

教育“十三五”规划教材
系列规划教材

模拟电子技术习题及实验指导

(第2版)

◎ 查丽斌 主编 ◎ 张凤霞 李自勤 胡体玲 编著

 中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

“十三五”规划教材

||规划教材

模拟电子技术习题及实验指导 (第2版)



查丽斌 主编

张凤霞 李自勤 胡体玲 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是《模拟电子技术(第2版)》的配套习题集和实验教材。全书共9章,前8章主要内容包括与主教材各章对应的知识要点总结、本章重点与难点、重点分析方法与步骤、填空题和选择题、习题等;第9章包含7个典型实验,除第一个“常用电子仪器的使用”为操作型实验外,其余都是设计型实验,每个实验只给出实验内容和实现电路,不给出具体参数,不针对具体的实验板设计,通用性强。本书配有习题详解。

本书可作为高等学校本科电子、通信、自动化、电子电气、计算机等专业和部分非电类专业的教材,也可作为自学考试和成人教育的自学教材,还可供电子工程技术人员学习参考。

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

模拟电子技术习题及实验指导/查丽斌主编. —2版. —北京:电子工业出版社,2018.2

ISBN 978-7-121-33728-4

I. ①模… II. ①查… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN710.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 033230 号

策划编辑:王羽佳

责任编辑:王羽佳 特约编辑:曹剑锋

印 刷:三河市华成印务有限公司

装 订:三河市华成印务有限公司

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:787×1092 1/16 印张:10.5 字数:303 千字

版 次:2013 年 1 月第 1 版

2018 年 2 月第 2 版

印 次:2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价:28.00 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)88254888,88258888。

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。

本书咨询联系方式:(010)88254535, wyj@phei.com.cn。

前 言

本书是《模拟电子技术（第2版）》的配套用书，可以作为学生的习题册和实验指导书。

近年来为了提高高等学校的教学质量，教育部和各高校都投入了很大的力量，采取了很多有效措施。为了提高“模拟电子技术”课程的教学质量，除要求学生在课堂上认真听讲外，还必须要求学生在课外多做练习，认真完成作业，同时加强实践性环节的训练。本书正是在这样的背景下为满足教学需求而编写的。

本书共9章，前8章对应主教材的内容，即运算放大器及其线性应用、半导体二极管及直流稳压电源、晶体三极管及其基本放大电路、场效应管及其基本放大电路、多级放大电路与模拟集成运算放大器单元电路、滤波电路及放大电路的频率响应、负反馈放大电路和波形产生电路等，每章包括知识要点总结、重点与难点、重点分析方法与步骤、填空题和选择题、习题等5部分内容。其中，知识要点总结、重点与难点、重点分析方法等内容，可帮助学生在完成课后作业前，系统地复习和总结每章的内容；填空题和选择题是对主教材内容的补充，有助于学生对基本概念的理解和掌握。第9章包含7个典型实验，除“常用电子仪器的使用”为操作型实验外，其余均为设计型实验，每个实验都给出了实验内容和实验电路的设计方法，不给出具体参数，不针对具体的实验板设计，通用性较强。每个实验需要3~4学时，可以满足实验学时数在26学时以下的教学要求。

学生使用本书，可以省去抄题目和画图的时间，从而可以把更多的精力投入到题目的思考上，提高学习效率。交作业时，沿虚线撕下即可，建议每章交一次作业，内容较多的章节可以交两次作业。对于教师，本书可以减轻收发大量作业本的负担，提高批改作业的效率，从而可以把更多的精力投入到教学中。

本书向教师免费提供习题参考答案和实验参考结果，请登录华信教育资源网 <http://www.hxedu.com.cn> 注册下载。

本书由查丽斌策划、组织和统稿，第1~6章由查丽斌编写，第7章由张凤霞编写，第8章由李自勤编写，第9章由胡体玲编写，汪洁、王宛苹和王勇佳也参与了本书的编写工作。在本书的编写过程中，许多本校和兄弟院校的教师都提出了诸多中肯的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢！

