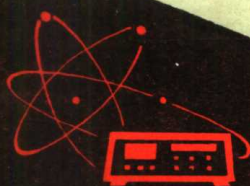


ichengyunsuanfangdaqishiyongdianlu



工业自动化

集成运算放大器实用电路

A

A

2.7 集
6

天津科学技术出版社

集成运算放大器实用电路

秦世才 钱其敬等编著

天津科学技术出版社

集成运算放大器实用电路

秦世才 钱其璈等编著

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷一厂印刷

天津市新华书店发行

*

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 9 1/2 字数 199,000

一九八一年十一月第一版

一九八一年十一月第一次印刷

印数: 1—19,000

统一书号: 15212·48 定价: 0.89元

前 言

集成运算放大器是1964年开始出现的一种线性集成电路。随着集成技术的不断发展,集成运算放大器也得到了迅速发展。与分立元件的运算放大器相比,它不但具有性能好、功耗低、体积小、可靠性高等优点,而且能大大减少电路设计、元件选配、组装调整等方面的繁琐劳动,因此可以提高劳动生产率。现在,集成运算放大器在自动控制、仪器仪表、计算技术、航天、通讯等众多的技术领域中都广泛应用。

我国集成运算放大器的发展也很快,品种系列基本配齐,而且业已形成一定的生产能力。因而,普及与提高工作是当务之急。为此,我们应天津科学技术出版社之约编写了这本《集成运算放大器实用电路》。

本书汇编了运算放大器的一些常用电路。我们先对每个电路进行了认真的实验,然后,将它们的工作原理、设计方法、调试步骤、实测结果和注意事项等一一作了分析整理。为了便于推广应用,实验中采用的都是国产通用型集成运算放大器。

全书共分九章:第一、二章是基础知识和应用原理,第三到第九章是实用电路,附录给出了国产集成运算放大器的电路图和参数规范。本书第一、二、七、八章及附录由秦世才编写,第三章由钱其璈编写,第四章由贾香鸾编写,第五

章由赵腊月编写，第六章由王朝英编写，第九章由乔月印编写。最后由钱其璥和秦世才对全书进行了审改和统编。

北京半导体器件六厂、北京无线电器件厂、上海元件五厂、上海无线电七厂、上海8331厂、襄樊仪表元件厂、大连晶体管厂、延河无线电厂、青岛半导体研究所、天津卫东半导体材料厂为我们提供了实验样管，给编写工作以大力支持，在此深表谢意。

由于水平所限，书中肯定有不少缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

一九八一年二月于南开大学

内 容 提 要

本书所汇编的集成运算放大器的一些常用电路，是通过大量实验总结出来的，实验所用的元、器件均系国产。书中首先简要地阐述了必要的基础知识，随后介绍了每个实验的工作原理、设计方法、调整步骤、实测结果和应用注意事项。本书内容简明扼要、脉络清晰、数据可靠、实用性强，是从事电子技术工作的科技人员、工人和大专院校师生的必备工具书。

目 录

第一章	基本知识	(1)
§ 1	集成运算放大器的定义、分类与封装	(1)
§ 2	集成运算放大器的主要参数及测试方法	(4)
§ 3	实际使用中的一些问题	(21)
§ 4	工艺筛选条件	(28)
第二章	应用原理	(29)
§ 1	理想运算放大器	(29)
§ 2	理想运算放大器的闭环特性	(30)
§ 3	实际运算放大器	(33)
§ 4	自激与补偿	(48)
第三章	比例放大电路	(59)
§ 1	反相比例放大器	(59)
§ 2	改进型反相比例放大器	(64)
§ 3	自举型高输入阻抗反相比例放大器	(67)
§ 4	同相比例放大器	(71)
§ 5	交流比例放大器	(74)
§ 6	两级交流放大器	(77)
§ 7	差动比例放大器	(80)
§ 8	同相串联型差动比例放大器	(85)
§ 9	同相并联型差动比例放大器	(89)
§ 10	高共模输入差动比例放大器	(91)
第四章	检波与限幅电路	(96)
§ 1	精密检波器	(96)

