

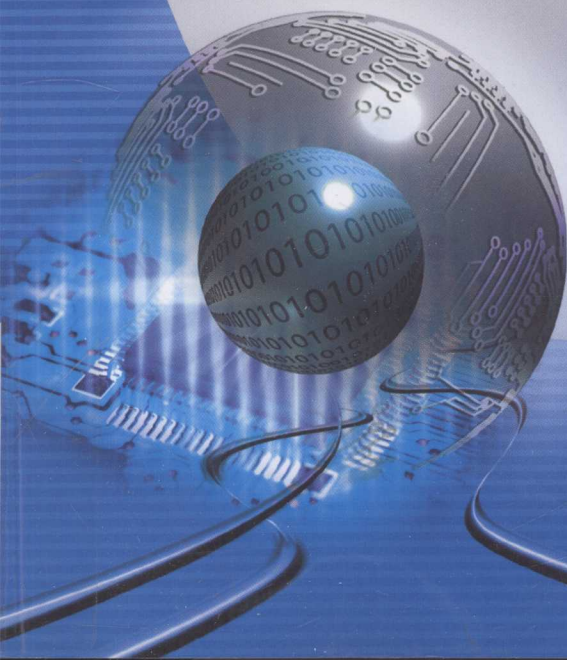
21世纪电工电子学课程系列教材

电子技术课程 设计实用教程

(第3版)

主 编 陈明义

副主编 宋学瑞 罗桂娥



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

21 世纪电工电子学课程系列教材

电子技术课程设计实用教程

(第 3 版)

主 编 陈明义

副主编 宋学瑞 罗桂娥

中南大学出版社

2009 · 长沙

图书在版编目(CIP)数据

电子技术课程设计实用教程/陈明义主编. —3版. —长沙:
中南大学出版社, 2010

(21世纪电工电子学课程系列教材)

ISBN 978-7-81105-703-4

I. 电... II. 陈... III. 电子技术—课程设计—高等学校—
教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 006484 号

电子技术课程设计实用教程

(第3版)

主编 陈明义

☐责任编辑 肖梓高

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 衡阳博艺印务有限公司

☐开 本 730×960 1/16 ☐印张 20.5 ☐字数 394 千字

☐版 次 2010年1月第1版 ☐2010年1月第1次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-703-4

☐定 价 36.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

21 世纪电工电子学课程系列教材编委会

主任 陈明义

成员（以姓氏笔画为序）

文援朝 李 飞 陈 宁 陈明义 宋学瑞

刘 辉 罗桂娥 覃爱娜 赖旭芝

总 序

我的面前摆放着十多本封面五颜六色的电工电子学系列课程教材,它们是中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系电工电子学系列课程教学团队多年辛勤劳动和教学实践的结晶。

电流所经过的路径叫电路。大学生学习(电工电子)电路课程的意义犹如行人、游人、司机学习行路知识和人们探求人生之路的真谛一样重要。无论是“电路”、“前进道路”还是“人生道路”,都有一个“路”字。俗话说,“路是人走出来的”。人生之路是探索出来的,行路见识是体验出来的,电路知识是学习得来的。研究发现,人类社会的许多自然现象、科技和人文问题都可用电路的方法来模拟,人类自身的许多活动和智能行为也可用电路的方法通过硬件与软件来模仿。因此,电工电子学系列课程作为技术基础课程对高校人才培养所起的重要作用是不言而喻的。电工电子学的基础知识、基础理论和基本技能正通过教学活动和人的智能活动向各个学科领域扩展和渗透,发挥着越来越大的作用。通过本系列课程学习,学生能够获得关于电工电子学的基本理论、基本知识和基本技能,为后续专业课程的学习和毕业后参加工作打下基础。

