



集成电路应用丛书

李兆亮
王兴乃
张文卿
胡国宝
编

集成运算放大器 应用电路实验

电子工业出版社

集成电路应用丛书

集成运算放大器应用电路实验

王兴乃 李兆亮
 编
张文卿 胡国宝

电子工业出版社

内 容 简 介

本书共列出38个实验、4个附录。实验1~4是用简易的方法测量集成运放的几个重要参数；实验5~15是各种基本的集成运放放大器电路；实验16~28是一些转换器和模拟运算电路；实验29~32是正弦和非正弦波发生器；实验33~38是滤波器电路。

为便于查阅，附录中列出了集成运放的参数定义、常用集成运放的参数规范、国外常用集成运放和集成运放国内外型号对照表。

本书可使具有高中文化水平以上的并无电子专业知识基础的读者能在其简单的实践中学会使用集成运放和设计应用电路。

集成电路应用丛书 集成运算放大器应用电路实验

王兴乃 李兆亮 编
张文卿 胡国宝

责任编辑 郭延龄

※

电子工业出版社出版（北京市万寿路）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
人民卫生出版社印刷厂印刷

※

开本：787×1092 1/32毫米 印张：6.625 字数146千字

1986年1月第1版 1986年2月第1次印刷

印数：0—5800册 定价：1.40元

统一书号：15290·165

前 言

随着中规模、大规模集成电路的发展，模拟和数字电子技术已渗入日常生活和国民经济的各个领域。集成运算放大器（简称集成运放）就是模拟集成电路中最为重要和应用最广的集成电路。

集成运放是指集成在单个硅片上的高增益直流放大器，它能够在从直流到几兆赫的频率范围内进行放大、控制或产生正弦和非正弦波；能够进行加减乘除、积分和微分等所有模拟运算。由于它具有强有力的通用性和灵活性，因而在控制系统、调整系统、通信系统、信号处理、测试仪表和模拟运算等种种领域中成为必不可少的电子器件。

我国自1965年研制出第一块集成电路以来，集成运放也象其他集成电路一样，产品的数量和品种蓬勃发展，在工程技术领域中的应用也日见广泛。从1982年开始，我国采用国际上通用技术标准，集成运放产品的线路结构、参数规范、管脚排列将完全与国外运放一致。目前除通用Ⅰ型（低增益）、通用Ⅱ型（中增益）、通用Ⅲ型（高增益）集成运放已普及应用外，低功耗型、高速型、高精度型、高压型、高输入阻抗型、单电源型等专用型集成运放也日益普及。1983年以来我国又研制成功低漂移运放器件、电流型四运放、跨导型和跨导可编程功率运放等新型器件，使我国集成运放的生产和应用突飞猛进。

随着我国集成运放的生产和应用的发展，广泛工程技术

人员、教师和学生都产生了迫切想学习、使用和设计集成运放电路的愿望。《集成运放应用电路实验》一书的编写目的，就是为具有高中文化水平以上的并无电子专业知识基础的读者能在甚为简单的实践中学会使用集成运放和设计应用电路。

本书共列出38个实验，书末有4个附录。实验1~4是用简易的方法测量集成运放的几个重要参数；实验5~15是各种基本的集成运放放大器电路；实验16~28是一些转换器和模拟运算电路；实验29~32是正弦和非正弦波发生器电路；实验33~38是滤波器电路。安排这些实验及其先后次序，是根据以下几个原则：（1）照顾到知识覆盖面，尽可能掌握集成运放的各种应用电路，尽可能熟悉不同类别不同型号的集成运放；（2）照顾到知识循序渐进，力求从简易的电路进到复杂的电路，力求从基本的概念引伸出抽象的设计方法；（3）照顾到知识水准，避免过多的数学公式，争取从实验结果中得出结论。

本书各实验所列的集成运放均属国产。其中有些是老型号，这是考虑到用户手头上不乏这些型号的集成运放的缘故；也有一些是国内才开始生产的新型集成运放，对它们读者可能是很生疏的。

