

运算放大器

OPERATIONAL AMPLIFIER

应用手册

—— 基础知识篇

© 黄争 李琰 编译



Headphone
Amplifier
TPA6140A2



TEXAS
INSTRUMENTS



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TI 模拟技术丛书

运算放大器应用手册

——基础知识篇

黄争 李琰 编译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

运算放大器应用手册. 基础知识篇/黄争, 李琰编译. —北京: 电子工业出版社, 2010.1
(TI 模拟技术丛书)

ISBN 978-7-121-10062-8

I. 运… II. ①黄… ②李… III. 运算放大器—应用—技术手册 IV. TN722.7-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 227474 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 郭 莉

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 720×1 000 1/16 印张: 19.25 字数: 388 千字

印 次: 2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 32.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

编者序

作为 TI 中国大学计划部的技术工程师，我经常有机会到学校和老师同学们讨论交流。有一次，当我和几位同学谈到 TI 的 DSP 时，有一位同学很高兴地对我说，他用过很多 TI 的数字信号处理器，并列举了从 C2000，C5000 到 C6000 的多个型号，甚至包括最新的 DaVinci，看来他对 ARM 也很在行。为了看看他对整个系统的理解能力怎么样，我问他，“你对模拟器件有什么看法？”不出我的意料，作为一位“固执的”DSP 爱好者，他开始抨击模拟，并认为模拟将最终消失在我们的生活中，在他看来，C 语言，操作系统，数字信号处理技术和各种高速数字接口才是电子界的最终方向。看他神采奕奕地论述着 DSP 在他的一个中频数字接收机中的巨大作用，我觉得有必要把他拉回到现实世界，于是我问到，“你的 DSP 是怎么供电的？被 DSP 处理的数字信号又是怎么得到的呢？”这个聪明的小伙子马上理解到我的意思：好像电源和数据转换器不能缺少吧？

其实和这位同学一样，我们都生活在一个数字信息飞速膨胀的时代里，从经典的密纹唱片到现在的 MP3，从堆得满屋的录像带到现在薄薄的 DVD，从磁带存储到机械硬盘再到固态硬盘，仿佛一切都能被数字压缩、编码和传输。例如在我们每天都离不开的 Internet 上，信息是以 0，1 电平传递的并处理的。的确，现在我们用模拟来进行计算和处理的场合越来越少，但我们仍要看到，现实世界还是模拟的，我们人体本身还是模拟的。在数字技术飞速发展的今天，模拟技术非但没有萎缩，相反在系统中占据到越来越关键的位置：如为了让电池供电的产品待机时间更长，我们一直在想方设法提高电源供电的效率并降低系统的功耗；现代的数字信号处理技术使接收机越来越向天线端靠拢，这对我们的 ADC 和 RF 芯片的速度和灵敏度提出了越来越高的要求；而医学信号处理中为分析和处理细胞活动所产生的微弱电流信号，即使现代的超低噪声的运放和超高精度的 ADC 也显得力不从心。

数字技术在进步，模拟技术也在不断发展，如果我们在 μV 级电压信号的放大中仍然使用诸如 $\mu\text{A}741$ 这类老旧的运放，我们很难获得想要的结果；如果我们需要在 5V 满量程输入的信号中获得 100 万个读数，ADC0809 只能满足我们万分之一的需求；如果我们要从 3.3V 电压转换到 2.5V，UA7805 这类老式的线性稳压器将不能工作。我们需要更新在大学课堂上学到的经典模拟电路知识和相关的模拟器件，紧跟业界的先进技术，利用一些高性能模拟器件来优化我们的设计。

TI 是一家有着 75 年历史的世界领先半导体供应商，不仅在其著名的 DSP 领域上拥有超过 65% 市场占有率的绝对优势；在模拟产品领域，TI 也一直占据出货量世界第一的位置。在 TI 模拟技术不断发展的过程中，TI 的众多优秀工程师写出了一篇

