

做中学

ADWIN

电子电路



〔日〕ADWIN株式会社 著 科创编辑部 译

运算放大器



科学出版社

做中学 电子电路

运算放大器

[日] ADWIN株式会社 著

科创编辑部 译



科学出版社

北京

图字：01-2018-7980号

内 容 简 介

本书是“做中学电子电路”系列教材的第三本，旨在引导读者通过电路制作、实验边做边学，在短时间内掌握电路基础知识。

全书分为18个学习实验步骤，主要讲解运算放大器及用其构成的同相放大器、反相放大器、加法器、减法器、电压跟随器、比较器、微分电路、积分电路，以及三角波/方波振荡器、非稳态/单稳态振荡器、相移振荡器、限幅器等。

本书可用作本科和高职高专院校的电子技术专业教材，也可用作科技教育、创客教育培训教材。

All rights reserved.

Originally published in Japan by ADWIN Corporation.

Chinese (in simplified character only) translation rights arranged with ADWIN Corporation.

キットで遊ぼう電子回路 No.8: オペアンプ入門 978-4903272825

图书在版编目 (CIP) 数据

做中学电子电路：运算放大器 / (日) ADWIN株式会社著；科创编辑部译. —北京：科学出版社，2019.1

ISBN 978-7-03-059647-5

I. 做… II. ①A… ②科… III. 运算放大器 IV. TN7

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第260749号

责任编辑：喻永光 杨 凯 / 责任制作：魏 谨

责任印制：张克忠 / 封面制作：张 凌

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

三河市春园印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本：787 × 1092 1/16

2019年1月第一次印刷 印张：9 1/4

字数：140 000

定价：78.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前 言

本书是为运算放大器初学者准备的，旨在帮助读者更好地理解运算放大器的制作和基本原理。

要理解运算放大器，在分析电路图的同时进行实物制作很重要。为了便于在分析电路图的同时快速制作运算放大器，要提前配备所需的电子元器件。

要想学好电子电路，最好自己动手进行实验并仔细观察，以加深对运算放大器的理解。

本书只讲解了运算放大器的基本形式，对初学者来说，可能会遇到波形不一样的问题。这时应注意每个学习实验步骤的解说，特别是要点和数学公式的推导。

也可以跳过解说。读完整本书之后再回过头来阅读解说，可以加深对运算放大器的理解。

重点是要理解理论知识和实验结果的一致性，这样才能真正掌握电子电路的知识，加强自身的应用设计能力。

在运算放大器的实验中，观察波形是必不可少的。因此，**必须预先准备示波器**。

为了便于初学者操作，实验使用的是低频信号，几乎可以用所有型号的示波器进行观测。

另外，还要尽可能准备信号发生器（信号发生器，函数发生器）。

实验板上准备了正弦波振荡器和方波振荡器。在没有信号发生器的情况下，请使用该信号源。

ADWIN 株式会社 董事长

答岛一成



录

学习准备	1
学习方法	10
STEP 01 认识运算放大器	11
STEP 02 反相放大器	20
STEP 03 同相放大器	33
STEP 04 加法器	40
STEP 05 减法器	48
STEP 06 电压跟随器	57
STEP 07 比较器（非迟滞）	61
STEP 08 迟滞比较器	68
STEP 09 微分电路	81
STEP 10 积分电路	93
STEP 11 振荡电路	101
STEP 12 三角波 / 方波振荡器	103
STEP 13 非稳态多谐振荡器	109
STEP 14 单稳态多谐振荡器	116
STEP 15 相移振荡器	122
STEP 16 限幅器	129
STEP 17 附录 1 正弦波振荡器	136
STEP 18 附录 2 方波振荡器	140

学习准备

要准备的电子元器件可分为两种，一种不需要焊接到实验板上，另一种需要焊接到实验板上。这两种元器件最好分装到两个袋子，不要混淆。



除了以上两种电子元器件，还要准备如下配件。

实物	名称	数量
	DC15V 适配器	1
	实验板	1
	线材	10

不需要焊接的元器件

实物	名称	参数	型号	数量
	运算放大器		NJM4558	2
	电阻器	680	1/4W	1
	电阻器	2.2k	1/4W	1
	电阻器	6.8k	1/4W	3
	电阻器	10k	1/4W	2
	电阻器	22k	1/4W	3
	电阻器	27k	1/4W	1
	电阻器	33k	1/4W	2
	电阻器	47k	1/4W	1
	电阻器	68k	1/4W	1
	电阻器	330k	1/4W	1
	电阻器	1M	1/4W	1
	薄膜电容器	0.012 μ		3
	薄膜电容器	0.033 μ		1
	整流二极管		1N4148	2

