

高等学校通用教材

# 电子线路设计指导

主编 李银华

副主编 王新金 江泳

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书按照电子线路课程设计要求,引入了一些实用性、综合性极强的设计性实例。在内容上力求新颖、翔实,便于阅读,具有指导性,注重理论与实际相结合,并以集成电路为主线来设计电子线路。书中重点介绍了模拟电子线路设计、数字电子线路设计和高频电子线路设计的方法和步骤:查证资料,选定方案,设计电路和撰写设计报告等,使学生得到一次较全面的工程实践训练。其目的在于拓宽学生的知识面,培养学生的电子线路设计能力和创新能力,为后续课程的学习、毕业设计和毕业后的工作打下基础。

本书可作为高等院校电气信息类专业学生电子线路设计教学参考书,也供有关工程技术人员参考使用。

摇图书在版编目(CIP)数据

摇电子线路设计指导 李银华等编著 北京 北京航

空航天大学出版社 2002.12

摇 16开 1册 21cm 21cm 1册

摇 I 电子...摇 II 李...摇 III 电子电路—高等学校—教

材摇 IV 621.372

摇中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第 123456号

## 电子线路设计指导

主 编 李银华

副主编 王新金 江泳

责任编辑 金友泉

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 27号(北京) 发行部电话 010-62510101 传真 010-62510102

邮编:100084 电子邮箱:bjb@buaapress.com.cn 网址:www.buaapress.com.cn

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.5 字数 300千字

2002年 12月第 1版 2002年 12月第 1次印刷 印数 5000册

定价 18.00元

## 前摇摇言

电子线路课程是电气信息类专业学生的重要基础实践课,也是工科专业的必修课。理论联系实际,提高和培养学生的创新能力是本课程的目的。本书按照电气信息类专业学生电子线路课程设计要求,从巩固和加强“模拟电子技术”、“数字电子技术”和“高频电子线路”课程的理论知识出发,要求学生掌握电子线路的一般设计方法,了解电子产品研制开发过程,学会撰写课程设计总结报告,通过查阅手册和文献资料,培养学生独立分析问题和解决问题的能力,加强学生创新能力和创新思维训练。

在编写本书过程中,编者力求做到以下几点:

第一,保证基本内容。教材内容是由课程的性质决定的。电子线路设计是电气与信息类专业重要技术基础实践课程。通过本课程的学习使学生进一步巩固电子线路方面的基本理论、基础知识和基本技能,培养学生分析问题、解决问题的和自主创新的能力,并为学习后续课程打下基础。所以在本教材中对一些理论教学的典型电路原理和使用进行了总结和分析。

第二,注重实践。电子线路设计是一门实践性很强的课程。在本教材的设计举例中,从原理分析、单元电路设计、元器件清单统计、总结报告的书写等均按照工程实践的要求来进行训练。其目的是让学生把自己所学的理论知识灵活运用到实践中去,以达到掌握电子线路工程实践设计的基本方法。

第三,通俗易懂。本书内容的选择原则是尽量使用学生在理论课学习中所熟悉的内容,结合实践循序渐进地展开,力求做到由易到难,通俗易懂和可读性好。

本书内容分四个主要部分:第一部分是模拟电子线路设计,包括常用模拟集成电路介绍、典型模拟集成芯片的参数及使用注意事项、运算放大器组成的应用电路分析、直流稳压电源的设计、实用模拟电子线路的设计方法与举例和模拟电子线路设计参考题目等;第二部分是数字电子线路设计,包括常用数字集成电路介绍、典型数字集成芯片的参数及使用注意事项、实用数字电子线路的设计方法与举例和数字电子线路设计参考题目等;第三部分是高频电子线路设计,包括发送与接收原理、高频小信号放大器、调幅技术、调频技术、高频电子线路设计举例以及高频电子线路设计参考题目等;第四部分是附录,主要包括常用电子器件的基本知识和电子线路绘图入门知识,作为小常识供电子线路设计者参考使用。

本书由郑州轻工业学院多年从事电子线路教学的老师编写。具体内容的编写分工是:李银华编写第 圆章、附录 员附录 圆和附录 猿;江泳编写第 猿章;王新金编写第 猿章。在编写过程中得到了谢宋和教授、崔光照教授和梁威教授的支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者的水平有限,本书的不足之处,真诚希望广大读者批评指正。

编摇者

圆年猿月

# 目 录

## 第 1 章 模拟电子线路设计

1.1 常用模拟集成电路介绍 .....	1
1.2 模拟电路简介和分类 .....	1
1.3 集成运算放大器 .....	1
1.4 集成功率放大电路 .....	1
1.5 集成稳压电路 .....	1
1.6 模拟电路设计举例 .....	1
1.6.1 简易双极性三极管放大倍数 $\beta$ 检测电路 .....	1
1.6.2 简易浴室水温控制电路 .....	1
1.6.3 简易声控延时照明灯电路 .....	1
1.6.4 简易电池自动恒流充电电路 .....	1
1.6.5 简易家用瓦斯报警电路 .....	1
1.6.6 简易自来水开关控制电路 .....	1
1.7 模拟电路课程设计参考题目 .....	1
1.7.1 简易场效应管低频跨导 $g_m$ 检测电路 .....	1
1.7.2 简易水塔水位控制电路 .....	1
1.7.3 简易声光控延时照明灯电路 .....	1
1.7.4 简易脉冲式自动电池充电电路 .....	1
1.7.5 简易光控防盗报警电路 .....	1
1.7.6 简易家用地震报警电路 .....	1
1.7.7 简易假钞报警电路 .....	1
1.7.8 简易自动干手电路 .....	1
1.7.9 简易窗帘自动开闭电路 .....	1
1.7.10 简易家用空气负离子发生电路 .....	1