为了便于查阅，附录中列出了集成运放的参数定义、常用集成运放的参数规范、国外常用集成运放和集成运放国内外型号对照表。

目 录

实验 1	测量输入失调电压 V_{IO}	1
实验 2	测量输入偏置电流 I_{IB}	4
实验 3	测量开环差动电压增益 A_{VD}	6
实验 4	测量共模抑制比 $CMRR$	9
实验 5	反相电压放大器	12
实验 6	同相电压放大器	17
实验 7	电压跟随器	23
实验 8	测量反相电压放大器的输入电阻和输出电阻	26
实验 9	测量同相电压放大器的带宽	30
实验 10	交流耦合低频放大器	34
实验 11	压缩电压放大器	38
实验 12	放大器的噪声	43
实验 13	高输入阻抗电压放大器	47
实验 14	电流源	51
实验 15	√ 电流-电压变换器	55
实验 16	加法器	59
实验 17	差动放大器和减法器	64
实验 18	对数放大器	67
实验 19	有源箝位器	72
实验 20	有源整流器	76
实验 21	线性全波整流器	80
实验 22	峰值检波器	83

实验23	积分器.....	88
实验24	微分器.....	93
实验25	集成运放的单电源运用.....	97
实验26	单电源集成运放.....	101
实验27	电流型单电源集成运放.....	101
实验28	文氏电桥振荡器.....	109
实验29	电压比较器.....	113
实验30	施密特触发器.....	117
实验31	方波发生器.....	121
实验32	锯齿波发生器.....	121
实验33	一阶有源低通滤波器.....	128
实验34	一阶有源高通滤波器.....	133
实验35	可变状态带通滤波器.....	138
实验36	双T带阻滤波器.....	142
实验37	跨导型集成运放.....	146
实验38	跨导型可编程功率集成运放.....	150
附录1	运算放大器的参数.....	154
附录2	常用集成运放的参数规范.....	157
附录3	集成运放国内外型号对照表.....	193
附录4	国外集成运放参数规范.....	196

实验 1 测量输入失调电压 V_{IO}

目的 熟悉集成运放的重要参数输入失调电压 V_{IO} ，并学会用简易的方法来测量。

器材 通用Ⅱ型（中增益）集成运放5G23 1块
电阻器（精密，0.5%，1/4W） 5.1k Ω 2只
51 Ω 2只
伏特表（直流，0~15V） 1只
电源（ $\pm 15V$ ，50mA） 1台

基础知识

理想的集成运放，当输入电压为零时，输出电压也为零。但实际集成运放的第一级是差动输入级，在工艺上很难做到完全对称。由于差动管对的不完全一致，通常在输入电压为零时，存在一个输出电压，这个输出电压且随温度的变化而漂移。在室温（25℃）及标准电源电压下，为了使集成运放的输出电压为零，在输入端加的补偿电压叫做失调电压 V_{IO} 。 V_{IO} 越大，说明电路对称程度越差。

本实验所用的集成运放是5G23，属于通用Ⅱ型，即中增益的通用型运放。5G23的管脚排列图及参数规范表见附录2-2，它的 V_{IO} 的部标参数规范为：规范A $\leq 8\text{mV}$ ；规范B $\leq 5\text{mV}$ ；规范C $\leq 2\text{mV}$ 。

如图1-1，本实验采用闭环的方法进行测量，这电路的原理、元件值和有关的计算公式都可参看实验6。测 V_{IO} 所用的公式是闭环电压放大倍数

$$\frac{V_o}{V_{io}} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (1)$$

式中电压放大倍数 $1 + R_f/R_1 = 1 + 5100/51 = 101 \approx 100$ 。由于电路的两个输入端都接地，故无输入信号电压，但如果用伏特计接在输出端（脚 6）和地之间，可测出一个输出电压 V_o ，这个 V_o 是输出端的失调电压，在本实验中约为 $0.2 \sim 0.8 \text{ V}$ 。测出 V_o 后，用式（1）算得的 V_{io} 即为输入失调电压。

