

运算放大器的基础与应用

〔日〕 藤井信生 著

131
1

赵满良 译
彭连昌

电子工业出版社

73.87.31
951
2

运算放大器的基础与应用

〔日〕藤井信生 著

赵满良 彭连昌 译

Opアンプの基礎と応用

藤井信生 著

オーム社

電子雑誌 エレクトロニクス 1982年6月号付録

运算放大器的基础与应用

〔日〕藤井信生 著

赵满良 彭连昌 译

责任编辑：王昌喜

*

电子工业出版社出版

山东电子工业印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年2月第一版 开本：787×1092 1/32

1984年5月第一次印刷 印张：4.5

印数：20000 册 字数：101 千字

统一书号：15290·27 本社书号：No1-27

定价：0.80 元

前言

运算放大器 (Operational Amplifier) 简称 Op 放大器, 原被用作模拟计算机中的高增益放大器, 最初是用分立元件构成的。随着集成电路 (IC: Integrated Circuit) 技术的发展, 稍晚于数字电路集成化的各种模拟电路, 也以运算放大器为中心, 实现了集成化。特别是在仙童公司首先推出了运算放大器 $\mu A702$ 、 $\mu A709$ 、 $\mu A741$ 以后, 大批的各种各样的运算放大器竞相而出。现在, 可以毫不夸张地说, 使用运算放大器, 就象使用一只电阻、电容、晶体管那样方便。

用运算放大器设计电路, 一般不需要具备复杂的电子电路知识, 任何人都能设计出性能较好的电路。然而, 只有更好地理解并应用运算放大器的基本特性, 才能在排除故障、设计更高级的电路等方面, 解决仅靠手册和电路图集所无法解决的问题。

本书仅就最容易得到的运算放大器 ($\mu A741$ 、LF356) 为例, 介绍运算放大器的基本使用方法和一些实用电路。本书所使用的电路均是基本电路, 只要能透彻地理解这些电路, 对于更复杂的电路, 也是能够掌握和应用的。

本书的第一章作为初次接触运算放大器的读者理解运算放大器的基本性能的开篇, 第二章, 以运算放大器的基本作用——放大作用为中心, 叙述一下如何使运算放大器在接近理想状态下使用的问题。第三章, 以实用电路说明运算放大器在有源滤波器中的应用。第四章, 介绍由二极管、三极管与运算放大器组合成对数及平方运算等非线性运算电路。第

五章是运算放大器在 A/D、D/A 转换器中的应用。第六章叙述运算放大器的内部结构，以便读者进一步理解运算放大器的原理。就运放的使用而言，本章似乎可有可无，但是，这里涉及到集成电路中的特殊电路，这些电路用分立元件也能构成，这对读者增加运算放大器或电子电路的知识，是有益的。第七章，收集了十种实用电路，这些电路是第一章到第五章所未曾直接提及的。

本书旨在通俗易懂，简明扼要，故可能有疏漏之处，望读者指正。

目 录

前言

第一章 运算放大器的基础

- 1.1 运算放大器并不复杂 1
- 1.2 运算放大器的基本工作原理 2
- 1.3 运算放大器的基本性能 5
- 1.4 运算放大器的符号 6
- 1.5 表示放大器特性的参数 8
 - (1) 电压增益: A_v
 - (2) 输入阻抗: Z_i
 - (3) 输出阻抗: Z_o
- 1.6 运算放大器的特性 10
- 1.7 运算放大器的基本使用方法 11
- 1.8 运算放大器电路的计算方法 13
- 1.9 运算放大器的简化算法 15
- 1.10 零电流、随意电流二端器件电路的计
算举例..... 17
- 1.11 表示运算放大器特性的其它参数..... 18
 - (1) 增益的频率特性
 - (2) 输入失调电压
 - (3) 输入偏置电流
 - (4) 输入失调电流
 - (5) 转换速率

1.12	运算放大器的种类	23
------	----------	----

- (1) 通用型运算放大器
- (2) 高输入阻抗型运算放大器
- (3) 低温漂型运算放大器
- (4) 高速型运算放大器
- (5) 高电压大功率型运算放大器