## 第 2 章 数字电子线路设计

2.1 常用数字集成电路介绍 .....	2
2.2 数字集成电路使用与注意事项 .....	2
2.3 常用数字集成电路 .....	2
2.4 集成 $\mu\text{C}$ 和 $\mu\text{A}$ 变换器特点与应用 .....	2
2.5 集成定时器原理及应用 .....	2

摇摇圆摇摇数字电路设计举例 .....	愿
摇摇圆摇摇数码显示八路抢答器的设计 .....	愿
摇摇圆摇摇交通信号灯控制电路设计 .....	源
摇摇圆摇摇数字电子钟设计 .....	苑
摇摇圆摇摇彩灯控制器设计 .....	愿
摇摇圆摇摇汽车尾灯控制电路 .....	愿
摇摇圆摇摇数字电路课程设计参考题目 .....	愿
摇摇圆摇摇数字频率计电路设计 .....	愿
摇摇圆摇摇篮球比赛计时器设计 .....	愿
摇摇圆摇摇交通控制器电路设计 .....	源
摇摇圆摇摇乒乓球游戏机控制电路设计 .....	缘
摇摇圆摇摇拔河游戏机控制电路设计 .....	愿
摇摇圆摇摇电子密码锁控制电路设计 .....	愿
摇摇圆摇摇出租车自动计费器电路设计 .....	愿
摇摇圆摇摇其他课题 .....	愿

## 第猿章 通信电子线路设计

摇摇猿摇摇常用典型通信电路 .....	员
摇摇猿摇摇高频小信号放大器 .....	员
摇摇猿摇摇高频功率谐振放大器 .....	员
摇摇猿摇摇正弦波振荡器 .....	缘
摇摇猿摇摇混频器 .....	苑
摇摇猿摇摇调幅与检波 .....	员
摇摇猿摇摇频率调制与鉴频 .....	愿
摇摇猿摇摇锁相器 .....	员
摇摇猿摇摇通信电子线路设计 .....	源
摇摇猿摇摇高频小信号调谐放大器设计 .....	源
摇摇猿摇摇集成谐振放大器的设计 .....	愿
摇摇猿摇摇晶体振荡器设计 .....	苑
摇摇猿摇摇压控振荡器的设计 .....	愿
摇摇猿摇摇变容二极管调频电路的设计 .....	苑
摇摇猿摇摇视频检波器的设计 .....	员
摇摇猿摇摇高频功率放大器设计 .....	员
摇摇猿摇摇小功率调幅发射机的设计 .....	苑
摇摇猿摇摇调幅接收机的设计 .....	员
摇摇猿摇摇小功率调频发射机的设计 .....	缘

猿猿猿猿猿猿猿猿调频接收机设计 .....	猿苑
猿猿猿猿猿猿猿猿频率合成器设计 .....	猿怨
猿猿猿猿猿猿猿猿通信电路课程设计参考题目 .....	猿蒙
猿猿猿猿猿猿猿猿简易无线电遥控系统设计 .....	猿蒙
猿猿猿猿猿猿猿猿调幅广播收音机设计 .....	猿圆
猿猿猿猿猿猿猿猿调频收音机设计 .....	猿猿
猿猿猿猿猿猿猿猿短波调频接收机设计 .....	猿源
猿猿猿猿猿猿猿猿频率特性测试仪设计 .....	猿源
猿猿猿猿猿猿猿猿高效率音频功率放大器设计 .....	猿缘
猿猿猿猿猿猿猿猿宽带放大器设计 .....	猿远
猿猿猿猿猿猿猿猿电压控制 蕴兑振荡器设计 .....	猿愿
猿猿猿猿猿猿猿猿点频调幅接收机设计 .....	猿愿
猿猿猿猿猿猿猿猿调频接收机设计 .....	猿怨
猿猿猿猿猿猿猿猿集成电路调频-调幅收音机设计 .....	猿怨
猿猿猿猿猿猿猿猿图像中频放大器设计 .....	猿园
猿猿猿猿猿猿猿猿蕴兑振荡器设计 .....	猿园
猿猿猿猿猿猿猿猿高频功率放大器设计 .....	猿员
猿猿猿猿猿猿猿猿频率合成器设计 .....	猿员
猿猿猿猿猿猿猿猿高频 匝表设计 .....	猿圆
猿猿猿猿猿猿猿猿多路红外遥控系统设计 .....	猿猿

## 附录 猿 常用电子元器件的基本知识

猿猿一、电阻器 .....	猿源
猿猿二、电容器 .....	猿苑
猿猿三、电感器 .....	猿愿
猿猿四、二极管 .....	猿园
猿猿五、三极管 .....	猿园
猿猿六、可控硅 .....	猿远

