际应用有关的基础知识一定要掌握。譬如，知道它的封装型式便于识别，了解它的技术指标便于选购和采用，掌握它的闭环特性可以指导我们组装电路，熟悉它的供电方式可以灵活地运用等等。为了尽快地掌握集成运算放大器的使用方法，并能够从一般原理出发解决实际使用中可能出现的一些问题，本章将简略地说明一些与本书应用范围有关的基础知识。

第一节 概 述

一、多级放大器变成了一个小器件

运算放大器早在四十年代就诞生了，它是用电子管装成的多级直接耦合放大器。当时，主要把它用于模拟计算机中，进行各种线性和非线性的基本运算，故有“运算放大器”之称。到了五十年代，又进一步缩小体积，制成了晶体管运算放大器，这样就降低了功耗和电源电压，形成了一个比较理想的部件，其功能也远远超过了模拟运算的范围，它被广泛地应用于各种电子技术领域中。随着集成工艺的发展，一九六四年又制成了第

一块单片集成运算放大器 ($\mu A702$), 它是把电路中所有的晶体管和电阻制作在一小块硅片上, 并将元件之间的连线也一并制成。它的出现是运算放大器发展史上的一个飞跃, 其主要标志是: ①过去被称为“部件”的运算放大器已经变成了一个小“器件”, 它的体积和功耗等已减小到与小功率晶体管相当; ②从此人们摆脱了将分立元件运算放大器组装、调整等相当复杂的制作过程, 而进入了直接把它作为一种通用性器件灵活使用的新阶段; ③由于发挥了集成工艺的优越性, 运算放大器的某些性能显著提高了, 可靠性也大大加强了。

同分立元件运算放大器一样, 集成运算放大器 (以下简称集成运放或运放块) 实际上也是一种多级直接耦合放大器。其特点是具有差动输入级、开环增益非常高 (高达几万倍至几百万倍)、体积小、重量轻、功耗低、可靠性大等, 并且在使用上具有很大的通用性。

二、用途广泛的集成运算放大器

随着集成电路生产工艺的发展, 集成运放的品种越来越多, 应用范围也越来越广。仅就通用型集成运放而论, 其应用类型不下几十种。我们在前面讲过, 集成运放不过是一个高增益的带差动输入级的直接耦合放大器, 那么为什么会有那么多用途呢? 这是因为, 当用集成运放组装电路时, 通常都要施加反馈, 所用的反馈元件可以是线性的 (电阻、电容等), 也可以是非线性的 (二极管等), 这样便可构成不同功能的多种电路。本书不打算全面介绍集成运放的具体应用, 但为了使读者了解它的应用全貌, 下面不妨略举几例。例如, 对运放施加线性负反馈, 可以实现相加、相减、积分、微分等运算功能; 施加非线性负反馈, 可以实现对数、乘、除等运算功能; 施加线性或非

线性正反馈，可以形成自激多谐振荡器，或者实现单稳、双稳等开关电路的功能；在对信号进行变换时，可以构成调制器、解调器等；用于放大时，可以实现直流放大、交流放大、音频放大、视频放大、调谐放大等多种功能；从生产实践中看，集成运放在自动控制、天文测量、地震预测、电子医疗、数字通讯、航天技术等领域中也获得了广泛的应用。

目前，可以这样说，除了高频大功率电路之外，用晶体管电路所能完成的功能，都可以用以集成运放为基础的电路来实现。

三、集成运放已经繁衍了四代

一九六四年研制成功的 $\mu A702$ ，可以看作是集成运放的先驱，目前已发展到第四代产品。

第一代产品具备中等精度的技术指标，如国产的 F003、FC3、8FC2、5G23等，国外相当的产品有 $\mu A709$ ，其开环增益约为45000倍。与 $\mu A702$ 相比，几项主要性能有很大改善，已列入标准化序列，得到广泛应用。但人们发现它还存在不少缺点，例如，输出端短路时会导致运放块损坏，使用时需要外接很多元件等。

以 $\mu A741$ 为代表的第二代集成运放于一九六八年问世，它是以采用有源负载为主要标志。整个电路有两个增益级，开环增益达150000倍以上。其他性能也有显著改善，如提高了差模输入电阻，扩大了电源电压的变化范围等。另外，内部电路还设置了过载保护电路。国产相当的型号有F006、FC4、5G24、XFC77、BG305、BG308和BG312等。

到一九六九年，集成电路的制造工艺上又有了新的突破，制成了 β 值较高的所谓超 β 管($\beta = 1000 \sim 5000$)，把它制作在集成

运放的输入级，就显著地提高了共模抑制比和输入电流特性，从而制成了性能优良的第三代集成运算放大器。如 MC1556、AD508L和国产的XFC78等。

一九七三年，国外研制出一种新型集成运放，它是将场效应管、双极型管和斩波自稳零放大电路兼容在一块硅片上制成的，已列入了大规模线性集成电路的体制，称之为第四代集成运放。其代表产品有HA2900、HA2-2900等，其电路的性能指标已接近于理想的运算放大器。