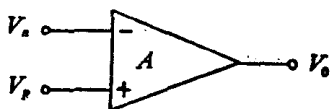
§ 2	绝对值电路	(100)
§ 3	任意值限幅器	(106)
§ 4	双向限幅器	(109)
§ 5	稳压管桥式限幅器	(112)
第五章	波形发生器	(118)
§ 1	文氏桥正弦波发生器	(118)
§ 2	正交振荡器	(125)
§ 3	固定频率方波发生器	(128)
§ 4	占空比调变范围大的方波发生器	(130)
§ 5	两个斜率都可变的三角波发生器	(133)
§ 6	用结型场效应管作恒流源的锯齿波发生器	(138)
§ 7	阶梯波发生器	(141)
第六章	稳压源与恒流源	(145)
§ 1	串联调整稳压电源的基本原理	(145)
§ 2	简单的稳压电源	(148)
§ 3	三端稳压电源	(149)
§ 4	输出电压及温度系数可调的稳压电源	(152)
§ 5	高压稳压电源	(156)
§ 6	负载接地的恒流源	(158)
§ 7	负载不接地的恒流源	(160)
§ 8	大电流恒流源	(163)
§ 9	可控双向恒流源	(165)
第七章	对数电路	(168)
§ 1	简单对数放大器	(168)
§ 2	由两个运算放大器组成的对数放大器	(178)
§ 3	简单反对数放大器	(183)
§ 4	由两个运算放大器组成的反对数放大器	(186)
§ 5	模拟乘除器	(192)

第八章	积分、微分电路	(202)
§ 1	简单积分器	(202)
§ 2	以场效应管为输入级的积分器	(214)
§ 3	高输入阻抗积分器	(216)
§ 4	求和积分器	(218)
§ 5	差动积分器	(220)
§ 6	微分器	(222)
§ 7	PID放大器	(229)
第九章	有源滤波器	(233)
§ 1	有源低通滤波器	(234)
§ 2	有源高通滤波器	(239)
§ 3	有源带通滤波器	(243)
§ 4	有源带阻滤波器 (陷波器)	(250)
〔附录 I〕	国产集成运算放大器的电路图及参数规范表	(265)
〔附录 II〕	集成运算放大器的典型特性曲线	(277)
〔附录 III〕	国内外同类产品型号对照表	(287)
〔附录 IV〕	国外主要生产厂家的产品型号表	(289)
参考文献		(291)

第一章 基本知识

§1 集成运算放大器的定义、分类与封装

运算放大器是一种高增益的直接耦合放大器。它有两个输入端和一个输出端，符号如图1·1所示。其中“+”代表



同相输入端，“-”代表反相输入端。

理想运算放大器的输入、

图 1·1 运算放大器的符号

输出满足下面的关系式：

$$V_o = G_{OL} (V_p - V_n) \quad (1.1)$$

其中 G_{OL} 是放大器的开环电压增益。

加上不同的外接反馈网络之后，运算放大器能实现多种电路功能，如加法器、减法器、积分器、微分器、滤波器、对数放大器、检波器、波形发生器、稳压源、稳流源和各种变换器等。可以说，运算放大器是应用最广、通用性最强的一种线性集成电路。

根据运算放大器的指标、特点和应用范围，可将它分为通用型和特殊型两大类。通用型的指标比较均衡全面，它适用于一般的电子线路；特殊型的指标大都有一项非常突出，它是为了满足某些专用的电路需要而设计的。

国产集成运算放大器的分类如下：

通用型	通用Ⅰ型(低增益)
	通用Ⅱ型(中增益)
	通用Ⅲ型(高增益)
特殊型	高精度型
	高阻抗型
	高速型
	高压型
	低功耗型
	功率型

通用型和高精度型运算放大器的参数规范列于附录 I 中。

国产集成运算放大器主要有金属圆壳封装和双列直插封装两种封装形式。从管脚数目来分,有八脚、十脚、十二脚和十四脚四种。

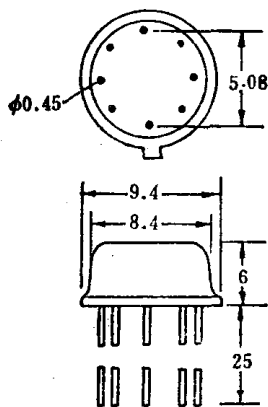


图 1.2 金属圆壳封装

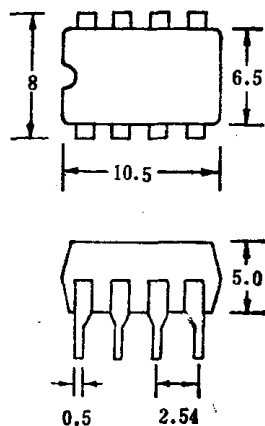


图 1.3 双列直插封装

图1·2和1·3分别给出八脚圆壳封装和双列直插封装的外形图。

运算放大器的引出端有同相输入端、反相输入端、输出端、正电源、负电源、补偿端、调零端，有的还有接地端、偏置端等，前五个是主要引出端。

根据部颁标准，我国集成运算放大器主要引出端的排列规则如下：

外 引 线 数	主 要 引 出 端 排 列				
	反相输入	同相输入	负 电 源	输 出	正 电 源
八 脚	2	3	4	6	7
十 脚	3	4	5	7	8
十 二 脚	4	5	6	8	9
十 四 脚	4	5	6	10	11