## 附录 圆 电子线路绘图软件应用初步

猿猿一、原理图设计简介 .....	猿愿
猿猿二、孕兑板电路设计简介 .....	猿猿

## 附录 猿 部分常用数字和模拟集成电路引脚图

## 参考文献

# 第 1 章 模拟电子线路设计

## 1.1 常用模拟集成电路介绍

### 1.1.1 模拟电路简介和分类

模拟电路是一种能够处理模拟信号电子电路,它具有对模拟信号进行放大或转换的功能;由于其输出信号一般是输入信号的线性函数,因此也称为线性电路,但不像数字电路那样在饱和状态下工作。所谓模拟信号和数字信号是在信号时域分析中对信号的分类,按照时间和幅值的连续性和离散性把信号分成三类:一是时间和幅值都连续的信号;二是时间连续、幅值离散;三是时间离散、幅值连续;四是时间和幅值都离散。

模拟信号指的是第一类信号,其余三类信号属于数字电路范畴。模拟电路早期是以无线电、电视或者立体声等家用电器为中心发展起来的,近来随着数字集成电路制造技术的发展,在原来使用模拟电路的领域也正在实现数字化。但是,在一些比如放大、滤波等领域,模拟电路的功能仍然比数字电路要优越。因此,为了达到所需要的功能,模拟电路和数字电路哪一个更合适,应充分考虑其经济性、可靠性、安全性、效率等性能。为了进行更有效的设计,将模拟电路和数字电路的功能相结合,从而产生最佳条件,应该比较好的设计方法。

模拟电路具有各种各样的类型,但作为构成模拟电路的主要器件——有源器件来讲,主要有双极性三极管、场效应管和线性集成电路等,可以根据其使用目的来选择。如果把线性电路按频率来分类,主要有直流电路、低频电路、高频电路和全频带电路。

双极性三极管和场效应管的种类也非常多,最初使用锗晶体管,现在几乎全部使用硅晶体管,而且大多是采用外延型平面工艺生产的产品。外延型平面晶体管高频性能良好,漏电流少,并且具有耐压高的特点。但是要生产一种晶体管能够满足所有使用目的和要求是困难的。例如,要求一个晶体管既低噪声又超高频,而且要求大功率和低成本,这是难以实现的。只能针对不同的使用目的去生产特定的品种,因此工程人员有必要根据不同的用途来选定晶体管的种类。

线性集成电路在生产工艺方面分为单片集成电路和混合集成电路两种,近来大部分采用单片集成电路。线性集成电路按用途可分为运算放大器、功率放大器、集成稳压器和功率放大器等。和晶体管一样,不同的线性集成电路具有不同的电气特性,工程人员有必要根据不同的用途来选定线性集成电路的种类。

由于现在集成电路的应用越来越广泛,也越来越方便,因此本书仅对几种常用的集成电路予以简要地介绍,以方便对本书后续内容的学习。

## 集成运算放大器

### 集成运算放大器的简介

集成运算放大器(简称为运放)是在工业设备中广泛运用的一种集成电路,是放大器的种子选手,同时也是模拟电路的代表。

运算放大器集成电路基本实现了标准化,因此可以从不同的公司购买同一种电路产品。但是不同公司产品的模拟信号本身的信息量多少及各参数均有些差别,但只要功能相同、参数相近的同型号器件,不论是何公司出品的,都是可以互换。运算放大器的标准化问题,与通用型数字集成电路的标准化略有不同,因此选择运算放大器不像选择数字集成电路那么容易,必须精心选择。可以说,能否为各种各样的模拟电路选择最合适的运算放大器代表了一个电子工程师能力的强弱和水平的高低。

以前,运算放大器的代表产品一般是通用双极性放大器。近来,随着半导体器件制造技术不断提高,也为了适应用户的需要,进一步提高电路的性能,运算放大器不是朝着多功能通用性的方向发展,而是向专业化发展,出现了很多专用的运算放大器。其包括低噪声、高输入阻抗、高速宽频带、低补偿、低漂移、低功耗和高压大功率运算放大器等。下面简单地介绍一下这几种运算放大器。

通用双极性运算放大器主要以 $\mu$ 源型和源型为主,同时还可以从专门生产模拟集成电路公司生产的产品中根据补偿电压、噪声电压、输出电压摆率进行选择,在一定程度上可以使应用 $\mu$ 源型和源型的系统得以改善。双重运算放大器中,以有补偿电压调节能力的 $\mu$ 源型和源型封装的源型为主,其同样也有很多改进型产品。在这些改进型产品中,以改进交流参数特性的居多,这是为了满足在音频领域应用运算放大器的需要而出现的。另外,对于双重运算放大器,两个放大器的特性应该非常相似,相似程度可以用相对性表示。

低噪声双极性运算放大器由于早期受到输入噪声电压的限制而不能被广泛使用,近来由于集成电路工艺的改进,可以制造出低噪声运算放大器,在使用上也已经得到普及,尤其是音频领域更是多见。低噪声运算放大器能够以大的信号振幅覆盖音频区域,输出电流可以驱动标准 $\Omega$ 的负载,因此,在音频区域以外也可以广泛使用。