第二章 运算放大器在线性放大器中的应用

2.1	由通用型运算放大器组成的基本放大器电路	27
-----	---------------------	----

- (1) 失调补偿
- (2) 通用型运算放大器在接近理想状态下工作时, 各电阻值的选择方法

2.2	反相放大器的设计	34
-----	----------	----

2.3	同相放大器的设计	35
-----	----------	----

2.4	高增益放大器的设计	37
-----	-----------	----

2.5	可变增益放大器的设计	39
-----	------------	----

2.6	加法电路的设计	40
-----	---------	----

2.7	减法电路的设计	42
-----	---------	----

2.8	同时进行加、减法运算的电路的设计	43
-----	------------------	----

2.9	积分电路的设计	44
-----	---------	----

第三章 运算放大器在有源滤波器中的应用

3.1	RLC 滤波器和 RC 滤波器	48
-----	-----------------	----

3.2	有源滤波器	52
-----	-------	----

3.3	单一运算放大器型有源滤波器	53
-----	---------------	----

3.4	双二阶电路	55
-----	-------	----

3.5	单一运算放大器型和双二阶电路型滤波器的特点	57
-----	-----------------------	----

3.6	使用运算放大器的有源滤波器的可实现范围	58
3.7	通用阻抗变换器(GIC)	61
3.8	高阶有源滤波器的组成	63
	(1) 二阶串联方法	
	(2) 模拟LCR滤波器的方法	
3.9	有源滤波器的调整	66
3.10	在有源滤波器中使用运算放大器时的几个问题	67
3.11	有源滤波器使用的元件及其参数	68

第四章 运算放大器在非线性运算电路中的应用

4.1	线性与非线性	70
4.2	由运算放大器构成的非线性运算电路原理	71
4.3	二极管、三极管的非线性特性	74
4.4	二极管、电源、电阻组合电路	76
4.5	使用二极管和运算放大器的非线性电路	78
	(1) 振幅压缩、扩展、限幅电路	
	(2) 理想整流电路(理想二极管)	
	(3) 折线近似的函数发生器	
4.6	使用晶体管的对数(反对数)变换电路	88
	(1) 对数变换电路	
	(2) 反对数变换电路	
	(3) 对数、反对数变换电路的应用	

第五章 运算放大器在A/D、D/A转换中的应用

5.1	模拟量的数字化表示方法	92
-----	-------------	----

5.2	D/A转换器的原理	95
5.3	A/D转换器的原理	97
5.4	使用运算放大器的D/A转换器	99
	(1) 二进制D/A转换器	
	(2) BCD码的D/A转换器	
5.5	A/D转换器的设计	104
	(1) A/D转换的方法	
	(2) A/D转换器中使用的功能电路	
	(3) 使用积分器构成的A/D转换器	
	(4) 用D/A转换器构成的A/D转换器	

第六章 集成化运算放大器的结构

6.1	运算放大器的基本结构	116
6.2	差动输入级	117
6.3	高增益放大级	118
6.4	输出级	119
6.5	集成运算放大器中常用的其它电路	120
	(1) 直流电压源	
	(2) 恒流源	
	(3) 电流镜象电路	
6.6	运算放大器举例 ($\mu A741$)	124

第七章 运算放大器应用电路举例

7.1	用一只电阻获得增益为 $+ \sim 0 \sim -$ 值的连续变化的放大器	
7.2	高输入阻抗差动放大器	125
7.3	用一个运算放大器构成正系数积分器	126

7.4	可调低频振荡器	127
7.5	可调二阶低通滤波器	127
7.6	四阶低通滤波器	128
7.7	移相电路	129
7.8	负阻电路	130
7.9	输入电压的三次方电路	131
7.10	恒流源电路	132

参考文献

[附录 I]	部分运算放大器的性能指标	135
[附录 II]	部分国产运算放大器的外引线	136

第一章 运算放大器的基础

目前,在设计电子电路或其它电子仪器时,运算放大器已是必不可少的器件之一。这是因为运算放大器已经普及。运算放大器,本来被用作模拟计算机中的高增益放大器,最初是用分立元件构成,因而价格高,不使用作一般放大器。但是,随着集成化的发展,运算放大器也变得便宜,而且容易得到了。这是运算放大器得以普及的第一个因素。