在本书的编写过程中，参考了一些已经出版的教材和文献，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平有限且编写时间仓促，书中难免存在错误和不妥之处，诚恳地希望读者提出宝贵的意见和建议，以便今后不断改进。

作 者

2018年1月

目 录

第 1 章 运算放大器及其线性应用	1	第 3 章 晶体三极管及其基本放大电路	31
1.1 知识要点总结	1	3.1 知识要点总结	31
一、放大的基本概念及性能指标	1	一、晶体三极管的基本知识	31
二、模拟集成运算放大器的组成及特点	1	二、晶体管放大电路的 3 种接法	32
三、理想集成运算放大电路	1	3.2 本章重点与难点	32
四、基本运算电路	2	3.3 重点分析方法与步骤	32
1.2 本章重点与难点	2	一、三极管引脚及类型判别	32
1.3 重点分析方法与步骤	2	二、三极管的工作状态判别	33
1.4 填空题和选择题	4	三、放大电路有无放大作用判别	33
1.5 习题 1	5	四、三极管放大电路分析方法	33
第 2 章 半导体二极管及直流稳压电源	15	五、放大电路的非线性失真	35
2.1 知识要点总结	15	3.4 填空题和选择题	36
一、半导体的基本知识	15	3.5 习题 3	39
二、PN 结的特性	15	第 4 章 场效应管及其基本放大电路	51
三、晶体二极管模型	15	4.1 知识要点总结	51
四、直流稳压电源	16	一、场效应管的基本知识	51
2.2 本章重点与难点	17	二、场效应管伏安特性曲线	51
2.3 重点分析方法与步骤	17	三、放大模式下场效应管的模型	52
一、二极管电路的简化分析法	17	4.2 本章重点与难点	52
二、稳压管稳压电路的分析	17	4.3 重点分析方法与步骤	53
三、整流电路分析	17	一、场效应管类型判别	53
2.4 填空题和选择题	18	二、场效应管的工作状态判别	53
2.5 习题 2	21	三、场效应管放大电路分析	53

4.4	填空题和选择题	55
4.5	习题 4	57
第 5 章	多级放大电路与集成运算放大器单元电路	67
5.1	知识要点总结	67
	一、多级放大电路	67
	二、电流源电路	67
	三、差分式放大电路	67
	四、功率放大电路	68
5.2	本章重点与难点	70
5.3	重点分析方法与步骤	70
	一、多级放大电路性能分析	70
	二、差分放大电路的半电路分析法	71
5.4	填空题和选择题	72
5.5	习题 5	75
第 6 章	滤波电路及放大电路的频率响应	85
6.1	知识要点总结	85
	一、滤波电路的基本知识	85
	二、无源 RC 滤波电路的频率响应	85
	三、有源滤波器的实现	85
	四、放大电路的频率响应	85
6.2	本章重点与难点	87
6.3	重点分析方法与步骤	88
	一、频率响应分析步骤	88
	二、放大电路的频率特性分析方法	88
6.4	填空题和选择题	89
6.5	习题 6	91

第 7 章	负反馈放大电路	101
7.1	知识要点总结	101
	一、反馈的基本概念	101
	二、负反馈对放大电路性能的影响	102
	三、负反馈放大电路的自激振荡及稳定工作的条件	102
7.2	本章内容的重点及难点	102
7.3	重点分析方法及步骤	102
	一、判别反馈的方法	102
	二、深度负反馈条件下 A_{uf} 的估算	103
7.4	填空题和选择题	103
7.5	习题 7	105
第 8 章	波形产生电路	113
8.1	知识要点总结	113
	一、正弦波产生电路	113
	二、RC 文氏桥正弦波振荡电路	113
	三、LC 正弦波振荡电路	114
	四、石英晶体振荡器	114
	五、非正弦波产生电路	115
8.2	本章重点与难点	115
8.3	重点分析方法与步骤	115
8.4	填空题和选择题	116
8.5	习题 8	117
第 9 章	实验	125
9.1	常用电子仪器的使用	125
	一、实验目的	125
	二、实验仪器	125
	三、实验原理	125

