

电路识图与应用快捷入门丛书

典型模拟集成电路 识图与应用快捷入门

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以讲解典型模拟集成电路的基础知识为切入点,介绍了运算放大器、电压比较器、功率放大器、模拟直流稳压器、模拟/数字混合集成电路的识图与应用。通过对电子产品中应用的典型电路的结构、工作原理及电路功能的详细讲解,使读者快捷掌握模拟集成电路的识图技巧,并能在实践中灵活应用。各章后附有习题供读者练习,以加深对各章内容的理解。

本书分类明确、结构合理、通俗易懂,既可作为中等电子职业学校相关电子技术学科的教材,也可作为电子产品开发及生产技术人员和广大电子爱好者自学参考书。

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

典型模拟集成电路识图与应用快捷入门 / 孙余凯等编著. —北京: 电子工业出版社, 2010.8
(电路识图与应用快捷入门丛书)

ISBN 978-7-121-11635-3

I. ①典… II. ①孙… III. ①模拟集成电路—识图法 IV. ①TN431.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 161102 号

策划编辑: 谭佩香

责任编辑: 鄂卫华

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 17.5 字数: 426 千字

印 次: 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 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。

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。

服务热线: (010) 88258888。

前言

FOREWORD

目前，模拟集成电路在电子产品中的应用越来越广泛，各类典型模拟集成电路的结构十分繁杂，且功能很多，很全。因而本书采用对比归纳的方法，将由不同典型模拟集成电路组成的相同功能的典型单元电路归纳起来介绍给读者，在此基础上，重点讲解了各种典型模拟实用电路的识图与应用，使读者全面了解相同功能但不同类型电路的特点，并能对典型模拟集成电路进行定性的分析、估测，为灵活应用打下基础。其目的是为了抛砖引玉，教给读者识图的方法与技巧，开拓读者的应用思路，使读者熟悉应用的方法，进而多方位、多领域地应用这些典型模拟集成电路，设计制作出功能更新颖、自动化程度更高的应用产品来。

本书以应用为目的设置内容，以典型模拟集成电路的识图与应用为基础，并在此基础上着重介绍典型模拟集成电路的各种应用方法，也适当地介绍一些复杂的组合专用电路。讲解这些通用典型模拟集成电路的结构、识图指导和工作原理时，以应用为目的，使读者掌握它们的功能、特性及应用方法。

本书以初学者为对象设置内容，知识点的讲解全部以项目实例形式体现。其最大特点是起点低，从基础知识入手，以讲解识图为基点，逐步深入介绍模拟集成电路典型应用的方法，其目的是由浅入深，进而熟能生巧地去应用典型模拟集成电路，熟练读懂更加复杂的由模拟集成电路构成的各种单元电路，为读者应用这些电路提供了实用范例。

本书以解决实际问题为重点，突出应用，将知识内容巧妙地融入到对电路识图与应用的讲解中。

本书共分 6 章，包括典型模拟集成电路读图与应用快捷入门必备的基础知识、典型运算放大器的识图与应用，典型电压比较器的识图与应用，典型功率放大器的识图与应用，典型模拟直流稳压器的识图与应用，典型模拟/数字混合集成电路的识图与应用及其他模拟集成电路的识图与应用。各章后附有习题供读者练习，以加深对章节内容的理解，书后给出了部分习题答案供参考。

本书的另一特点是浅显通俗、图文并茂、取材新颖、资料丰富、实用性强。

本书主要由孙余凯、吴鸣山、项绮明统稿编著，参加本书编写的人员还有：孙静、孙庆华、刘忠梅、项天任、王华君、孙余贵、薛广英、王国太、刘普玉、余成、夏立柱、项宏宇、金宜全等。

本书在编写过程中，参考了大量的国外、国内有关电子技术方面的期刊、书籍及资料，在这里谨向相关作者致谢。限于作者水平有限，书中难免存在不足之处，诚请专家和读者批评指正。

编 者

2010 年 7 月

目录

CONTENTS:

第 1 章 典型模拟集成电路识图与应用快捷入门的基础知识	1
1.1 模拟集成电路的特点及类型	1
1.2 模拟集成电路不同封装形式与引脚排列的识别	2
1.3 模拟集成电路的应用	9
1.4 模拟集成电路在实际应用中应注意的问题	14
1.5 拆装集成电路的方法	25
习题一	31
第 2 章 典型运算放大器的识图与应用快捷入门	33
2.1 集成运算放大器识图与应用的基本知识	33
2.2 集成运算放大器应用电路与识图	38
2.3 单运算放大器的识图与应用	43
2.4 典型双运算放大器的识图与应用	49
2.5 四运算放大器的识图与应用	55
习题二	64
第 3 章 典型电压比较器的识图与应用快捷入门	67
3.1 集成电压比较器识图与应用的基本知识	67
3.2 集成电压比较器的典型应用与识图	73
3.3 单电压比较器的识图与应用	77
3.4 双电压比较器的识图与应用	80
3.5 四电压比较器的识图与应用	89
习题三	103

第 4 章 典型功率放大器的识图与应用快捷入门	105
4.1 功率放大器识图与应用的基础知识.....	105
4.2 OTL 功率放大器的识图与应用	112
4.3 OCL 功率放大器的识图与应用.....	131
4.4 BTL 功率放大器的识图与应用	135
习题四	145
第 5 章 典型模拟直流稳压器的识图与应用快捷入门	149
5.1 直流稳压电源识图与应用的基础知识.....	149
5.2 三端固定直流稳压器的识图与应用.....	154
5.3 三端可调输出电压直流稳压器的识图与应用	160
5.4 其他可调直流稳压器的识图与应用.....	176
习题五	185
第 6 章 典型模拟/数字混合集成电路的识图与应用快捷入门.....	189
6.1 模拟/数字混合集成电路识图与应用的基础知识.....	189
6.2 模拟/数字混合集成单稳态电路的识图与应用.....	197
6.3 模拟/数字混合双稳态电路的识图与应用	206
6.4 模拟/数字混合无稳态电路的识图与应用.....	213
习题六	224
第 7 章 其他模拟集成电路的识图与应用快捷入门	227
7.1 模拟功率开关集成电路的识图与应用	227
7.2 模拟音频处理集成电路的识图与应用	233
7.3 模拟信号转换集成电路的识图与应用	243
7.4 模拟驱动集成电路的识图与应用	248
7.5 模拟检测集成电路的识图与应用.....	261
习题七	267
附录 A 习题答案	271
参考文献	274

第 1 章 典型模拟集成电路识图与 应用快捷入门的基础知识

电子电路按其功能可分为模拟电路和数字电路两大类，处理模拟信号的集成电路称为模拟集成电路。

1.1 模拟集成电路的特点及类型

模拟集成电路在信号传输、变换、产生、测量等方面的应用相当广泛，对当今电子科学技术的各个领域发展具有重要的影响。

1.1.1 模拟电路的特点

模拟电子技术是利用电路和系统实现各种模拟电信号的处理技术，运用模拟电子技术可对电信号、对电路及系统进行研究。

模拟信号是连续变化的电信号，又称连续信号，用模拟电路能够处理这类连续变化的信号。典型的模拟量为正弦函数。自然界中许多物理量都是模拟量，例如时间的变化、运动物体的位移、温度的变化，等等。

1. 模拟电路的模拟量

模拟电路是以电压或电流为模拟量进行放大、转换、调制的一种电子电路。

2. 模拟电路研究的信号

在模拟电子电路中，主要研究的内容是微弱信号的放大及各种类型信号的产生、变换和反馈。

1.1.2 模拟电路的类型

模拟电路可分为线性电路和非线性电路两大类。对应的有线性模拟集成电路和非线性模拟集成电路。

1. 线性电路

使输出信号和输入信号的变化成线性关系的电路称为线性电路。例如：运算放大器，音频、中频及宽频带放大电路等。

线性电路又分为两种类型：一种是通用类，如运算放大器；另一种是专用类，如应用于电视机与显示器的扫描电路及应用于音响的功率放大电路等。

2. 非线性电路

使输出信号和输入信号的变化不成线性关系的电路（但不是开关性质）称为非线性电路。例如：检波器、稳压器、调制器等。

1.2 模拟集成电路不同封装形式与引脚排列的识别

模拟集成电路的封装形式大多采用双列直插、单列直插、金属圆壳（或菱形壳）和三端塑封等几类，各种封装形式引脚的识别方法如下所述。

1.2.1 多管脚的金属圆壳集成电路封装

多管脚的金属圆壳封装集成电路的识别方法如图 1-1 所示。

面向管脚正视，由定位标记（常为锁口或小圆孔）所对应的管脚按顺时针方向数。

如果集成电路是国标、部标或进口产品，对小金属圆壳封装器件而言，1 号管脚应是定位标记所对应管脚后的那个管脚，即定位标记所对应的管脚为最末一个管脚，如图 1-1（a）所示。

倘若若是厂标集成电路（包括极少数进口集成电路），管脚排列除与部标产品相似以外，还有下列两种情况。

定位标记对应的管脚即 1 号管脚，如图 1-1（b）所示。

定位标记处在第 1 脚和最末脚所对应的中间位置上，如图 1-1（c）所示。

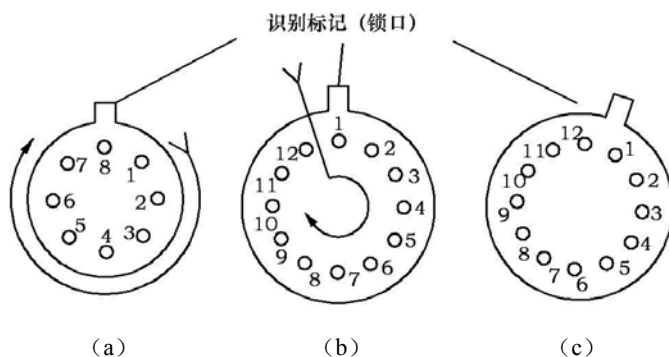


图 1-1 多管脚金属圆壳封装集成电路的识别方法

1.2.2 类似于大功率三极管的金属壳封装

对于类似于大功率三极管的金属壳封装集成电路的识别方法如图 1-2 所示。

1.2.3 扁平化和双列直插封装

扁平封装和双列直插封装所采用的材料一般有陶瓷封和塑封两种，塑封集成电路应用日益增多，原因在于这种集成电路的价格低。但由于其气密性较差，允许环境温度范围较小（ $-8\sim 85^{\circ}\text{C}$ ）可靠性不高，故在一些要求较高的场合中不适用。相比之下，陶瓷封装集

成电路的气密性好、可靠性及温度范围（ $-55\sim 125^{\circ}\text{C}$ ）均优于塑封集成电路，因而适用于高、精、尖技术领域，但其价格较贵。

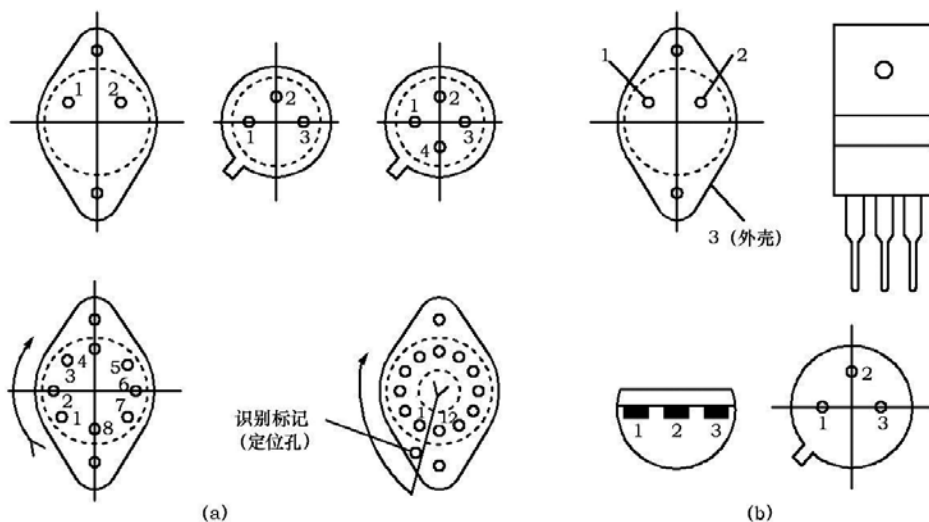


图 1-2 类似于大功率三极管的金属壳封装集成电路识别方法

不论是哪种封装形式的集成电路，通常在外壳上都有供识别管脚排列顺序的定位（或称为第一脚）标记。

① 对于扁平封装的集成电路，其识别标记一般是在器件端面刻上一小片类似管状的金属片，或在封装表面上部设置一个小圆点（或小圆圈、色点）。

② 塑封双列直插集成电路的标记是弧形凹口，圆形凹坑或小圆圈，进口器件的标记花样很多，这里列出常见的集成电路识别标记。

③ 塑封双列直插器件的标记为金属键。不过，有些集成电路封装表面另有色点等标记，即有双重识别标记，如图 1-1（b）、（c）所示。

1.2.4 三端稳压集成电路的封装

三端稳压集成电路的管脚排列顺序如图 1-2（b）所示，这种集成电路的排序虽然简单而易辨识，但应注意：

随品种的不同，它们的同号引脚所对应的功能不一定相同。如引脚①有的为输入端，有的却是公共端等。不少使用者往往因接错引脚而使三端稳压集成电路烧坏或电路不工作，这也许被“仅有三个引脚”所迷惑了。因此，使用时一定要认真区分清楚三个引脚的功能。

1.2.5 单列直插封装

图 1-3 所示为单列直插式集成电路的识别标记及管脚排序，单列直插集成电路的管脚排序一般有如下规律。

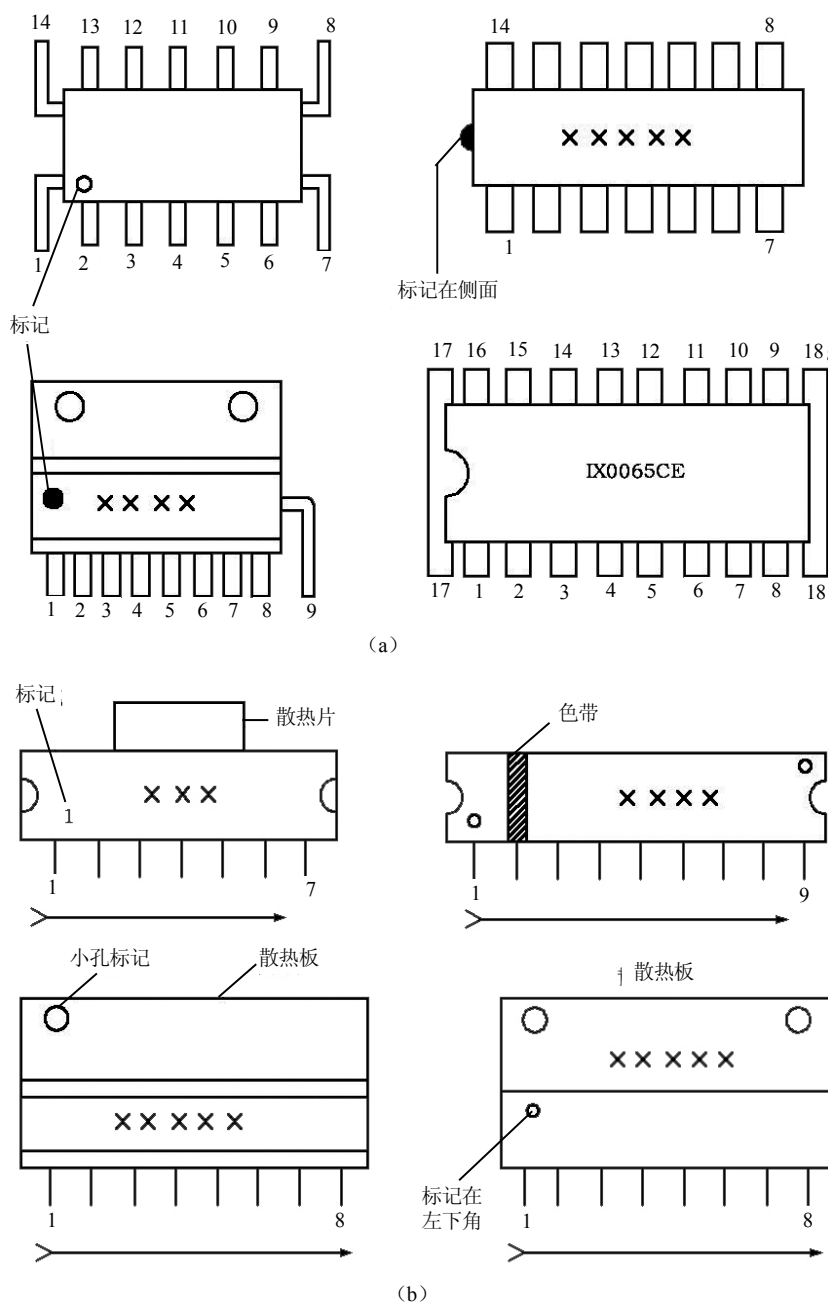


图 1-3 单列直插式集成电路的识别标记及管脚排序

集成电路管脚向下，识别者面对定位标记，从标记对应一侧的最始端管脚数起，依次为 1, 2, 3, 4, ... 脚。

有些进口集成电路尽管型号相同（或同型号的不同后缀字母、型号尾数相差 1 等），但却存在管脚排序完全相反的两个品种，这主要是为了便于灵活安装，以适应各种不同形式的需要而考虑设计生产的。这类集成电路尤以单列直插式封装外形为多见。遇到这类集成电路，如果封装上有识别标记，还是容易正确识别管脚的。对于少数这类器件上并没有识

别标记的，一般来讲可从型号上进行区别。

若器件型号后有一个后缀字母 R，则为反向引脚型集成电路，没有 R 则是正向引脚型集成电路。例如 M5115P 与 M5115PR、HA1339A 与 HA1339AR、HA1366W 与 HA1366WR 这 3 对集成电路引脚排序相反的同性能集成电路引脚排序可用下列方法识别。

1. 正向引脚型

如集成电路为正向引脚型，则将集成电路的型号面对着识别者，并摆正型号，集成电路左侧最边端的引脚即为第①脚，自左向右依次为②，③，④，⑤，…脚，如图 1-3（a）所示。

2. 反向引脚型

反向引脚型集成电路的引脚排序正好与正向引脚型相反，即单列直插集成电路的引脚排序是自右向左排列的。

3. 双列反向引脚型

双列反向引脚型集成电路的排序是自左下角最边端为①脚，然后按顺时针方向依次为②，③，…脚。

有些进口模拟集成电路的管脚公布、排列及识别标记比较特别，如图 1-3（b）所示，若不注意就容易搞错。

1.2.6 几种特殊集成电路的封装及引脚识别

集成电路的封装除了以上介绍的各种常见类型外，还有一些较特殊的封装形式，下面介绍的就是日常工作中经常遇到的几种特殊集成电路的封装及引脚识别方法。

1. 软封装形式

软封装集成电路的识别如图 1-4 所示。其集成电路芯片被直接键合在印制板上。为了保证键合细金属丝不受外力损害和防止外界强光照射芯片而干扰集成电路的正常工作，芯片上涂覆了黑色保护胶。

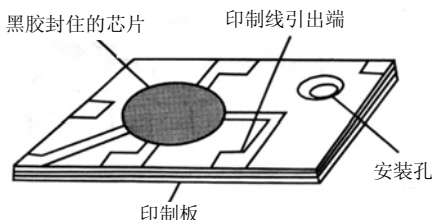


图 1-4 软封装集成电路的识别

由于软封装集成电路由印制电路板电路取代了一般集成电路的引脚，故不会或极少发生断脚及接触不良等故障。此外，一些难以集成化的大电阻器、电容器及电感器等元件在软封装集成电路中可以直接焊在印制板上，从而使电路的功能扩展，制造工艺和成本也

大大简化和下降。

需要说明的是除了少数通用 CMOS 数字集成电路外，软封装集成电路都没有统一的固定尺寸及标准的引脚排列。因此，应用时一般要参照有关产品技术资料连接引脚。

2. 四列扁平封装

四列扁平封装的集成电路引脚多、体积小，大规模集成电路常采用。

四列扁平封装集成电路如图 1-5 所示，其引脚排序与双列扁平相似。有些四列扁平集成电路的辨识标记是一个特别形状或短的引脚，比较特别，如图 1-5 (b) 所示。

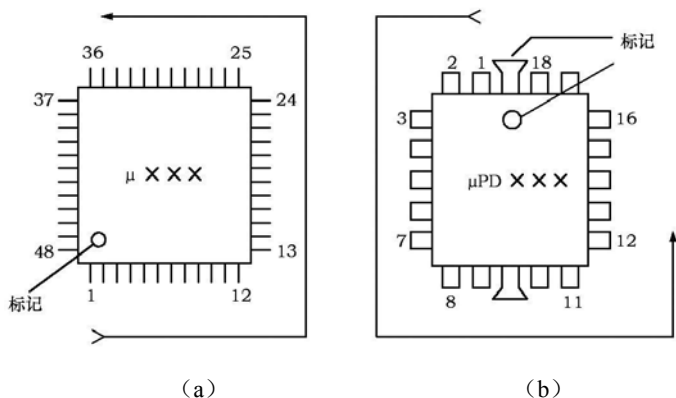


图 1-5 四列扁平封装集成电路

3. 微型和片型封装

微型和片型两种封装的集成电路，它们的共同特点是体积小、安装占用空间小。

片型封装的集成电路还是一种无引脚集成电路，它是用低温焊剂或导电黏合剂直接与电路板贴附连接的，故具有较好的抗震性和可靠性。目前，各类集成电路中均已经有采用微型封装和片型封装的品种。

1.2.7 表面安装集成电路

表面安装集成电路的早期产品为具有翼形引线的塑封结构，其引脚间距较常规的小。这类产品有 SOP、SOJ 小外形封装电路和 QFP 方形扁平封装电路。此后，芯片载体技术得到发展，出现了 PLCC 塑封有引线芯片载体、LCCC 无引线陶瓷芯片载体、LDCC 有引线陶瓷芯片载体、COB 板载芯片。近几年来，又开发了 TAB 带载自动焊产品等。

1. SOP、SOJ 小外形封装

这种技术是荷兰飞利浦公司在 20 世纪 70 年代初期研制成功的，其实是双列直插封装电路的变形。SOP 为“L”形引线，SOJ 为“J”形引线。

SOP 封装的特点是引线容易焊接，生产过程中检测方便，但占用印制板的面积较大。SOJ 封装占用印制板面积较小，因此目前用得较广泛。其引脚间距大都为 1.27 mm，间距更小的则为 1.0 mm 和 0.76 mm。

2. QFP 方形扁平封装

这是日本一些厂商专为小间距表面电路而研制生产的新型封装电路。QFP 封装电路由于引线数多（32~576 条），接触面积大，因而具有较高的焊接强度，但由于引线太软且间距过小，故给安装和焊接带来一定的困难。

QFP 封装电路有正方形两种封装形式，引线间距有 0.3 mm，0.4 mm，0.5 mm 三种。日立公司推出的一种薄型 QFP（又称 TQFP），其引线间距可小至 0.254 mm，电路厚度仅为 1.2 mm。

3. PLCC 塑封有引线芯片载体

PLCC 封装有引线芯片载体在其四边具有向其底部弯折成“J”形的短引线。PLCC 比 SOP、QFP 更节省印制板面积。但这种电路焊接到印制板上后检测焊点较困难，维修拆焊更为困难。这种封装电路常应用于微机中央处理器和门阵列电路。目前已研制出了相应的夹插板，从而解决了焊点测试难题。

4. COB 板载芯片

COB 板载芯片通常称为“软”封装、“黑胶”封装。它是将集成电路芯片直接黏在印制板上，用引线键盒来实现与印制板的连接，最后用黑色胶料涂覆包封。这类芯片及引线是用黑胶封固在印制板上的，属于一次性安装电路，不可能进行维修。

5. 集成电路的识别

数码电子产品电路中使用的表面安装集成电路多种多样，有射频处理集成电路、逻辑集成电路、电源集成电路，锁相环集成电路等。集成电路的封装形式各异，用得较多的表面安装集成电路的封装形式有小外形封装、四方扁平封装和球形栅格阵列内引脚封装等。

（1）小外形封装

小外形封装又称 SOP 封装，其引脚在 28 个之下，引脚分布在两边。数码电子产品电路中的存储器、电子开关、频率合成器、功率放大等集成电路常采用这种 SOP 封装，其引脚排列如图 1-6 所示。

（2）四方扁平封装

四方扁平封装适用于高频电路和引脚较多的模块，简称 QFP 封装。其引脚排列如图 1-7（a）所示，四边都有引脚，其引脚数目一般为 20 个以上。如许多中频模块、数据处理器、音频模块、微处理器、电源模块等都采用 QFP 封装。

对于小外形封装和四方扁平封装的集成电路，找出其引脚排列顺序的关键是先找出第 1 脚，然后按照逆时针方向确定其他引脚。确定第 1 脚的方法是：

集成电路表面字体正方向左上角圆点为 1 脚标志；或者找到集成电路表面打“●”的标记处，对应的引脚即为第 1 脚。

（3）球形栅格阵列内引脚封装

球形栅格阵列内引脚封装又称 BGA 封装，是一种多层的芯片载体封装。这类封装的引脚在集成电路的“肚皮”底部，引线是以阵列的形式排列的，其引脚是按行线、列线来区

分的，所以引脚的数目远远超过分布在封装外围的引脚。

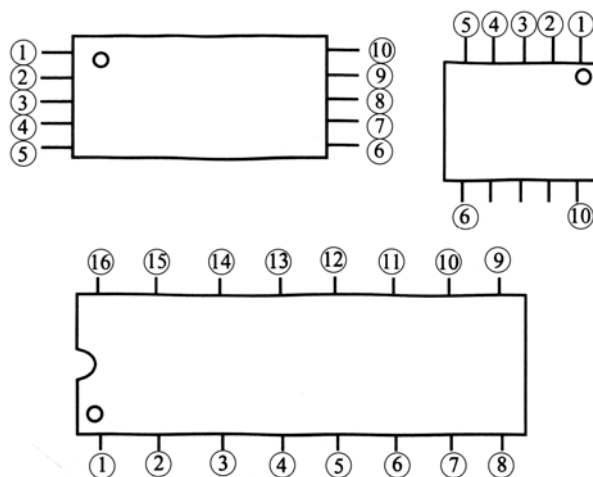
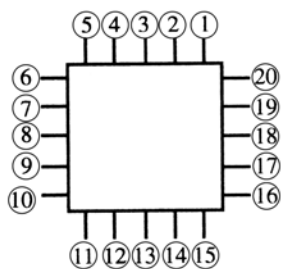
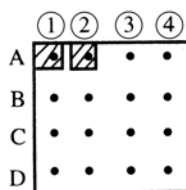


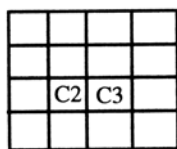
图 1-6 常见的小外形封装引脚排列



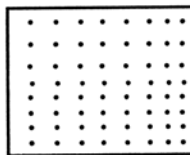
(a) 四方扁平封装引脚排列



(b) BGA 封装引脚排列 (1)



(c) BGA 封装引脚排列 (2)



(d) 球栅阵列的内引脚排列

图 1-7 四方扁平封装与球形栅格阵列内引脚封装及引脚排列

利用阵列式封装，可以省去电路板多达约 70% 的位置，其引脚排列如图 1-7 (b)、(c)、(d) 所示。BGA 封装充分利用封装的整个底部来与电路板互连，而且用的不是引脚而是焊锡球，因此这缩短了互连的距离。

目前，许多数码电子产品，车载 GPS (卫星自动定位导航系统)、摩托罗拉系列手机的电源集成电路，诺基亚系列手机的 CPU (中央微处理器)、数码照相机和数码摄录像机的 CPU 与 DSP 处理芯片、数码照相机的 SD 卡处理集成电路等均采用 BGA 封装方式。

1.2.8 常用集成电路的引脚排列

集成电路内部结构不同,用途也不同,它们的形状和引出脚也不同。图 1-8 所示列出了几种不同外形常用集成电路的引出脚排列方式。圆形金属外壳多为软导线引出。扁平封装的外壳为陶瓷和塑料的两种,引出线形式有两种,一种是双列,一种是单列。双列引线又有直线和弯脚引线两种,以弯脚的多,称为双列直插式。它不仅可以直接焊接在印制板上,也可以插在相应的管脚插座上,这样能随时插拔,便于维修。引脚顺序按仰视方法,从标志点顺时针数为 1, 2, …, 管脚数目少则 6 个,多则几十个。

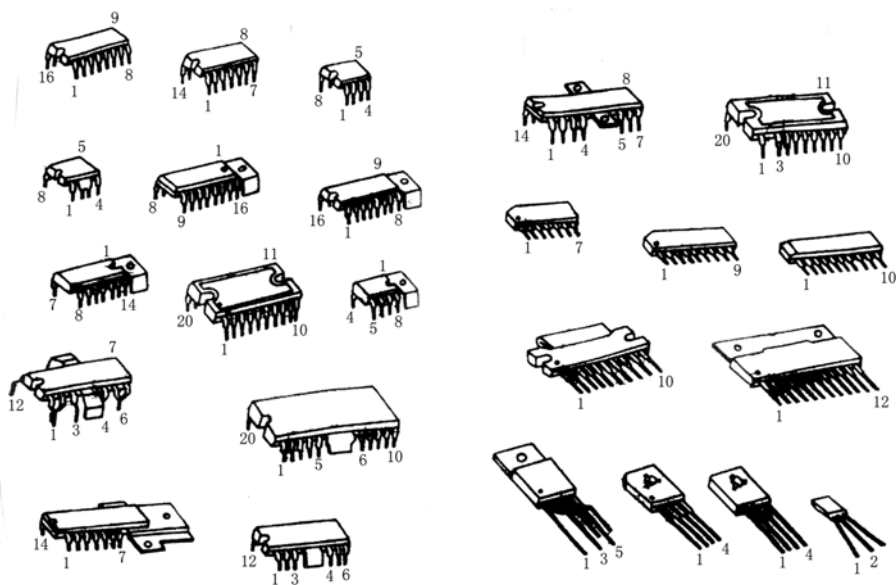


图 1-8 常用集成电路的引脚排列方式

1.3 模拟集成电路的应用

无论是模拟集成电路还是数字集成电路,使用方法都必须正确,否则易造成集成电路受损或性能下降,正确使用模拟集成电路需要了解以下 8 个方面。

1.3.1 了解模拟集成电路使用条件

在使用集成电路之前,必须对所使用的集成电路的基本功能特点、主要参数、各引脚功能及典型应用电路作全面的了解,由此可以消除使用中的盲目性,为正确使用打下良好的基础。

对于某些集成度较高、内部电路结构复杂的集成电路,在初次使用时要重点了解其各引脚功能和主要参数,这样往往会事半功倍。在使用以后再去深究集成电路的内电路和工作原理,也就比较容易了。

1.3.2 使用模拟集成电路的极限

集成电路生产厂家通常在产品说明书上给出集成电路的各项极限参数，在使用集成电路时切勿超过这些极限参数，即使只有某一项超过了其极限参数，也有可能导致集成电路性能变劣甚至损坏，从而使集成电路的使用寿命缩短或早期损坏。各种集成电路的极限参数主要有电源电压 V_{CC} 、最大功率损耗 P_D 、最大电流 I_{CC} 、工作温度 T_a 、存储温度 T_S 和有关引脚的输出电压和电流等。

集成电路在一般使用条件下，主要应抓住“极限电源电压 V_{CC} ”这一参数，因为大部分的集成电路都工作在室温环境下，只要加在集成电路上的电源电压正常，驱动的负载未过载，不自激，就可使功率损耗被限制在极限使用范围内，这样，温度也就不会超过规定的极限了。但对于要加散热器的功率集成电路，则必须要装上要求尺寸的散热器片。

由于一般特性参数通常是指环境温度为 25°C 时的数据，但在实际应用时，集成电路的工作环境有可能超过 25°C ，加之电源电压的瞬间波动、浪涌等因素的影响，故为了安全起见，通常加在集成电路上的电压要留有一定的余量，以防因环境温度或电压的突变而损坏。不过，所加的电源电压也不能低于集成电路所要求的最低工作电压，否则会造成集成电路工作异常或不工作。通常应根据集成电路生产厂家说明书上推荐的典型参数来使用集成电路。

1.3.3 模拟集成电路的检测与调试

有些集成电路的超限损坏发生在测试或调试电路的过程中，对此必须引起足够的重视。

1. 模拟集成电路的检测

检测集成电路时，表笔或探头不能滑动。因为集成电路引脚之间的间距通常都较小，当表笔滑动时，就有可能导致集成电路相邻引脚发生短路现象，可能会导致集成电路损坏。

因此，正确的测量方法是：在与待测脚相连的线路端点上检测，也可以将表笔磨尖后再进行检测。

在用外壳接地的仪器测量集成电路时，必须注意有些电器中没使用电源变压器，而采用电容器降压的方式为电气设备供电。这类设备的机内地线很可能与市电相线相通，此时测量不但可能会将市电短路，而且可能会导致集成电路和相关设备损坏。故对这类设备集成电路进行检测时，最好设置 1:1 隔离变压器。

2. 模拟集成电路的调试

在对集成电路电子设备进行调试时，如集成电路上加有几种直流工作电压，不要随意断开其中一部分来进行试验，以防过高的电压导致集成电路损坏。

不要在通电的状态下插拔集成电路，以防产生瞬间电压造成集成电路的损坏。

1.3.4 模拟集成电路引脚排序与空脚处理

模拟集成电路引脚排序都有一定的规律，掌握这些规律就可以顺利地找出所使用集成电路的各引脚位置。

1. 模拟集成电路引脚排序

由于集成电路种类繁多，封装形式繁杂，即使同类封装的集成电路引脚顺序也不相同。

因此，在使用集成电路之前，应仔细识别引脚的排序（识别方法在上面已经介绍过），以防止接错或反向插入插座时导致电路不能正常工作甚至导致集成电路损坏。对于某些引脚较多、封装外形特殊的或单列直插式集成电路更应仔细辨认引脚的排列方式。

对于国产集成电路，引脚排列顺序一般易于识别，但对进口集成电路引脚的识别就比较复杂。其中最为典型的是一些同功能、同型号、同电特性、同引脚和同封装形式的器件，它的引脚排序却截然不同。通俗地说，这类集成电路有“正手”和“反手”之分。前者的引脚排序与一般集成电路相同，后者则完全相反。因此在选购和使用时，要防止搞错，否则会导致电路不工作或烧坏集成电路。

对于大多数这类集成电路的识别，可以看其型号后有无一个后缀字母 R 来识别。有 R（例如 HA1339AR）是反手集成电路，无 R（例如 HA1339A）则为正手集成电路。有些具有正、反手之分的集成电路在型号上并无区别，但一般在起始引脚附近都有色点、凹坑或短直线等标记。紧靠标记的脚为第①脚，依次为②，③，④，…脚，如图 1-9 所示。

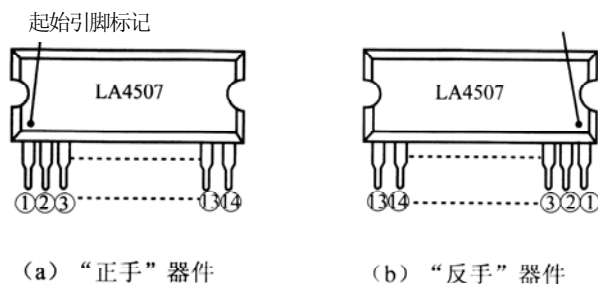


图 1-9 用标记区别正向引脚与反向引脚集成电路示意图

此外，在有关书刊资料中，国产集成电路器件一般用顶部正面外形图（俯视图）来表示。图外集成电路除有俯视图外，也有用仰视图表示的，故应特别注意，二者不可相混，如图 1-10 所示。

若采用集成电路插座安装，要注意别插反了。这对无定位标志或定位销的插座，以及单列直插集成电路来说是极易搞错的，切不可疏忽大意。

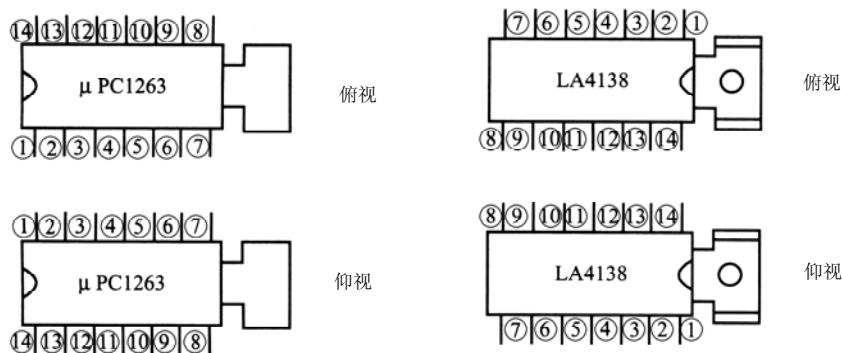


图 1-10 国外集成电路俯视与仰视示意图

2. 模拟集成电路空脚的处理

在集成电路中，有个别引脚空着不用，通常称其为空脚。空脚通常分为以下两种情况。一种是引脚与内电路没有任何联系，确实是一个空脚。

另一种空脚属于备用脚或测试脚之类。它们与集成电路内部电路之间是有联系的，在集成电路的应用电路图上通常不标注，与第一种空脚没有区别。

由此可见，对于前者来说，将其接地或不接地一般均可以，对电路无任何影响。但对于后者，则不允许随便接地，否则有可能将集成电路损坏。例如：

音频功率放大集成电路 LA4422，一般的应用电路中，其③、⑥、⑨脚为空脚，但其内电路结构方框图中的③、⑨脚确是空脚，而⑥脚则是反馈的备用脚，若将其接地，集成电路就不能正常工作，甚至会损坏。

由此可见，在使用集成电路遇到空脚时，通常将其空着，不要随便接地或与其他线路相连，必须查阅集成电路的内部电路结构方框图，根据实际情况确定连接方式。

1.3.5 集成电路地线的安排

对于视频、音频集成电路的地线安排十分关键，不合理的地线排列往往会造成电路发生自激，导致各种难以排除的干扰或信号失真等现象。

1. 大小信号电路独立地线及其处理

为了减弱寄生耦合，防止产生自激和干扰，不少电视、音响集成电路都将大、小信号或易于形成干扰的电路地线单独设置引出脚。例如 TA7240AP 的前置级地线由④脚引出，功率放大级地线则从⑦脚引出；单片录音机电路 LA4160（国产对应集成电路为 D4160、XG4160 等）的前置级地线为⑪脚，功率放大级地线则是散热片。

对于上述这类集成电路，在进行印制电路板布线或维修连接时都应将两者的接地回路分开，不要形成共地线，尤其不应让功率放大级的地电流通过前置级的地线，否则极易产生干扰。图 1-11 (a) 与 (b) 所示分别是 TA7240AP 地线设置不合理和合理的两个示例，供对照参考。

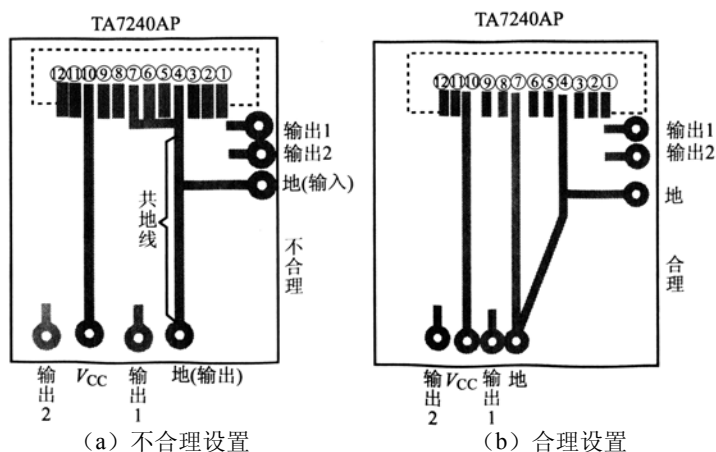


图 1-11 大小信号电路地线及设置方法

2. 无独立地线的处理

有些引脚较少的集成电路没有前置级和功率放大级等各自独立的地线脚，如 5 脚功率放大集成电路 TDA2002、TDA2003、TDA2008 等均只有③脚为接地引脚。

对于这类集成电路，地线设置的原则是与上述相同的，可按图 1-12 所示将输入与输出的地线回路分开设置即可。

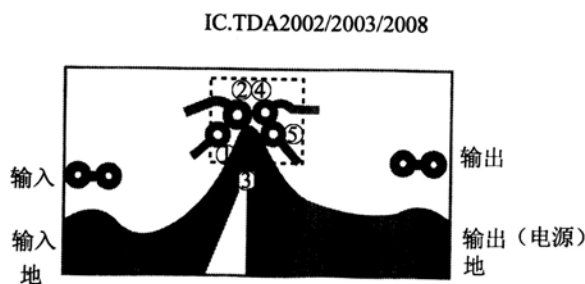


图 1-12 无独立地线集成电路地线的设置方法

1.3.6 模拟集成电路的安装和焊接

安装或焊接不当也会影响集成电路的正常工作，甚至会损坏集成电路。故不能忽略集成电路使用过程中的这一必经环节。

1. 正确安装

对于使用散热器的集成电路，安装时必须消除集成电路的散热片与散热器之间的污物，使其接触良好，若能在两者之间涂一层导热硅脂，则会进一步减小热阻，会使散热效果更好一些。

集成电路的引脚不能刮、磨，否则表面金属层磨损以后难以焊接，若引脚上有污物，可用橡皮擦除，最好使用集成电路插座，以便使用或更换。

2. 正确焊接

焊接各类集成电路时，最好选用 20 W 的电烙铁，烙铁头应锉尖，烙铁外壳应接地，最好选用无腐蚀性的松香酒精溶液作为助焊剂。

焊接集成电路时，先应焊其接地线引脚，再焊其他引脚，最好先将其他元件焊好后再焊接集成电路。焊接集成电路的时间应尽可能短，应控制在 2~3 s 之间，以防集成电路温升过高而损坏。

1.3.7 模拟集成电路散热板的处理

对功率放大类集成电路需要注意以下 4 点。

- ① 在未装散热板放大类前，不能随意通电。
- ② 在未确定功率放大类集成电路的散热片应该接地前，不要将地线焊到散热片上。

③ 散热片的安装要平，紧固转矩一般约在 $4\sim 6\text{ kg}\cdot\text{cm}$ ，散热板面积要足够大。

④ 散热片与集成电路之间不要夹进灰尘、碎屑等东西，中间最好使用硅脂，用以降低热阻。散热板安装好后，需要接地的散热板用引线焊到印制电路板的接地端上。

1.3.8 模拟集成电路的其他问题

模拟集成电路在应用时，除了以上介绍的各种主要事项外，还应考虑以下 4 个方面。

1. 设置集成电路及引线应远离脉冲源

集成电路及引线应远离脉冲高压源高频等装置。连接集成电路的引线及相关导线要尽量短，在不可避免的长线上要加入过压保护电路。

2. 防止感应电动势击穿集成电路

电路中带继电器等感性负载时，在集成电路相关引脚上要接入保护二极管以防止过压击穿。

3. 集成电路不允许大电流冲击

大电流冲击最容易导致集成电路损坏，所以，正常使用和测试用电源时应附加电流限制电路。

4. 要防止集成电路超温

一般集成电路所受的最高温度是 260°C 、10 s 或 350°C 、2 s。这是指每块集成电路全部引脚同时浸入离封装基底平面的距离大于 $1\sim 1.5\text{ mm}$ 所允许的最长时间，所以波峰焊和浸焊温度一般控制在 $240\sim 260^{\circ}\text{C}$ 之间，时间约 7 s。

1.4 模拟集成电路在实际应用中应注意的问题

模拟集成电路（尤其是运算放大器）在使用时，通常应注意以下问题。

1.4.1 参数应符合要求

模拟集成电路在使用时，应先确认其工作参数是否符合要求。可以采用简单测量方法或专用的参数测试仪器来测量。

1.4.2 应设置保护电路

根据实际工作的需要，对所使用的集成电路加装保护电路。例如：输入保护、输出保护、电源极性接错保护与电源启动瞬时过电压保护等。

1.4.3 要合理使用调零电路

对于运算放大器来说，由于失调电压和失调电流的存在，当输入信号为零时，输出一般不为零。为此，就需要有调零措施，以补偿因输入失调造成的影响，使放大器输入为零

时, 输出也为零。另外, 通过调零, 也可检查运算放大器工作是否正常。常用调零方式示意图如图 1-13 所示。

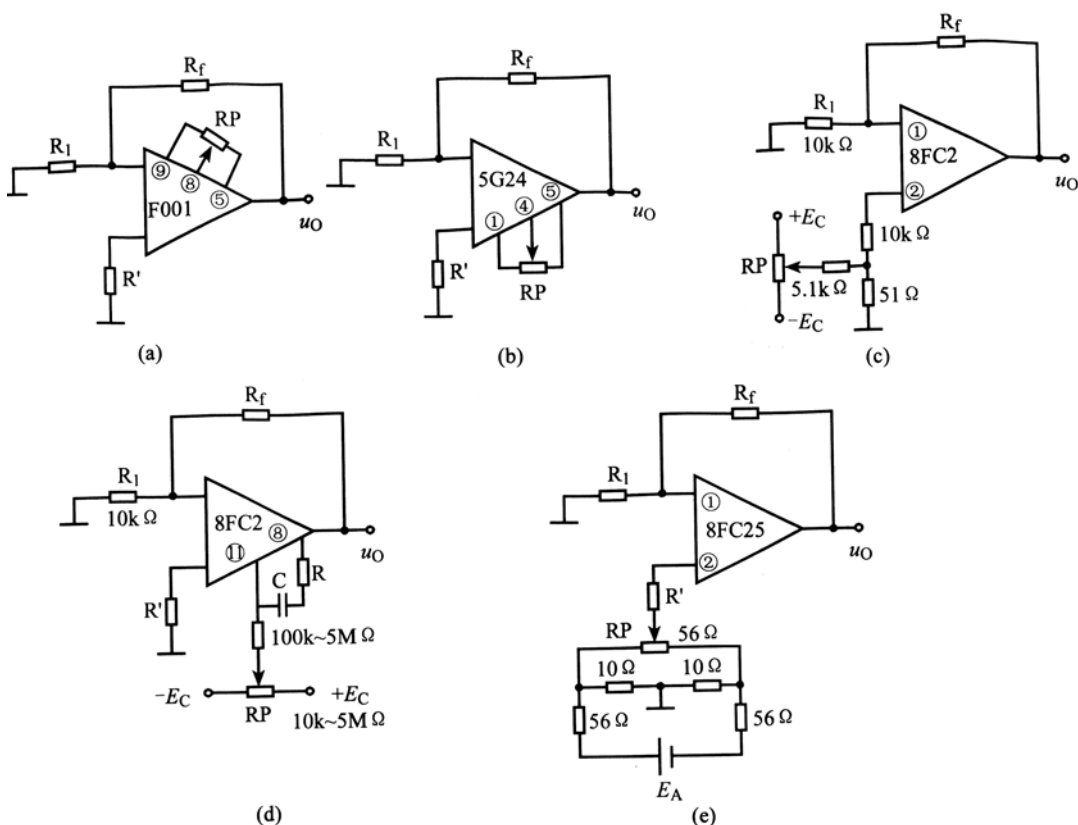


图 1-13 常用调零方式示意图

1. 外接调零电位器

外接调零电位器的方法如图 1-13 (a)、(b) 所示。其中, 图 1-13 (a) 所示是采用调集成电路内输入级内接晶体管集电极电阻值的方式。图 1-13 (b) 所示是采用改变集成电路内输入级有源负载的射极电阻值, 以达到输出为零的目的。