除了用途广泛的通用型集成运算放大器之外，还有根据某些特殊要求而发展起来的若干种特殊类型的集成运放，其中主要的有高输入阻抗型、低漂移型、低功耗型、大功率型、电流差动型和高速型等。

第二节 揭开集成运放的内幕

一、集成运放的封装型式

从外表上看，集成运放有两种型式：一种是双列直插式封装，见图1-2-1(a)；另一种是金属圆壳式封装，见图1-2-1(b)。双列直插式封装有8~14个引出端(管脚)，金属圆壳式封装有8~12个引出端，这些引出端都按一定顺序用阿拉伯数码编号，各个数码所对应的引出端都连着内部电路的某个特定部位，这样与外电路相连接时便于识别，不会弄错。管脚排列的规则，将在第二章第一节中介绍。

二、集成运算放大器的基本结构

从使用的角度出发，我们应该大体上了解集成运放的内部

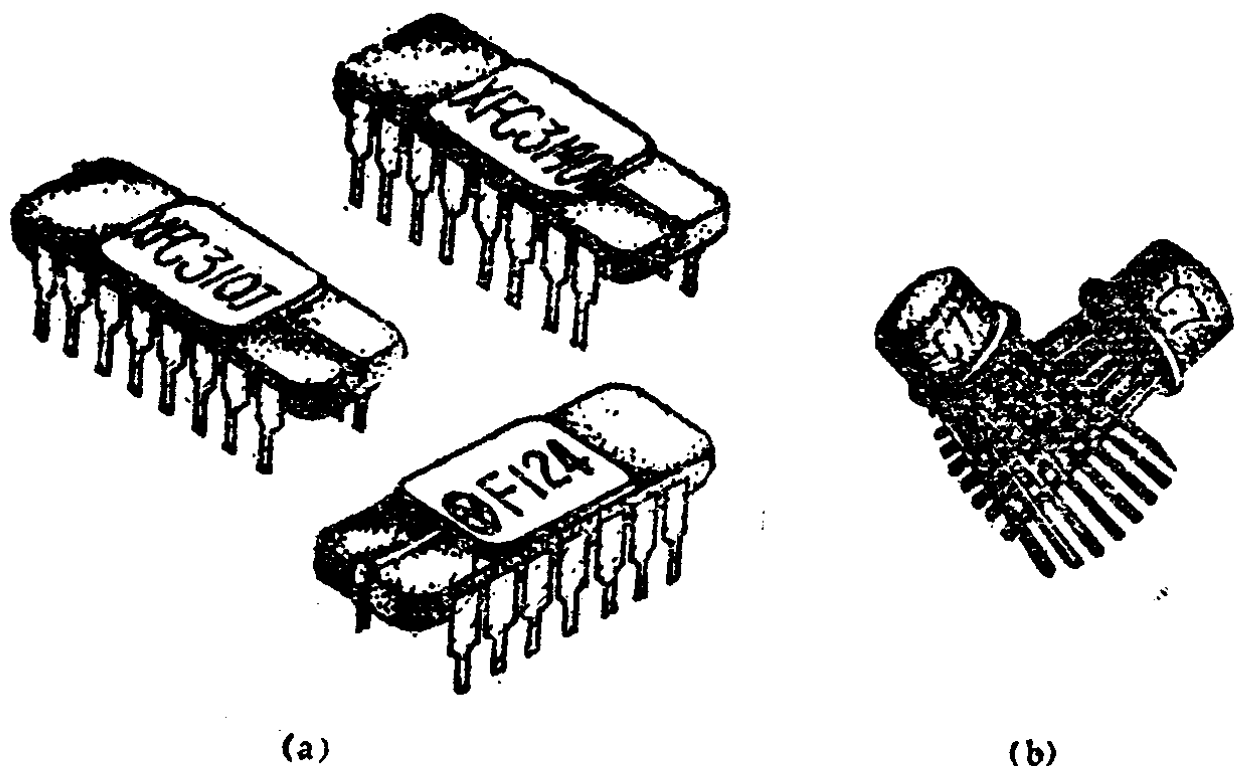


图1-2-1 集成运算放大器的外形

结构，以便领会它的各种性能。基于这一点，我们也不必剖析构造复杂的运放块。下面我们以前一代产品 FC3 为例，介绍一下集成运放的几个组成部分。FC3 的内部电路图，如图 1-2-2 所示。