四、实验内容及步骤	127
五、注意事项	128
六、预习要求	129
七、思考题	129
八、实验报告要求	129
9.2 集成运算放大器的线性应用	129
一、实验目的	129
二、实验仪器及元器件	129
三、实验原理	129
四、实验电路参数设计	132
五、实验内容	132
六、注意事项	133
七、预习要求	134
八、思考题	134
9.3 二极管极性的判别及直流稳压电源	134
一、实验目的	134
二、实验仪器及元器件	134
三、实验原理	134
四、实验内容及步骤	136
五、预习要求	137
六、注意事项	138
七、思考题	138
9.4 三极管管型的判别及共发射极放大电路	138
一、实验目的	138
二、实验仪器及元器件	138
三、实验原理	139
四、实验设计任务	141
五、实验内容及步骤	141

六、预习要求	144
七、注意事项	144
八、思考题	144
9.5 负反馈放大电路	144
一、实验目的	144
二、实验仪器及元器件	144
三、实验原理	145
四、电路参数设计	146
五、实验内容	146
六、预习要求	148
七、思考题	148
9.6 电平检测器的设计与调测	148
一、实验目的	148
二、实验仪器及元器件	148
三、实验原理	148
四、实验内容及步骤	150
五、预习要求	150
六、注意事项	150
七、思考题	150
9.7 波形产生电路	151
一、实验目的	151
二、实验仪器及元器件	151
三、实验原理	151
四、实验内容及步骤	154
五、预习要求	156
六、思考题	156

参考文献	157
------	-----

第1章 运算放大器及其线性应用

1.1 知识要点总结

一、放大的基本概念及性能指标

1. 放大的基本概念

模拟电子电路是指包含电子管、晶体管、场效应管、运算放大器等有源器件，并完成一定功能的电路。放大是指在有源器件的控制下实现能量的转换。放大电路的功能是将微弱的电信号不失真地放大到所需的值。

2. 放大的模型和性能指标

放大电路可视为双口网络。根据输入和输出量的不同，可将放大电路分为电压放大、电流放大、互阻放大和互导放大4种电路形式。

放大电路的性能指标主要包括增益、输入电阻、输出电阻、通频带、非线性失真、功率和效率等。

二、模拟集成运算放大器的组成及特点

1. 模拟集成运算放大器组成

模拟集成运算放大器是高性能的直接耦合集成电压放大电路，通常由输入级、中间级、输出级和偏置电路4部分电路组成。

2. 集成运算放大电路的电压传输特性

集成运算放大电路的电压传输特性是指输出电压与输入电压的关系曲线，即 $u_o = f(u_{id})$ ，如图 1.1.1 所示。

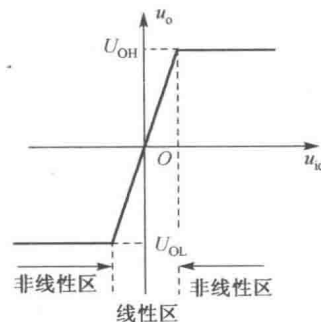


图 1.1.1 集成运放的电压传输特性

三、理想集成运算放大电路

1. 理想集成运算放大电路的特点

所谓理想运放，就是将集成运放的性能指标理想化，即

- (1) 开环电压增益 $A_{od} = \infty$
- (2) 开环输入电阻 $r_{id} = \infty$
- (3) 开环输出电阻 $r_o = 0$
- (4) 转换速率 $S_R = \infty$

一个理想运放可看成是一个电压 u_{id} 控制的受控电压源。

2. 理想集成运算放大电路工作在线性区的特点

当运放工作在线性区，即输出电压与输入电压呈线性关系时，具有两个主要特点。

(1) $u_+ = u_-$ (“虚短”)