高输入阻抗运算放大器是 $\mu$ 源型和源型运算放大器的组合。

$\mu$ 源型运算放大器是由双极性电路和结型场效应管组合而成的,因此可以大幅提高运算放大器的输入阻抗。 $\mu$ 源型运算放大器的另一个特性是输出电压摆率高,其值大约是双极性运算放大器的 $\times$ 倍,同时其输入电流非常小,仅为皮安量级( $\mu$ 级)。因此利用该类运算放大器可以比较容易设计高速积分电路和运算电路。

$\mu$ 源型运算放大器的特点是,输入电流比 $\mu$ 源型运算放大器还要小一个数量级。其

缺点是输入噪声电压(低频)比较大,这一点在设计高增益放大器的时候必须注意。另外,电压跟随器运算放大器与普通的电压跟随器集成电路一样,输入回路的输入阻抗很高,因此使用时不能加任何静电电势。

需要注意的是,一般提到低输入电流运算放大器时,很容易想到的是电压跟随器型,但是这种以电压跟随器为输入的运算放大器,温度每增加 $1^{\circ}\text{C}$ ,它的输入电流值就增加两倍。例如,如果在 $25^{\circ}\text{C}$ 常温下,输入电流是 $10\text{pA}$ ,若温度增加到 $50^{\circ}\text{C}$ 时,输入电流就将增大到 $40\text{pA}$ 。因此,根据使用环境条件的不同,有时选用输入电流低的双极性运算放大器比选用电压跟随器型运算放大器要好一点。

高速宽频带运算放大器一般指的是具有压摆率为 $10\text{V}/\mu\text{s}$ 以上、频带宽度为 $10\text{kHz}$ 以上的运算放大器,这类运算放大器的产品有 $\mu\text{A}741$ 型和 $\mu\text{A}741\text{C}$ 系列等。

低补偿、低电压运算放大器一般是指高精度运算放大器,适用于放大热电偶输出的微弱信号,可分为直接连接型和调制型。

低功耗运算放大器一般分为两类:一类是不需要采取外围措施就可以达到低功耗的运算放大器;另一类是工作电流可以通过外部设定的可编程型运算放大器。对于第一类运算放大器,在高工作电源电压(例如 $15\text{V}$ )的条件下使用比较好;而要求消耗功率极小的场合,则可编程型运算放大器在低工作电源电压(例如 $5\text{V}$ )的条件下使用比较好。低功耗运算放大器的缺点是频率特性随消耗电流的下降而变坏,因此在放大高频交流信号时要注意这一点。

一般来说,运算放大器大多使用最高 $15\text{V}$ 的电源,输出电流在 $1\text{mA}$ ~ $10\text{mA}$ 之间。当处理大振幅的交流信号或者在驱动电机时,一般的运算放大器就不能满足要求。高压大功率运算放大器的工作电压上限为 $15\text{V}$ ~ $100\text{V}$ ,最大输出电流可以达到安培量级。

运算放大器和一般的放大器相比,其特性的表示方法有所不同。运算放大器的电气特性一般包括直流特性、输入输出阻抗、增益、输出电压(或功率)、频率特性和瞬态响应特性。作为理想的运算放大器,其特性应是输入阻抗无穷大,增益无穷大,输出阻抗为零,以及对信号相应的延迟特性为零。但是实际的产品上述各项参数均为有限值,需要使用人员查阅运算放大器的数据手册,以获得实际的各项参数值,从而选择合适的运算放大器来使用。

#### 集成运算放大器产品数据手册的使用

下面,通过一个典型的运算放大器 $\mu\text{A}741$ 的数据手册(表 4-1)来简要说明集成运以数据手册的使用。

**输入失调电压和电流** 这两个参数是运算放大器在直流工作时的重要指标,即输出电压为零时的两输入电压之差称为输入失调电压 $V_{\text{IO}}$ ,而输入电流之差称为输入失调电流 $I_{\text{IO}}$ 。在理想情况下,这两个参数值为零。但是它们会随着温度和电源电压的变化而变化(即漂移)。为了归一化起见,分别以失调电压温度系数 $\Delta V_{\text{IO}}/^{\circ}\text{C}$ 和失调电流温度系数 $\Delta I_{\text{IO}}/^{\circ}\text{C}$ 来描述。

**输入偏置电流** 集成运算放大器的两个输入端是差分放大电路对管的基极,因此两个输入

端需要一定的输入电流。输入偏置电流是指运算放大器输出电压为零时,两个输入端静态电流的平均值。输入偏置电流在电路外接电阻确定后,其大小主要取决于运算放大器输入级的特性。一般来说,输入偏置电流越小,信号源内阻变化引起的输出电压的变化也越小,因此它是一个重要的技术指标。

**最大额定值** 最大额定值定义为包括瞬态在内不允许超过的额定数值。在一般的运算放大器中,电源电压的标准值是依 $U_{CC}$ 最大值为依 $U_{EE}$ 作为运算放大器输出的最大振幅总是越大越好,但实际上不可能超过依 $U_{CC}$ 电源电压,而且还会在同相和反相输入端大致有 $U_{CC}$ 的损失,因此实际上为依 $U_{CC}$ 依 $U_{EE}$ 左右。同时随着负载电阻变小,频率变高,输出的振幅会相应变小。一般运算放大器的工作温度最大值是 $T_{max}$ ,超过此温度将导致运算放大器的性能恶化。