FC3 是由二级差动放大电路、一级电压放大电路和一级对称互补 OCL 电路组成。

输入级是由晶体管 BG_1 、 BG_2 和电阻 R_1 、 R_2 等组成差动放大器，它具有双端输入、双端输出的对称结构。 BG_1 、 BG_2 是差分对管， R_1 、 R_2 是它们的集电极电阻， W 为外接调零电位器；晶体管 BG_{10} 、 BG_{11} 和电阻 R_{10} 、 R_{11} 组成恒流源偏置电路。因此，输入级是带恒流源的差动电路。

FC3 的第二级是由复合管 BG_3 — BG_5 和 BG_4 — BG_6 组成的双

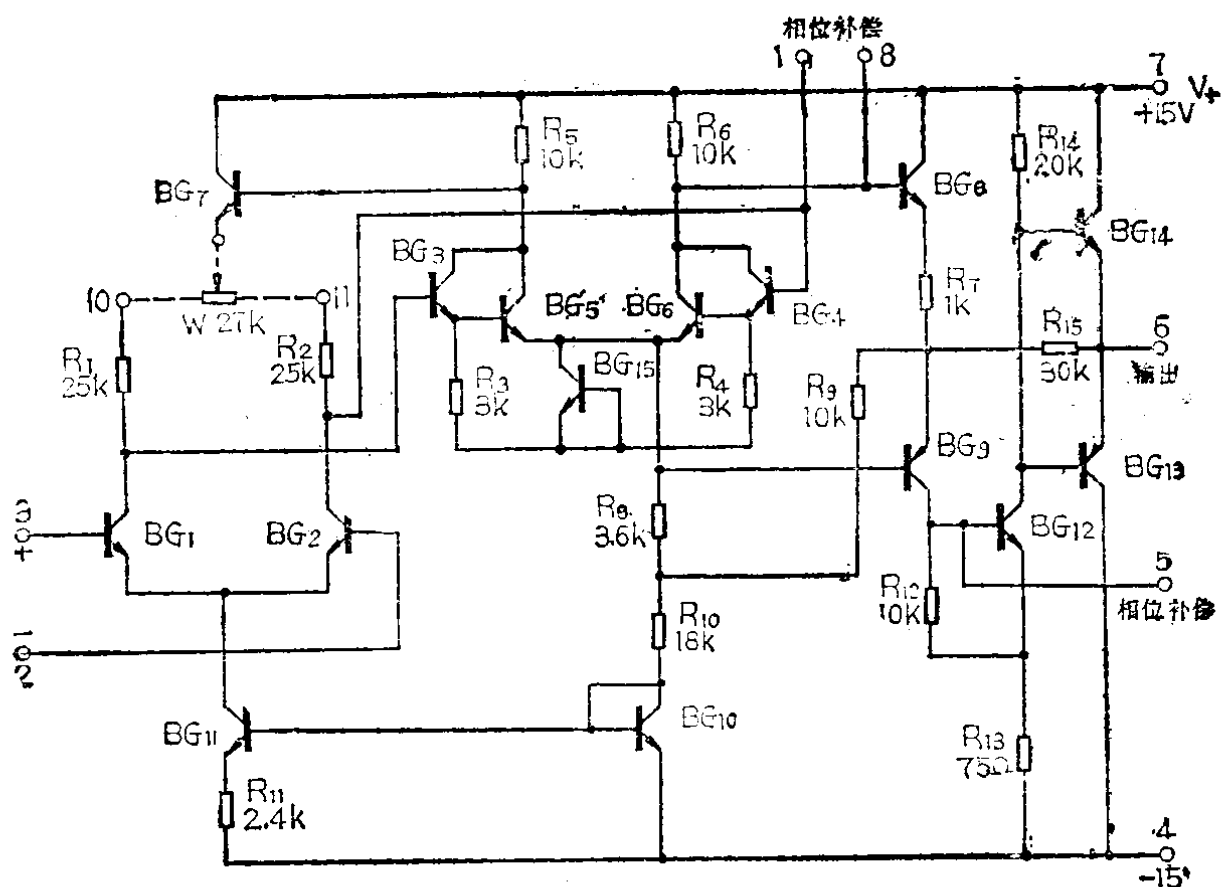


图1-2-2 FC3的内部电路图

端输入、单端输出的差动放大器。从图中不难看出，复合管BG₃—BG₅的集电极增量，通过BG₇、W及R₂转移到复合管BG₄—BG₆的基极，又从它的集电极输出，从而在单端输出的情况下获得了接近双端输出的电压增益。因本级采用复合管，提高了输入阻抗，这样使第一级的总负载电阻不至于明显地降低，于是保证了输入级能获得较高的电压增益。