电阻器



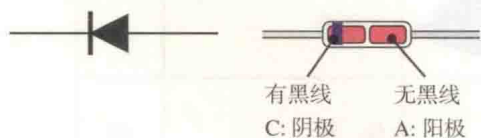
阻值可以通过外表印刷的色环区分。
无极性。

薄膜电容器



外表印刷有“123K”，则电容值为 0.012 μ F。
外表印刷有“333K”，则电容值为 0.033 μ F。
无极性。

整流二极管



有极性，电流只从阳极流向阴极。
电流的方向和电路符号中的箭头方向相同。

整流二极管和稳压二极管可以通过外表印刷的型号进行区分，整流二极管上印刷的型号为 1N4148，稳压二极管上印刷有“2A2”“7A3”。

需要焊接的元器件

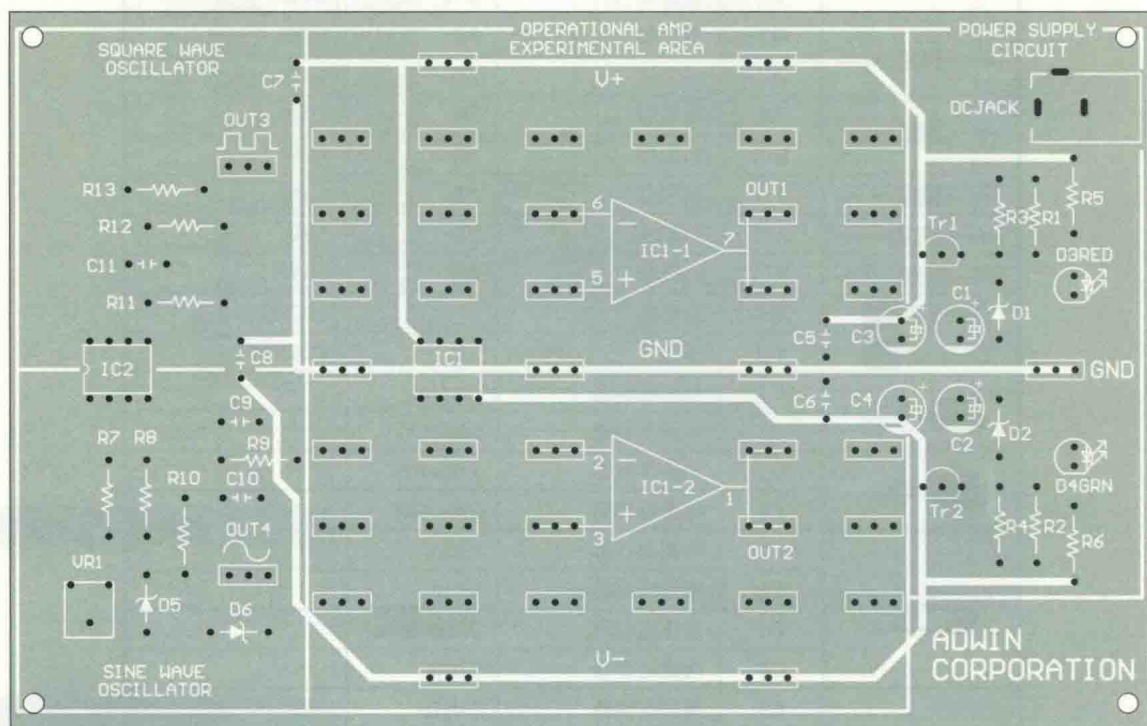
实物	位号	名称	参数	数量
	R1	电阻器	1k	1/4W
	R2	电阻器	1k	1/4W
	R3	电阻器	470	1/4W
	R4	电阻器	470	1/4W
	R5	电阻器	2.7k	1/4W
	R6	电阻器	2.7k	1/4W
	R7	电阻器	22k	1/4W
	R8	电阻器	22k	1/4W
	R9	电阻器	18k	1/4W
	R10	电阻器	18k	1/4W
	R11	电阻器	10k	1/4W
	R12	电阻器	22k	1/4W
	R13	电阻器	68k	1/4W
	Tr1	晶体管		2SC1815GR
	Tr2	晶体管		2SA1015GR
	C1	电解电容器	22 μ /16V	
	C2	电解电容器	22 μ /16V	
	C3	电解电容器	220 μ /16V	
	C4	电解电容器	220 μ /16V	
	C5	陶瓷电容器	0.01 μ	
	C6	陶瓷电容器	0.01 μ	
	C7	陶瓷电容器	0.01 μ	
	C8	陶瓷电容器	0.01 μ	
	C9	薄膜电容器	0.012 μ	
	C10	薄膜电容器	0.012 μ	
	C11	薄膜电容器	0.012 μ	
 (引脚短)	D1	稳压二极管		HZ7A3
	D2	稳压二极管		HZ7A3
	D3 RED	红色 LED		
	D4 GRN	绿色 LED		
 (引脚长)	D5	稳压二极管		HZ2A2
	D6	稳压二极管		HZ2A2
	VR1	半固定电阻器	20k	
	DC JACK	DC 插座		
	IC1	IC 插座		
	IC2	IC 插座		
		圆孔排母		3 位 \times 42 组