2. 引入电压至输入级

图 1-13 (c) 所示是利用电源电压 $+E_C$ 和 $-E_C$ 通过电位器 RP 引入一个电压到输入级, 调节 RP 的大小即可补偿输入失调对输出的影响。

这种调零方式的缺点: 当电源电压稳定性不好时, 将会在输出端引起附加的漂移电压。

3. 外接闭环反馈电路

图 1-13 (d) 所示由于调零补偿端 (⑪脚内) 是在集成电路的放大电路内部。当在该集成电路外部外接闭环反馈电路以后, 即包括在外部的闭环回路内, 产生的漂移可受到负反

馈的削弱。由此，也可对调零进行适当的补偿。

4. 加接稳压电源

图 1-13 (e) 所示是采用一个质量较好的稳压电源 E_A ，通过 RP 给同相信号输入端加入一个补偿电压，使输出为零。

采用加接稳压电源的方式进行调零的缺点是需外接一只稳压电源。

1.4.4 自激的消除方法

对于运算放大器来说，为了保证运算精度，多采用深度负反馈。由于线性集成电路本身的增益又很高，这就使集成运算放大器很容易产生自激振荡，如果不消除自激振荡，集成运算放大器根本无法正常工作。

1. 自激的特征

在调试过程中，当输入为零时，输出总是处于饱和状态，或示波器的荧光屏上总是有一定幅值和频率的输出电压，这就是自激振荡现象。

2. 自激的鉴别

(1) 自激具有周期性

大多数自激振荡都是周期性的，故可以在示波器的荧光屏上调出稳定的信号。一些复杂的电路，可能同时产生频率不同的振荡。如果电路中含有变压器、扼流圈等磁性元件，有时强大的自激振荡将迫使线圈产生机械振动，一个以上频率的电路振荡和机械振动搅在一起，很难在荧光屏上观察到稳定的波形。在这种情况下，不要轻易将自激振荡判断为随机噪声。

(2) 寄生反馈会产生间歇自激

当电路中存在有很强的寄生反馈时，往往会产生间歇振荡。间歇振荡的包络频率通常较低，当包络内的高频振荡频率超出示波器的通频带时，在荧光屏上观察到的只是低频振荡。

鉴别其究竟是真正的低频寄生振荡，还是高频的间歇振荡，可以改变电路的接线或用手触摸电路的某些部位。如果是低频自激振荡，不会受微小的寄生电容量、电感量的影响。受到影响而使振荡的幅度发生明显变化的，则必定是高频间歇振荡。

(3) 自激振荡回路 Q 值不高

在大多数情况下，产生自激振荡的振荡回路 Q 值不会很高。因此，低频寄生振荡的波形很少是纯度高的正弦波，幅度一般很大，几乎接近电源电压。而频率较高的自激振荡幅度往往较小，波形比较接近正弦波。例如，运算放大器中产生的高频振荡振幅会受到运算放大器速率的限制，谐波分量在很大程度上受到寄生分布电容量或示波器通频带的影响，在示波器荧光屏上显示出的幅度不太大，形状接近正弦波。

(4) 高频自激易受分布参数影响

较高频率的自激振荡容易受电路分布参数的影响，其振荡幅度、波形及频率往往因测试仪器接入点不同、测试线的长短、人体的接近与触摸而变化。

对于这类自激振荡，可在最敏感的部位对地接一个数十或几百皮法的电容器，一般可以消除。

(5) 大信号自激有时会与有用信号叠加

工作于大信号情况下的模拟电路，有时寄生振荡会与有用信号的某一部分进行叠加，如图 1-14 (a) 所示。这是因为器件的工作状态随有用信号大幅度改变，寄生反馈的环路增益也随之改变，叠加有自激振荡的那一部分波形，相当于器件工作状态进入满足自激振荡启振条件的区域。当自激振荡的频率超出示波器的通频带而被滤波时，观察到的有用信号波形会出现失真。图 1-14 (b) 所示是一种典型情况，波形出现了一个缺口。



图 1-14 大信号自激时的两种自激波形

3. 用实验法确定消振电容器

为了消除自激振荡，通常都采用加接消振电容器的方法。对于消振电容器的容量值，可以根据振荡频率 f_0 来选择消振元件 R 、 C 的数值。可先用示波器或频率计等仪器测出振荡频率 f_0 ，然后根据以下公式选取 R 与 C 的值。

$$1/RC \leq 2\pi f_0$$

这样做是为了在振荡频率附近降低放大器的开环增益，破坏自激振荡条件。

也可以先选定一个电容器 C ，再用一个电位器代替 R_0 用实验法确定消振电容器的电路，如图 1-15 所示。然后调电位器使输出振荡消除为止。如果不起作用，可换一个容量值大一些的电容器 C 再试，直到振荡消除为止。当然，也可以通过调整电容器 C 的容量值来消除自激振荡。

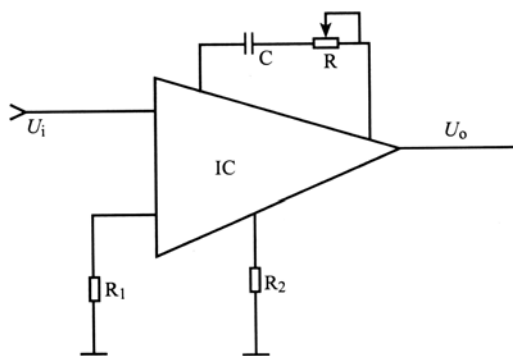


图 1-15 确定消振电容的实验电路

1.4.5 参数不符模拟集成电路的处理

如果使用的模拟集成电路参数不符，可在一定限度内采取改善性能的措施。例如：加辅助调零以改善失调电压、减小失调电流、提高输入电阻值、提高负载能力、适当降低工作电源电压，加大散热片改善散热条件等。

总之，对参数不符的集成电路的处理，是要以模拟集成电路能够稳定、可靠、安全和高性能地工作为基本原则而采取的一种相应措施。

1.4.6 噪声干扰的消除

要消除噪声干扰就要知道噪声的种类及来源，以便于采取正确的方法来减小或消除噪声干扰。

1. 噪声的种类及来源

噪声干扰是模拟电子电路中不需要的信号，应对其进行准确的鉴别，使用模拟集成电路时应采取有效的措施进行消除。

(1) 市电干扰

市电干扰的频率为 50 Hz 或其整数倍，如果模拟电子电路中出现了不需要的、频率为 50 Hz 或其整数倍的信号，还不能完全断定是来自市电的干扰。

区分是市电干扰还是寄生振荡，可以将示波器的扫描同步信号置于市电挡，如能同步，则是市电干扰，因为寄生振荡的频率很难与市电频率（或其整数倍）丝毫不差。

(2) 外部非市电干扰

外部非市电干扰与寄生振荡均是周期性信号。由于外部非市电干扰一般随时间和空间而变化，例如离干扰源较近时干扰就大，离干扰源较远时干扰就小。因此，可通过移动被测电路（有条件时，最好移至屏蔽室内），或调查附近有无频率相同的干扰源存在而确定。

另外，干扰信号往往不是一天 24 小时都存在。例如，高增益的放大器，在其输出端可能输出广播电台的信号，广播电台的信号在电台停播时消失，对于调幅广播信号，还可以在示波器的荧光屏上观察到音频范围的幅度包络变化。

(3) 元器件噪声干扰

元器件的噪声干扰具有随机的性质，显示在示波器的荧光屏上是杂乱无章的信号波形，无论怎样调节示波器的扫描同步信号，改变扫描速度，都不能在示波器上观察到稳定的信号波形。

2. 减小噪声干扰的方法

模拟电路中的集成运算放大器具有高输入阻抗和低输出阻抗的特点，故噪声干扰信号可通过多种渠道（如电源线等）进入高增益的集成运算放大电路。

因此，在要求严格，由集成运算放大电路构成电子设备应用中，必须采取一定的措施，以使噪声干扰降到最低限度。常见的措施主要有以下 6 个方面。

(1) 每个集成运算放大电路都应有旁路措施

对靠近集成运算放大电路的电源线应跨接一只通用的陶瓷旁路电容器。旁路电容器的

电容量必须符合上升时间的要求，且选用温度稳定和精度为 $\pm 10\%$ 的电容器。

(2) 印制电路板的地线应有足够的宽度

大多数噪声干扰信号通常都处于射频段，这些信号具有较强的趋肤效应。因此，设计的印制电路板，在条件允许的条件下，应尽量加宽印制电路板上地线的宽度，以增大地线的表面积，减小地线阻抗，使噪声干扰信号能够顺畅“入地”。

(3) 注意“公共点”和“接地点”的连接方式

接地导线在任何场合均不应用来传送功率。系统中的“接地”和“公共”导线不能构成环路，否则，接地环路就会将噪声引入相应的电路。

(4) 尽量选用小功率电阻器

除了功率损耗或其他问题对电阻器的功率有要求必须满足外，一般在集成运算放大电路中应尽量选用小功率的电阻器。

(5) 要有稳定的高绝缘输入

应用运算放大电路组成的高输入阻抗电路(例如微小电流检测电路、模拟存储电路等)，特别容易耦合进各种噪声。故在电路的装配工艺中，应采用如下的特别措施。

① 提高印制电路板的绝缘性能；对信号输入端采取隔离措施。

② 采用隔离基极的方法。将绝缘性能极好的聚四氟乙烯(绝缘电阻值为 $10^7\text{M}\Omega$)制成的接线柱隔离基板安装在印制电路板上，凡高输入阻抗部分均在此接线柱上连接，从而保证了电路的高绝缘性能，又有一定的抗振性，装配也很方便。

(6) 注意装配方面的问题

集成运算放大电路基本上都在高增益放大电路的基础上构成的。输入端的微小干扰极易影响输出的信号，特别是在输入端的电路装配不当，使耦合进的噪声引起对输出电路的干扰时。

因此，在电路装配时应注意以下4个方面的所示。

① 不要在反相输入端接过长的连接线和不必要的器件。

② 运算放大器输入端加二极管和输入保护时，不要用外壳透明的二极管，即使外壳涂有黑漆层也要注意不能将其漆层碰伤和剥落，以防太阳电池效应产生电势引起对电路的干扰。

③ 运算放大电路输入使用较长屏蔽线时，应考虑牺牲响应速率而加 $10\text{ k}\Omega$ 、 4700 pF 的补偿网络。在装配上注意将屏蔽线良好地固定，不要因其振动等不良因素而使充放电成为一种电容式拾音器的干扰源。

④ 应保证滑动触点、继电器触点、印制电路板边沿接插件、集成电路插头座、线绕和炭膜电位器等的接触性能、不要使其成为干扰源。

1.4.7 要正确使用 CMOS 运算放大器

CMOS 运算放大器具有超低漂移、高增益、高共模抑制比等特点，故是放大直流及缓慢变化的微弱信号理想的集成电路。

1. CMOS 运算放大器的特点

CMOS 运算放大器的特点归纳起来主要有以下6个方面。

(1) 输入阻抗

CMOS 运算放大器的输入阻抗比双极型运算放大器高得多，一般均大于 $10^8\Omega$ 。

(2) 增益带宽及转换速率

一般的 CMOS 运算放大器的频率响应特性逊于双极型运算放大器。但由于双极型运算放大器中要使用频率特性较差的横向 PNP 管，故而在实际应用时，CMOS 运算放大器的频率特性不一定低于双极型运算放大器。

(3) 输入/输出动态范围

CMOS 运算放大器的输入/输出动态范围比双极型运算放大器宽。

(4) 功率损耗

CMOS 运算放大器的功率损耗远比双极型运算放大器要小得多。

(5) 输出负载能力

CMOS 运算放大器的输出负载能力要比双极型运算放大器输出负载能力弱。

(6) 工作电压范围

高压特性的双极型运算放大器较 CMOS 运算放大器的工作电压宽。

2. 使用中应注意解决的问题

CMOS 运算放大器由于其本身的特性，在使用中应特别注意解决的问题有以下两个方面：

(1) 输入端要有保护措施

- ① 在运输存贮中，需要用电材料屏蔽或将外收线全部短路。
- ② 焊接用的电烙铁外壳应良好接地。
- ③ 应保证输入信号 U_i 在以下范围内：

$$U_{SS} \leq U_i \leq U_{DD}$$

式中， U_{SS} ——集成电路负工作电源电压或地电位；

U_{DD} ——集成电路正工作电源电压。

若 U_i 超过 CMOS 运算放大器的电源电压，应加限流电阻器，以防止保护二极管（在集成电路内部）受损引起可控硅效应。

④ 若信号源与 CMOS 运算放大器分别用两组电源供电，应先接通运算放大器电源，再接通信号源电源。关机则反之。

⑤ 不使用的输入端应根据逻辑特性接“0（低电平）”或“1（高电平）”。

⑥ 用长线输入信号时，应加限流电阻器（串接在输入信号线之间）或与接地线绞合（指信号线与地线绞合传输），以防止信号线上的感应尖峰信号产生不良影响。

(2) 寄生可控硅效应的预防

所谓寄生可控硅效应，就是当 CMOS 器件受某种意外因素的激发，集成电路的电源引脚 U_{DD} 与 U_{SS} 间产生的一种低阻状态，从而使电源剧增而瞬间导致集成电路损坏的现象。这就是 CMOS 集成电路中的 PNP 四层结构所内存的寄生可控硅效应。

对于 CMOS 运算放大器的这种寄生可控硅效应现象，除了在工艺方面进行改进外，应用集成电路时最好对其供电电源进行限流。通常，寄生可控硅效应的维持电流大于 30 mA，因此供给 CMOS 运算放大器的电流只要限制在 30 mA 以内，就可保证不会引起可控硅效应。

1.4.8 集成电路实际应用中遇到的问题及处理

目前, 模拟集成电路已应用到各种线性领域, 尤其是集成运算放大器是一种具有很高放大倍数的直接耦合放大器, 当接适当的输入网络和反馈网络时, 可以对信号进行运算、处理、变换, 还可以产生各种各样的波形。对于一些低噪声、高速率的运算放大器, 由于价格较贵, 故在使用时应考虑它们的保护问题。尽管许多运算放大器内部设有各种保护电路, 但毕竟不太完善, 有必要从外接元件上下功夫来提高运算放大器使用的安全性。对集成运算放大器在使用中的保护, 主要有以下 4 个方面。

1. 电源反接保护

电源反接保护电路如图 1-16 所示, 这是在正、负电源引线上分别串联一只二极管 VD1、VD2。当电源极性连接正确时, VD1、VD2 均导通, 运算放大器正常得电工作; 当电源极性接反时, VD1、VD2 均截止, 从而保护运算放大器不致损坏。

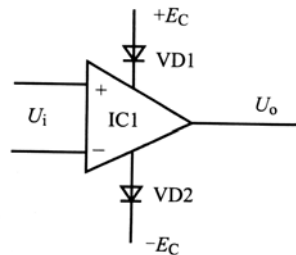


图 1-16 电源反接保护电路

2. 电源过压保护

电源过压保护的常用电路如图 1-17 所示。为了防止电源电压突然升高导致运算放大器损坏, 则可按图 1-17 (a) 所示, 在正、负电源上分别设置一个稳压管和一个场效应管。稳压管应选择击穿电压大于运算放大器正常的工作电压, 但小于运算放大器的最大额定电压, 其保护原理如下。

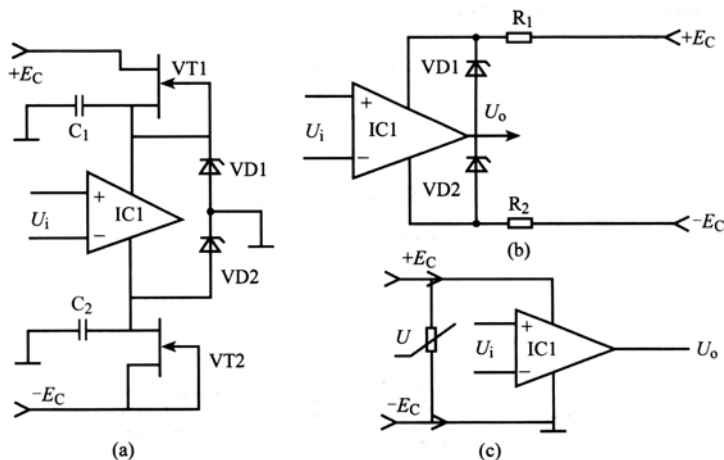


图 1-17 电源过压保护的常用电路

① 在正常的电源电压以下时, 稳压管 VD1、VD2 截止, 运算放大器正常工作, 电流低于场效应管饱和漏电流 I_{DSS} , 场效应管处于可变电阻区, 故交流电阻值很小, 只相当于在电源线上串联了一个很小的电阻器。

② 当电源电压突然升高时, 稳压管 VD1、VD2 被击穿, 使电源电压钳位, 同时稳压

管的反向电流使场效应管 VT1、VT2 电流提高到 I_{DSS} ，于是场效应管处于饱和区，交流电阻值很大，呈现高阻抗恒流源特性。

从以上分析不难看出：稳压二极管 VD1、VD2 在电路中起钳位电源电压的作用；场效应管 VT1、VT2 在电源突然增加时，利用它的高阻抗恒流源特性来承受所超出的电压，从而起到了保护运算放大器的作用。

下面重点介绍两种过压保护的方法。

(1) 利用稳压管的稳压特性实现过压保护

图 1-17 (b) 所示是利用稳压二极管稳压特性来实现过压保护的，当运算放大器在受到过压冲击时，稳压二极管 VD1、VD2 处于被击穿状态，使运算放大器正、负电源间电压始终恒定，不受过压冲击的影响。

(2) 利用压敏电阻器的压敏特性实现过压保护

图 1-17 (c) 所示是利用压敏电阻的压敏特性来实现过压保护的，当运算放大器在受到过压冲击时，压敏电阻器迅速减小，从而使电压对运算放大器的冲击减小。

3. 输入保护

由于集成运算放大器对输入信号电压有一个极限要求，超过此电压值，则集成运算放大器不能正常工作，甚至会烧坏。因此，有必要加装输入保护电路。输入保护电路的 4 种常见形式如图 1-18 所示，对这 4 种电路分别介绍如下。

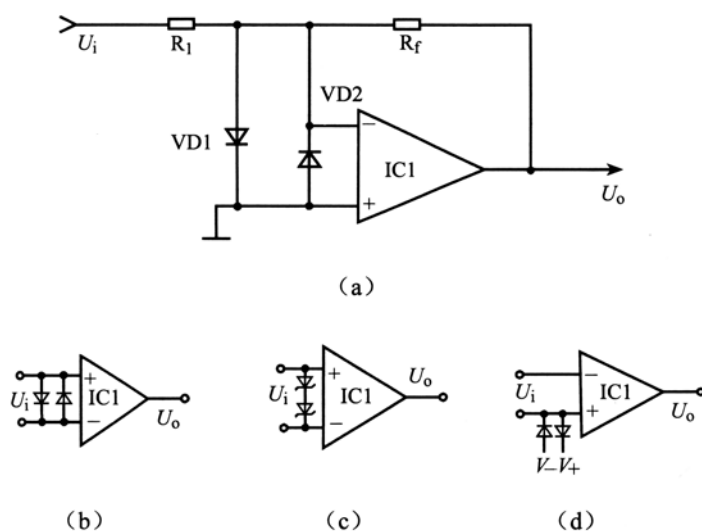


图 1-18 输入保护电路的 4 种常见形式

(1) 并联二极管加限流电阻器的输入保护

图 1-18 (a) 所示是在运算放大器的输入端接入电阻器 R_1 和两个反向并联的二极管 VD1、VD2。当输入信号幅度较小，其绝对值小于 VD1、VD2 的导通电压 U_D 时，VD1、VD2 截止，不起作用；当输入信号幅度较大，其绝对值大于 VD1、VD2 的导通电压 U_D 时，VD1、VD2 中有一只导通，使运算放大器输入端的输入信号幅度被钳制在 $\pm U_D$ 以内，从而防止运算放大器因输入电压过高而损坏。

(2) 共模输入保护

图 1-18 (b) 与 (c) 所示是共模输入保护电路。其中:

① 图 1-18 (b) 所示是输入电压范围为 $\pm 0.6 \sim \pm 0.7 \text{ V}$, 缺点是输入电阻值降低了。

② 图 1-18 (c) 所示电路中, 稳压二极管的稳压值可根据运算放大器允许输入的最大信号峰值来选择, 这种输入保护电路的输入电压范围较宽, 且输入电阻值亦较大, 故在大信号输入时常采用这种保护电路方式。

(3) 差模输入保护

图 1-18 (d) 所示是一种差模输入保护电路, 其运算放大器作差动放大时使用。

(4) 输入保护实际应用电路

图 1-19 所示是选自一种漏电脉冲继电器由运算放大器构成的单元放大电路, 是一种输入保护实际应用电路, 该单元电路是将电流互感器要测到的信号进行放大。电路中的 VD7、VD8 (2 只 1N4002) 并联在运算放大器 LM324 的输入端⑫、⑬脚, 就是起防止输入信号过强而使运算放大器损坏的作用, 从实际使用效果来看, 这种保护措施十分有效。

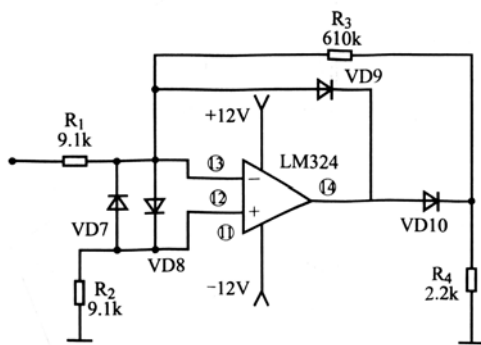


图 1-19 输入保护的实际应用电路

事实上, 这种保护措施不可避免地会在运算放大器中产生自锁现象。

所谓自锁现象, 简单地讲就是过强的输入信号使运算放大器输入级的三极管处于饱和状态, 而使运算放大器不能调零, 产生输入信号加不进去的现象。这种自锁现象的出现有时并不会造成运算放大器的损坏, 断电以后, 经过一段时间可能恢复正常。但应尽量避免产生这种情况, 毕竟它会影响运算放大器的正常工作; 如果自锁现象严重时, 也有可能烧坏运算放大器。

对于图 1-18 (a) 所示电路, 还可以避免在运算放大器中产生“堵塞”现象。

4. 输出保护

由于集成运算放大器在处于过载或短路状态时, 输出电流将明显增大, 以至于损坏运算放大器, 故应有保护措施, 输出保护常用的有以下 4 种电路。

(1) 镜像电流源保护

采用镜像电流源保护的电路如图 1-20 所示。图中 VT1、VT3 串联在运算放大器与电源之间, VT1 和 VT2 及 VT3 和 VT4 分别组成镜像电流源, 通过它们的电流基本上是恒定的, 同时 VT2、VT4 管还都具有温度补偿作用。VT2、VT4 的基极电位, 亦即 VT1、VT3 的基

极电位基本上是恒定的，因此流过运算放大器的电流（即 VT1 和 VT3 的电流）受到 VT2 和 VT4 基极电位的制约。

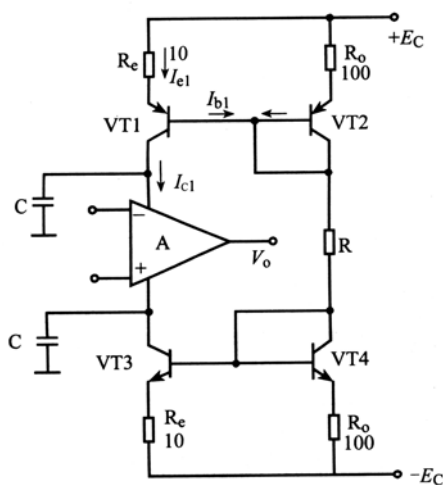


图 1-20 镜像电流源保护电路

① 当流过电源内的电流小于运算放大器的总电流指标时， 10Ω 电阻器上的压降很小，三极管 VT1、VT3 处于饱和和导通状态，电源上相当于串联了一个小电阻器 R_{ess} （VT1 饱和和导通后 c-e 结间的电阻器）。

② 当流过电源内的电流超过运算放大器的允许电流时，就会使电流源进入恒流状态。这时 VT1 和 VT3 具有很高的输出电阻值（交流电阻值）。只要再增加一点电流，在恒流管 VT1 和 VT3 管的集电极分别与正、负电源之间就会产生较大的电压降，从而使供给运算放大器的电源电压降低，并限制了运算放大器的总电流，所以保护电路不仅限制了电流，还起到了限制功率的作用。

（2）串联输出限流电阻器保护

输出串联电阻器、场效应管及用稳压管钳位的保护电路如图 1-21 所示。

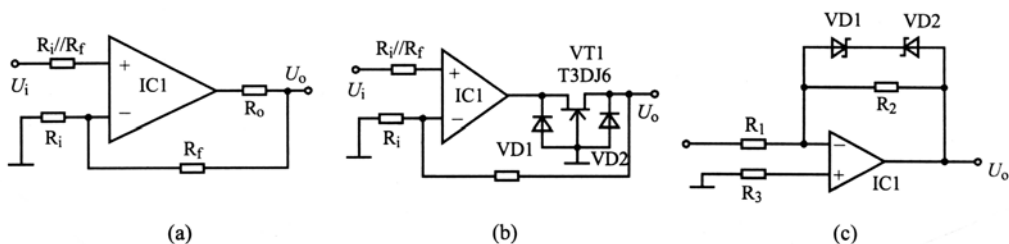


图 1-21 输出串联电阻器、场效应管及用稳压管钳位的保护电路

图 1-21 (a) 所示是一种串联输出限流电阻器的保护电路。电阻器 R_o 的位置只能放在反馈环内，否则将会使输出电阻值明显增大，从而影响输出功率。

(3) 加接场效应管保护

图 1-21 (b) 所示是一种在输出端加接场效应管的保护电路。这种保护方式可以保证电路输出较大的功率。

(4) 稳压管钳位保护

图 1-21 (c) 所示是利用稳压管钳位电路作输出过压保护，将两个硅稳压管对接后连接在运算放大器的反馈电路中。正常工作时，输出电压 U_o 小于稳压管稳定电压 U_Z ，该支路不起作用。

当输出电压大于 $(U_Z+0.6\text{ V})$ 时，就有一个稳压管导通，另一个稳压管反向击穿，负反馈加强，反输出电压限制在 $\pm(U_Z+0.6\text{ V})$ 的范围内，从而防止了输出过电压。

1.5 拆装集成电路的方法

集成电路由于引脚多、排列紧凑，拆装不小心常会使引脚断裂，烙铁焊的时间太长也会使集成电路损坏或性能变差。仅用电烙铁将集成电路从印制电路板上焊下来是不容易的，稍不小心就有可能将印制板上的铜箔带掉，给后来的工作带来困难，或损坏新的集成电路。

1.5.1 普通工具拆装方法

采用普通工具拆装集成电路通常有以下 10 种较简便的方法。

1. 金属编织线吸锡法

取一段可焊性良好的多股金属编织线，并浸上松香酒精溶液，贴在集成电路引脚上，其示意图如图 1-22 所示。然后使用不带污垢和锡滴的烙铁，将该引脚上的焊锡熔化，再旋动编织线，这样编织线就把该引脚上的焊锡吸下来了。若一次未能吸净，可将编织线已吸锡的一端用剪刀剪去后再吸。如此反复，直到所卸集成电路各引脚全部脱离印制电路板为止。只要把焊锡吸完，用尖镊子或“一”字螺丝刀轻轻一撬，集成电路即可取下。

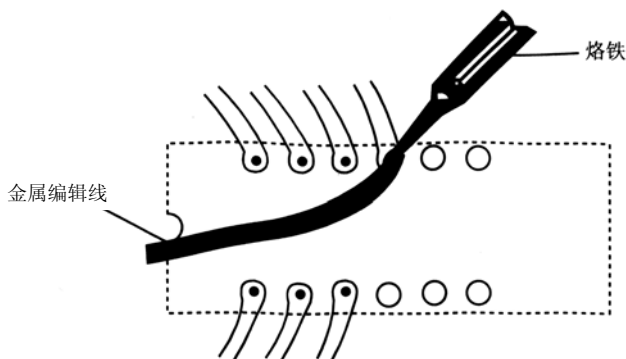


图 1-22 金属编织线吸锡拆卸集成电路引脚示意图

2. 吸锡器吸锡拆卸法

吸锡器一般有两种，一是本身无加热装置，靠电烙铁把焊锡熔化后，利用吸锡器产生的负压把熔化的焊锡从每个引脚吸走，其示意图如图 1-23 所示；二是具有烙铁头的自动吸锡器，这是一种常用的专业方法，使用工具为普通吸、焊两用电烙铁（价格一般为 20~30 元，功率在 35 W 以上）。拆卸集成电路时只要将加热后的两用烙铁头放在要拆卸的集成电路引脚上，待焊点锡熔化后被吸入吸锡器内，全部引脚上的焊锡吸完后集成电路即可拿掉。

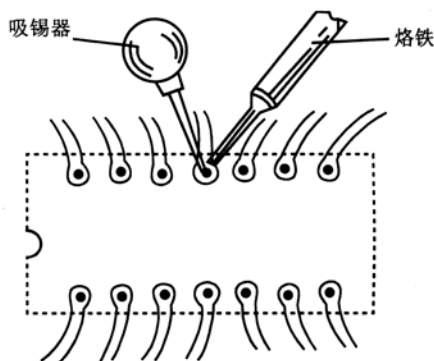


图 1-23 用吸锡器吸锡拆卸集成电路方法示意图

(1) 自制吸锡器

如果没有上述的吸锡器，也可自制一个简单的吸锡器。具体方法：

找一个旧血压计用的压气球（或其他皮囊），将其一端用胶带封死，将另一端插入一根玻璃滴管，插入处不能漏气。滴管的吸锡口不宜过大，直径最好在 2~2.5 mm 之间。

(2) 自制吸锡器的使用

使用时，左手先将压气球捏紧，以排出球内气体，再将吸锡口对准焊点，然后用烙铁熔化焊点上的焊锡，此时立即放松左手所捏紧的压气球，使已熔化的锡球连同空气一起迅速吸入，这样就可将锡吸干净。如一次吸不干净，可重复几次，直到吸干净为止。

另外，要注意滴管吸锡口的锥度不宜过小，否则焊锡容易堵住吸锡口。当吸锡管内存有一定数量的锡时，应将管子拔出，将其内部锡倒净后再吸，以免堵住吸锡口。

3. 粗铜丝成形加热法

根据集成电路引脚的排列形状，制作一件拆卸集成电路的小工具。如双列直插式集成电路，可用一根粗细适当的铜丝弯成“U”字形状，其示意图如图 1-24 所示。使“U”字铜丝正好位于集成电路两排引脚焊点的内侧或外侧，然后用烙铁在“U”形铜丝中间加热。当集成电路各引脚焊点由于铜丝受热而熔化时，就可从印制电路板的下面取下集成电路。

也可用厚 2 mm 左右的红铜板，按所拆集成电路引脚排列尺寸弯成“U”形，并在刀口处锉光镀锡，使用方法同上。

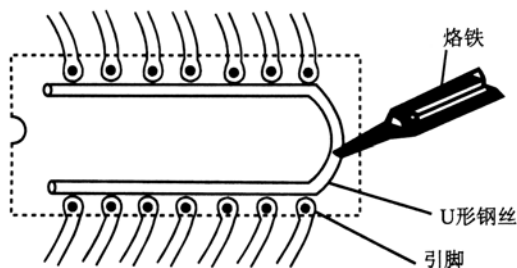


图 1-24 用“U”形铜丝拆卸集成电路方法示意图

4. 特制烙铁头熔焊

该方法虽然简单易行、效率高，但需要特制一个专用烙铁头，其形状刚好能同时接触到所拆集成电路的每一个引脚。不同数量引脚的集成电路要制成不同尺寸的烙铁头，电烙铁的功率要大些，一般采用大于 50 W 内热式或 100 W 外热式。这种方法尤其适用于同规格、批量大的集成电路拆卸工作，但也可以采用“Z”形烙铁头，一头插入外热式电烙铁，另一头的长度等于集成电路长度，这样可单边同时熔化。如果两边来回加热，另一手用镊子，即可夹出集成电路。

为了维修方便，可按常用集成电路引脚尺寸做一套大小不等的专用拆卸工具，供维修集成电路专用。

5. 医用空心针头法

找一只大小适当（指指尖内径空心尺寸能正好套在集成电路引脚上，其外径能插入引脚孔内）的医用针头，用小锉刀把原有尖端针口锉平，再把成型的平口外圆锉成斜坡状。使用时采用尖头烙铁将引脚焊锡熔化，此时把针头套住引脚，插入印制板孔内，其示意图如图 1-25 所示。然后边移开烙铁边旋转针头，使熔锡凝固，最后拔出针头。这样，该引脚就和印制板完全脱离。按照同样的方法，直至集成电路所有引脚与印制电路板完全脱开后，再用小起子或小锥子从正面轻轻撬起集成电路。

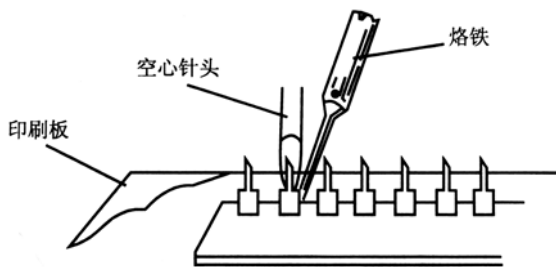


图 1-25 医用空心针头拆卸集成电路方法示意图

6. 多股铜线吸锡拆卸法

这种方法就是利用多股铜芯塑胶线，去除塑胶外皮，使用多股铜芯丝（可利用短线头）。

使用前先将多股铜芯丝浸入松香酒精溶液，待电烙铁烧热后将多股铜芯丝放到集成电路引脚上加热，这样，引脚上的焊锡就会被铜丝吸附，吸上焊锡的部分可剪去，重复进行几次就可将引脚上的焊锡全部吸走。

7. 电烙铁与毛刷配合拆卸法

该方法简单易行，只要有一把电烙铁和一把小毛刷即可。拆卸集成电路时，先加热电烙铁，待温度达到将引脚上的焊锡熔化时，趁机用毛刷扫掉熔化的焊锡，这样就可使集成电路的引脚与印制板脱离。每个引脚都这样处理后就可用小起子轻轻撬下集成电路了。

8. 添加焊锡熔化拆卸法

这种方法的实质是在待拆卸集成电路引脚上再增加一些焊锡，使每列引脚的焊点连起来，以利于传热，便于拆卸。

拆卸时，用电烙铁每加热一列引脚就用尖镊子或小“一”字螺丝刀撬一撬，两列引脚轮换加热，每加热一边就向外轻撬，两边来回动作，直至拔出集成电路。一般情况下，每列引脚加热两次即可拆下。

9. 焊锡熔化吹气法

首先找一根洁净的、喝饮料用的塑料吸管含在嘴里，然后用普通内热式电烙铁烫集成电路引脚与印制电路板上的焊点，当焊锡充分熔化后，用吸管的下部出口对准焊点猛吹，引脚上的焊锡就会在很短的时间内被清除干净。这时候，引脚就会与印制电路板脱离，集成电路就会很容易地拆下来。

吸管也可用圆珠笔芯或拉杆电视天线中最细的一节代替，但一定要消毒后使用。

10. 印制板垂直去锡拆卸法

印制板垂直去锡拆卸法有一定的技巧，拆卸时还要注意一些问题，具体方法介绍如下。

(1) 操作方法

如果没有以上任何小工具，也可用下述印制板垂直放置去锡法拆卸集成电路。

① 焊接前，先将烙铁头部用锉刀锉成 2~3 mm 左右的宽度，并保持其处于良好的吸锡状态。

② 将要拆集成电路所在的印制电路板的焊接面面向焊接者，并按垂直方向放置。

③ 将烙铁蘸取少许松香（切勿使用焊锡膏等腐蚀性大的污剂），迅速除去集成电路引脚焊点上的锡。

(2) 注意问题

为了更好地除去焊锡，以下 3 点必须特别注意。

① 烙铁头部必须与印制板保持 45° 左右的倾角，以便焊点上的焊锡顺着前面斜坡流到烙铁上。

② 烙铁头必须从焊点的上部逐步向下移动，使引脚焊点上的焊锡从上向下流到烙铁头上，或流离引脚焊点的印制线上。

③ 一般印制电路板焊点的孔径都比集成电路引脚的直径粗一些，一旦焊点上部的焊锡

被烙铁吸走或流离后，集成电路引脚就会露出。此时要趁势轻轻地将集成电路引脚向孔上方推，焊点下部的焊锡吸走后，引脚便与焊点脱离。

采用与上述同样的方法，只要将集成电路所有引脚全部脱离印制电路板上的焊点后，就可很容易取下集成电路。

1.5.2 热风枪拆装集成电路的方法

现在很多电子产品都采用表面安装集成电路，对这类集成电路拆卸或安装通常采用热风枪。

1. 热风枪的使用

热风枪、热风焊台的喷嘴可按设定温度对集成电路吹出不同温度的热风，以完成拆卸或焊接。拆卸集成电路较容易，但焊接集成电路有一定技巧，故这里以焊接集成电路为主介绍热风枪使用方法。

热风枪的喷嘴气出口设计在喷嘴的上方，口径大小可以调整，故不会对集成电路附近的元件造成热损伤。

正确使用热风枪通常要注意以下 4 个问题。

(1) 锡球应完全熔化

表面安装集成电路在拆卸之前，所有引脚焊球均应完全熔化，如果有未完全熔化的焊球存在，起拔集成电路时较易损坏这些焊球连接的焊盘。

同样，在焊接表面安装集成电路时，如果有未完全熔化的焊球存在，就会造成焊接不良。

(2) 操作间隙应合适

为了便于操作，热风枪喷嘴内部边缘与所焊集成电路之间的间隙不可太小，至少要保持 1 mm 间隙。

(3) 植锡网应合适

植锡网的孔径、孔径数、间距与排列均应与集成电路一致。孔径一般是焊盘直径的 80%，且上边小、下边大，这样有利于焊锡在印制板上涂敷。

(4) 防印制板变形

为防止印制板单面受热变形，可先对印制板反面预热，温度一般控制在 150~160℃；一般尺寸不大的印制板，预热温度应控制在 160℃ 以下。

2. 焊接温度的调节与掌握

热风焊对焊接的温度有一定的要求，必须熟练地掌握和合理地调节，否则会造成不良的后果。

(1) 焊接参数

热风焊最佳焊接参数是焊接面温度、焊接时间和热风焊台的热风风量三者的最佳组合。对这三者的设定，通常应考虑印制板的层数（也就是厚度）、面积、内部导线的材料，集成电路的尺寸、焊锡膏的成分和锡的熔点、印制板上元器件的多少（这些元器件也全吸收热量）、集成电路焊接的最佳温度及可以承受的温度、最长焊接时间等。一般情况下，集成电

路面积越大（多于 350 个焊球），焊接参数的设定越难。

（2）焊接温度区段

焊接中应注意掌握以下 3 个温度区段。

① 预热区：预热的目的有两个，一是防止印制板单面受热变形；二是加速焊锡熔化。对于面积较大的印制板，预热更重要。由于印制板本身的耐热性能有限，温度越高，加热时间应越短。普通印制板在 150°C 以下是安全的（时间不能太长）。常见的 1.5 mm 厚小尺寸印制板，可将温度设定在 $150\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，时间在 90 s 以内。

② 中温区：印制板底部预热温度可以和预热区相同或略高于预热温度，喷嘴温度要高于预热区温度、低于高温区温度，时间一般在 60 s 左右。

③ 高温区：喷嘴的温度在本区内达到的峰值。温度应高于焊锡的熔点，但最好不超过 200°C 。

除了要正确选择各区的加热温度和时间外还应注意升温速度。一般在 100°C 以下时，升温速度最大不超过 6°C/s ， 100°C 以上最大的升温速度不超过 3°C/s ；在冷却区，最大的冷却速度不超过 6°C/s 。

对于陶瓷封装的集成电路与塑料封装的表面安装集成电路，在焊接时上述参数有一定的区别。前者焊球直径比后者的焊球直径应大 15% 左右。

习 题 一

1. 填空题

- (1) 电子电路按其功能可分为_____电路和_____电路两大类。处理_____信号的集成电路称为_____集成电路。
- (2) 模拟信号是指_____的电信号, 又称_____信号, 典型的模拟量为_____。
- (3) 模拟电路可分为_____电路和_____电路两大类。相应的就有_____电路和_____电路。

2. 选择题

- (1) 模拟电路是以_____或_____为模拟量 ()
- (a) 电压, 电阻值 (b) 电压, 电容量 (c) 电压 电流
(d) 电流, 电阻值 (e) 电流, 电容量
- (2) 在图 1-16 所示电路中, 二极管 VD1、VD2 的作用是下面所列的哪一个 ()
- (a) 隔离 (b) 整流
(c) 保护 (d) 检波
- (3) 在图 1-17 (a) 所示电路中, 当电源过压时, 稳压二极管 VD1、VD2 的状态是下面所列的哪一个 ()
- (a) VD1 截止, VD2 导通 (b) VD1 与 VD2 均导通
(c) VD1 与 VD2 均截止 (d) VD1 导通, VD2 截止
- (4) 在图 1-17 (c) 所示电路中, 当运算放大器受过压冲击时, 压敏电阻器的阻值会发生怎样的变化 ()
- (a) 增大 (b) 减小
(c) 不变 (d) 状态不定
- (5) 在图 1-18 (a) 所示电路中, 当输入信号的幅度绝对值大于 VD1、VD2 的导通电压时, VD1 与 VD2 的状态是下面所列的哪一个 ()
- (a) VD1 与 VD2 均导通 (b) VD1 与 VD2 均截止
(c) VD1 截止, VD2 导通 (d) VD1 导通, VD2 截止
- (6) 集成电路 HA1366W 是正向引脚型集成电路还是反向引脚型集成电路 ()
- (a) 正向 (b) 反向 (c) 不能确定

3. 问答题

- (1) 什么是模拟电路? 它与数字电路有什么不同?