另外,在使用运算放大器时,即使不懂得复杂的电子电路知识和计算方法,只要根据所掌握的一些运算放大器的基本特性,任何人都可以设计出性能良好的电子电路。这是比价格便宜更重要的第二个普及因素。

对第一代运算放大器,使用时必须外接一些元件,以防止产生振荡,这给使用带来了麻烦。当第二代产品问世时,只需在外部接上几个元件,就可以很简便地作成性能优于使用分立元件构成的电路。

本章介绍运算放大器基本而重要的特性,并叙述运算放大器在理想状态下,电路的计算方法。

1.1 运算放大器并不复杂

当需要设计放大器电路时,一个缺乏设计电子电路经验的人,应如何下手呢?大概首先是查阅电路手册吧?然而,在电路图集中,却很难找到适合自己要求的电路。在这种情况下,去阅读电子电路设计方面的技术书籍,待学习完设计技术之后再进行设计,势必要花很大的精力和时间,而

8510339

1

不能及时使用电路。

在使用运算放大器的电路时，一般不需要电子电路的预备知识，在短时间内就能设计出电子电路。例如，设计一个放

大器，如果使用晶体管等分立元件，来构成一般能稳定工作的放大器，则必须使用如图 1.1 所示的许多元件，而且，布线、焊接点非常多。尤其是在实际设计中，还要具备元件参数选择方法、元件配置等方面的技能。如果用运算放大器组成放大器，用几个器件即可实现(见图 1.2)，而且焊点少，其性能往往优于用分立元件所构成的放大器。

图 1.2 所示的运算放大器，系用集成电路作成的，其内部具有多个晶体管和电阻。如果用分立元件组成一只运算放大器，则必

须使用许多元器件(如图 1.3)。即使所制作的放大器的性能与运算放大器相同，实际上也很难稳定地工作。而用集成电路制作的运算放大器，能巧妙地利用集成电路所特有的性能，这些性能为分立元件运算放大器所不及。

由上述各点，就不难理解运算放大器是较优越的器件了。下面介绍运算放大器的基本工作原理。

1.2 运算放大器的基本工作原理

图 1.4 是用图 1.2 所示元器件构成的放大器。电池 V_{CC} 和

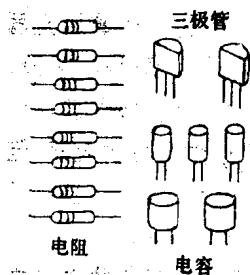


图 1.1 制作放大器所需的分立元件(元件数量多)

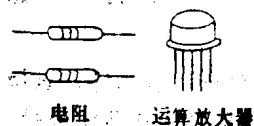


图 1.2 用运算放大器制作放大器(只用少量元件)

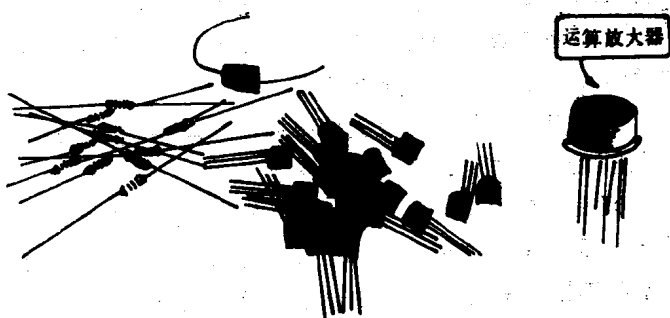


图 1.3 用分立元件制作运算放大器 (需要许多元件)

