

集成运算放大器 基本原理与应用

钱国飞 编

上海交通大学出版社

沪新登字 205 号

内 容 简 介

本书共分五章,第一章通过对运算放大器电路结构,特性参数的分析,以及对反相型、同相型、差动型、积分型等基本运算电路的分析、重点阐述了运算放大器的基本概念和电路的分析方法、分析步骤,并介绍了实际运算电路的稳定性和静、动态特性。第二章对精密模拟开关的分析和设计作了较详细的介绍。第三、四、五章介绍了在测量技术、仪器仪表、自动控制等领域中较为常用的运算放大器应用电路,包括精密参考电压源、模拟电压比较器、仪用前置放大器、电桥放大器,模拟信号变换器、精密线性检波器、二极管函数发生器,对数放大器、模拟乘法器等。

本书可作为大专院校电测、仪表专业的教材,也可作为电类有关专业学生的选修教材。本书在叙述上注意由浅入深,启发读者思维,因此可作为具有一定模拟电子基础的工程技术人员的自学参考书。

集成运算放大器基本原理及应用

出 版: 上海交通大学出版社

(淮海中路 1984 弄 19 号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 立信常熟印刷联营厂

开 本: 850×1168(毫米) 1/32

印 张: 10.375

字 数: 288,000

版 次: 1992 年 9 月第 1 版

印 次: 1992 年 10 月第 1 次

印 数: 1—2,600

科 目: 280—291

ISBN 7-313-01091-5/TN·4

定价: 3.25 元

前 言

运算放大器最初是在模拟电子计算机领域用来指示能完成诸如加、减、乘、除、微分和积分等运算的放大器电路。现在，它已普遍被用来指示为一个高性能的直流放大器。由运算放大器和外部反馈网络一起组成的电路，其输出和输入之间可以十分灵活地实现各种所需的函数关系，因而具有对信号进行运算、处理、变换和测量等各种功能。

运算放大器自出现以来经历了由电子管、晶体管到单片集成电路的发展过程，随着电路设计和集成工艺水平的发展，目前运算放大器以其品种繁多、功能齐全、价格便宜充满了电子元件市场，尤如一只普通的晶体管那样已为各个工程技术领域工作的科技人员所接受。

集成运算放大器的出现和发展使得工程技术人员从十分繁琐、非常耗时的直流放大器的设计制作中解放出来。它仅作为一个电子元件商品供设计人员直接选用，从而使得运算放大器的应用领域早已超越了电子模拟计算机领域。现在，运算放大器的应用已遍及测量技术、仪器仪表、自动控制、计算技术、电信无线电等几乎一切技术领域。实际上，它的应用仅受使用者聪明才智的限制。因此，电领域工作的工程技术人员学习、掌握运算放大器的基本原理和应用技术已是必不可少的了。

本书并不讨论运算放大器本身内部电路的设计，但对因内部电路的设计引起对运算放大器特性的影响却颇为关心。另一方面，由于运算放大器应用之广泛，其应用电路的门类之繁多，实在数不胜数，因此本书不准备也不可能对其一一列举。重点在于阐述运算放大器电路的基本原理和一些基本理论，在此基础上重点介绍了在电测、仪表技术中的有关应用电路，以帮助读者掌握对运算放大器电路的分析方法、分析技巧和分析能力。书中对在电测、仪表技术中运用广泛的模拟开关电路单独作为一章进行比较详细的讨

论。

本书是笔者在多年教学实践的基础上编写而成的。在撰写过程中,广泛参阅了有关书籍。本书在叙述上注意由浅入深,启发读者的思维,因此本书可作为工科院校电类学生的教材,也可作为具有一定模拟电子技术基础的工程技术人员的参考读物。期望读者阅读了本书后对运算放大器应用电路有较强的分析能力和一定的设计能力。

由于笔者水平有限,时间仓促,书中肯定有不少缺点和疏漏,敬请读者批评指正。

笔 者

1992.2 于上海工业大学

目 录

前言

第一章 集成运算放大器的基本理论	1
1.1 概述	1
1.2 运算放大器的基本结构	2
1.3 运算放大器的主要特性参数	5
1.4 运算电路的基本分析方法	14
1.5 反相运算电路和加法器	18
1.6 同相型电路和跟随器	29
1.7 差动型电路和减法器	36
1.8 运算放大器的失调和漂移	45
1.9 积分运算器	57
1.10 运算电路的稳定性和相位补偿	73
1.11 运算放大器电路的动态特性研究	94
第二章 模拟电压切换开关与斩波器	111
2.1 概述	111
2.2 双极型晶体管模拟开关	112
2.3 结型场效应管模拟开关	135
2.4 MOS 场效应管模拟开关	148
2.5 斩波器	157
第三章 模拟电压比较器	166
3.1 概述	166
3.2 模拟电压比较器的特性参数	168
3.3 集成电压比较器 BG 307	171
3.4 由集成运算放大器构成的比较器	173
3.5 电容记忆周期校正式比较器	191
第四章 参考电压源	194
4.1 齐纳二极管	195

4.2	齐纳管参考电压源及误差分析	199
4.3	齐纳参考电压源的设计举例	206
4.4	高精度低漂移能隙基准源	213
第五章	集成运算放大器在测量线路中的应用	221
5.1	低漂移放大器	221
5.2	电桥放大器	237
5.3	模拟信号变换器	243
5.4	线性检波器和绝对值放大器	256
5.5	二极管函数发生器	266
5.6	对数和反对数放大器	282
5.7	模拟乘除法运算电路	295
5.8	采样—保持电路	313

集成运算放大器的基本理论

第一章

1.1 概 述

运算放大器最初是模拟计算机领域的工作人员引入的术语,用来表示能完成诸如加法、减法、积分、微分等各种运算的放大器电路。在这种电路中,其输入输出特性是靠外部网络通过负反馈引入一个高增益直流放大器来获得的。运算放大器这术语现在已不那么确切地被用来指示为任一个适合使用这类反馈的一个高性能直流放大器,从这一约定出发,掌握下面的基本概念是重要的。

1. 运算放大器是一个高增益的直流放大器。由电子技术课程中已学过的知识,我们马上会联想到其电路结构的特点是级与级之间采用直接耦合。直接耦合的结果造成各级工作点之间的相互影响,产生零点漂移。而零点漂移的存在,对信号的测量和运算带来不可忽略的误差。因此,为了抑制零点漂移,通常运算放大器的输入级都采用对称差动型电路形式。

2. 运算放大器常常用来作为一个有源运算电路中的源。在这样的运算电路中,除了运算放大器这个有源元件外,还包括其他诸如电阻、电容、二极管等无源元件,从而构成我们所需要的各种不同的运算。如果使用得当,运算电路的全部特性(增益、频率响应等)就可由稳定的无源元件来精确地控制。必须注意,运算放大器是一个源,因此为了提高运算电路的静态和动态性能,应该对这个源提出一定的要求。

3. 运算放大器常常应用于深度负反馈中。由运算放大器构成一个运算电路的过程实际上就是将一个负反馈通过外部元件加

于运算放大器的过程,因此运算放大器的输出和输入之间必须有 180° 的相位差。据电子技术课程中已学过的知识,常常可用负反馈的理论来分析运算电路,而在制作一个实际的运算电路时,首先必须考虑的是电路的稳定性。

自60年代以来,运算放大器从电子管到晶体管,又从晶体管分立元件发展到目前的单片集成电路。它使工程技术人员从繁琐的非常耗时的直流放大器的设计中解放出来。今天市场上到处可以买到价廉物美的固体集成运算放大器器件,它们性能优良、可靠、坚固,而且使用方便,因此它已成为电子电路的基本积木单元,广泛地应用于信号运算、信号处理、信号发生、信号变换、信号测量及开关电路等领域中,它的应用是如此的广泛,以致仅仅受使用者的聪明才智的限制。本书不准备一一列举运算放大器的各种应用电路,这既耗时又不可能。幸运的是尽管运算放大器的应用电路形式很多,但它们的基本组态只有3种,即反相运用、同相运用和差动运用。作为一个初学者,在熟悉运算放大器内部电路的基本结构,深刻理解运算放大器的各项特性参数,熟练掌握运算放大器电路的基本分析方法,并通过对3种基本应用电路的分析之后,再去学习分析其他运用电路就会倍感省时省力。积分运算器在信号的发生和数字化测量技术中作为一个重要的部件,本书单独列出一节作详细的介绍。此外,对运算放大器应用电路的稳定性、动态特性也作以简明的介绍。