现由中南大学出版社出版的这套电工电子学系列教材,是根据电工电子学系列课程教学体系而编写的,其教学目标在于培养学生的创新能力,满足不同专业学生的培养要求和个性化人才培养的需求。该系列教材分为3大类别:第1为基础知识类,第2为扩展知识类,第3为实践技能类。其中,基础知识教材又分为电类、机电类、非电类、文理类4个层次共9个模块;扩展知识类教材主要是电工电子学新知识的扩展与延伸,共有10个模块;实践技能类教材分为实验、实习和课程设计3个模块。

中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系教学人员在全校电工电子学系列课程教学中取得了不俗成绩。2002年电工电子学系列课程获得湖南省优秀课程;2005年电工电子学教学实验中心获省级示范实验中心,2007年电工电子学实习基地被评为省级优秀实习基地。现在3门课程获得校级精品课,1门课程获得省级精品课,3部教材获得“十一五”国家规划教材。他们还获得省级教学成果一等奖2项、二等奖1项、三等奖1项;参加该系列课程学习的6名学生获得全国大学生电子设计竞赛一等奖,12名学生获得全国大学生电子设计竞赛二等奖,3名学生获得第二届“博创杯”全国大学生嵌入式设计大赛二等奖,

2 名学生获全国大学生“挑战杯”创业大赛金奖。这些成果不仅表明这支电工电子学系列课程教学团队具有很强的实力和很高的水平,而且也从一个侧面反映出该系列课程教学的丰硕成果。

这套电工电子学系列教材的编写精益求精,内容系统全面,取材新颖,反映了本学科及其教材研究和应用的新进展,值得进一步推广使用。我相信,该系列新版教材的问世和使用,将为我国电工电子学科和教材的发展做出更大的贡献。

蔡自兴

中南大学教授、博士生导师
全国高等学校首届国家教学名师
国际导航与运动控制科学院院士

2008 年 6 月 5 日

于长沙岳麓山下

再版前言

电子技术课程设计是配合电子技术基础课程与实验教学的一个非常重要的教学环节。它能巩固电子技术的理论知识,提高电子电路的设计水平,加强综合分析问题和解决问题的能力,进一步培养学生的实验技能和动手能力,启发学生的创新意识及创新思维。实践证明,修完这门课后,对进行毕业设计及毕业后从事电子技术方面的工作都有很大的帮助。本书主要是为配合该教学过程而编写的。

本书共分6章,第1章为电子电路设计的基础知识。它包括电子电路的一般设计方法和步骤,较详细地介绍了常用模拟功能电路的设计方法及数字系统的设计方法;第2章为电子设计自动化技术(EDA),它包括电子电路仿真技术(Multisim)、模拟可编程技术、数字可编程技术、微处理器技术;第3章为电子电路的安装与调试,它包括电路的安装与调试技术,简易故障诊断技术,抗干扰技术,电路的功能及性能指标的测试方法和步骤;第4章为电子技术课程设计题简介;第5章为课程设计指导,它包括电子技术课程设计教学目的与要求,电子技术课程设计教学安排,电子技术课程设计成绩评定,电子技术课程设计报告要求等;第6章介绍常用电子元器件及其典型应用。

本书由中南大学信息科学与工程学院电子科学与技术系集体编写。其中,陈明义负责第1章、第3章、第5章及附录A的编写;宋学瑞负责第2章及附录B的编写;罗桂娥负责第4章、第6章的编写。最后,由陈明义统稿定稿。

本书在编写过程中得到了电子系其他老师的大力支持并提出许多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。

本书可作为高等学校各专业“电子技术课程设计”的教材,也可作为大学生参加全国大学生电子设计竞赛的参考书,同时可作为从事电子技术的工程技术人员及广大电子技术爱好者的参考书。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,殷切期望读者批评和指正。