**共模抑制比** 给运算放大器的两个输入端送入同相信号时,理想的情况是输出信号为零;但是在实际的运算放大器中,输出端总是有微弱的输出信号。这是由于输入差动放大器不平衡性引起的,该特性用共模抑制比 $K_{CMR}$ 来表示。其定义为:运算放大器对差模信号的电压增益 $A_{d}$ 与对共模信号的电压增益 $A_{c}$ 的比值的绝对值。其表达式如下:

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right|$$

**温度漂移**:运算放大器的温度漂移是其输出端信号漂移的主要来源,而且它又是输入失调电压和输入失调电流随温度的漂移引起的,因此常用失调电压的温度系数 $\Delta U_{IO}$ 和失调电流的温度系数 $\Delta I_{IO}$ 来表示温度漂移。

**开环差模电压增益** 开环差模电压增益是指运算放大器工作在线性区,接入规定的负载及无负反馈情况下的直流差模电压增益。电压增益与输出电压的大小有关,一般是在规定的输出电压下测得的值。电压增益又是频率的函数,当频率高于某一个数值时,其电压增益开始下降。

**输入、输出阻抗** 理想的运算放大器应有输入阻抗无穷大,输出阻抗为零的特性。实际中,一般输入阻抗为 $10^6 \sim 10^9 \Omega$ ,输出阻抗为几十欧姆。

**转换速率** 转换速率是指运算放大电路在闭环状态下,输入为大信号(例如为阶跃信号)时,运算放大器输出电压 $U_o$ 对时间 $t$ 的最大变化率,表达式为:

$$S_{ov} = \frac{dU_o}{dt}$$

运算放大器的频率响应和瞬态响应在大信号和小信号时有很大的差别。在大信号输入时,运算放大器将工作在线性区域,通常其输入级会产生瞬间饱和或者截止的现象。从频率范围的角度来看,这将使大信号频带宽度比输入小信号时要窄;而从瞬态响应的角度来看,这将使运算放大器的输出电压不能够及时跟随输入大电压信号变化。因此就提出了转换速率的概念。一般转换速率与闭环电压增益有关,即用运算放大器在单位电压增益、单位时间内输出电压的变化值来表示转换速率。转换速率一般值为 $10^5 \sim 10^6$ 之间,具体数值可根据外部相位补偿电容的容值大小而有较大的变化。

表 4-1-1 运算放大器电气特性 (灾, 越, 缘, 灾, 越, 原, 缘, 灾, 越, 缘, 益)

项播目	符播号	测试条件	最播小	标播准	最播大	单播位
输入失调电压	灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> ≤ 缘 <sub>偏</sub> 噪	—	员	缘	皂灾
输入失调电流	偏 <sub>偏</sub>	—	—	圆	圆	燥
输入偏置电流	偏	—	—	圆	缘	燥
最大同相输入电压	悦灾 <sub>偏</sub>	—	依圆	依缘	—	灾
最大输出电压	灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> ≥ 缘 <sub>偏</sub> 噪	—	依缘	—	灾
最大输出振幅	灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> 越 缘 <sub>偏</sub> 噪 越 员噪扎	圆	圆	—	灾
输出短路电流	偏 <sub>偏</sub>	—	—	依圆	—	皂
输入阻抗	在 <sub>偏</sub>	越 员噪扎	圆	员	—	圆
输出阻抗	在 <sub>偏</sub>	越 员噪扎	—	圆	—	—
电压增益	员灾	砸 <sub>偏</sub> 越 缘 <sub>偏</sub> 噪	圆(伊圆)	员(伊圆)	—	—
共模抑制比	悦灾 <sub>偏</sub>	悦灾 <sub>偏</sub> 越 依圆灾	圆	圆	—	圆
电源电压抑制比	员灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> ≤ 缘 <sub>偏</sub> 噪	—	圆	员圆	μ灾
功耗	孕	—	—	缘	缘	皂
失调电压的温度系数	Δ灾 <sub>偏</sub> 越 缘	砸 <sub>偏</sub> ≤ 缘 <sub>偏</sub> 噪 越 原缘- 缘益	—	缘	缘	μ灾
转换速率	圆灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> 越 缘 <sub>偏</sub> 噪	—	圆	—	圆灾
上升时间	圆灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> 越 缘 <sub>偏</sub> 噪	—	圆	—	圆灾
过冲	圆灾 <sub>偏</sub>	悦灾 <sub>偏</sub> 越 缘 <sub>偏</sub> 噪	—	缘	—	圆
输入噪声电压	灾 <sub>偏</sub>	砸 <sub>偏</sub> 越 缘 <sub>偏</sub> 噪 越 圆- 员圆扎	—	远	—	μ灾

猿援运算放大器构成的常用模拟电路

(员) 反相、同相放大电路

图 4-1-1 所示的电路称为反相放大电路, 是运算放大器基本的使用方法。

从输出端到反相输入端接入反馈电阻 砸<sub>偏</sub>, 同时在反相输入端串联输入电阻 砸<sub>偏</sub>, 把反相输入端作为输入端, 就构成输入输出相位相反的放大器。