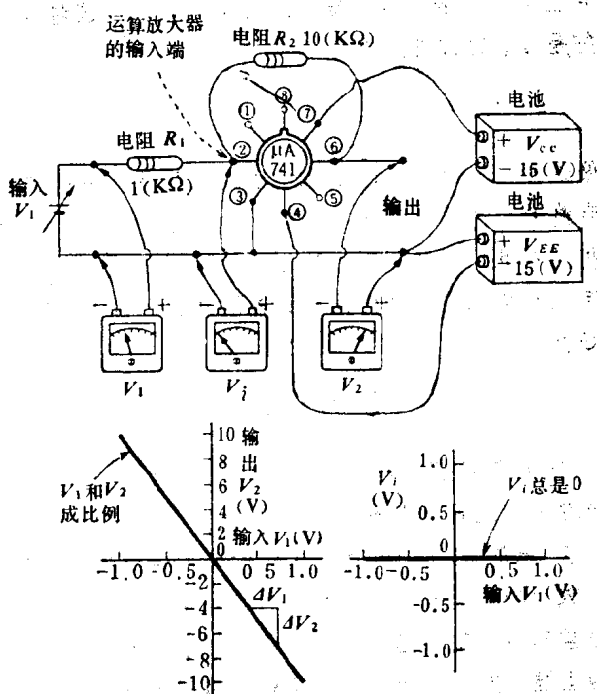


图 1.4 用运算放大器构成的放大器 (例1)

V_{EE} 是放大器的直流供电电源。外接电压表 V_1 、 V_i 、 V_2 用来测量运算放大器的特性。图 1.4 中央部分是运算放大器，型号为 $\mu A741$ 。运算放大器的各端，有的什么都不接，让其空着，目的是为了使得运算放大器得到接近理想状态的特性，（即使如此，也能测出其一般的性能）。

现在，我们来测试一下该电路的特性。按图接入三个直流电压表，输入端接直流电压 V_1 。这时令 V_1 在 $-1.0 \sim 1.0V$ 范围内变化，由各电压表测出各部分的电压。

图 1.4 表示 V_2 、 V_i 和 V_1 的关系。先看 V_2 和 V_1 的关系。由图可知，若使 V_1 增加，则 V_2 减少，这时 V_2 的大小正好是 V_1 的 10 倍。即

$$\left| \frac{V_2}{V_1} \right| = 10 \quad (1.1)$$

像这样，输出电压比输入电压大，就是所说的放大。在这个电路中，当输入电压为正时，输出电压为负。由于输出电压和输入电压符号相反，所以叫反相或倒相放大器。假定输出电压与输入电压之比为放大器的增益，那么该放大器的增益 G 为

$$G = \frac{V_2}{V_1} = -10 \quad (1.2)$$

(1.2) 式的负号表示电压 V_2 和电压 V_1 反相。

再看一下运算放大器的输入电压 V_i ，无论怎样变化 V_1 的值， V_i 总是零，即运算放大器的输入电压恒等于零。这是运算放大器特有的一个重要特性。运算放大器的输入端看上去好象短路一样，这种性质叫虚短路或虚接地。

由上述可知，运算放大器有两个基本特性，①能进行电压放大；②输入端虚短路或虚接地。

1.3 运算放大器的基本性能

为了更好地理解运算放大器的基本特性，再试作另一个放大器如图 1.5，它是把运算放大器的③端作输入端，暂把输出端的电阻 R_3 开路。和图 1.4 的情况一样，使输入电压 V_1 在 $-1.0 \sim 1.0\text{V}$ 的范围内变化，测出电压 V_2 、 V_i ，就可以得到图 1.5 所示的 V_2 、 V_i 与 V_1 的关系。

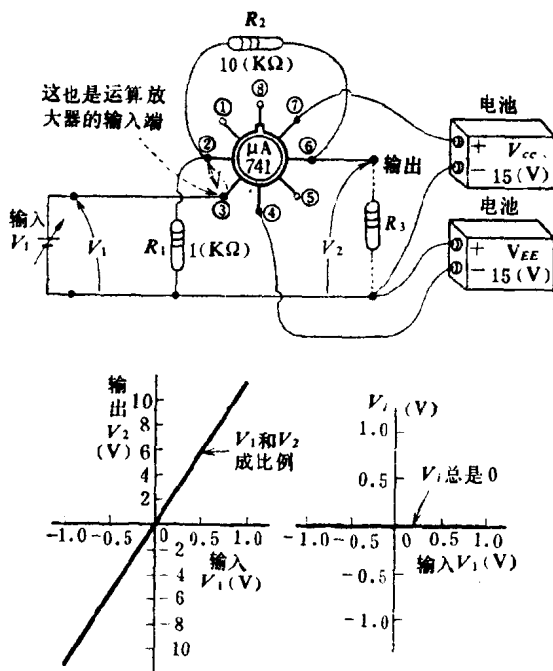


图 1.5 用运算放大器构成的放大器(例2)