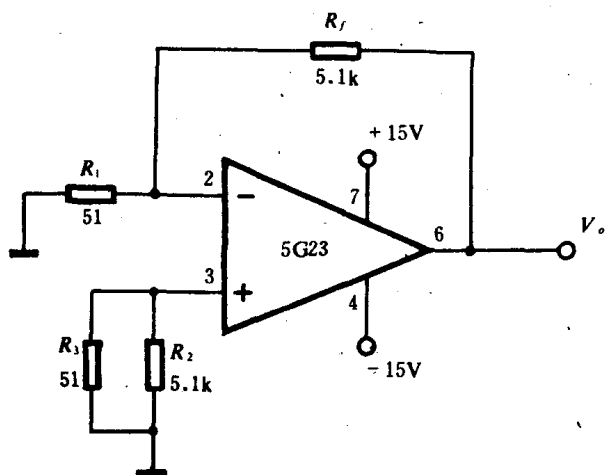


图 1-1 V_{io} 测量电路

步骤

(1) 如图 1-1 连接电路。从两个输入端看，外接电阻是对称的 ($R_1 = R_3$, $R_2 = R_f$)。本实验要求外接电阻有严格的对称性，故采用作精密测量用精密电阻器，阻值允许偏差 $\pm 0.5\%$ 。

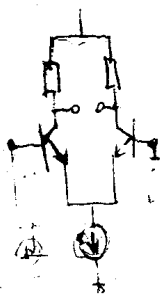
(2) 把伏特表接在输出端 (脚 6) 与地之间，测出输出电压 V_o ，这 V_o 是未加输入信号电压时输出端的失调电压。

(3) 在测得 V_o 后，用下列公式求输入失调电压 V_{io}

$$V_{io} = \frac{V_o}{1 + R_f/R_1}$$

式中 $R_f = 5.1\text{k}\Omega$, $R_1 = 51\Omega$, $1 + R_f/R_1 \approx 100$ 。

(4) 将 V_{io} 的测量值与部标参数规范相对照， V_{io} 应该为几个 mV 。



实验 2 测量输入偏置电流 I_{IB}

目的 熟悉集成运放的重要参数输入偏置电流 I_{IB} ，并学会用简易的方法来测量。

器材	通用Ⅲ型（高增益）集成运放F007	1 块
	电阻器（金属膜，5%，1/4W）	100k Ω 2 只
	微安表（0 ~ 1 μ A）	1 只
	电源（ ± 15 V，50mA）	1 台

基础知识

集成运放的两个输入端，或则是双极型晶体管的基极，或则是场效应晶体管的栅极。输入偏置电流 I_{IB} 是指在没有输入信号时，流入双极型晶体管的基极电流或场效应晶体管的栅极漏电流，一般规定为流入两个输入端的输入偏置电流之和的一半。 I_{IB} 的大小主要取决于输入级晶体管的类别和质量，要求 I_{IB} 越小越好。 I_{IB} 越小，信号源内阻变化引起的电压变化越小，集成运放的运算误差也就越小，因此 I_{IB} 是一个重要参数。

本实验所用的集成运放是通用Ⅲ型F007，也就是属于高增益的通用型运放。F007 的管脚排列图、内部原理线路和参数规范表见附录 2-4，它的 I_{IB} 的部标参数规范为：规范 A $\leq 0.3\mu$ A，规范 B $\leq 0.2\mu$ A，规范 C $\leq 0.1\mu$ A。

在图 2-1 中，集成运放 F007 的两个输入端串联电阻后接在一起，再串联微安表后接地。微安表的读数是无输入信号电压时流入两个输入端的偏置电流之和， I_{IB} 是这个读数的