1.2 运算放大器的基本结构

一个以差动放大电路为输入级的集成运算放大器,其引出端子示意图如图1.1所示。输入有两个端子,同相端(信号从这一端子加入时,输出信号和输入信号同相位)和反相端(信号从这一端子加入时,输出信号和输入信号相位相差 180°)。外界信号既可单端输入(另一输入端接地),也可双端输入(从两个输入端分别输入信号),真正输入到运算放大器的有效信号是加在两个输入端上的

信号差值。输出端可以是单端输出,也可以是双端输出(尽管实际中大量应用的是单端输出,如图1.1所示)。调零端有3个端子,可外接电位器,用来调节放大器的零点。相位补偿端是两个端子,可外接相位补偿网络,使运算电路工作稳定。此外,目前的运算放大器一般有两个电源端子,可外接正、负两个电源(例 $\pm 15\text{ V}$)。

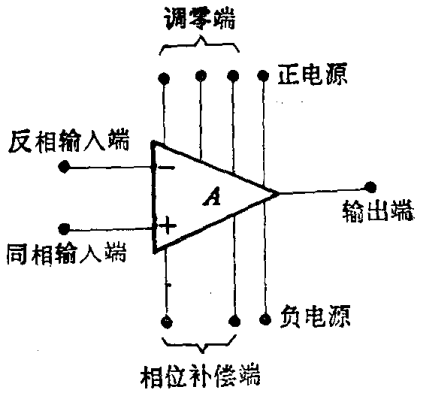


图 1.1 集成运算放大器的引出端子

作为一个使用者没有必要熟悉其内部电路的详细细节,但必须能够识别制造厂家提供的外部端子,同时又必须深刻理解用来说明放大器性能的各种特性参数,这是正确学习、掌握和应用运算放大器的关键。但要深刻理解放大器的特性参数又必须结合其内部的电路结构,特别是放大器的输入输出电路结构。因此,下面对运算放大器的内部电路结构作一基本的介绍。

运算放大器可由输入级、中间级、输出级 3 部分组成,各级之间都是直接耦合。图 1.2 示出了它的结构方框图。在一个运算放大器中,这 3 部分各自起着不同的作用。

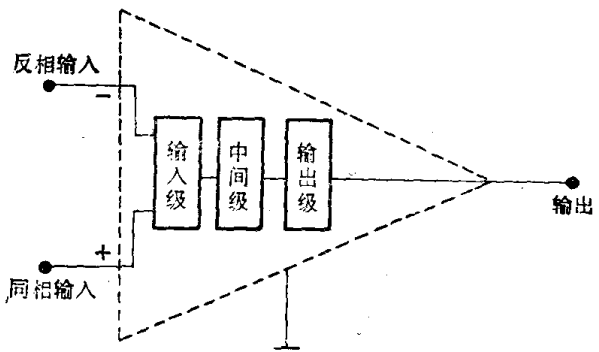


图 1.2 集成运算放大器内部结构框图

输入级：它决定了整个运算放大器的输入阻抗、零点漂移、共模抑制比、共模输入电压范围、信噪比等。通常，运算放大器的输入级都采用差动放大电路，如图 1.3 所示。它由两个特性相当接近 ($\beta_1 \approx \beta_2, U_{be1} \approx U_{be2}$) 的晶体管 T_1 和 T_2 组成。两管集电极静