一般八条引线以下的管心采用八脚管座；九、十条引线的采用十脚管座；十一条、十二条引线的采用十二脚管座。双列直插式封装的管脚分布如图1·4所示。

应该注意，现在在国内实际生产的运算放大器的管脚排列并不都符合上述规则，使用者可参阅书末所附的电路图

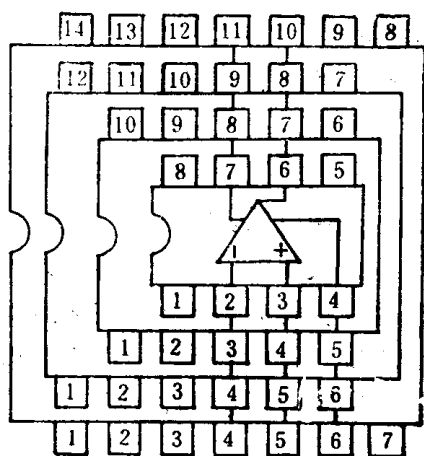


图 1·4 管脚分布图

或生产厂提供的产品说明书。

§2 集成运算放大器的主要 参数及测试方法

集成运算放大器的参数很多，这里只对一些主要参数予以介绍。参数的定义和测试方法均以一九七六年厦门会议上制定的标准为依据。关于测试原理，可参阅〔5〕及其它有关文献。

为了简单起见，在测试电路中不画供电电源和频率补偿网络。所用的辅助放大器应满足下列要求：

开环电压增益大于60分贝；

输出电压幅度足够大；

共模输入电压范围不低于被测放大器的输出电压。

测试电路中电阻的精度一般应优于0.5%，有特殊要求者另加注明。

一、输入失调电压 V_{os}

【定义】 在运算放大器的输入端外加一直流补偿电压，使放大器的输出端为零电位，则所加的补偿电压值即等于输入失调电压。

输入失调电压主要是由放大器输入级的失配引起的。以双极型晶体管为输入级的集成运算放大器， V_{os} 一般在 ± 5 mV以内，而以MOS场效应管为输入级的放大器， V_{os} 在 ± 50 mV以内。输入失调电压是温度的函数，双极型运算放大器的输入失调电压的温度漂移与 V_{os} 本身的大小成正比，且可用下式来近似估算：

$$\frac{\partial V_{os}}{\partial T} = \frac{V_{os}}{T} \quad (1.2)$$

在室温下, $T = 298^\circ\text{K}$ (25°C), 每毫伏失调电压引起的温漂为 $3.3\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。实用时可取

$$\frac{\partial V_{os}}{\partial T} = (0.003 \sim 0.004) V_{os}$$

【测试方法一】 测试电路如图1.5所示。测试时, 先接入被测放大器 (AUT), 再测量其输出端的直流电压 V_o , 则 V_{os} 可由下式求得:

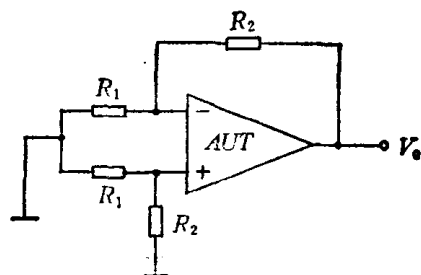


图 1.5 V_{os} 的测试电路

$$V_{os} = V_o / \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (1.3)$$

为了避免输入失调电流引进测量误差, 必须使输入失调电流在电阻上产生的电压远小于 V_{os} , 即应保证

$$I_{os} (R_1 \parallel R_2) \ll V_{os}$$

由于实际运算放大器的输出电压摆幅是有限值, 所以由 (1.3) 式知, R_2 与 R_1 之比越大, 则 V_{os} 的测量范围 越小。

例如, 设放大器的最大输出幅度 $V_{OM} = \pm 13\text{V}$, 若取 $\frac{R_2}{R_1} =$

1000, 则 V_{os} 的最大测量范围为 $\pm 13\text{mV}$; 若取 $\frac{R_2}{R_1} = 100$, 则测量范围为 $\pm 130\text{mV}$ 。

【测试方法二】 测试电路如图1·6所示。其中 AUT 是被测放大器, A_1 是辅助放大器。如果把被测放大器与辅助放大器合起来作为一个组合放大器来看, 则图1·6和图1·5并无异处。 V_{os} 的测量公式及测试条件也与方法一相同。因为辅