编者

2009年10月

目 录

第 1 章 电子电路设计的基础知识	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 电子产品的研制开发过程	(1)
1.1.2 电子电路设计的地位与作用	(2)
1.1.3 衡量设计质量的标准	(2)
1.2 模拟电路的设计	(2)
1.2.1 放大器的设计	(3)
1.2.2 信号运算与处理电路的设计	(13)
1.2.3 信号产生与变换电路的设计	(16)
1.2.4 直流稳压电源的设计	(19)
1.3 数字电路的设计	(24)
1.3.1 数字系统的设计	(24)
1.3.2 实用数字电路	(27)
1.4 电子电路的一般设计方法	(37)
1.4.1 整体方案的选择	(38)
1.4.2 单元电路的设计	(39)
1.4.3 整体电路图的画法	(39)
1.4.4 元器件的选择	(41)
1.4.5 参数计算	(43)
1.4.6 审图	(45)
1.4.7 实验	(48)
1.5 课题设计举例	(49)
第 2 章 EDA 技术	(74)
2.1 Multisim 仿真技术	(74)
2.1.1 Multisim 简介	(74)
2.1.2 设计课题	(75)
2.1.3 方案设计	(75)

2.1.4	电路的 Multisim 仿真测试	(76)
2.2	模拟可编程技术	(81)
2.2.1	模拟可编程技术及可编程模拟电路结构简介	(81)
2.2.2	设计课题	(90)
2.2.3	电路设计	(90)
2.2.4	实验步骤、实现方法和总结	(96)
2.3	数字可编程技术	(97)
2.3.1	数字可编程技术简介	(97)
2.3.2	设计课题	(115)
2.3.3	频率计的设计方案	(115)
2.3.4	测试及误差分析	(121)
2.4	综合设计技术	(121)
2.4.1	设计课题	(121)
2.4.2	电路设计分析	(122)
2.4.3	方案论证	(123)
2.4.4	整体电路实现	(126)
2.4.5	软件	(131)
2.4.6	调试	(134)
2.4.7	误差分析	(135)
第3章	电子电路的安装与调试	(136)
3.1	电子电路的安装与调试	(136)
3.1.1	电子电路的安装	(136)
3.1.2	电子电路的调试	(142)
3.2	电路故障及其诊断	(144)
3.2.1	电路故障的类型及其产生的原因	(144)
3.2.2	电路故障诊断的方法	(145)
3.3	抗干扰技术	(145)
3.3.1	电子电路中常见的干扰	(146)
3.3.2	电网干扰及其抑制	(146)
3.3.3	信号地之间的干扰及其抑制	(148)
3.3.4	信号通道干扰及其抑制	(151)
3.4	功能及性能指标的测试	(153)
3.4.1	时间与频率的测量	(153)

3.4.2	幅频特性的测量	(156)
3.4.3	失真度的测量	(159)
第4章	电子技术课程设计题简介	(161)
4.1	电子技术课程设计题介绍	(161)
4.2	电子技术课程设计题说明	(175)
第5章	课程设计指导	(184)
5.1	电子技术课程设计教学目的与要求	(184)
5.2	电子技术课程设计教学安排	(184)
5.3	电子技术课程设计成绩评定	(186)
5.4	电子技术课程设计报告要求	(186)
第6章	常用电子元器件及其典型应用	(188)
6.1	半导体分立器件	(188)
6.1.1	国产半导体分立元器件型号命名法	(188)
6.1.2	半导体分立元器件的选用	(189)
6.1.3	半导体分立元器件的典型应用电路	(191)
6.2	模拟集成电路	(193)
6.2.1	国产半导体集成电路命名方法	(193)
6.2.2	模拟集成电路介绍	(195)
6.3	数字集成电路	(217)
6.3.1	常用集成逻辑门电路的逻辑符号和管脚图	(217)
6.3.2	部分常用数字集成电路管脚图与功能表	(219)
6.4	几种 A/D 和 D/A 转换器的引脚图	(235)
附录 A	全国大学生电子设计竞赛试题选编	(237)
1.1	1994 年全国大学生电子设计竞赛试题	(237)
1.2	1995 年全国大学生电子设计竞赛试题	(239)
1.3	1997 年全国大学生电子设计竞赛试题	(242)
1.4	1999 年全国大学生电子设计竞赛试题	(246)
1.5	2001 年全国大学生电子设计竞赛试题	(251)
1.6	2003 年全国大学生电子设计竞赛试题	(258)
1.7	2005 年全国大学生电子设计竞赛试题	(265)

