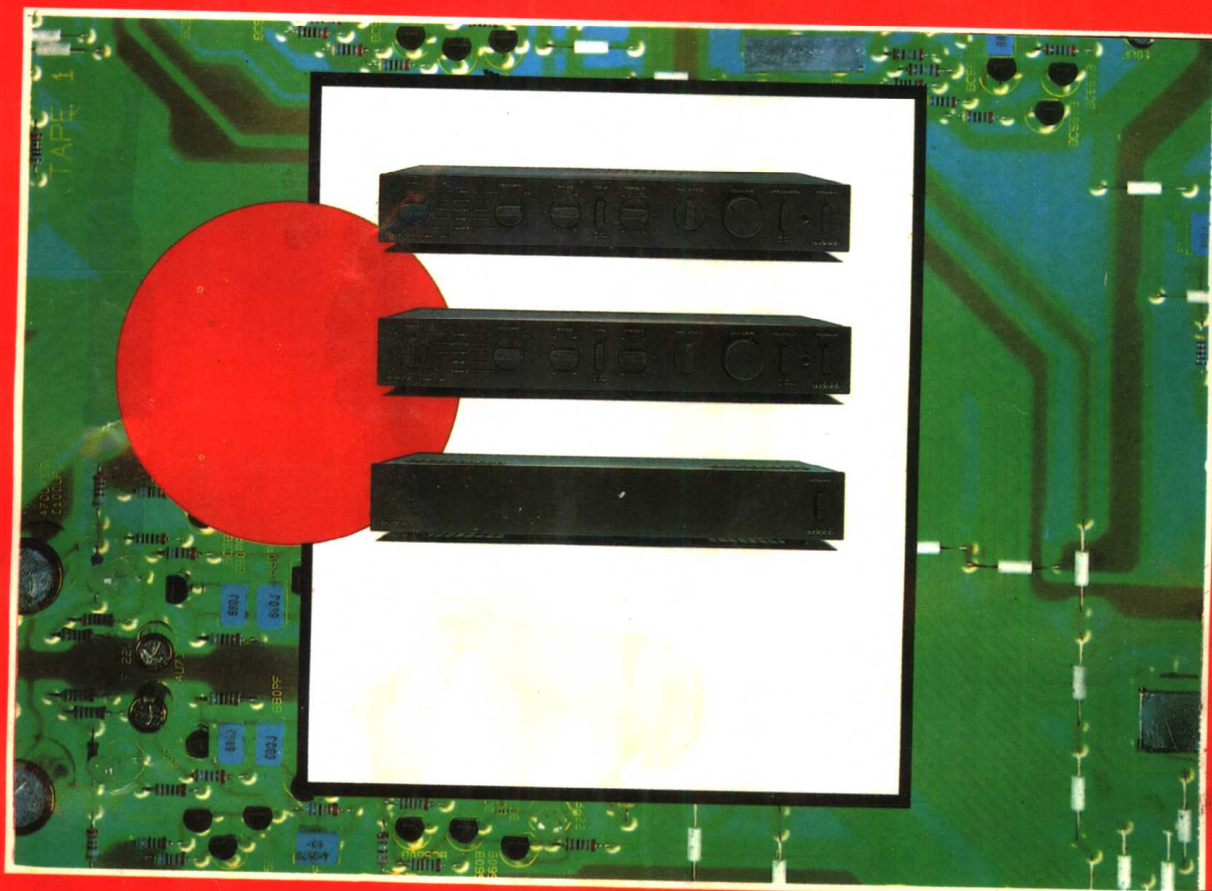


家庭音响

制作实例及常用IC应用

《电子报》社编辑部编 刘小松 董柱 主编
王有春 主审



电子科技大学出版社

家庭音响

制作实例及常用 IC 应用

《电子报》社编辑部 编
刘小松 董 柱 主编
王 有 春 主审

电子科技大学出版社

• 1992 •

内 容 提 要

本书分为两大部分。第一部分介绍了近百种常用音频 IC,包括内部电路、外型、管脚、特性和参数,由浅入深的实际应用电路和器件使用技巧。此部分有较强的系统性,可视作常用音频 IC 的便查手册。第二部分提供了用这些 IC 及分离元件制作各种音响设备的实例。如前置放大器、功率放大器、动态降噪、压缩/扩展器、LED 电平显示、图示及参量均衡器、BBD 和数字混响器、环绕声处理器、音响电源。此部分实例新颖实用,附有电路、印制板图、元件装配图、面板及外壳设计、整机性能参数。附录部分是高保真音箱制作和改善音质(摩机)的多种方法以及 STK 厚膜 IC 资料。

本书适合电子爱好者和发烧友、院校师生以及音响设计人员参考。很多实例只需如法炮制,便能“自得其乐”。

家庭音响 制作实例及常用 IC 应用

《电子报》社编辑部 编

刘小松 董 柱 主编

王有春 主审

*

电子科技大学出版社出版

(中国成都建设北路二段四号)

四川省军区印刷厂激光照排胶印

四川省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 11.5 版面字数 255 千字

版次 1992 年 2 月第一版 印次 1992 年 2 月第一次印刷

印数 1—12000 册

中国标准书号 ISBN7-81016-339-6/TN·102

[川]016 (15452·154) 定价:(压膜)5.20 元

前 言

对音响和电子爱好者来说,真正的组合音响应该是自己动手组合的音响。音响设备与其它家电相比具有不同的特点,冰箱不论名牌还是非名牌都能致冷;彩电无论进口还是国产都可接收图像和伴音……,但劣质音响与 Hi-Fi 音响却有天壤之别。因此,音响产品的价值可以是数百元也可以是数万元就不足为奇了。

音响设备,无论“洋枪”还是“土炮”,唯以音质论英雄。自己花不多的钱制作的音响设备音质超过市售高价机已不是什么难事,编者曾耳闻目睹过不少土炮精品。事实上,正是世界范围内的发烧友和爱好者至诚至深的孜孜探求,才使电子技术呈现出超越我们日常生活的吸引力。正如情与恨是文学作品永恒的主题一样,音响技术是电子领域最富魅力的组成部分。

本书编写目的只有一个:让音响发烧友和爱好者以较低的花费而“自得其乐”,我们认为这是爱好者们的至上选择。

在选材时,我们力图满足各个层面读者的需求。第一部分辑录了近百种音频集成电路,介绍了其内部电路、外型、管脚、特性参数及应用电路和使用技巧。从某种意义上讲,这部分系统性较强,可视为常用音频 IC 的便查手册;第二部分提供了一些音响制作资料,这些资料以世界各国的优秀音响制作实例为基础,并兼顾我国爱好者制作的可行性。此部分的制作实例有简有繁,由于电路、印制板甚至外壳一应俱全,故只需如法施工便能“自得其乐”。当然,更提倡读者加以改善,使之尽善尽美。

本书在编写过程中,得到成都电子研究所有关同志大力协助。《电子报》社总编王有春作为本书主审,提出了许多中肯的意见;美国国家半导体(NS)公司成都新技术推广应用实验室黄鹏举高级工程师为我们提供了大量第一手资料和测试数据(读者若需 NS 公司的器件,可与该室联系。地址:610015 成都金河街 75 号);电子科技大学陈汝全副教授审阅了全书。在此,我们表示由衷的谢意。

因水平有限和时间匆忙,书中定有不当之处,欢迎读者朋友提出宝贵意见。

编 者

1992 年 2 月

目 录

第一章 音频处理电路

第一节 常用音频处理电路

运算放大器基础.....	(1)
闭环放大器.....	(2)
常用的运算放大器.....	(3)
线性放大器电路.....	(4)
电压跟随器电路.....	(5)
音频混音器.....	(6)
有源滤波器.....	(7)
有源滤波电路.....	(7)
频率可变有源滤波器.....	(9)
音调控制网路.....	(10)
有源音调控制.....	(12)
图示均衡器.....	(13)
RIAA 均衡器.....	(14)
RIAA 唱机前置放大器.....	(14)
非线性放大器.....	(15)
固定音量放大器.....	(16)
跨导型运算放大器.....	(17)
常用跨导型运放.....	(17)
基本的 OTA 电路.....	(18)
CA3080 可变增益电路.....	(19)
LM13600 增益可变电路.....	(20)
幅度调制.....	(20)
环形调制器.....	(21)
自动增益控制放大器.....	(22)
LM13700 跨导型运放.....	(23)
MC3340P 电子衰减器.....	(23)
NE570/NE571 压缩/扩展器.....	(24)
立体声压控放大器.....	(25)
动态压缩/扩展理论.....	(26)
动态扩展器电路.....	(26)
动态压缩器电路.....	(27)
总谐波失真调整器.....	(27)

第二节 音频处理器制作实例

动态压缩/扩展器.....	(27)
动态噪声抑制器.....	(29)
参量图示均衡器.....	(31)
环绕声解码器.....	(38)

第二章 音频前置放大器

第一节 前置放大器常用 IC 及应用

LM381/LM382/LM387 前置放大器	(41)
LM381/LM381A 内部电路	(42)
差动方式工作	(43)
单端方式工作	(44)
LM382 应用电路	(45)
LM387 应用电路	(46)
LM381/LM382/LM387 使用注意事项	(47)
TDA3410 集成电路	(48)

第二节 前置放大器制作实例

超低噪声电磁式唱机前放	(49)
低噪声麦克风前置放大器	(51)
全功能 Hi-Fi 前置放大器	(52)

第三章 小功率音频放大器

第一节 常用小功率音频放大器 IC

用运放的小功率放大器	(62)
用运放的功放电路怎样提高输出电流	(63)
使用功率放大器 IC 的基本知识	(64)
常用小功率放大器 IC	(65)
LM386 基本结构和功能	(66)
LM386 实际应用电路	(66)
LM389 内部结构和应用电路	(67)
LM831 内部结构和应用电路	(69)
LM390 内部结构和应用电路	(70)
LM388 内部结构和应用电路	(72)
TDA2822 应用电路	(74)
TBA820M 应用电路	(75)
LM380/LM384 内部结构和应用电路	(75)

第二节 小功率放大器制作实例

TBA820 功率放大器	(77)
LM389 小型功放	(77)
TEA2025 立体声功率放大器	(78)
LM2896 单片立体声功放	(79)
LM1895 功率放大器	(80)
2×3W 单放机放大器	(80)
带环绕声输出的立体声放大器	(81)
电流校正式功率放大器	(83)

第四章 大功率音频放大器

第一节 常用大功率放大器 IC 及应用

LM377/LM378/LM379 电路	(85)
TBA810S/P 应用电路	(88)

LM383(TDA2003)内部结构 and 应用电路	(89)
LM2002(TDA2002)内部结构 and 应用电路	(90)
LM2879 应用电路	(91)
TDA2004 应用电路	(92)
TDA2006 应用电路	(93)
TDA2030 应用电路	(94)
TDA2005M 应用电路	(95)
TDA1520 应用电路	(96)
LM1875 应用电路	(96)

第二节 大功率放大器制作实例

TDA2025 2×50W 放大器	(97)
单片 40W 放大器	(97)
TDA7370 立体声桥式功率放大器	(99)
2×60W 家用高保真放大器	(99)
A/B/AB 类全方式功放	(103)
100W 高性能放大器	(105)

第五章 LED 电平显示器

第一节 LED 电平显示常用 IC 及典型应用

LED 电平显示原理	(109)
U237 条状显示驱动器 IC	(110)
U237 系列 IC 实际应用电路	(112)
超过量程报警	(113)
LM3914 点/条驱动器系列 IC	(114)
LM3914 实际应用电路	(116)

第二节 LED 电平显示器制作实例

不需电源的音频功率指示器	(120)
对数型音频功率指示器	(123)

第六章 音频延时混响器

第一节 BBD 音频延迟线常用 IC 及应用

延迟线基本知识	(124)
延迟量的大小	(125)
心理声学	(126)
BBD 延迟线的应用	(126)
常用的 BBD 集成电路	(130)
BBD 实际应用电路	(132)

第二节 BBD 延时混响器制作实例

BBD 音效处理器	(137)
BBD 高级混响器	(138)

第三节 带卡拉 OK 功能的数字混响器制作实例

常用数字延迟 IC	(140)
-----------------	-------

带卡拉 OK 功能的数字混响器制作	(141)
-------------------------	-------

第七章 音响电源电路

第一节 电源设计与常用集成稳压器

电源电路	(147)
稳压电路	(149)

第二节 音响电路稳压电源制作实例

用 LM317(LM337)的可调稳压电源	(153)
具有多种输出的稳压电源	(155)

第八章 家庭音响系统的组建

第一节 家庭音响系统采用器件的选择

(159)

第二节 立体声前级合并式放大器制作实例

(162)

· 附录一 ·

小箱体 Hi-Fi 音箱的制作	(167)
-----------------------	-------

· 附录二 ·

音响系统音质改善妙诀	(169)
------------------	-------

· 附录三 · STK 系列音频厚膜混合 IC 数据

单声道音频功率放大器

STK4017 系列	(173)
STK4024 I 系列	(173)
STK4024 V 系列	(173)
STK4026 X 系列	(174)
STK4036 XI 系列	(174)
STK4036 X 系列	(174)

立体声音频功率放大器

STK4301 系列	(174)
STK4065 系列	(175)
STK4332 系列	(175)
STK4101 I 系列	(175)
STK4102 I 系列	(175)
STK4101 V 系列	(176)
STK4773 系列	(176)

立体声电压放大器

STK3042 ■ 系列	(176)
--------------------	-------

第一章 音频处理电路

Hi-Fi 音响系统由各种音频电路组成,音频处理电路可以定义为:能接受音频输入信号并产生与输入直接相关的音频输出的任何电路。例如,简单将初始信号倒相并(或)提供固定的电压增益,如线性放大器;提供随信号频率变化的增益,如有源滤波器;提供随信号平均幅度变化的增益,如固定音量电路、非线性放大器、压缩扩展电路等。本章将介绍这些类型的音频处理电路的实际例子。

本章首先介绍以标准集成运算放大器为基础的一般用途的音频处理电路,接下来讲述用在压控放大器(VCA)等场合的跨导型运放(OTA)集成电路,然后讲述两种已面市的 VCA 型 IC 及其应用电路,最后给出压缩扩展器、动态降噪器、图示(参量)均衡器制作实例,音频前置放大器 IC 和功率放大器 IC 因后面章节要详细介绍,故本章不作叙述。

第一节 常用音频处理电路

人们最熟悉和用得最多的音频处理电路就是普通的运算放大器(Op-amp)。一般可将运放简单地视为:具有一个信号输出端(OUT)和同相、反相两个高阻抗输入端的高增益直接耦合电压放大器单元,因而可采用运放制作同相、反相及差分放大器。

运算放大器基础

运算放大器是用途广泛的器件,接入适当的反馈网络,可用作精密的交流和直流放大器、有源滤波器、振荡器及电压比较器。运放习惯表示符号如图 1.1(a),一般由分离的双电源(图 1.1(b)中的 $+V_e$, $-V_e$)和公共(零电压)线供电,其输出可在零电压两侧变化,在差动输入电压为零时输出也可置零。当然,需要时也可由单电源供电。

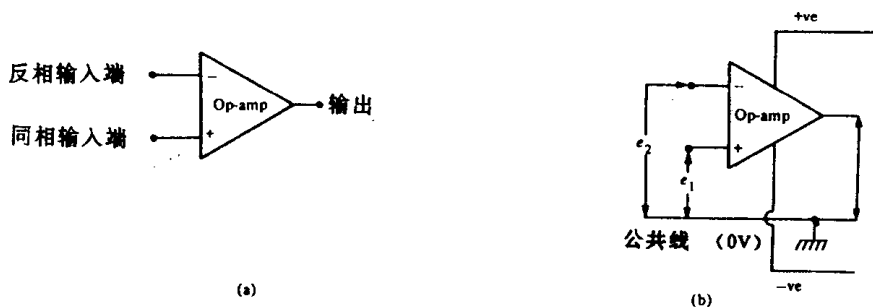


图 1.1 (a)运算放大器符号 (b)一般运算放大器与电源的连接

运算放大器的输出信号与两个输入端的信号电压差成正比,在音频频段,有 $e_{out} = A_0(e_1 - e_2)$, 其中, A_0 是运放的低频开环电压增益(如 100dB, 即 100000 倍), e_1 是同相端的输入信号电压, e_2 是反相端的输入信号电压。

因此,把同相端接地,而把输入信号通过如图 1.2(a)的 C_1 和 R_1 送入反相端,运放可用作高增益反相交流放大器;如图 1.2(b),把两个输入端交换后即同为同相交流放大器;如图 1.2(c),将两个输入端都送入输入信号即成差动放大器。运放用作差动放大时,如果两输入信号相等,在理想情况下,输出信号为零。

图 1.2 所示电路的增益取决于具体型号运放的开环增益和输入信号频率,图 1.3 给出了人们

熟悉的741运放的典型频响曲线,其电压增益在低于10Hz时大于100dB,但在大于10Hz时以6dB/oct或20dB/dec(oct表示倍频程;dec表示十倍频程)的变化率降低,在单位增益点频率 f_T 为1MHz时,增益为1倍(0dB)。该曲线适用于大多数运放,当然各个型号的运放有不同的 A_0 和 f_T 。

闭环放大器

运放用作交流放大器的最好方法是接成闭环工作状态,即如图1.4,从输出引出负反馈给输入端,使其总的增益由外接反馈元件值所决定,而与具体运放特性无关(由此而得的闭环增益比其开环增益小)。从图1.3可以看出,这种电路的带宽等于IC的 f_T 值除以闭环增益 A 。741增益设定为10倍(20dB)时,带宽为100kHz;增益设定为1000(60dB)时,带宽为1kHz。

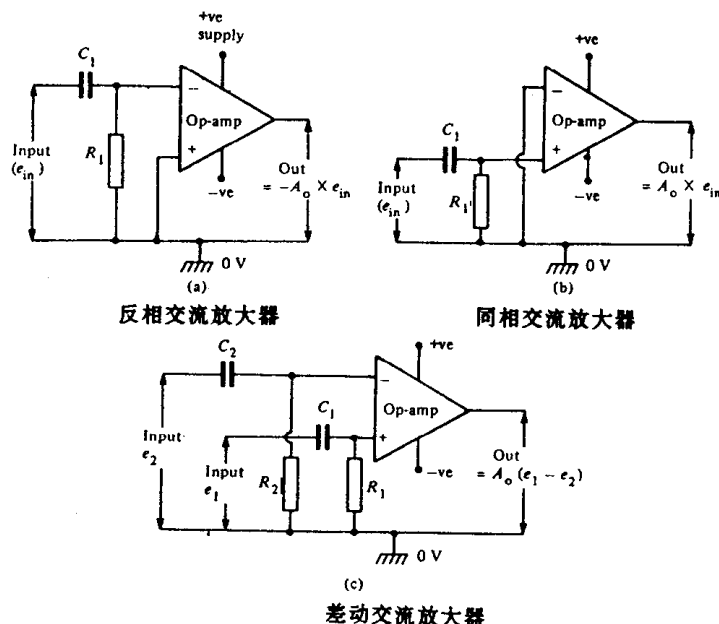


图 1.2 运放用作高增益开环放大器

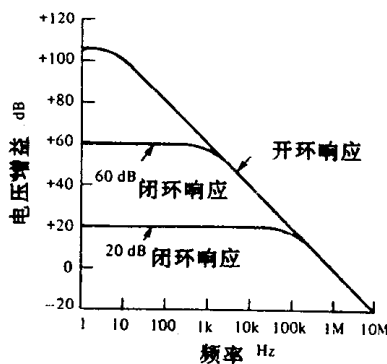


图 1.3 741 运放的典型频响曲线

图1.4(a)为运放接成固定增益的反相交流放大器。整个电路的增益由 R_1 与 R_2 的比值决定,即等于 R_2/R_1 ;输出阻抗等于 R_1 的阻值。我们可以很容易地设计满足需要的增益和输入阻抗值的电路。 R_1 和 R_2 对实际运放本身的电压增益无任何影响,这样,运放输入端的信号电压是运放输入端的 A_0 倍;结果,流进 R_2 的电流是运放反相输入端电流的 A_0 倍。对反相输入端,对地的阻抗是 R_2/A_0 倍。因此我们通常将此端视为低阻抗的“虚地”点。

图1.4(b)为固定增益同相交流放大器,在这种连接时,电路的电压增益为 $(R_1+R_2)/R_2$,从运放输入端看进去的输入阻抗(与 R_3 并联)是 $(A_0/A)Z_{in}$; Z_{in} 是运放的开环输入阻抗,因此实际电路的输入阻抗低于 R_3 的值。

以上电路如接成单位增益(增益为1倍,即 0dB)同相放大器,如图 1.4(c),可作为精确的电压跟随器,此时运放以 100%负反馈工作。此电路运放的输入阻抗很高(大约 $A_0 \times Z_{in}$),与 R_1 并联成为电路的输入阻抗值。

常用的运算放大器

实际使用的运放有各种类型(双极型、MOSFET 型,JFET 型),封装形式亦各不相同(塑封 DIL,金属封装 TO5 等),有些运放集成块内含两个或四个运算放大器,并由公用电源供电。图 1.5(a)、(b)为 8 个以 8 脚 DIL(双列直插式)封装的常用运放 IC 的参数和外形结构(请读者注意:本章节后叙述的运放应用电路同样适合于 LM833、NJM4558、NE5532、NE5535 等高性能运放)。

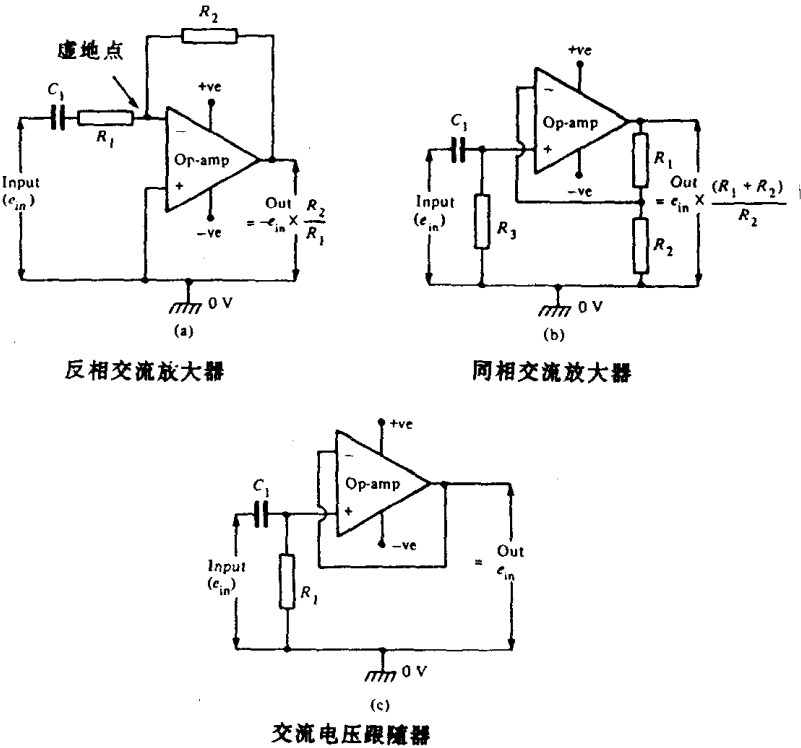


图 1.4 闭环放大器电路

参数	双极型运放		MOSFET 运放		JFET 运放			
	741	NE531	CA3130E	CA3140E	LF351	LF411	LF441	LF13741
电源电压	±3V~±18V	±5V~±22V	±2.5V~±18V	±2V~±18V	±5V~±18V			
电源电流	1.7mA	5.5mA	1.8mA	3.6mA	800μA	1.8mA	150μA	2mA
输入失调电压	1mV	2mV	8mV	5mV	5mV	0.8mV	1mV	5mV
输入偏流	200nA	400nA	5pA	10pA	50pA	50pA	10pA	50pA
输入阻抗	10MΩ	20MΩ	1.5TΩ	1.5TΩ	1TΩ	1TΩ	1TΩ	0.5TΩ
电压增益 A_0	106dB	96dB	110dB	100dB	88dB	106dB	100dB	100dB
CMRR	90dB	100dB	90dB	90dB	100dB	100dB	95dB	90dB
f_T	1MHz	1MHz	15MHz	4.5MHz	4MHz	4MHz	1MHz	1MHz
转换速率	0.5V/μs	35V/μs	10V/μs	9V/μs	13V/μs	15V/μs	1V/μs	0.5V/μs
8 脚 DIL	b	a	c	c	b	b	b	b

图 1.5(a) 八种运放的参数表

741 和 NE531 属双极型。741 是大家非常熟悉的通用型运放,其特点是输入和输出具有内部频率补偿和完全的过载保护。NE531 则为具有很高输出转换速率的高性能运放,如有稳定性要求,6 脚与 8 脚之间可外接补偿电容(100pF),不过,为在高增益时获取很宽的带宽此电容可降到很低容量(1.8pF)。

CA3130 和 CA3140 系 MOSFET(MOS 场效应管)输入型运放,其特点是:可由单电源或双电源供电;即使输入低到负电源电压值时亦很敏感;具有很高的输入阻抗($1.5 \times 10^6 M\Omega$);输出可选通。CA3130 有一个 CMOS 输出级,为调节带宽特性可在 1 脚与 8 脚之间外接补偿电容(典型值为 47pF)。CA3140 则有双极型输出级和内部补偿。

LF351、LF411 和 LF441、LF13741 是 JFET(结型场效应管)型运放,具有极高的输入阻抗。LF351 和 411 是高性能型,LF441 和 13741 则是通用型,可直接代换 741。值得注意的是,LF441 的静态电流消耗低于 741 的 1/10。

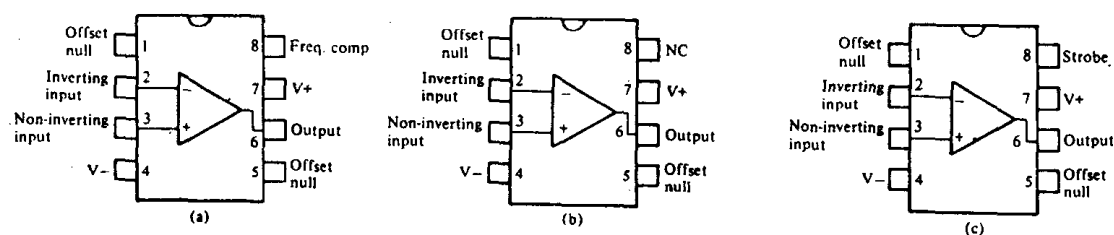


图 1.5(b) 八种常用运放的外型图

线性放大器电路

图 1.6 至 1.12 介绍了用运算放大器作线性放大器的各种方式。注意,虽然图中运放型号都标为 741 型,但图 1.5 中八种型号的运放实际上都可以用于这些电路,作音频处理时宜用 LM833、NE5532/34/35、NJM4558、LT1057 等高性能运放。

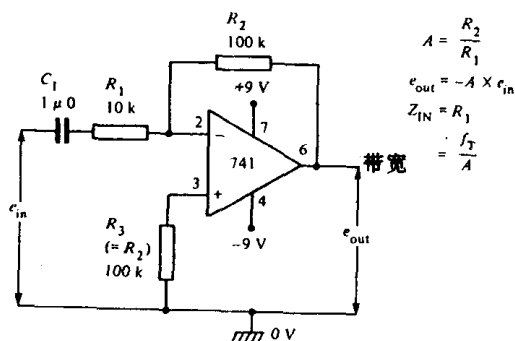


图 1.6 10 倍增益的反相交流放大器

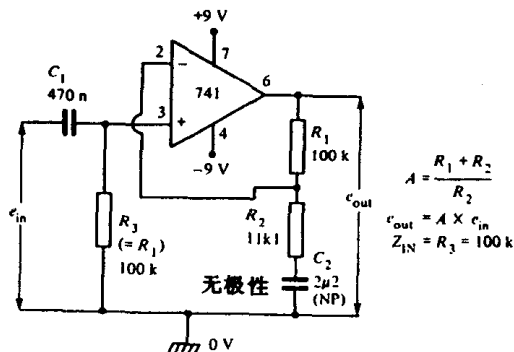


图 1.7 10 倍增益的同相交流放大器

图 1.6 运放接成 10 倍总增益的反相交流放大器,为保持直流平衡 R_3 与 R_2 阻值相同,同相输入端经过 R_3 接地。

图 1.7 是运放接成 10 倍总增益($(R_1 + R_2)/R_2$)的同相交流放大器, R_1 和 R_2 通过 C_2 与地隔离。在一般工作频率 C_2 的交流阻抗可以忽略,所以交流电压增益仍由 R_1 和 R_2 的比值决定。运放的反相输入端通过 R_1 接入了 100% 的直流负反馈,因此本电路直流稳定性极好。 R_3 与 R_1 等值使电路得到了最佳偏置。直接从 3 脚看进去的运放输入阻抗为数百兆欧姆,电路的输入阻抗是其与 R_3 的并

联值,故为 $100\text{k}\Omega$ 。

一、将内容中各电阻值代入计算其值,如电阻值 R_1 为 $100\text{k}\Omega$ 时,其值为 $100\text{k}\Omega$ 。

二、将内容中各电阻值代入计算其值,如电阻值 R_1 为 $100\text{k}\Omega$ 时,其值为 $100\text{k}\Omega$ 。

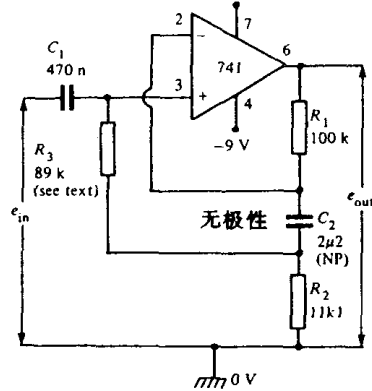


图 1.8 10 倍增益、 $50\text{M}\Omega$ 输入阻抗的同相交流放大器

若想把以上电路改成输入阻抗 $50\text{M}\Omega$,即如图 1.8 所示。注意 C_2 位置有变化, R_3 的低端连到 C_2-R_2 的结点而不是直接接地,此结点上的交流反馈信号实际上等于 3 脚的输入信号,因而 R_3 两端的信号电压近似相等,通过 R_3 的电流可以忽略。 R_3 的视在阻抗因自举反馈作用而上升到趋于无穷大。在实际应用中,此电路因印制线路板(PCB)泄漏阻抗的限制,输入阻抗约为 $50\text{M}\Omega$ 。最佳偏置时, R_2 与 R_3 之和应等于 R_1 ,不过在实际应用中 R_3 可以偏高 30%,其取值可为 $100\text{k}\Omega$ 。

电压跟随器电路

运放的同相交流放大电路如果连成单位电压增益,即可作为精确的交流电压跟随器。如图 1.9,理想情况下 R_1 (决定电路的输入阻抗) 与 R_2 应该相等,但在实际应用时 R_2 的阻值可由 0 变化至

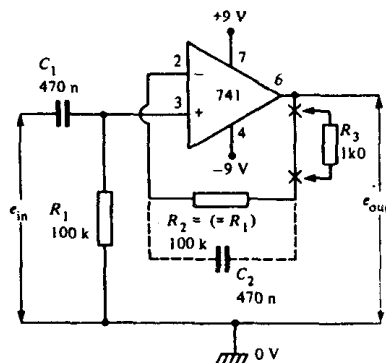


图 1.9 $100\text{k}\Omega$ 输入阻抗的交流电压跟随器

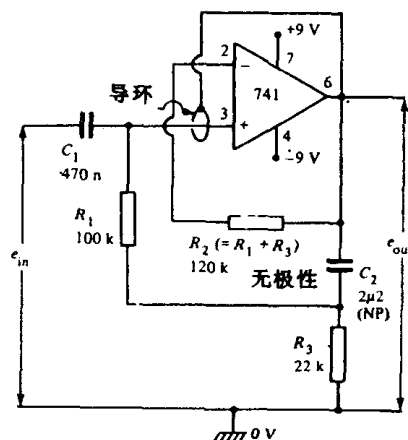


图 1.10 输入 $50\text{M}\Omega$ (无保护环) 或 $500\text{M}\Omega$ (有保护环) 交流跟随器

100k Ω 而不会明显影响电路的准确性。如用低 f_r (如 741) 运放, R_2 的值通常可减小至零。然而在单位增益状态时高 f_r 值的运放趋于不稳定, 在这种情况下电路的稳定性由取值 1k Ω 的 R_2 来保证, 或用 1k Ω 和 100k Ω 两只电阻串联来替换 R_2 (如图 1.9), 100k Ω 电阻跨接一个 470nF 的电容是为减小交流阻抗。

若要交流跟随器有很高的输入阻抗, 可以采用图 1.10 的电路, R_1 由运放的输出经 C_2 自举, 使 R_1 阻抗增加到趋于无限大。实际应用中, 用 741 可以得到约 50M Ω 的电路输入阻抗, 主要原因是受运放集成电路插座和印制板的泄漏阻抗所限。

如还需要更大的输入阻抗, 在印制板上运放输入端周围要加上与其输出端相连的印制“保护环”, 如图所示, 印制板等的泄漏阻抗由此也可自举增加为趋于无穷大, 此时图 1.10 电路用 741 运放可以得到约 500M Ω 的输入阻抗, 若采用 FET (场效应管) 输入型运放, 输入阻抗则更高。图 1.11 为蚀刻在印制板上的保护环的一个例子。

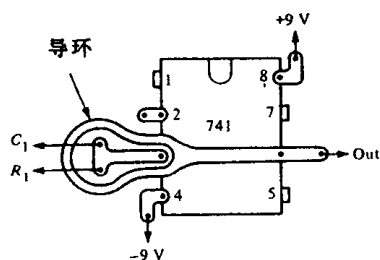


图 1.11 蚀刻在印制板上的保护环

音频混音器

介绍图 1.4(a) 的基本反相放大电路时我们已经指出: 电压增益等于 R_2/R_1 ; 流进 R_1 和 R_2 的信号完全相等 (但相位相反), 与 R_1 和 R_2 的具体值无关。将此电路改为如图 1.12, 四组相同的输入网络接成并联, 流入 R_6 的反馈信号电流必然等于流入电阻 $R_1 \sim R_4$ 的各输入信号电流的总和, 电路的输出电压因此正比于音频输入信号电压之和。若输入电阻和反馈电阻等值 (如图), 对每一个输入和输出, 电路都提供单位增益。

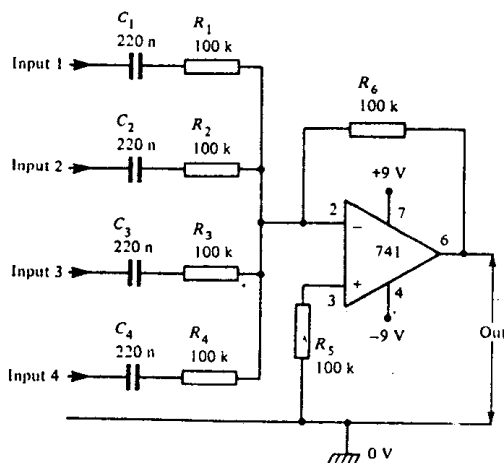


图 1.12 四输入音频混合器

所以此电路可以用作单位增益的四输入 (或四通道) 音频混合器, 其输出等于四个输入信号电压之和。如需要, 此简单电路可变成一个实际的音频混合器, 将每一输入信号通过一个 10k Ω 的音量控制电位器馈入其输入网络即可。增加 R_6 的阻值, 电路的电压增益可大于 1 (0dB)。输入通道的数

量也可以增加(或减少),只需对每一个新通道增加(或撤去)一个新的 C-R 网路。

有源滤波器

滤波器常用来为我们抑制不需要的频率和只通过需要的频率。图示均衡器即由多个带通滤波器构成。简单的 R-C 低通滤波器(图 1.13(a))就能通过低频信号而抑制高频信号。在 $1/(2\pi RC)$ 这样一个“截止”或“交叉”点频率 f_c 时,输出下降了 3dB,并随频率增加以 6dB/oct(=20dB/dec)的斜率(陡度)下降(见图 1.13(b)),因此 1kHz 的滤波器对 4kHz 的信号作 12dB 的衰减,对 10kHz 信号则有 20dB 的衰减。

简单的 R-C 高通滤波器(如图 1.13(c))则让高频通过而抑制低频。在截止频率 $1/(2\pi RC)$,输出下降 3dB,并随低于此值的频率的减小,输出以 6dB/倍频程的变化率降低(见图 1.13(d))。例如一个 1kHz 的滤波器,对 250Hz 信号的抑制为 12dB,对 100Hz 信号的抑制则为 20dB。

以上两种滤波器都只用了一级 R-C,我们称之为“一阶滤波器”。如果简单地将几个这样的滤波器级联,所得电路即是“n 阶滤波器”,超过 f_c 的输出的变化斜率是 $(n \times 6\text{dB})/\text{oct}$ 。因此,一个四阶 1kHz 低通滤波器的变化率是 24dB/oct(倍频程),对 4kHz 信号衰减为 48dB;对 10kHz 信号衰减是 80dB。

然而,简单的 R-C 滤波器不能直接级联,因各级相互作用会产生不良结果。所以常将其与适当的运放反馈网路结合,才能有效地级联,这种电路称为有源滤波器。图 1.14 至 1.20 即为一些实际例子。

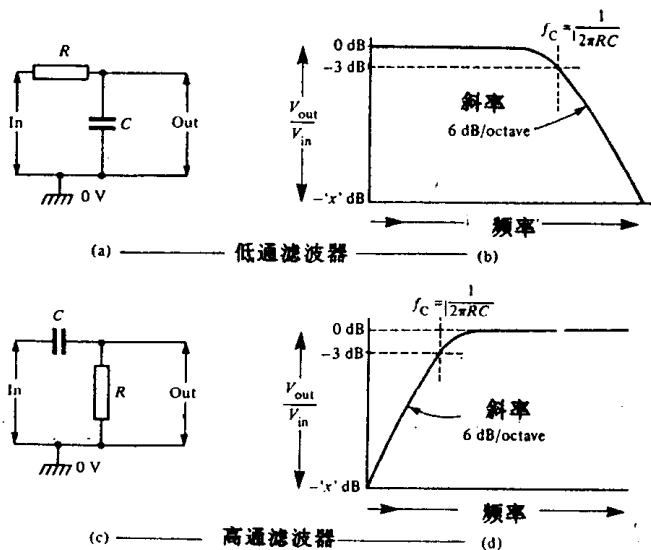


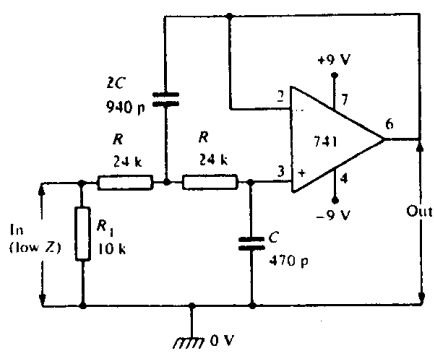
图 1.13 简单一阶 R-C 滤波器的电路和频响曲线

有源滤波电路

图 1.14 为单位增益、截止频率为 10kHz 的最平坦二阶低通滤波器(也称巴特沃兹滤波器)的电路和计算公式, R 或 C 的变化都与频率成反比,减小 R 或 C 即可增大截止频率;增加 R 或 C 则可减小截止频率。所以,若要工作于 4kHz, R 的值要增加为 10kHz/4kHz 倍,即 2.5 倍。

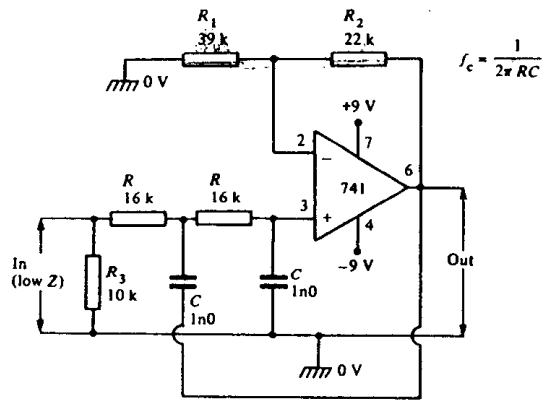
图 1.14 电路若实际运用会遇到有一个小障碍:其中一个电容的容量必须精确地等于另一个的两倍,结果使一些元件值呈奇数值。图 1.15 是经改进的 10kHz 二阶低通滤波器,用等值元件克服了上述问题。依图中标元件值,运放由 R_1 和 R_2 提供 4.1dB 的电压增益。

图 1.16 为我们提供了把两个等值元件型滤波器级联成四阶低通滤波器的方法,其变化斜率为 24dB/oct。在这种情况下,决定增益的电阻 R_1/R_2 为 6.644, R_3/R_4 为 0.805,可以得到 8.3dB 的总电压增益。奇数值电阻 R_2 和 R_4 可由 5% 的标准电阻串联而成。



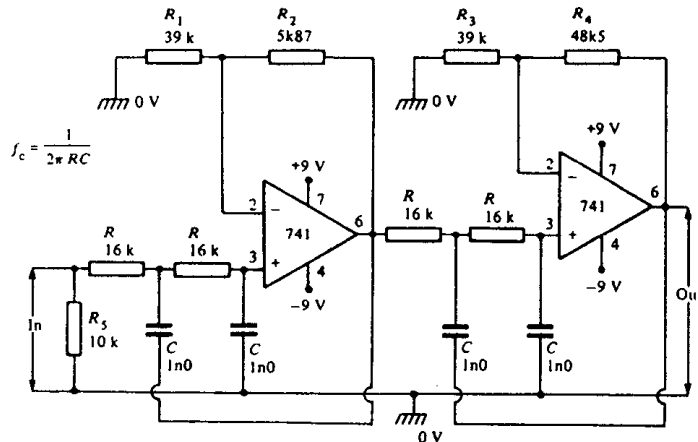
$$f_c = \frac{1}{2.83 \pi RC}$$

图 1.14 单位增益二阶低通滤波器



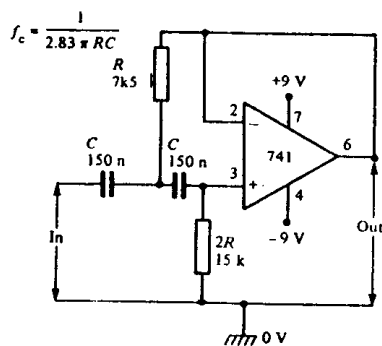
$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC}$$

图 1.15 “等值元件”型二阶 10kHz 低通有源滤波器



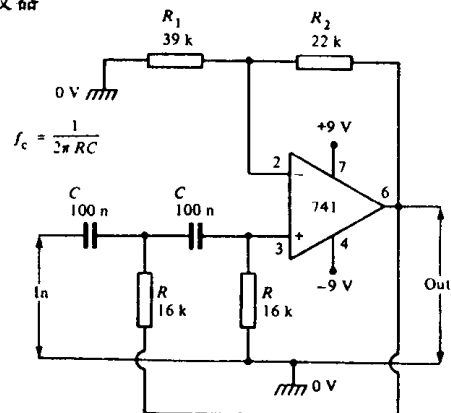
$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC}$$

图 1.16 四阶 10kHz 低通滤波器



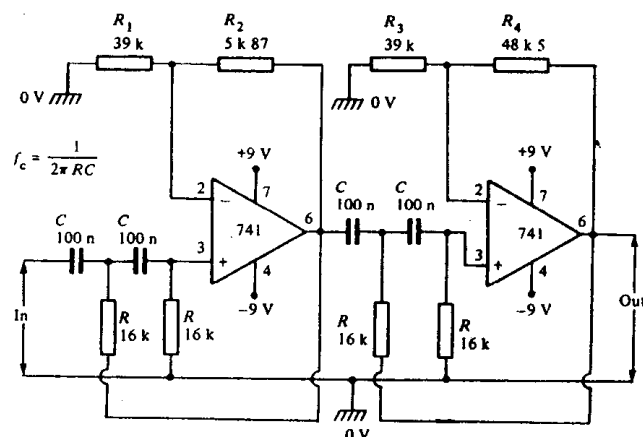
$$f_c = \frac{1}{2.83 \pi RC}$$

图 1.17 单位增益二阶 100Hz 高通滤波器



$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC}$$

图 1.18 “等值元件”型二阶 100Hz 高通滤波器



$$f_c = \frac{1}{2 \pi RC}$$

图 1.19 四阶 100Hz 高通滤波器

图 1.17 和 1.18 分别表示单位增益和“等值元件”型二阶 100Hz 高通滤波器。图 1.19 为四阶高通滤波器。这些电路与图 1.15 及图 1.16 电路的工作频率可由与图 1.14 完全相同的方式来改变，即增加 R 或 C 可减小截止频率，反之亦然。

图 1.20 是将图 1.18 的高通滤波器与图 1.15 的低通滤波器串联（元件值适当改变）而成的 300Hz 至 3.4kHz 语音滤波器，在此频带之外，对所有信号作 12dB/oct 的衰减。注意，为把截止频率从 100Hz 增加到 300Hz，其中的高通滤波器的 C 值已减少到图 1.18 的 1/3；为把高端截止频率从 10kHz 减少到 3.4kHz，其中的低通滤波器的 R 值已增加到图 1.15 的 2.94 倍。

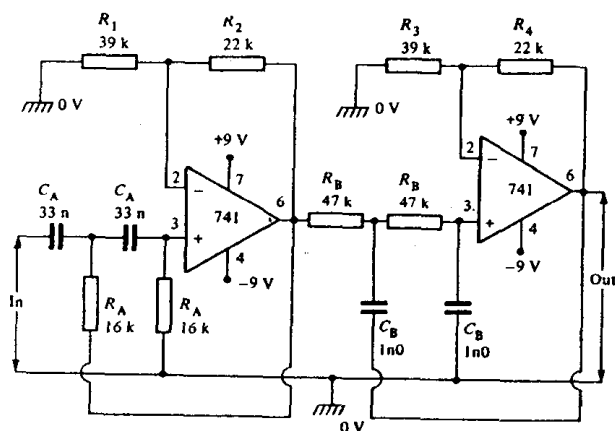


图 1.20 300Hz~3.4kHz 语音滤波器

频率可变有源滤波器

有源滤波器中最有用的类型是截止频率在相当宽的范围内可以充分并且容易地变化，图 1.21

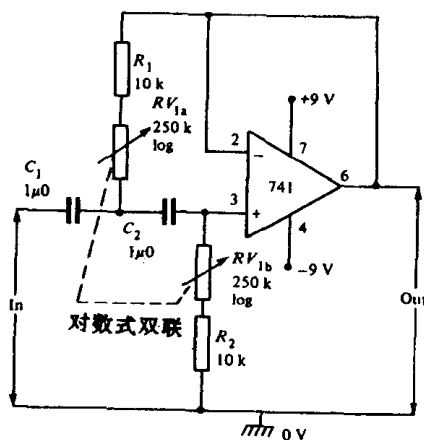


图 1.21 23.5~700Hz 可变高通滤波器

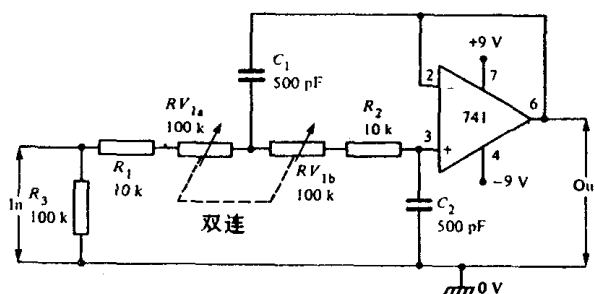


图 1.22 2.2kHz~24kHz 频率可变带通滤波器