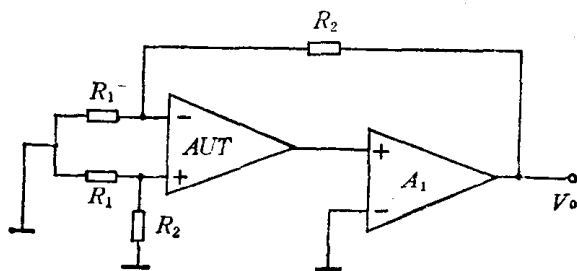


图 1·6 V_{os} 的测试电路

助放大器的输入失调电压反映到被测放大器的输入端后要除以被测放大器的开环增益, 所以完全可以忽略不计。这样组合放大器的输入失调电压就是被测放大器的输入失调电压。

二、输入失调电流 I_{os}

【定义】 当输入讯号为零时, 运算放大器二输入端静态输入电流之差叫输入失调电流。严格来讲, 输入失调电流是在运算放大器的输出直流电平为零的情况下定义的, 但实际上输出电平对 I_{os} 的影响极小, 所以这个条件也可不提。

输入失调电流是由放大器输入级的失配引起的, 且随温度的变化而变化。双极型运算放大器输入失调电流随温度的变化规律可近似由下式表示:

$$\frac{\partial I_{OS}}{\partial T} = C' I_{OS}$$

$$C = \begin{cases} -0.005/^{\circ}\text{C} & (T > 25^{\circ}\text{C}) \\ -0.015/^{\circ}\text{C} & (T < 25^{\circ}\text{C}) \end{cases} \quad (1.4)$$

【测试方法一】 测试电路如图1.7所示。其中AUT是被测放大器， A_1 是辅助放大器。

测试时，插上被测放大器，将 K_1 、 K_2 闭合，在辅助放

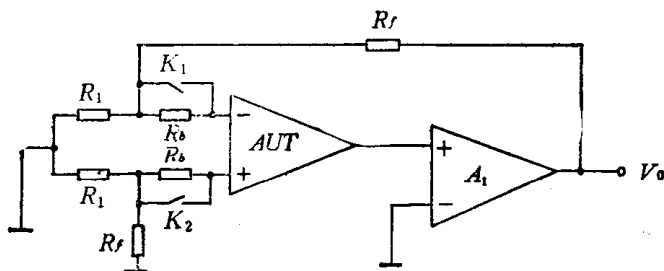


图 1.7 I_{OS} 的测试电路

大器的输出端读取输出电压 V_{o1} ；再将 K_1 、 K_2 打开，测量 A_1 的输出电压 V_{o2} ，则 I_{OS} 由下式求得：

$$I_{OS} = \frac{V_{o2} - V_{o1}}{R_b} \frac{R_1}{R_1 + R_f} \quad (1.5)$$

两个电阻 R_b 的匹配程度将直接影响测量精度。可以证明〔5〕，当二者的失配量为 ΔR_b 时，由此引进的相对测量误差为：

$$\delta = \pm \frac{I_{iB}}{I_{OS}} \frac{\Delta R_b}{R_b}$$

其中 I_{iB} 是被测放大器的输入偏置电流。

【测试方法二】 测试电路如图1.8所示。当开环电压

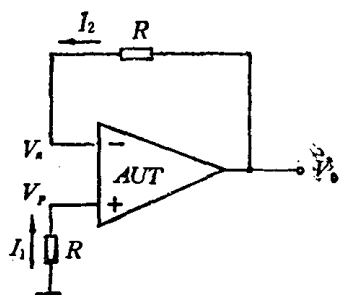


图 1·8 I_{os} 测试电路

电阻 R 必须满足下式:

$$I_{os} R \gg V_{os}$$

三、输入偏置电流 I_{iB}

【定义】 当输入讯号为零时，运算放大器二输入端静态输入电流的平均值叫输入偏置电流，以符号 I_{iB} 表示。同样，输入偏置电流也是在输出电平为零的条件下定义的，但是实际上这个条件的影响极小，可以不提。

双极型运算放大器的 I_{iB} 是二输入管的基极电流的平均值，而以结型或 MOS 型场效应管为输入级的运算放大器， I_{iB} 是二输入管栅流的平均值。 I_{iB} 与放大器的输入阻抗直接相关， I_{iB} 越小，输入阻抗越高。双极型运算放大器的 I_{iB} 从几微安到几个毫微安，而以 MOS 型场效应管为输入级的运算放大器的 I_{iB} 可低至微微安级。

输入偏置电流也是温度的函数。双极型放大器的 I_{iB} 随着温度的升高而下降，其规律与 I_{os} 相似，即

$$\frac{\partial I_{iB}}{\partial T} = C I_{iB}$$

增益很大时，由 (1·1) 式知，
 $V_n \doteq V_{P_0}$ 。又因 $V_P = -I_1 R$ ，
 $V_n = V_0 - I_2 R$ ，所以图 1·8
 的输出电压为：

$$V_0 = I_2 R - I_1 R = I_{os} R$$

得到

$$I_{os} = \frac{V_0}{R} \quad (1.6)$$