1.8	2007 年全国大学生电子设计竞赛试题	(272)
1.9	2009 年全国大学生电子设计竞赛试题	(283)
附录 B	全国大学生电子设计竞赛论文范例——声音导引系统	(297)
参考文献		(315)

第1章 电子电路设计的基础知识

常用电子电路的设计方法和步骤在电子信息工程技术中占有非常重要的位置,同时也是“电子技术课程设计”教学的重要内容。本章将介绍有关电子电路设计的基础知识,然后介绍常用电子电路的一般设计方法和步骤。

1.1 概述

1.1.1 电子产品的研制开发过程

电子产品的研制过程一般如图1-1所示。下面对其中部分环节做一些具体说明。

1. 选题是否合适关系到研制工作的难易和产品的经济效益,甚至是成败的关键。读者在遇到这类问题时,应注重其技术含量及广阔的市场前景。

2. 拟定性能指标是电子电路设计中最先遇到的问题。提出一套完整的、合适的性能指标,并不是一件容易的事。设计刚开始时提出的性能指标,某些方面可能不够准确或不切实际,某些要求可能提得太武断或安全系数太大等。这些问题可能要到预设计阶段,甚至试生产或使用阶段才能发现。因此,产品的性能指标一般要在研制过程中反复修改,才能最后确定。

3. 预设计包括定出总体方案,落实各环节的具体电路,计算出它们的参数值,画出总体电路图 etc。

4. 工艺设计包括设计印刷电路板的布线,编写各部件(例如插件板、面板等)之间的接线表,画出各插头、插座的接线图和机箱加工图等。

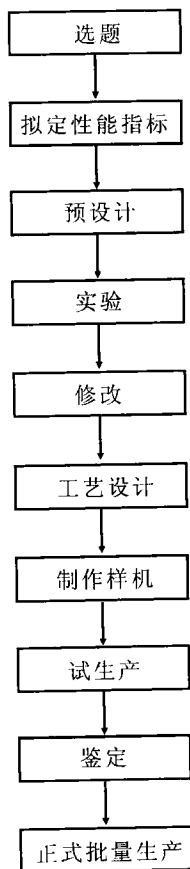


图1-1 电子产品研制
开发过程示意图

5. 试生产。样机制作完成以后,可根据具体情况试生产若干台,并交使用单位试用。若发现问题,应及时改进,做出合格的定型产品,再进行鉴定。在确信有令人满意的经济效益前提下,才能投入批量生产。

1.1.2 电子电路设计的地位与作用

通常所说的电子电路设计,包括图1-1中拟定性能指标、原理电路的预设计、实验和修改四个环节。如果设计时所采用的方案和电路不好,选用的元器件太贵或筛选困难等,往往会造成产品性能差,生产困难,成本高,销路不畅,经济效益低等,甚至不得不考虑重新设计,但那时也许已经错失良机,以致造成整个研制工作的失败。因此,电子电路设计的质量对产品性能的优劣和经济效益的高低等具有举足轻重的作用。

对于课程设计而言,通过电子电路设计可以帮助学生巩固有关的课程内容,提高自学和解决实际问题的能力,锻炼独立思考和创新精神。

1.1.3 衡量设计质量的标准

什么样的设计才算优良呢?我们认为主要应根据以下几点全面衡量:

1. 工作稳定可靠,保证能达到所要求的性能指标,并留有适当裕量。
2. 电路简单。
3. 成本低。
4. 耗电少。
5. 所采用的元器件品种少,体积小,且货源充足。
6. 便于生产,容易调试。
7. 维修方便。

通常,我们希望自己设计的电子电路能同时符合以上各项要求,但有时会遇到相互矛盾的情况。例如,在设计中有时会遇到这样的情况:如果要想使耗电最少或体积最小,则成本高或可靠性差。在这种情况下,应当抓住主要矛盾。例如,对于用交流电网供电的电子设备,如果电路总的功耗不大,那么功耗的大小不是主要矛盾,而对于用微型电池供电的航天仪表而言,功耗的大小则是主要矛盾之一。

1.2 模拟电路的设计

通过“模拟电子技术基础”课程的学习,读者掌握了各种单元放大电路和集成运算放大器主要应用电路的工作原理,并对电路的主要技术指标进行了分析

和计算。本节主要从电路的设计和实际应用方面进行讨论,介绍了几种常用单元电路的设计方法或设计原则,并选用了一些实用的单元参考电路。

1.2.1 放大器的设计

放大器的设计包括交流放大器的设计和直流放大器的设计。随着电子技术的迅速发展,性能优良的集成电路产品不断涌现,给电子系统和装置的设计带来了极大的方便。但是,从课程设计教学的角度出发,以培养学生的基本技能(单元电路的设计方法、布线、焊接及组装调试等)入手,熟悉和掌握分立元件的设计方法,仍有必要性。下面分别介绍分立元件放大电路的设计和用集成运放组成放大电路的主要方法。

一、分立元件阻容耦合多级放大器的设计

多级放大器通常包括输入级、中间级和输出级。

1. 输入级。如果信号源不允许取较大电流,则放大器的输入电阻太低将影响信号源的正常工作,因此,第一级应采用具有高输入电阻的射极输出级或者场效应管放大电路。如果信号源内阻虽较大,但取电流并不影响其正常工作,则第一级可用射极输出级或者共发射极放大电路,可根据具体电路要求及参数选定。

2. 中间级。中间级的主要作用是提高增益,通常采用电压放大倍数高的共发射极放大电路,或用共射-共基-共集组态电路等。

3. 输出级。输出级的主要目的是让负载得到足够大的信号功率,电路形式同负载有关。负载电阻较小时,可采用射极输出器或互补对称电路。负载电阻较大时,可采用共发射极放大电路或共基极放大电路。

4. 放大器级数的确定。它主要根据要求总的放大倍数来确定放大器的级数,多级放大器的放大倍数等于各级放大倍数的乘积。在确定级数时,不能为单纯追求每一级的放大倍数高而减少级数,而应全面考虑放大器的各项指标性能。例如,为了改善放大器的性能,必须引入交流负反馈,势必使放大倍数下降。故设计时对放大器的放大倍数应留有充分的余地。

5. 静态工作点的设置。由于采用阻容耦合方式,各级静态工作点相互独立,静态工作点的设置方法与单级放大器的相同。对前置放大级,为保证放大信号不失真和高的放大倍数,工作点设置于特性曲线的线性部分,通常输入级

$I_{CQ} = \begin{cases} 0.1 \sim 1 \text{ mA (硅管)} \\ 0.2 \sim 2 \text{ mA (锗管)} \end{cases}$, 中间级 $I_{CQ} = 1 \sim 3 \text{ mA}$, $V_{CEQ} = 2 \sim 3 \text{ V}$, 输出级应在保

证不失真情况下,输出功率尽可能大,同时应考虑最小静态功耗。

6. 计算电路元件参数,合理选取元器件。偏置电阻 R_b 、 R_c 、 R_e , 管子的放大

倍数 β ，以及耦合电容、旁路电容等的选取在教材学习中已有详尽讨论，这里不再赘述。

二、集成运放放大电路的设计

1. 用集成运算放大器放大信号的主要优点。

(1) 电路设计简化，组装调试方便，只需适当选配外接元件，便可实现输入、输出的各种放大关系。

(2) 由于运放的开环增益都很高，用其构成的放大电路一般工作在深度负反馈的闭环状态，则性能稳定，非线性失真小。

(3) 运放的输入阻抗高，失调和漂移都很小，故很适合于各种微弱信号的放大。又因其具有很高的共模抑制比，对温度的变化、电源的波动以及其他外界干扰都有很强的抑制能力。

(4) 由运放构成的放大单元功耗低、体积小、寿命长，使整机使用的元器件数大大减少，成本降低，工作可靠性大为提高。

用运算放大器组成的放大电路，按电路形式可分为反相放大器、同相放大器和差动放大器三种。按输入信号性质又可分为直流放大器和交流放大器两类。由于运放的开环带宽一般较窄，故目前在高频领域的应用还受到一定限制。下面分别介绍几种典型的放大电路。

2. 反相比例放大电路的特点和设计要点。由运放组成的反相输入比例放大电路如图 1-2 所示。

在理想条件下，该电路的主要闭环特性如表 1-1 所示。

表中 $K = R_f / (R_i + R_f)$ ，利用上表可计算出运算误差。表 1

-1 说明，由运放组成的反相输入比例放大电路具有如下重要特性：

(1) 在深度负反馈情况下工作时，电路的放大倍数仅由外接电阻 R_f 、 R_i 的值确定。

(2) 因同相端接地，则反相端电位为“虚地”，因此，对前级信号源而言，其负载不是运放本身的输入电阻，而是电路的闭环输入电阻 R_i 。

(3) 运放的输出电阻也由于深度负反馈而大为减小。由于 $R_i = R_i$ 这一特点，反相比例放大器只宜用于信号源对负载电阻要求不高的场合（小于 500 k Ω ）。

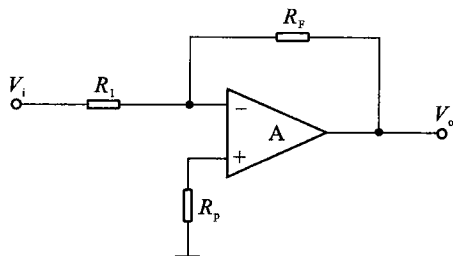


图 1-2 反相比例放大电路

表 1-1

反相比例放大电路特性

主要闭环特性	理想运放	实际运放
闭环增益	$A_{VF} = -R_F/R_1$	$A_{VF} = \frac{-R_F/R_1}{1 + 1/KA_{VO}}$
输入电阻	$R_i = R_1$	$R_i = R_1 + R_{ID} // \frac{R_F}{1 + A_{VO}}$
输出电阻	$R_{OC} = 0$	$R_{OC} = \frac{R_O}{1 + KA_{VO}}$

在设计反相比例放大电路时,要从多种因素来选择运放参数。例如,在放大直流信号时,应着重考虑影响运算精度和漂移的因素,为提高运算精度,运放的开环增益 A_{VO} 和输入差模电阻 R_{ID} 要大,而输出电阻 R_O 宜小。为减小漂移,运放的输入失调电压 V_{IO} 、输入失调电流 I_{IO} 和基极偏置电流 I_{IB} 要小。这些因素随温度的变化在运放输出端引起的总误差电压最大可为:

$$\Delta V_O = \pm \frac{R_1 + R_F}{R_1} \left(\frac{dV}{dT} \Delta T \right) \pm \left(\frac{dI_{IO}}{dT} \Delta T \right) + R_F \left(\frac{dI_{IB}}{dT} \Delta T \right)$$

如放大直流微弱信号,还要考虑噪声的影响,要求运放的等效输入噪声电压 V_N 和噪声电流 I_N 要小,运放输出的总噪声电压为 $V_{ON} = [V_N^2 (1 + R_F/R_1)^2 + I_N^2 R_F^2]^{1/2}$ 。

如放大交流信号,则要求运放有足够的带宽,即要求运放的信号带宽大于信号的频率。若运放手册已给出开环带宽指标 BW_0 ,则闭环后电路的带宽将被展宽。对单级运放可用公式 $BW_C = BW_0 \cdot A_{VO} (R_1/R_F)$ 计算。