又一篇高质量的应用笔记,记录了从基本的电路原理到 TI 芯片具体应用的点点滴滴。为了让这些应用笔记更易于让中国学生和工程师参考, TI 中国大学计划开始整编和翻译这些应用笔记。本丛书计划将出版信号链和电源两个系列,每个系列又以基本知识和应用案例分为若干本。本书是信号链系列的一本,包括 27 篇 TI 信号链之放大器方面的应用笔记,它们涵盖了运放的大量基础知识,比如运放的指标和分类,电压反馈和电流反馈运放的异同点,运放的负反馈和稳定性等。

本书能够顺利出版,要感谢电子科技大学、东南大学、清华大学、上海交通大学、深圳大学和西安电子科技大学 TI 联合实验室的老师和同学们的辛勤劳动,将原文翻译为中文;感谢深圳大学的李琰老师和我一起对中文版的文章进行仔细的校对和润色;感谢电子工业出版社的帮助和大力支持。鉴于编者和译者的水平有限,并加之成稿时间仓促,书中将难免出现错漏,欢迎广大读者与 TI 中国大学计划部联系,帮助我们完善 TI 模拟技术系列丛书!

黄 争

TI 中国大学计划

目 录

放大器基础

- 理解运算放大器的规范 Jim Karki (1)
- 运算放大器电路的最坏情况设计 Ron Mancini (25)

如何选择放大器

- 从众多的放大器中选择: 让放大器适合您的应用 Ron Mancini (32)
- 更好地选择高速运算放大器 Bruce Carter (42)

放大器中的反馈

- 电压反馈运算放大器中的频率响应误差 Ron Mancini (52)
- 反馈放大器分析工具 (60)

放大器的稳定性

- 电压反馈型运算放大器的稳定性分析及其补偿 Ron Mancini (73)
- 运算放大器用作衰减器 Bruce Carter (96)

放大器中的噪声

- 运算放大器中的噪声分析 (101)

仪表放大器

- 仪表放大器与差分放大器的交流耦合 R. Mark Stitt (120)

轨到轨放大器

- 简化高精度电路设计的自归零 (Auto-zero) 放大器 Thomas Kugelstadt (126)
- 轨到轨运算放大器的应用 Andreas Hahn (138)

音频放大器

- 音频电路集 (一): 单电源供电与滤波器 Bruce Carter (151)
- 音频电路集 (二): 陷波器 Bruce Carter (159)
- 音频电路集 (三): 仿真电感应用电路 Bruce Carter (170)
- 减少 D 类放大器的输出滤波器* Mike Score (180)
- D 类功率放大器的电源去耦以及音频信号滤波

..... Richard Palmer, Timothy Darling (188)

高速放大器

- 运算放大器用作射频和中频放大器 Bruce Carter (196)
- 采用高速运算放大器设计高性能的 RF 电路 (1) Bruce Carter (204)
- 采用高速运算放大器设计高性能的 RF 电路 (2) Bruce Carter (211)

电流反馈放大器

- 电压反馈运放和电流反馈运放 (216)
- 电流反馈运算放大器应用电路 Bruce Carter (227)

全差分放大器

- 轻松使用全差分运算放大器 Bruce Carter (235)
- 高速数据采集系统中全差分放大器的设计 James Karki (242)

放大器与滤波

FilterPro: MBF 和 Sallen-Key 低通滤波设计工具

- John Bishop, Bruce Trump, R. Mark Stitt (257)
- 使用电流反馈放大器的有源滤波器 Randy Stephens (271)

印制板设计

- PCB 设计: 运算放大器设计的组成部分 Bruce Carter (282)
- 轻松设计高速运算放大器的印制电路板 Andy Hahn (294)

理解运算放大器的规范*

Jim Karki

1 介绍

为特定的应用选择正确的运算放大器需要有明确的设计目标以及充分理解所发布的规范。本文主要讨论如何理解数据手册上的技术要求。

本文以一些背景信息开始。首先，介绍放大器的基本原理，包括理想运算放大器模型。以两个简单的放大器电路为例，使用理想放大器模型对其进行分析。其次，讨论一个简单的运算放大器电路，说明参数的变化对运算放大器理想功能的限制。