输出电压 V_2 与输入电压 V_1 成正比，这时，增益为

$$G = \frac{V_2}{V_1} = 11 \quad (1.3)$$

此式表明电压放大倍数为11。在这个电路中，由于输出电压与输入电压同号，所以叫非反相放大器或同相放大器。这样，把③端作为输入端，就能构成同相放大器。同样，如图1.4，把②端作为输入端，就可构成反相放大器。②、③都可用作输入端，即运算放大器有两个输入端。

其次，研究一下运算放大器②、③两端之间的电压 V_{11} 。从图1.5可以看出，即使 V_1 变化， V_{11} 也等于零，即②、③之间是虚短路。这样，输入端②和③的电位不为零，设都为 V_1 ，在图1.4的情况下，②和③端间的电压仍都为零。总之，不论在何种电路中，②及③两端之间的电压均为零。这个特性，在正常工作的电路中，都是成立的。这是运算放大器的非常重要的特性。

运算放大器的两个输入端间的电压总为零。这是需要牢记的运算放大器的最重要的特性。

现在，在输出端接入电阻 R_3 ， R_3 中将有电流 V_2/R_3 流过， R_3 越小，该电流越大。而输出电压 V_2 ，一般不随 R_3 的变化而变化。这是运算放大器的又一重要特性，即，运算放大器电路的输出电压与输出端连接的电阻阻值大小无关。但必须注意的是，若 R_3 的值过小，输出端处于短路状态时， V_2 将发生变化，输出端将有较大电流流过，运算放大器有被损坏的危险。

1.4 运算放大器的符号

如“1.3”节所述，运算放大器有两个输入端和一个输出端，还有接电源用的端子。图1.4和图1.5是使用这种运算

放大器的电路图。用这种方法表示包含多个运算放大器的电路时,是相当复杂的。因此,本书采用图 1.6 所示的符号表示运算放大器。

采用图 1.6 所示的符号,②、③为输入端,⑥为输出端,分别与图 1.4、图 1.5 的②、③、⑥端相对应。

当然,电源等其它

端子也应该有对应的符号,但为了简化电路,一般都不画出。

图 1.7 和图 1.8,分别为图 1.4 和图 1.5 用符号表示的电路图,采用这种表示方法与不使用符号相比,显得非常简单明了。图 1.7、图 1.8 中,略去了使运算放大器工作的直流

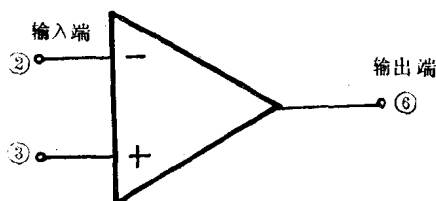


图 1.6 运算放大器的符号

电源,因而,实际电路除图中连线外,还必须连有图 1.4、图 1.5 那样的电源接线。

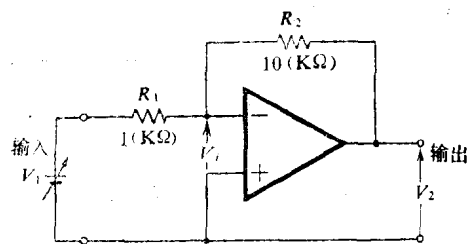


图 1.7 图 1.4 的符号表示

借助图 1.7、图 1.8 电路,再看运算放大器的增益。

图 1.7 是图 1.4 的符号图,故可根据式 (1.2) 求出该电路的增益 G ,

$$G = \frac{V_2}{V_1} = -10 \quad (1.4)$$

同样,可用式 (1.3) 求图 1.8 的增益