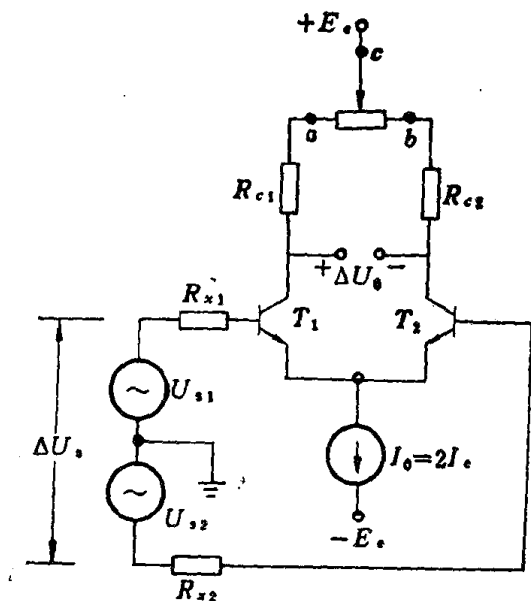


图 1.3 差动输入放大电路

态电流由它们的发射极与负电源之间的一个公共的恒流源 I_0 所确定。两管的集电极电阻应相等, $R_{c1} = R_{c2}$, a, b, c 3 点用来外接电位器 R_w , 可调节整个放大器的零点, 其中 R_w 的动端接到正电源。

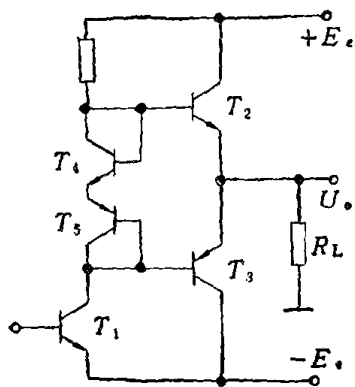


图 1.4 互补推挽输出电路

有的运算放大器中, 其差动输入级的 T_1, T_2 管可以是复合管, 也可以是 β 高达 2000~10000 的超 β 管, 也可以是场效应管。

中间级：它的主要作用是电

压放大,变双端输出为单端输出以及直流电平的配置等,使用者往往并不关心其电路的形式。

输出级:它主要起阻抗变换作用,因而决定了整个运算放大器的输出阻抗和输出功率。对它的要求是有较大的电压输出幅度(摆幅),向负载提供一定的正、负向输出电流以及尽可能低的输出阻抗。其电路形式多采用互补推挽电路,如图 1.4 所示,其中 T_2, T_3 分别是 NPN 和 PNP 晶体管,它们构成互补对称结构。

当然,输出级也可采用差动放大电路。这样,运算放大器就有两个输出端子了。

1.3 运算放大器的主要特性参数

本节比较详细地介绍运算放大器的主要特性参数。这是切实掌握、合理使用运算放大器的关键。在学习过程中切忌对某些定义作简单的死记硬背和一知半解。建议读者对每一特性参数的含义要逐字逐句地深入研究,并作必要的引伸。能结合运算放大器的电路结构,特别是输入级、输出级的电路结构,运用已学过的电路知识来深入理解某些特性参数的含义,建立起物理模型。如果有必要,还可对运算放大器众多的特性参数加以分类,可从输入输出方面来分,也可从静态、动态性能方面来分。

1. 开环电压放大倍数 A_d

它定义为运算放大器在没有任何外部反馈情况下的差模直流电压放大倍数。即它是在放大器开环情况下(实际上就是指运算放大器本身的),输出电压与输入差动电压的比值。

如图 1.5 所示,其中 U_- 表示为加到反相端的输入电压、 U_+ 表示为加到同相端的输入电压,则有:

$$A_d = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_o}{U_+ - U_-} \quad (1.1)$$

在这里要注意 A_d 和整个运算电路的放大倍数,即闭环电压

放大倍数(记作 A_d)的区别。 A_d 反映了对输入到运算放大器两输入端信号差值的放大能力。一般希望 A_d 值越大越好(通常 $A_d \geq 10^5$)。还要注意 A_d 和以后讲到的

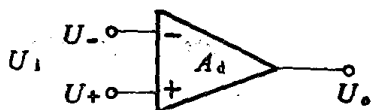


图 1.5 开环电压放大倍数 A_d 的定义

的共模电压放大倍数(记作 A_{cm})

的区别。另外, A_d 通常指的是直流放大倍数, 所以手册上给出的值都是常数。实际上, 运算放大器在交流信号输入情况下, 其交流放大倍数是随输入信号频率的不同而不同的(这不仅在幅值上, 而且在相位上也是如此), 因此其交流放大倍数应是频率的函数。这一点以后还要讲到。即使这样, 由于运算放大器的频带有一定的宽度, 在低频交流信号输入时, 运算放大器的交流放大倍数和其直流放大倍数基本一样。所以, 为了克服运算放大器失调带来的测量误差, A_d 值的测量实际上是在输入低频(100~400 Hz) 交流信号下进行的。

如用对数表示就称为开环电压增益 G_{oL} , 即 $G_{oL} = 20 \lg A_d$ 。

2. 输入失调电压 U_{os} 及温度漂移 $\Delta U_{os}/\Delta T$

运算放大器两输入端接地, 并把调零端子短路时, 由于制造上的不对称, 总有一定的电压输出, 称为输出失调电压 U_{off} , 把它向放大器的输入端折算, 即除以差动放大倍数 A_d , 就称为输入失调电压, 有 $U_{os} = U_{off}/A_d$ 。

这里, 要注意的几点是, 首先 U_{os} 定义(或测试)的条件, 为了排除运算放大器的共模影响, 只将两输入端短路是不够的, 还必须把它们接地。同时, 为了排除外界因素的影响, 只考虑放大器本身电路不对称造成的失调, 所以必须把调零端子短路。其次, 失调电压为什么一定要从输出端折合到输入端呢? 这是为了在衡量运算放大器之间关于失调电压这一特性参数好坏时, 有个共同的比较标准, 即取规范值来比较。例如从市场上买来两个放大器 A_1 和 A_2 , 如果只标明它们在输入为零时输出噪声的大小分别为 10 mV 和 20 mV, 则不能简单地说放大器 A_1 的性能比 A_2 好。事实上, 如

果再标出它们的放大倍数分别为 100 和 1000, 那么显然放大器 A_2 的性能要比放大器 A_1 好, 这是因为把它们的输出噪声折合到输入端后的数值, A_2 比 A_1 要小。所以这种折合的概念很重要, 在日常生活中这种折合的概念也应用得非常广泛。作了这样的折算后, 我们可以把实际运算放大器用一个数值等于 U_{os} 的电压源和一个理想运算放大器(没有失调电压)来仿真, 如图 1.6 所示。有了这样的物理模型, 它对我们今后分析运算电路的误差是十分方便的。

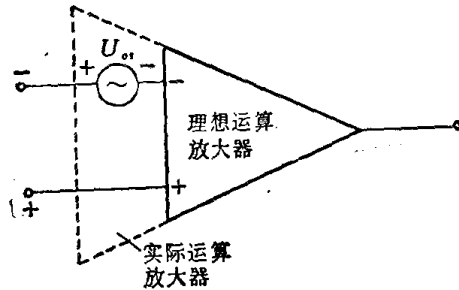


图 1.6 只考虑失调电压 U_{os} 影响的仿真电路

运算放大器失调电压的产生主要是由组成差动输入级的两晶体管 T_1 、 T_2 的基-射正向偏压 U_{be} 的失配造成的。参看图 1.3, 如两集电极电阻及负载不平衡, 也将引起附加的失调电压。考虑了这两因素后, 输入失调电压可表示为:

$$U_{os} = (U_{be1} - U_{be2}) + \frac{I_c \cdot \Delta R_c}{A_1}, \quad (1.2)$$

式中: $I_{o1} = I_{o2} = I_o$; $\Delta R_c = R_{c1} - R_{c2}$;

A_1 为差动输入级的电压放大倍数。

在集成工艺中, 相邻两晶体管的 U_{be} 匹配误差不难达到 $\pm 2 \text{ mV}$ 以内, 这也正是一般输入失调电压的数量级。

在一定条件下, 放大器的 U_{os} 是恒定的, 我们可通过适当的调零装置给予补偿。但它往往是随环境温度等外界因素而变化的, 这就是所谓的失调漂移, 其中温度的漂移是主要的, 为此引入温度系数 $\Delta U_{os} / \Delta T$ 的概念, 它是单位温度变化所引起的输入失

调电压的变化量,通常为 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 数量级,

放大器的失调电压及其漂移不仅降低了放大器的灵敏度,而且是造成运算电路运算误差的主要原因之一,在电路设计中要给予足够的重视。

3. 输入偏置电流 I_{b+} 和 I_{b-}

为了保证运算放大器差动输入级电路的正常工作,要给两晶体管 T_1 、 T_2 有一定的偏置电流。 I_{b+} 、 I_{b-} 指输入信号为零时,同相、反相输入端的静态基极偏置电流。参看图 1.3 可知,它们的大小取决于输入级晶体管的电流放大系数 β 。

一个运算放大器的输入偏置电流究竟是大好呢还是小好呢?为此,我们来分析一下它们对运算电路的影响。

当运算放大器和信号源、外部网络连接时,输入偏置电流 I_{b+} 、 I_{b-} 各自有一外部流通的路径, I_{b+} 、 I_{b-} 流过各自外部回路时,在同相端和反相端上要产生电位 U_+ 、 U_- ,如果这两个电位不相等,就会在运算放大器输入端产生一个误差电压 ΔU ,它与外界输入信号的存在无关。当外界输入信号为零时,运算放大器的输出应该为零。但由于这个误差电压 ΔU 的存在,它经放大后在输出端产生我们不希望的电压输出,从而给运算电路带来了误差。

设 I_{b+} 、 I_{b-} 各自流通的外部回路上的等效电阻分别为 R_{x1} 、 R_{x2} ,它们与外部元件和信号源内阻有关,故在运算放大器两输入端之间的误差电压 ΔU 为:

$$\begin{aligned}\Delta U &= U_+ - U_- \\ &= I_{b+}R_{x1} - I_{b-}R_{x2}.\end{aligned}\quad (1.3)$$

当 $I_{b+} = I_{b-} = I_b$ 时,有:

$$\Delta U = I_b(R_{x1} - R_{x2}); \quad (1.4)$$

当 $R_{x1} = R_{x2} = R_x$ 时,有:

$$\Delta U = (I_{b+} - I_{b-}) \cdot R_x \quad (1.5)$$

由式(1.4),(1.5)看出,即使 $I_{b+} = I_{b-}$,但由于它们流过外部回路的等效电阻 R_x 不相等,或者即使 $R_{x1} = R_{x2}$,但由于运算放

大器两输入偏置电流 I_b 不相等, 都会在输入端产生误差电压。

我们定义两输入偏置电流之差为输入失调电流 I_{os} , 则有 $I_{os} = I_{b+} - I_{b-}$, 于是, 式(1.5)可写成 $\Delta U = I_{os} R_x$, 这就反映了失调电流对运算电路的影响, I_{os} 值越小越好。 I_{os} 的大小与 I_{b+} 和 I_{b-} 的失配程度有关, 而后者又与输入差动级中 T_1 和 T_2 管的电流放大系数 β 的失配程度有关, 若 $\beta_1 = \beta_2$, 则有 $I_{b+} = I_{b-}$, 因此 I_{os} 的大小反映了放大器输入级的对称性好坏。另一方面, 在 I_{b+} 和 I_{b-} 失配程度相同的情况下, 若两偏置电流的数值越小, 则 I_{os} 也越小。因此在同样的集成工艺下, 应选择输入偏置电流小的运算放大器。

两输入偏置电流的平均值定义为平均输入偏置电流 I_B , 即 $I_B = (I_{b+} + I_{b-})/2$ 。

当 $I_{b+} = I_{b-} = I_b$ 时, 有 $I_B = I_b$, 由式(1.4)知, 平均偏置电流 I_B 在两外部回路电阻不等情况下同样会造成运算误差。为了减小 I_B 的影响, 一方面应使两外部回路电阻相等, 另一方面应选择输入偏置电流小的运算放大器。

综上所述, 选择运算放大器时, 应使其输入偏置电流值越小越好, 其失调电流值越小越好, 一般情况下, I_{os} 和 I_{b+} (或 I_{b-}) 的值相差一个数量级。对于由场效应管构成输入级的运算放大器, 其输入偏置电流实际上是 PN 结的反向漏电流, 它的数值大约在 $10 \sim 100$ pA 之间, 至少可以比普通晶体管输入级的基极偏置电流降低 3、4 个数量级, 但这反向漏电流将随温度每升高 10°C 而增长 1 倍。

和失调电压漂移一样, 输入偏置电流、平均偏置电流和输入失调电流都存在漂移, 其中最主要的又是随温度的漂移。

值得指出的是失调电压 U_{os} 和失调电流 I_{os} 都是反映运算放大器差动输入级对称程度的参数, 但它们是有区别的。由于它们产生的原因不一样, 所以 $U_{os} = 0$ 时, I_{os} 不一定等于零, 反之亦然。在运算放大器应用电路的设计时应予考虑。例如若运算放大器的输入端为低阻回路时: 输入失调电压 U_{os} 的影响可能成为主