(2) 模拟电路噪声有哪些特征？怎样鉴别和消除？

(3) 使用模拟集成电路时，为什么要有一定的保护措施？

(4) 模拟集成电路有哪几种封装方式？怎样识别？什么是正向引脚型和反向引脚型集成电路？各有什么特征？

(5) TA7240AP 与 TA7241AP 哪一个正向引脚型集成电路？哪一个反向引脚型集成电路？

(6) TA7331P 与 TA7331F 能否直接互换？为什么？怎样才能进行互换？



第 2 章 典型运算放大器的识图与应用快捷入门

集成运算放大器是电子技术领域中的一种最基本的放大器件，在自动控制、测量技术、日用电器等多种领域中应用相当广泛。

集成运算放大器简称集成运放，其最初是由晶体管分立器件构成的，主要用于模拟电子计算机中，实现加法、乘法、微分、积分等数学运算。数字集成电路出现以后，集成技术就应用于模拟电路，从而产生了集成运算放大器。使原来十分复杂的分立元器件组成的电路集成在一块很小的芯片上，其性能优异、稳定可靠、通用性强。

2.1 集成运算放大器识图与应用的基本知识

集成电路是在半导体制造工艺的基础上将许多元器件与连接导线所组成的完整电路，用统一工艺程序制在一小块硅单晶片上，成为不可分的固体组件。集成电路可分为数字集成电路和模拟集成电路两大类。

2.1.1 集成运算放大器的类型

集成运算放大器是集成电路中模拟集成电路的一个重要部分，它实际上是一种双端输入、单端输出、高增益、高输入电阻值、低输出电阻值的多级直接耦合放大器。当给其外加不同性质的反馈网络时，能实现一系列各种各样的电路功能。国产集成运算放大器有通用型和特殊型两大类。

1. 通用型

通用型有通用 1 型（低增益），通用 2 型（中增益），通用 3 型（高增益）三类，通用型的指标比较均衡全面，适用于一般电路。

2. 特殊型

特殊型有高精度型、高阻抗型、高速型、高压型、低功率损耗型及大功率型等，特殊型的指标大多数有一项指标非常突出，它是为满足某些专用的电路需要而设计的。

2.1.2 集成运算放大器的特点

集成运算放大器，一般是用厚约 $0.2\sim 0.5\text{ mm}$ ，面积约为 5 mm^2 的 P 型硅作基片（或称为衬底），采用与硅平面晶体管相似的生产工艺程序，制作成含有数十个晶体管、二极管、电阻器、电容器及它们之间的连接导线的完整电路，从而形成了固体组件。外面通常用金属圆壳、塑料结构封装，大小和一般小功率半导体管及双列 8 脚，双列 14 脚、双列 16 脚集成电路类似，与分立元件电路比较，用集成工艺生产的集成运算放大器主要有以下 8 个方面的特点。

1. 有利于减小温度漂移

在集成运算放大器中，所有的元器件处在同一硅片上，距离非常近，又是通过相同的工艺过程制造出来的，这使同一芯片内的元器件参数绝对值有相同的偏差，即元器件不仅具有较好的对称性和一致性，而且元器件之间温度差异很小，温度一致性较好，容易制成两个特性相同的管子和两个电阻值相同的电阻器，故尤其适用于作差分式放大器。因此，集成工艺给集成运算放大器带来的第一个特点就是其输入级都无例外地采用集成差分放大器。由此可以减小温度漂移和提高共模抑制比。

2. 采用半导体体电阻器作电阻器

集成运算放大器中的电阻器大多数是由硅半导体体电阻器构成的，电阻值范围一般为几十欧至 $20\text{ k}\Omega$ ；制造电阻值较高和较低的电阻器有一定的困难。如要求电阻值较大，则占用的硅片面积也大，不宜采用。此外，电阻值的精度也不容易控制，电阻值误差可达 $10\%\sim 20\%$ 。所以，在集成运算放大器的电路中，尽量不采用高电阻值的电阻，必要时，也可用半导体三极管等有源器件来代替，或采用外接电阻器的方法来解决。

3. 用 PN 结电容器取代电容器

在集成运算放大器中，只制作小于 200 pF 的电容器，或尽量不用电容器。由于集成运算放大器中的电容器都是 PN 结反向偏置下的结电容构成，误差较大，而且制造一个电容器所用硅片的面积，相当于 10 个左右的晶体三极管和 $100\text{ k}\Omega$ 电阻器所占用的集成芯片的面积。

4. 芯片内不用电感器

在集成运算放大器中，制造电感器较难实现，所以集成电路都采用直接耦合方式。这样就可使电路获得较好的低频响应，并可节省硅片面积。

5. PNP 管做成横向的

集成运算放大器中的 PNP 管大多数做成横向的，其结构示意图如图 2-1 所示。即从发射极流向集电极的电流是沿硅片横向的方向。其结构如图 2-1 (a) 所示。

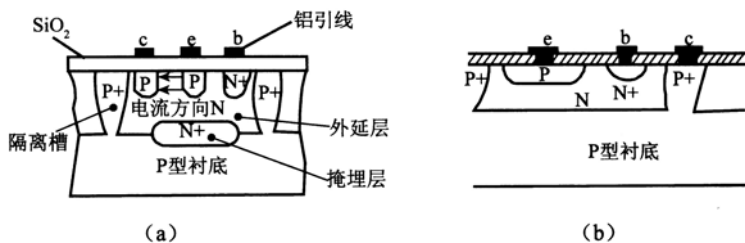


图 2-1 PNP 型晶体三极管结构示意图

由于集成电路中所有的元器件都制作在同一硅片上，为了避免它们之间的互相影响，

必须将硅片划分成许多彼此隔离的区域，各元器件就制造在各自的区域内。通常将每一隔离区域称隔离岛。

在目前的集成工艺中，大多数采用反向偏置的 PN 结隔离方式。一般集成电路是以 P 型半导体为衬底的，通过氧化，光刻和扩散形成 N^+ 掩埋层，而后进行外延生长，在衬底和掩埋层上形成高电阻率的 N 型外延层。横向 PNP 管可以和 NPN 管同时制成，工艺简单方便。它是在外延层上制作出两个靠得很近的 P 区和 P^+ 隔离槽，这两个 P 区分别作为横向 PNP 管的发射区和集电区，外延层是它的基区。隔离槽穿透处延层与衬底相连通。

为了使 N 型隔离岛与周围 P 区之间的 PN 结处于反向偏置， P^+ 隔离槽和衬底接在电路中最负的电位上，否则就不能起隔离作用。因此，一般情况下，不能将衬底作为集电极，构成如图 2-1 (b) 所示的纵向 PNP 管。

由于工艺水平的限制，横向 PNP 管的基区不能做得很薄，同时发射区又不是高掺杂的，所以它的 β 很小，一般小于 10。

6. 温度补偿元件多由半导体三极管构成

集成运算放大器中的二极管是将三极管的集电极与基极短接后代替的，如图 2-2 所示的 b-e 结二极管，它是将 b、e 作为一个二极管，称为发射结二极管，这种连接方法的二极管，其正向压降的温度系数接近于同类型三极管的 b-e 结温度系数，从而能较好地补偿半导体三极管发射结的温度特性。

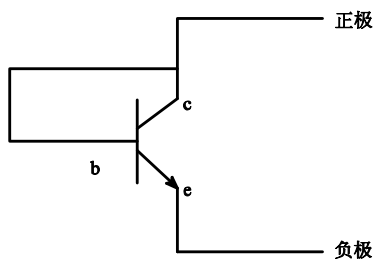


图 2-2 b-e 结二极管

7. 多采用复合管和复合电路

在集成运算放大器中，经常采用复合管和复合电路，如共射-共基或共集-共基电路结构。例如：差分输入级，通常要求其具有电流增益大，反向击穿电压高等性能，利用复合结构可以同时满足这两方面的要求。将击穿电压低的超 β (2000~10000) 晶体管和低 β 而击穿电压较高 ($BV_{ceo}=80\sim90\text{ V}$) 的横向 PNP 管，接成共射-共基电路，就是最好的例子。

8. 设计思路与分立元器件不同

由于结构上的特点，集成运算放大器在电路设计思路上和分立元器件电路有较大的差别，主要是集成晶体管比集成电阻器、电容器容易得多，因此主要是用有源器件——晶体三极管代替无源元件（电阻器，电容器等），将无源元件的数量减到最少。此外，集成运算放大器还有电源电压低 ($E_c<\pm 20\text{ V}$) 和功率损耗低 ($P<100\text{ mW}$) 的特点。

2.1.3 集成运算放大器的基本结构

集成运算放大器是一种高增益、高输入阻抗的直接耦合放大器，通常由输入级、中间放大级和输出级等三个基本部分构成。其典型电路如图 2-3 所示。

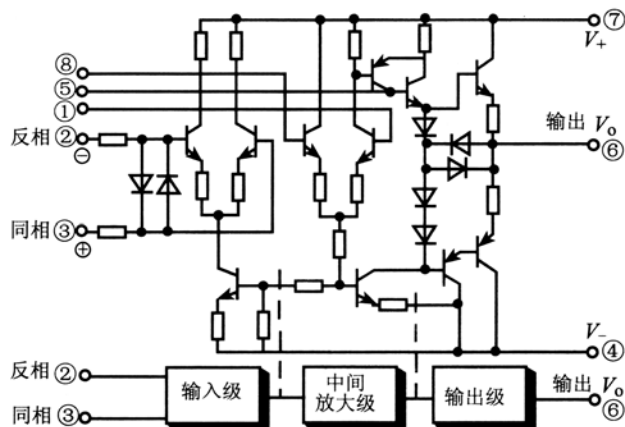


图 2-3 集成运算放大器的典型电路

1. 输入级

集成运算放大器的输入级，一般采用恒流源的差分放大器，有两个输入端。

(1) 同相输入端

信号若从这一端输入，在输出端可得到与输入端极性相同的同相信号。

(2) 反相输入端

信号若从这一端输入，在输出端可得到与输入端极性相反的反相信号。

输入级是集成运算放大器组成的关键部分，对它的要求是高增益，大的共模抑制比，高输入阻抗和允许较大范围的信号输入。信号可根据需要从某一端输入，也可同时从两个端子作差分输入。

2. 中间级

中间级除了起放大作用外，还必须完成直流电平位移，使运算放大器输入为零时，输出电平亦为零。因为在集成运算放大器中，放大级之间都采用直接耦合方式，而直接耦合放大器中，后级的基极输入直流电平就是前级集电极输出直流电平。因 NPN 管的集电极电位总比基极电位高，经过逐级递增的结果，输出直流电平不断升高，就不能满足在零输入时对应的输出电平为零的要求。为解决这一问题，通常采用在级间插入 PNP 管来实现直流电平位移。

中间级也称为中间增益级，对该级的一般要求，除了要有足够高的增益以外，还常需要有电平（电平是表示电学量电压、电流、电功率等相对大小的参数）位移和双端变单端的电路。

3. 输出级

对输出级的一般要求是要有较大的额定输出电压或电流，要有较低的输出电阻值，以适应不同负载的要求。

由于射极输出器具有输入电阻值高、输出电阻值低、电流增益大和电压跟踪性好的特点，所以它最适合做集成运算放大器的输出级，有的为了进一步减小输入电阻值，提高带负载的能力，射极输出器还常用复合管。

另外，为了使射极输出器的电压放大倍数尽量接近于 1，同时利用集成电路工艺上的特点，射极输出器发射极电阻器常用恒流源电路来代替。

2.1.4 集成运算放大器的电路图形符号

集成运算放大器图形符号及电压放大特性曲线如图 2-4 所示，集成运算放大器的符号如图 2-4 (a) 所示，用一个三角形来表示，反相输入端用“-”号表示，同相输入端用“+”号表示，三角形顶端是输出端。集成运算放大器还有一个正电源端和一个负电源端。此外，大多数产品还有调零端，频率补偿端和偏置等辅助引出端，在图 2-4 (a) 所示电路中未画出。不同的运算放大器，引脚的编号也不同，使用时应查产品说明书。

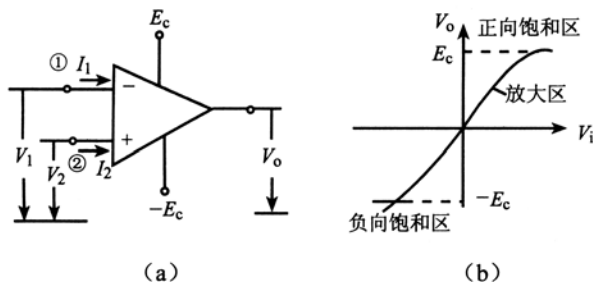


图 2-4 集成运算放大器图形符号及电压放大特性曲线

2.1.5 集成运算放大器的基本特性

由于运算放大器的输入级是差分放大器，而它的中间级和末级只是把差分放大器输出的信号进行放大，故它的输入、输出电压的关系和差分放大器相同，即：

$$V_o = K(V_2 - V_1)$$

式中， V_2 ——运算放大器同相信号输入端电压；

V_1 ——运算放大器反相信号输入端电压。

由此可见，输出电压 V_o 和同相输入端电压 V_2 及反相输入端电压 V_1 之差成正比。 K 为比例系数，就是电压放大倍数。其电压放大特性还可用图 2-4 (b) 所示的曲线来表示。图 2-4 (b) 所示曲线表明，只有在线性放大区内，才能使：

$$V_o = KV_i \quad (V_i = V_2 - V_1)$$

当输入差分信号 V_i 较大时，由于受电源电压的限制，输出电压 V_o 接近电源电压后不能

再进一步增加，放大器便进入饱和区。

2.1.6 集成运算放大器的适用场合

在电子电路中，运算放大器常有以下三种应用：

- ① 信号的线性放大器；
- ② 信号电压的比较器；
- ③ 信号的数字运算器。

集成运算放大器产品已经形成一个庞大的家族，有适用于各种特殊场合的品种，如：一般应用可选通用型；信号频率高的可选高速型；微弱信号可选高阻低噪型；电池供电设备可选低功率损耗型；用于测量仪器的可选高精度型等。再根据使用特点确定运算放大器的指标（差模电压放大倍数、输入电阻、共模抑制比、失调电压温漂、失调电流温漂、最大共模电压及最大差模电压等），根据主要指标，从集成电路手册中选取相应的型号。

2.2 集成运算放大器应用电路与识图

晶体管的共射、共基、共集三种组态能帮助我们识别和分析各种复杂的晶体管电路。在运算放大器组成的各种应用电路中，如果将运算放大器看作是一个独立的器件，从它的连接方式上看，也有三种基本组态，即反相输入、同相输入和差分输入。如果能将运算放大器处在这三种组态下的特性分别搞清楚，能提高我们对于运算放大器应用电路的分析能力。

2.2.1 集成运算放大器反相交流放大应用电路与识图

集成运算放大器构成的反相交流放大器电路可以取代由晶体管分立元器件构成的交流放大电路，并应用于各种电路中。其最大的特点是不用调整，整个放大电路可采用单电源供电。

在图 2-5 所示反相交流放大应用电路中， R_4 与 R_2 构成了 $\frac{1}{2} V_+$ 分压电路，分压后的电压直接加到 IC1 的同相信号输入端作为偏置电压； C_2 用于进行自激振荡消除； C_1 与 R_1 用于信号耦合； R_3 为负反馈电阻器； C_3 为输出耦合电容器。该电路的电压放大倍数 A_V 主要由 R_1 与 R_3 的比值确定，它们之间的关系为：

$$A_V = -R_3/R_1$$

式中的负号表示输出信号 V_o 与输入信号 V_i 相位是相反的。图 2-5 所示电路中的 $R_3=100\text{ k}\Omega$ ， $R_1=10\text{ k}\Omega$ ，故代入上式中即可求得：

$$A_V = 100\text{ k}\Omega/10\text{ k}\Omega = -10$$

图 2-5 所示电路输入电阻器为 R_1 。在进行电路设计时，通常是先选取 R_1 与信号源内阻相等，或者根据实际需要先确定好 R_1 ，再根据要求的放大倍数确定 R_3 的电阻值。

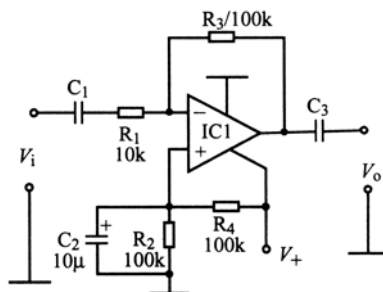


图 2-5 反相交流放大应用电路

必须注意的是单级运算放大器的放大倍数不应选得太大，以免导致放大器出现自激振荡现象，一般控制在数百倍以内。如果需要较大的放大倍数，则可以把几节运算放大器串联起来获得。

2.2.2 集成运算放大器同相交流放大应用电路与识图

在运算放大器的各种应用电路中，凡是输入信号从同相端馈入的，都叫做同相输入组态。由集成运算放大器构成的同相交流放大应用电路如图 2-6 所示。该电路最大的特点是输入阻抗较高。

在图 2-6 所示电路中， R_1 与 C_1 组成了交流负反馈网络； R_2 为负反馈电阻器； C_2 为同相输入耦合电容器； C_4 为输出耦合电容器； R_4 与 R_5 构成的分压电路用于将 V_+ 电压分压后，通过 R_3 为 IC1 的同相信号输入端提供偏置电压。由于 $R_4 = R_5$ ，故分得的电压为 $\frac{1}{2} V_+$ 。 R_3 的电阻值可以取得较大。

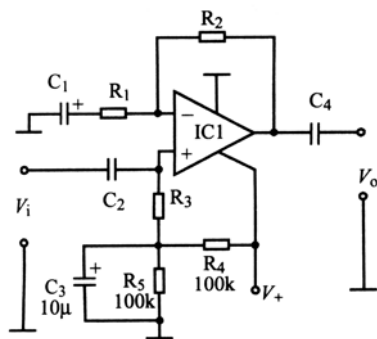


图 2-6 同相交流放大应用电路

根据电路的连接方式可看出，该电路的电压放大倍数 A_V 可由 IC1 外接的 R_2 、 R_1 的电阻值确定，它们之间的关系为：

$$A_V = 1 + R_2/R_1$$

R_1 的电阻值可在几千欧姆至几十千欧姆范围内选择。

2.2.3 集成运算放大器差分输入应用电路与识图

当输入信号从两个输入端同时馈入时，运算放大器处于差分输入组态。差分组态在测量放大器中应用较广泛，特别是当信号源远离测量放大器时，微弱的差模信号往往夹杂在幅值强大的共模干扰电压之中，利用差分组态共模抑制能力强的特点，可以获得较高的测量精度和灵敏度。

由集成运算放大器构成的典型差分比例放大电路如图 2-7 所示。当输入电压 V_s 和 V'_s 分别加到集成运算放大器的两个输入端时，则电路的输出电压 V_o 与 V_s 和 V'_s 之差成正比，故称其为差分比例放大器。

通常，电路参数取值为： $R_1=R'_1$ 、 $R_f=R'_f$ ，其目的是为了降低共模增益。同时使两输入端对地的直流电阻值相等，以保证集成运算放大器输入端处于平衡状态。

因 $I_i=0$ ，利用叠加原理可以求得 Σ 与 Σ' 两点的电位分别为：

$$V_{\Sigma} = V_s \frac{R_f}{R_1 + R_f} + V_o \frac{R_1}{R_1 + R_f}$$

$$V_{\Sigma'} = V'_s \frac{R'_f}{R'_1 + R'_f}$$

由于 $V_{\Sigma} = V_{\Sigma'}$ ，从而可以得到：

$$V_s \frac{R_f}{R_1 + R_f} + V_o \frac{R_1}{R_1 + R_f} = V'_s \frac{R'_f}{R'_1 + R'_f}$$

由于 $R'_1=R_2$ ， $R'_f=R_f$ ，代入上式整理后可得：

$$A_f = \frac{V_o}{V_s + V'_s} = -\frac{R_f}{R_1}$$

式中， A_f ——闭环增益。

由上式可看出， $V_o \propto (V_s + V'_s)$ ，从而实现了差分比例运算。其比值 $|A_f|$ 为 R_f/R_1 ，与集成运算放大器内部电路参数无关。当设置 $R_f=R_1$ 时， $A_f=V'_s+V_s$ 可实现减法运算。

此外，图 2-7 电路还经常用作测量放大器。差分比例放大器的缺点是：对于对称性要求比较高，如元件失配，会带来运算误差，而且将产生共模电压输出。这种电路无虚地。

在电路元件对称的条件下，即图 2-7 所示电路中的 $R'_1=R_1$ ， $R'_f=R_f$ ，输入端有差分信号 V_{id} 激励，则可利用等效电路法，求出差分输入电流 I_{id} ，从而得到该电路的输入电阻值 r_{id} 为：

$$r_{id} = V_{id}/I_{id} = 2R_1$$

2.2.4 运算放大器性能扩展应用电路与识图

运算放大器集成电路在使用时，除了以上所述的基本应用方法以外，这里再提供经常需要用到的两种性能扩展的应用电路与识图。

1. 提高输入电阻值的应用电路与识图

集成运算放大器在许多应用中，为了减小输入误差，提高精度，要求放大器具有很高的输入电阻值，有时甚至要求高达 $10^{12}\Omega$ 以上。为了提高输入电阻值，除了设计运算放大器时应尽量考虑外，比较常用的方法是在集成运算放大器的输入端加一级前置放大。提高输入电阻值的电路如图 2-8 所示。

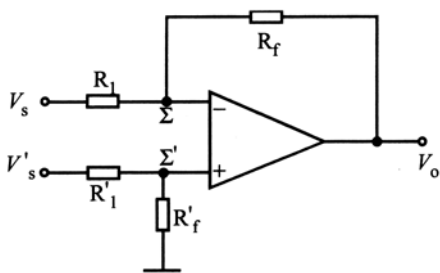


图 2-7 由集成运算放大器构成的典型差分比例放大电路

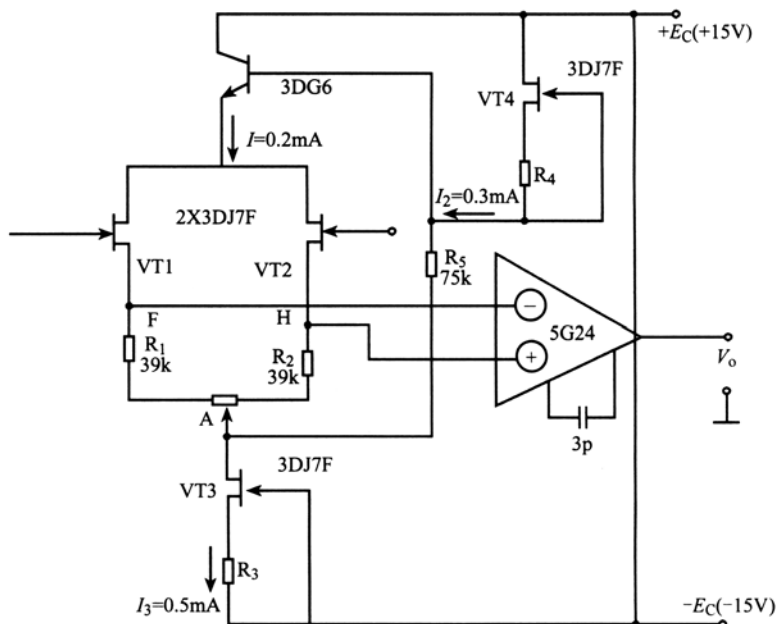


图 2-8 提高输入电阻值的电路

在图 2-8 所示电路中, VT1、VT2 为差动对管, VT3 为恒流源, 组成差动式源极输出电路。它主要是利用场效应管具有很高的输入电阻值 (约 $10^7 \sim 10^9 \Omega$) 的特点, 以提高运算放大器的输入电阻值。

2. 提高带负载能力的应用电路与识图

通用型集成运算放大器的带负载能力比较弱, 它的允许功率损耗只有几十毫瓦, 最大输出电流大约在 10 mA 左右, 电源电压为 ± 5 V, 所以当负载需要较大的电流和较高的电压变化范围时, 就需要在它的输出端附加扩大功能的措施。

(1) 扩大输出电流的方法

图 2-9 所示是一种在集成运算放大器输出端加一级互补推挽功率输出电路来扩大输出电流的电路。图中的 VD1、VD2 产生的电压降供给功率管 VT1、VT2 以一定的偏流, 使功率输出级工作于甲乙类, 以消除交越失真, 同时对 VT1、VT2 管的发射极兼有温度补偿作用。图中 $R_{e1}=R_{e2}=10 \Omega$, 对 VT1、VT2 管起过载保护作用。

图 2-9 所示电路虽可以提高输出电流和功率, 但缺点是不能提高电压变化范围, 因为在 R_{e1} 和 R_{e2} 两端有大的电压降。

(2) 扩大电压、电流变化范围的方法

扩大电压、电流变化范围的应用电路如图 2-10 所示。该电路是在集成运算放大器的正、负电源端与外加正、负电源之间, 分别接入 VT1、VT2 两只晶体管, 一方面可以起到降压的作用 (因为它们的基极电位通过电阻分压固定在 ± 15 V 左右), 另一方面作为共基放大, 将运算放大器电源的电流 (主要是输出级电流) 经 VT1、VT2 的集电极输出后去推动互补推挽输出级。由于 VT3、VT4 的发射极分别接到 ± 30 V 电源上, 故在负载电阻器 R_L 两端

的电压变化将接近 $\pm 30\text{ V}$ ，与此同时，输出电流的变化也得到扩大，因此这种电路可以输出较大的功率。

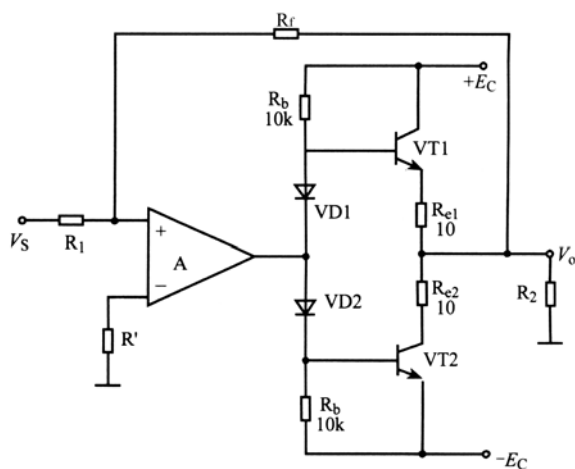


图 2-9 扩大输出电流的应用电路

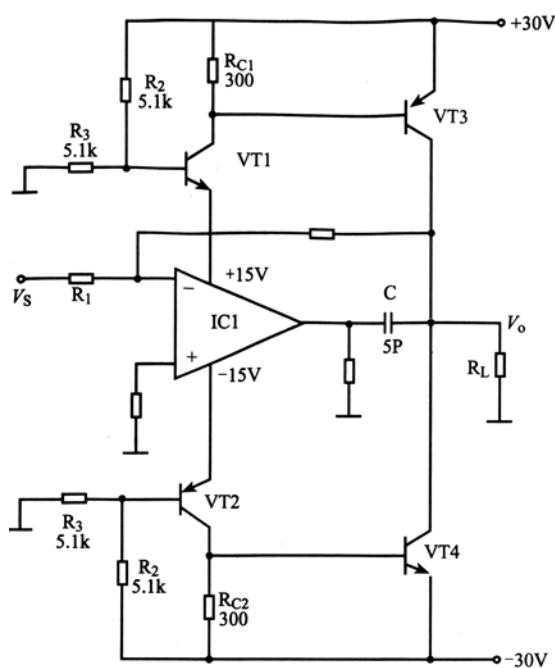


图 2-10 扩大电压、电流变化范围的应用电路

2.3 单运算放大器的识图与应用

单运算放大集成电路简称单运算放大器，是指集成电路芯片内仅封装有一只运算放大器的情况。

2.3.1 单运算放大器识图与应用指导

单运算放大器封装形式主要有金属圆壳封装和双列塑料封装两大类。

1. 金属圆壳封装的单运算放大器

金属圆壳单封装的单运算放大器引脚排列如图 2-11 (a) 与图 2-11 (b) 所示，采用国际上通用的俯视排列（逆时针排列）；也就是从顶部往下看，由定位标记所对应的管脚按逆时针方向数。

(1) 常见型号

金属圆壳封装的单运算放大器集成电路常见型号如表 2-1~表 2-3 所列，同一表同一栏中所给出的集成电路间可以互换。其中：

表 2-1 所列为采用双列 8 脚塑封与图 2-11 (a) 所示金属圆壳封装的单运算放大器型号；表 2-2 所列为采用双列 8 脚塑封与图 2-11 (a) 所示金属圆壳封装不同参数的单运算放大器型号；表 2-3 所列为采用双列 8 脚塑封与图 2-11 (b) 所示金属圆壳封装不同参数的单运算放大器的型号。

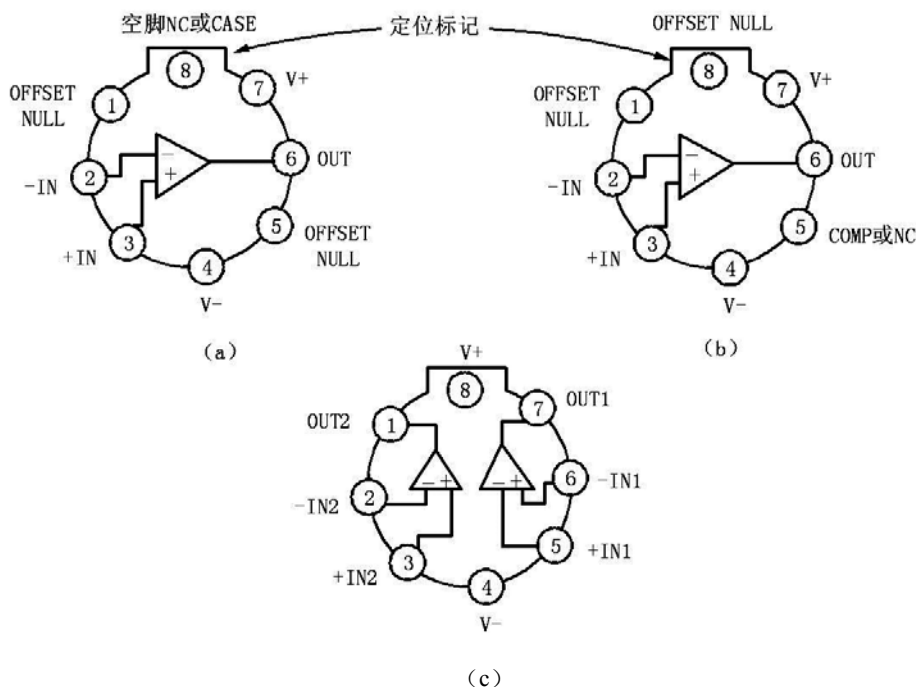


图 2-11 金属圆壳封装集成运算放大器的引脚排列

表 2-1 采用双列 8 脚塑封与图 2-11 (a) 所示金属圆壳封装的单运算放大器型号

封装方式	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳
集成电路型号	uA741TC LM741CN MC1741CPI uA741CP uPC151C uPC741C TA7504P HA17741PS MB3609	uA741HC LM741CH uC174CG uPC151A	LF351N LF441CN LF411CN LF13741N TL091P CA081E CA3420AE	LF351H LF441CH LF411CH LF13741H CH081CS CA3420AS AD547H	LM4250CN uPC802C uPC4250C NJM4250D	LM4250CH
说明	属通用型运算放大器, 其⑤脚为空脚, 调零电阻器 RP 值为 10 k Ω		属 BI—FET 型运算放大器, 其⑤脚为空脚, 调零电位器 RP 值为 10 k Ω		低功率损耗型, 其调零电位器 RP 值为 100 k Ω	
封装方式	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	
集成电路型号	NE530N NE531N	NE538N	OPA100G	OPA100M OPA103M OPA104M	uPC801C uPC4081C TL071P TL081P HA17080PS	
说明	属高速型运算放大器, 其⑤脚为空脚, 调零电位器 RP 为 10 k Ω	属高速型运算放大器, 其⑤脚为空脚, 调零电位器 RP 为 100 k Ω	⑤脚为 CASE 功能, 调零电位器 RP 为 10~100 k Ω		⑤脚为空脚, 调零电位器 RP 为 100 k Ω	

表 2-2 采用双列 8 脚塑封与图 2-11 (a) 所示金属圆壳封装不同参数的单运算放大器型号

封装方式	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳
集成电路型号	LF356N LF357N uPC806C uPC365C uPC807C uPC357C	LF356H LF357H	LM318N LM318P uPC159C uPC318C HA17715G	LM318H AD518H uPC159D	ICL7611CPA ICL7612CPA ICL7613CPA ICL271	ICL7611CTY ICL7612CTY ICL7613CYT
说明	属 BI—FET 型, 其⑤脚为空脚, 调零电位器 RP 值为 25 k Ω		属高速运算放大器, 其⑤脚为 COMP 端, 调零电位器 RP 值为 200 k Ω		属 CMOS 运算放大器, 其⑤脚功能为 I _Q (运算放大器静态电流) 端	

表 2-3 采用双列 8 脚塑封与图 2-11 (b) 所示金属圆壳封装不同参数的单运算放大器型号

封装方式	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳
集成电路型号	OP05P OP07P uPC254D OP27Z OP37Z OPA27Z OPA37Z	OP05J OP07J ADOP07H uPC254A OP27J OP37J OPA27J OPA37J	uA725RC uA725CN uPC154D NE5534D NE5535D	uP725CH LM725CH uPC154A	LM11CN	LM11CH
说明	⑤脚为空脚, 调零电位器 RP 值为 10 k Ω		⑤脚功能为 COMP, 调零电位器 RP 值为 100 k Ω		⑤脚功能为 COMP, 调零电位器 RP 值为 1~100 k Ω	

(2) 引脚功能

金属圆壳封装的单运算放大器采用图 2-11 (a) 所示封装方式的集成电路引脚功能如表 2-4 所列。

表 2-4 采用图 2-11 (a) 封装方式的集成电路引脚功能

引脚号	字母代号	功能说明
①	OFFSET NULL	调零电压输入端 1, 外接调零电位器 RP
②	-IN	运算放大器反相信号输入端
③	+IN	运算放大器同相信号输入端
④	V-	负电源电压输入端
⑤	OFFSET NULL	调零电压输入端 2, 外接调零电位器 RP
⑥	OUT	运算放大器信号输出端
⑦	V+	正电源电压输入端
⑧	NC 或 CASE	空脚 (未使用) 或辅助引脚

金属圆壳单运算放大器采用图 2-11 (b) 所示封装方式的集成电路引脚功能如表 2-5 所列。

(3) 调零电位器的连接方式

金属圆壳单运算放大器采用图 2-11 (a) 所示封装方式调零电位器 RP 的连接方式如图 2-12 (a) 所示。采用图 2-11 (b) 封装方式调零电位器 RP 的连接方式如图 2-12 (b) 所示。

表 2-5 采用 2-11 (b) 所示的封装方式的集成电路的引脚功能

引脚号	字母代号	功能说明
①	OFFSET NULL	调零电压输入端 1, 外接调零电位器 RP
②	-IN	运算放大器反相信号输入端
③	+IN	运算放大器同相信号输入端
④	V-	负电源电压输入端
⑤	NC 或 COMP	空脚 (未使用) 或 COMP 辅助引脚
⑥	OUT	运算放大器信号输出端
⑦	V+	正电源电压输入端
⑧	OFFSET NULL	调零电压输入端 2, 外接调零电位器 RP

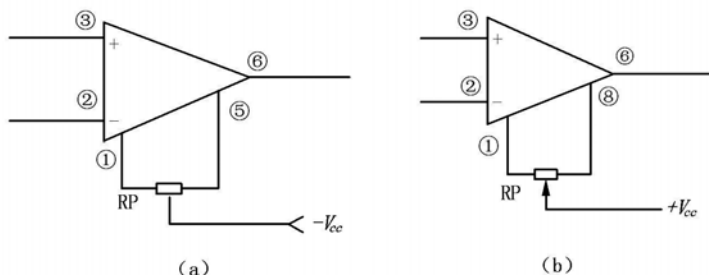


图 2-12 金属圆壳封装的单运算放大器调零电位器 RP 的连接方法

2. 双列式封装单运算放大器

双列式封装单运算放大器引脚排列如图 2-13(a) 所示, 采用国标上通用的俯视排列(逆时针排列), 也是从顶部往下看, 由定位标记(小黑圆点)所对应的管脚为引脚①, 然后按逆时针方向数。

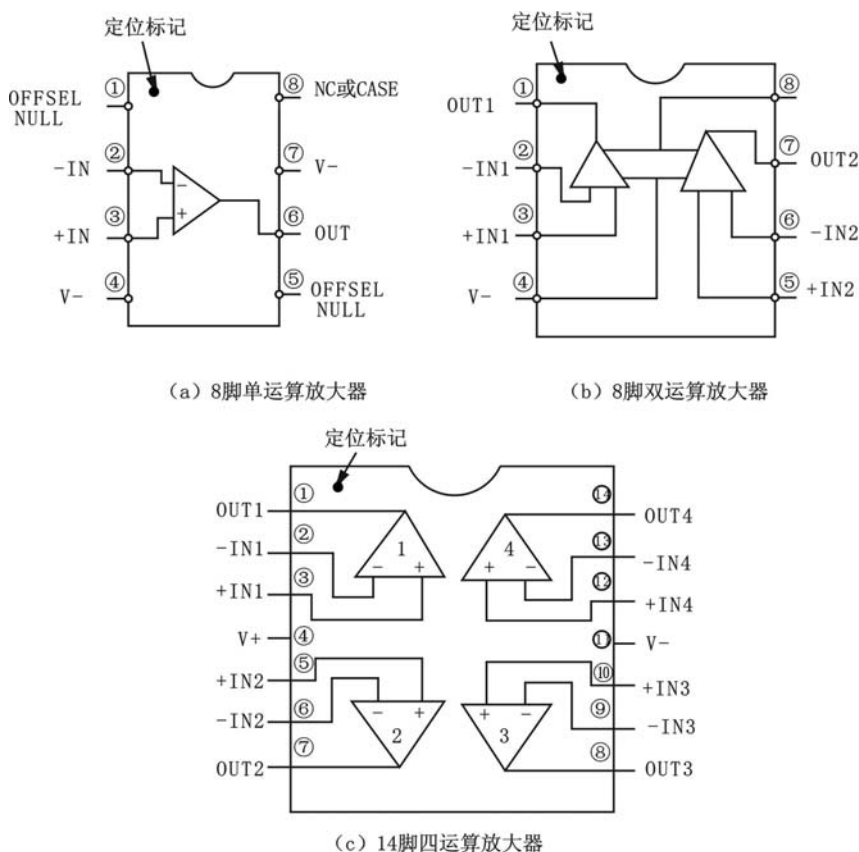


图 2-13 双列式封装运算放大器的引脚排列

(1) 常见型号

双列式 8 脚封装单运算放大器集成电路常见型号如表 2-1~表 2-3 所列, 同一表同一栏中所给出的集成电路间可以互换。

(2) 引脚功能

表 2-1 与表 2-2 中双列式 8 脚封装单运算放大器型号的引脚功能与表 2-4 中的相同; 表 2-3 中双列式 8 脚封装单运算放大器集成电路型号的引脚功能与表 2-5 中的相同。

2.3.2 集成运算放大器在调温恒温自动控制电路中的应用与识图

图 2-14 所示是由运算放大器 TL091P 构成的调温恒温自动控制应用电路。该电路可以自动对温度进行调整, 并可对温度进行恒定, 由该电路构成的调温恒温电烙铁, 可以在电

烙铁拿起时进入加热状态，将电烙铁放到电烙铁架上时自动进行恒温。

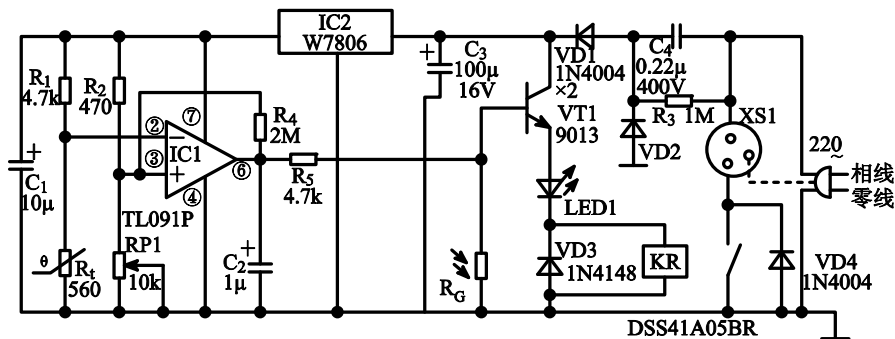


图 2-14 由 TL091P 构成的调温恒温自动控制应用电路

1. 识图指导

图 2-14 所示电路主要由 IC1、 R_t 、IC2、 R_G 、KR 等组成。其中，IC1 的型号为 TL091P，是一块单运算放大器； R_t 的型号为 T-413，是一只高温型硅热敏电阻器，其最高测温可达 300℃，可在电烙铁的根部检测电烙铁的温度；IC2 的型号为 W7806，是一只稳压值为 6 V 的三端固定稳压集成电路，用于将 10 V 左右的直流电压稳压为 6 V 后为温度检测电路提供工作电源，以使温度检测电路工作稳定； R_G 是一种硫化镉光敏电阻器，其亮电阻值为 200Ω，暗电阻值不小于 1 MΩ；KR 是一种干簧继电器，其型号为 DSS41A05BR，它的线圈电阻值约为 5.1 kΩ 左右。

干簧继电器 KR 的常开触点用于控制插座上所插负载的供电通断，而干簧继电器 KR 线圈中电流的通断则受 VT1 管的控制，VT1 管的工作状态则受两方面电路的控制，一路为光敏电阻器，当光敏电阻器受光时，VT1 管截止，不受光时 VT1 即可受另一路信号的控制。此时，如 IC1⑥脚输出高电平，VT1 即可导通，而 IC1 的状态则受热敏电阻传感器 R_t 检测到的温度控制。

2. 工作原理

图 2-14 所示电路主要由测温电桥，电压比较器，驱动控制电路，保温电路及电源电路 4 个单元电路构成。

(1) 电源电路

220 V 交流电压经 C_4 降压，VD1 与 VD2 整流， C_3 滤波后得到的约 10 V 左右的直流电压，一路为驱动电路 (VT1) 提供工作电源，另一路又经 IC2 稳压成 6 V 后，为温度检测电路提供工作电源。

(2) 比较电路

测温比较电路由 IC1 及其外围有关元件构成。IC1 的③脚为基准电压输入端，该电压是由 R_2 与 RP1 将 6 V 电压分压后得到的，调整 RP1 的值，可以改变基准电压值，使检测的温度发生改变；IC1 的②脚为比较电压输入端，该电压是由 R_1 与 R_t 分压后得到的，由于 R_t 传感器的电阻值会随所测温度的高低而改变，故②脚上的电压是变化的。

当 R_t 检测到的温度低于 RP 设定的阈值温度, 即 $IC1$ 的③脚电压大于②脚时, $IC1$ ⑥脚输出高电平; 反之, 当 R_t 检测到的温度高于 $RP1$ 设定的阈值温度, 即 $IC1$ ③脚电压小于②脚时, $IC1$ ⑥脚输出低电平。

(3) 驱动电路

驱动电路由 $VT1$ 、 KR 干簧继电器等组成。当 R_t 检测到的温度低于设定值时, $IC1$ ⑥脚输出的高电平信号经 R_5 、 R_6 分压后加到 $VT1$ 管的基极, 此时如 R_G 被隔离无光照射时, 则 $VT1$ 导通, C_3 正极上的约 10 V 电压就会经 $VT1$ 与 $LED1$ 加到干簧继电器 KR 线圈上, 使其得电吸合, 其常开触点闭合后, 从而就接通了插在 $XS1$ 插座内电烙铁的工作电源, 从而使其全压工作。

(4) 保温电路

保温电路是由 R_G 光敏电阻器为主构成的。该传感器设置在电烙铁握手处, 由手握电烙铁遮住光敏电阻器使其不受光, 放下电烙铁置于电烙铁架上时使光敏电阻器 R_G 受光来控制保温的。

① 当手握电烙铁使用时, R_G 照射光被遮住, 其电阻值大于 $1\text{ M}\Omega$, $VT1$ 导通, 其工作过程如上所述。

② 当电烙铁搁在烙铁架上时, R_G 受光照射, 其电阻值变小, 约为 $200\ \Omega$ 左右, 致使 $IC1$ ⑥脚输出的高电平经 R_5 、 R_6 分压后的电压不能使 $VT1$ 导通, 故 $LED1$ 熄灭, KR 继电器线圈断电, 其常开触点断开, 但此时由于二极管 $VD4$ 对市电的半波整流得到的电压仍加在插座上, 这种半导通状态则不会导致电烙铁产生过高的温度而烧死, 使电路仍处于一种恒温状态, 以便再次使用电烙铁时, 可在较短的时间内就可使电烙铁从恒温状态恢复到加热状态, 从而保证了电烙铁的迅速升温。

2.3.3 集成运算放大器在交流毫伏表电路中的应用与识图

图 2-15 所示是由运算放大器 $CA3140T$ 构成的交流毫伏表电路。该电路可进行 $0.03\sim 18\text{ V}$ 之间电压的测量, 由挡位开关进行切换, 使用很方便, 可制成毫伏表产品, 或应用于电子仪表电路中。

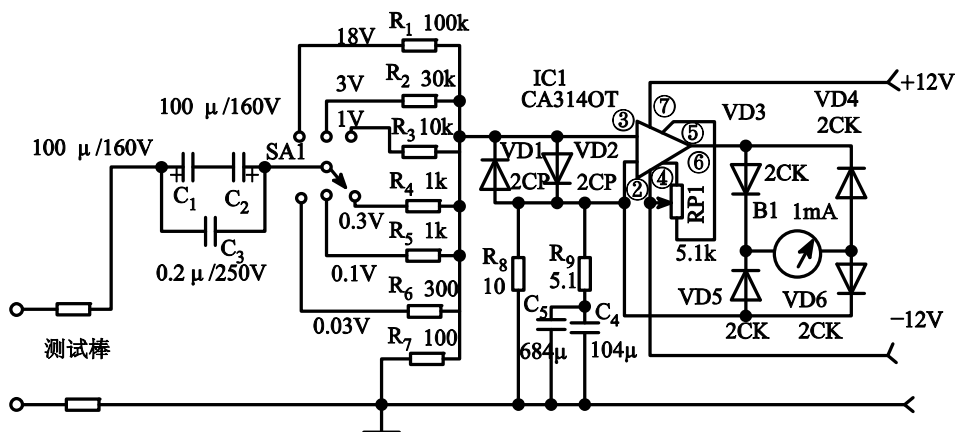


图 2-15 由 $CA3140T$ 构成的交流毫伏表电路

1. 识图指导

图 2-15 所示电路主要由 IC1、B1、SA1、RP1 为核心构成。其中, IC1 的型号为 CA3140T, 是一块单运算放大器, 其转换速度为 $9\text{ V}/\mu\text{s}$, 增益带宽为 4.5 MHz 。B1 是一种 1 mA 的电流表表头, 实际测量内阻为 $10\text{ k}\Omega$; SA1 是一只单刀六掷波段开关; RP1 是一只电阻值为 $5.1\text{ k}\Omega$ 的可调电阻器, 用于进行零点调整。

2. 工作原理

测试信号由检测表笔引入表内后, 经 C_1 、 C_2 、 C_3 电容串并联耦合, 由 SA1 波段开关转换后, 由相应挡的倍率电阻器加到 IC1 的同相信号输入端③脚, 同时, 倍率电阻器引入的信号还经 VD1、VD2、 R_9 、 R_8 、 C_5 、 C_4 处理后加到 IC1 的反相信号输入端②脚, 经 IC1 处理后的信号从⑥脚输出, 最终由毫安表表头显示出相应的交流电压。该电压可测到 0.03 V 以下。

在图 2-15 所示电路中, 由于采用了高性能的运算放大器 CA3140T, 即使测量频率为 2000 Hz 的电压, 经频率补偿后, 输入 180 mV 电压, 从 $25\text{ Hz}\sim 16\text{ kHz}$ 范围的线性基本平直, 但大于 20 kHz 的频率以后, 线性度会有所下降。

在毫伏表的检测输入端加接了串、并联耦合电容器 $C_1\sim C_3$ 以后, 以便在测量交流电压时, 防止电路中的直流电压对交流电压读数的影响。

该毫伏表的各电压挡采用独立的倍率电阻器, 各挡精度互不影响。每只倍率电阻器可采用一只固定电阻器与一只多圈可调电阻器串联, 这样可以不用去挑选高精度的电阻器, 调试也十分方便。

制作提示:

图 2-15 所示电路中的 R_9 、 C_4 、 C_5 构成了频率补偿电路。该电路对展宽测量的频率范围很有效。如果只用毫伏表测量音频信号, 只要调整到 $20\text{ Hz}\sim 20\text{ kHz}$ 。当然, 如对频率补偿电路的元件值进行适当的调整, 也可进一步展宽测量范围。

图 2-15 所示电路是一种基本电路, 可按需要根据图中的倍率自行扩充测量范围。测量内阻也可以提高, 可采用更高转换速率的运算放大器, 同时调整频率补偿电路中元件的数值, 以满足要求。

2.4 典型双运算放大器的识图与应用

双运算放大集成电路简称双运算放大器, 是指集成电路芯片内仅封装有两只运算放大器的情况。

2.4.1 双运算放大器识图与应用指导

双运算放大器封装形式主要有金属圆壳封装和双列塑料封装两大类。

1. 金属圆壳封装的双运算放大器

金属圆壳封装的双运算放大器引脚排列如图 2-11（c）所示，也采用的是国际上通用的俯视排列（逆时针排列）；也就是从顶部往下看，由定位标记所对应的管脚按逆时针方向数。

（1）常用型号

双列 8 脚塑封与金属圆壳封装的双运算放大器的型号如表 2-6 所列，表中同一栏所列的集成电路之间可以互换。

（2）引脚功能

金属圆壳封装的双运算放大器常采用 2-11（c）封装方式，其常用集成电路的引脚功能如表 2-7 所列。

表 2-6 双列 8 脚塑封金属圆壳封装的双运算放大器的型号

封装方式	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳	双列 8 脚	金属壳
集成电路型号	LM358N	LM358H LM2904H	RC4558	NE5532N NE5532P LM833N uPC4556C NJM4556M	LF353N	LF353H LF412CH LF442CH
	LM2904N		TL4558P		LF412CN	
	LM358P		uPC258C		LF442CCN	
	LM2904P		uPC4558C		TL062P	
	NE532N		TA7558P		TL072P	
	uPC1257C		LA6458D		TL082P	
	uPC358c		AN6552		uPC803C	
	TA75358P		AN6553		MPC4082C	
	HA17904PS		NJM4558D		HA17082PS	
	LA6358		5G022		NJM082D	
	AN6561				CA082E	
	HN6562					
	NJM2904D					
说明	属通用单一电源运算放大器		属通用运算放大器	属低噪声、高速运算放大器	属 BI-FET 运算放大器	

表 2-7 金属圆壳封装的双运算放大器常用集成电路的引脚功能

引脚号	字母代号	功能说明	引脚号	字母代号	功能说明
①	OUT2	运算放大器 2 信号输出端	⑤	+IN1	运算放大器 1 同相信号输入端
②	-IN2	运算放大器 2 反相信号输入端	⑥	-IN1	运算放大器 1 反相信号输入端
③	+IN2	运算放大器 2 同相信号输入端	⑦	OUT1	运算放大器 1 信号输出端
④	V-	负工作电源电压输入端	⑧	V+	正工作电源电压输入端

2. 双列封装的双运算放大器

双列 8 脚封装双运算放大器引脚排列如图 2-13（b）所示，采用国际上通用的俯视排列（逆时针排列），也是从顶部往下看，由定位标记（小黑圆点）所对应的管脚为引脚①，然后按逆时针方向数。