这时, 输入电压 哉<sub>偏</sub> 和输出电压 哉<sub>偏</sub> 的关系, 可由下式得出:

$$哉<sub>偏</sub> 越 原(砸<sub>偏</sub>/砸<sub>偏</sub>) 伊哉<sub>偏</sub>$$

图 4-1-2 所示的电路称为同相放大电路。当把输入信号 哉<sub>偏</sub> 加入到同相输入端时, 就构成

输入输出相位相同的放大器。

这时,输入电压  $U_i$  和输出电压  $U_o$  的关系,可由下式得出:

$$U_o = (1 + \frac{R_f}{R_2}) U_i$$

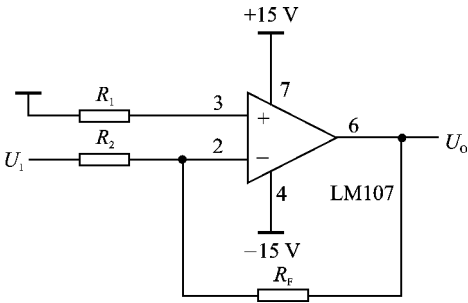


图 员源源 反相放大电路

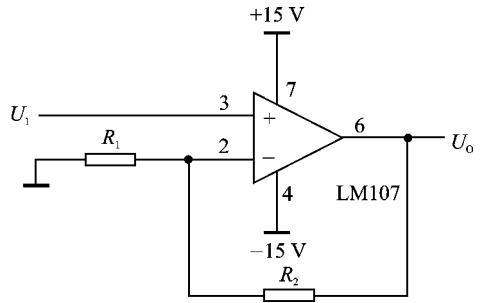


图 员源源 同相放大电路

### 摇摇(圆) 加法电路

图 员源源 是采用运算放大器的加法电路。根据运算放大器的特性,当运算放大器构成的电路包含负反馈从而形成闭环回路时,可以运用运算放大器的虚拟短路和虚拟断路特性来分析电路。所以,下列等式:

$$U_{i1} + U_{i2} + \dots + U_{in} = U_o \quad (1)$$

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} U_{i1} - \frac{R_f}{R_2} U_{i2} - \dots - \frac{R_f}{R_n} U_{in} \quad (2)$$

成立。整理后可得到加法器的表达式为

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} U_{i1} - \frac{R_f}{R_2} U_{i2} - \dots - \frac{R_f}{R_n} U_{in} \quad (3)$$

如  $U_{i1} = U_{i2} = \dots = U_{in}$ , 则:

$$U_o = -\frac{R_f}{R_1} (U_{i1} + U_{i2} + \dots + U_{in}) \quad (4)$$

这样就构成了多个输入端的加法电路。但随着输入端数目的增大,输入端产生的漂移也会增大。所以,输入端数目要受到一定的限制。另外,也可将式(3)中各输入信号乘以适当的加权系数(如加权系数  $K_1 = \frac{R_f}{R_1}$ )后再相加。但是当加权系数增大时,漂移也会增大,同时频率特性也会变差,故通常取  $K_1 \leq 10$

### (猿) 减法电路

图 员源源 所示电路是采用运算放大器的减法电路。设运算放大器的两个输入端与地之间的电位差分别为  $U_{i1}$  和  $U_{i2}$ , 则可得下列关系式:

$$U_o = \frac{R_2}{R_1} U_{i1} - U_{i2} \quad (5)$$

$$U_o = \frac{R_2}{R_1} U_{i1} - U_{i2} \quad (6)$$

由于运算放大器的虚拟短路和虚拟断路特性,使  $U_{i1} = U_{i2}$ , 同时如使  $U_{i1} = U_{i2}$ , 则:

$$U_o = \frac{R_2}{R_1} (U_{i1} - U_{i2}) \quad (7)$$

从式(4-1)可知,  $V_o$  是与输入电压之差成比例的输出电压, 即实现减法运算。

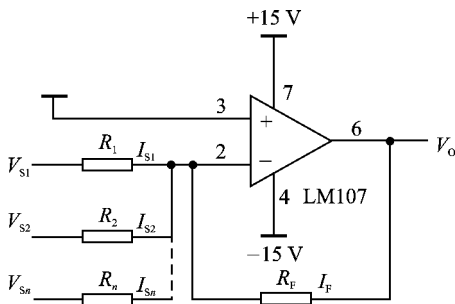


图 4-1 同相比例加法电路

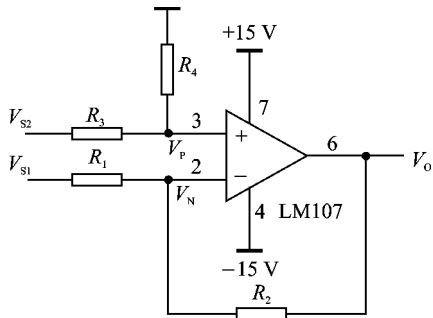


图 4-2 反相比例减法电路

### 4.1.2 低通滤波器和高通滤波器

滤波器可分为有源滤波器和无源滤波器两种。使用放大器(运算放大器等)和无源元件组合而成的滤波器一般称为有源滤波器, 利用电阻、电容等无源元件组成的滤波器称为无源滤波器。从结构上来说, 无源滤波器一般不存在噪声问题; 有源滤波器由于使用了放大器, 滤波器的噪声性能就比较突出, 信噪比很差的有源滤波器也很常见。因此在使用有源滤波器时要注意以下几点:

一是滤波器的电阻尽可能小一些, 电容则要大一些; 二是反馈量尽可能大一些, 以减小增益; 三是放大器的开环频率特性应该比滤波器的通频带宽。

由于有源滤波器具有以下优点:

- ① 谐振频率可以由电阻电容任意决定, 放大器可以用来补偿谐振电路;
- ② 能够得到高 Q 值的滤波电路(Q 是指电路的品质因素);
- ③ 可以在 Q 值不变的前提下, 任意改变谐振频率;
- ④ 体积小, 使用方便。

因此, 有源滤波使用十分普遍。以下介绍的高通和低通滤波器都是有源滤波器。

一阶低通滤波电路如图 4-3 所示。它是由一级 RC 低通电路和同相比例运算放大电路共同组成的。一级 RC 低通电路和同相比例运算放大电路表达式分别为:

$$V_P = V_N \quad (4-3)$$

$$V_N = \frac{V_o}{1 + \frac{R_f}{R_1}} \quad (4-4)$$

由式(4-3)和式(4-4)可得一阶低通滤波电路的传递函数是:

$$V_o = \frac{V_i}{1 + \frac{R_f}{R_1} \left( \frac{1}{1 + j\omega RC} \right)} \quad (4-5)$$

式(4-5)中,  $\omega$  称为特征角频率,  $V_i$  为运算放大器同相输入端对地的电压值,  $V_o$  为输出电压值。



能力差。滞回比较电路具有两个阈值电压,即电路具有滞回特性(即惯性),因此就具有了一定的抗干扰能力。

设运放的同相输入端电压为  $V_+$ , 输出电压最大值为  $V_{om}$ 。当输出电压分别为正电压和负电压时,可得:

$$V_+ = \frac{V_{REF} + V_i}{2} \quad (1)$$

$$V_+ = \frac{V_{REF} + V_i}{2} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可以看出,  $V_+$  分别得到了两个不同的值,即产生了两个阈值。两个阈值之差称为回差  $\Delta V$ ,即  $\Delta V = V_{th1} - V_{th2}$ 。一般以  $\Delta V$  来表示滞回比较电路的抗干扰能力。

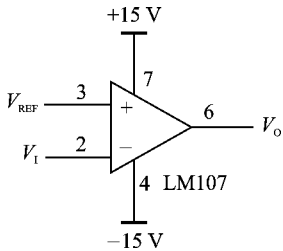


图 4-1-1 电压比较器

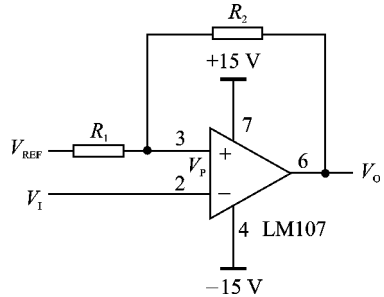


图 4-1-2 滞回比较器

### 仪表用放大电路

图 4-1-3 所示电路称为仪表用放大电路,在测量系统中是一种常用的放大电路。在测量系统中,一般用传感器获取信号,即将被测物理量通过传感器转换为电信号,然后进行放大。因此,传感器的输出就是放大电路的信号源。但是多数传感器的等效电阻均不是常量,它们随待测物理量的变化而变化,这样就使得放大电路的放大能力随着信号的大小而变化。为了保证放大电路对不同输入信号具有稳定的放大倍数,就必须使放大电路的输入阻抗远远大于信号源内阻。

同时,从传感器获得的信号常为差模小信号,并包含较大的共模信号。因此,要求放大电路具有较强的抑制共模信号的能力。

图 4-1-3 所示电路利用三个运算放大器构成具有高输入阻抗和高共模抑制比的放大电路。同相放大电路具有极高的输入阻抗,利用这一特性,在输入中使用两个同相放大电路,把各自的输出作为下一级差动放大电路的输入,从而得到高的输入阻抗。同时,利用差动输入结构的特性,可以获得高的共模抑制比。

设两个同相放大电路各自的输出电压分别为  $V_{o1}$  和  $V_{o2}$ , 则可得:

$$V_{o1} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \quad (1)$$

图 1-1-10 电压跟随器

(续前)

如  $V_1 > V_2$ ,  $V_2 > V_1$ ,  $V_1 > V_2$ , 则可得:

$V_1 > V_2$  (原)  $V_2 > V_1$  (原)  $V_1 > V_2$  (原)  $V_2 > V_1$  (原)

(续前)