(2) $i_- = i_+ = \frac{u_{id}}{r_{id}} \approx 0$ (“虚断”)

“虚短”和“虚断”是两个非常重要的概念，是分析工作在线性区的理想运放应用电路中输入与输出函数关系的基本关系式。集成运放必须引入深度负反馈，才能保证其工作在线性区。工作在线性区的应用电路主要包括运算电路、有源滤波电路等。

3. 理想集成运算放大电路工作在线性区的特点

当运放工作在线性区时，具有如下两个主要特点。

(1) $u_o = \begin{cases} U_{OH}, & u_+ > u_- \\ U_{OL}, & u_+ < u_- \end{cases}$

(2) $i_- = i_+ = 0$

四、基本运算电路

理想运放组成的基本运算电路如表 1.1.1 所示。

1.2 本章重点与难点

1. 放大的基本概念和放大电路的性能指标。
2. 集成运放的组成和理想化集成运放的特性。
3. 利用虚短、虚断的概念分析由集成运放组成的各种运算电路。

1.3 重点分析方法与步骤

下面介绍运算电路的分析方法。

1. 利用“虚短”和“虚断”进行分析

- (1) 根据电路结构判断运放是否工作在线性区，若除运放外还

有其他的元器件连接输出和反相输入端，则判断运放工作在线性区，可应用“虚短”和“虚断”。

(2) 利用 KCL 列写节点电流方程 $\sum i = 0$ 。注意，不要列写运放输出端所接的节点方程，因为输出电流未知。

(3) 将“虚断” $i_- = i_+ = 0$ 和“虚短” $u_+ = u_-$ 的关系式代入节点电流方程，求运算电压的运算关系式。

2. 利用叠加定理进行分析

由于许多运算电路都是在反比例电路、同比例电路或积分电路的基础上发展起来的，所以在分析方法上，除可以采用“虚短”和“虚断”进行分析外，还可以采用叠加定理进行分析，具体分析步骤如下：

(1) 保留其中任一输入电压，令其他输入电压为零。

(2) 利用同比例电路、反比例电路或积分电路的基本关系式，求出任一输入电压作用时的输出电压。

(3) 根据电路的“叠加定理”，求出电路总的运算关系。

表 1.1.1 基本运算电路

电路名称	电路结构	基本运算关系
反相比例电路		$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1}$ $R_{if} = R_1, R_{of} = 0$
同相比例电路		$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$ $R_{if} = \infty, R_{of} = 0$
反相加法电路		$u_o = -R_f \left(\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} + \frac{u_{i3}}{R_3} \right)$
同相加法电路		$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_4} \right) (K_1 u_{i1} + K_2 u_{i2} + K_3 u_{i3})$ 令 $R = R_1 // R_2 // R_3$, 式中 $K_1 = R / R_1$ $K_2 = R / R_2$ $K_3 = R / R_3$

(续表)

电路名称	电路结构	基本运算关系
减法电路		当电阻满足条件 $R_f / R_1 = R_3 / R_2$ 时, $u_o = \frac{R_f}{R_1} (u_{i1} - u_{i2})$
反相积分电路		$u_o = -\frac{1}{R_1 C_f} \int u_i dt$
反相微分电路		$u_o = -R_f C \frac{du_i}{dt}$

1.4 填空题和选择题

一、填空题

- 1.4.1 放大电路有_____、_____、_____、_____ 4 种电路形式。
- 1.4.2 某放大电路的上、下限截止频率分别为 100kHz 和 20Hz, 则通频带 $f_{BW} \approx$ _____。
- 1.4.3 集成运算放大电路的输入级通常为差分电路, 主要是为了_____。
- 1.4.4 理想集成运放的 $A_{od} =$ _____, 输入电阻 $r_{id} =$ _____, 输出电阻 $r_{od} =$ _____。
- 1.4.5 要实现电压放大倍数 $A_{uf} = 100$ 的放大电路, 应选用_____运算电路, 要将正弦波电压转换成余弦波电压, 应选用_____运算电路。
- 1.4.6 电压跟随器的输出电压 u_o _____ 输入电压 u_i , 即电压增益 $A_{uf} =$ _____。
- 1.4.7 一个放大电路的中频增益为 60dB, 则在截止频率处, 实际的增益为_____dB。
- 1.4.8 _____比例运算电路中, 运放的反相输入端为虚地, 而_____比例运算电路中, 运放的两个输入端对地电压基本等于输入电压。
- 1.4.9 _____比例运算电路的特例是电压跟随器, 它具有输入电阻大和输出电阻小的特点, 常用做缓冲器。
- 1.4.10 流过_____求和电路反馈电阻的电流等于各输入电流的代数和。