（1）常见型号

双列式 8 脚封装双运算放大器常见型号如表 2-6 所列，表中同一栏所给出的集成电路间可以互换。

(2) 引脚功能

表 2-6 所列的双列 8 脚封装双运算放大器集成电路常见型号的引脚功能与表 2-7 中的相同。

2.4.2 双运算放大器在电热水瓶电路中的应用与识图

图 2-16 所示是华宝 DRP-36RA 型电热水瓶电路图。该电路具有自动加热和自动保温转换控制功能，还具有缺水保护控制功能。

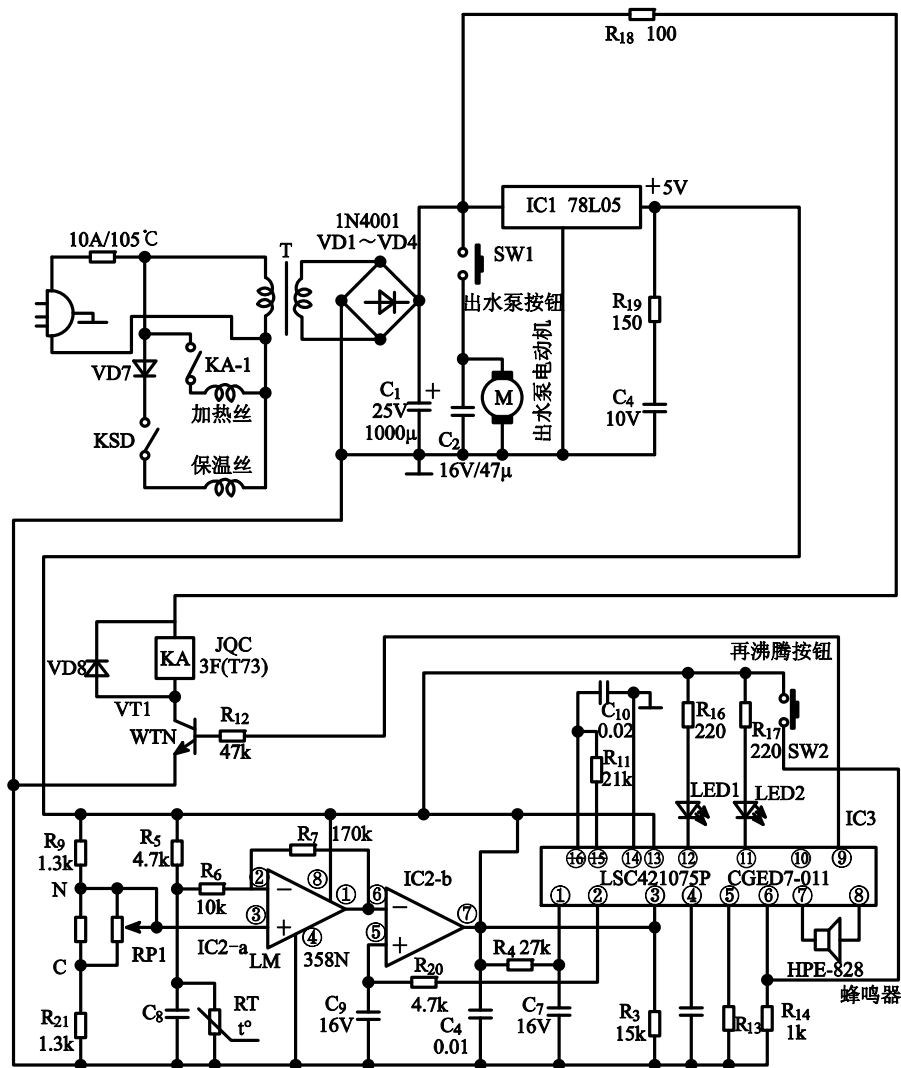


图 2-16 华宝 DRP-36RA 型电热水瓶电路

1. 识图指导

为了顺利读懂图 2-16 所示电路图，应先将电路中的各单元电路作用搞清楚，然后再搞清楚它们之间的控制关系。

图 2-16 所示电路中的 IC1 (78L05) 是三端稳压集成电路; IC2-a 组成了比例运算放大器; IC2-b 组成了比较器; IC3 是电路的控制中心电路; KSD、RT 分别为贴于瓶胆外底部的温度继电器和热敏电阻器; SW1 为出水泵按钮; M 为出水泵电动机。

继电器 KA 的触点 KA-1 用于控制加热丝的工作, 而 KA 继电器则受 VT1 的控制, VT1 又受 IC3⑨脚输出信号的控制。IC3⑨脚输出的电平又取决于其③脚输入的信号, IC3③脚信号来自于 IC2 处理后的信号, 而 IC2 的状态又取决于 RT 电阻值的变化。

2. 工作原理

图 2-16 所示电路的工作原理可以从以下 5 个方面来进行分析说明。

(1) 供电电路

接通电源后, 220 V 交流电源经 10 A/105℃热保护器后分为两路。

一路作为热水瓶加热丝和保温丝的供电电路。

另一路经电源变压器 T 降压, VD1~VD4 桥式整流、C1 滤波, 得到的直流电压又分为多路。

一路作为继电器 KA 线圈驱动控制电路的供电; 另一路提供给出水泵电动机控制电路; 还有一路再经 IC1 稳压为 5 V 后提供给温度检测和控制电路作工作电源。

(2) 启动加热状态

接通 220 V 交流电源后, 由于热水瓶内的水温较低, 设置在瓶底的热敏电阻器 RT 呈现低阻值, 致使 R_5 与 RT 分压, 经 R_6 加到 IC2-a②脚上的电压低于其③脚上的电压, IC2-a①脚输出高电平, 经 IC2-b 处理后控制 IC3⑨脚输出高电平, 该信号经电阻器 R_{12} 加至 VT1 的基极, 使 VT1 导通, 继电器 KA 线圈电流通路形成而吸合, 其常开触点 KA-1 闭合, 使加热丝开始加热煮水; 同时温度继电器 KSD 触点闭合, 220 V 交流电压经二极管 VD7 半波整流, 使保温电热丝工作加热。此时发光二极管 LED1 点亮, 显示为“煮水”状态。

(3) 保温状态

随着加热丝工作后对水加热, 使水温逐渐升高, RT 的电阻值也逐渐变大, 当水温达到 100℃时, IC2-a②脚电压高于③脚上的电压, 从而使 IC2-a①脚输出高电平, 经 IC2-b、IC3 处理后, IC3⑨脚输出变为低电平, 致使 VT1 截止, KA 继电器释放, KA-1 断开, 加热丝停止工作, 仅剩 40 W 的保温丝工作。此时发光二极管 LED2 点亮, 显示为“保温”状态。

(4) 缺水保护

如水瓶内缺水, 热水瓶温度将会急骤上升, 当达到温度继电器 KSD 的动作温度时, KSD 触点断开, 保温电热丝停止加热, 从而起到了缺水保护作用。同时, IC3 的⑪、⑫脚轮流输出低电平, LED1、LED2 则交替点亮, 以警示缺水。

(5) 再沸腾状态

当需要瓶内开水再沸腾时, 按下“再沸腾”按钮 SW2、IC3⑨脚将输出高电平, 从而使 KA 继电器吸合, 使加热丝工作直至沸腾。

维修提示:

① 通电后不煮水: 应重点检查热敏电阻器 RT 是否损坏。可倒掉瓶内的水, 打开底盖, 用电烙铁从瓶内贴在瓶底中央对瓶底加热, 并测热敏电阻器 RT 是否变化, 如其两端电阻

值不变化, 则 RT 已损坏。

② 通电后无任何指示: 重点应检查 10 A/105℃ 热保护器

③ 煮水灯亮但不煮水: 应重点检查 VT1 或继电器 KA, 也可检查加热丝是否损坏。

2.4.3 双运算放大器在 $\pm 15\text{ V}$ 电源电路中的应用与识图

图 2-17 所示是由双高速运算放大器 LF353 构成的 $\pm 15\text{ V}$ 电源电路。这是一种有源伺服稳压电路, 稳压特性非常优良, 故特别适用于对电源特性要求较高的场合, 如 Hi-Fi 音响等。

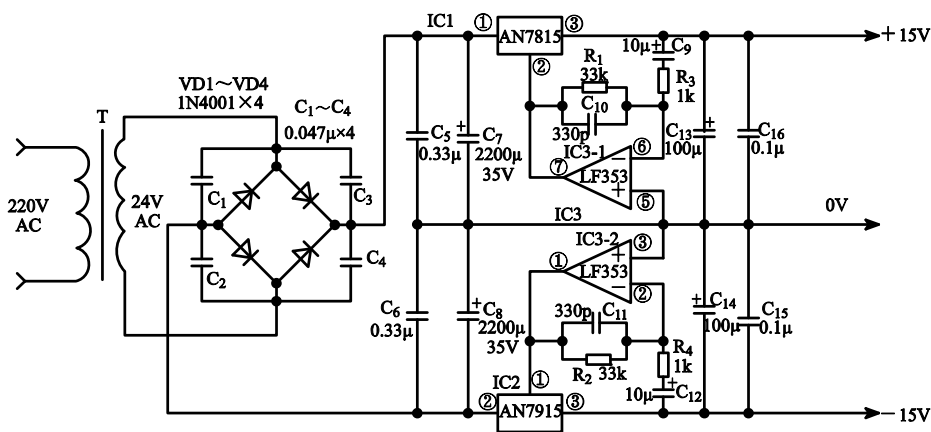


图 2-17 由双高速运算放大器 LF353 构成的 $\pm 15\text{ V}$ 电源电路

1. 识图指导

图 2-17 所示电路主要由三块集成电路为核心构成。其中, IC1 的型号为 AN7815, 是一块正三端稳压固定集成电路; IC2 的型号为 AN7915 是一块负三端固定稳压集成电路, 与 IC1 相同, 稳压值为 15 V , 但 IC2 稳压的是 -15 V 。IC3 的型号为 LF353, 是一块高速双运算放大器, 其中, IC3-2 构成 -15 V 电源的伺服电路, IC3-1 构成 $+15\text{ V}$ 电源的伺服电路。这是一种交流放大器, R_1 、 R_2 为两只运算放大器的直流负反馈电阻器。 C_9 与 C_{12} 是交流耦合电器, 用于将稳压电路输出端的交流信号加到 IC3-1 与 IC3-2 的反相信号输入端⑥、②脚。用于分别控制 IC1、IC2 的公共接地端的电位。

2. 工作原理

交流 220 V 电源经电源变压器 T 变换为交流 24 V 低压后, 由 VD1~VD4 桥式整流, 得到的直流电压经 C_7 、 C_8 电容器滤波后加到 IC1、IC2 输入端, 经稳压后就可得到 $\pm 15\text{ V}$ 的电压。

从图 2-17 所示电路中可看出, IC1 与 IC2 一改通常将公共端接地的方式改接在运算放大器 IC3 的输出端, 以使运算放大器作为百分之百直流负反馈的交流放大器使用, 由此可提高电路的视在环路增益, 电路的噪声也将大大降低。这种连接方式是在大动态猝发信号

电压突变的情况下使用的是普通电源电路无法相比的。

制作提示：

电路中 VD1~VD4 最好采用快恢复型二极管，这将使整个电源电路特性更加优越。

2.4.4 双运算放大器在四通道音频混合电路中的应用与识图

图 2-18 所示是由双运算放大器 LF353 构成的四通道音频混合电路。该电路具有 4 路低电平输入和 2 路高电平输入，现场任何器乐或声乐都可以混合成单一输出。

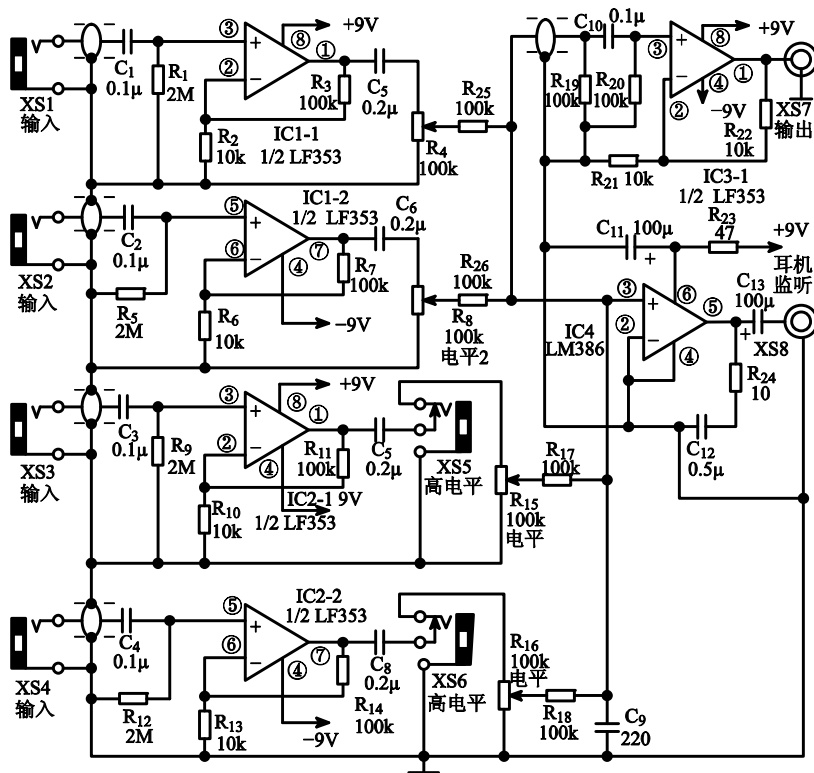


图 2-18 由双运算放大器 LF353 构成的四通道音频混合电路

1. 识图指导

图 2-18 所示电路主要由 IC1~IC4 共 4 块集成电路为核心构成。其中，IC1~IC3 的型号均为 LF353，是一种双运算放大集成电路；IC4 的型号为 LM386，是一块功率放大集成电路。XS1~XS6 是 6 只插座，用于输入各种音频信号时，与相应设备的插头进行连接。

2. 工作原理

图 2-18 所示电路的四个通道各使用了场效应管式双运算放大器 LF353 的一半，并各自设立一输出电平调节电位器。LF353 的输入阻抗相当高，几乎可以与电子管相媲美，这意

味着该混合器中可使用晶体式或陶瓷式的话筒。各通道的输入阻抗分别由 R_1 、 R_5 、 R_9 和 R_{12} 决定，图中取值均为 $2\text{ M}\Omega$ ，也可根据所用话筒的阻抗重新进行调整。

对于输出电平较高的音源信号，可从图中 XS5 或 XS6 插座处输入。高电平音频信号插入后，该通道低电平输入就自动脱离混合电路，从而失去作用。

混合后的信号一路从 XS7 插座处输出。监听混合信号从 XS8 插座输出，可用阻抗为 $2\text{ k}\Omega$ 的耳机监听，可以获得 1 V_{rms} 的监听电平。

图 2-18 所示电路采用正、负两组 9 V 电源供电，应注意正、负电源之间相差不要太大， $\pm 9\text{ V}$ 电源既可使用干电池，也可采用交流变直流的电源供电，但应用稳压电路，可用一只 W7809 获得一组 $+9\text{ V}$ 的直流电源，用另一只 W7909 获得一组 -9 V 的直流电源。

制作提示：

图 2-18 所示电路中对外的连接线（即输入、输出端的引线）及线路的连接应使用屏蔽线（至少在运算放大器的输入端），以降低干扰和噪声等。

2.5 四运算放大器的识图与应用

四运算放大集成电路简称四运算放大器，是指集成电路芯片内仅封装有四只运算放大器的情况。

2.5.1 四运算放大器识图与应用指导

四运算放大器的封装主要是双列塑料封装方式，大都为 14 引脚的。双列式 14 脚封装四运算放大器引脚排列如图 2-13（c）所示，采用国标上通用的俯视排列（逆时针排列），也就是从顶部往下看，由定位标记（小黑圆点）所对应的管脚为引脚①，然后按逆时针方向数。

1. 常见型号

双列式 14 脚封装四运算放大器常用集成电路型号如表 2-8 所示，表中同一栏所列的集成电路间可以互换。

表 2-8 双列式 14 脚封装四运算放大器常用集成电路型号

类型	通用（单一电源）			BI-FET			C-MOS
集成电路 型号	LM324N	LM2902N	LM324P	LF347N	LF444CN	TL064P	TLC274
	LM2902P	uPC451C	uPC324C	TL074P	TL084P	uPC804C	TLC27M4
	TA75902C	HA17902P	MB3614	uPC4084	HA17084P	NJM064D	TLC27L4
	NJM2902	LA6324					

2. 引脚功能

双列式 14 脚封装四运算放大器常用集成电路引脚功能如表 2-9 所列。

表 2-9 双列式 14 脚封装四运算放大器常用集成电路引脚功能

引脚号	字母代号	功能说明	引脚号	字母代号	功能说明
①	OUT1	运算放大器 1 信号输出端	⑧	OUT3	运算放大器 2 信号输出端
②	-IN1	运算放大器 1 反相信号输入端	⑨	-IN3	运算放大器 3 反相信号输入端
③	+IN1	运算放大器 1 同相信号输入端	⑩	+IN3	运算放大器 3 同相信号输入端
④	V+	正工作电源电压输入端	⑪	V-	负工作电源电压输入端
⑤	+IN2	运算放大器 2 同相信号输入端	⑫	+IN4	运算放大器 4 同相信号输入端
⑥	-IN2	运算放大器 2 反相信号输入端	⑬	-IN4	运算放大器 4 反相信号输入端
⑦	OUT2	运算放大器 2 信号输出端	⑭	OUT4	运算放大器 4 信号输出端

2.5.2 四运算放大器在电子脉搏计电路中的应用与识图

图 2-19 所示是由运算放大器 LM324 构成的电子脉搏计电路（模拟部分），用来处理来自传感器的信号，图 2-20 所示是由四运算放大器 LM324 构成的电子脉搏计电路（数字部分），用于进行计数和显示。

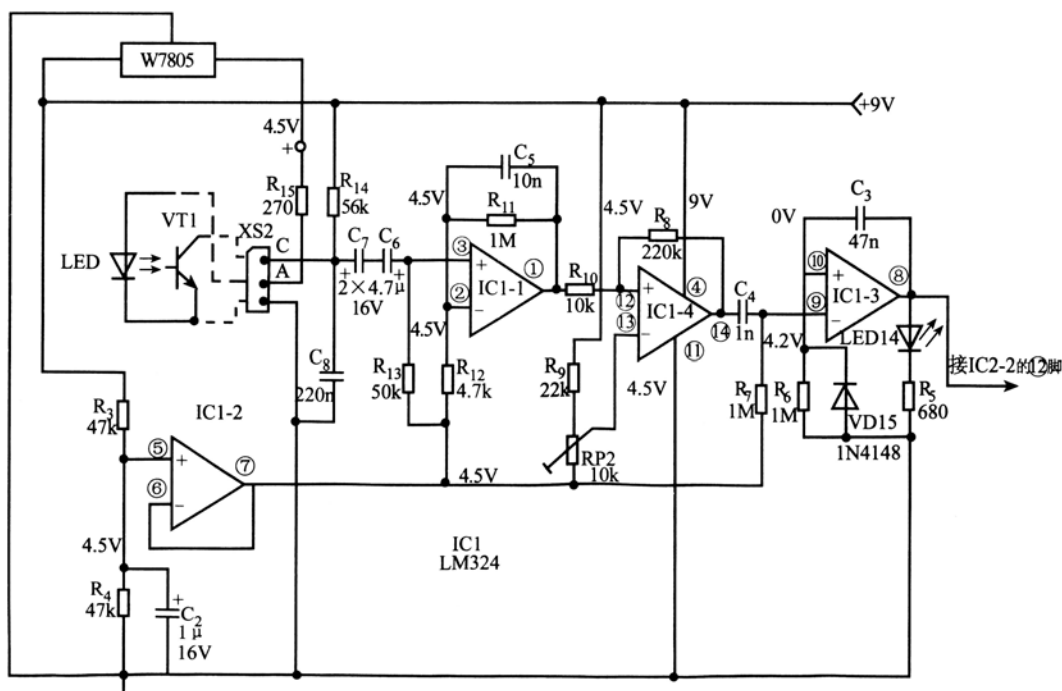


图 2-19 由四运算放大器 LM324 构成的电子脉搏计电路（模拟部分）

1. 识图指导

图 2-19 与图 2-20 所示电路主要由 IC1~IC4 共 4 块集成电路为核心构成。其中，IC1 的型号为 LM324，是一块四运算放大器；IC2 的型号为 CC4528B，是一块单稳态触发器；IC3 的型号为 CC4060B，是一块 14 位串行二进制计数/分频振荡器；IC4 的型号为 74HC4514，是一块 4~16 译码器（高电平有效）。

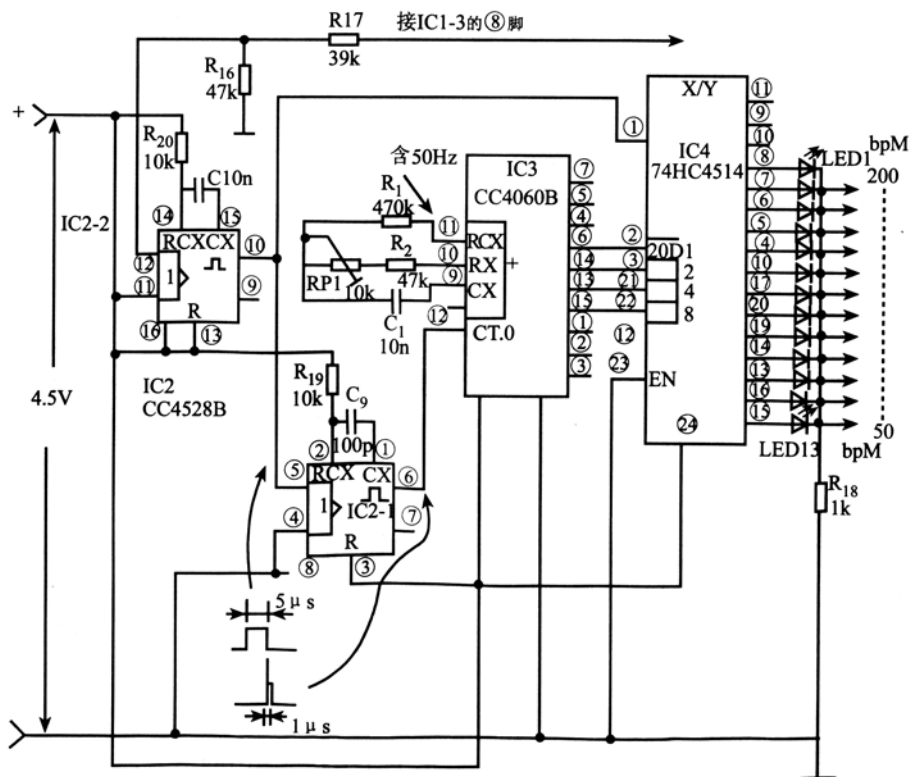


图 2-20 由四运算放大器 LM324 构成的电子脉搏计电路（数字部分）

光学检测的传感器，是由一只发光二极管和一只光敏三极管构成的。光电传感器的结构示意图，如图 2-21 所示。

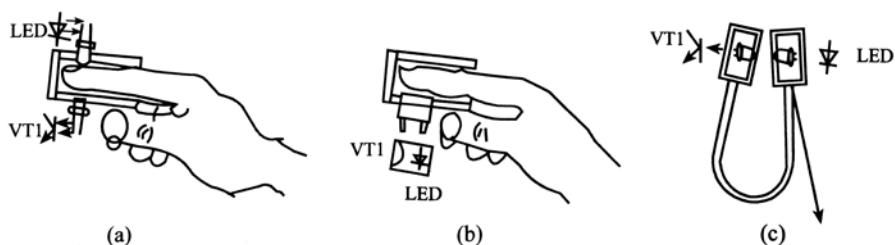


图 2-21 光电传感器结构示意图

图 2-21 (a) 与 (b) 所示电路中，用一根长度为 40~50 mm 的管子（用电线套管就很合适），其直径能将手指刚好进入并有一定的宽松量。管子的一端必须密封，不能漏光。在指甲可能伸到的那段管子上钻两个直径为 5 mm 的圆孔，以获得最佳效果。红外发射管 LED 插入一孔中，而红外光敏三极管 VT1 则插入另一孔中，使两个管子正对指甲盖，用胶将两管固定。

如果不用阻光型传感器，则用反射型传感器代替，其结构如图 2-21 (b) 所示。在这种

情况下,必须切割一个矩形孔,其大小刚好塞入混装光电器件。其电气连接如图 2-19 所示,用双芯屏蔽电缆接至 XS2 插件上。

图 2-21 (c) 所示是用晒衣服夹制成的。它是在夹子的每个短边上钻一个直径为 5 mm 的孔,此孔距夹子顶端约为 5 mm,将红外发射二极管 LED 插入一孔中,另一孔中则插入红外光敏三极管 VT1。将这两个管子按上述方法接入电路即可。这种方式的传感器可以夹在手指或耳廓上。

2. 工作原理

光学检测的电子脉搏器主要由传感器、高增益线性放大器、施密特触发器、单稳多谐振荡器、缓冲器、单稳态触发器、计数电路、显示电路等单元构成。

(1) 传感器电路

用光学检测的传感器输出信号加到插口 XS2 上。低通滤波器 R_{14} 、 C_8 用来抑制高频分量,使其只能通过频率较低的小信号,双极性耦合电容器 C_6 、 C_7 之值与低频相适应,即相应于 0.78 Hz (50/min) 和 3.33 Hz (200/min),并由两个有极性的电容器构成无极性电容器来起隔直流的作用。

(2) 高增益线性放大器

高增益线性放大器由 IC1-1 及其外围的有关元件共同构成。放大倍数约为 200 倍。 R_{11} 与 C_5 并联网络构成了低通滤波器(其截止频率为 15 Hz),以进一步抑制寄生干扰。输出的信号经 R_{10} 加到 IC1-4⑫脚。

(3) 施密特触发器

施密特触发器由 IC1-4 及其外围的有关元件共同构成。其门限值是由 RP2 电位器进行设定(设定电平应在正弦波振幅之内)。从 IC1-1①脚输出的信号,由 IC1-4 转换成矩形波后,再经 C_4 、 R_7 微分,加到单稳态多谐振荡器 IC1-3 反相输入端⑨脚。

(4) 单稳态多谐振荡器

单稳态多谐振荡器由 IC1-3 及其外围的有关元件共同构成。在静止状态时,IC1-3 的输出端⑧脚输出为低电平, C_3 电容器未充电。

当有信号输入时,施密特触发器 IC1-4 的⑭脚就会有方波信号输出,IC1-3 单稳态电路受到负向尖脉冲触发而使其⑧脚输出变为高电平,该高电平一直维持,直到 C_3 经 R_6 充满电。充电时间约为 20 ms。一旦 C_3 充电完毕,单稳态电路再次改变状态,其⑧脚输出仍恢复为低电平。IC1-3 的 20 ms 输出脉冲信号可通过 LED14 (绿色发光二极管) 的发光情况来观察。

单稳态多谐振荡器 IC1-3 的参考电压是由 R_3 、 R_4 分压(平分 9 V 电源电压)所得的 4.5 V 电压,由 IC1-2 组成的缓冲电路缓冲后,经 R_7 用作 IC1-3 单稳态电路的参考电压。

(5) 单稳态触发电路

单稳态电路 IC1-3⑧脚的输出为 6~9 V,必须降低到 3~5 V 才能加到 IC2-2 上,这里由分压器 R_{16} 、 R_{17} (见图 2-20 所示电路)来实现的,得到的信号加到 IC2-2⑫脚上。

这样,来自模拟电路部分的每个脉冲信号触发单稳态电路 IC2-2,而 IC2-2 的⑩脚输出的信号用作选通脉冲加到 4-16 译码器上。选通脉冲的后沿又触发第二个单稳态电路 IC2-1。此级的输出(IC2-1⑥脚)为 1 μ s 脉冲,用来使计数器复位到零。

(6) 计数与显示电路

计数与显示电路主要由 IC3、IC4 为主组成。在 IC3 电路中, R_1 、 C_1 与 $RP1$ 、 R_2 共同构成了振荡器, 其频率稳定性受电源电压稳定性的影响, 故应使用稳定性较好的电源供电。例如 9 V 电池供电, 耗电约 15 mA。

IC3 中的振荡器产生约为 850 Hz 的时钟信号, 以控制其内的计数器的计数速率。两次心跳之间的时间间隔越长, 计数器的读数就越大。采用这样设置振荡器的振荡频率, 是为了即使在最低的心率, 也不至于溢出计数器的计数范围。但是, 当 IC4 使 LED13 接通时, 计数值通常升到“1111”。

译码器 IC4 有四个输入锁存器, 当选通脉冲到达第①引脚时, 此锁存器解锁, 其后的解码器电路将 4 位二进制数转换到相应的输出端上。

(7) 电源电路

与上述电子脉搏计配套电源电路如图 2-22 所示。该电路主要由一块三端可调稳压集成电路 LM317 (IC5) 为核心构成。SA1 为供电转换开关, 用于进行交流/直流电池供电方式的切换。IC5 用于将 9 V 的电压稳压为 4.5 V 后提供给电子脉搏计。

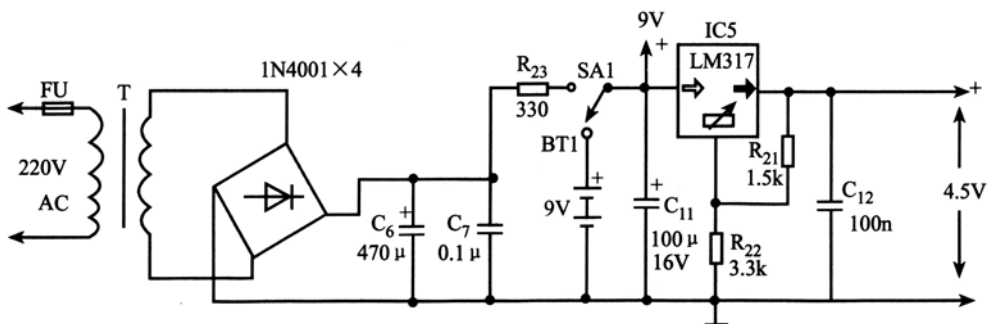


图 2-22 与电子脉搏计配套的电源电路

对电源电路的要求是带负载能力要够实际使用。可用一只 1 kΩ 的电阻器并接在 C_{12} 电容器的两端, 在 SA1 的①与③触点接通时, 从 C_0 电容器正极处输入 9 V 的电源, 检查稳压电路 IC5 的电压是否为 4.2~4.5 V 之间。即使 IC5 稳压块输入电压为 6 V, 其输出端电压仍应不变, 保持在 4.2~4.5 V 之间。检查合格后, 再取下并接在 C_{12} 上的 1 kΩ 电阻器。

制作提示:

电子脉搏计的调试有一定的技巧, 可分为以下 6 个步骤进行。

- 将 IC2 的④脚和⑥脚、⑩脚和⑪脚用 2 根短导线短接 (IC2 先不要插入电路), 来测试 LED 发光情况。这时 LED1 应顺次发光。
- 上述检查无误后, 除去上述的短接线。不接传感器, 将 IC1 与 IC2 分别接入各自的插座或电路中, 并将一只频率计接到 IC4 第⑪脚与地之间。然后调整 $RP1$ 的电阻值, 以使频率计的读数在 847~849 kHz 范围内。
- 用一数字式电压表 (DVM) 测量 IC1 第①脚上的电压, 该电压正常值应约为电源电压的一半, 然后调整 $RP2$ 可调电阻器的数值, 直到 DVM 表的读数连续上升到

- 约 200 mv。
- 将传感器连接到电路中，并将其套在手指上或夹在耳廓上，接通电子脉搏计电源。几秒钟以后（使 C₆、C₇ 得以充电），此脉搏计即能正常工作。其灵敏度可以由 RP2 电位器来调整。如果此预置电位器滑动触点电位为电源电压的一半或近似一半，则灵敏度最高。
 - 对 RP2 的调整应仔细小心，直到能清晰地检测到心跳为止。这时，LED14 就可按心跳速度闪烁，即使传感器略有抖动也不会影响电路的工作。对于正常人的脉搏，LED 指示灯应指示为 60~80bPm（bPm 为每分钟心跳数）。
 - 连接在 IC4⑧~④，⑩、⑰、⑳、⑱、⑭、⑬、⑯、⑮脚上的 13 只发光二极管 LED1~LED13 用来指示对应的每分钟心跳数，它们之间的对应关系如表 2-10 所列。

表 2-10 LED1~LED13 与每分钟心跳数之间的对应关系

LED 编号	LED1	LED2	LED3	LED4	LED5	LED6	LED7
每分钟心跳数 (bpm)	200	160	133	124	100	89	80
LED 编号	LED8	LED9	LED10	LED11	LED12	LED13	
每分钟心跳数 (bpm)	73	66	61	57	53	50	

2.5.3 四运算放大器在过压与欠压保护电路中的应用与识图

图 2-23 所示是由四运算放大器 LM324 构成的过压与欠压保护电路。该电路还具有开机延时功能，故适用于电气设备需要进行过压与欠压保护的场合，如电冰箱等。

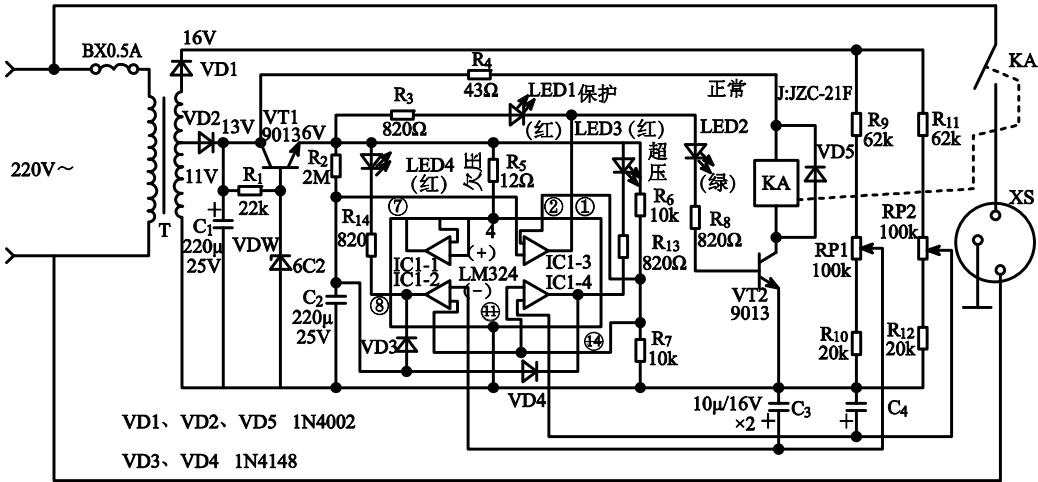


图 2-23 由四运算放大器 LM324 构成的过压与欠压保护电路

1. 识图指导

在图 2-23 所示电路中，主要由一块四运算放大器 LM324 为核心构成。但电路中仅用了三只运算放大器，组成了三只比较器。其中，IC1-1 未使用；IC1-2 用于进行欠压指示检测与驱动；IC1-4 用于进行过压指示与驱动；IC1-3 用于控制 VT2 管的状态，VT2 控制继电器

器 KA 线圈中电流的通断, KA 继电器的触点用于控制电源插座 XS 中电源的接通与断开。图 2-24 所示是图 2-23 所示电路的印制板图。

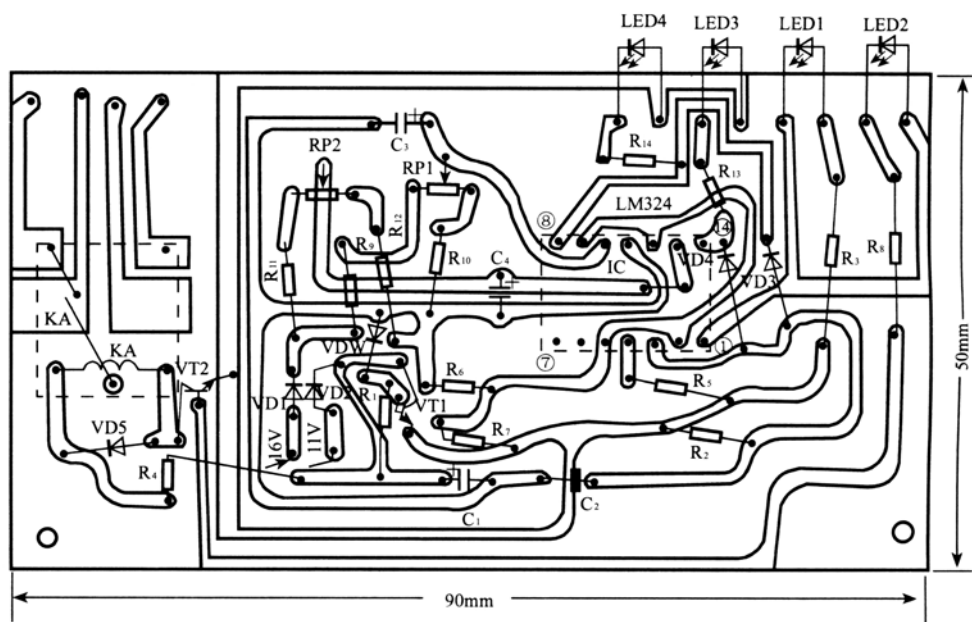


图 2-24 由双运算放大器 LM324 构成的过压与欠压保护电路印制板图

2. 工作原理

图 2-23 所示电路中的 T 为电源变压器, 其次级有两个绕组: 一个绕组的 11 V 交流低压经 VD2 整流, C_1 滤波、得到的直流电压一路提供给继电器 KA 驱动电路; 另一路经由 VT1 与 VDW 等组成的简单串联型稳压电路稳压为 6 V 后作为控制电路的电源及比较器的基准电压。

电源变压器 T 次级另一绕组的 16 V 交流低压经 VD1 半滤整流后, 由 RP1、RP2 与 $R_9 \sim R_{12}$ 分压后作为 IC1-2、IC1-4 比较器的比较电压。

(1) 交流市电正常

当交流市电正常时, VT1 管输出的 6 V 电压经 R_2 电阻器对 C_2 电容器进行充电, 一旦 C_2 上的电压大于 IC1-3②脚基准电压 (该充电过程即为开机的延时时间, 约 5~10 min), IC1-3①脚输出高电平, 使 LED2 导通发光和 VT2 导通驱动 KA 吸合, 其常开触点闭合后使插座 XS 中的电器得电工作。

(2) 欠压和过压保护

当交流电压低于 180 V 或高于 250 V 时, IC1-2⑧脚或 IC1-4⑭脚分别输出低电平, 使 LED4 或 LED3 导通发光, 以作欠压或过压保护指示; 同时也使 VT2 截止, 切断了 XS 插座上的供电。

2.5.4 四运算放大器在三分频电路中的应用与识图

图 2-25 所示是由四运算放大器 TL084P 构成的三分频电路。该电路可以与各种音响系统配套使用，构成家庭影院系统等。

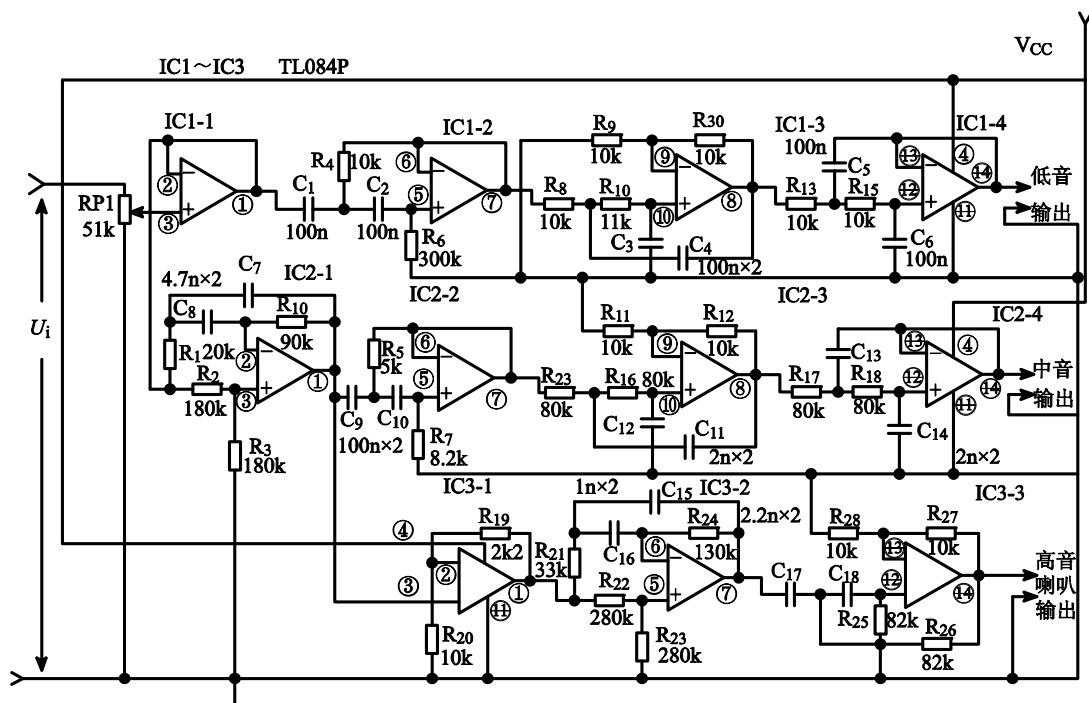


图 2-25 由四运算放大器 TL084P 构成的三分频电路

1. 识图指导

图 2-25 所示电路主要由 IC1~IC3 为核心构成。这 3 只集成电路的型号均为 TL084P，是一种四运算放大器。

2. 工作原理

图 2-25 所示电路由高、中、低三个单元共同构成。这三路信号均取自缓冲放大器 IC1-1 的输出端。其信号流程是电路电平经音量电位器 RP1 送至 IC1-1 等组成的缓冲放大器，信号从 IC1-1 ①脚输出后，去中低音电路。

(1) 低音电路

IC1-2 放大器组成的高通滤波器，其交叉频率为 28 Hz，而 Q 值则为 2.82，主要是用来为低音喇叭提供低音均衡。进而就可由低音音箱延伸到 35 Hz，具有过阻尼的四阶滤波器响应。IC1-2 提供的低频增强信号使响应曲线变平，保证了系统在 32 Hz 时的 -3dB 点。

低音和中音单元之间的分频由 IC1-3 与 IC1-4 进行处理的。它们由两个二阶部分组成四阶低通滤波器，最终可使滤波器的 Q 值为 0.5。

(2) 中音电路

中音单元的特性确定了分频点的选择。中音信号来自 IC2-1 输出的信号，加到由 IC2-2 及其外围元件构成的高通滤波器上，该高通滤波器具有相同的交叉频率，但 Q 值是 0.68。这样产生的声音输出是所要求的 4 阶高通交迭响应。IC2-3 与 IC2-4 及其外围元件构成的 4 阶滤波器使中音输出在 900 Hz 产生衰减。

(3) 高音电路

高音电路由 IC3-1~IC3-3 及其外围的有关元件共同构成。高音信号也取自 IC2-1 的输出端，由 IC3-1 组成的电路对信号进行补偿处理，再由 IC3-2 及其有关电路产生一定量的补偿。为了产生所需的 4 阶响应，高音喇叭由 IC3-3 的输出驱动，IC3-3 是 Q 值为 1 的二阶高通滤波器。

(4) 延迟补偿

由于各个单元电路的中心是在不同的声平面上，所以要使用全通滤波器的时间延迟来作出补偿。故在电路中设置两个滤波器来实现这一功能，除了 IC3-2 电路外，IC2-1 组成的滤波器，它对低音喇叭和中音喇叭之间的时间延迟作出了补偿。这就相当于在 144 Hz 下出现 -24° 的相移。

习 题 二

1. 填空题

- (1) 集成运算放大器是一种_____放大器。
- (2) 集成运算放大器通常由_____电路、_____电路、_____电路和_____电路组成。
- (3) 集成运算放大器的主要特点是_____很大，_____很高，_____很低。
- (4) 集成运算放大器实际上是一种_____输入、_____输出、_____增益、_____电阻值、_____电阻值的多级直接耦合放大器。
- (5) 运算放大器的开环电压放大倍数是指输入小信号时，_____电压与_____电压之比值。

2. 问答题

- (1) 集成运算放大器通常有哪几个主要引脚？各有什么作用？

- (2) 理想运算放大器有哪两个基本特点？根据基本特点可得到哪些重要推论？

- (3) 集成运算放大器通常适用于哪些场合？

- (4) 反相输入的运算放大器中，为什么称反相端为“虚地端”？你是怎样理解的？

(5) 运算放大器中, 同相输入和反相输入, 在输入和反馈的接法上有什么异同点? 在同相输入时, 若把反馈电路也接到同相输入端行不行? 为什么?

(6) 如何用运算放大器实现对两个信号进行减法的运算(即 $V_O = V_{i1} - V_{i2}$)? 试画出电路来进行说明。

(7) 反相输入的集成运算放大器有何特点? 写出理想情况下的电压放大倍数、输入与输出电阻值的表达式。

(8) 同相输入集成运算放大器有何特点? 写出理想情况下的电压放大倍数。

(9) 差分输入集成运算放大器有何特点? 输出电压与输入电压有何关系?

(10) 怎样由集成运算放大器组成电压跟随器?

(11) 由集成运算放大器组成的电压跟随器与晶体管电压跟随器比较有什么优点？写出前者的电压放大倍数，输入与输出电阻值表达式。

(12) 为什么使用运算放大器前都必须调零？调零方法有哪几种主要形式？

(13) 什么是集成运算放大器的开环电压放大倍数 $\dot{A}_o$ ？是否 $\dot{A}_o$ 越高越稳定，所组成的运算放大器运算精度也越高？

(14) 使用运算放大器时为什么要有一定的保护措施？通常有哪些保护方式？各有什么特点？



第3章 典型电压比较器的识图与应用快捷入门

集成电压比较器是一个运算放大器处于开环状态时的差分放大器电路。由于电压比较器用得较为广泛，半导体器件生产厂家生产了专用的比较器集成电路，故本书将其单独列出并专门对其进行介绍。

3.1 集成电压比较器识图与应用的基本知识

集成电压比较器是一种专用的集成运算放大器，但其又与集成运算放大器有一些差别，知道了这些差别，对合理使用它很有好处。集成电压比较器与集成运算放大器的差别主要表现在以下几个方面。

3.1.1 集成电压比较器与运算放大器在应用范围上的差别

集成运算放大器既可以作为比较器电路，又可以作为其他运算器等电路使用。而集成电压比较器大都作为比较器使用，广泛应用于工、农业自动控制、电源电压检测、振荡器和压控振荡器、A/D（模拟/数字）变换、V/F（电压/频率）变换、仪器仪表测量，以及过零检测、高速采样与汽车电子电路中。

3.1.2 集成电压比较器与运算放大器在特性参数上的差别

由于集成电路电压比较器的内部结构与集成运算放大器基本相同，故两者的大部分电气特性参数基本相同，如输入失调电流输入失调电压及输入偏置电流等。但集成电压比较器也有其特有的技术参数要求，如：灵敏度、相应速度、精度、传播延迟时间等。

集成电压比较器要求有较高的放大倍数，较高的转换速率（压摆率）。电压比较器的精度主要取决于其失调电压。在要求不是太高的场合，也可以采用通用集成运算放大器来作为比较器电路。例如 A/D 变换器电路等场合。另外，性能较好的集成电压比较器，其开环增益比通用集成运算放大器的开环增益更高，输入失调电压更小，压摆率更高（使比较器相应速度更快），共模输入电压的范围更大。

3.1.3 集成电压比较器与运算放大器在工作特性上的差别

集成电压比较器的两种典型工作特性如图 3-1 所示。集成电压比较器是工作在线性区域，输出电压接近电源电压。它工作在开环状态，由于开环放大倍数较高，因此两输入端之间有一点电压差别，就可以使输出达到饱和区。

集成电压比较器一般有一个输入电压为基准电压。另一个是与基准电压作比较的输入电压。如图 3-1（a）所示，输入电压 V_i 与 V_1 （不变的电压）进行比较。 V_1 就称为基准电压，或称参考电压、阈值电压。如果将 V_1 电压设置为低电平，即 0 V，如图 3-1（b）所示，则多用来作为过零检测电路。

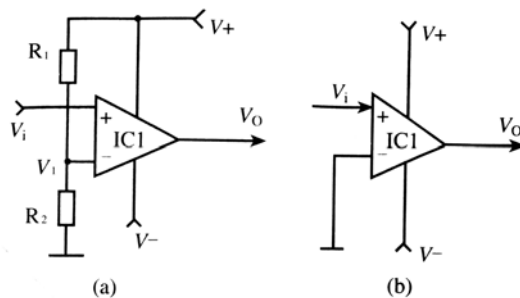


图 3-1 集成电压比较器的两种典型工作特性

3.1.4 集成电压比较器的供电方式

集成电压比较器主要用于对两个模拟电压进行比较，并判断出哪一个电压高，这是它最基本的功能。其供电分为单电源供电和双电源供电两种方式。

1. 单电源供电方式

单电源供电方式的集成电压比较器如图 3-2 所示。其中图 3-2 (a) 所示是单电源供电的同相输入电路，图 3-2 (b) 所示是单电源供电的反相输入电路。

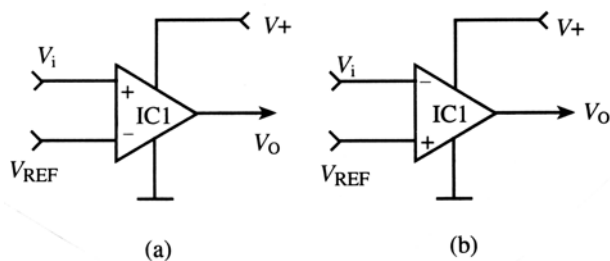


图 3-2 单电源供电方式的集成电压比较器

2. 双电源供电方式

双电源供电方式的集成电压比较器如图 3-3 所示。其中图 3-3 (a) 所示是双电源供电的同相输入电路，图 3-3 (b) 所示是双电源供电的反相输入电路。

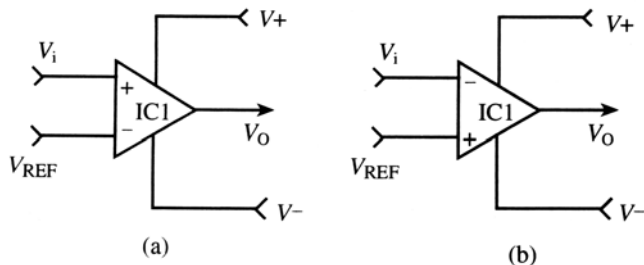


图 3-3 双电源供电方式的集成电压比较器

3.1.5 单电源供电集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系

以图 3-2 (a) 所示的单电源供电同相输入电路为例, 单电源集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系如图 3-4 所示。当从其 V_i 端 (同相输入) 输入如图 3-4 (a) 所示的 V_i 波形信号, 从 V_{REF} 端 (反相输入) 输入如图 3-4 (a) 所示的 V_{REF} 波形信号时, 就可以得到如图 3-4 (b) 所示的输出信号波形。具体处理过程如下。

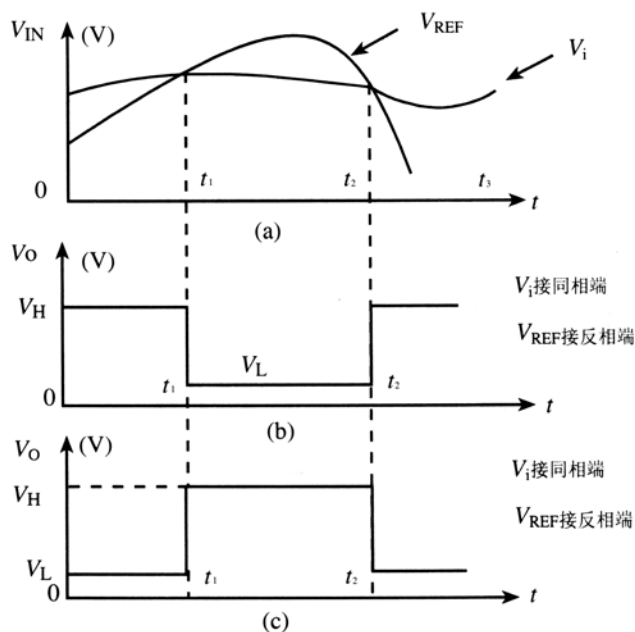


图 3-4 单电源集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系

1. 在 $0 \sim t_1$ 时间段内

图 3-4 (a) 所示, 在 $0 \sim t_1$ 时间段内, 由于 $V_i > V_{REF}$, 故集成电压比较器 IC1 的 V_O 端输出为高电平 (饱和输出), 具体波形如图 3-4 (b) 所示的 $0 \sim t_1$ 段 V_H 高度的水平线。

2. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间段内

图 3-4 (a) 所示, 在 $t_1 \sim t_2$ 时间段内, 由于 $V_i < V_{REF}$, 故集成电压比较器 IC1 的 V_O 端输出为低电平, 具体波形如图 3-4 (b) 所示 $t_1 \sim t_2$ 段 V_L 高度的水平线。

3. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间段内

图 3-4 (a) 所示, 在 $t_2 \sim t_3$ 时间段内, 由于 $V_i > V_{REF}$, 故集成电压比较器 IC1 的 V_O 端又输出高电平, 具体波形如图 3-4 (b) 所示 $t_2 \sim t_3$ 段 V_H 高度的水平线。

如果将图 3-4 (a) 所示的波形加到图 3-2 (b) 所示的电路, 即将 V_i 输入到 IC1 的反相输入端, V_{REF} 加到 IC1 的同相输入端, 则 IC1 的输出端 V_O 输出波形如图 3-4 (c) 所示波形所示。对比图 3-4 (b) 与 (c) 所示波形可看出, 两者的输出电平正好倒了一个方向, 即反

相。

由此可见，集成电压比较器的输出电平变化，与其两个输入端 V_i 、 V_{REF} 有直接关系。

3.1.6 双电源供电集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系

以图 3-3 (a) 所示的双电源供电同相输入电路为例，双电源集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系如图 3-5 所示。当从其 V_i 端（同相输入）输入如图 3-5 (a) 所示的 V_i 波形信号，从 V_{REF} 端（反相输入）输入如图 3-5 (a) 所示的 V_{REF} 波形信号时，就可以得到如图 3-5 (b) 所示的输出信号波形。具体处理过程如下。

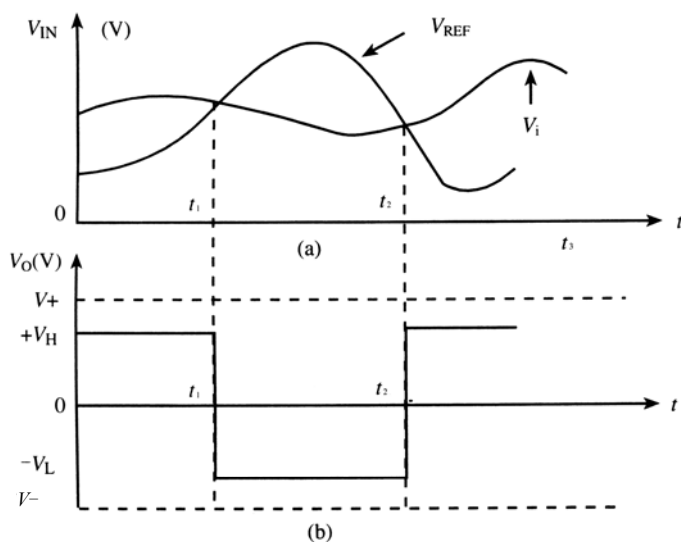


图 3-5 双电源集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系

1. 在 $0 \sim t_1$ 时间段内

图 3-5 (a) 所示，在 $0 \sim t_1$ 时间段内，由于 $V_i > V_{REF}$ ，故集成电压比较器 IC1 的 V_O 端输出为高电平（饱和输出），具体波形如图 3-5 (b) 所示 $0 \sim t_1$ 段 V_H 高度的水平线。

2. 在 $t_1 \sim t_2$ 时间段内

图 3-5 (a) 所示，在 $t_1 \sim t_2$ 时间段内，由于 $V_i < V_{REF}$ ，故集成电压比较器 IC1 的 V_O 端输出为低电平，具体波形如图 3-5 (b) 所示 $t_1 \sim t_2$ 段 $-V_L$ 高度的水平线。

3. 在 $t_2 \sim t_3$ 时间段内

如图 3-5 (a) 所示，在 $t_2 \sim t_3$ 时间段内，由于 $V_i > V_{REF}$ ，故集成电压比较器 IC1 的 V_O 端又输出高电平，具体波形如图 3-5 (b) 所示 $t_2 \sim t_3$ 段内 V_H 高度的水平线。

如果将图 3-5 (a) 所示的波形加到图 3-3 (b) 所示的电路，即将 V_i 输入到 IC1 的反相输入端， V_{REF} 加到 IC1 的同相输入端，则 IC1 的输出端 V_O 输出波形与图 3-4 (b) 与 (c) 所示一样倒了一个方向，见图 3-5 (b) 所示的波形。

3.1.7 集成电压比较器的类型

集成电压比较器常见有单电压比较器（即一块集成电路内仅封装了1只比较器电路），双电压比较器（即一块集成电路内封装了2只独立的比较器电路），四电压比较器（即一块集成电路内封装了4只独立的比较器电路）。

1. 单电压比较器

单电压比较器的常见型号有 LM311、LM111、FX111、MLM111、F311、F111、CJ111、MLM311、LM710 等。

2. 双电压比较器

双电压比较器的常见型号有 LM393、FX393、DG393、CJ393、CJ0193、FX193、LM193（NSC）、CJ0293、FX293、LM293、F711、DG711、LM711（NSC）、CJ0514、TL514、FC82、BG327、CJ0811、FC82、SN72510、FG1414、T099、CJ1414、SG1414、SG710X2、LM1414（NSC）等。

3. 四电压比较器

四电压比较器的常见型号有 CJ0139、FX139、DG139、LM139（NSC）、CJ0239、DG239、LM329、LM229、SF339、ANI339、DG339、CJ0339、FX2901、LM2901（NSC）、LM239、F3302、LM3303（NSC）、FX3302、MC3302（MOTA）、SG14574、MC14574（MOTA）、CC14574（MOTA）、IR2339 等。

集成电压比较器按其功能分类，分为高速电压比较器、精密电压比较器、低功率损耗电压比较器，双差动电压比较器。

3.1.8 集成电压比较器的封装

集成电压比较器常见的封装有双列14脚封装、双列8脚封装、金属圆形8脚封装方式。

1. 单集成电压比较器

集成电压比较器金属圆形8脚封装和双列8脚封装的单集成电压比较器的封装方式如图3-6所示。

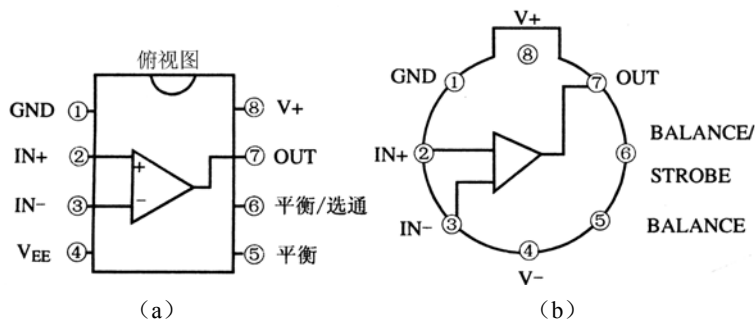


图 3-6 金属圆形 8 脚封装和双列 8 脚封装的单集成电压比较器

LM311 是单电压比较器，其采用双列 8 脚封装方式，如图 3-6（a）所示。

LM710 也是单电压比较器，其采用金属圆形 8 脚封装方式，如图 3-6（b）所示。

图 3-6（a）与（b）所示的单集成电压比较器的引脚功能相同，其引脚功能说明如表 3-1 所列。

表 3-1 单集成电压比较器的引脚功能说明

引脚号	功能说明	引脚号	功能说明
①	接地线端	⑤	平衡元件连接端
②	比较器同相信号输入端	⑥	平衡/选通控制端
③	比较器反相信号输入端	⑦	比较后的信号输出端
④	负电源电压输入端	⑧	正电源电压输入端

2. 双集成电压比较器

集成电压比较器金属圆形 8 脚封装和双列 8 脚封装的双集成电压比较器的封装方式如图 3-7 所示。

LM393 是双电压比较器，其采用双列 8 脚封装方式，如图 3-7（b）所示。

T099 也是双电压比较器，其采用金属圆形 8 脚封装方式，如图 3-7（a）所示。

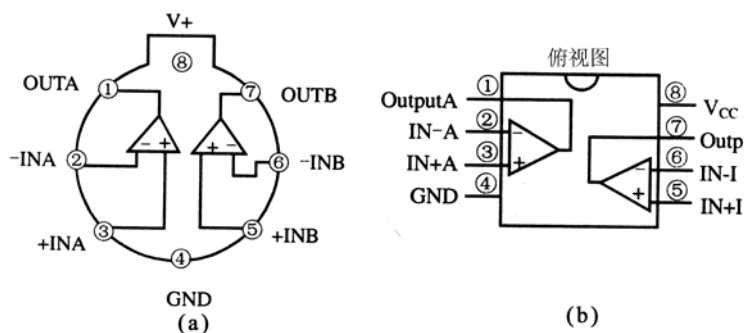


图 3-7 金属圆形 8 脚封装和双列 8 脚封装的双集成电压比较器

图 3-7（a）与（b）所示的双集成电压比较器的引脚功能相同，其引脚功能说明如表 3-2 所列。

表 3-2 双集成电压比较器的引脚功能说明

引脚号	功能说明	引脚号	功能说明
①	A 电压比较器信号输出端	⑤	B 比较器同相信号输入端
②	A 比较器反相信号输入端	⑥	B 比较器反相信号输入端
③	A 比较器同相信号输入端	⑦	B 电压比较器信号输出端
④	接地线端	⑧	工作电源电压输入端

3. 四集成电压比较器

通常四集成电压比较器大多采用 14 脚双列（即 C—14 型）封装方式，例如，LM339

四电压比较器就采用双列 14 脚封装的，其内电路方框图，如图 3-8 所示。四集成电压比较器的引脚功能说明如表 3-3 所列。

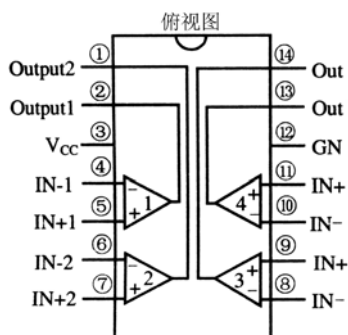


图 3-8 双列 14 脚封装的四集成电压比较器及内电路方框图

表 3-3 集成电压比较器的引脚功能说明

引脚号	功能说明	引脚号	功能说明
①	电压比较器 2 信号输出端	⑧	电压比较器 3 反相信号输入端
②	电压比较器 1 信号输出端	⑨	电压比较器 3 同相信号输入端
③	工作电源电压输入端	⑩	电压比较器 4 反相信号输入端
④	电压比较器 1 反相信号输入端	⑪	电压比较器 4 同相信号输入端
⑤	电压比较器 1 同相信号输入端	⑫	接地线端
⑥	电压比较器 2 反相信号输入端	⑬	电压比较器 4 信号输出端
⑦	电压比较器 2 同相信号输入端	⑭	电压比较器 3 信号输出端

不论是四电压比较器还是双电压比较器，虽然它们都封装在一块集成电路中，但它们在集成电路内均具有相对独立性，故在使用时，可根据实际需要灵活运用。

3.2 集成电压比较器的典型应用与识图

集成电压比较器的典型应用方式较多，以下介绍常见的典型应用电路，供实际应用时参考。

3.2.1 集成电压比较器的应用与识图

集成电压比较器大多为晶体管结构，输出级大多为集电极开路结构，电压比较器集电极开路结构及电路连接方式如图 3-9 所示，在它的外部需要接一个上拉电阻器 R1，如图 3-9（a）所示，或者直接用于驱动不同电源电压的负载，如图 3-9（b）所示，故使用起来更加灵活。

有的集成电压比较器为互补输出方式，无需加接上拉电阻器，如 CJ0361、SN75361A 型等。

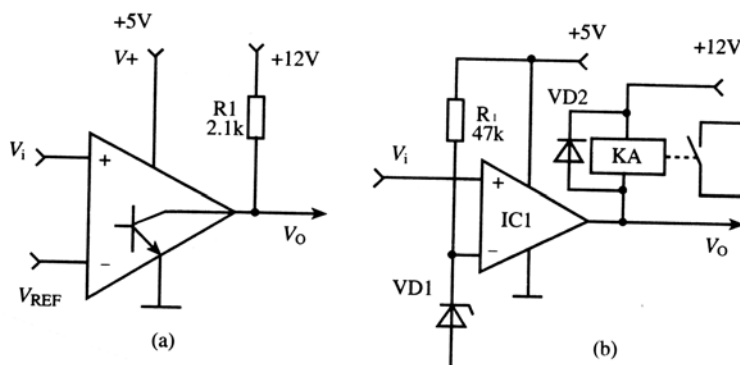


图 3-9 集成电压比较器集电极开路结构及电路连接方式

3.2.2 零电平电压比较应用电路与识图

当把集成电压比较器的地电平作为基准电压时,称为零电平电压比较器,如图 3-10 所示。

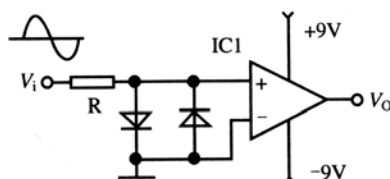


图 3-10 零电平电压比较器

在图 3-10 所示电路中,当输入电压 $V_i > 0$ V 时,IC1 的输出为正饱和电压;当输入电压 $V_i < 0$ V 时,IC1 的输出为负饱和电压。

3.2.3 单限电压比较应用电路与识图

单限电压比较电路及工作特性波形如图 3-11 所示,其中图 3-11 (a) 所示是集成电压比较电路构成的基本单限比较电路。在该电路中,基准门限电压为 V_{REF} 。

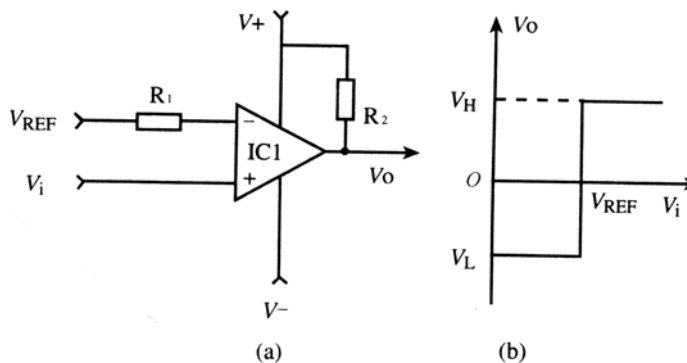


图 3-11 单限电压比较电路及工作特性波形

设置在 IC1 的反相输入端, 供比较的 V_i 电压从同相端输入。这样, 当输入电压 $V_i > V_{REF}$ 时, 输出为高电平 V_H , 其传输特性波形如图 3-11 (b) 所示。

3.2.4 双限电压比较应用电路与识图

双限电压比较应用电路及工作特性波形如图 3-12 所示, 图 3-12 (a) 所示为由集成电压比较器构成的双限比较电路。双限比较电路又称为窗口电压比较器, 输入电压 V_i 与 V_{REF1} (上限) 及 V_{REF2} (下限) 电压作比较。上下限基准电压可看作窗口, 故称这种电路为窗口电压比较器。

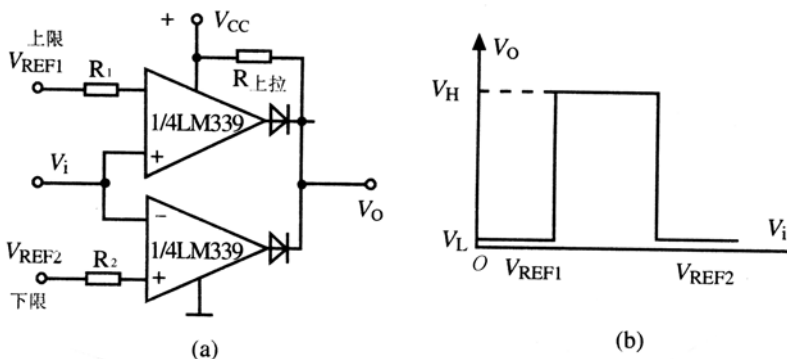


图 3-12 双限电压比较应用电路及工作特性波形

1. $V_{REF1} < V_i < V_{REF2}$

当被比较的信号 V_i 处于门限电位之间, 即 $V_{REF1} < V_i < V_{REF2}$ 时, 输出电压 $V_O = V_H$ (高电平)。

2. $V_i > V_{REF2}$ 或 $V_i < V_{REF1}$

当被比较的信号 V_i 不在门限电平之间, 即 $V_i > V_{REF2}$ 或 $V_i < V_{REF1}$ 时, 输出电压 $V_O = V_L$ (低电平)。

3. 窗口电压

图 3-12 (a) 所示电路的窗口电压为:

$$\Delta V = V_{REF2} - V_{REF1}$$

上述窗口电压可以用来判断输入信号电位是否位于指定门限电位之间。双限电压比较器的工作特性可用图 3-12 (b) 所示的波形表示。

3.2.5 音频方波振荡应用电路与识图

由电压比较器构成的音频方波振荡应用电路如图 3-13 所示。振荡电路的振荡频率由 R_3 与 C_1 的数值确定。当改变 C_1 的电容量值时, 就可以改变输出 V_O 的方波频率 f 。

① 当 $C_1 = 0.001 \mu\text{F}$ 时, $f = 5300 \text{ Hz}$

② 当 $C_1=0.01\ \mu\text{F}$ 时, $f=530\ \text{Hz}$

③ 当 $C_1=0.1\ \mu\text{F}$ 时, $f=53\ \text{Hz}$

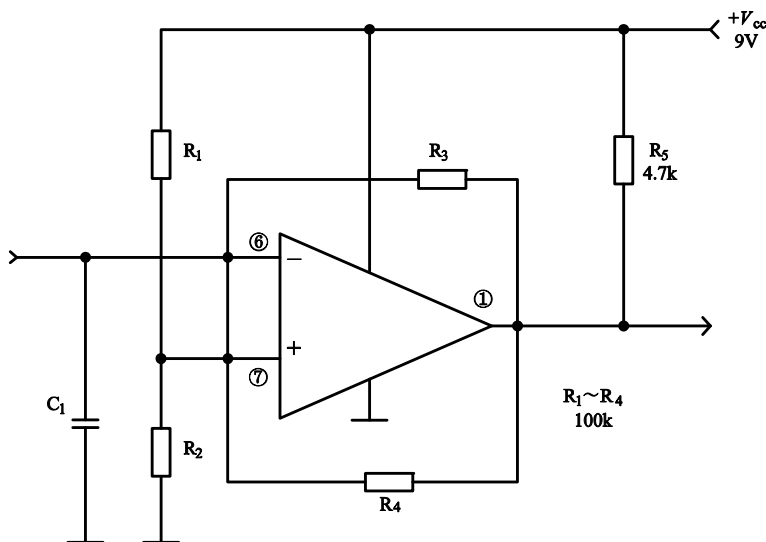


图 3-13 由电压比较器构成的音频方波振荡应用电路

3.2.6 迟滞比较应用电路与识图

由集成电压比较器构成的迟滞比较电路及传输特性如图 3-14 所示。图 3-14 (a) 所示是一个加了正反馈的单限比较电路, 主要是为了克服单限比较器输入信号 V_i 在门限值附近如果有微小的干扰时, 输出电压产生的抖动 (起伏) 现象。

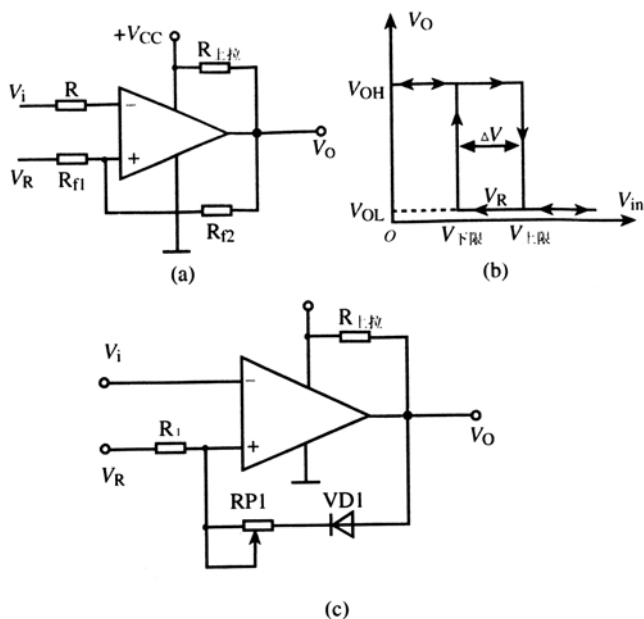


图 3-14 由集成电压比较器构成的迟滞比较电路及传输特性

图 3-14 (b) 所示是迟滞比较电路的传输特性。不难看出, 当输出状态一旦转换以后, 在跳变点电压值附近的干扰不超过 ΔV 的两个输入电压值。

当迟滞比较器设置了正反馈网络以后, 由此可以加快比较器的响应速度。加之, 迟滞比较器所加的正反馈较强, 比电路中产生的寄生耦合信号强得多, 故迟滞比较器可以消除由于电路寄生耦合而引起的自激振荡现象。

制作提示:

对于迟滞比较器来说, 如果要将一个跳变点电压固定在某一基准参考电压上, 则可在正反馈回路中串接一只非线性元件, 例如图 3-14 (c) 所示电路中加接一只二极管 VD1, 并将反馈电阻器改接为电位器 RP1。这样, 利用 VD1 二极管的单向导通特性, 就可以实现上述要求, 调节 RP1 可调整跳变点的电压。

3.2.7 低电压指示应用电路与识图

图 3-15 所示是由电压比较器 AN051 系列比较器构成的低电压指示电路。当电压低于设定的标称电压时, IC1 输出低电平, 驱动 VD1 发光。设定的检测电压及限流电阻器的阻值应根据电池节数选择:

- ① 检测两节电池时, IC1 应采用 AN051-2.1 型的, $R=0.5\text{ k}\Omega$ 。
- ② 检测四节电池时, IC1 应采用 AN051-4.0 型的, $R=1.2\text{ k}\Omega$ 。

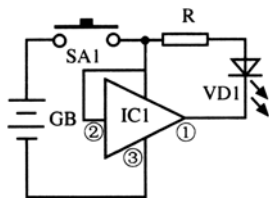


图 3-15 由电压比较器 AN051 系列比较器构成的低电压指示电路

3.3 单电压比较器的识图与应用

典型的单电压比较器如 LM311, 由于这类集成电路具有失调电压平衡调整引出脚 (该引脚也可以作为选通端), 故其可与各种类型的负载进行连接。

3.3.1 单电压比较器 LM311 识图与应用指导

LM311 是日常应用较广泛的一种单电压比较器, 这类集成电路的主要电参数有以下 6 个方面。

1. 电源电压

集成电路 LM311 使用的供电范围比较宽, 既可采用单电源供电, 电源电压范围为 $5\sim 30\text{ V}$; 又可以采用双电源供电, 电压典型值为 $\pm 15\text{ V}$; 输入电压范围为 $-14.7\sim +13.8\text{ V}$ 。

2. 工作电流

集成电路 LM311 的正电源工作电流典型值为 2.4 mA；负电源工作电流典型值为 -1.3 mA；输入偏置电流典型值为 25 nA。

3. 响应时间与电压增益

集成电路 LM311 的响应时间典型值为 200 ns；电压增益典型值为 200 V/mV。

4. 负载 R_L 的连接方法

集成电路 LM311 具有连接负载多样性的特点，归纳起来常见的主要有以下 4 类。

(1) 正负电源供电时 R_L 的接法

图 3-16 所示为集成电路 LM311 的典型应用电路，当 LM311 采用正、负电源供电时，负载 R_L 的连接方法如图 3-16 (a) 所示。

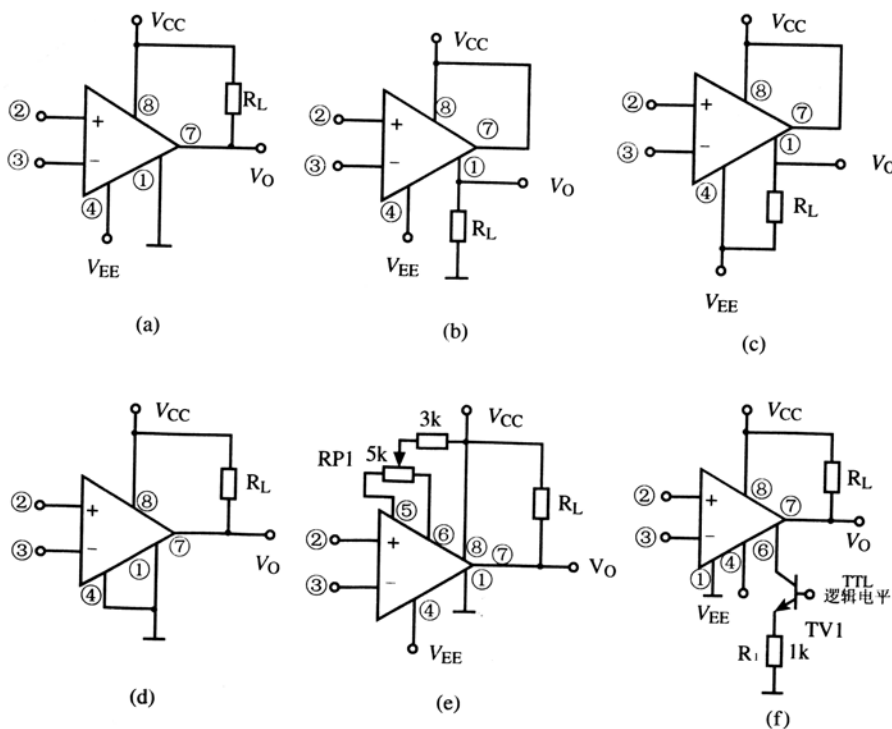


图 3-16 集成电路 LM311 的典型应用电路

(2) 输入极性颠倒时 R_L 的接法

当 LM311 采用输入极性颠倒接法（即③脚作为同相端）时，负载 R_L 接在 IC1 比较器①脚与地之间的方法如图 3-16 (b) 所示。

(3) 输入极性颠倒时 R_L 的另一种接法

当 LM311 采用输入极性颠倒接法（即③脚作为同相端）时，负载 R_L 的另一种接法如图 3-16 (c) 所示，负载 R_L 是连接在 IC1 比较器①脚与 V_{EE} （负电源端）之间。

(4) 单电源供电时 R_L 的接法

当 LM311 采用单电源供电时, 负载 R_L 的接法如图 3-16 (d) 所示, 连接在 V_{CC} 与 V_O 之间。

5. 选通比较电路

由集成电压比较器 LM311 构成的选通比较电路如图 3-16 (f) 所示。该电路是在 IC1 的⑥脚与地之间连接一只晶体三极管作为选通控制管, 选通控制信号可以是 TTL 或 CMOS 逻辑电平, 该信号控制 VT1 管的导通或截止, 以此来选通功能。

① 当 VT1 管基极为高电平时, VT1 导通, IC1 的⑥脚等效于与地相接 (通过 R_1 电阻器), 从而使 IC1 被选通进入工作状态。

② 当 VT1 管基极为低电平时, VT1 截止, IC1 的⑥脚与地断开, 从而使 IC1 停止工作。

6. 失调电压平衡控制电路

在对 LM311 集成电压比较器的失调电压进行平衡调整时的电路连接方法如图 3-16 (e) 所示。是用一只 $5\text{ k}\Omega$ 左右电位器 RP1 连接在 V_{CC} 与 IC1 的⑤、⑥脚间。进行失调电压平衡调整时, 应将 IC1 的两输入端②与③脚接地, 调 RP1 使 V_O 输出电压最小 (近于 0 V) 即可。

3.3.2 集成电压比较器在视听设备电源自动断电电路中的应用与识图

图 3-17 所示是由单集成电压比较器 LM311 构成的视听设备电源自动断电电路。该电路用于控制视听设备, 在视听设备有信号输出时, 电路始终处于正常工作状态, 一旦视听设备无信号输出时, 会在 $1\sim 2\text{ min}$ 内自动切断视听设备的供电, 以实现自动关机的目的。

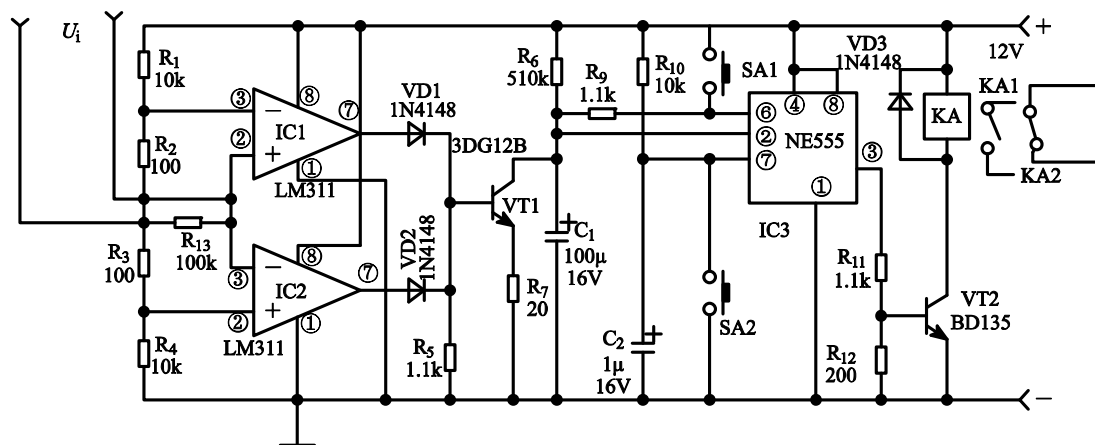


图 3-17 由 LM311 构成的视听设备电源自动断电电路

1. 识图指导

图 3-17 所示电路主要由 IC1~IC3、KA、SA1、SA2 为核心构成。其中, IC1 与 IC2 的型号均为 LM311, 是一种专用运算放大器, 即单电压比较器; IC3 的型号为 NE555, 是

一种单时基电路；SA1 是一只手动强制复位开关；SA2 是一只手动强制开机开关；KA 是一只 12 V 的直流继电器，其触点用来控制音像设备的工作电源，而 KA 继电器线圈中的电流通路受 VT2 管的控制，VT2 的状态则受 IC3 的控制，而 IC3 的状态则受 VT1 状态的控制，而 VT1 则受 IC1、IC2 的控制，IC1 与 IC2 任一输出高电平，均会使 VT1 导通，而 IC1 与 IC2 的输入信号为视听设备的音频信号。

2. 工作原理

当图 3-17 所示电路接上 12 V 直流电源以后，KA 继电器线圈得电吸合，KA2 常开触点闭合，视听设备得电工作。但继电器 KA 通电时间只能维持 1~2 min，如在这段时间之内，视听设备无音频信号加到 U_i 输入端，则继电器在这时间后断电，使视听设备自动断电（KA2 常开触点又复位断开）。

如果在图 3-17 所示电路通电 1~2 min 之内，有音频信号 U_i 输入，IC1 与 IC2 组成的比较器电路就会对输入的信号与基准信号进行比较。当输入信号大于 ± 50 mV 时，IC1 与 IC2 均输出高电平，从而使 VT1 基极为高电平而正偏导通。

IC3 及其外围元件共同构成了一个重复触发的单稳电路，延时时间由 R_6 、 C_1 决定，当 IC3②脚为低电平时，IC3 的③脚仍维持高电平，KA 继电器仍维持吸合状态。

一旦输入信号消失，VT1 管截止，电源电压就会通过 R_6 对 C_1 电容器进行充电，当 C_1 上的电压被充至一定值时，IC3 的②脚得到的复位电压而使电路进行复位，使 IC3 的③脚状态翻转，由高电平变为低电平，KA 继电器线圈断电，其常开触点复位又断开，切断了视听设备的工作电源，从而实现了无信号自动关机功能。如要重新收视节目，则必须重新触发 SA2 开关。

VD3 为续流二极管，用于防止 KA 继电器线圈产生的反峰电压损坏驱动管 VT2。

3.4 双电压比较器的识图与应用

典型的双电压比较器型号较多，LM393 就是日常应用较广泛、容易购到的一种集成电路双电压比较器。

3.4.1 双电压比较器识图与应用指导

双电压比较器 LM393 的主要参数及引脚排列和内部结构图说明如下，供应用时参考。

1. 电源电压

双电压比较器 LM393 使用的供电范围较宽，既可以采用单电源供电，供电电压范围为 2~36 V；又可以采用双电源供电，供电电压范围为 $\pm 1 \sim \pm 18$ V。

2. 工作电流

双电压比较器 LM393 的输入电流低，其典型值为 0.4 mA；输入偏置电流典型值为 25 mA。

3. 失调电压、电流

双电压比较器 LM393 的输入失调电压典型值为 $\pm 1 \text{ mV}$ ；输入失调电流典型值为 5 nA 。

4. 共模、差动输入电压

双电压比较器 LM393 的共模电压范围宽，典型值为 $0 \sim (V_{\text{CC}} - 1.5) \text{ V}$ ；差动输入电压范围较大，大到可以等于电源电压。

5. 输出与输入特性

双电压比较器 LM393 的输出端可以灵活方便地进行各种方式的连接，输出电压与 TTL、CMOS 逻辑电平兼容；输入端具有 ESD 保持功能。

6. 响应时间

双电压比较器 LM393 在进行大信号处理时，其响应时间的典型值为 300 ns 。

7. 电压增益

双电压比较器 LM393 的电压增益典型值为 200 V/mV 。

8. 温度范围

双电压比较器 LM393 的工作温度范围为 $0 \sim 70^\circ\text{C}$ 。

9. 引脚排列及内部结构图

双电压比较器 LM393 的俯视引脚排列及内部结构图如图 3-7 (b) 所示。

另外，集成电压比较器 LM2903 也是一块双电压比较器，它的引脚排列、主要电参数及内部结构图与 LM393 基本相同，仅是输入失调电压为 $\pm 2 \text{ mV}$ 略大于 LM393，且里面 903 的工作温度范围更大，为 $-40 \sim 105^\circ\text{C}$ 。

3.4.2 双集成电压比较器在冷热水温自动控制电路中的应用与识图

图 3-18 所示是由双集成电压比较器 LM393 构成的冷热水温自动控制电路。该电路可用来检测半导体制冷器件制冷的温度，使冷热水温维持在 $5 \sim 15^\circ\text{C}$ 范围内。

1. 识图指导

图 3-18 所示主要由 IC1、半导体制冷片、MOSFET 管 VTI 及电风扇电动机 M 等组成。其中，IC1 的型号为 LM393，是一块双电压比较器，是运算放大器处于开环状态时的差分放大器，它是一种专用的运算放大器集成电路。半导体制冷片的型号为 TEC1-12705，其主要特性如下：

t_{max} （最大温度） $= 67^\circ\text{C}$

I_{max} （最大电流） $= 5 \text{ A}$

$$U_{\max} (\text{最大电压}) = 15.4 \text{ V}$$

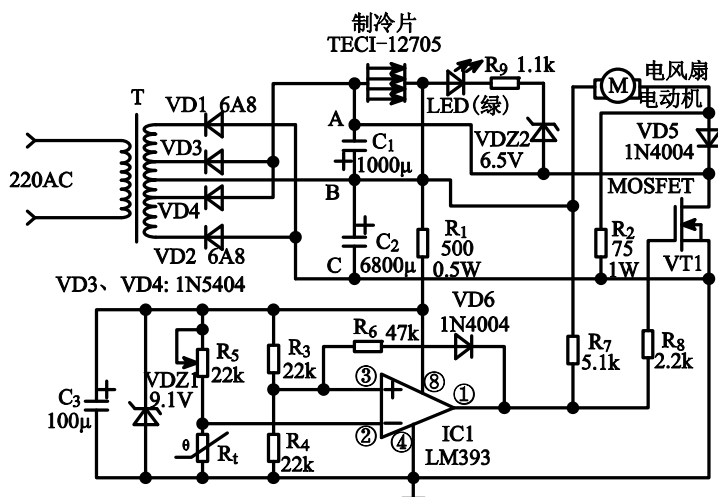


图 3-18 由双电压比较器 LM393 构成的冷热水温自动控制电路

VT1 的型号为 SMP60N06，是一种 N 沟道增强型大功率 MOS 管；电风扇电动机用于给半导体制冷片散热。

VT1 管用于控制半导体制冷片的工作电压，以控制制冷功率，而 VT1 的状态，则受 IC1 输出信号的控制，IC1 输出的电平则受热敏电阻传感器 R_t （受温度而变化的电阻值）的控制。

2. 工作原理

图 3-18 所示电路是通过改变加在半导体制冷片上的电压来实现制冷状态转变的。通常有两种制冷状态，即强冷状态和保持状态，以让水温保持在 $5 \sim 15^\circ\text{C}$ 范围内。

R_t 为一负温度系数的热敏电阻传感器，其紧贴在冷水胆壁上，用来检测水的温度。

(1) 水温上升到 15°C

当 R_t 传感器检测到水温上升到 15°C 时， R_t 的电阻值将下降到 $15 \text{ k}\Omega$ 左右，这一电阻器与 R_5 电阻器将约 9.1 V 左右的工作电源电压分压后加到 IC1 的反相信号端②脚。

IC1 在电路中连接成比较器方式，其③脚为基准参考电压输入端，该端电压是由 R_3 与 R_4 分压（将 9.1 V 的工作电源分压）后得到的。该电压还经 R_6 与隔离二极管 VD6 加到 IC1 的输出端①脚上。当 R_t 检测到的水温为 15°C 时，由于 IC1 ③脚上的电压大于②脚，故 IC1 ①脚输出高电平，致使 VD6 反偏截止。这样，IC1 ①脚输出的高电平经 R_8 加到 VT1 管栅极，使其导通，等效于将 C_1 电容器的上端（负极）与 C_2 电容器的下端（负极）短接，也就是等效于将 A 点与地相连，从而使相关电路进入工作状态。此时 A 点与 C 点电位基本一致，即：

$$U_{BA} = U_{BC} = 12 \text{ V}$$

该 12 V 的电压分为多路加到相关的电路上，其中，

- 一路加到制冷片 TECI-12705 的右端，使制冷片得电工作，此时半导体制冷片的

制冷功率较大。

- 另一路经 LED 绿发光二极管、 R_9 使 VDZ2（稳压值为 6.5 V 左右）齐纳击穿，LED 导通发出绿光，以表示处于强制制冷状态。
- 第三路加到电风扇电动机 M 的左端，使 VD5 隔离二极管导通，M 电动机得电运转，吹出的冷风为半导体制冷片散热，此时电风扇转动最快。

（2）水温下降到 5℃

当 R_t 传感器检测到水温下降到 5℃ 时， R_t 的电阻值上升到 22 k Ω 左右，从而使 IC1②脚电压上升，一旦大于③脚上的电压时，IC1 的①脚状态翻转变为低电平，从而使 VD6 管导通，封锁了 IC1 输出的信号，使 VT1 管截止，等效于从电路中断开，此时的 U_{BA} 电压约为 5 V，也就是加在半导体制冷片上的电压为 5 V，由于该电压低于 VDZ2 的稳压值，故 VDZ2 截止，LED 发光二极管熄灭，此时制冷功率较小。

当 VT1 管截止以后，VD5 二极管截止， R_2 电阻器串入了电风扇电动机 M 线圈之中，使加到电动机 M 上的电压约为 8 V 左右，故风扇转速转慢，

制作提示：

半导体制冷片是一种容性负载，刚通电时流过的电流较大，随后缓慢地减小到稳压值（即 VDZ2+ R_2 +LED 压降）。

如果需要图 3-18 所示电路提供低至冰水的温度，可通过调整 R_5 来调整下限温度，调整 R_6 则可调整上限温度。

3.4.3 双集成电压比较器在具有缺水保护点火电路中的应用与识图

图 3-19 所示是由双集成电压比较器 LM393N 构成的具有缺水保护的点火电路。该电路适用于燃气热水器等需要对水加热的场合。

1. 识图指导

图 3-19 所示电路主要由 IC1~IC2、VT1~VT5、YV、SA1、VD1~VD7 为核心构成。其中，IC1 的型号为 LM393N，是一块集成双电压比较器；VT1、VT2 的型号均为 9013，VT3、VT5 的型号均为 8550，VT4 的型号为 9015；YV 是一只电磁阀；SA1 为水控开关，受水的压力后会自动接通，无水的压力时会自动断开；VD1~VD7 的型号均为 1N4007，是一种整流二极管。

2. 工作原理

当打开热水龙头时，在水的压力作用下把水控制电源开关 SA1 接通后，电路即可得电进入工作状态。进一步就可分未点火时与点火时两种情况来说明电路的工作原理。

（1）未点火时

IC1-1 及外围的元件组成了零电平比较器。即 IC1-1 的反相信号输入端②脚直接与地相连作为基准电压，IC1-1 的同相信号输入端③脚为比较电压输入端，比较电压来自检测针的检测信号。

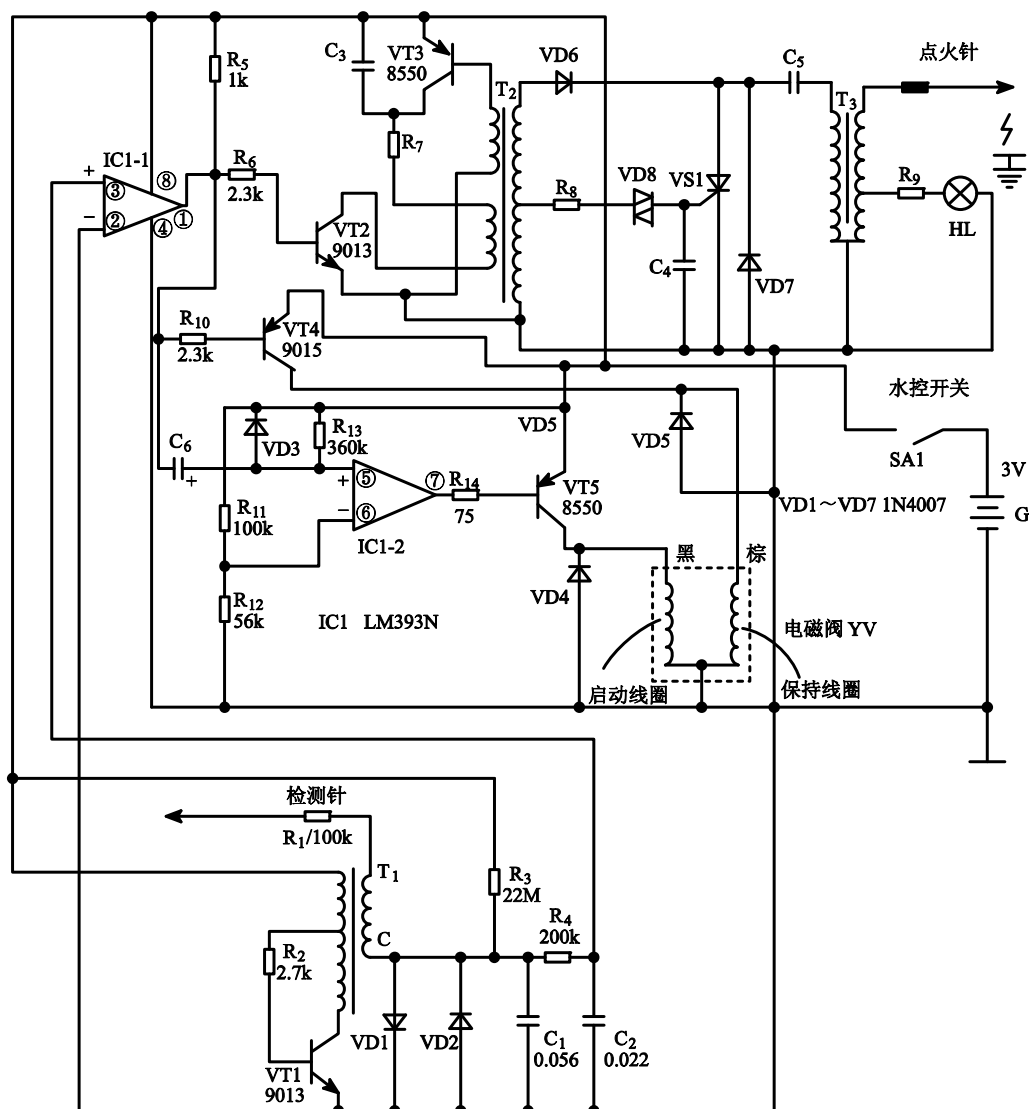


图 3-19 由双集成电压比较器 LM393N 构成的具有缺水保护的点火电路

未点火时, IC1-1 的③脚电压大于 0 V, 其①脚输出的高电平, 经 R_6 使 VT2 管导通, 由 VT3、 T_2 、 T_3 、VS1、VD8、VD6 等组成的振荡电路和点火电路开始工作; 与此同时, IC1-1 ①脚输出的高电平经 R_{10} 电阻器加至 VT4 管的基极, 使 VT4 管截止, IC1-1 ①脚输出的高电平也经 C_6 加到 IC1-2 的⑤脚。

IC1-2 及外围的元件共同组成了另一个比较电路。IC1-2 的反相信号输入端⑥脚为基准电压端, 基准电压是由 R_{11} 与 R_{12} 分压后得到的, IC1-2 的⑤脚为比较电压端, 未点火时, IC1-2 ⑦脚输出高电平, VT5 管也截止, 电磁阀 YV 无电不能打开主火燃气通道。

(2) 点火时

当点火器点燃小火, 检测针检测到火焰, 由于火焰离子的导电作用, 相当于在检测针对地接了一个电阻器在 T_1 的初级, 使初级有电流流过, T_1 次级感应的电压使 VT1 导通,

有较大的电流流过次级，在 T_1 的初级感应出一个负电压，使 IC1-1③脚电压低于②脚，①脚输出低电平，VT4 导通，YV 的保持线圈得电，同时 IC1-2⑦脚输出的低电平也使 VT5 导通，使 YV 电磁阀工作引燃主火。VT2 此时截止使振荡点火电路停止工作，随后由于 C_6 充电结束，VT5 截止，保持线圈继续维持电磁阀的工作，热水器开始正常工作。

3.4.4 双集成电压比较器在汽车空调电子温控电路中的应用与识图

图 3-20 所示是由双集成电压比较器 LM393 构成的汽车空调电子温控电路。该电路既可作为汽车空调的温度控制电路，也适用于需要对温度进行自动控制的场合。

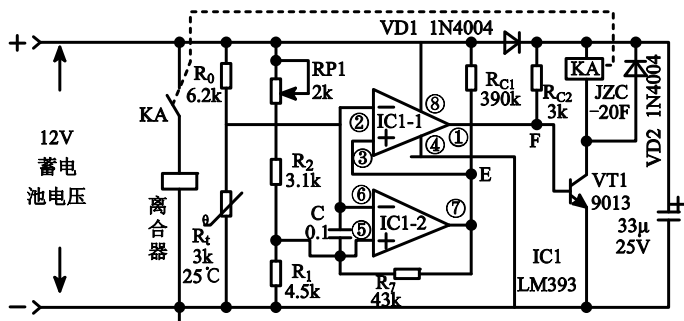


图 3-20 由双集成电压比较器 LM393 构成的汽车空调电子温控电路

1. 识图指导

图 3-20 所示电路主要由 IC1~IC2、 R_t 、KA 为核心构成。其中，IC1 的型号为 LM393，是一块专用双比较器； R_t 是一只 25°C 时的电阻值为 $3\text{ k}\Omega$ 的热敏电阻传感器（具有负温度特性）；KA 的型号为 JZC-20F，是一只直流继电器，其常闭触点用于控制空调压缩机离合器线圈的供电，以使压缩机工作或停止工作。KA 继电器线圈串接在 VT1 管集电极回路中，受 VT1 管状态的控制，而 VT1 管则受 IC1-1①脚输出信号的控制，IC1-1 则受 IC1-2 的控制，IC1-2 则受温度传感器 R_t 检测到的温度控制。

2. 工作原理

在图 3-20 所示电路中，IC1-2 构成的比较器，其同相信号输入端⑤脚为基准电压端，基准电压是由 RP1、 R_2 、 R_t 将汽车的蓄电池电压 (+12 V) 分压后得到的，反相信号输入端⑥脚为比较电压端，比较电压是由 R_0 与 R_t 分压后得到的，由于 R_t 的电阻值会随外界被测温度的变化而改变，故 IC1-2⑥脚上的电压是变化的。

(1) 外界环境温度低于设定值

当 R_t 检测到外界环境温度低于设定值 (RP1 设定的温度值) 时， R_t 的电阻值较大，分压后的电压大于 IC1-2⑤脚，故 IC1-2⑦脚输出低电平，从而拉低了 IC1-1③脚上的电压，从而使 IC1-1①脚被锁定输出低电平，VT1 不会工作。

(2) 外界环境温度高于设定值

一旦 R_t 检测到外界环境温度高于设定值时， R_t 的电阻值变小，使 IC1-1 的②脚与 IC1-2 的⑥脚电位均下降，一旦 IC1-2⑥脚电压小于⑤脚时，其⑦脚输出高电平，使 IC1-1③脚电

压大于②脚，其①脚输出高电平，从而使 VT1 管正偏导通，KA 继电器线圈得电吸合，其常开触点 KA 闭合后，又接通了压缩机离合器的供电，使压缩机工作进行制冷。

3.4.5 双集成电压比较器在自动充电电路中的应用与识图

图 3-21 所示是由双集成电压比较器 LM393 构成的自动充电电路。该电路具有完善的充电检测自停功能，可防止电池充电不满或过充电。其放电功能可有效地消除导致电池容量降低的“记忆效应”。

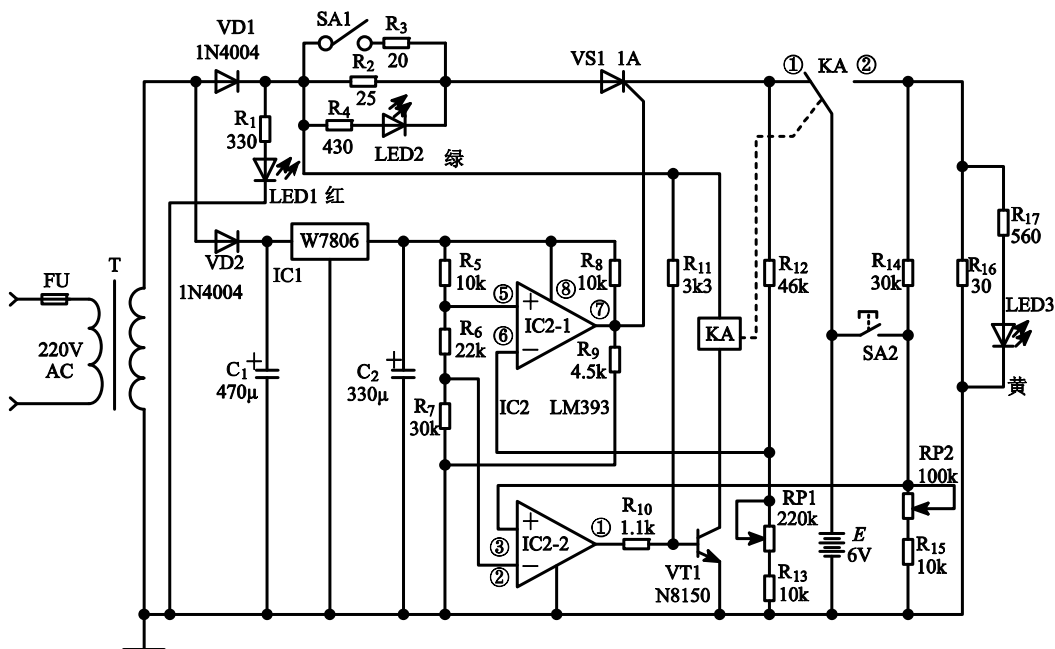


图 3-21 由双集成电压比较器 LM393 构成的自动充电电路

1. 识图指导

图 3-21 所示电路主要由 IC1 与 IC2 两块集成电路为核心构成。其中，IC1 的型号为 W7806，是一块稳压值为 6 V 的三端固定稳压集成电路；IC2 的型号为 LM393，是一块专用双运算放大器，是一种比较电路。KA 继电器有一组复合触点（常开、常闭），用于控制充、放电。KA 继电器线圈的电流通路受 VT1 管的控制，VT1 则受控于 IC2-2 输出的信号，IC2-1 输出的信号控制单向晶闸管 VS1 的状态。

2. 工作原理

图 3-21 所示电路主要有由 VD1、VS1、IC2-1 等组成的充电控制电路与由 IC2-2、KA 继电器等组成的放电控制电路。

(1) 电源电路

整机输入电源为直流+12 V，红色 LED1 为电源指示灯。IC1 用于将 12 V 电源稳压为 6 V 后，提供给充放电控制电路作工作电源。

(2) 自动充电电路

自动充电电路主要由 IC2-1、 R_{13} 、 R_{12} 、 $RP1$ 及 $VS1$ 等组成。IC2-1 的同相端上的基准电压是由 $R_5 \sim R_7$ 分压后得到的, 该电压约为 5 V, IC2-1 反相端上的比较电压来自于被充的电池电压经 R_{12} 、 R_{13} 、 $RP1$ 分压后得到的。当被充的电池电压低于上限值 7.3 V 时, IC2-1 ⑦脚输出高电平, 触发 $VS1$ 导通, 输入电压通过 R_2 、 R_3 分流对 6 V 的电池组进行充电。

当电池电压上升到 7.3 V 时, IC2-1 ⑦脚翻转变为低电平, $VS1$ 截止, 充电停止。在充电期间, 绿色充电指示灯 LED2 始终点亮。

如果充电后电压又会降到 7.3 V 以下, 则 IC2-1 比较器 ⑦脚的状态又会翻转变为高电平, 电路又对电池组进行充电。因此, 当电池电压临近充满状态时, 会有停止到再充电的反复过程, 充电指示灯 LED2 也会随之闪烁发光, 闪烁频率会随电池电压的升高而加快。

(3) 放电电路

放电电路由 IC2-2、VT1 开关管、KA 继电器、 R_{16} 、LED3 发光二极管等组成。SA2 为放电开关, 当充电电池接入电路以后, 就自动进入充电状态。

此时, 如果需要放掉余电, 则可按下 SA2 开关, 则 R_{14} 与 R_{15} 、 $RP2$ 电阻器分压后的电压就会加到 IC2-2 的同相输入端 ③脚, 如该电压大于 IC2-2 ②脚上的基准电压 (该电压是由 $R_5 \sim R_7$ 分压后得到的, 约为 3 V), 则 IC2-2 ①脚输出变为高电平, 该信号经 R_{10} 加至 VT1 基极, 使 VT1 导通, KA 继电器线圈得电吸合, 其常闭触点 ①断开, 常开触点 ②闭合, 从而接通了放电回路, 电池经 $R_{16} // R_{17} + LED3$ 进行放电, 放电指示灯 LED3 点亮。

当松开放电开关 SA2 以后, 如 R_{14} 与 R_{15} 分压后的放电电压大于 5.3 V 时, 则电路仍维持放电状态。一旦电池电压放电到 5.3 V 以下时, IC2-2 ①脚输出的电平翻转为低电平, VT1 截止, KA 继电器线圈断电释放, 放电过程结束, 自动转入充电方式。

(4) 充电温度保护电路

图 3-21 所示电路中 IC2-1 ⑥脚处接至充电电池组的温度检测信号输出端 (高电平有效端)。在自动充电过程中, 当电池组充电温度升高超过允许值时, 充电电池组内的温度传感器输出的高电平使 IC2-1 反相输入端 ⑥脚电压升高, 当这一电压大于 ⑤脚电压时, 其 ⑦脚输出变为低电平, $VS1$ 截止, 自动切断充电电路; 一旦温度降低后, 电路又自动进入充电状态。

制作提示:

适当调整 $RP1$ 的电阻值, 可改变充电电压的上限值; 调整 $RP2$ 的电阻值可改变放电的下限值; 改变 R_2 、 R_3 的电阻值, 可调整充电电流的大小, 以上调整均应根据实际所充电池组的情况进行。

3.4.6 双集成电压比较器在三轮车电瓶充电电路中的应用与识图

图 3-22 所示是由双集成电压比较器 LM393 构成的三轮车电瓶充电电路, 适用于对 48 V 或 36 V 三轮车电瓶进行充电。

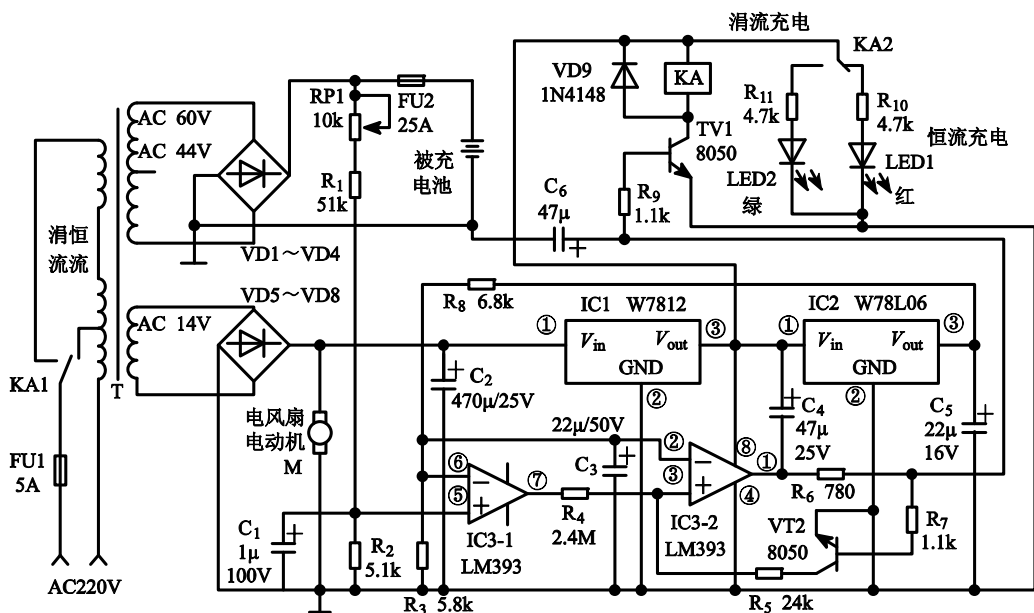


图 3-22 由双集成电压比较器 LM393 构成的三轮车电瓶充电电路

1. 识图指导

图 3-22 所示电路主要由 IC1、IC2、IC3 3 块集成电路构成。其中，IC1 是一块稳压值为 12 V 的三端固定稳压集成电路；IC2 是一块稳压值为 6 V 的三端固定稳压集成电路；IC3 是一块双电压比较器，采用双列 8 脚封装方式。

充电电路是利用普通工频变压器降压、整流为电瓶充电，具有恒流充电和涓流充电两种方式，并采用变压器初级绕组转换方式，控制电路的供电取自变压器另一低压绕组，以减小主绕组的负载。

2. 工作原理

图 3-22 所示电路的工作原理可以从以下两个方面来进行分析说明。

(1) 变压器电路

电源变压器 T 初级有一个中心抽头，次级有两个独立绕组，14 V 绕组是辅助电源绕组，给控制电路供电；主充电绕组有两个抽头：一个绕组是供 48 V 电瓶充电的，另一绕组是供 36 V 电瓶充电使用的（该电路未使用，如需要充 36 V 的蓄电池，则只需将该绕组改接到 36 V 绕组抽头上，并适当减小电压取样电阻值或调小 RP1 的阻值即可）。

当交流电压通过继电器 KA1 常闭触点接到电源变压器 T 初级抽头上时，是恒流充电位置，输出 57.6 V；通过继电器常开触点接到变压器 T 初级上端时，是涓流充电位置，输出 50~57.6 V。

(2) 电瓶电压检测电路

电瓶电压检测电路由 IC3、VT2 等构成。电瓶电压通过电压取样电阻器 RP1、R₁ 和 R₂ 分压后加到 IC3-1 的⑤脚，IC3-1 的取样电压取自 IC2 的③脚，经 R₈ 与 R₃ 分压后加到⑥脚

的。当电源电压升到 57.6 V 时, IC3-1 状态翻转, 其⑦脚输出高电平, IC3-2 状态翻转, 其①脚输出高电平, 导致 VT2 导通, 使 IC3-2 基准电压下降, 产生滞后效应。

IC3-2①脚输出的高电平还使 VT1 导通, KA 继电器得电, 其常开触点接到初级上端, 转到涓流充电位置, 输出电压为 50~57.6 V。调整 RP1 可以改变切换电压。 R_6 、 C_6 是积分电路, 延时 1 min 左右。

3.5 四电压比较器的识图与应用

典型的四电压比较器集成电路型号较多, LM339 就是日常应用较广泛、容易购到的一只集成电路四电压比较器。

3.5.1 四电压比较器识图与应用指导

四电压比较器 LM339 的主要参数及引脚排列和内框图说明如下, 供应用时参考。

1. 电源电压

四电压比较器 LM339 使用的供电范围较宽, 既可以采用单电源供电, 供电电压范围为 2~36 V; 又可以采用双电源供电, 供电电压范围为 $\pm 1 \sim \pm 18$ V。

2. 工作电流

四电压比较器 LM339 的输入电流低 (与电源电压无关), 其典型值约为 0.8 mA; 输入偏置电流典型值为 25 mA。

3. 失调电压、电流

四电压比较器 LM339 的输入失调电流典型值为 ± 5 mA; 输入失调电压小, 典型值为 5 mV。

4. 共模、差动输入、饱和电压

四电压比较器 LM339 的共模电压范围宽, 典型值为 $0 \sim (V_{CC} - 1.5)$ V; 差动输入电压范围较大, 大到可以等于电源电压; 饱和电压与电源电压之差值较低。

5. 输出特性

四电压比较器 LM339 的输出端可以灵活方便地进行各种方式的连接, 输出电压与 TTL、CMOS 逻辑电平兼容。

6. 响应时间

四电压比较器 LM339 在进行大信号处理时, 其响应时间的典型值为 300 ns。

7. 电压增益

四电压比较器 LM339 的电压增益典型值为 200 V/mV。

8. 温度范围

四电压比较器 LM339 的工作温度范围为 $0\sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

9. 引脚排列及内电路

四电压比较器 LM339 的俯视引脚排列如图 3-23 (a) 所示, 其内电路图如图 3-23 (b) 所示, 内电路方框图如图 3-8 所示。

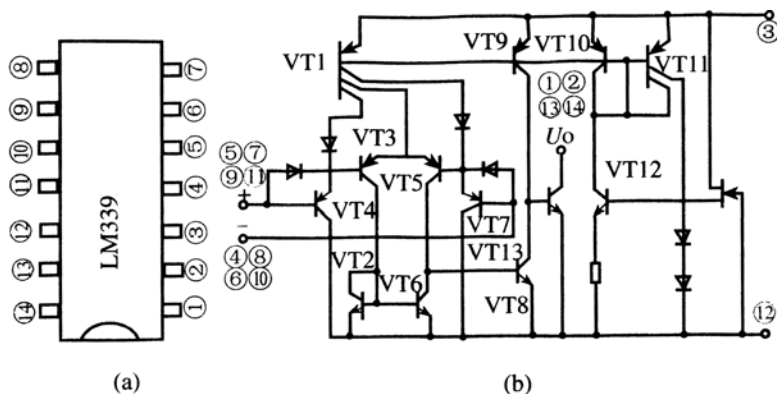


图 3-23 四电压比较器集成电路 LM339 的外形及管脚排列与内电路图

10. 工作原理

从图 3-23 (b) 所示的 LM339 内电路可看出, 它类似于增益不可调的运算放大器。这是一只比较器电路, 它有两个输入端和一个输出端。两个输入端用作比较两个电压时, 任意一个引脚加一个固定电压作参考电压 (也称为门限电平, 该电压可选择 LM339 输入共模内的任一点), 另一引脚加一个作为比较的电压。

当 LM339 的同相端电压大于反相端时, 输出管饱和, 相当于输出端接低电平。只要两个输入端电压相差大于 10 mV 时, 就可以保证比较器的输出从一种状态可靠地切换到另一种状态, 由此可见, LM339 用于对弱信号等的检测是较为理想的。

LM339 的输出端是一只不接集电极电阻器的 VT13 晶体管, 故在应用时, 输出端与正电源之间应连接一只上拉电阻器, 该电阻器通常可在 $2\sim 17\text{ k}\Omega$ 之间选择。不同的电阻值, 输出端高电平值也不一样, 这主要是由于 VT13 管截止时, 其集电极电压基本取决于所用上拉电阻器与负载的值。

LM339 的各个比较器的输出端可以并联在一起使用, 这就为灵活使用提供了方便。

LM339 是一种高增益宽带集成电路, 使用时其输入信号线与输出引线之间的距离必须足够, 不可太靠近, 以防输出信号通过分布电容窜到输入端, 近而引起比较器电路自激振荡。同时, 比较器芯片的接地线也应尽可能地与整机的接地点靠近, 以使接地电阻值尽可能的小。

另外, LM339 的驱动电流只取决于其偏置电路, 与工作电源电压基本无关, 使用时也应注意这一特点。

集成电压比较器 LM2901 也是一块四电压比较器，其引脚排列及主要电参数，内电路方框图与 LM339 基本相同，仅是工作温度范围不同，LM2901 的工作温度范围为 $-40\sim+105^{\circ}\text{C}$ 。

3.5.2 四电压比较器在温度控制电路中的应用与识图

图 3-24 所示是由四电压比较器 LM339 构成的温度控制电路。该电路可自动控制进行制冷或制热，故特别适用于做半导体冰箱温控电路，也可作为其他电气设备的温控电路。

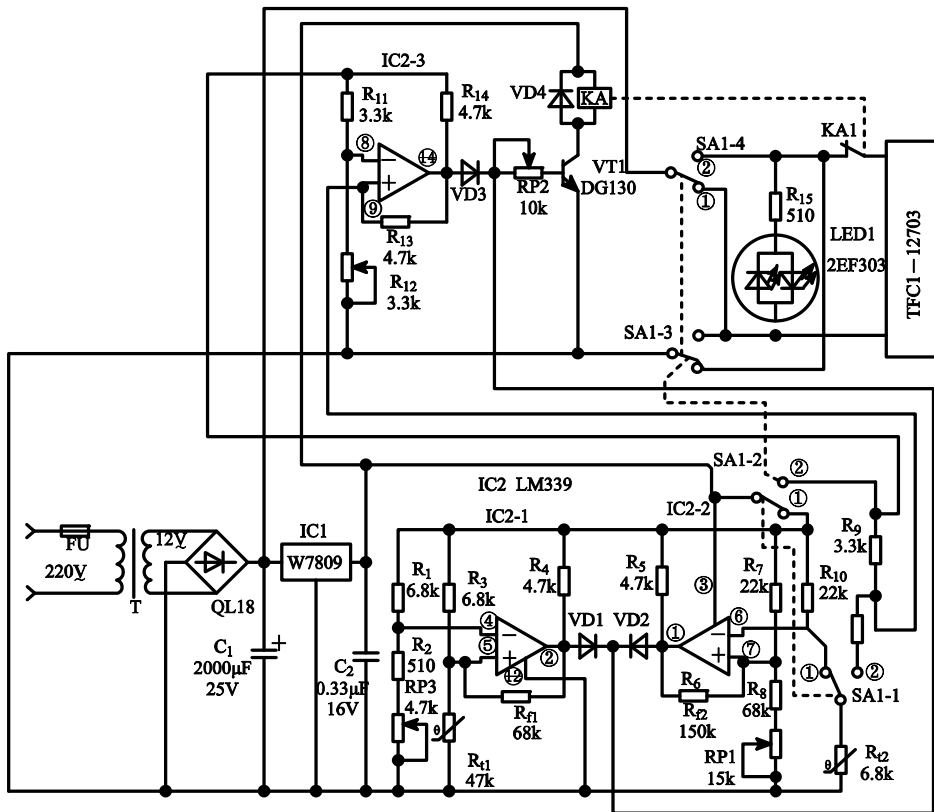


图 3-24 由四电压比较器 LM339 构成的温度控制电路

1. 识图指导

图 3-24 所示电路主要由 IC1、IC2、LED1、KA、SA1、 R_{11} 、 R_{12} 为核心构成。其中，IC1 的型号为 W7809，是一块稳压值为 9 V 的三端固定稳压集成电路；IC2 的型号为 LM339，是一块专用运算放大器（四电压比较器），电路中仅使用了三只比较器，有一只比较器未使用；LED1 的型号为 2EF303，是一种双色发光二极管；SA1 是一种 4 刀双掷波段开关，用于制冷与制热功能切换； R_{11} 的型号为 M12-1，是一种热敏电阻传感器； R_{12} 的型号也为 MT12-1，是一只电阻值为 6.8 K 的热敏电阻传感器；KA 的型号为 JEC-21F/009-12 V，是一只直流继电器，其常闭触点用于控制被控设备的工作电源，图 3-24 所示是以控制汽车上使用的半导体冰箱 TEC1-12703 来说明电路功能的，TEC1-12703 型半导体制冷器，其静态电阻为 5Ω ，工作电源电压为直流 12 V，电源纹波系数小于 10%。冷、热端的温差

$\geq 55^{\circ}\text{C}$ ，热端温度 $\leq 88^{\circ}\text{C}$ ，制冷器冷端的最低温度随环境温度的变化而变化。

KA 继电器线圈中电流的通断，受 VT1 管的控制，VT1 管受两方面电路的控制：一路是由 IC2-3 输出信号的控制，IC2-3 的输入信号来自 R_{12} 热敏电阻传感器。

另一路是由 IC2-2、IC2-1 输出信号的控制，IC2-2 的输入信号也来自 R_{12} 热敏电阻传感器，IC2-1 的输入信号则来自 R_{11} 热敏电阻传感器。

2. 工作原理

图 3-24 所示电路中的温度控制电路由三个比较器，构成三个具有滞后特性的电平检测电路。

(1) SA1 开关处于①位时

当 SA1 开关处于①位时，双色发光二极管 LED1 中左边的一只发光二极管导通发光， C_1 电容器上的直流电压经 SA1-4 闭合的触点→TEC1—12703 半导体制冷器→KA1 常闭触点→SA1-3 闭合的触点→ C_1 负极。

上述电流通路使电冰箱开始制冷。同时，设置在储冷器中的热敏电阻传感器 R_{12} 与 IC2-2、RP1 等元件组成的具有滞后特性的电平检测测温电路也同时工作。电冰箱制冷温度约在 $5\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间连续可调，它是通过调整 RP1 改变 IC2-2⑦脚上的基准电压来实现的。

当电冰箱内温度降低但还未达到设定的温度时，IC2-2①脚输出为低电平，VT1 管截止，KA 继电器不会动作。电冰箱保持制冷状态。

当 RT2 检测到的温度达到设定的温度时，IC2-2①脚输出变为高电平，VT1 饱和导通，KA 继电器得电吸合，其常闭触点断开后，电冰箱就会停止制冷。

电冰箱停止制冷后，电冰箱内的温度会慢慢回升，一旦温度上升到设定值以上时，电冰箱又会进入制冷状态。

与此同时，IC2-1 和置于散热器内的 R_{11} 热敏电阻传感器等构成的特性反相的电平检测电路也开始工作。当散热器温度升高但还未达到 75°C 时，IC2-1 的②脚输出低电平，对后级的 VT1 管不产生影响，仍处于截止状态，冰箱仍保持制冷状态。

一旦 R_{11} 温度传感器检测到散热器温度达到 75°C 时，IC2-1②脚输出转变为高电平，使 VT1 导通，KA 继电器得电吸合，其常闭触点断开，电冰箱停止工作。

随着 R_{11} 上的温度下降到 $75^{\circ}\text{C}-4^{\circ}\text{C}=71^{\circ}\text{C}$ 时，电冰箱又进入制冷工作状态。

上述两个测温电路，共同控制着 KA 继电器，利用 VD1、VD2 的单向导通特性，只要两个测温电路中任一个输出为高电平，VT1 就会导通，KA 继电器吸合后就会断开制冷电路，只有当这两个测温电路的输出均为低电平时，VT1 才会截止，KA 继电器的常闭触点才会复位接通。

(2) SA1 开关处于②位时

当电冰箱需要用于制热时（这也是半导体冰箱独有的特点），可将 SA1 开关置于②位置。但必须要等制冷器两面的温度恢复至室温时才可以从制冷状态转换为制热状态。此时 LED1 内右边的发光二极管导通发红光，以示制热状态。从而就形成了如下的电流通路：

电容器上的直流电压→SA1-4②闭合的触点→KA1 常闭触点→TEC1—12703 半导体制冷器→SA1-3②闭合的触点→ C_1 负极。

上述电流通路，使电冰箱开始制热，同时由 IC2-3、 R_{12} 等元件组成的滞后电平检测器

测温电路也开始工作, R_{12} 对温度进行检测, 当检测到的温度达到 55°C 时, IC2-3⑭脚输出高电平, VT1 导通, KA 继电器得电吸合, 电冰箱停止制热。

当电冰箱内的温度降到 $55^{\circ}\text{C}-4^{\circ}\text{C}=51^{\circ}\text{C}$ 时, KA 继电器断电, 电冰箱又进入制热状态。

3.5.3 四电压比较器在多功能温控电路中的应用与识图

图 3-25 所示是由四电压比较器 LM339 构成的多功能温控电路。该电路如用于电淋浴器, 当水烧到设定温度时会自动切断电源, 且具有缺水保护、水温可调功能。

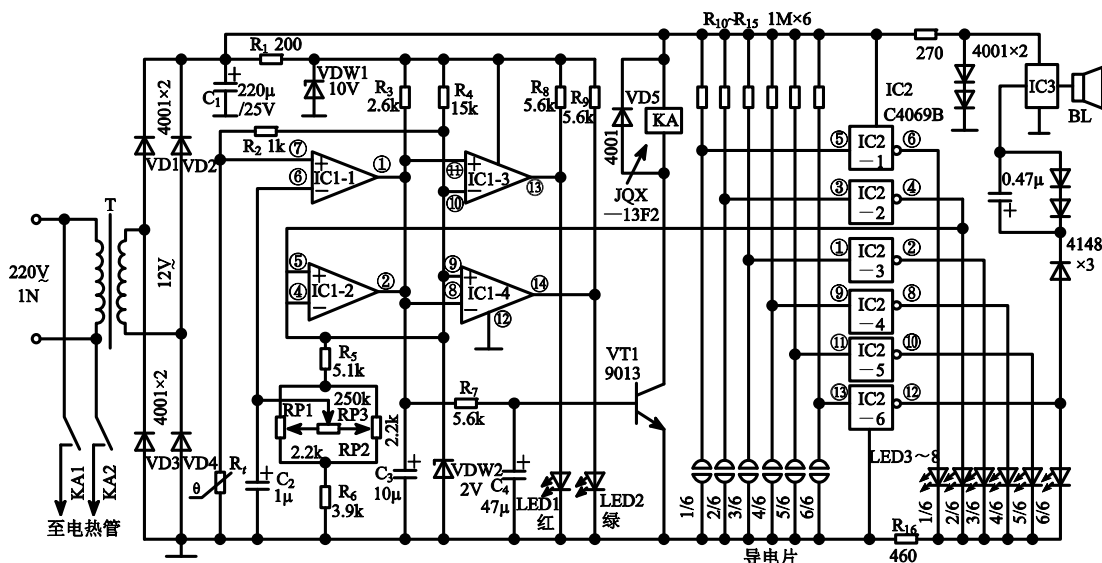


图 3-25 由四电压比较器 LM339 构成的多功能温控电路

1. 识图指导

图 3-25 所示电路主要由 IC1、IC2、IC3 3 块集成电路为核心构成。其中, IC1 的型号为 LM339, 是一块四电压比较器, 属专用运算放大器, 在电路构成了温度调节、缺水保护及自控信号输出电路; IC2 的型号为 CC4069B, 是一块六反相器, 在电路中组成了水位检测指示电路; IC3 是一种音乐报警电路, 可根据实际需要选用合适的语音或音乐集成电路。

2. 工作原理

接通电源后, VD1~VD4 整流, C_1 滤波, R_1 限流, VDW1 稳压后的 10 V 电压通过 R_3 对 C_3 进行充电, 由于 C_3 上的电压不会突变, 使 IC1-4⑧脚为低电平, 而⑨脚为 2 V, 故⑭脚为高电平, LED2 (绿) 点亮, 以示电源已接通。

(1) 注水过程

当水箱注水时, 随水位的提高, 使水电阻将 $\frac{1}{6}$ 和 $\frac{2}{6}$ 处的导电片接通, IC2-1⑤脚和 IC2-2③脚变为低电平, ⑥和④脚输出高电平, LED3、LED4 点亮显示水位, ④脚的高电平同时送到 IC1-2⑤脚使②脚输出高电平, 经 R_7 使 VT1 导通, KA 继电器线圈得电吸合, 常开触点 KA1、KA2 闭合后电热管通电加热。由于 IC1-2②脚电位较高, IC1-3 的⑬脚为高电平,

LED1 点亮，以示加热器工作。此时 IC1-4⑭脚为低电平，LED2 熄灭，（LED1 与 LED2 可采用变色管）。

（2）温控过程

温控电路由 IC1-1 为核心构成。 R_t 为水温传感器，用来检测水的温度。

温控电路在水箱注水量超过 $\frac{2}{6}$ 水位后才有效，此时 IC1-2②脚输出高电平。RP3 电位器用于设定水温（通过改变 IC1-1⑥脚上的电位），IC1-1⑦脚电位会随 R_t 电阻值的变化而改变，当水箱内水温升高时 R_t 电阻值减小，⑦脚电位下降。当⑦脚电压小于⑥脚时，①脚输出低电平，该信号经 R_7 使 VT1 截止，KA 继电器线圈断电，电热管因此也断电停止加热。

经过一定时间后，下降的水温使 R_t 电阻值上升，一旦 IC1-1⑦脚电压比⑥脚高，①脚又输出高电平，使 KA 吸合，电加热管又会通电加热，由此就可使水温保持在设定的温度值上。

RP1 与 RP2 为辅助刻度调整电位器，当将 RP3 的刻度值设定好以后，调整 RP1、RP2 可使 RP3 旋转角度与刻度值相符。

（3）缺水保护

缺水保护电路主要由 IC1-2 为核心构成。水箱在无水状态下 IC1-2 的②脚始终为低电平，VT1 截止，KA 继电器不会工作。只有当水位上升到 $\frac{2}{6}$ 水位时，水才淹没加热器，使 IC1-2②脚出现高电平，VT1 导通电热管才工作，以保证电热管不会空烧。

（4）水满溢出报警

水满溢出报警电路如图 3-25 所示，主要由 IC3 音乐集成电路为核心构成，它是利用水位上升到 $\frac{6}{6}$ 水位，LED8 亮时的正向脉冲前沿触发 IC3 工作的，使 BL 蜂鸣器发声，以示水满，应及时断水，避免浪费。

图 3-25 所示电路中的 $R_{10} \sim R_{15}$ 是六只水位分压电阻器，六只导电片用于检测水位，LED3~LED8 六只发光二极管用于指示相应的水位。

LM339 构成的多功能温控电路印制电路板如图 3-26 所示。

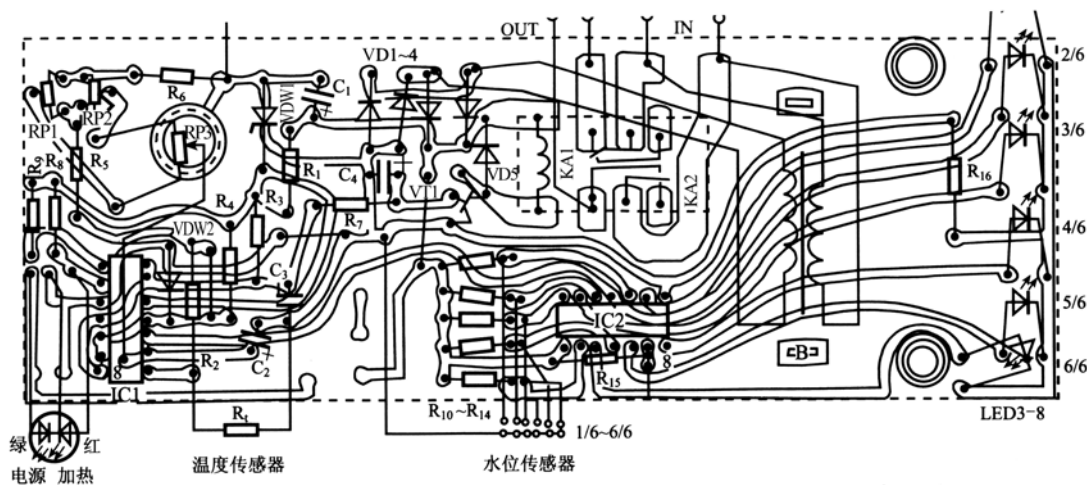


图 3-26 由四电压比较器 LM339 构成的多功能温控电路印制电路板图

3.5.4 四电压比较器在逻辑状态测试显示电路中的应用与识图

图 3-27 所示是由四电压比较器 LM339 构成的逻辑状态测试显示电路。适用于检测高阻、低频脉冲、高频脉冲等，可以制成逻辑测量仪器供测量逻辑电平使用。

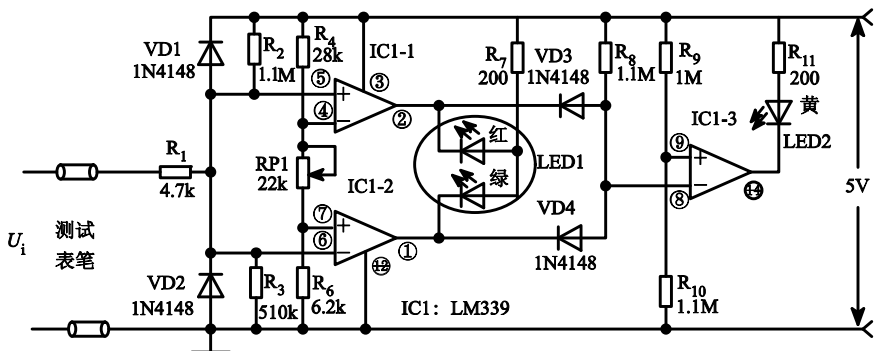


图 3-27 由四电压比较器 LM339 构成的逻辑状态测试显示电路

1. 识图指导

图 3-27 所示电路主要由一块 IC1 集成电路与 LED1、LED2 为核心构成。其中，IC1 的型号为 LM339，是一块四电压比较器，是一种专用的运算放大器，电路中仅使用了其中的 3 只专用运算放大器，这 3 只专用运算放大器在电路中均连接成比较器方式。

在图 3-27 所示电路中，IC1-1 的反相输入端④脚与 IC1-2 的同相输入端⑦脚均为基准电压输入端，该电压是由 R_4 、 $RP1$ 、 R_6 将 +5 V 的电压分压后得到的，IC1-1 同相输入端⑤脚与 IC1-2 的反相输入端⑥脚均为比较电压输入端。IC1-3 的同相输入端⑨脚为基准电压输入端，该电压是由 R_9 与 R_{10} 将 5 V 电源分压后得到的，IC1-3 反相输入端⑧脚为比较电压输入端，该信号来自 IC1-1 与 IC1-2 输出的信号。LED1 是一种封装在一起的共阳极双色（红与绿）发光二极管，其绿色发光二极管受 IC1-2①脚输出信号的控制，红色发光二极管受 IC1-1②脚输出信号的控制；LED2 是一只黄色发光二极管，受 IC1-3⑭脚状态的控制。

2. 工作原理

当接通电源以后，由于输入端 U_i 未接任何电平，处于高阻状态，故 LED2 发出黄色光，说明输入端处于高阻状态；

当输入端 U_i 接触到高电平时，LED1 中的红色发光二极管导通发出红光（此时 LED1 中的绿色发光二极管截止不发光）。

当输入端 U_i 接触到低电平时，LED1 中的绿色发光二极管导通发出绿光（此时 LED1 中的红色发光二极管截止不发光）。

当输入端 U_i 接触到低频脉冲信号时，LED1 中的红、绿发光二极管交替发出红、绿色光。

3.5.5 四电压比较器在遥控红外防盗报警电路中的应用与识图

图 3-28 所示是由四电压比较器 LM339 构成的遥控红外防盗报警检测电路。该电路利

用人体发出的特定波长的红外线作为侵入检测，控制范围为 5~10m，探测角度约为 120°，内置变压器、备用电池，超响度报警，适用于银行、宾馆、仓库、商店、住宅等场所进行防盗报警。

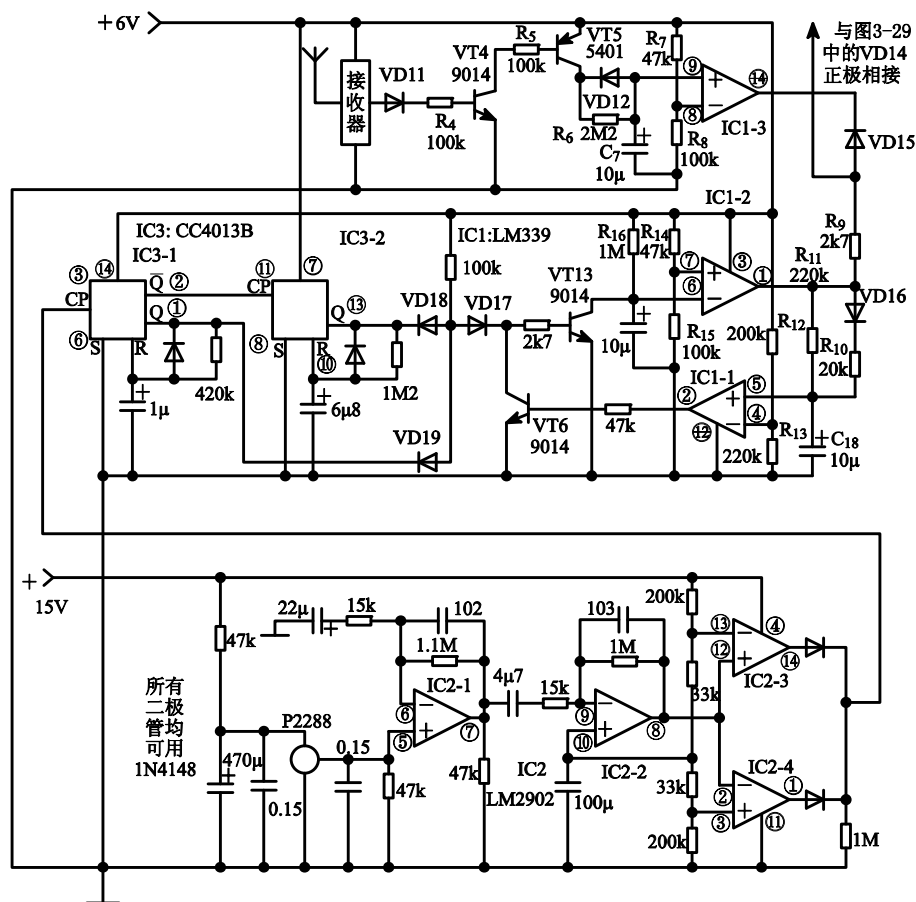


图 3-28 由四电压比较器 LM339 构成的遥控红外防盗报警检测电路

1. 识图指导

图 3-28 所示电路主要由 IC1~IC3、P2288 为核心构成。其中，IC1 的型号为 LM339，是一块四电压专用运算放大器（电压比较器），电路中仅使用了三只比较器，另有一只比较器未使用；IC2 的型号为 LM2902，是一块四运算放大器；IC3 的型号为 CC4013B，是一块双 D 触发器；P2288 是一只人体信号探测红外传感器，用来探测监控区域内是否有人体移动。

图 3-29 所示电路是用来报警发声电路，该电路主要由 VT7~VT12、BL、T₂ 为核心构成。VT7 是一只达林顿管；VT8、VT9 及外围元件共同构成了振荡电路；VT10 与 VT11 及外围元件也构成了一只振荡电路；VT12 受控可以使报警发声电路的地线与电源负极接通，以使报警发声电路得电工作；BL 是一只压电蜂鸣器，受驱动变压器 T₂ 的驱动发声。

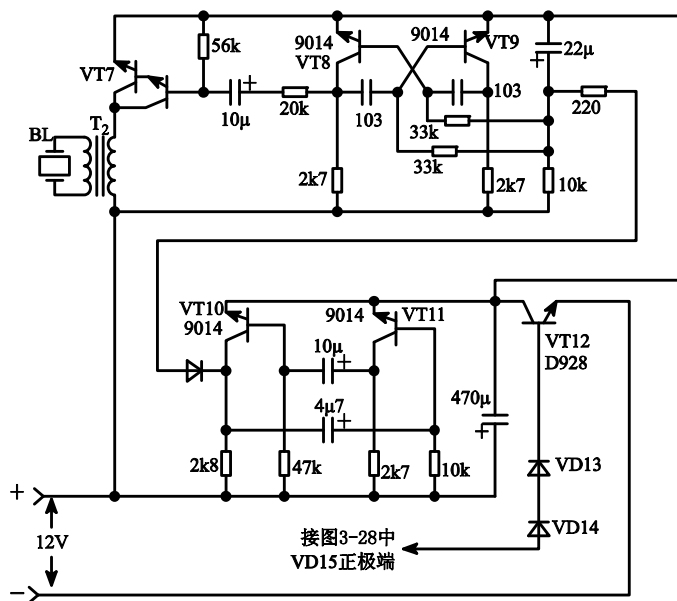


图 3-29 遥控红外防盗报警发声电路

图 3-30 所示电路是与遥控红外防盗报警电路配套工作的工作电源产生电路，该电路主要由电源变压器 T_1 、IC4、VT1~VT3 等元件共同组成。其中，IC4 的型号为 W7812，是一只稳压值为 12 V 的三端固定稳压集成电路；VT1 的型号为 5401，是一只 PNP 型晶体三极管；VT2、VT3 的型号均为 9014，是一种 NPN 型晶体三极管；G 是一种蓄电池，其输出电压为 15 V 左右。

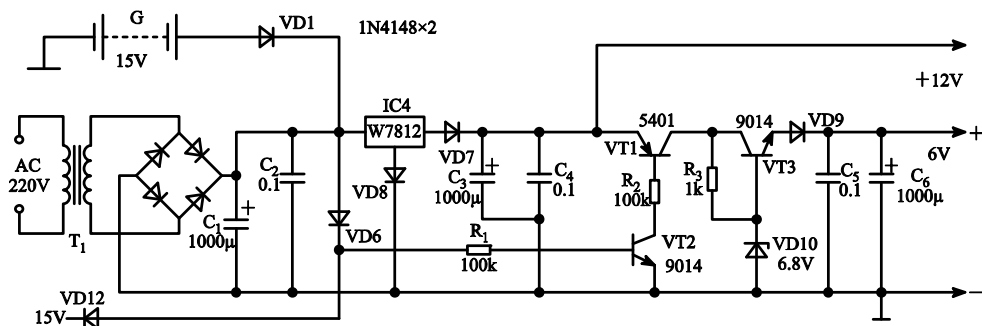


图 3-30 与遥控红外防盗报警电路配套的电源产生电路

2. 工作原理

遥控红外防盗报警电路的工作原理可以分为以下 5 个部分来进行说明。

(1) 防盗检测控制电路

防盗检测控制电路由红外遥控信号接收电路、VT4、VT5、IC1-3 及外围元件共同组成。红外遥控信号接收电路与遥控发射电路配合，可以对遥控红外防盗报警器的工作进行控制，使防盗系统进入工作状态或停止工作。红外遥控信号发射与接收电路可利用成品的电路，

故电路中未画出。

当红外遥控信号接收器接收到使防盗系统进入工作状态的指令后,输出的高电平使 VD11 导通,进而也使 VT4 导通,VT5 基极等效通过 R_5 电阻器接地后也导通。这样,6 V 的工作电源一方面为 IC1 运算放大器提供工作电源;另一方面通过 VT5 导通的 c-e 结, R_6 电阻器对电容器 C_7 进行充电,由于电容上的电压不会突变,故 C_7 上的电压最初为 0 V,IC1-3 的⑨脚电压小于⑧脚,其⑭脚输出低电平,从而使 VD15 封闭报警电路。随着 C_7 的充电,约 30 s 后,IC1-3 输出变为高电平。电路即可进入检测状态。

(2) 防盗检测电路

防盗检测电路由红外线探测传感器 P2288、IC2 及外围的有关元件共同构成。当红外探测传感器 P2288 探测到警戒区域内有人体连续移动后,转换为电信号加到 IC2-1⑤脚,经 IC2-1 与 IC2-2 组成的两级放大电路放大后的信号加到 IC2-3 的同相信号输入端⑩脚与 IC2-4 的反相信号输入端②脚。一旦有人进入探测区移动,IC2-3 与 IC2-4 组成的比较器只要有一个输出高电平,就会触发单稳电路 IC3-1。图 3-31 给出了防盗报警电路各关键点上的信号波形,供参考。

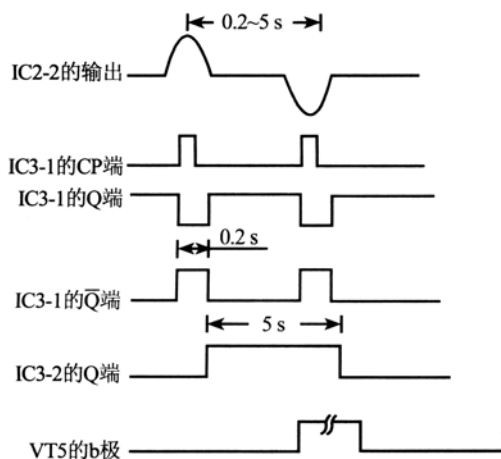


图 3-31 防盗报警器电路关键点上的信号波形

(3) 触发控制电路

触发控制电路由 IC3、IC1-2、IC1-1 及外围的有关元件构成。当第一个 CP 脉冲加到 IC3-1 的③脚时,单稳 IC3-1 的②脚输出变为低电平并持续约 0.2 s。在这段时间内,若有干扰脉冲出现则被屏蔽。0.2 s 过后,②脚脉冲上升沿触发 IC3-2 单稳电路,延时时间为 5 s。在这个 5 s 时间内,使由 VD18、VD17、VD19 组成的电路打开,使 VT13 管导通,从而使 IC1-2 ⑥脚上的电压小于⑦脚,其①脚输出高电平(约 20 s),该信号分为两路,一路经 R_9 去报警发声控制电路(图 3-29 所示)中 VD14、VD13 导通后加到 VT12 管基极,使其导通,报警发声电路得电工作后发出报警声。另一路经 VD16、 R_{10} 加到 IC1-1⑤脚,由于 C_{18} 电容器的充电作用,延时后使 IC1-1②脚输出高电平,使 VT6 管导通后,封锁了触发信号。

(4) 报警发声电路

报警发声电路由 VT7~VT12、BL 等组成。如图 3-29 所示。VT8 与 VT9、VT10 与 VT11

组成的振荡电路一旦使 VT12 导通得电后即工作，产生的调制振荡信号由 VT7 驱动 BL 发出较响亮的报警声。

(5) 供电电路

如图 3-30 所示，VT1、VT2 组成的电子开关电路控制 6 V 电源、VT3 与 VD10 组成了简易串联型稳压电路，产生出 6 V 的稳定电源。

3.5.6 四电压比较器在充电电路中的应用与识图

图 3-32 所示是由四电压比较器 LM339 构成的可消除电池“双峰”效应的充电电路。适用于对 1 号~7 号快速充电型镍镉 (Nidc) 或镍氢 (NimH) 电池进行充电，且可以消除被充电电池“双峰”效应现象，使充电效果达到最佳。

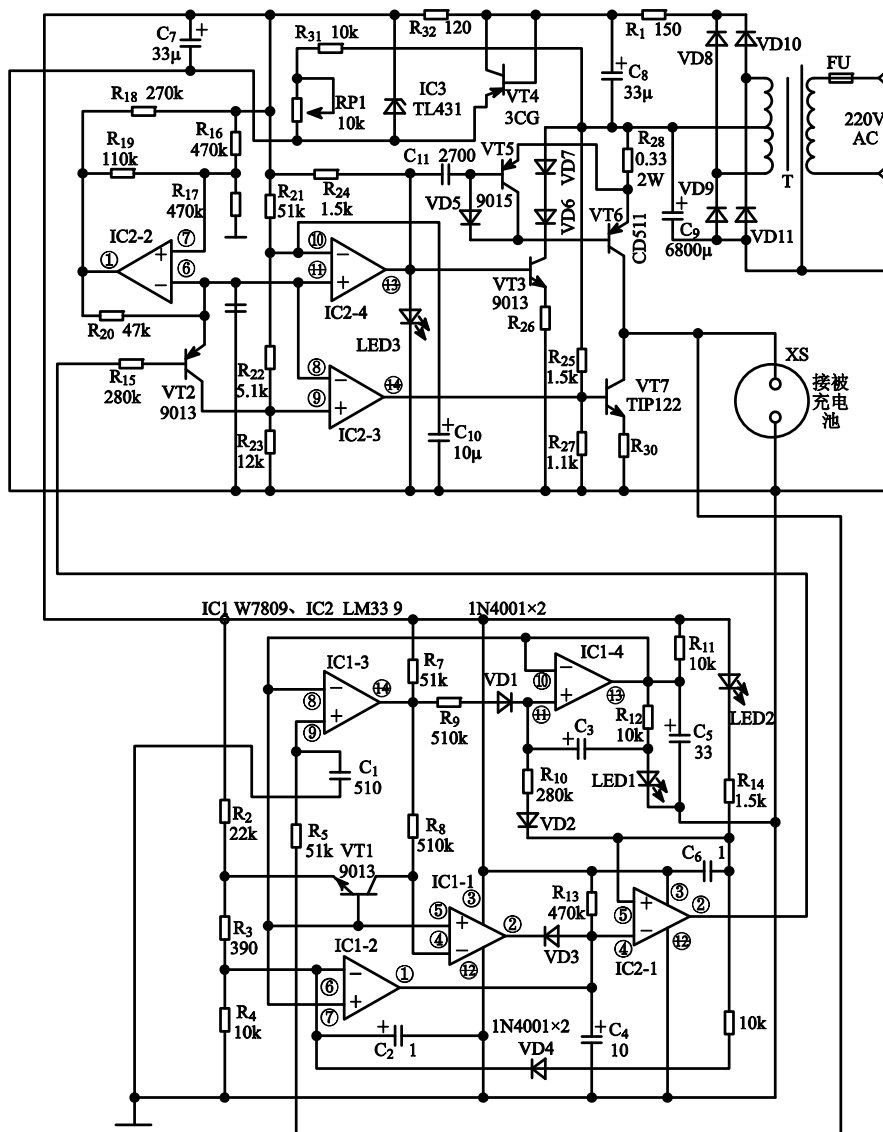


图 3-32 由四电压比较器 LM339 构成的可消除电池“双峰”效应的充电电路

1. 识图指导

图 3-32 所示电路主要由 IC1~IC3、VT1~VT7 为核心构成。其中，IC1 与 IC2 的型号均为 LM339，是一种四比较器专用运算放大器；XS 为插座，供与被充电电池进行连接；IC3 的型号为 TL431，是一只精密基准电压电路。

2. 工作原理

图 3-32 所示电路主要由大电流脉冲充电、放电去“双峰”效应电路与负电压斜率检测电路两个单元部分组成。

(1) 大电流脉冲充电、放电去“双峰”效应电路

大电流脉冲充电、放电去“双峰”效应电路由 IC2-2~IC2-4 与 VT3、VT5~VT7 及相应的外围元件共同构成。电源变压器 T 次级输出的交流低压经 VD8~VD11 桥式整流、R₁ 降压限流后提供给后级电路。一路经 IC3 为负电压斜率检测电路提供工作电源；另一路为充放电电路提供工作电源。充放电电路的工作原理与常见的电路基本相同，读者可自行分析。

(2) 负电压斜率检测电路

负电压斜率检测电路主要由 IC1-1~IC1-4、IC2-1 及外围的有关元件共同构成。IC1-3、IC1-4 构成的峰值取样保持电路在被充电电池端电压升高时，IC1-3⑭脚输出高电平，使 VD1 导通后一方面为 C₃ 充电，另一方面加到 IC1-1④脚进行比较，使其②脚输出低电平，VD3 导通后将 IC2-1④脚锁定在低电平，使 IC2-1 保持在原状态，其②脚输出维持为高电平不变，使后级的充电工作正常进行。

当电池端电压不再上升或略有下降时，IC1-3⑭脚输出低电平，IC1-1②脚输出高电平，VD3 截止，C₄ 电容器经 R₃ 充电，电压逐渐升高，一旦使 IC2-1④脚上的电压大于⑤脚时，IC2-1②脚输出变为低电平，使 VT2 导通，IC2-2 及外围元件组成的三角波发生器停止工作，IC2-4 与 IC2-3 输出均为低电平，从而使充电停止。

IC1-2 的作用是设置一个预定电压，使电池被充到 51%电量之前，检测电路停止工作。VT7 的作用是过压保护，即当电池端电压过高时将充电切换到涓流电流充电状态。

3.5.7 四电压比较器在过压及欠压保护电路中的应用与识图

图 3-33 所示是由四电压比较器 LM339 构成的过压及欠压保护电路。适用于对各种电气设备的电源进行检测和保护。

1. 识图指导

图 3-33 所示电路主要由 IC1、IC2、KA 为核心构成。其中，IC1 的型号为 W7809，是一块稳压值为 9 V 的三端固定稳压集成电路；IC2 的型号为 LM339，是一块专用的运算放大器（比较器），其内含四个电压比较器；KA 的型号为 JXC-22F-9 V，是一只直流 9 V 的继电器，其触点用来控制电气设备的供电，一旦控制电路检测到电源出现过压、欠压时，KA 继电器常闭触点就会断开，切断了被控电器的电源，实现保护。

KA 继电器线圈中的电流受 VT2 状态的控制，而 VT2 的状态则受 IC2-4 输出电平的控制。IC2-4 输出电平则又受 IC2-1 或 IC2-2 输出信号的控制。而 IC2-1 与 IC2-2 的状态又受

其输入端检测到的电源电压高低的控制。

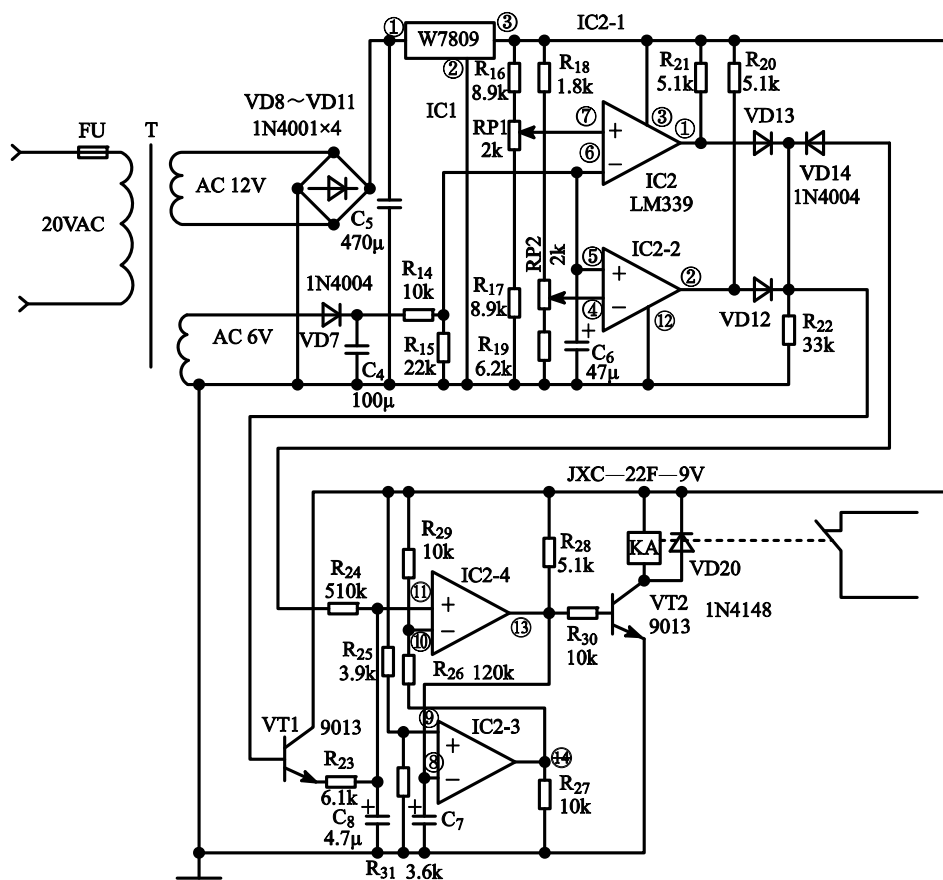


图 3-33 由四电压比较器 LM339 构成的过压及欠压保护电路

2. 工作原理

图 3-33 所示电路主要由取样比较电路、延时电路、自锁与驱动控制电路 4 个单元部分组成。

(1) 供电电路

电源变压器次级输出约为 12 V 交流低压，经 VD8~VD11 桥式整流、C₅ 电容器滤波，得到的直流电压经 IC1 稳压为 9 V 后提供给控制电路做工作电源。

(2) 取样比较电路

取样比较电路由 IC2-1、IC2-2 及外围的有关元件组成。IC2-1 的同相信号输入端⑦脚为基准电压端，该电压是由 R₁₆、RP1、R₁₇ 将 +9 V 电压分压后得到的，IC2-1 的反相输入端⑥脚为比较电压端，比较电压是由电源变压器 T 次级输出的 6 V 交流电压，经 VD7 半波整流、C₄ 滤波，由 R₁₄ 与 R₁₅ 分压后得到的。

IC2-2 的反相信号输入端④脚为基准电压端，该电压是由 R₁₈、RP2、R₁₉ 将 19 V 电压分压后得到的，IC2-2 同相输入端为比较电压端，比较电压也是取自上述的 6 V 交流电压经

整流、滤波后的电压。

这样，IC2-1、IC2-2 根据其输入端上的基准电压与比较电压进行比较，一旦同相端上的电压大于反相端电压时，比较器输出端输出高电平；而当同相端上的电压小于反相端电压时，比较器输出端输出低电平。当 IC2-1①脚与 IC2-2②脚输出的信号任一为高电平时，均会使 VD13 或 VD12 隔离二极管导通。

（3）延时电路

延时电路由 VT1、 R_{23} 、 C_8 等组成。当 IC2-1、IC2-2 比较电路任一输出为高电平时，VD13 或 VD12 导通后的电压加至 VT1 的基极，使 VT1 管导通。+9 V 电源电压就会经 VT1 导通的 c-e 结、 R_{23} 对 C_8 进行充电，其上的电压逐渐上升，一旦该电压上升到使 IC2-4⑩脚电压高于⑩脚时，IC2-4 的输出端⑬脚输出变为高电平，该电压一路加到 IC2-3 的⑧脚作为自锁电压；另一路经 R_{30} 电阻器加到 VT2 管基极，使 VT2 管正偏导通，等效于将 KA 继电器线圈下端接地，KA 线圈得电吸合后，其常闭触点断开，切断了被控电路（电器）的工作电源，从而实现了对外电气设备的过压、欠压保护。

（4）自锁电路

自锁电路由 IC2-3 及外围的有关元件共同组成。IC2-3 的同相信号输入端⑨脚为基准电压设定端，该电压是由 R_{25} 与 R_{31} 将 +9 V 电压分压后得到的，IC2-3 的反相输入端⑧脚为比较电压端。正常情况下，如果被检测的电压在正常范围内，IC2-4（13）脚输出为低电平，该信号加到 IC2-3⑧脚后，IC2-3⑭脚输出高电平加到 IC2-4⑩脚，使 IC2-4 的⑬被锁定为低电平。

如果 IC2-1、IC2-2 检测到电源欠压或过压，使 IC2-4⑬脚输出为高电平时，由于该电压使 IC2-3 的⑧脚电压大于⑨脚，其⑭脚输出变为低电平，从而使 IC2-4⑩脚电压下降，使 IC2-4⑬脚被锁定为高电平。

制作提示：

R_{21} 、 R_{20} 是为 VD13、VD12 隔离二极管提供导通电压的电阻器； R_{23} 与 C_8 构成的延时电路，用于防止电压的瞬间干扰而导致电路误动作。适当调整 R_{23} 或 C_8 的值，就可以得到不同的延时时间，可根据实际需要进行选择；VD20 为续流二极管，用于保护 VT2 不致被 KA 线圈产生的反峰电压击穿损坏。VD14 隔离二极管在电源正常时，为 C_8 提供放电通路，一旦 VD13、VD12 任一导通时，其将截止。 C_7 电容器在 IC2-4⑬脚为高电平时，起缓冲作用。

习 题 三

1. 填空题

- (1) 集成电压比较器是一个运算放大器处于_____状态时的_____电路。
(2) 集成电压比较器主要用于对两个_____电压进行比较,并判断出哪一个_____高。

2. 选择题

- (1) 电压比较器工作区域与工作状态为 ()
(a) 线性, 闭环 (b) 线性, 开环
(c) 非线性, 闭环 (d) 非线性, 开环
- (2) 对于零电平电压比较器来说 (见图 3-10 所示), 当输入电压 $V_i > 0\text{ V}$ 时, IC1 输出_____饱和电压; 当 $V_i < 0\text{ V}$ 时, IC1 输出_____饱和电压, 则 ()
(a) 负, 正 (b) 正, 负 (c) 正或负, 负或正
- (3) 在图 3-11 (a) 所示电路中, 若 $V_i > V_{\text{REF}}$ 时, 则 IC1 输出 ()
(a) 高电平 (b) 低电平 (c) 高电平或低电平
- (4) 在图 3-12 (a) 所示电路中, 若 $V_{\text{REF1}} < V_i < V_{\text{REF2}}$ 时, 则 V_O 输出 ()
(a) 高电平 (b) 低电平 (c) 高电平或低电平
- (5) 在图 3-16 (f) 所示电路中, 当 IC1 处于被选通状态时, VT1 所处状态为 ()
(a) 截止 (b) 放大 (c) 导通
- (6) 在图 3-13 所示电路中, 当 $C_1 = 0.01\text{ }\mu\text{F}$ 时, V_O 的方波频率为 ()
(a) 5300 Hz (b) 530 Hz
(c) 53 Hz (d) 5.3 Hz

3. 问答题

- (1) 电压比较器与运算放大器有哪些差别?
- (2) 电压比较器有哪两个输入端? 各有什么特点?
- (3) 电压比较器有哪两种供电方式? 各有什么特点?

- (4) 单电源供电的电压比较器输入与输出电压之间有什么关系？
- (5) 双电源供电的电压比较器输入与输出电压之间有什么关系？
- (6) 集成电路比较器有哪些类型？各有什么特点？
- (7) 四电压比较器的主要电参数、内电路结构个有什么特点？使用时应注意哪些问题？
- (8) 双电压比较器的主要电参数、内电路结构各有什么特点？使用时应注意哪些问题？
- (9) 单电压比较器的主要电参数、内电路结构各有什么特点？使用时应注意哪些问题？
- (10) LM311 比较器的负载 RL 有哪几种连接方法？各有什么特点？



第4章 典型功率放大器的识图与应用快捷入门

集成功率放大电路较常见的有 OTL、OCL、BTL 三种电路，这三种电路都是在分立元器件的基础上研制而成的，在实际工作中应用最广泛。

4.1 功率放大器识图与应用的基础知识

电子设备通常由多级放大器组成，而最后一级总是要推动一定的负载运行。例如使扬声器发声，使电动机旋转，使继电器动作，使仪表指针偏转等，实现这一个运行任务的放大器多为功率放大器。

4.1.1 OTL 功率放大器的基础知识

OTL 是英文 Output Transformer Less 的缩写，是无输出变压器功率放大电路的意思。

由于 OTL 集成功率放大电路是在 OTL 分立元器件的基础上发展起来的，故对于 OTL 集成功率放大电路的学习，可从分立元器件 OTL 电路说起，这样有助于了解该电路的特点及工作情况，有助于对集成 OTL 电路的学习。图 4-1 所示是采用 NPN 和 PNP 型三极管构成的，并能自动完成倒相作用的互补对称式 OTL 电路。

1. 工作过程

输入的信号经 C_1 耦合，VT1 放大后从集电极输出，分别加至 VT2、VT3 管的基极。

VT1 是一种甲类放大电路， $R_1 \sim R_4$ 是 VT1 管的偏置电阻器。该电路输出信号的正负半周分别驱动后级电路。

(1) 信号为正半周时

当信号为正半周时，VT2 导通 VT3 管截止，VT2 集电极电流流过负载（扬声器），并对 C_3 电容器进行充电。

(2) 信号为负半周时

当信号为负半周时，VT2 截止，VT3 导通。电容器 C_3 上的电压仍可维持 VT3 的供电，使其正常工作，由于放大器是射极输出方式，故从交流通道来看，VT2、VT3 又是并联的，所以输出阻抗很小，可以直接与低阻抗的负载相连。

(3) 消除交越失真电路

为了清除交越失真，VT3、VT2 的基极偏压是利用二极管 VD 的压降（约 0.6~0.7 V）及 R_7 电阻器提供的。图 4-1 所示电路中 B 点与 C_4 电容器负极点是等电位，目的是使 B 点电压反馈到 VT1 基极，以使功率放大电路静态工作点稳定。

(4) 自举电路

C_4 是自举电容器，当有信号输入时，VT3 基极电位升高，B 点电位也同时升高。由于 C_4 的容量值较大，故在很短的时间内，两端的电压几乎保持不变，使得正端电压略高于电

源电压，相当于在 R_5 两端加了一个正电源，从而保证了 VT2 在大信号情况下，真正趋于饱和和导通状态。

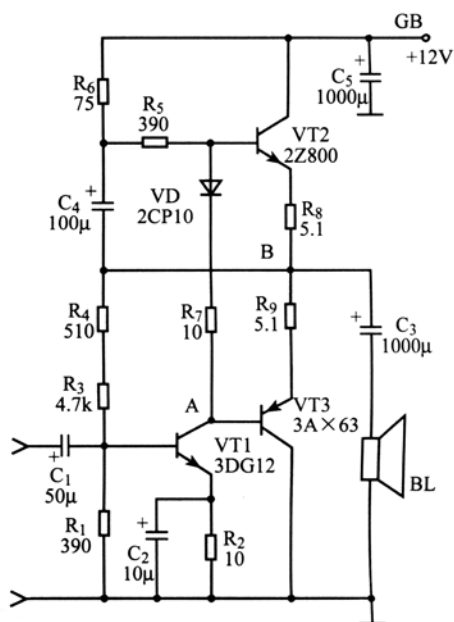


图 4-1 互补对称式 OTL 电路

R_6 是隔离电阻器，用来隔离电源与 C_4 正端的电位，借助于 R_6 的隔离作用， C_4 正端的电位才被（举了起来）升高。

2. OTL 的互补复合管

当输出功率较大时（大于数瓦），输出管就要用中功率或大功率管。但是，要使较大功率的 PNP 和 NPN 管的输入特性和输出特性都很接近是很困难的，因为不论在大电流区域还是小电流区域，反型管的特性都要求对称是不易实现的。而选用特性相同的两个 PNP 管或两个 NPN 管作功率输出则比较容易，但这样做又难以实现两输出管交替工作。利用互补复合管，就可以等效地得到一对特性比较对称的反型管。

（1）连接方式

图 4-2 所示分别给出了 4 种常见复合管的连接方式，它们都是用两只管子组成的复合管。其中图 4-2 (a) 和图 4-2 (b) 所示为两只相同导电型的 NPN 和 PNP 管所组成，目的是为了增大电流放大倍数，即：

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$$

其复合后的管型不变，仍为 NPN 和 PNP 管。显然单靠这种组合方式不能满足对功率放大输出管的对称要求，它们的特性很难选得互相很接近；图 4-2 (c) 和图 4-2 (d) 所示是用一对特性相同的大功率异型复合管，即由 PNP 和 NPN 管所组成的复合管的连接方式。

(2) 对复合管的说明

对于复合管有以下3点说明。

① 在连接方式上要注意 VT1 的 c-e 必须与 VT2 的 c-b 相连。

② 复合管的导电极性(即管型)取决于第一只小功率管 VT1, 输出功率取决于第二只大功率管, 总的电流放大倍数为:

$$\beta \approx \beta_1 \cdot \beta_2$$

由此可以简单地判断出图 4-2 (a) 和图 4-2 (c) 所示为 NPN 型复合管, 而图 4-2 (b) 和图 4-2 (d) 所示则为 PNP 型复合管。

③ 复合管的输入与输出特性取决于大功率管。由此可以选择两个特性相同的 PNP 管或 NPN 管做功率输出管, 再配上两只极性不同的小功率管, 分别组成两对等效的大功率异型复合管。图 4-2 (a) 与 (b) 和图 4-2 (d) 与 (c) 所示就是一对大功率互补异型复合管, 它们的特性比较容易做到相同, 管子配对问题容易解决。

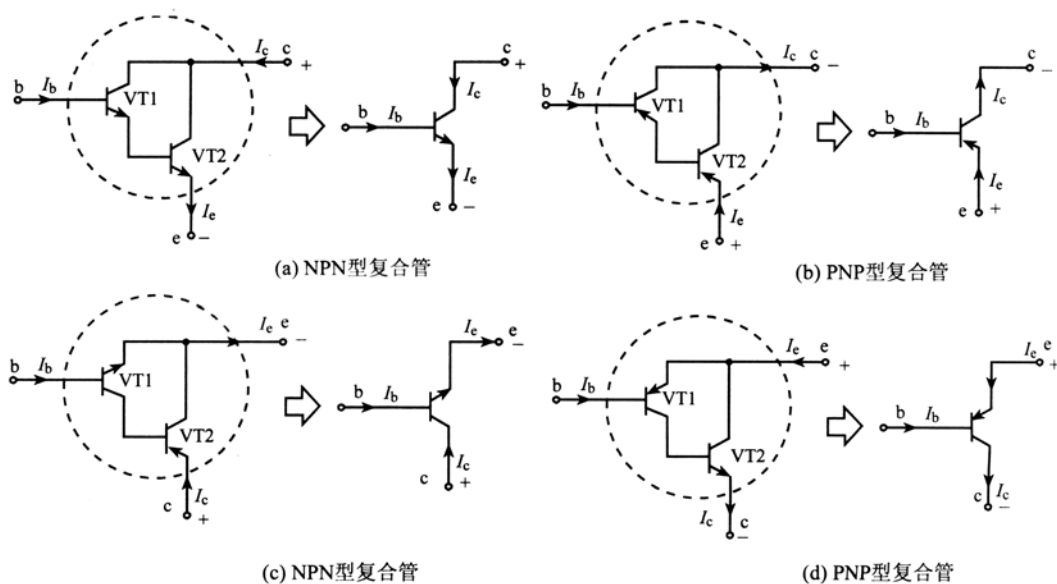


图 4-2 4 种常见复合管的连接方式

4.1.2 OCL 功率放大器基础知识

OCL 是英文 Output Condenser Less 一词的缩写, 意为无输出耦合电容器的功率放大电路。

OCL 电路与 OTL 电路相比, 结构上并没有多大区别, 只是在功率放大器与负载之间去掉了输出耦合电容器, 使两者直接进行相连。不过, 由于省去了隔直流电容器, 故功率放大级的上、下功率放大管的中点必须保持为直流电压的零电位, 而不是 OTL 电路那样处于二分之一电源电压电位上。只有这样, 才不会使连接的负载损坏(例如扬声器的音圈烧毁等)。

1. 电路特点

为了确保 OCL 电路的中点为零电位，其输入级通常采用差分放大电路；同时采用电压相等极性相反，完全对称的正、负电源。由于输出端去掉了耦合电容器，电容器的交流降压及移相作用随之消失，从而稳定了电路的负反馈，使低频特性和稳定度进一步提高，总的失真下降，使输出功率增加。

2. 输入级工作特点

图 4-3 所示是 OCL 电路经常采用的差分放大电路。 R_1 、 R_2 是基极的偏置电阻器， R_3 、 R_4 是集电极负载电阻器。由于两只晶体管的极性相同，故对应的元件也相同。信号从两管的基极输入，放大以后从两管的集电极输出，由于两管及所用元件的规格型号完全相同，因此，无论是温度变化，还是电源电压的波动，对两管的影响都是相同的。如果再把每只管子的零点漂移电压折合到输入端，就相当于给差分放大电路增加了一对大小相等、方向相反的信号，经两管放大后，集电极电压变化相同，从集电极输出的漂移电压等于零，这样就达到了抑制零点漂移的目的。

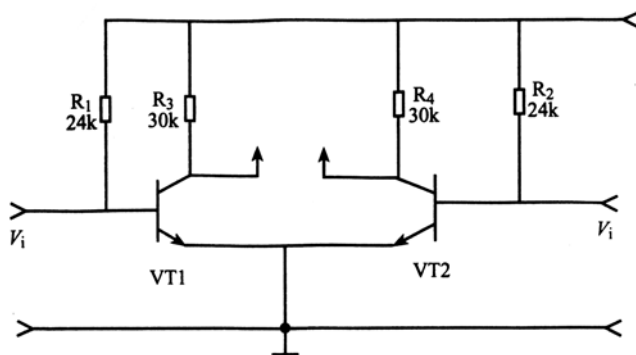


图 4-3 OCL 常采用的差分放大电路

3. 功率放大级工作特点

图 4-4 所示是 OCL 功率放大电路的基本原理图。电路中，VT1、VT2 是两只功率放大输出管， V_+ 、 V_- 是两个大小相等，极性相反的对称电源。该电路的工作原理说明如下。

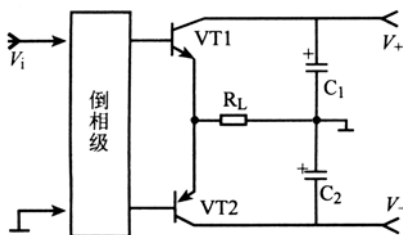


图 4-4 OCL 功率放大电路基本原理图

输入信号 V_i 首先加到倒相级中，以便获得两个大小相等，方向相反的激励信号。在倒

相级输出信号正半周时, VT2 截止, VT1 导通放大, 其信号电流回路为:

$V_+ \rightarrow \text{VT1 集电极} \rightarrow \text{VT1 发射极} \rightarrow R_L \rightarrow \text{地}$ 。

在倒相级输出负半周信号时, VT1 截止, VT2 导通放大, 其信号电流回路为:

$\text{VT2 发射极} \rightarrow \text{VT2 集电极} \rightarrow V_- \rightarrow \text{地} \rightarrow R_L$ 。

由上述分析可知, OCL 功率放大电路的工作原理与 OTL 功率放大电路基本相同, 只是省去了输出端耦合电容器, 多了负电源 (V_-) 后, VT2 管子的工作电压由 V_- 提供。电路中的 C_1 、 C_2 为正、负电源的滤波电容器。

4.1.3 BTL 功率放大器基础知识

BTL 是英文 Balanced Transformer-Less 的缩写, 意为平衡式无输出变压器。BTL 功率放大电路又称桥接推挽功率放大电路, 它的工作原理与 OTL、OCL 明显不同。

1. BTL 电路原理

BTL 功率放大电路的基本组成可用如图 4-5 所示方框图来说明。从图中可看出, 它由两组对称的 OTL 或 OCL 功率放大电路和一级倒相级电路组成, 负载 R_L (例如扬声器等) 接在两组 OTL 或 OCL 输出电路之间, 由于负载不接地, 故称其为浮地。

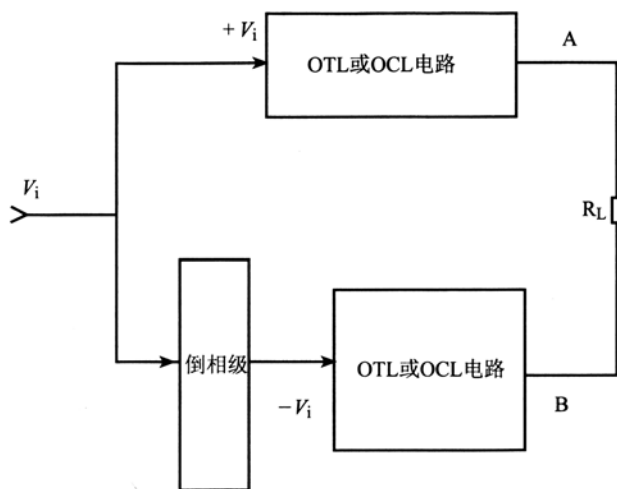


图 4-5 BTL 功率放大电路基本组成方框图

这一电路的工作原理说明如下。

输入信号 V_i 分成两路: 一路加到上面一组功率放大电路中, 另一路加到倒相级电路中, 获得大小相等, 方向相反的信号 $-V_i$, 加到下面一组功率放大电路中。

① 当输入信号 V_i 为正半周时, 上、下两组功率放大电路同时放大信号, 其输出端 A 的信号相位为正, B 的信号相位为负, 此时信号电流从 A 流出, 经过负载 R_L , 流入 B 点电路。

② 当输入信号 V_i 为负半周时, B 点输出信号相位为正、A 点信号相位为负, 此时信号从 B 点流出, 经过 R_L , 流入 A 点电路。

图 4-6 所示电路可以详细说明两组功率放大电路在正、负半周信号的工作情况。

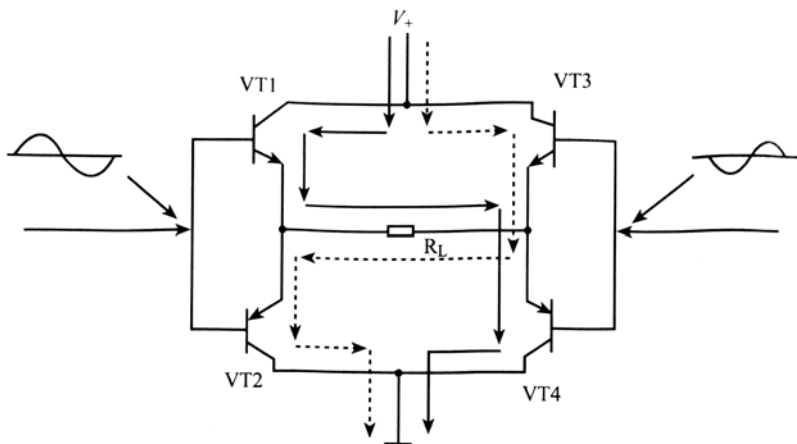


图 4-6 BTL 两组功率放大电路正、负半周信号工作情况

在图 4-6 所示电路中，VT1 和 VT2 是一组功率放大电路的输出级电路，VT3 和 VT4 是另一组功率放大电路的输出级电路。

(1) V_i 信号为正半周

当 V_i 信号为正半周时， V_i 使 VT1 导通，放大，使 VT2 截止，此时 $-V_i$ 为负半周时， $-V_i$ 使 VT3 截止，VT4 导通放大，即 VT2 和 VT3 截止，VT1 和 VT4 导通，放大，此时信号电流回路为： $V_i+ \rightarrow$ VT1 集电极 $\rightarrow$ VT1 发射极 $\rightarrow R_L$ (从左到右) $\rightarrow$ VT4 发射极 $\rightarrow$ VT4 集电极 $\rightarrow$ 地，如图 4-6 所示电路中的实线。

(2) V_i 信号为负半周

当 V_i 为负半周时， V_i 使 VT1 截止，使 VT2 导通，放大，此时 $-V_i$ 为正半周，使 VT4 截止，VT3 导通，放大，即此时 VT1 和 VT4 截止，VT2 和 VT3 导通，放大，其信号电流通路为： $V_i+ \rightarrow$ VT3 集电极 $\rightarrow$ VT3 发射极 $\rightarrow R_L$ (从右向左) $\rightarrow$ VT2 发射极 $\rightarrow$ VT2 集电极 $\rightarrow$ 地，如图 4-6 所示电路中的虚线。

2. 倒相级电路

从前面的分析可知，两组功率放大电路需要有两个大小相等，方向相反的信号来激励，这两个激励信号由倒相电路来完成。倒相电路有两种：一种采用分负载放大器；另一种是采用简单的自倒相电路。

(1) 分负载放大器

图 4-7 所示是分负载放大器电路。电路中，VT2 管工作在甲类放大状态， R_3 、 R_4 分别是集电极负载电阻器和发射极电阻器，且 $R_3 \approx R_4$ 。

该电路中， R_1 、 R_2 和 VD1 构成 VT1 管的分压式偏置电路，其中 VD1 用来进行 VT1 管的温度补偿。输入信号 V_i 经 C_1 耦合到 VT1 管基极，经放大后的信号分别从集电极和发射极输出。由于集电极与基极的信号电压相位相反，而发射极与基极的信号电压是同相的，这样， V_{o1} 和 V_{o2} 信号电压相位是反相的，由于 $R_3 \approx R_4$ ，又因为集电极电流约等于发射极电

流, 只要电路设计恰当, V_{o1} 、 V_{o2} 大小是相等的, 这样通过 VT1 分负载放大器便可以获得大小相等, 方向相反的两个激励信号。

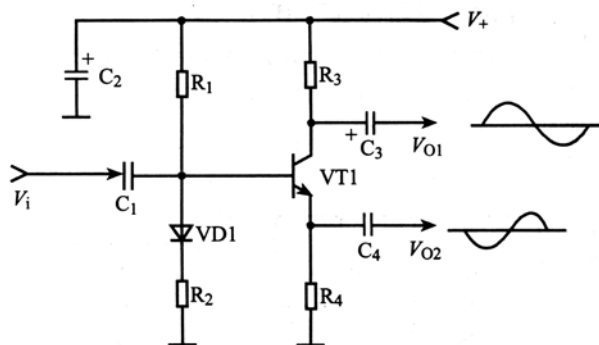


图 4-7 分负载放大器电路

(2) 简易自倒相电路

图 4-8 所示是简易自倒相应用电路。电路中, IC1、IC2 是两组同型号的集成放大器, 其中①脚是同相输入端, 即①脚信号相位与输出端信号相位是相同的。②脚是反相输入端, 即②脚信号相位与③脚相位相反。

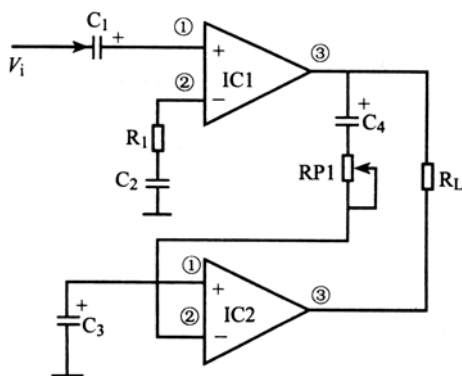


图 4-8 简易自倒相应用电路

① 在输入信号 V_i 为正半周时, V_i 信号经 IC1 放大后从③脚输出, 经 C_4 、 $RP1$ 加到 IC2 的反相输入端②脚, 由于③脚信号相位与②脚信号相位相反, 这样 IC2 的③脚输出信号相位与 IC1 的③脚输出信号相位相反, 此时 IC1 ③脚输出信号电流经 R_L 负载流入 IC2 的③脚内电路。

② 在 V_i 为负半周时, IC1 的③脚输出信号相位为负、经 C_4 和 $RP1$ 加到 IC2 的②脚, 从 IC2 ③脚输出的信号相位为正, 此时信号电流从 IC2 ③脚流出, 经 R_L 负载流入 IC1 的③脚。

电路中, C_4 是耦合电容器。调节 $RP1$ 的大小可改变馈入 IC2 ②脚的信号大小, 使 IC1、IC2 ③脚输出的信号大小相等, 方向相反。 R_1 和 C_2 是 IC1 的交流负反馈网络, C_3 是 IC2 ①脚的旁路电容器。

4.2 OTL 功率放大器的识图与应用

前面是以分立元器件 OTL 电路来说明其特性的，实际上集成电路 OTL 电路是在分立元器件电路的基础上生产而成的。

4.2.1 OTL 功率放大器应用与识图指导

图 4-9 所示是一种集成电路 OTL 的应用电路，这一电路的工作原理与分立元器件电路是一样的，这里只画出了一个声道电路。

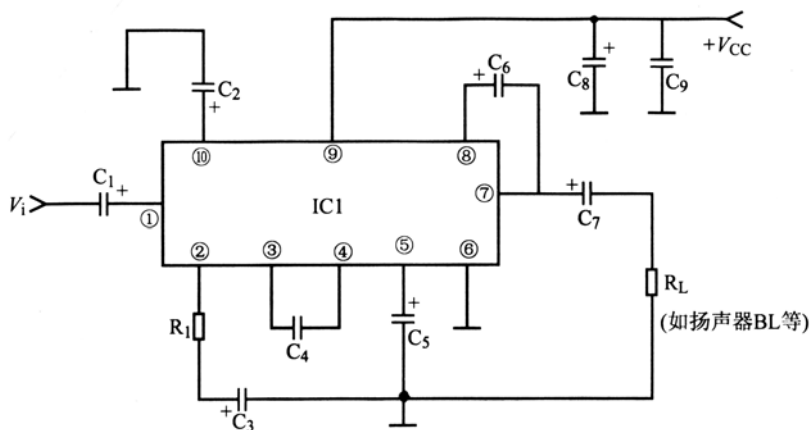


图 4-9 集成电路 OTL 的应用电路

1. 元器件作用

在图 4-9 所示电路中，IC1 是一个集成电路功率放大器，它共有 10 个引脚。 C_1 为输入耦合电容器， C_2 为退耦电容器， C_3 为隔直流电容器， C_4 为消振电容器， C_5 为旁路电容器， C_6 为自举电容器， C_7 为输出耦合电容器。

2. 信号流程

V_i 为输入信号，该信号经 C_1 耦合，从 IC1 ①脚进入内电路中进行放大，经电压放大级，推动级和功率放大级放大后的信号从 IC1 的⑦脚输出，经 C_7 耦合加到负载 R_L （如扬声器 BL）中。

对于 OTL 集成电路，也应先了解其工作原理，其次是要掌握集成电路的各引脚功能，或者是能够通过各引脚外电路元器件网络的特征，分析出该引脚的作用。IC1 各引脚功能说明见表 4-1 所列。

表 4-1 IC1 各引脚功能说明

引脚号	功 能 说 明	引脚号	功 能 说 明
①	信号输入引脚	⑥	接地端
②	负反馈引脚	⑦	信号输出端引脚
③	消振元件引脚	⑧	自举元件连接引脚
④	消振元件引脚	⑨	电源电压输入端
⑤	旁路元件引脚	⑩	退耦元件连接引脚

3. OTL 集成电路引脚识别方法

集成 OTL 功率放大电路应用十分广泛，这里介绍识别这类集成电路主要引脚的方法。

(1) 输入引脚的识别

输入引脚上电路特征是通过一只 $10\ \mu\text{F}$ 以下的耦合电容器与前级电路相连，如图 4-9 所示，①脚通过 C_1 与前级相连。除这种特征外，输入引脚外电路特征还有如图 4-10 所示两种电路。

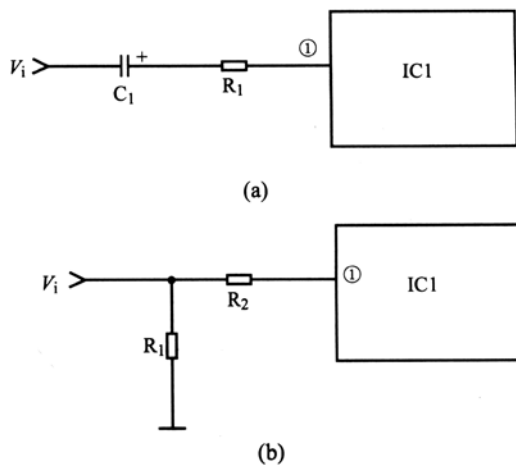


图 4-10 输入引脚外电路特征电路

图 4-10 (a) 所示是 IC1 的①脚与前级电路接了一个 RC 耦合网络，图 4-10 (b) 所示电路比较特殊，输入引脚与前级电路之间没有耦合电容器，这是由 IC1 输入级电路决定的， R_1 与 R_2 是①脚内电路偏置电路的一部分。①脚与地之间直流要成回路。

(2) 输出引脚的识别

输出引脚电路也很有特征，该脚通过一只容量较大的电解电容器（例如 $1000\ \mu\text{F}$ 等）与负载相连（如图 4-9 所示电路中与扬声器相连）。另外，该引脚上还与自举电容器一端连接。

(3) 电源引脚和接地引脚的识别

电源引脚与直流工作电压相连，引脚上还接有滤波电容器。一般情况下，一块集成电路上只有一根电源引脚，但有的也有两根。

接地引脚直接与地相连，较容易识别。

(4) 负反馈引脚的识别

一般情况下负反馈引脚是很好识别的,如图 4-9 所示电路②脚上的外电路,它与地之间接有一个 RC 网络, R 一般为几十到几百欧姆, C 在 $20\ \mu\text{F}$ 左右。在有些电路中,将负反馈电阻器 R_1 设在集成电路的内电路中。负反馈引脚外电路示意图如图 4-11 所示,在外电路上设一只电容器 C_1 ,此时识别要小心,因为像这样只有一只电解电容器的引脚可能不止一个。这时,应从 C_1 的电容量上来判别,一般负反馈回路中的隔直通交电容器为 $20\ \mu\text{F}$ 左右,退耦电容器在 $100\ \mu\text{F}$ 左右,旁路电容器为 $47\ \mu\text{F}$ 左右(有旁路电容器的情况较少)。

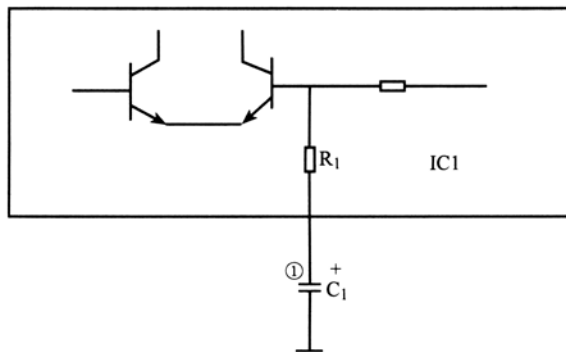


图 4-11 负反馈引脚外电路示意图

(5) 自举引脚的识别

自举引脚是较容易识别的,如图 4-9 所示电路的③脚外接电路,该引脚与输出引脚之间接有一只自举电容器,该电容器的电容量一般在 $100\ \mu\text{F}$ 左右,特殊电路的自举引脚外电路如图 4-12 所示,①脚是自举引脚,②脚是输出引脚,①、②脚之间接有一个 RC 网络, C_1 是自举电容器, R_1 用来加大时间常数。

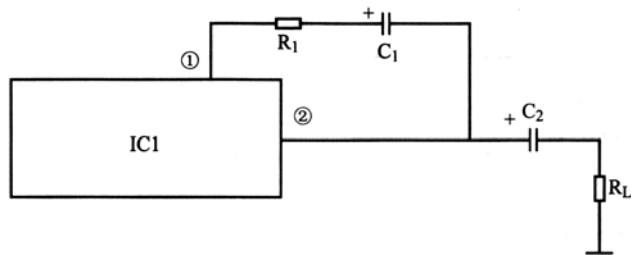


图 4-12 特殊的自举引脚外电路示意图

(6) 补偿引脚的识别

补偿引脚上往往接有几百皮法拉左右的小电容器,如图 4-9 所示电路中的③、④脚外接电路,根据这一特征可以方便地识别这一引脚。在集成 OTL 功率放大电路中,凡容量小于几千皮法拉的电容器均用来进行频率补偿,以消除负反馈放大器可能出现的高频自激。