一半。

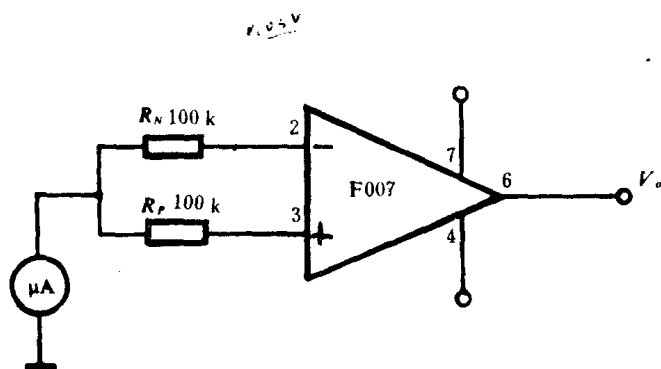


图 2-1 I_{IB} 测量电路

步骤

- (1) 如图 2-1 连接电路。集成运放处于开环状态。
- (2) 由输入电路中的微安表读出总偏置电流，这电流是流入两输入端的偏置电流之和，在本实验中约为 $0.2 \sim 0.6 \mu A$ 。
- (3) 将微安表的读数除以 2，即求得 I_{IB} 。
- (4) 将 I_{IB} 的测量值与部标参数规范相对照。

实验 3 测量开环差动电压增益 A_{VD}

目的 熟悉集成运放的重要参数开环差动电压增益 A_{VD} ，并用简易方法来测量。

器材	通用 I 型（低增益）集成运放 F001	1 块
	电阻器（精密，0.5%，1/4W）	120k Ω 1 只
		60k Ω 1 只
	电位器（线绕，1W）	200 Ω 1 只
		10k Ω 1 只
	单刀双掷开关	1 只
	数字万用表	1 只
	电源（+12V，-6V，50mA）	1 台

基础知识

把输入信号电压加在集成运放的两个输入端之间，称为差模输入。当未接反馈电路（开环）时，集成运放的输出电压与直流差模输入电压之比，称为开环差动电压增益 A_{VD} 。集成运放的 A_{VD} 很大，高增益运放的 A_{VD} 有高达 10^7 (140dB) 的。

本实验所用的 F001 属于通用 I 型，即低增益的通用运放。F001 的管脚排列图、内部原理线路和参数规范表可参见附录 2-1，它的 A_{VD} 的部标参数规范为：规范 A ≥ 60 dB，规范 B ≥ 66 dB，规范 C ≥ 66 dB。

在图 3-1 中，电位器 R_{w1} 作调零用，电阻器 R_1 、电位器 R_{w2} 和电阻器 R_2 作分压用。单刀双掷开关掷向位置“1”时，

F001 的两个输入端都接地，输入信号电压为零；掷向位置“II”时，毫伏级的直流差模输入电压加于 F001 的两个输入端。

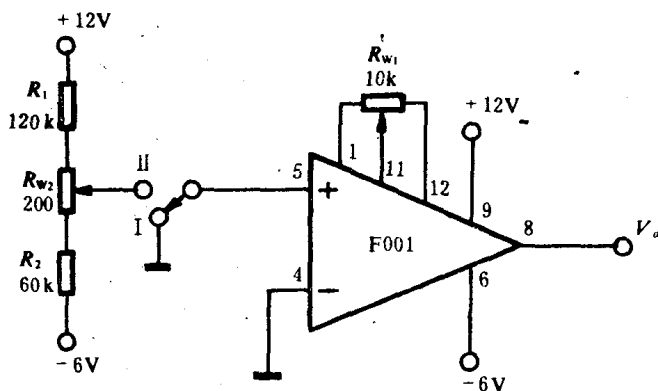


图 3 - 1 A_{VD} 测量电路

步骤

- (1) 如图 3 - 1 连接电路，运放 F001 处于开环状态。
- (2) 先将单刀双掷开关掷向位置 I，使 F001 的两个输入端（脚 5 和 4）都接地，这时无输入信号，但输出电压不为零。
- (3) 用数字万用表的电压挡（直流，0 ~ 10 V）测 F001 的输出电压（电压表接在脚 8 与地之间），调节调零电位器 R_{w1} ，使输出电压为零。为保证输出电压为零，应逐次使直流电压挡的量程减小，同时逐次调节 R_{w1} 。

