

Technology  
实用技术

电工电子技术丛书

# 运算放大器电路

〔日〕内山明治 村野 靖 著

 科学出版社  
www.sciencep.com

电工电子技术丛书

# 运算放大器电路

〔日〕内山明治 村野 靖 著

陈镜超 译

王汝君 校

科学出版社

北京

图字：01-1999-2926 号

## 内 容 简 介

本书是“电工电子技术丛书”之一。本书共分7章,主要介绍:运算放大器、规格表的读法和用法、运算放大器的基本电路、非线性电路中运算放大器的用法、运算放大器的各种使用方法,由集成运算放大器构成的电路实例以及集成运算放大器的电路构成与原理及使用时的注意事项等。本书内容简洁、重点突出、实用性强,辅以大量插图,有较强的可读性及参考性。

本书既可供工科院校相关专业师生参考,亦可供从事电子技术相关方面的技术人员阅读使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

运算放大器电路/(日)内山明治,村野靖著;陈镜超译;王汝君校. —北京:科学出版社,2009

(电工电子技术丛书)

ISBN 978-7-03-023407-0

I. 运… II. ①内…②村…③陈…④王… III. 运算放大器—电路  
IV. TN722.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 178342 号

责任编辑:孙力维 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:李 力

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>

天竺彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年1月第一版 开本:B5(720×1000)

2009年1月第一次印刷 印张:13

印数:1—5 000 字数:250 000

定 价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

# 前 言

如果没有能放大微弱信号的物理元器件,也就没有当今的电子技术。在1906年人们发明了三极真空管,使得微弱信号的放大变成了现实。1948年人们又发明了晶体管,使得在放大功能中唱主角的真空管被晶体管所取代,这种影响一直延续至今。

要想使真空管和晶体管产生放大作用,必须借助电路设计技术,将电阻和电容等众多元器件连接在一起。

没有电路设计之类的专业知识,也能让你实现“放大功能”的是集成运算放大器。集成运算放大器已把众多的晶体管集成在一起,把它当作一个“具有放大作用的元件”,接上电源,便可以让它发挥放大的作用。

集成运算放大器自身的放大倍数是非常大的,往往需要把它限制在所需的范围内。限制这个放大倍数范围的方法就是“负反馈”。可以说学好了负反馈方法,就掌握了集成运算放大器的基本用法。

集成运算放大器根据不同的反馈方法,可以做成非线性放大电路、振荡电路等各式各样的应用电路。因此,反馈电路的研究常被说成是放大器使用方法的研究。

为了让初学者易于理解,本书的前半部分用传感器与集成运算放大器相结合的电路实例,描述了集成运算放大器实际上如何使用,放大微弱信号是怎么回事,等等。在放大光和热传感器的微弱直流信号时,用真空管和晶体管制作的电路会有失调和漂移的烦恼,而这正是集成运算放大器最擅长的地方。

本书的后半部分给出了用集成运算放大器构成的许多电路的例子,较详细地叙述了一些细小的使用技巧和实践经验。

编写本书的目的是为了让初学者和非电气专业的读者加深对集成运算放大器的理解,让更多的人能有效地使用这个极为方便的集成电路。但是,由于本人学识浅薄,难免有描述不充分和遗漏的地方,敬请诸位前辈和广大

读者批评指正,我们今后将多加改进。

最后,在本书出版之际,对于在从构思到出版的整个过程中给予极大帮助的欧姆社(OHM)的诸位学者表示深深的谢意。

著者

本书于出版前在业界进行了广泛的宣传,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。本书在出版过程中,得到了许多读者的支持和鼓励,这使本书在出版前就受到了广泛的关注和好评。

# 目 录

第 1 章 运算放大器 .....	1
1.1 运算放大器概述 .....	3
1.1.1 “运算”一词的由来 .....	3
1.1.2 运算放大器的诞生背景 .....	3
1.2 发挥五官的作用 .....	4
1.2.1 身边的各种感受 .....	4
1.2.2 运算放大器和显微镜 .....	5
1.3 运算放大器和油压装置 .....	6
1.3.1 油压装置 .....	6
1.3.2 超微型油压装置 .....	8
1.4 中心线 .....	10
1.4.1 偏离中心 .....	10
1.4.2 集成运算放大器的输出偏离——失调 .....	11
1.5 内外之分 .....	12
1.5.1 内部状态与外部状态 .....	12
1.5.2 运算放大器的“内外”之分 .....	13
1.6 杠杆原理 .....	14
1.7 杠杆和电阻 .....	16
1.7.1 通过杠杆的运动来控制油压装置的运动 .....	16
1.7.2 杠杆和电阻的工作原理 .....	17
1.8 在运算放大器上连接电阻 .....	18
1.8.1 失调调节法 .....	18
1.8.2 反馈电阻的作用 .....	19
1.9 放大倍数的决定因素 .....	20
1.9.1 放大倍数由电阻的比值决定 .....	20