二、选择正确的答案填空

- 1.4.11 与工作在非线性工作状态的运放不同, 运算电路中的运放通常工作在_____。
- A. 开环 B. 深度负反馈状态 C. 正反馈状态
- 1.4.12 将三角波电压转换为方波电压可选用_____。
- A. 反相比例电路 B. 微分电路
C. 积分电路 D. 同相比例电路
- 1.4.13 当集成运放工作在线性放大状态时, 可运用_____两个重要的概念。
- A. 开环和闭环 B. 虚短和虚断
C. 虚短和虚地 D. 线性和非线性
- 1.4.14 某放大电路在负载开路时的输出电压为 4V, 接入 $12k\Omega$ 的负载电阻后, 输出电压降为 3V, 则放大电路的输出电阻为_____。
- A. $10k\Omega$ B. $4k\Omega$ C. $3k\Omega$ D. $2k\Omega$
- 1.4.15 某放大电路负载开路时, 输出电压为 4V, 负载短路时, 输出电流为 10mA, 则该电路的输出电阻为_____。
- A. 200Ω B. 300Ω C. 400Ω D. 500Ω
- 1.4.16 实现 $u_o = -(u_{i1} + u_{i2})$ 的运算, 应采用_____运算电路。
- A. 反相比例 B. 反相积分 C. 减法 D. 反相加法
- 1.4.17 集成运算放大器实质上是一种_____。
- A. 高增益的直接耦合电压放大器
B. 高增益的阻容耦合电压放大器
C. 高增益的直接耦合电流放大器
D. 高增益的阻容耦合电流放大器

1.5 习题 1

1.5.1 当负载开路 ($R_L = \infty$) 时测得放大电路的输出电压 $u'_0 = 2\text{V}$, 当输出端接入 $R_L = 5.1\text{k}\Omega$ 的负载时, 输出电压下降为 $u_0 = 1.2\text{V}$, 求放大电路的输出电阻 R_o 。

解:

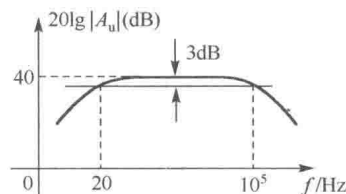
1.5.2 当在放大电路的输入端接入电压 $u_s = 15\text{mV}$, 内阻 $R_s = 1\text{k}\Omega$ 的信号源时, 测得电路的输入端的电压为 $u_i = 10\text{mV}$, 求放大电路的输入电阻 R_i 。

解:

1.5.3 当在电压放大电路的输入端接入电压 $u_s = 15\text{mV}$, 内阻 $R_s = 1\text{k}\Omega$ 的信号源时, 测得电路的输入端的电压为 $u_i = 10\text{mV}$; 放大电路输出端接 $R_L = 3\text{k}\Omega$ 的负载, 测得输出电压为 $u_o = 1.5\text{V}$, 试计算该放大电路的电压增益 A_u 和电流增益 A_i , 并分别用 dB (分贝) 表示。

解:

1.5.4 某放大电路的幅频响应特性曲线如图 1.5.1 所示, 试求电路的中频增益 A_{um} 、下限截止频率 f_L 、上限截止频率 f_H 和通频带 f_{BW} 。



解:

图 1.5.1 习题 1.5.4 电路图

1.5.5 电路如图 1.5.2 所示, 当输入电压为 0.4V 时, 要求输出电压为 4V , 试求解 R_1 和 R_2 的阻值。

解:

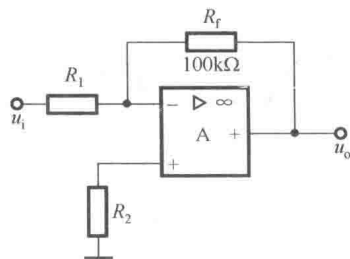


图 1.5.2 习题 1.5.5 电路图

1.5.6 集成运算放大器工作在线性区和非线性区各有什么特点。

解:

1.5.7 电路如图 1.5.3 所示, 集成运放输出电压的最大幅值为 $\pm 14\text{V}$, 求输入电压 u_i 分别为 200mV 和 2V 时输出电压 u_o 的值。

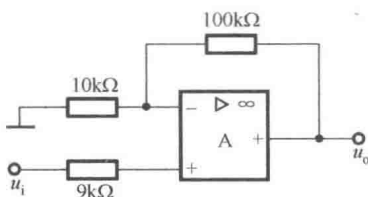
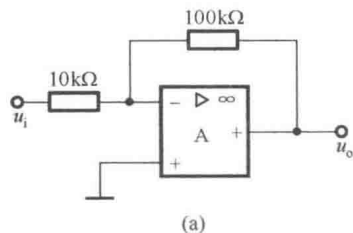


图 1.5.3 习题 1.5.7 电路图

解:

1.5.8 电路如图 1.5.4 所示, 试求每个电路的电压增益 $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i}$ 、输入电阻 R_i 及输出电阻 R_o 。



解:

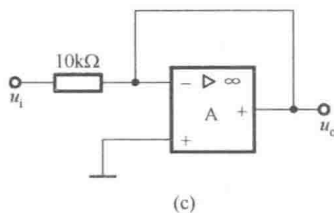
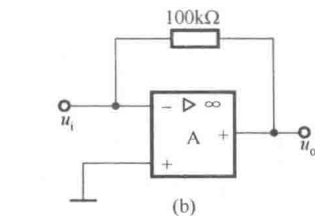


图 1.5.4 习题 1.5.8 电路图 (续)

1.5.9 电路如图 1.5.5 所示, 求输出电压 u_o 与各输入电压的运算关系式。

解:

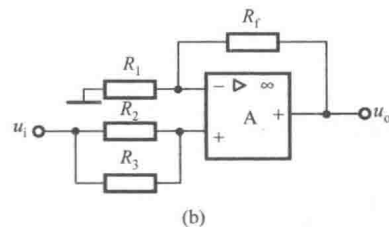
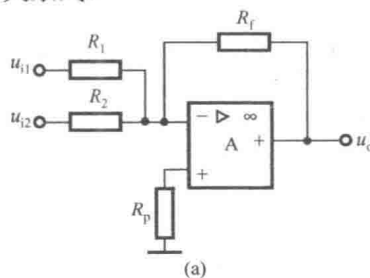
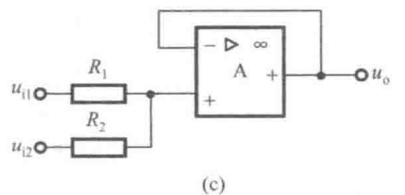
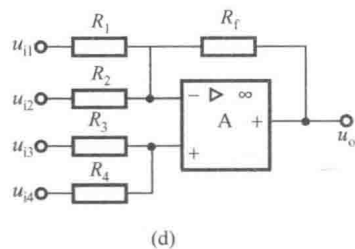


图 1.5.5 习题 1.5.9 电路图



解:



1.5.11 采用一片集成运放设计一个反相加法电路, 要求关系式为 $u_o = -5(u_{i1} + 5u_{i2} + 3u_{i3})$, 并且要求电路中最大的阻值不超过 $100\text{k}\Omega$, 试画出电路图, 并计算各阻值。