(4) 将单刀双掷开关掷向位置 II, 微微拧动电位器 R_{w_2} 的滑动触头, 使输出端的电压表有明显的读数。但注意不要使输出电压超过 $\pm 4\text{ V}$ 。这是 F001 的最大输出电压幅度。记录输出电压 V_o 。

(5) R_{w_2} 的状态不变, 将万用表的电压挡从输出端移至输入端 (脚 5 和地之间), 测量对应的输入电压 V_i 。由于 V_i 是毫伏量级, 故应该采用电压挡的最小量程。

(6) 从测得的 V_o 和 V_i , 按下式求出开环差动电压增益 A_{VD} , 并与部标参数规范相对照。

$$A_{VD} = 20 \log \frac{V_o}{V_i} \quad (\text{dB})$$

实验 4 测量共模抑制比 $CMRR$

目的 熟悉集成运放的重要参数共模抑制比 $CMRR$ ，并学会用简易的方法来测量。

器材	通用 II 型（中增益）集成运放 BG305	1 块
	电阻器（精密， $< 1\%$ ， $1/4W$ ）	100k Ω 3 只
		1k Ω 2 只
	电容器（金属化纸介，10%，20V）	1 μF 1 只
	低频信号发生器	1 台
	示波器（单踪单扫描）	1 台
	电源（ $\pm 15V$ ，50mA）	1 台

基础知识

把输入信号电压加在集成运放的两个输入端之间，称为差模输入；把大小相等、极性相同的输入信号电压加在集成运放两输入端上，称为共模输入。运放对差模输入电压的放大倍数 A_{vd} 与共模输入电压的放大倍数 A_{vc} 之比，叫做共模抑制比 $CMRR$ （或用符号 ρ 表示）。共模抑制能力越强，集成运放性能越好。

本实验所用的 BG305 是我国早期产品，有外接元件多等缺点，但用户广泛，为大家所熟悉。BG305 的 $CMRR$ 的部标参数规范为：规范 A < 60 ；规范 B < 70 ；规范 C < 70 ；规范 D < 80 ；规范 E < 80 。

BG305 的管脚排列图、内部原理线路和参数规范表见附录 2-3。

如图 4-1, 采用闭环方法进行测量。根据图中元件的数值, 差模输入电压放大倍数是已知的, 不需测量, 为 $A_{VD} = R_f/R_1 = 100\text{k}/1\text{k} = 100$ 。其原理和公式来由可参考实验 5。如图所要测量的仅是共模输入电压放大倍数 A_{VC} , 然后根据定义求出 $CMRR$ 。图中信号源提供的信号以同等的大小和相同的相位加到两个输入端 (脚 1 和 2) 上, 形成共模输入, 用示波器分别测量输出电压和输入电压, 就可求出 A_{VC} 。

步骤

(1) 如图 4-1 连接电路。

(2) 调节信号发生器, 使输出峰-峰电压 V_{PP} 为 1V、频率为 1000Hz 的正弦波信号。注意信号电压不要超过共模输入电压范围 V_{ICR} , 如 BG305 的 V_{ICR} 的规范 A 为 $\pm 2\text{V}$ 。

(3) 用示波器测量输出电压 V_o 和输入电压 V_i 。测 V_o 时将示波器的 Y 输入端接运放的输出端 (脚 9), 测 V_i 时 Y 输入端接运放的输入端 (脚 1 或 2)。示波器的另一输入端接地。

(4) 测得 V_o 和 V_i 后, 按下式计算共模输入电压放大倍数 A_{VC} 。

$$A_{VC} = \frac{V_o}{V_i}$$

(5) 用已知的 A_{VD} 和测得的 A_{VC} , 按下式计算共模抑制比 $CMRR$, 并与部标规范对比。

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_{VD}}{A_{VC}} \right| \quad (\text{dB})$$