1.9.2	运放由负反馈决定	21
1.10	运算放大器的图形符号	21
1.10.1	使用图形符号使电路图变得简明	21
1.10.2	没有逆流的“力”	22
1.11	信号和电能	23
1.11.1	电的利用方法	23
1.11.2	信号	24
1.12	分贝(dB)	25
1.12.1	尺度	25
1.12.2	将倍数 $A$ 换算成增益 $G$	25
	本章小结	26
<b>第2章</b>	<b>规格表的读法和用法</b>	<b>29</b>
2.1	集成运算放大器的型号	31
2.1.1	封装	31
2.1.2	集成运算放大器的名称	32
2.2	集成运算放大器的外形尺寸和工作温度	34
2.2.1	集成运算放大器的外形尺寸	34
2.2.2	集成运算放大器的工作温度	35
2.2.3	原创品和非原创品	36
2.3	极限参数	36
2.4	直流参数	39
2.4.1	输入失调电压	39
2.4.2	输入偏置电流和失调电流	40
2.4.3	输入电阻和输入电容	41
2.4.4	电源电流(消耗功率)	42
2.5	直流参数	43
2.5.1	电压增益和开环增益	43
2.5.2	输入失调电压和电流的温度系数(温漂)	45
2.5.3	上下波动(输出电压振幅)	46

2.5.4	输入电压范围	47
2.5.5	共模抑制比 CMRR	47
2.5.6	电源抑制比 PSRR	48
2.6	交流参数	49
2.6.1	过渡响应	49
2.6.2	信号经过电路后会变形(转换速率 SR)	51
	本章小结	55
<b>第 3 章</b>	<b>运算放大器的基本电路</b>	<b>57</b>
3.1	反相放大电路(高温测量)	59
3.1.1	将温度变化转换成电信号	59
3.1.2	放大倍数为 100 倍的反相放大器	59
3.1.3	反相放大器的输入电阻	60
3.1.4	温漂怕热	61
3.2	同相放大电路(光度测量)	63
3.2.1	将亮度变化转换成电信号	63
3.2.2	放大倍数为 10 倍的同相放大器	63
3.2.3	同相放大器的输入电阻和特征	64
3.2.4	运算放大器的最大输出电压	65
3.2.5	运算放大器的负载电阻	66
3.3	差动放大	67
3.3.1	反相跟随同相	67
3.3.2	电阻型传感器的用法	68
3.4	运算放大器的本来面目是差动放大	69
3.4.1	拉长电线会使电阻值增加	69
3.4.2	通过检测物体的变形来测量重量	69
3.4.3	抵消因温度变化带来的测量误差	70
3.5	地线与高增益电路	71
3.5.1	地线的处理方法	71
3.5.2	增益可变的电路	72



3.5.3	增益很高的电路	72
3.6	施密特触发器	73
3.6.1	同相放大电路与施密特电路的区别	73
3.6.2	线性电路和非线性电路	75
3.7	灯到黄昏自动亮	76
3.7.1	灯到黄昏自动亮	76
3.7.2	继电器驱动电路	77
3.8	用运算放大器制作的交流放大电路	78
3.8.1	连微动都没有的“静止”状态	78
3.8.2	用运算放大器制作的交流放大电路	78
3.8.3	活动不敏捷	79
3.8.4	运算放大器的过渡特性和转换速率	79
	<b>本章小结</b>	81
	<b>第4章 非线性电路中运算放大器的用法</b>	83
4.1	非线性电路	85
4.1.1	非线性电路	85
4.1.2	非线性电路的作用	85
4.2	理想二极管和直线检波	86
4.2.1	消除死区(理想二极管)	86
4.2.2	二极管的工作原理	87
4.3	将交流变成直流(AC/DC变换)	91
4.3.1	求交流的绝对值和平均值	91
4.4	对数放大器和反对数放大器	93
4.4.1	对数放大器	93
4.4.2	反对数放大器	95
4.4.3	用途	97
4.5	折线近似电路	97
4.5.1	稍有弯曲(折线电路)	97
4.5.2	折线电路的基本原理	98

4.6 限幅电路 .....	102
4.6.1 去掉过大信号的顶部(限幅器的定义) .....	102
4.6.2 工作原理 .....	102
本章小结 .....	103
<b>第5章 运算放大器的各种使用方法 .....</b>	<b>105</b>
5.1 用作有源滤波电路 .....	107
5.1.1 滤波器的基本原理 .....	107
5.1.2 有源滤波器 .....	108
5.2 用作振荡电路 .....	113
5.2.1 振荡的基本原理 .....	113
5.2.2 由RC构成的简谐振荡电路 .....	115
5.2.3 由RC构成的张弛振荡电路 .....	116
5.3 用作D/A(A/D)变换电路 .....	117
5.3.1 电信号的连接器 .....	117
5.3.2 D/A变换器的原理 .....	117
5.3.3 A/D变换器的原理 .....	119
5.4 用作 $V-f, f-V$ 变换电路 .....	122
5.4.1 $V-f, f-V$ 变换器 .....	122
5.4.2 $V-f$ 变换器的原理 .....	123
5.4.3 $f-V$ 变换器的原理 .....	125
5.5 比较器和模拟存储器 .....	126
5.5.1 比较器 .....	126
5.5.2 模拟存储器 .....	128
5.6 需要大功率时 .....	129
5.6.1 功率提升器 .....	129
本章小结 .....	132
<b>第6章 由集成运算放大器构成的电路实例 .....</b>	<b>133</b>
6.1 滤波电路 .....	135

6.1.1	由单个运算放大器构成的正反馈二阶 LPF	135
6.1.2	由单个运算放大器构成的正反馈二阶 HPF	138
6.1.3	BPF	141
6.1.4	BEF	145
6.1.5	可变状态滤波器(状态变量型)	148
6.2	振荡电路	149
6.2.1	关于振荡电路	149
6.3	采样保持电路与峰值保持电路	154
6.3.1	采样保持电路	154
6.3.2	峰值保持电路	155
6.4	提升电路	156
6.4.1	电流提升电路	156
6.4.2	电压提升电路	158
6.5	电源电路	159
6.5.1	制作基准电源	159
6.5.2	最简单的稳压电源	161
6.6	伺服电机驱动电路	162
6.6.1	由功率提升器驱动	162
6.6.2	由功率运算放大器驱动	162
	本章小结	164

## 第7章 集成运算放大器的电路构成与原理及使用时的

	注意事项	165
7.1	运算放大器的内部构造	167
7.1.1	集成运算放大器的演变历史	167
7.1.2	运算放大器电路的基本构成	169
7.2	运算放大器输入级电路	170
7.2.1	差动放大器	170
7.2.2	恒流源	171
7.2.3	用晶体管制作的二极管	173

---

7.3 中间级和输出级电路 .....	173
7.3.1 将差动输出变成单端输出 .....	173
7.3.2 输出电路 .....	176
7.3.3 过量电流限制电路 .....	176
7.4 选择运算放大器的要点 .....	178
7.4.1 关于运算放大器的选择 .....	178
7.5 电路图中未提到的问题 .....	182
7.5.1 运算放大器发热问题(芯片温度和外壳温度) .....	182
7.5.2 输入电路的保护与注意事项 .....	184
7.5.3 高输入阻抗化 .....	187
本章小结 .....	188
附    录 .....	189

# 第1章

# 运算放大器

本章首先从运算放大器究竟是什么这一观点来考察运算放大器的本质以及视觉上的直观印象。

本章将要介绍的“油压装置”是通过油的压力来控制油的流动的，这种原理一目了然。如果将油压变成电压，油的流动变成电流，其原理可以原封不动地搬到运算放大器当中去。这种说法可能有点不准确，但是，我相信这种说法对于电气专业的初学者和非电气专业的读者理解本书的内容是有帮助的。



## 1.1 运算放大器概述

### 1.1.1 “运算”一词的由来

“今天10点钟开始做 Operation”医生向护士发出命令。这是在位于东京市内的欧姆综合医院内经常看到的一个场面。于是,我查了一下英日辞典,英文“operation”一词的含义包括手术(图 1.1(a)),操作(图 1.1(b))及运算(图 1.1(c))。

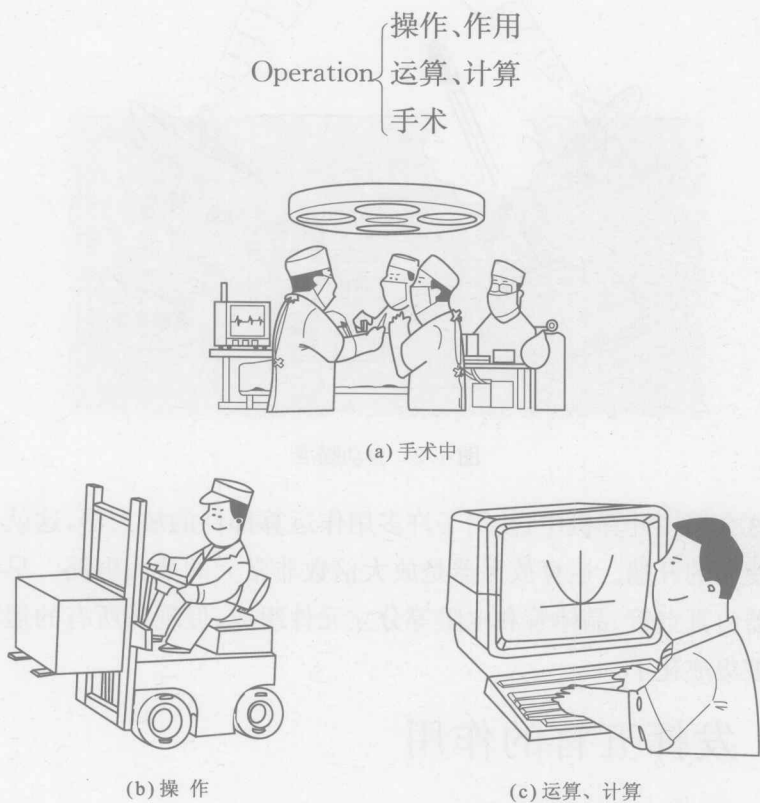


图 1.1 英文“operation”一词的含义

### 1.1.2 运算放大器的诞生背景

运算放大器英文称为 Operational Amplifier。

自第二次世界大战(1941~1945年)以来,开始了通过让雷达与高射炮联动来瞄准飞机的自动化设备(自动控制技术)和弹道计算(通过求解方程

来计算子弹的轨迹)的研究。在这种自动化技术中发挥威力的是运算器,即模拟计算机,如图 1.2 所示。



图 1.2 自动瞄准

在这个模拟计算机中,使用了许多用作运算部件的放大器,这就是运算放大器使用的开端。运算放大器是放大倍数非常大的放大电路。早期的运算放大器由真空管、晶体管和电阻等分立元件组成,但现在所有的运算放大器已经被集成化了。

## 1.2 发挥五官的作用

### 1.2.1 身边的各种感受

我们不断地通过五种感官来感受我们身边发生的各种现象,如寒、暖,强风、微风,明、暗,喧哗、寂静等,这些伴随着我们度过一天天的生活。

有各种各样的传感器可以测量这些现象,如物理上测量炎热和寒冷可采用“温度计”之类的传感器;测量明暗程度可采用光度计;测量噪声程度可采用噪声计。这些传感器都在我们的日常生活中发挥着重要作用。



在当今文明社会里,为了提高我们的生活质量和生产手段的自动化程度,人们正在更加主动地测量这些物理量。要想更加有效地掌握和利用这些物理量,最终还得用上运算放大器。

### 1.2.2 运算放大器和显微镜

图 1.3(a)所示为人们生活中常用的电暖炉,这种电暖炉通过图中所示的温度开关来自动控制温度,使得温度不能上升得过高。这个温度开关称为双金属,温度上升得过高时,利用金属板的簧控结构来切断开关。

双金属也是一种温度传感器,但这种开关对温度的调节太粗糙。

如图 1.3(b)所示,目前在空调上装上微型计算机进行精密且正确的温度调节的应用越来越多。

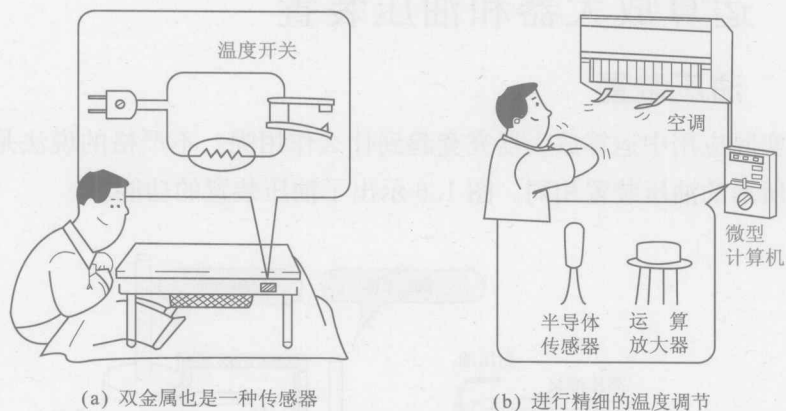


图 1.3 运算放大器与温度传感器的关系

要想进行精密正确的温度调节,温度传感器必须正确测量温度变化,而且能将它转变成电信号。这类温度传感器多数是用二极管和热敏电阻,但二极管和热敏电阻通过变换得到的电信号很微弱,因而需要对这些电信号进行放大。这里采用的方法是用运算放大器放大微弱信号。

不仅温度,还有许多物理量也可以通过图 1.4 所示的传感器变换成电信号。这些电信号都是很微弱的,因而需要运算放大器之类的部件对它们进行放大。