文章随后着重讨论运算放大器的技术规范。德州仪器公司的数据手册《运算放大器、比较器和特殊功能放大器》作为我们讨论运算放大器规范的基础。这些内容包括德州仪器公司是如何定义和测试运算放大器的各项参数。

我们的网站 www.ti.com 包含最新的产品信息、修订和附加信息。通过 TI&ME 注册的用户可以定制自己的信息网页并且通过电子邮件自动接收新产品的更新。

2 运放概述

“运算放大器”这个词（简称为“运放”）起源于 20 世纪 40 年代，指一类专门通过改变外围器件可以实现不同算术运算的放大器。早期的运放由电子管组成，体积大而且耗电。后来由于分立式电子管的应用，体积小了很多。现在，运放是单片集成电路，既经济又高效。

2.1 放大器基础

在介绍运放之前，让我们花几分钟时间先回顾一下放大器的基本原理。一个放大器有一个输入端和一个输出端。对于一个线性放大器，输出信号 = $A \times$ 输入信号，其中 A 是放大因子或者增益。

根据输入和输出信号的特点，可以将放大器增益分为四种：

- 电压增益（输出电压/输入电压）；
- 电流增益（输出电流/输入电流）；

*TI 文档索引号：SLOA 011

- 跨阻增益（输出电压/输入电流）；
- 跨导增益（输出电流/输入电压）。

鉴于大部分的运放都是电压型放大器，下面只讨论电压型放大器。

通过戴维南定理可以为放大器建模，把它简化为适当的电压源和一系列电阻。输入端口扮演着被动接受的角色，自身不产生任何电压，所以它的戴维南等效为一个阻抗元件 R_i 。输出端口被建模为一个独立的电压源 $A_v V_i$ 和一个输出电阻 R_o 。作为一个完整的简单放大器电路，还需要添加一个输入信号源 V_s （内阻为 R_s ）和负载 R_L 。图 1 为一个简单放大器的戴维南等效电路。

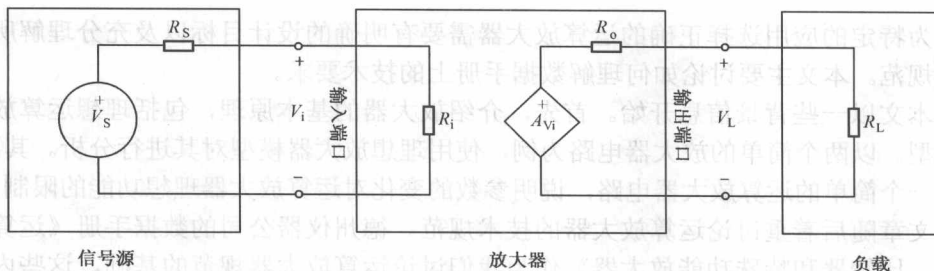


图 1 带信号源和负载的放大器的戴维南模型

从图 1 可以看到，在放大器的输入和输出端都有分压电路存在。这要求我们在不同的输入源和输出负载的时候进行重新计算，增加了计算的复杂性。

2.2 理想运放模型

图 1 中放大器的戴维南等效模型在图 2 中用标准运放的表示方法给出。运放与单端放大器是有区别的。它放大输入端电压的差值， $V_d = V_p - V_n$ ，在输出端输出以地为参考值的输出电压 V_o 。

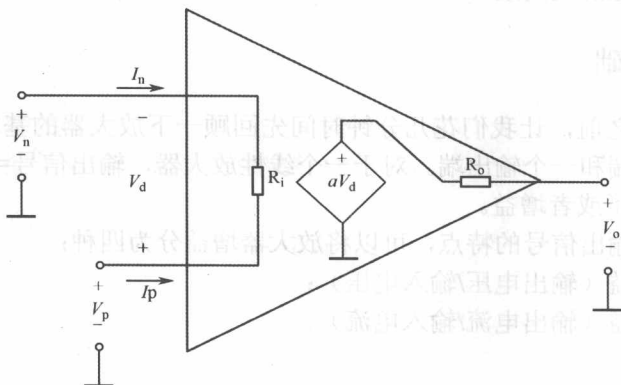


图 2 标准运算放大器的表示方法

如上面所述, 在输入和输出端仍然有负载的影响。理想运算放大器模型被用来简化电路计算, 已经被工程师在最先的近似值计算中普遍采用。理想模型做三个简单的假设:

- 增益无限: $a=\infty$;
- 输入电阻无限: $R_i=\infty$;
- 输出电阻为零: $R_o=0$ 。

把这三个假设应用到图 2 中, 可以得到理想运算放大器模型, 如图 3 所示。

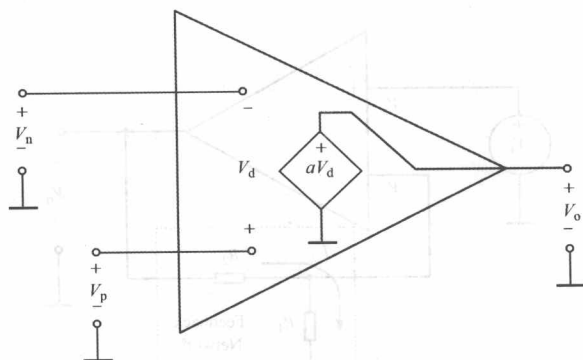


图 3 理想运算放大器模型

从理想运算放大器模型, 可以推导另外的简化公式:

$$I_n = I_p = 0 \quad (1)$$

因为 $R_i=\infty$, 我们假设 $I_n=I_p=0$ 。在输入端没有任何负载效应。

$$V_o = aV_d \quad (2)$$

因为 $R_o=0$, 在输出端没有负载的影响。

$$V_d = 0 \quad (3)$$

如果运算放大器是线性运算, V_o 必须是一个有限的电压值。通过定义 $V_o=aV_d$, 整理后得到, $V_d=V_o/a$ 。因为 $a=\infty$, 所以, $V_d=V_o/\infty=0$, 这是虚短概念的基础。

$$\text{共模增益} = 0 \quad (4)$$

由理想电压源推动的输出端只依赖于输入端的差分电压。它抑制在 V_n 和 V_p 端的所有共模电压。

$$\text{带宽} = \infty \quad (5)$$

$$\text{压摆率} = \infty \quad (6)$$

假设与频率无关。

$$\text{漂移} = 0 \quad (7)$$

性能不受时间、温度、湿度、电源供电变化等因素的影响。

3 同相放大器

理想运算放大器模型对其自身来讲,没有任何使用价值,因为任何有限的输入信号都会得到无限的输出。通过在理想运放的外围连接元件,我们就可以组建一个有用的放大器电路。图4是一个基本的同相放大电路。三角形的增益模块符号代表理想运算放大器。用“+”(V_p)标示的是同相输入端,“-”(V_n)代表反相输入端。

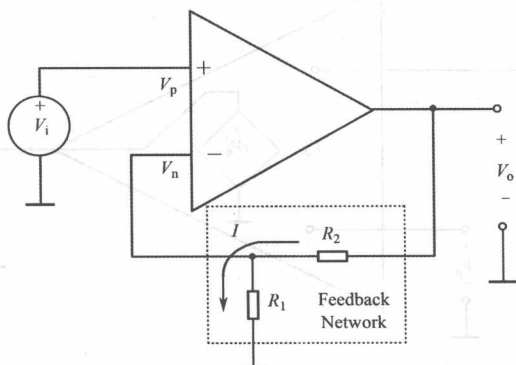


图4 同相放大器

为了理解这个电路,我们必须在输入电压 V_i 和输出电压 V_o 之间建立关系式。

请记住在输入端没有负载效应存在(输入阻抗无穷大,输入信号完全进入运放而不会被分压),

$$V_p = V_i \quad (8)$$

V_n 端的电压由 V_o 通过电阻网络 (R₁ 和 R₂) 产生, 所以

$$V_n = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_o b \quad (9)$$

其中

$$b = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (10)$$

参数 b 被称为反馈系数,因为它代表输出信号反馈给输入的多少。

考虑到在理想模型中,

$$V_o = aV_d = a(V_p - V_n) \quad (11)$$

替换 V_p 和 V_n, 得到

$$V_o = a(V_i - bV_o) \quad (12)$$

考虑到已经有的项, 得到

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{1}{b}\right) \left(-\frac{1}{1 + \frac{1}{ab}}\right) \quad (13)$$

这个结果说明图 4 中的运算放大器电路是一个放大器, 它的增益为 A 。因为 V_i 和 V_o 的极性是一样的, 所以这种电路被称为同相放大器。

A 被称为运算放大器电路的闭环增益, 而 a 被称为开环增益。它们的乘积 ab 被称为环路增益。这个增益被看做在反相端的输入信号沿顺时针方向通过运算放大器和反馈网络。

3.1 闭环的概念及其简化

将 $a = \infty$ 代入式 (13), 得到

$$A = \frac{1}{b} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (14)$$

回想在式 (3) 中, 我们规定 V_n 和 V_p 的电压差 V_d 等于零, 所以, $V_n = V_p$ 。当然它们不是真的短路在一起, 我们称 V_n 和 V_p 之间为虚短。虚短的概念可以帮我们大大简化了图 4 中同相运算放大器放大电路的分析。

使用虚短的概念, 可以得到

$$V_n = V_p = V_i \quad (15)$$

注意到, 在式 (9) 中已经解决了 V_n 的电阻分压的关系, 代入式 (15), 可得

$$V_i = V_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} = V_o b \quad (16)$$

整理公式为 A 的形式, 得到

$$A = \frac{1}{b} = 1 + \left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

得到与式 (14) 相同的结果。使用虚短的概念把解决同相放大器的问题简化为一个解决电阻分压网络的问题 (如图 4 所示)。

4 反相放大器

图 5 为另外一个有用的基本运算放大器电路, 反相放大器。三角形的增益模块符号再次被用来代表理想运算放大器。输入端 “+” (V_p) 被称为同相输入端, “-” (V_n) 代表反相输入端。这跟图 4 中同相电路相似, 不同的是, 在这里信号通过 R_1 加载到反相端, 同相端被接地。

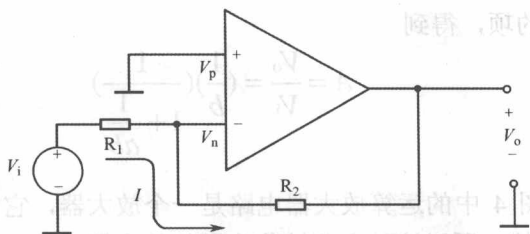


图5 反相放大器

为了理解这个电路，我们必须得到输入电压 V_i 和输出电压 V_o 之间的关系。

因为 V_p 被接到地，所以

$$V_p = 0 \quad (17)$$

我们知道，在输入端没有电流流过，在 V_n 端的电压值可以通过叠加得到。首先，我们令 $V_o = 0$ ，则

$$V_n = V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (18)$$

接下来，令 $V_i = 0$ ，则

$$V_n = V_o \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (19)$$

合并，得到

$$V_n = V_o \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) + V_i \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (20)$$

回想在式 (11) 中， $V_o = aV_d = a(V_p - V_n)$ ，代入整理后，得到

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1 - \left(\frac{1}{b} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{1}{ab}} \right) \quad (21)$$

$$\text{其中, } b = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

我们又一次得到了放大器电路。因为 $b \leq 1$ ，闭环增益 A 是负值， V_o 和 V_i 的极性相反。因此这个电路是反相放大器。

4.1 闭环的概念及其简化

把式 $a = \infty$ 代入式 (21)，得到

$$A = 1 - \frac{1}{b} = -\frac{R_2}{R_1} \quad (22)$$

在式 (3) 中，我们假设 V_d 为 V_n 和 V_p 端的电压差，其值为零，所以 $V_n = V_p$ 。 V_n 和 V_p 仍然不是真的短路在一起，而是被称为虚短。虚短的概念简化了图 5 中反相运

算放大器电路的分析。

利用虚短的概念，我们可以说

$$V_n = V_p = 0 \tag{23}$$

在这种情况下，反相输入端为虚地。

我们可以写出在反相输入端的节点公式为

$$\frac{V_n - V_i}{R_1} + \frac{V_n - V_o}{R_2} = 0 \tag{24}$$

因为 $V_n=0$ ，整理计算，得到

$$A = 1 - \frac{1}{b} = -\frac{R_2}{R_1} \tag{25}$$

我们很方便地得到与式 (21) 相同的结果。使用虚短（或者虚地）的概念把要解决方向放大器的问题简化为解决一个单节点公式（如图 5 所示）。

5 简化运算放大器电路图

实际的运算放大器不是理想化的，它们有局限性。为了理解和讨论这些局限性的起因，我们来看一个简化的运算放大器电路图，如图 6 所示。

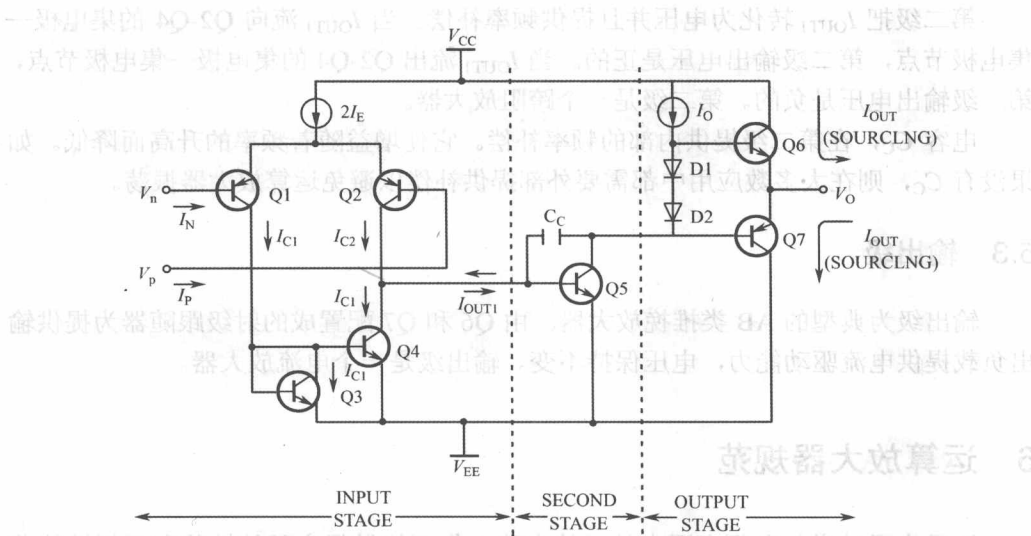


图 6 简化的运算放大器电路图

虽然是简化的，这个电路仍然包含运算放大器一般都有的三个基本部分：输入级、第二级、输出级。

输入级的功能是放大输入的差分信号，即 $V_p - V_n$ ，把它们转化为单端信号；第二

级更进一步地放大信号并且提供频率补偿；输出级提供输出驱动能力。

5.1 输入级

对称性是输入级工作的关键。每对晶体管（Q1-Q2 和 Q3-Q4）要尽可能的匹配。

Q3 按照二极管的方法进行连接。这使 Q3 的集电极电流等于 I_{C1} 。Q3 和 Q4 的基级节点和发射极节点并行连接，这使 Q3 和 Q4 具有相同的 V_{BE} 。因为 Q3 和 Q4 是相匹配的，所以 Q3 的集电极电流与 I_{C1} 相等。这个电路被称为镜像电流源。

电流源 $2I_E$ 被 Q1 和 Q2 分流，分配比例由输入电压 V_p 和 V_n 决定。

当 V_p 大于 V_n 的时候，Q1 承载的电流比 Q2 大， I_{C1} 大于 I_{C2} 。由 Q3 和 Q4 组成的电流源使 I_{OUT1} 流向 Q2 和 Q4 的集电极—集电极节点。

当 V_n 大于 V_p 的时候，Q2 承载的电流比 Q1 大， I_{C2} 大于 I_{C1} 。由 Q3 和 Q4 组成的电流源使 I_{OUT1} 流出 Q2 和 Q4 的集电极—集电极节点。

I_{OUT1} 是第一级输出的单端信号，与差分信号 $V_p - V_n$ 成比例关系，即， $I_{OUT1} = g_{m1}(V_p - V_n)$ 。 g_{m1} 被称为输入级的跨导。输入级是一个跨导放大器。

5.2 第二级

第二级把 I_{OUT1} 转化为电压并且提供频率补偿。当 I_{OUT1} 流向 Q2-Q4 的集电极—集电极节点，第二级输出电压是正的。当 I_{OUT1} 流出 Q2-Q4 的集电极—集电极节点，第二级输出电压是负的。第二级是一个跨阻放大器。

电容 C_C ，在第二级提供内部的频率补偿。它使增益随着频率的升高而降低。如果没有 C_C ，则在大多数应用中都需要外部提供补偿以避免运算放大器振荡。

5.3 输出级

输出级为典型的 AB 类推挽放大器。由 Q6 和 Q7 配置成的射级跟随器为提供输出负载提供电流驱动能力，电压保持不变。输出级是一个电流放大器。

6 运算放大器规范

如果你用过增益和频率适中的运放电路，你可能觉得实际的性能和理想性能非常一致。但是，随着增益或者频率的增加，一些运放的局限性就表现出来了。

从理论上讲，正确理解内部结构和制作运放的过程，我们可以计算出这些影响因素。值得庆幸的是，这些都是不需要的，因为厂商在数据手册中提供了这些信息。在为工程应用选择运放的时候，正确理解数据手册规范是非常必要的。

这个关于运放参数的讨论基于德州仪器的数据手册。下面的定义（除非特别注

明) 来自《运算放大器术语表》(见德州仪器数据书《放大器、比较器和特殊功能放大器》, 1-37 页, 1-40 页和 5-37~5-40 页)。它定义了数据手册中涉及的绝大多数参数。

6.1 运算放大器术语表

$\alpha_{I_{IO}}$ 输入失调电流的平均温度系数	输入失调电流与开放空间温度的比率。这是特定温度范围内的平均值。通常单位为 $\mu A/^{\circ}C$
$\alpha_{V_{IO}}$ 输入失调电压的平均温度系数	输入失调电压与开放空间温度的比率。这是特定温度范围内的平均值。通常单位为 $\mu V/^{\circ}C$
ϕ_m 相位裕量	在单位开环放大倍数的频率下, 输出与反相输入间开环相位位移(相移)的绝对值
A_m 增益裕量	在输出信号与反相输入同相时的最低频率下开环电压放大倍数的倒数
A_V 大信号电压增益	输出电压摆动的峰-峰值与输入变化的比率
A_{VD} 差分电压增益	在共模输入电压保持不变的情况下, 输出电压变化和差分输入电压变化的比率
B_1 单位增益带宽	开环电压增益比单位增益大时的可用频率范围
B_{OM} 最大输出摆幅带宽	最大输出摆幅大于某个特定值的可用频率范围
C_i 输入电容	一端输入接地情况下另一端的电容值
CMRR 共模抑制比	差模增益与共模增益之比 注释:这个参数的测量由输入共模电压的变化与由此产生的输入失调电压的变化的比率所决定
$\bar{F}$ 平均噪声指数	当输入端的噪声温度为在整个频率范围内的参考噪声温度时, 在设计输出带宽内总的输出噪声能量与由于在设计输入频率范围内设计信号输入端的噪声温度引起的输出噪声能量之比
I_{CC+}, I_{CC-} 电源电流	流入 V_{CC+} 或者 V_{CC-} 引脚的电流
I_{IB} 输入偏置电流	在输出为特定电平的情况下流入两个输入端的平均电流值
I_{IO} 输入失调电流	在输出为特定电平的情况下流入两个输入端电流的差值
I_n 等效输入噪声电流	输入端可表示为一个理想电流源(内部阻抗无穷大)与输入阻抗的并联, 理想电流源代表器件内部等效电流噪声
I_{OL} 低电平输出电流	参照产品规格说明书配置输入端在输出端产生一个低电平信号, 此时流出输出端的电流
I_{OS} 输出短路电流	在输出端接地、电源或者一个特定值时, 放大器能够输出的最大电流
K_{SVS} 电源敏感度	(供电电源电压变化导致的)输入失调电压变化与供电电源电压变化的比值的绝对值 注释:1.除非特别说明, 双电源电压变化是对称的。2.它是电源抑制率的倒数

K_{SVR} 电源电压抑制率	供电电源电压变化与（供电电源电压变化导致的）输入失调电压变化的比值的绝对值 注释:1.除非特别说明, 双电源电压变化是对称的。2.它是电源敏感度的倒数
P_D 总功耗	总的直流功耗减去推动负载所需要的功耗 注释: 在没有负载的情况下, $P_D = V_{CC+} \cdot I$
r_i 输入电阻	在一端输入接地的情况下两个输入端间的阻抗
r_{id} 差分输入电阻	两个非接地输入端的小信号阻抗
r_o 输出电阻	输出端与地之间的阻抗
SR 压摆率	输入为阶跃信号时闭环放大器的输出电压时间变化率的平均值
t_r 上升时间	输出电压从稳态输出电压的 10% 跳变到 90% 所需要的时间
t_{tot} 总响应时间	阶跃函数在输入端的变化时输出端幅度达到一定幅度所需要的时间, 该幅度包含稳态输出值
V_I 输入电压范围	能保证运放正常工作的输入电压范围
V_{IO} 输入失调电压	为了使输出电压静态直流量为零或者其他的特定值, 在输入端需要施加的电压
V_{IC} 共模输入电压	同相和反相输入端电压的平均值
V_{ICR} 共模输入电压范围	能保证运放正常工作的共模电压输入范围
V_n 等效输入噪声电压	输入端可等效为一个理想电压源（内阻为零）和运放输入阻抗的串联, 理想电压源代表运放内部产生的电压噪声
V_{O1}/V_{O2} 串扰衰减系数	一个通道输出端电压的变化对另外一个通道输出端引起的变化的比值
V_{OH} 高电平输出电压	按照产品规范中产生高电平输出电压所需的条件配置输入端, 从而在输出端所产生的实际电压
V_{OL} 低电平输出电压	按照产品规范中产生低电平输出电压所需的条件配置输入端, 从而在输出端所产生的实际电压
V_{ID} 差分输入电压	以反相端电压为基准地, 在同相端输入的电压
V_{OM} 最大输出电压摆幅	在输出波形没有限幅且其直流量为零的情况下输出电压正的或者负的最大值
$V_{O(P-P)}$ 最大输出电压摆幅峰-峰值	在输出波形没有限幅且其直流量为零的情况下输出电压最大峰-峰值
Z_{ic} 共模输入阻抗	两输入端对地小信号阻抗的并联值
Z_o 输出阻抗	输出端对地的小信号阻抗
过冲因子	在输入加入阶跃函数后, 输出信号偏离最终稳定信号的最大值与加入输入信号前后输出的稳态值的差值的绝对值的比值
THD+N 总谐波失真度加噪声	噪声有效值与谐波有效值的和与输出信号有效值的比值
GBW 增益带宽积	开环增益与被测试处频率值的积
输入失调电压的长期平均漂移系数	输入失调电压的变化与时间变化的比值。这个参数是特定时间段内的平均值。通常单位是微伏/月