解:

图 1.5.5 习题 1.5.9 电路图 (续)

1.5.10 电路如图 1.5.6 所示, 假设运放是理想的: (1) 写出输出电压 u_o 的表达式, 并求出 u_o 的值; (2) 说明运放 A_1 和 A_2 各组成何种基本运算电路。

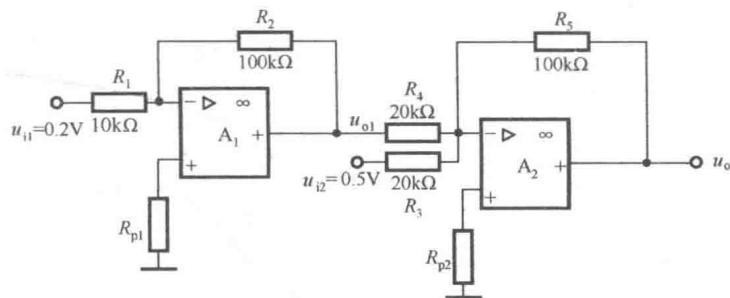
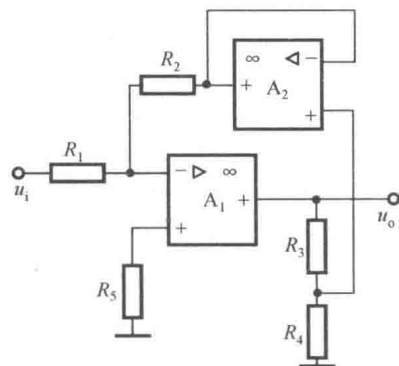


图 1.5.6 习题 1.5.10 电路图

1.5.12 采用一片集成运放设计一个运算电路, 要求关系式为 $u_o = -10(u_{i1} - u_{i2})$, 并且要求电路中最大的阻值不超过 $200\text{k}\Omega$, 试画出电路图, 计算各阻值。

解:

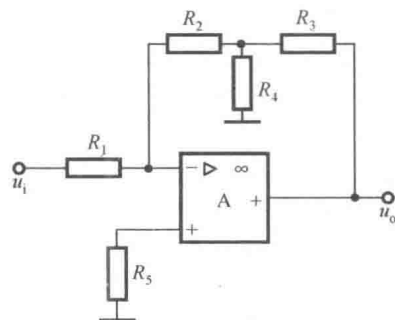
1.5.13 电路如图 1.5.7 所示, 设运放是理想的, 求输出电压 u_o 的表达式。



解:

图 1.5.7 习题 1.5.13 电路图

1.5.14 图 1.5.8 所示为带 T 形网络高输入电阻的反相比例运算电路。(1) 试推导输出电压 u_o 的表达式; (2) 若选 $R_1 = 51\text{k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 390\text{k}\Omega$, 当 $u_o = -100u_i$ 时, 计算电阻 R_4 的阻值; (3) 直接用 R_2 代替 T 形网络, 当 $R_1 = 51\text{k}\Omega$, $u_o = -100u_i$ 时, 求 R_2 的值; (4) 比较 (2)、(3) 说明该电路的特点。



解:

图 1.5.8 习题 1.5.14 电路图

1.5.15 电路如图 1.5.9 所示, 设所有运放都是理想的, 试求:
(1) u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_{o3} 及 u_o 的表达式; (2) 当 $R_1 = R_2 = R_3$ 时, u_o 的值。

解:

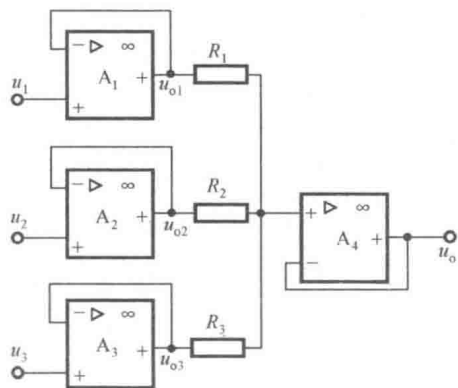


图 1.5.9 习题 1.5.15 电路图

1.5.16 电路如图 1.5.10 所示, 运放均为理想的, 试求电压增益
 $A = \frac{u_o}{u_{i1} - u_{i2}}$ 的表达式。

解:

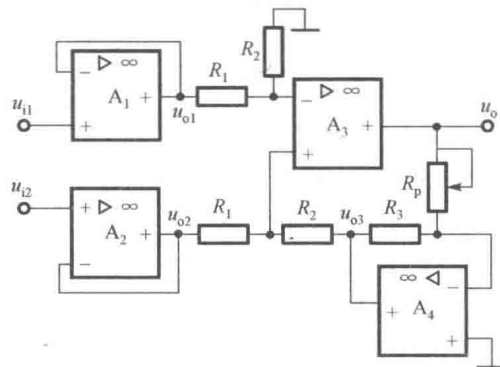


图 1.5.10 习题 1.5.16 电路图

1.5.17 电路如图 1.5.11 所示, 运放均为理想的, 试求输出电压 u_o 的表达式。

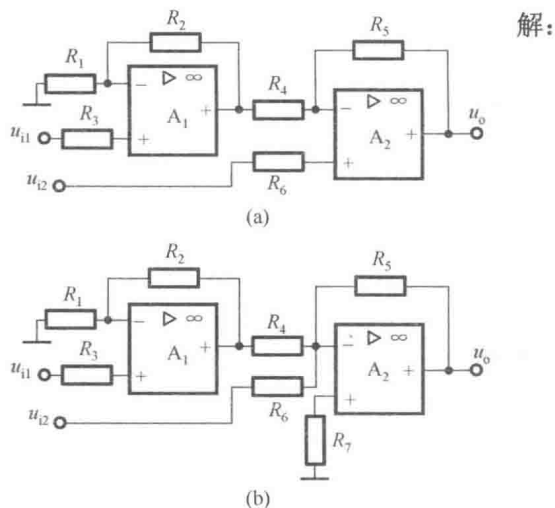


图 1.5.11 习题 1.5.17 电路图

1.5.18 积分电路如图 1.5.12 所示。设 $u_C(0) = 0$ ，在 $t = 0$ 时输入阶跃电压 $u_i = -1V$ ，当 $t = 1ms$ 时，输出电压达到 $10V$ ，求所需的时间常数。

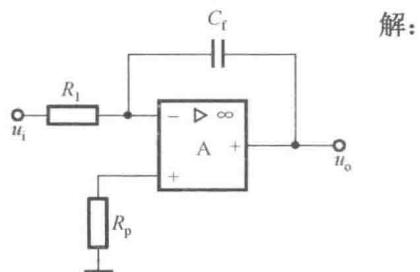


图 1.5.12 习题 1.5.18 电路图

1.5.19 电路如图 1.5.13(a)所示，已知运放的最大输出电压 $U_{om} = \pm 12V$ ，输入电压波形如图 1.5.13(b)所示，周期为 $0.1s$ 。试画出输出电压的波形，并求出输入电压的最大幅值 U_{im} 。

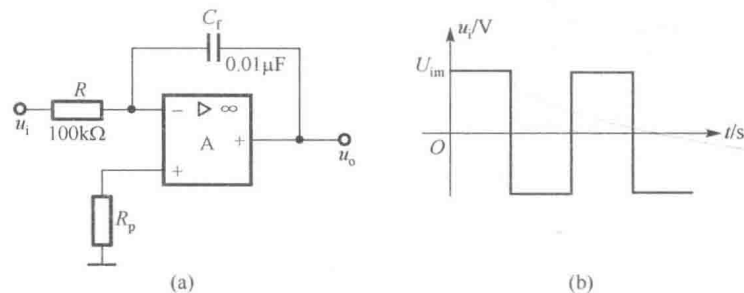


图 1.5.13 习题 1.5.19 电路图

解: