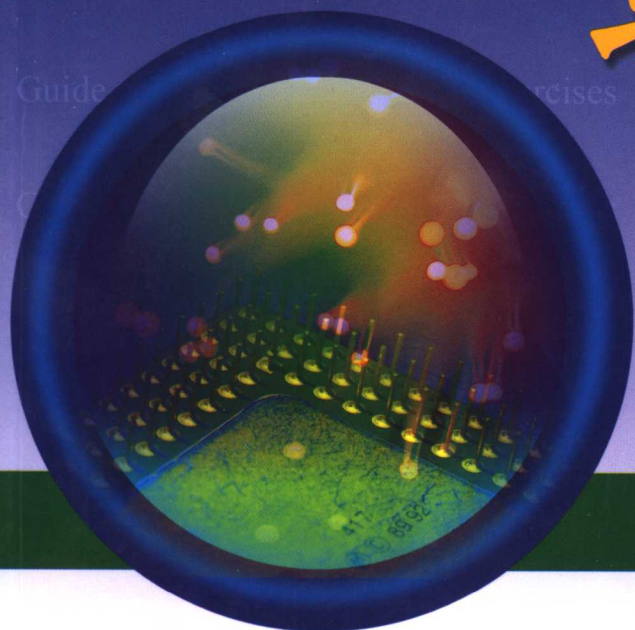


国家级精品课程教材

Guide to Exercises of Fundamentals of Analog Electronics

模拟电子技术基本教程 习题解答



● 解题思路 解题方法 解题步骤
● 基本概念 基本电路 基本分析方法

华成英 叶朝辉 编



清华大学出版社

模拟电子技术基本教程习题解答

华成英 叶朝辉 编

清华大学出版社
北 京

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基本教程习题解答/华成英,叶朝辉编. —北京:清华大学出版社,2006. 11

ISBN 7-302-13892-3

I. 模… II. ①华… ②叶… III. 模拟电路—电子技术—高等学校—解题 IV. TN710-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 115269 号

出版者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社总机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:王一玲

印装者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×230 印张:6 字数:122 千字

版 次:2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13892-3/TN·363

印 数:1~3000

定 价:15.00 元



作者简介

华成英 1970年毕业于清华大学电机系，其后留校任教至今，现为自动化系教授，首届国家级精品课程“电子技术基础”课程负责人。三十五年来，主要从事电子技术方面的教学和科学研究工作，此外，还参加了中央广播电视大学和成人高等教育有关电子技术课程的建设工作。近年来主要著作有：

1. 《模拟电子技术基础（第三版）》（普通高等教育“九五”国家教委重点教材，面向21世纪课程教材）高等教育出版社，2001。该教材于2004年获得北京市高等教育优秀教学成果一等奖。

2. 《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》（教育部高教司组编全国成人高等教育规划教材）高等教育出版社，2001、2002。

3. 《模拟电子技术基础题库》高等教育出版社，2002。是四所院校完成的国家“九五”重点攻关项目成果。

4. 《模拟电子技术基础（第三版）教师手册》高等教育出版社，2002。

5. 《帮你学模拟电子技术基础》高等教育出版社，2004。

6. 《模拟电子技术基础电子教案》高等教育出版社，2005。

7. 《模拟电子技术基础（第四版）》（普通高等教育“十五”国家级规划教材）高等教育出版社，2006。

责任编辑：王一玲

封面设计：跃海一阳书装工作室

前言



P R E F A C E

本书是华成英主编的《模拟电子技术基本教程》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)的配套辅导书。书中对教材中的全部习题进行了详细解答。

本书对教材中各章的习题做了全面解析,力图从解题思路、解题方法和解题步骤等方面给读者以指导,从而掌握模拟电子技术的基本概念、基本电路和基本分析方法,提高分析问题和解决问题的能力。

在讲授和学习模拟电子技术课程时,本书既可作为教师手册,又可作为学生的参考书,同时还可作为自学者的辅导书。

由于编者的能力和水平所限,书中定有疏漏、欠妥和错误之处,恳请读者多加指正。

编 者

2006 年 9 月于清华园

目 录

CONTENTS

第 1 章	导 言	1
第 2 章	集成运放及其基本应用	2
第 3 章	半导体二极管及其基本应用电路	14
第 4 章	晶体三极管及其基本放大电路	22
第 5 章	场效应管及其基本放大电路	38
第 6 章	集成运算放大电路	44
第 7 章	放大电路中的反馈	55
第 8 章	信号的运算和滤波	65
第 9 章	波形的发生与变换电路	71
第 10 章	直流电源	83

导 言

1.1 填空

- (1) 信号是反映_____的物理量,电信号是指随_____而变化的电压或电流。
- (2) 模拟信号在时间和数值上均具有_____性,数字信号在时间和数值上均具有_____性。
- (3) 模拟电路是处理_____信号的电路。
- (4) 构成具有各种功能模拟电路的基本电路是_____。

解 (1) 消息,时间 (2) 连续,离散 (3) 模拟 (4) 放大电路

1.2 回答下列各题

- (1) 在设计电子系统时,应尽可能做到哪几点?
- (2) 在电子系统中,常用的模拟电路有哪些? 它们各有何功能?

解 (1) 必须满足功能和性能指标的要求;在满足功能和性能指标要求的前提下,电路要尽量简单,所用元器件尽可能少;考虑电磁兼容性;系统的调试应简单方便,而且生产工艺应简单。

(2) 常用的模拟电路及功能如下:

放大电路: 用于信号的电压、电流或功率放大。

滤波电路: 用于信号的提取、变换或抗干扰。

运算电路: 完成一个信号或多个信号的加、减、乘、除、积分、微分、对数和指数等运算。

信号转换电路: 用于将一种电信号(包括直流电压、直流电流、交流电压、交流电流)转换成另一种电信号,或将直流电压转换成与之成正比的频率等。

信号发生电路: 用于产生正弦波、矩形波、三角波、锯齿波等。

直流电源: 将 220V、50Hz 交流电转换成不同输出电压和电流的直流电,作为各种电子电路的供电电源。

第 2 章

CHAPTER

集成运放及其基本应用

2.1 判断下列说法的正、误,在相应的括号内画“√”表示正确,画“×”表示错误。

- (1) 运算电路中集成运放一般工作在线性区。()
- (2) 反相比例运算电路输入电阻很大(),输出电阻很小()。
- (3) 虚短是指集成运放两个输入端短路(),虚断是指集成运放两个输入端开路()。
- (4) 同相比例运算电路中集成运放的共模输入电压为零。()
- (5) 在滞回比较器中,当输入信号变化方向不同时其阈值将不同。()
- (6) 单限比较器的抗干扰能力比滞回比较器强。()

解 (1) √ (2) ×, √ (3) ×, × (4) × (5) √ (6) ×

2.2 现有六种运算电路如下,请选择正确的答案,用 A、B、C 等填空。

- A. 反相比例运算电路 B. 同相比例运算电路 C. 求和运算电路
- D. 加减运算电路 E. 积分运算电路 F. 微分运算电路

- (1) 欲实现电压放大倍数 $A_u = -100$ 的放大电路,应选用_____。
- (2) 欲实现电压放大倍数 $A_u = +100$ 的放大电路,应选用_____。
- (3) 欲将正弦波电压转换成余弦波电压,应选用_____。
- (4) 欲将正弦波电压叠加上一个直流电压,应选用_____。
- (5) 欲将三角波电压转换成方波电压,应选用_____。
- (6) 欲将方波电压转换成三角波电压,应选用_____。
- (7) 欲实现两个信号之差,应选用_____。

解 (1) A (2) B (3) E (4) C (5) F (6) E (7) D

2.3 填空

- (1) 理想集成运放的 $A_{od} =$ _____, $r_{id} =$ _____, $r_{od} =$ _____, $K_{CMR} =$ _____。
- (2) 运算电路均应引入_____反馈,而电压比较器中应_____。
- (3) _____比例运算电路中集成运放反相输入端为虚地。
- (4) _____运算电路可实现函数 $Y = aX_1 + bX_2 + cX_3$ (a, b, c 均大于零),而_____运算电路可实现函数 $Y = aX_1 + bX_2 + cX_3$ (a, b, c 均小于零)。

解 (1) $A_{od} = \infty, r_{id} = \infty, r_{od} = 0, K_{CMR} = \infty$ (2) 电压负,不引反馈或仅引入正反馈

(3) 反相 (4) 同相求和, 反相求和

2.4 电路如图 P2.4 所示, 已知: 当输入电压 $u_i = 100\text{mV}$ 时要求输出电压 $u_o = -5\text{V}$ 。试求解 R_f 和 R_2 的阻值。

解

$$A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-5\text{V}}{100\text{mV}} = -50$$

由 $A_u = -\frac{R_f}{R_1}$, 得

$$R_f = -R_1 A_u = 500\text{k}\Omega$$

$$R_2 = R_1 // R_f \approx 10\text{k}\Omega$$

2.5 电路如图 P2.5 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 100mV 和 2V 时输出电压 u_o 的值。

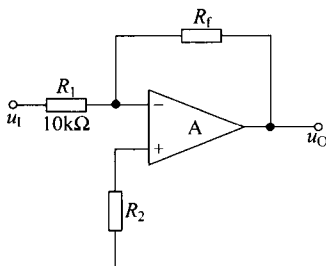


图 P2.4

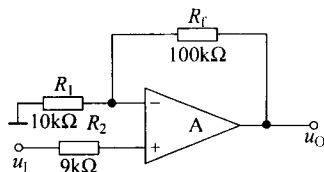


图 P2.5

$$A_u = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 11$$

解 $u_i = 100\text{mV}$ 时, $u_o = u_i A_u = 1.1\text{V}$; $u_i = 2\text{V}$ 时, $u_o = u_i A_u = 22\text{V} > 14\text{V}$, 说明集成运放已工作在非线性区, 因此 $u_o = 14\text{V}$ 。

2.6 已知集成运放为理想运放, 试分别求出图 P2.4 和图 P2.5 所示电路的输入电阻、输出电阻和集成运放的共模输入电压, 并分析哪个电路对集成运放的共模抑制比要求较高。

解 图 P2.4 所示电路为反比例运算电路, 其输入电阻 $R_i = R_1 = 10\text{k}\Omega$ 、输出电阻 $R_o = 0\Omega$; 由于集成运放的 $u_N = u_P = 0$, 因此其共模输入电压 $u_{ic} = 0\text{V}$ 。

图 P2.5 所示电路为同比例运算电路, 其输入电阻 $R_i = \infty$ 、输出电阻 $R_o = 0\Omega$; 由于集成运放的 $u_N = u_P = u_i$, 因此其共模输入电压 $u_{ic} = u_i$ 。

综合上述分析, 图 P2.5 所示电路对集成运放的共模抑制比要求较高。

2.7 试用两个理想集成运放实现一个电压放大倍数为 100、输入电阻为 $100\text{k}\Omega$ 的运算电路。要求所采用电阻的最大阻值为 $500\text{k}\Omega$ 。

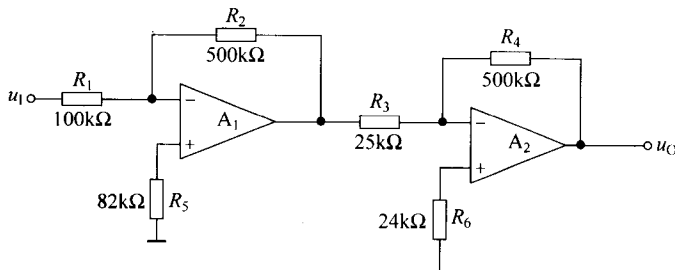
解 采用两级反比例运算电路实现, 所实现的参考电路如解图 2.7 所示。为满足输入电阻的要求, R_1 应取 $100\text{k}\Omega$ 。由于

$$A_{u1} = -\frac{R_2}{R_1} = -5$$

$$A_{u2} = -\frac{R_4}{R_3} = -20$$

因此, $A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} = 100$ 。

$$R_5 = R_1 // R_2 \approx 82\text{k}\Omega, \quad R_6 = R_3 // R_4 \approx 24\text{k}\Omega。$$



解图 2.7

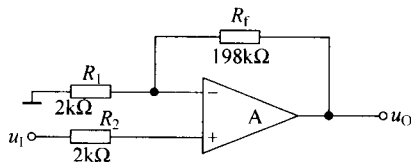
2.8 试用理想集成运放实现一个电压放大倍数为 100、输入电阻趋于无穷大的运算电路。要求所采用电阻的最大阻值为 $200\text{k}\Omega$ 。

解 方法一：采用一级同相比值运算电路实现，电路如解图 2.8(a)所示。

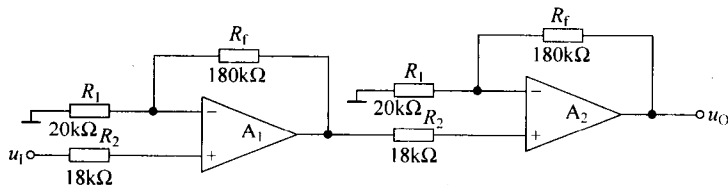
$$A_u = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 100, \text{ 输入电阻为 } \infty。$$

方法二：采用两级同相比值运算电路实现，电路如解图 2.8(b)所示。

$$A_{u1} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 10, A_{u2} = 1 + \frac{R_f}{R_1} = 10, \text{ 因此 } A_u = A_{u1} A_{u2} = 100, \text{ 输入电阻为 } \infty。$$



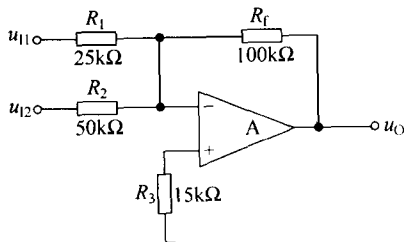
(a)



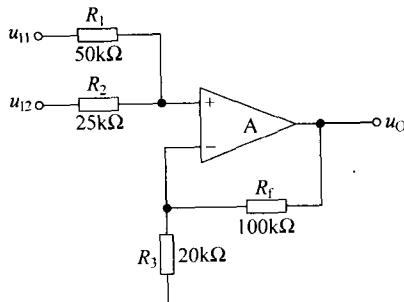
(b)

解图 2.8

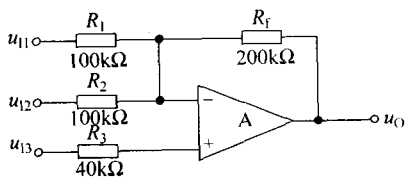
2.9 求解图 P2.9 所示各电路输出电压与输入电压的运算关系式。



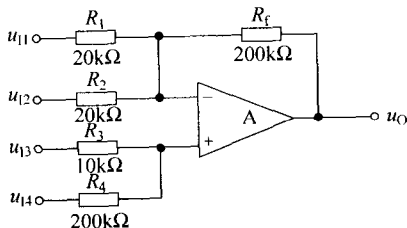
(a)



(b)



(c)



(d)

图 P2.9

解 (a) 反相求和电路, $u_O = -R_f \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right) = -4u_{11} - 2u_{12}$ 。

图 P2.9(b)、(c)、(d) 所示电路分别为同相求和、加减、加减运算电路, 经验证, 均有 $R_N = R_P$, 所以各电路的运算关系式如下:

$$(b) \quad u_O = R_f \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right) = 2u_{11} + 4u_{12};$$

$$(c) \quad u_O = R_f \left(-\frac{u_{11}}{R_1} - \frac{u_{12}}{R_2} + \frac{u_{13}}{R_3} \right) = 5u_{13} - 2u_{11} - 2u_{12};$$

$$(d) \quad u_O = R_f \left(-\frac{u_{11}}{R_1} - \frac{u_{12}}{R_2} + \frac{u_{13}}{R_3} + \frac{u_{14}}{R_4} \right) = 20u_{13} + u_{14} - 10u_{11} - 10u_{12}。$$

2.10 测量电阻的电桥电路如图 P2.10 所示。已知集成运放 A 具有理想特性。

(1) 写出输出电压 u_O 与被测电阻 R_2 及参考电阻 R 的关系式。

(2) 若被测电阻 R_2 相对于参考电阻 R 的变化量为 2% (即 $R_2 = 1.02R$) 时 $U_O = 24\text{mV}$, 则 R 的阻值为多少?

解 (1) $U_P = U_N = U_R \frac{R}{R + R_1}$

$$\frac{U_O - U_N}{R_2} = \frac{U_N - U_R}{R_1}$$

$$U_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_N - \frac{R_2}{R_1} U_R = \frac{R + R_2}{R + R_1} U_R$$

(2) 由 $U_O = \frac{R - 1.02R}{R + R_1} \cdot U_R$, 得 $R = 100\Omega$ 。

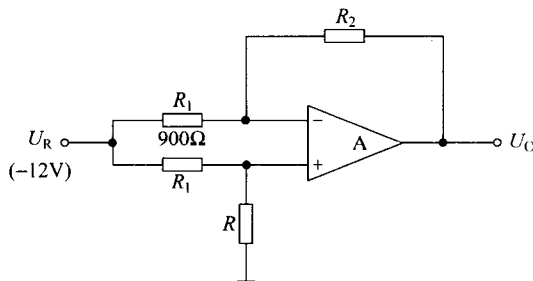


图 P2.10

2.11 分别求解图 P2.11 所示两电路输出电压与输入电压的运算关系。

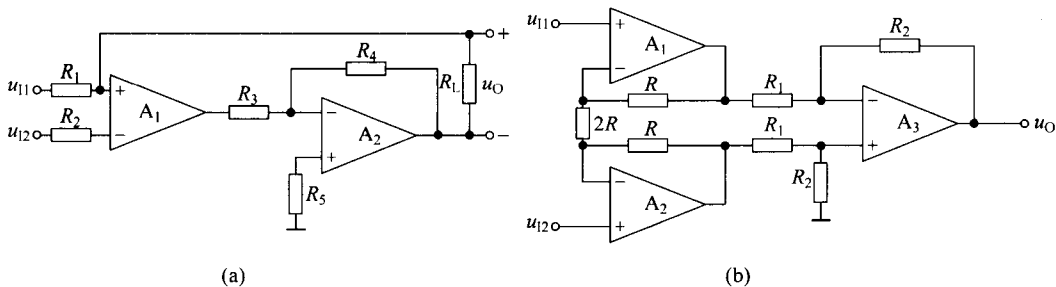


图 P2.11

解 图 P2.11(a) 电路: $u_{P1} = u_{N1} = u_{I2}$, $\frac{u_{I1} - u_{P1}}{R_1} = \frac{u_O}{R_L}$, $u_O = \frac{R_L}{R_1}(u_{I1} - u_{I2})$;

图 P2.11(b) 电路: $u_{P1} = u_{N1} = u_{I1}$, $u_{P2} = u_{N2} = u_{I2}$ 。

流过电阻 $2R$ 的电流 $i_{2R} = \frac{u_{N1} - u_{N2}}{2R} = \frac{u_{I1} - u_{I2}}{2R}$ 。

运放 A_1 、 A_2 输出电压的差值 $u_{O1} - u_{O2} = i_{2R}(R + 2R + R) = 2(u_{I1} - u_{I2})$, 因此

$$u_O = \frac{R_2}{R_1}(-u_{O1} + u_{O2}) = -2 \frac{R_2}{R_1}(u_{I1} - u_{I2})$$

2.12 电路如图 P2.12(a) 所示, 已知输入电压 u_1 波形如图 P2.12(b) 所示, 当 $t=0$ 时 $u_O = 5V$ 。对应 u_1 画出输出电压 u_O 的波形。

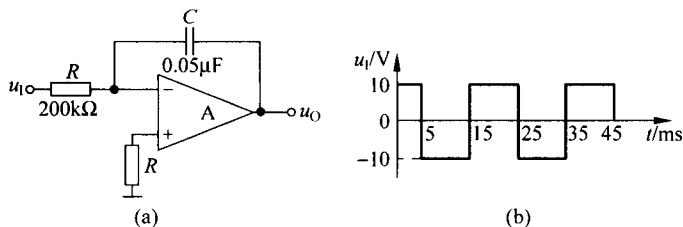


图 P2.12

解 输出电压的表达式为

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} u_i dt + u_o(t_1)$$

当 $t=0$ 时, $u_o=5\text{V}$, 则 $t=5\text{ms}$ 时

$$u_o = (-100 \times 10 \times 5 \times 10^{-3} + 5)\text{V} = 0\text{V}$$

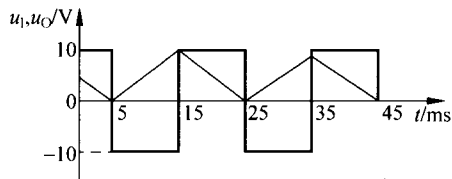
$t=15\text{ms}$ 时

$$u_o = [-100 \times (-10) \times (15 - 5) \times 10^{-3} + 0]\text{V} = 10\text{V}$$

$t=25\text{ms}$ 时

$$u_o = [-100 \times 10 \times (25 - 15) \times 10^{-3} + 10]\text{V} = 0\text{V}$$

输出波形如解图 2.12 所示。



解图 2.12

2.13 分别求解图 P2.13 所示各电路的运算关系。

解 (a) $u_P = u_N = 0$, $i_{R_1} = \frac{u_1}{R_1} = i_C$, 因此

$$u_o = -i_C R_2 - \frac{1}{C} \int i_C dt = -\frac{R_2}{R_1} u_1 - \frac{1}{R_1 C} \int u_1 dt = -u_1 - 10^3 \int u_1 dt$$

(b) $u_P = u_N = u_1$, $i_R = \frac{u_1}{R} = i_C$, 因此

$$u_o = u_1 + \frac{1}{C} \int i_C dt = u_1 + \frac{1}{RC} \int u_1 dt = u_1 + 10^3 \int u_1 dt$$

(c) 在运放同相端利用虚断得到

$$C \frac{du_P}{dt} = \frac{u_1 - u_P}{R}$$

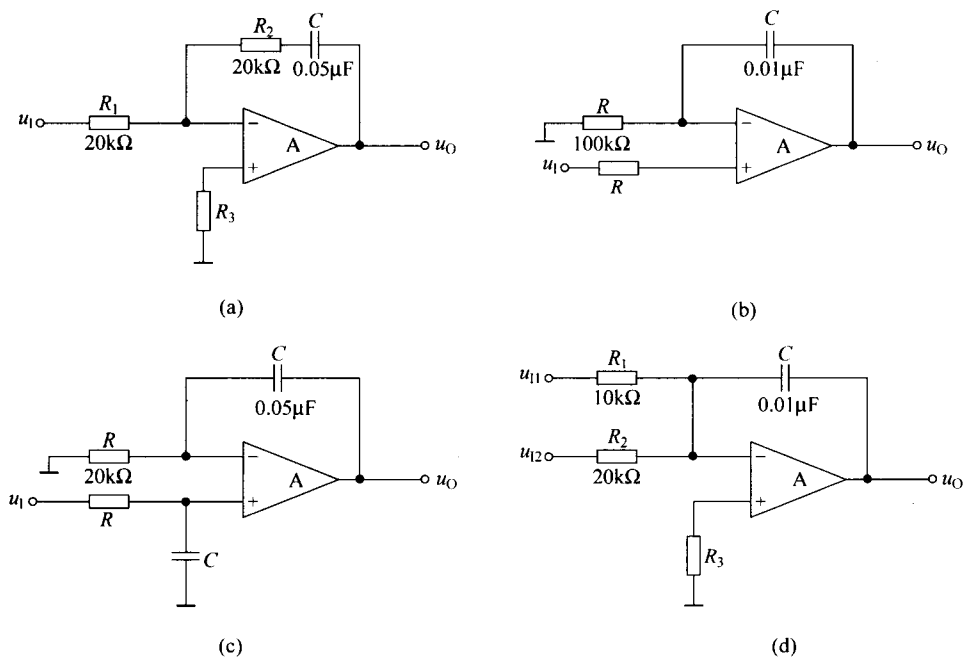


图 P2.13

将上式两边同时积分并整理得

$$u_P + \frac{1}{RC} \int u_P dt = \frac{1}{RC} \int u_1 dt \quad (1)$$

在运放反相端利用虚断得到

$$C \frac{d(u_O - u_N)}{dt} = \frac{u_N}{R}$$

将上式两边同时积分并整理得

$$u_O = u_N + \frac{1}{RC} \int u_N dt \quad (2)$$

由于 $u_P = u_N$, 因此根据式(1)、式(2)可得

$$u_O = \frac{1}{RC} \int u_1 dt = 10^3 \int u_1 dt$$

(d) $u_P = u_N = 0$, 在运放反相端列节点电流方程得

$$\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} = C \frac{d(-u_O)}{dt}$$

因此

$$u_O = -\frac{1}{C} \int \left(\frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right) dt = -\int (10^4 u_{11} + 5 \times 10^3 u_{12}) dt$$

2.14 电路如图 P2.14 所示。设电容两端电压的初始值为零。

(1) 求解 u_o 与 u_i 的运算关系；

(2) 设 $t=0$ 时刻开关 S 处于位置 1, 当 $t=0.2\text{s}$ 时突然转接到位置 2, $t=0.4\text{s}$ 时又突然回到位置 1, 试画出 u_o 的波形, 并求出 $u_o=0\text{V}$ 的时间。

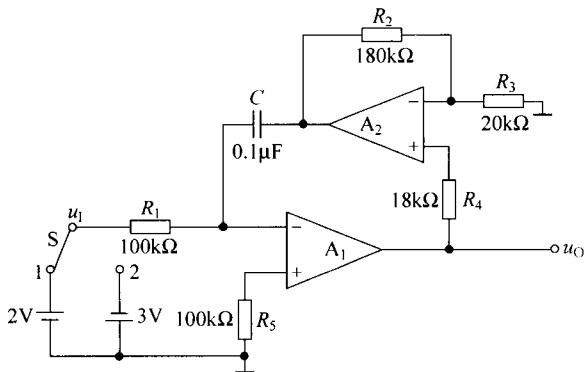


图 P2.14

解 (1) 集成运放 A_2 组成同相比例运算电路, 设其输出电压为 u_{o2} , 则

$$u_{o2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) u_o \quad (1)$$

运放 A_1 通过运放 A_2 组成的同相比例运算电路引入了负反馈, 由于 $u_{p1} = u_{n1} = 0$, 因此

$$\frac{u_i}{R_1} = -C \frac{du_{o2}}{dt} \quad (2)$$

根据式(1)、式(2)可得

$$u_o = -\frac{R_3}{R_1 C (R_2 + R_3)} \int u_i dt = -10 \int u_i dt$$

(2) $t=0\text{s}$ 时, $u_o = 0$;

$$t = 0.2\text{s} \text{ 时, } u_o = -10 \int_0^{0.2\text{s}} 2 dt = -4\text{V};$$

$$t = 0.4\text{s} \text{ 时, } u_o = -10 \int_{0.2\text{s}}^{0.4\text{s}} -3 dt + (-4) = 2\text{V};$$

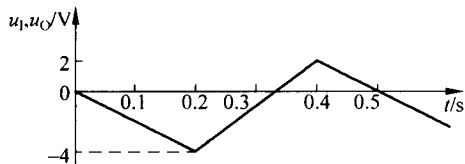
$$t = 0.4\text{s} \text{ 后, } u_o = -10 \int_{0.4\text{s}}^t 2 dt + 2 = 2 - 2(t - 0.4) = (10 - 20t)\text{V}.$$

u_o 波形如解图 2.14 所示。

从图中可以看出, 有两个时间使 $u_o = 0\text{V}$, 即

$$u_o = -10 \int_{0.2\text{s}}^{t_1} -3 dt + (-4) = 0\text{V} \text{ 时, } t_1 \approx 0.333\text{s}$$

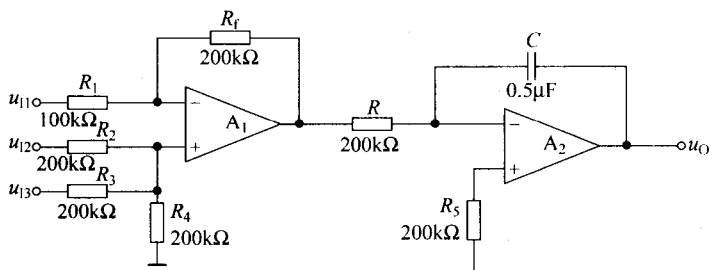
$$u_o = -10 \int_{0.4\text{s}}^{t_2} 2 dt + 2 = 0\text{V} \text{ 时, } t_2 = 0.5\text{s}$$



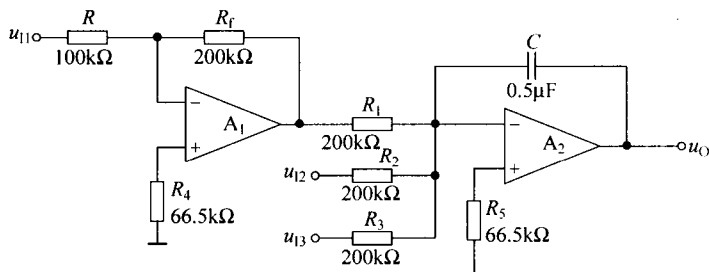
解图 2.14

2.15 请用两种方法实现一个三输入的运算电路,该电路输出电压与输入电压的运算关系为 $u_o = 5 \int (4u_{i1} - 2u_{i2} - 2u_{i3}) dt$ 。要求对应于每个输入信号,电路的输入电阻不小于 $100k\Omega$ 。

解 两种方法分别如解图 2.15(a)、(b) 电路所示。



(a)



(b)

解图 2.15

解图 2.15(a) 电路是根据运算关系式的运算顺序来组成电路的,这是实现运算关系的基本方法。运放 A_1 组成加减运算电路,且 $R_{P1} = R_{N1}$,因此其输出电压为

$$u_{O1} = R_f \left(-\frac{u_{i1}}{R_1} + \frac{u_{i2}}{R_2} + \frac{u_{i3}}{R_3} \right) = -2u_{i1} + u_{i2} + u_{i3}$$

运放 A_2 组成积分电路,因此输出电压

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_{O1} dt = 5 \int (4u_{i1} - 2u_{i2} - 2u_{i3}) dt$$