要考虑因素。反之,若输入端为高阻回路时,输入失调电流 I_{os} 的影响将成为主要考虑因素。据此来合理选择运算放大器。

4. 输入电阻

输入电阻有差模输入电阻和共模输入电阻之分。

差模输入电阻是指运算放大器开环条件下,从两个差动输入端看进去的动态电阻,记为 R_i ,参看图 1.3。

若 T_1 、 T_2 两管基-射极动态电阻相等,且为 r_{be} ,则

$$R_i = 2 r_{be}$$

考虑到 r_{be} 和晶体管发射极静态工作电流 I_e 的紧密联系,根据《电子技术》课程中学过的知识可导出:

$$\begin{aligned} R_i &= 2 r_{be} \\ &= 2 \left[r_b + (1 + \beta) \frac{26}{I_e} \right], \end{aligned}$$

式中: r_b 为晶体管基区电阻,考虑到 $(1 + \beta) \frac{26}{I_e} \gg r_b$,有

$$R_i \approx \frac{2 \times 26}{I_e / (1 + \beta)} \approx \frac{50}{I_e} \quad (1.6)$$

由此看出,运算放大器的差模输入电阻 R_i 与输入偏置电流的大小有关。可以利用式(1.6)来估算 R_i 的大小。 R_i 值越大越好,这样它从信号源吸取的电流也越小。

共模输入电阻记为 R_c ,它是指从运算放大器每一个输入端看进去的对地电阻,其值近似等于恒流源动态电阻 r_o 的 β 倍,通常放大器的共模输入电阻比它的差模输入电阻高 2 个数量级以上。一般手册里往往只给出差模输入电阻的值。

输入电阻通常也在输入低频交流信号条件下进行测量。

5. 共模放大倍数 A_{cm}

如果两个输入端的信号大小相等,极性又相同,则称它们为共模输入信号。显然,这时放大器的差动输入信号为零。若放大器

输入端分别加入 U_1 和 U_2 , 则共模输入电压为:

$$U_{cm} = (U_1 + U_2)/2。$$

由于差动输入级电路中的恒流源 I_0 并非理想, 差动电路也不可能做到完全对称(例如 $\beta_1 \neq \beta_2, R_{c1} \neq R_{c2}$), 因此在共模输入信号作用下, 运算放大器的输出电压 U_0 不等于零, 这时的输出电压和输入共模电压之比称为共模放大倍数 A_{cm} 。因此, 共模放大倍数的大小也反映了运算放大器输入级电路对称性的好坏。电路越对称, 共模放大倍数越小, 这是我们所希望的。

6. 共模抑制比 CMRR

共模抑制比反映了放大器对共模输入电压的抑制能力, 它定义为放大器的差动放大倍数 A_d 与共模放大倍数 A_{cm} 之比, 写成

分贝形式有: $CMRR = 20 \lg \frac{A_d}{A_{cm}}。$

和前面解释输入失调电压时引入的折合概念相类似, 为了衡量放大器对共模输入信号抑制能力的好坏, 我们不能只看其共模放大倍数的大小, 还必须顾及其差动放大倍数的大小, 二者的比值才能作为比较的标准。所以, 在实际中常用共模抑制比这个特性参数。我们希望 CMRR 值越大越好。一般高质量的运算放大器, 其 CMRR 值应在 80 dB 以上, 有的甚至在 120 dB 以上。

U_{os}, I_{os} , CMRR 都是反映运算放大器差动输入电路对称性好坏的重要参数, 它们是从不同的角度反映了放大器性能的好坏。必须注意它们之间的区别。

7. 共模电压范围

运算放大器的信号输入有一定的范围, 它分差模输入范围和共模输入范围。差模输入范围是运算放大器两个输入端允许出现的最大电位差, 主要由输入级晶体管的 e, b 极间反向击穿电压 BU_{eb} 所决定。而共模输入范围这一参数常为使用者忽略, 其实运算放大器对共模输入信号的大小也是有一定限度的。手册上给