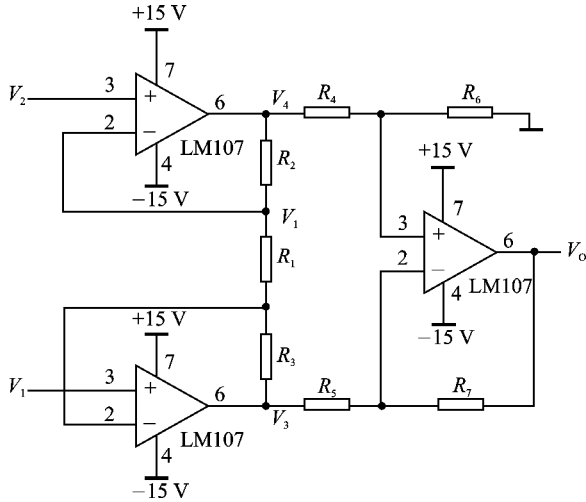


图 1-1-10 电压跟随器

图 1-1-11 输出电流增大电路

图 1-1-11 所示电路称为输出电流增大电路,是一种常用的放大电路。通常的运算放大器输出电流大多在  $10\text{mA} \sim 100\text{mA}$  之间。当运算放大器的输出电流达到临界值的时候,运算放大器会对输出电压进行限幅(即削波)。因此,当需要增大输出电流时,必须接入晶体管进行电流放大。图 1-1-11 所示电路采用互补晶体管进行电流放大,最大输出电流可以达到  $1\text{A}$  以上。由于在电路中,晶体管通过的电流很大,因此本电路在设计上需要注意对晶体管的选择。选择的标准是接入的晶体管能够承受电路中要求的最大耗散功率。

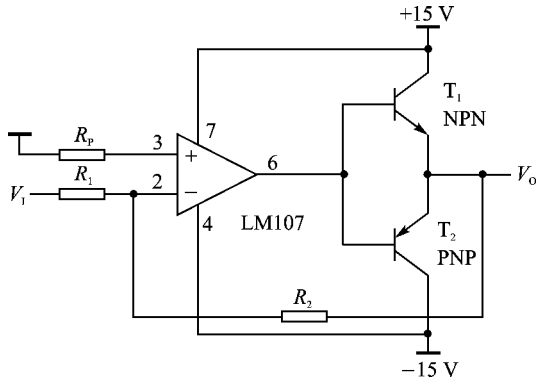


图 1-1-11 输出电流增大电路

(二) 交流原直流变换电路

交流原直流变换电路如图 1-1-12 所示,它能够对交流输入信号进行全波整流和平滑滤波。从图中可以看出,电路由两部分构成:一是由运算放大器  $U_1$  和二极

由图 4-10 构成的反相放大器；二是由运算放大器  $U_2$  构成的反相放大器和加法电路。

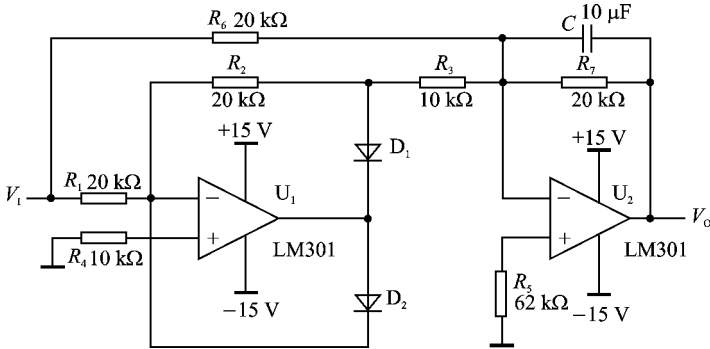


图 4-10 交流变直流变换电路

当输入信号为负的时候， $U_1$  截止， $U_2$  导通。根据反相放大器原理，此时运算放大器  $U_2$  的输出为零。这样运算放大器  $U_2$  只起到反相放大器的作用，其表达式为：

$$U_2 = -U_1 \quad (4-15)$$

当输入信号为正， $U_1$  导通， $U_2$  截止。根据反相放大器原理，此时运算放大器  $U_2$  的输出为负的  $U_1$  值。这样运算放大器  $U_2$  不仅起到反相放大器的作用，同时还起到加法器的作用。其表达式为：

$$U_2 = -U_1 + U_1 \quad (4-16)$$

因为  $U_2 = -U_1$ ，所以式 (4-16) 可整理为

$$U_2 = U_1 \quad (4-17)$$

由式 (4-15) 和式 (4-17) 可以看出：无论输入信号为正或为负，输出信号总能得到与输入信号平均值相等的正的输出电压。电容  $C$  和电阻  $R_6$  是为运算放大器  $U_2$  提供低通滤波通路。

### (4-3) 电流检测电路

电流检测电路如图 4-11 所示，它能够比较精确的测量输入电流值。从图中可以看出，电路包含两个部分：一是由运算放大器  $U_1$  组成的检测电路；二是由运算放大器  $U_2$  构成的反相放大电路。

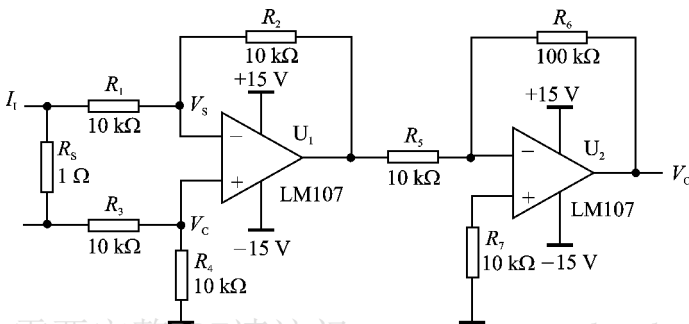


图 4-11 电流检测电路