复合管BG₄—BG₆集电极的静态电位比较高，若将这里输出的信号直接送到后面的放大级，则不能保证全电路在输入信号为零(静态)时，输出电压也为零。于是设置了BG₈、BG₉和R₇等组成的电平移动级，通过它们把静态电位降低到适当的程度，然后再和BG₁₂所组成的电压放大级相连接，这样方可保证在静

态时，电路的输出电压为零。

BG_{13} 、 BG_{14} 分别是PNP型和NPN型晶体管，它们组成末级对称互补推挽电路。两管基极之间没有设偏置，因此工作在乙类状态，输出信号从它们的发射极引出。

FC3 的电路采用正、负双电源供电方式（也可以采用单电源供电，后述），正电源（+15V）通过引出端“7”接入，负电源（-15V）从引出端“4”接入，输入信号从引出端“3”、“2”接入。“3”称为同相输入端，信号从这里输入，在输出端“6”得到同极性信号；“2”称为反相输入端，信号从这里输入，在“6”端得到反极性信号。究竟信号从哪个端子输入要根据需要而定，可以从同相端输入，也可以从反相端输入，也可以从两端作差动输入。端子“1”、“8”和“5”为相位补偿引出端，从这些端子外接阻容元件，可以防止电路自激。“9”、“10”、“11”是调零端，从这里外接调零电位器（有些使用场合无需接调零电位器，此时将三个端子连接在一起便可）。把电位器的滑动臂与“9”端相接，其余两臂与“10”、“11”端相接。调整电位器滑动臂，可以使电路达到“零输入时零输出”。

图1-2-2所示的电路，尽管是第一代产品，但作图也相当麻烦。我们在接线时所关心的是引出端，只要能分清各个引出端，就可以依图和外电路相连。所以集成运放在实际应用电路中，往往不必画出全电路，而画成如图1-2-3(a)所示的简化图。用一个三角形代表整个运算放大器，三角形左面的两个引出端子为输入端：“2”端注了“-”号，代表反相输入端；“3”端注了“+”号，代表同相输入端。三角形右面的顶点“6”表示输出端，上、下两边作为其他引出端的位置。图中标出的引出端编号，与图1-2-2完全对应。

在对复杂电路作图时，也常常只画出集成运放的输入端和

输出端，如图1-2-3(b)。这样作图更方便一些，但是应该知道，没标出的那些管脚并不是不用，而是作图省略了，外电路该怎么连接还是应该怎么连接，否则电路是不能工作的。

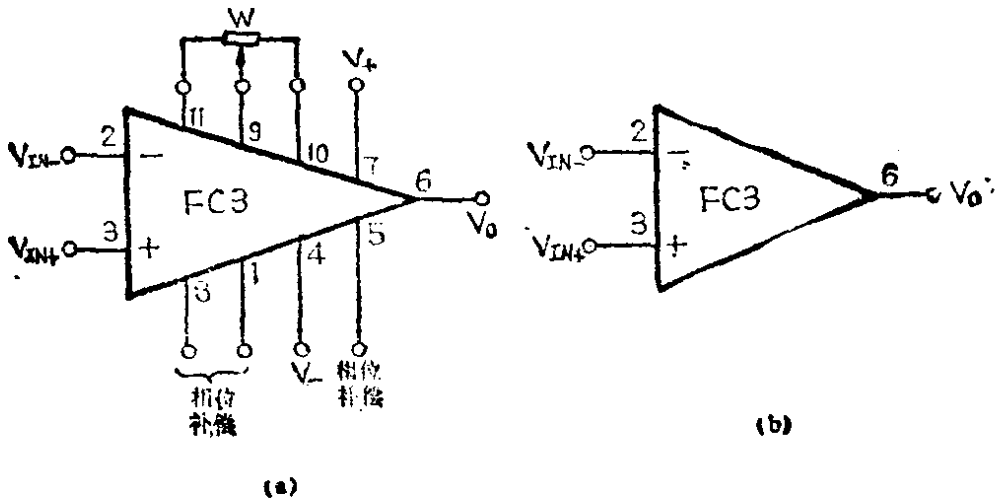


图1-2-3 FC3简化图

第三节 衡量运放块质量的技术指标

一、集成运放的参数

集成运放的参数也就是它的技术指标。

当我们用集成运放组装电路时，应该知道它的参数值。例如，当放大较大的信号时，要考虑它的共模和差模电压范围；当要获得大的输出幅度时，要考虑它的最大输出电压；当用于直流放大时，要考虑它的失调电压和失调电流等等。如果不管它的性能如何，顺手拿来就用，往往不能奏效，即使用了优等的运放块也收不到好的效果，甚至还容易把器件弄坏。

另外，集成运放的各项技术参数反映着它的质量，可以依其参数值来评价其性能的好坏。在选购时也是看其参数值是否