外接电阻阻值的选择,对放大电路的性能有着重要影响。通常有两种计算方法:一种是从减小漂移、噪声,增大带宽考虑,在信号源的负载能力允许条件下,首先尽可能选择较小的 R_1 ,然后按闭环增益要求计算 R_F ,而取 $R_p = R_1 // R_F$,以消除基流引起的失调。另一种算法是从减小增益误差着手,首先算得 R_F 的数值, R_F (最佳) = $[R_{ID} \cdot R_O / (2K)]^{1/2}$,再按闭环增益要求计算 R_1 。

3. 同相比例放大电路的特性和设计要点。由上可知,反相比例放大电路的输入阻抗不太高,为克服这一缺点,可采用同相输入比例放大电路,如

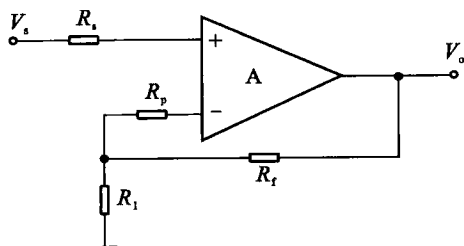


图 1-3 同相比例放大电路

图 1-3 所示。

图中, R_s 为信号源内阻, R_p 为消除基流对输出失调影响的平衡电阻, $R_p = R_s - R_i // R_f$, 若算得是负值, 则将 R_p 改为与 R_s 串接, 并满足 $R_p + R_s = R_i // R_f$ 。同相比比例放大电路的闭环特性如表 1-2 所示。

表 1-2 同相比比例放大电路特性

主要闭环特性	理想运放	实际运放
闭环增益	$A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_i}$	$A_{VF} = \frac{1 + R_f/R_i}{1 + 1/KA_{VO}}$
输入电阻	$R_i = \infty$	$R_i = R_s + R_{ID}(1 + KA_{VO})$
输出电阻	$R_{OC} = 0$	$R_{OC} = \frac{R_O}{1 + KA_{VO}}$

由表可知, 同相比比例放大电路的最大优点是输入电阻高, 例如 CF741 型运放, 查手册可知: $A_{VO} = 5 \times 10^4$, $R_{ID} = 0.3 \times 10^6 \Omega$, 则 $R_i \approx R_{ID}KA_{VO} = 150 \text{ M}\Omega$, 实际值 R_i 约 $100 \text{ M}\Omega$ 。由于同相比比例放大电路的反相输入端不是“虚地”, 其电位随同相端的信号电压变化, 使运放承受着一个共模输入电压, 信号源的幅度受到限制, 不可超过共模电压范围, 否则将带来很大误差, 甚至不能正常工作。

设计同相比比例放大电路时, 对运放的选择除反相输入电路中提出的要求外, 还特别要求运放的共模抑制比 K_{CMR} 高, 否则输入端将引入值为 V_{ICM}/K_{CMR} 的误差电压 (V_{ICM} 为输入共模电压)。比例电阻的计算, 一般应先计算最佳反馈电阻 R_f , 其值为:

$$R_f(\text{最佳}) = \sqrt{\frac{(A_{VF} - 1)R_O R_{ID}}{2}}$$

然后按闭环增益的要求确定 R_i 的数值。

4. 差动输入比例放大电路的特性和设计。简单的差动输入比例放大电路如图 1-4 所示。图 1-4 中, 运放输入的差模电压 $V_{ID} = V_2 - V_1$, 共模电压 $V_{IC} = \frac{1}{2}(V_2 + V_1)$ 。在元件匹配的情况下, 即 $R_1 = R_2$ 、 $R_3 = R_4$ 时, 理想的闭环增益为:

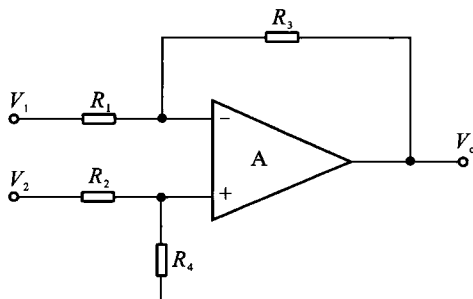


图 1-4 差动输入比例放大电路