稳压二极管 HZ7A3 和 HZ2A2 难以区分, 建议备货时将 HZ7A3 的引脚剪去一半。

实验板的组装

根据需要焊接的元器件位号和实验板上的焊盘图，插上元器件并进行焊接。

例如，位号为 R1 的电阻器从实验板印有位号的一面（正面）插入，并从背面进行焊接。完成焊接后，用斜口钳剪去多余的引脚。



建议先焊接较低的元器件。焊接顺序如下：

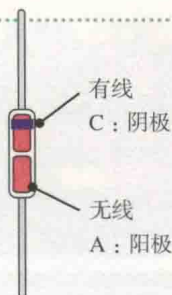
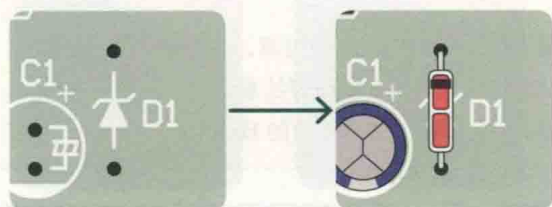
- ① 圆孔排母；
- ② 电阻器，稳压二极管；
- ③ IC 插座，半固定电阻器，DC 插座（无法弯曲引脚进行预固定，所以要先焊接）；
- ④ 陶瓷电容器，薄膜电容器，晶体管；
- ⑤ 电解电容器，LED。

红色文字部分的元器件有极性，千万不要弄错引脚方向。

半固定电阻器和 DC 插座也有极性，但是其引脚配置决定了，插入实验板时极性不会弄错。

有极性的元器件

稳压二极管

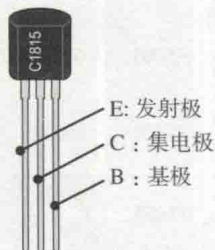
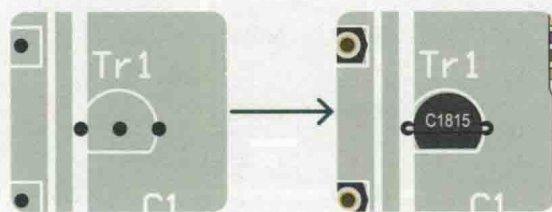


具备电流只能从阳极流向阴极的特性。

HZ7A3 : 引脚较短
HZ2A2 : 引脚较长

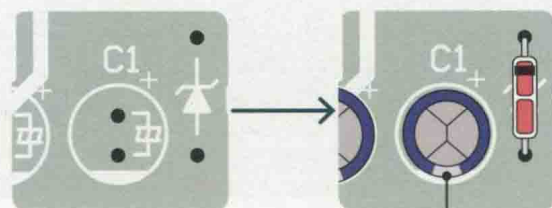
因为稳压二极管 HZ7A3 和 HZ2A2 难以区分，建议备货时将 HZ7A3 的引脚剪去一半。

晶体管



A1015 也有极性。
请注意，不要将 C1815 和 A1015 混淆。

电解电容



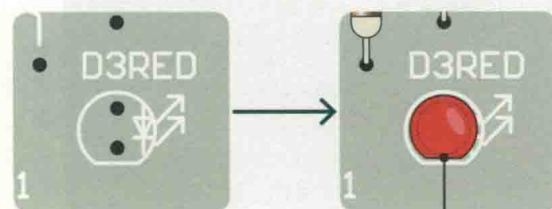
外表印有“-”号
- : 负极



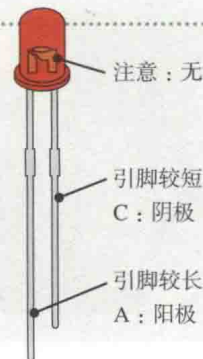
实验板需要安装 22 μ F 和 220 μ F 两种容量的电容器。容量一般印在外表。

组装实验板时，请不要弄错容量。

LED



一部分是平的
C : 阴极



具备电流只能从阳极流向阴极的特性。

实验板的制作

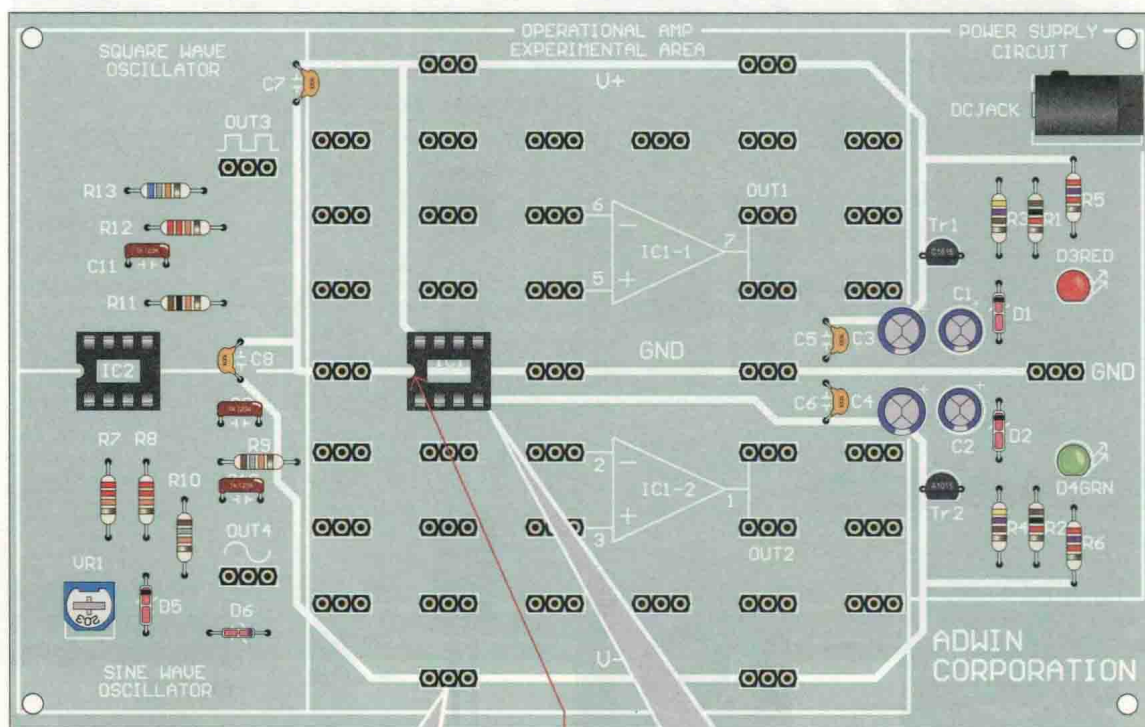


· 稳压二极管、晶体管、电解电容器和 LED 都是有极性的，请仔细观察下图并进行安装。

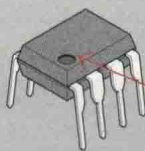
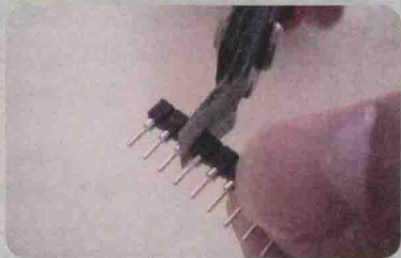
尤其是电解电容器，如果弄错方向，导致流过反向电流，会存在**破裂**的风险。

· 稳压二极管 HZ7A3 和 HZ2A2 容易混淆，安装时要注意。

D1、D2 为引脚较短的 HZ7A3，D5、D6 为引脚较长的 HZ2A2。



用斜口钳将圆孔排母分切成 3 位 / 组



焊接完 IC 插座后，将运算放大器按照圆形凹陷部分朝左的方向插入。

IC 插座没有电气上的极性，但也建议按上图，使圆形凹陷处朝左进行安装。

进行实验板制作时需要焊接，请准备如下工具。



电烙铁



焊锡丝



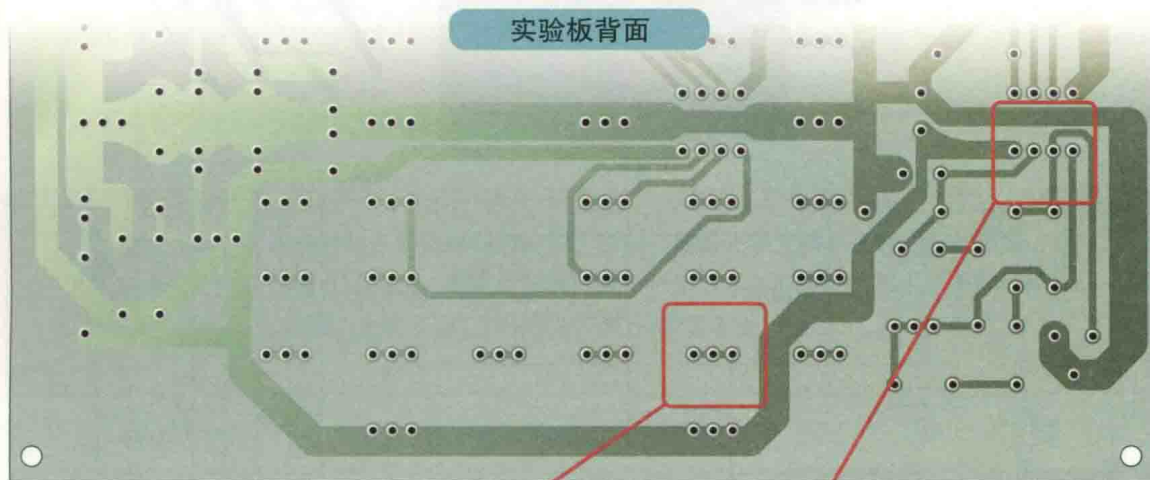
烙铁台



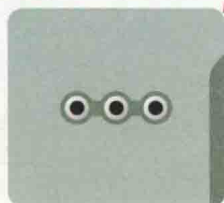
尖嘴钳等

请注意实验板上的焊盘，有的可连接，有的不可连接。焊接过程中不慎导致不可连接的焊盘桥连时，可通过吸锡进行修正。

实验板背面



线路（绿色）是连着的，这三个焊盘之间发生桥连也没关系。



可连接部分

线路（绿色）是断开的，各个焊盘切忌发生桥连。



不可连接部分

实验板各部分的功能和电路图

方波振荡器

产生方波。具体的电路讲解，请参考 STEP 18。

±6V 电源

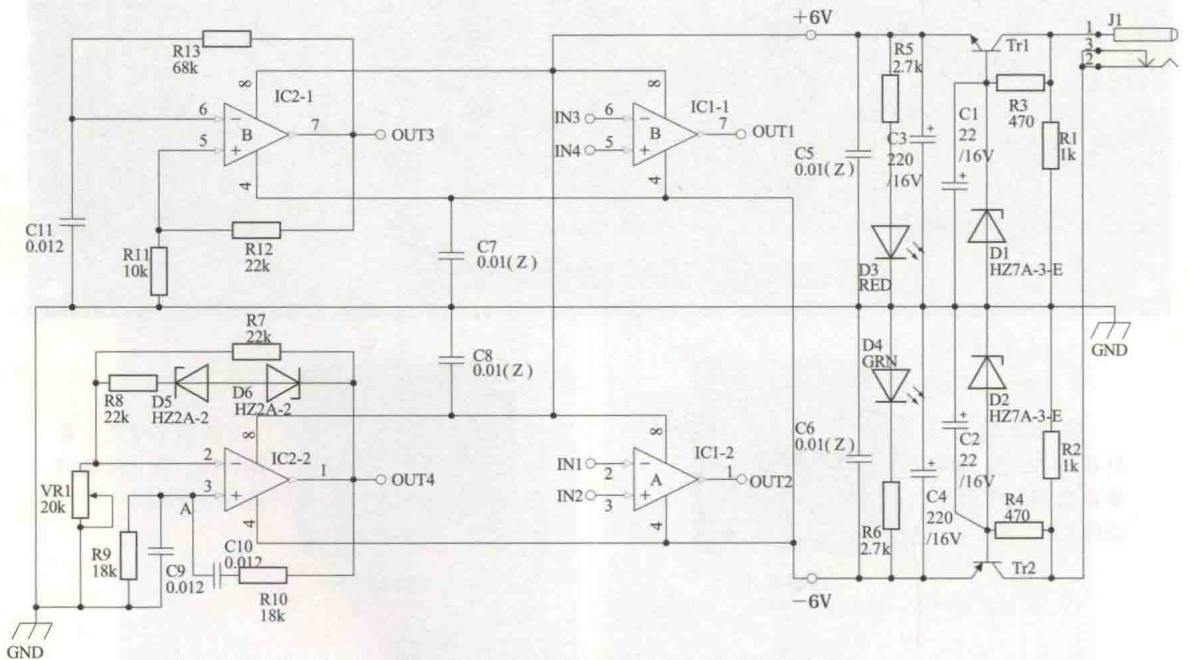
接 DC 15V 的 AC 适配器，通过电源电路产生 ±6V，向运算放大器供电。红色 LED 为 +6V 指示灯，绿色 LED 为 -6V 指示灯。

正弦波振荡器

产生正弦波。具体的电路讲解，请参考 STEP 17。

实验区域

圆孔排母大都安装在实验区域，以供插装运算放大器的外围电路元件，如电阻器、电容器。这种方式有利于随时修改电路，尝试各种电路实验。

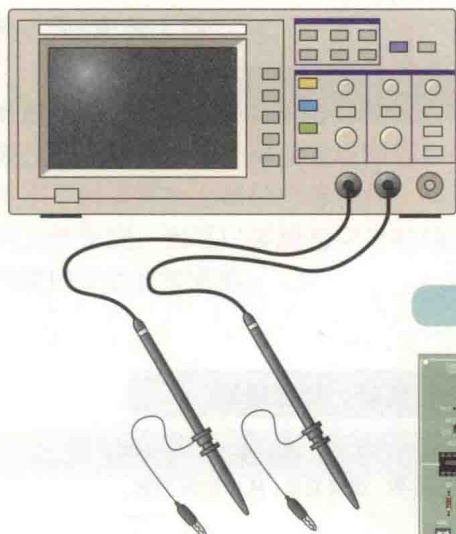


实验板上焊接完电子元器件后的电路图（实验用元器件未插入的状态）

实验器材

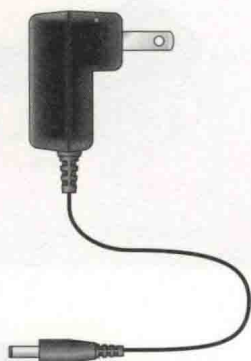
示波器

用于观察波形。



DC 15V AC 适配器

为实验板供电。
实验完成之后，请务必拔掉电源。



实验板



实验板的特点是能够随意操作，所以一般不会设置防止短路的保护措施。进行通电实验时，为防止短路，请务必在不导电的橡胶垫和木板上进行操作。（实验板上布满了圆孔排母，插入引脚就能有效接通）

数字存储示波器

SDS 系列 SIGLENT 制造

这是一款性价比较高的示波器，外形较小，且采用 7 英寸彩色液晶显示屏。

这是一款多功能示波器，但可用性较好，广泛适用于初学者、学生、工程师。



学习方法

在实验的同时，进行理论计算和实验结果的一致性确认，可有效推进学习，确实掌握运算放大器电路的基础知识。

1 学习运算放大器的基础知识

学习运算放大器的原理、使用方法和应用。这些都是基础知识，必须深刻理解。



2 制作运算放大器的基本电路并进行实验，加深理解

针对 STEP 01 ~ STEP 16 以及附录的所有电路进行实验。首先使用本书中指定的电阻器和电容器参数进行动作确认，然后更改参数，观察变化，从而加深理解。



3 理解各学习实验步骤的解说内容

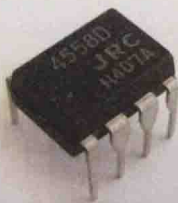
不理解基础理论，就无法实际应用。能够应用才算是自己真正掌握了。请理解各学习实验步骤的解说。初学者一开始可能难以理解这些解说，不妨暂时略过，完成所有学习实验步骤后就比较容易理解了。

STEP 01 认识运算放大器

运算放大器的定义

运算放大器的英文名称为 Operational Amplifier，也简称为 OP 放大器。

正如其名，Operation 为运算的意思，运算放大器具有数学加、减、微分、积分等运算功能。这些运算可以通过在运算放大器外部设置电阻器和电容器来实现。即使不了解运算放大器的内部结构，只要了解运算放大器的工作原理，也可以实现相应目的的运算。运算放大器的使用方法非常简单。



NJM4558

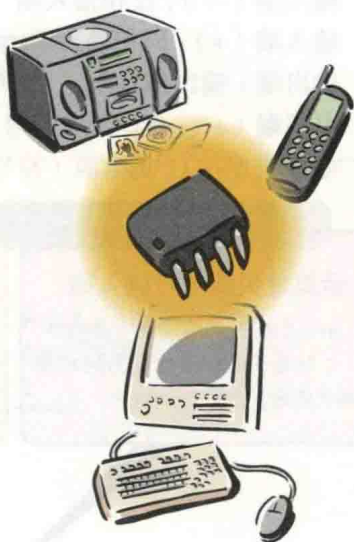
运算放大器的用途

运算放大器本身并不普及，但是常用的家电产品中大都使用了运算放大器。

可以说，几乎所有应用模拟电路的产品中都使用了运算放大器，如手机、计算机、音乐播放器、耳机放大器、传感器电路、测量仪器等。

如果有机会观察各种电器的内部结构，还是非常有意思的。但是，在新出品的小型、薄型、高级电器中是找不到单品运算放大器的，大多数家用产品上使用的是集成了几十个运算放大器的 LSI（大规模集成电路）。

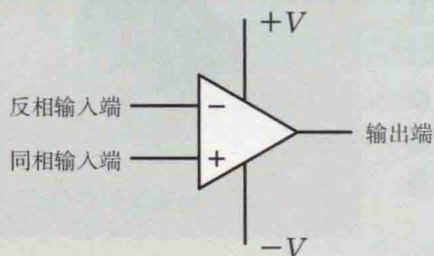
类似的，运算放大器也应用在各种设备上。通过学习运算放大器的工作原理和作用，可以扩大电子电气相关知识面。



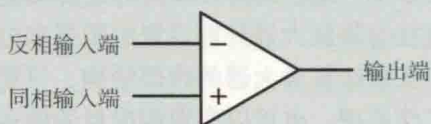
运算放大器的符号

在电路中，运算放大器用下面的符号表示。

不省略电源的表示方法



省略电源的表示方法



为了方便读图，电路图中有时会省略正负电源端子，但是这并不代表可以不接电源。
必须连接电源。

输入端 (-): 反相输入端

输入端 (+): 同相输入端

输出端: 输出信号

电源端 (+): 正电源 (符号上有时省略)

电源端 (-): 负电源 (符号上有时省略)

运算放大器信号输入端

有2个端子,用于比较2路信号。
2个端子的作用分别为同相输入和反相输入。

运算放大器电源端

如果没有电源输入,运算放大器就不会工作。即使是省略了电源的符号,也不能忘记其作用。

输入信号处理结果的输出端

此端子输出什么信号,取决于运算放大器的功能。