(7) 其他引脚的识别

在集成 OTL 电路中,还有退耦、旁路、静噪引脚等。这些引脚的识别主要根据引脚与地之间电解电容器容量的大小来判别。接有 $100\ \mu\text{F}$ 左右的电容器的引脚为退耦引脚,接

有 $47\ \mu\text{F}$ 左右的电容器的引脚可能是旁路引脚，也可能是静噪引脚，此时最好能通过集成电路内电路来判别，或查阅有关集成电路各引脚功能的资料来确定。

4.2.2 功率放大器 LM386N 的应用电路与识图

LM386N 是美国国家半导体公司生产的音频功率放大集成电路，广泛应用于多媒体音响、随身听、电子发声玩具，无线话筒等电路中。

1. 功能特点

LM386N 集成电路具有静态电流小（ $4\ \text{mA}$ ）、失真度低、电压增益可调（在①、⑧脚之间串接阻容元件，增益可在 $26\sim 46\ \text{dB}$ 之间选择）、功率损耗低（ $6\ \text{V}$ 电源时静态功率损耗仅为 $24\ \text{mW}$ ）、外接元件少等特点。

2. 引脚功能及数据

LM386N 集成电路的引脚功能及数据见表 4-2 所列，该集成电路采用双列 8 脚封装。

表 4-2 LM386N 集成电路的引脚功能及数据

引脚号	功能说明	在路电阻值 ($\text{k}\Omega$)	
		红笔测量，黑笔接地	黑笔测量，红笔接地
①	增益调整元件 1	3	4
②	负反馈端	0	0
③	音频信号输入端	1	1
④	接地线端	0	0
⑤	音频信号输出端	2	3
⑥	电源电压输入端	2	3
⑦	旁路元件连接端	12	4
⑧	增益调整元件 2	4	4

3. 内电路原理图

图 4-13 所示为 LM386N 集成电路内电路原理图。从图中可以看出，LM386N 集成电路的①、⑧脚为增益调整端。当①、⑧脚悬空不用时，电路的电压增益 G_{VC} 为 $26\ \text{dB}$ ；当两脚接上 $10\ \mu\text{F}$ 电解电容器时，因 $1.35\ \text{k}\Omega$ 的负反馈电阻器被交流短路，故使负反馈减弱， G_{VC} 便提高到约 $46\ \text{dB}$ ；如果在 $10\ \mu\text{F}$ 电容器上串接电位器或不同电阻值的电阻器，则 G_{VC} 就可在 $26\sim 46\ \text{dB}$ 之间任意调整或选定。

4. 典型应用电路

由 LM386 集成电路构成的功率放大器应用电路如图 4-14 所示。该电路的工作原理较简单，输入的信号经 RP1 进行幅度调整（即音量调节）后，由 C_6 电容器耦合后加到 IC1 的信号输入端③脚，放大后的音频信号从⑤脚输出，由 C_8 电容器耦合去驱动低阻耳机或扬声器使之发声。

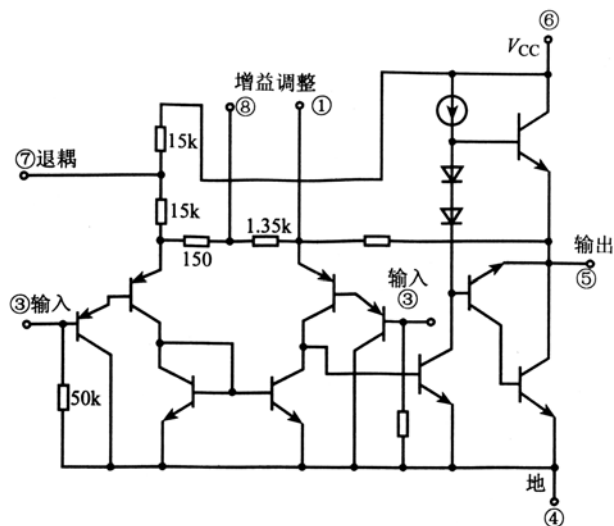


图 4-13 LM386N 集成电路内电路原理图

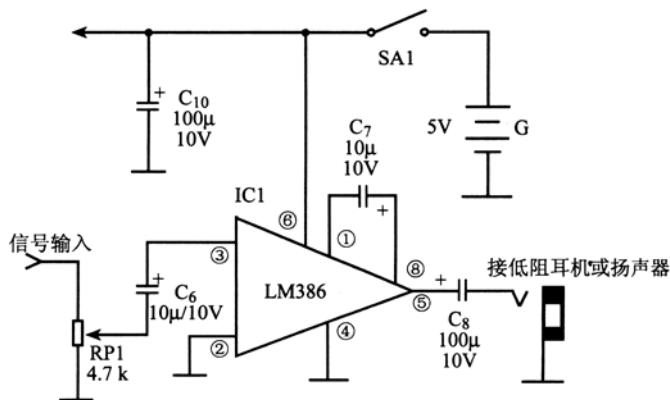


图 4-14 由 LM386N 集成电路构成的功率放大器应用电路

制作提示：

LM386N 无后缀是一种基本型，加有不同的后缀的区别仅在于电参数和封装形式。

LM386N-1 的极限工作参数：电源电压为 15 V，允许功率损耗为 0.66 W。

LM386N-4 的极限工作参数：电源电压为 22 V，允许功率损耗为 1.25 W。

LM386N-2 与 LM386-3 介于上述两种集成电路之间。

LM388、LM389、LM390 等集成电路的主要参数与 LM386N 有一些区别，但它们的典型应用方式、增益调整方法基本相同，故图 4-14 所示典型应用电路也同样适用于 LM388、LM389、LM390 等集成电路。

4.2.3 功率放大器 TDA2822 的应用电路与识图

TDA2822 集成电路具有静态电流小、交叉失真小等特点，可组成双声道 BTL 电路。适用于在便携式、微小型收录机、电脑音响中做功率放大使用。

1. TDA2822 内电路方框图及引脚功能

TDA2822 集成电路有两种封装形式。TDA2822 采用 16 脚双列封装结构，TDA2822M 采用 8 脚封装结构，两者内部等效电路基本相同。其内电路方框图如图 4-15 所示（以 TDA2822M 为例），各引脚之间的对应关系如下。

TDA2822 引脚号：① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩
⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯

TDA2822M 引脚号：⑦ — ⑧ ④ ④ ① — ② —
— ③ ④ ④ ⑤ — ⑥

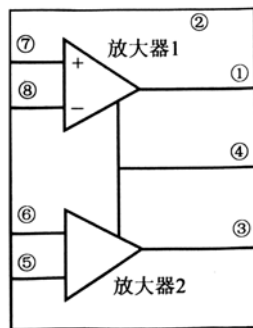


图 4-15 TDA2822M 内电路方框图

以 TDA2822M 为例，其集成电路的引脚功能及数据见表 4-3 所列。

表 4-3 TDA2822M 引脚功能及数据

引脚号	功能说明	电压 (V)	在路电阻值 (kΩ)		开路电阻值 (kΩ)	
			红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地	红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地
①	功率放大电路 1 信号输出端	2.6	1.15	6.5	28	5.2
②	电源电压输入端	3.4	1	1.65	7	5
③	功率放大电路 2 信号输出端	2.3	1.15	6.5	28	5.2
④	接地线	0	0	0	0	0
⑤	功率放大电路 2 负反馈端	0.45	1.45	80	120	6.2
⑥	功率放大电路 2 信号输入端	0	1.5	19	∞	6.5
⑦	功率放大电路 1 信号输入端	0	1.5	19	∞	6.5
⑧	功率放大电路 1 负反馈端	0.45	1.45	80	120	6.2

2. TDA2822M 应用电路

TDA2822 与 TDA2822M 集成电路的应用电路基本相同，如图 4-16 所示。

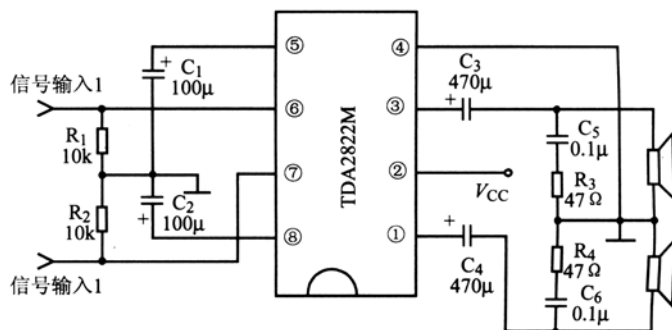


图 4-16 TDA2822M 的应用电路

3. 信号流程

信号从 TDA2822M 的⑥、⑦脚进入集成电路内，经功率放大后从①、③脚输出，去推动扬声器或耳机发声。在这部分电路中，C₅、R₃ 与 R₄、C₆ 组成了左、右声道功率放大电路的“茹贝尔”网络。

4.2.4 功率放大器 TDA7050T 的应用电路与识图

TDA7050 是飞利浦公司生产的双声道功率放大集成电路，广泛应用于各种低电压随身听、复读机、多媒体音响及其他音响设备中。

1. 功能特点

TDA7050 集成电路内含两路功能相同的音频功率前置放大、音频功率放大电路，以及其他一些辅助功能电路等。

2. 引脚功能及数据

TDA7050 集成电路采用 8 脚双列直插式封装，其集成电路的引脚功能及数据见表 4-4 所列。

表 4-4 TDA7050 集成电路的引脚功能及数据

引脚	功能	电压 (V)	引脚	功能	电压 (V)
①	功率放大电路同相信号输入 1	0	⑤	接地线端	0
②	功率放大电路反相信号输入 1	0	⑥	功率放大电路信号输出 2	1.5
③	功率放大电路反相信号输入 2	0	⑦	功率放大电路信号输出 1	1.5
④	功率放大电路同相信号输入 2	0	⑧	工作电源电压输入端	3

3. 应用电路

由 TDA7050 集成电路构成的双声道应用电路如图 4-17 所示。该电路的外围元件很少，两声道结构相同，RP1、RP2 为音量调节电位器，输入信号经其调节并由 TDA7050 放大后，经耦合电容器 C_1 、 C_2 驱动扬声器发声。

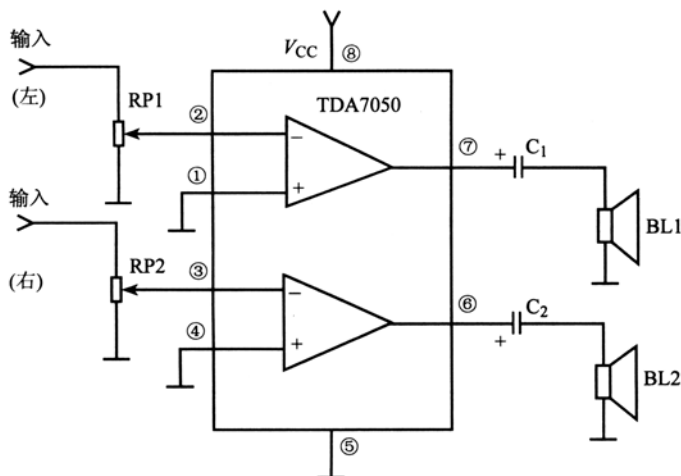


图 4-17 由 TDA7050 集成电路构成的双声道应用电路

使用提示：

判断 TDA7050 是否损坏，可测其⑥、⑦脚电压是否为 $\frac{1}{2} V_{CC}$ 。

4.2.5 功率放大器 TDA1521、TDA1521A 的应用电路与识图

TDA1521、TDA1521A 是飞利浦公司生产的双路 Hi-Fi 音频功率放大器，具有外围元件少；电源开/关时输入信号静音功能（无开/关机“咔嚓”声）；两路放大器之间有优良的平衡性能；具有良好的过热及短路保护功能；在 $\pm 12\text{ V}$ 或 $+24\text{ V}$ 供电时输出功率每路可达 6 W （TDA1521A）和 12 W （TDA1521）。

TDA1521 与 TDA1521A 的区别除在外形封装方面之外，还有引脚顺序与双电源工作时的输出功率及谐波失真也不一样，但它们的内电路方框图及典型应用电路却基本相同。在 Hi-Fi 音响放大器中应用较广泛。下面主要以 TDA1521A 为例来加以介绍。

1. TDA1521A 内部方框图及引脚功能

TDA1521A 集成电路内部主要由两路完全相同的音频放大器、音频功率放大器及电压比较器、过热保护、短路保护电路等组成。其内电路方框图如图 4-18 所示。该集成电路与 TDA1521 均为 9 脚单列封装方式，其各引脚功能及数据如表 4-5 所列。

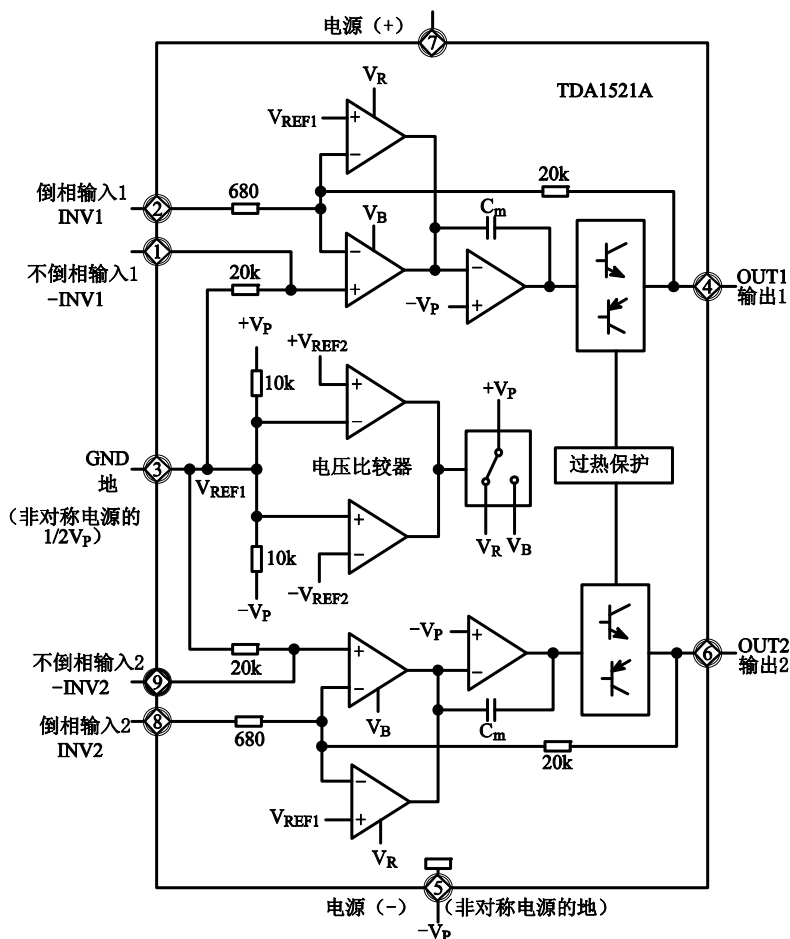


图 4-18 TDA1521A 内电路方框图

表 4-5 TDA1521A 引脚功能及数据

引脚号	功能说明	电压 (V)	在路电阻值 (kΩ)	
			红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地
①	L 路信号同相信号输入端	10.7	6.6	3.9
②	L 路信号反相信号输入端	10.9	5.9	5.9
③	参考电压端, $\pm V_P$ 供电时为 0 V, 接地; $+V_P$ 供电时为 $1/2 V_P$, 经电容器交流接地	10.9	5.9	5.9
④	输出信号 1 端, L 路信号输出	10.9	7.6	10.9
⑤	$\pm V_P$ 供电时, 接 $-V_P$ 电压; $+V_P$ 供电时, 接地	0	0	0
⑥	输出 2 端, R 路信号输出	10.9	7.7	10.9
⑦	$+V_P$ 输入端, $\pm V_P$ 供电时接+12 V, 单电源时接+24 V	22	0.4	22
⑧	R 路信号反相信号输入端	10.9	5.9	10.9
⑨	R 路信号同相信号输入端	10.9	32	10.9

2. TDA1521 与 TDA1521A 典型应用电路

TDA1521 与 TDA1521A 的典型应用电路相同, 分为双电源和单电源两种方式, 如图 4-19 与图 4-20 所示。

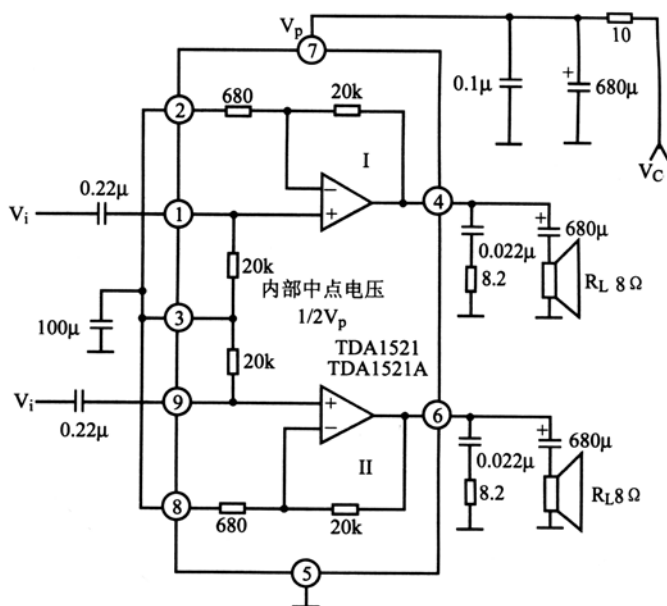


图 4-19 TDA1521/TDA1521A 单电源典型应用电路

3. 单电源电路工作过程

TDA1521A 按 OTL 电路方式工作时, 其输出端④、⑥脚直流电压等于 $1/2 V_{CC}$, 这也是判断此功率放大电路工作是否正常的典型特征, 如果该电压等于电源电压 V_{CC} 或等于零, 都说明集成电路已损坏或异常。

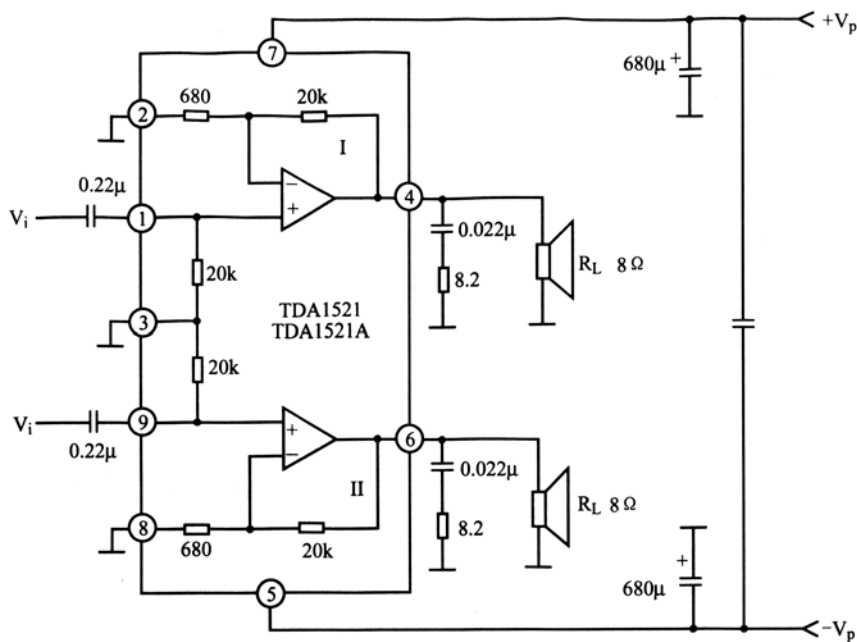


图 4-20 TDA1521/TDA1521A 双电源典型应用电路

4. 双电源电路工作过程

当采用双电源工作方式时，TDA1521A 的⑦脚所加的是 $+V_p$ 电压，⑤脚所加的是 $-V_p$ 电压，③脚接地。此时，TDA1521A 集成电路按 OCL 电路方式工作，这时输出端④、⑥脚直流电压为 0 V，不需加接隔直流耦合电容器。采用这种工作方式时，要求集成电路内两路电压具有良好的平衡性，否则输出端的直流电压不为 0 V，由此可能会导致扬声器被烧坏。这也是判断此类功率放大电路工作是否正常的典型特征。如果测得输出端的电压不为 0 V，则说明功率放大集成电路损坏或异常。

4.2.6 功率放大器 TDA2003 的应用电路与识图

TDA2003 是欧洲生产的音频功率放大集成电路，广泛应用于汽车音响（如群星、南海系列等）、家用音响等电路上做音频功率放大。

1. TDA2003 内部方框图及引脚功能

TDA2003 集成电路内有短路、过热、地线开路、电源极性接反和负载泄放电压反冲等保护电路，此外还具有输出电流大，负载阻抗可低至 1.6Ω ，谐波失真和交越失真小，外接元件少，体积小等特点。

TDA2003 集成电路采用 5 脚单列封装，其内电路方框图如图 4-21 所示，各引脚功能及数据如表 4-6 所列。

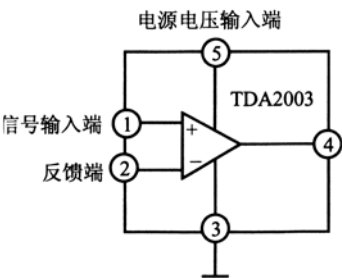


图 4-21 TDA2003 内电路方框图

表 4-6 音频功率放大集成电路 TDA2003 引脚功能及数据

引脚号	功能说明	电压（V）	在路电阻值（kΩ）		开路电阻值（kΩ）	
			红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地	红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地
①	功率放大电路音频信号输入端	0.8	26	14.5	16.5	32
②	功率放大电路负反馈端，外接反馈元件	0.85	11	12.5	7	32
③	接地线端	0	0	0	0	0
④	功率放大电路音频信号输出端	5.4	0.2	0.2	6.1	23
⑤	电源电压输入端	12	0.1	0.1	5.1	9.5

2. TDA2003 典型应用电路

图 4-22 所示为单块 TDA2003 集成电路的典型应用电路。该电路的结构十分简单，输入的信号经电容器耦合加到 TDA2003 的①脚，放大后的信号从④脚输出，经输出电容器去驱动扬声器发声。由于 TDA2003 的输出功率较大，故可以用来代换多种功率放大集成电路，用于各种场合。

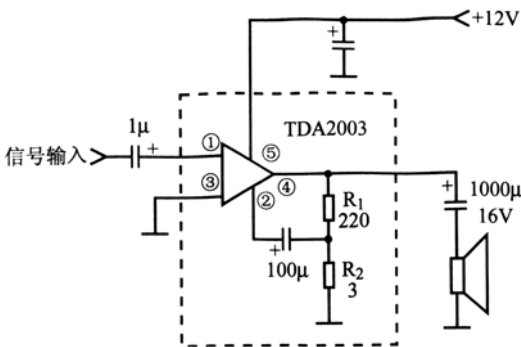


图 4-22 TDA2003 典型应用电路

4.2.7 功率放大器 TDA2030、TDA2030A 的应用电路与识图

TDA2030、TDA2030A 是欧洲生产的一种音频功率放大集成电路，由于其输出电流大、谐波失真和交越失真小，电路内设有短路保护和过热保护，可以限制输出过载，故应用较

广泛，在群星、凯歌、伽玛等列车载音响及其他各种音响中均有应用。

1. TDA2030、TDA2030A 典型应用电路

TDA2030 与 TDA2030A 两者的典型应用电路相同，如图 4-23 所示，引脚功能等均相同，仅是某些电参数有一些差别。

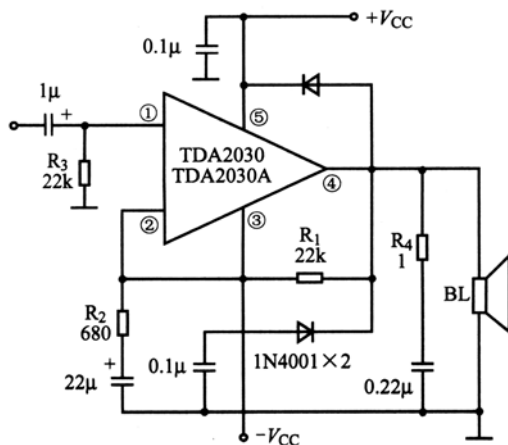


图 4-23 TDA2030/TDA2030A 典型应用电路

2. TDA2030 与 TDA2030A 主要电参数

(1) 极限使用条件

电源电压 $V_{CC}=\pm 18\text{ V}$ (TDA2030), $V_{CC}=\pm 22\text{ V}$ (TDA2030A), 输出的峰值电流 $I_O=3.5\text{ A}$, 允许功率损耗 $P_D=20\text{ W}$ ($T_O=90^\circ\text{C}$)。

(2) 主要电参数

在 $V_{CC}=\pm 17\text{ V}$ (TDA2030), $V_{CC}=\pm 16\text{ V}$ (TDA2030A), $R_L=4\ \Omega$, $T_a=25^\circ\text{C}$ 的条件下, TDA2030 与 TDA2030A 集成电路输出功率典型值前者为 14 W , 后者为 18 W 。

3. TDA2030A 引脚功能及数据

以 TDA2030A 集成电路为例，该集成电路采用 5 脚单列直插式封装，其各引脚功能及实测数据如表 4-7 所列。

表 4-7 音频功率放大集成电路 TDA2030A 引脚功能及实测数据

引脚号	功能说明	电压 (V)	在路电阻值 (k Ω)		开路电阻值 (k Ω)	
			红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地	红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地
①	功率放大电路音频信号输入端	10.5	10.4	16.1	6.7	∞
②	功率放大电路负反馈元件连接端	12	8.8	48	6.7	∞
③	负电源电压输入端或接地线	0	0	0	0	0
④	功率放大电路音频信号输出端	12	15	400	5	30
⑤	电源电压输入端	24	15	170	5	10

4. 故障检修提示

TDA2030/TDA2030A 集成电路在立体声电路中通常成对使用，这就给检修带来了很大的方便，一般可采用对比测量的方法来寻找故障点，即通过测量无声通道电路中有关点的电压或电阻值，然后将其与正常通道电路中相应点上的电压或电阻值进行对照，以此来判断故障的大概部位。

4.2.8 OTL 功率放大器在 MP3 高保真放音接续电路中的应用与识图

图 4-24 所示是由功率放大电路 TDA1521A 构成的 MP3 高保真放音接续电路。与微型音箱配套使用，可作为 MP3 的接续器，供多人收听 MP3 音乐，也可配接 CD、VCD 等，为其提供音源，对信号进行功率放大。

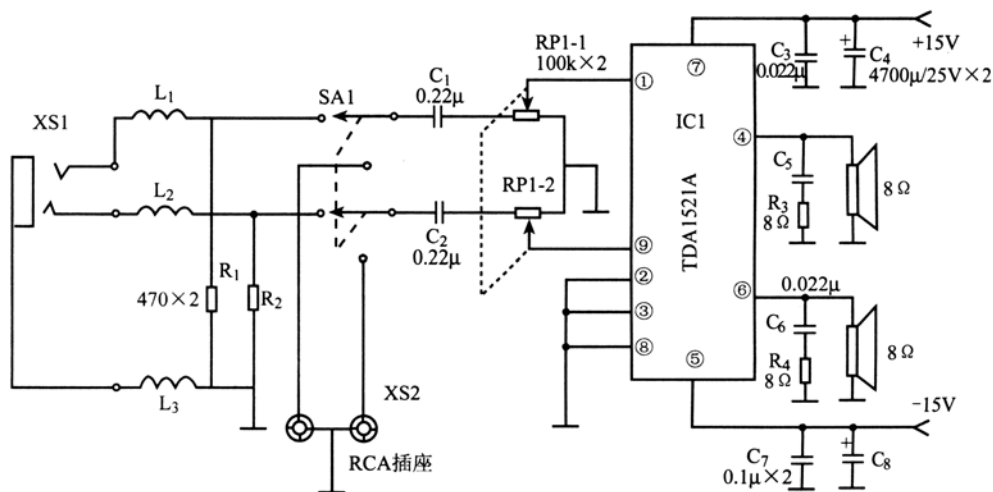


图 4-24 由 TDA1521A 构成的 MP3 高保真放音接续电路

1. 识图指导

图 4-24 所示电路是由高保真双声道功率放大 IC1 (TDA1521A) 为主构成的。L₁~L₃ 是三只电感线圈，是用 0.8 mm 直径、长 15cm 漆包线绕制成的空心线圈（空心直径为 5~7 mm）；XS1 与 XS2 均为输入插座；XS2 供配接如 CD、VCD 等其他音源时使用；由 2×2 波段开关 SA1 来对输入的音频信号进行选择切换；RP1-1 与 RP1-2 是一只同轴双连可调电位器，用来进行音量的调整。

2. 工作原理

MP3 等音源信号经 C₁、C₂ 电容器耦合，再经音量调节后加至 IC1 的 ①脚与 ⑨脚，最后经功率放大从 ④、⑥脚输出，推动两路扬声器发声。

IC1 的型号为 TDA1521A，是荷兰飞利浦公司的产品，该功率放大集成电路不但性能优良，而且还具有较完善的保护功能。

制作提示:

图 4-24 所示电路中的 C_1 、 C_2 两只输入电容器对音质影响较大,通常采用 CBB 型聚丙烯电容器,例如采用新德克的 $0.22\ \mu\text{F}$ 电容器。

$L_1 \sim L_3$ 对频率较低的音频信号阻抗较低,音频信号可顺利通过,而对频率较高的信号阻抗很高,可起到隔高频通低频的作用,故不可省略不用。

4.2.9 OTL 功率放大器在酒精气味检测报警电路中的应用与识图

图 4-25 所示是由功率放大 LM386 构成的酒精气味检测报警电路。既适用于安装在各种机动车上,用来限制驾驶员酒后开车,又可以安装成便携式,用来供交通人员在交通现场,检测驾驶员是否为酒后开车。

1. 识图指导

图 4-25 所示电路由三端稳压器 IC1 (W7805),大功率开关电路 IC2 (TWH8778),语音电路 IC3 (TM801),功率放大电路 IC4 (LM386) 及 QM-NJ9 型酒精传感器 S,继电器 KAJ 等组成。BL 是 $1\ \text{W}/8\ \Omega$ 的扬声器。

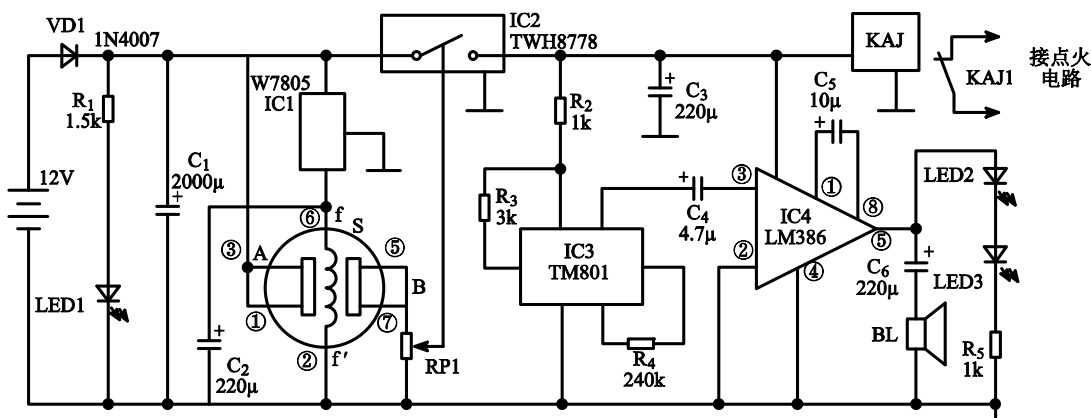


图 4-25 由 LM386 构成的酒精气味检测报警电路

2. 工作原理

图 4-25 所示电路的工作原理可以从以下 3 个方面来进行分析和说明。

(1) 供电电路

图 4-25 所示电路如安装在汽车上,则可使用车上的 $12\ \text{V}$ 蓄电池电压。在无备用蓄电池的场合使用时,可配上 8 节 $12\ \text{V}$, $0.5\ \text{A}$ 的镉镍电池。

$12\ \text{V}$ 电源经隔离二极管 VD1, C_1 滤波以后分为多路:一路经 R_1 电阻器限流使 LED1 导通发光;另一路经 IC1 稳压为 $5\ \text{V} \pm 0.2\ \text{V}$ 后提供给酒精传感器⑥脚,使传感器得到稳定的工作电源,使其工作稳定;还有一路提供给 IC2,由该电子开关导通以后,为后级电路

提供工作电源。

(2) S 未检测到酒精气味

当酒精传感器 S 未检测到酒精气味时，其 B 端电位较低，经 RP1 分压后加到 IC2 上的控制电压不能使该电子开关导通，后级电路因无供电而不工作。

(3) S 检测到酒精气味

当酒精传感器 S 检测到酒精气味时，其 B 端电位就会随检测到的酒精浓度的增加而上升，当该点电压上升使经 RP1 分压加到 IC2 控制极上的电压为 1.6 V 以上时，IC2 被控制导通，它的输出端就有电压输出，该电压分为多路：

一路经 R_2 、 R_3 为语音集成电路 IC3 供电；另一路加到功率放大 IC4 的⑥脚。这两路供电使报警电路工作，IC3 产生的语音信号，经 C_4 电容器耦合，加到 IC4③脚，经功率放大以后从⑤脚输出，该信号一路使 LED2、LED3 发光二极管闪亮；一路经 C_6 驱动扬声器 BL 发出“酒后别开车”的语音报警声，从而实现了声、光报警。

IC2 导通后输出电压的第三路加到继电器 KAJ 线圈上，使其得电吸合，其常闭触点 KAJ1 断开，从而切断了车辆点火电路，强制发动机熄火。

4.2.10 OTL 功率放大器在汽车倒车报警电路中的应用与识图

图 4-26 所示是由功率放大电路 LM386 构成的汽车倒车报警电路。适用于各种车辆使用。

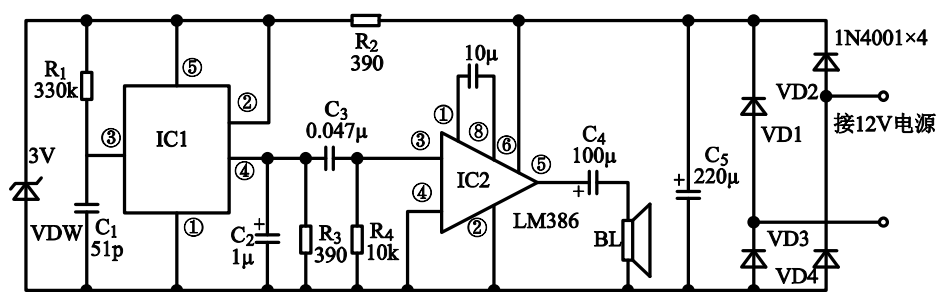


图 4-26 由 LM386 构成的汽车倒车报警电路

IC1 是一只软封装语音集成电路，内存“嘀、嘟、倒车”声音；IC2 是一只音频功率放大集成电路。

1. 电源极性转换电路

电源极性转换电路由 VD1~VD4 四只二极管构成，由此就会使图 4-26 所示电路所接的 12 V 蓄电池不分正、负极性，可以由极性转换电路自动将电源转换成与 C_5 电容器极性一致后提供给后级电路。

2. 语音电路的供电

12 V 蓄电池电压一路加至 IC2⑥脚，另一路经 R_2 限流降压，VDW 稳压为 3 V 后为 IC1⑤脚供电。

3. 语音电路

当 IC1 得电, 且其③脚电压因 C_1 充电结束上升为高电平时, IC1 工作后产生的语音信号从④脚输出, 经由 R_3 、 C_2 、 C_3 组成的滤波电路滤波以后, 加至 IC2③脚。

4. 功率放大电路

功率放大电路由 IC2 及其外围的有关元件构成。从③脚输入的语音信号, 经功率放大以后从⑤脚输出, 经电容器 C_4 耦合推动扬声器 BL 发声。

由于 IC2 供电电压为 12 V, 故扬声器发出的声音很大, 从而满足了倒车报警的目的。

4.2.11 OTL 功率放大器在有线半双工对讲机电路中的应用与识图

图 4-27 是由功率放大电路 LM386 构成的有线半双工对讲机电路。由主机和分机两部分构成。主机部分由 LM386 (IC1) 和扬声器 BL1 构成, 分机部分只有扬声器 BL2。主机具有优先权, 因为控制开关 SA1 设在主机一方。

1. SA1 处于向下位置

当 SA1 处于图 4-27 所示的位置时, BL2 接到 IC1 输入端, BL1 接至 IC1 输出端, 所以是分机讲话, 主机接收。

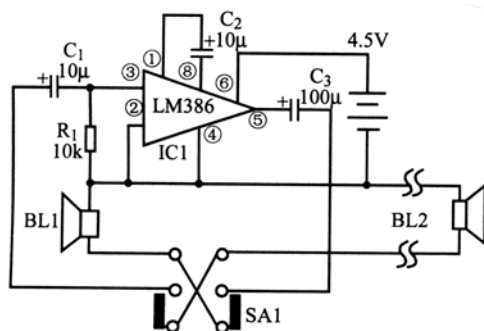


图 4-27 由 LM386 构成的有线半双工对讲机电路

2. SA1 处于向上位置

当 SA1 处于向上两触点接通时, 开关将扬声器 BL1 接至 IC1 输入端, 而扬声器 BL2 则接至 IC1 输出端, 故是主机讲话, 分机接收。电源可采用三节干电池, 也可采用交流变直流进行供电。

4.2.12 OTL 功率放大器在电话式双向对讲门铃电路中的应用与识图

图 4-28 所示是由功率放大电路 LM386 构成的电话式双向对讲门铃电路。适用于家庭、农村庭院等场合使用。

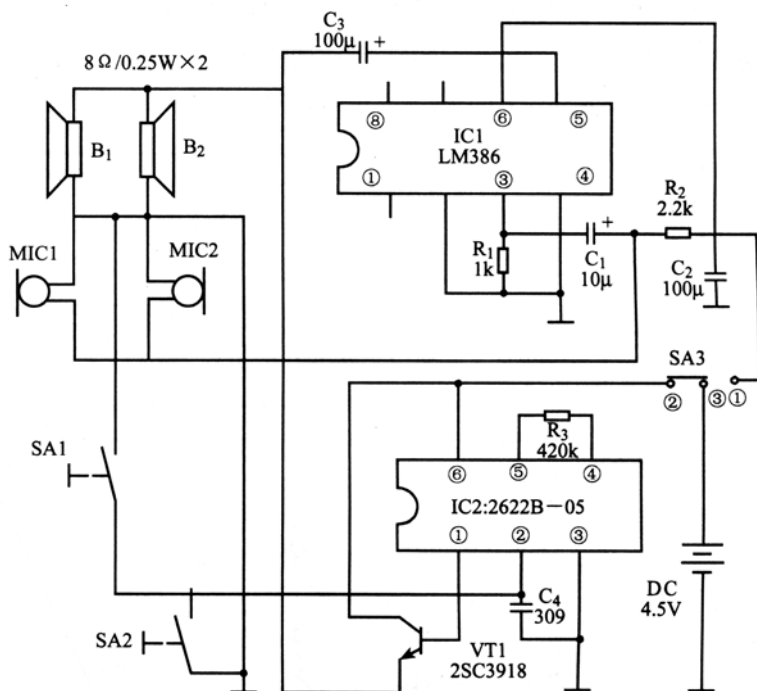


图 4-28 由 LM386 构成的电话式双向对讲门铃电路

1. 识图指导

图 4-28 所示双向对讲门铃由主机和副机组成。主机安装在室内，由 B_2 、MIC2、SA2、IC1、IC2、VT1、 $C_1 \sim C_4$ 、 $R_1 \sim R_3$ 和三节 1.5 V 干电池及外壳构成。副机安装于室外，由 B_1 、MIC1、SA1 及外壳构成。主、副机由 4 芯电缆线进行连接。

2. 工作原理

图 4-28 所示电路的工作原理可以从以下两个方面来进行分析说明。

(1) 有客人来访

当有客人来访时，按下副机信号开关 SA1（这时主机挂在挂钩上，SA3 被压下，其③与②脚接通）时，IC2②脚接地，内部触发电路接通，其①脚输出音频信号，直接加到 VT1 管基极，经放大以后，推动扬声器 B_1 、 B_2 发出悦耳的电话铃声。

当主人听到电话铃声以后，即可从挂钩上取下话筒，一旦话筒取下 SA3 就会弹起，其③与①脚接通，③与②脚断开，主、客人便可进行对讲。

(2) 信号流程

驻极体话筒 MIC1、MIC2 将拾取的话音信号转换成电信号，该信号经 C_1 电容器耦合加至 IC1 的③脚。IC1 的⑥脚为供电电压输入端，得电工作后，将③脚输入的信号进行放大，得到的信号从⑤脚输出，经 C_3 电容器耦合，驱动扬声器 B_1 、 B_2 还原成声音。

制作提示:

IC2 是一块软封装的电话铃声集成电路, 有 6 个引出脚。其中:

①脚—信号输出端, 产生的电话铃声信号加到 VT1 基极, 去推动扬声器发声。

②脚—触发端, 每输入一次触发信号, 电路便工作一次, 时间约为 2 s 左右。

③脚、⑥脚—电源负极与正极。

④脚、⑤脚—外接振荡电阻器 R_3 。 R_3 的电阻值对 IC 内振荡器的振荡频率起决定作用。电阻值越大, 振荡频率越高, 发出的电话铃声速度就越快, 反之则相反。IC1 与 IC2 两块集成电路在路电阻值见表 4-8 所列。

表 4-8 IC1 与 IC2 两集成电路在路电阻值 (K Ω)

引脚号	IC1 (LM386)		IC2 (2622B-05)	
	红笔测量、黑笔接地	黑笔测量、红笔接地	红笔测量、黑笔接地	黑笔测量、红笔接地
①	3	4	3	3
②	0	0	3	60
③	1	1	0	0
④	0	0	4	60
⑤	2	3	4	60
⑥	2	3	3	60
⑦	12	4		
⑧	4	4		

4.2.13 OTL 功率放大器在汽车安全带语音提醒电路中的应用与识图

图 4-29 所示是由功率放大电路 LM386 构成的汽车安全带语音提醒电路。用于在接通点火开关后, 如没系上安全带, 则会发出“请系好您的安全带”的声音。

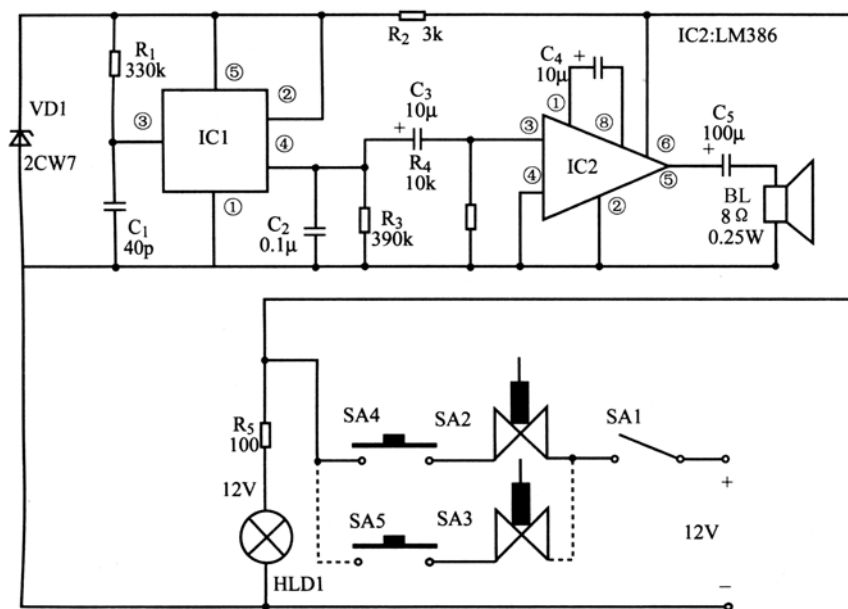


图 4-29 由 LM386 构成的汽车安全带语音提醒电路

1. 识图指导

图 4-29 所示是由 3 S 语音集成电路 IC1, 功率放大集成电路 IC2 (LM386), SA1~SA5 开关等组成。SA2、SA3 是在插座内加装的常闭接点簧片, SA4、SA5 是分别安装在车座下面的压动开关。图 4-29 所示电路中仅画了两个座位上的开关, 无论有多少座位, 只要按虚线所示将所有的开关都并联起来。只要有一个座位上的安全带没系上, 均会有声音提醒, 且指示灯 HLD1 会一直点亮。

2. 工作原理

图 4-29 所示电路的工作原理可以从以下两个方面来进行分析说明。

(1) SA1 未闭合

当有人坐到车座上后, 车座下的压动开关 SA4 或 SA5 接通, 此时若汽车点火开关 SA1 未闭合, 整个电路因无供电而不会工作。

(2) SA1 闭合

当接通 SA1 以后, 电路得电, IC1②、⑤脚有电压输入, 产生的语音信号从④脚输出, 经 C_3 耦合加至 IC2③脚, 经放大后从⑤脚输出, 由 C_5 耦合推动扬声器发出“请系好您的安全带”, 同时 HLD1 灯泡也被点亮。

- 当将所有的安全带的插头插入有常闭接点 SA2 及 SA3 的插座内, 使 SA2、SA3 均断开, 电路断电后声、光均消失。
- 当没有人坐在座位上时, 由于 SA4、SA5 是常开开关, 电路因无供电也不会工作。

4.2.14 OTL 功率放大器在耳聋助听电路中的应用与识图

图 4-30 所示是由功率放大电路 TDA2822 构成的可自动调节音量的耳聋助听电路。由于音量可自动调整并稳定在一定的音量上, 故特别适用于在外界声响变化量较大的环境中使用, 供各种耳聋程度不同的患者使用。

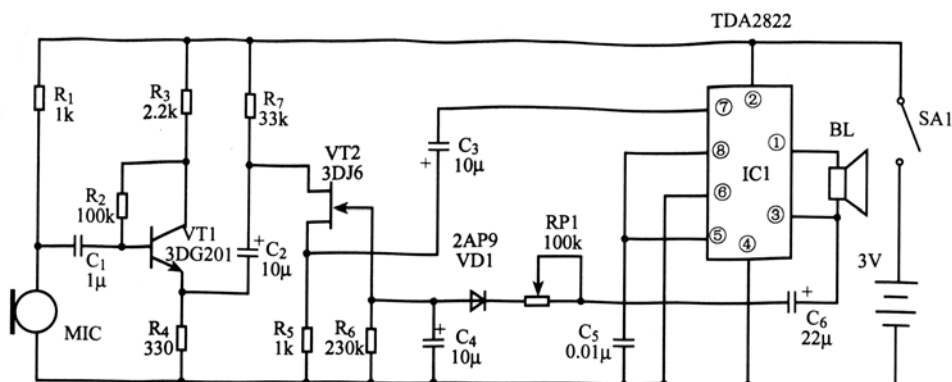


图 4-30 由 TDA2822 构成的可自动调节音量的耳聋助听电路

1. 识图指导

图 4-30 所示电路主要由 IC1 (TDA2822) 功率放大集成电路、VT1、VT2 等组成。VT1

及外围相关元件构成了射随放大电路；VT2 及其相关元件构成了自动音量控制电路；MIC 为驻极体话筒。

2. 工作原理

图 4-30 所示电路的工作原理可从以下两个方面来进行分析说明。

(1) 信号流程通路

外界的声音信号经 MIC 拾取转换成电信号后，经 C_1 耦合到 VT1 基极，放大后从发射极输出，由 C_2 耦合至 VT2 的漏-源极间，再经 C_3 耦合加到 IC1⑦脚，经功率放大以后从①、③脚输出，驱动耳机 BL 发声。

(2) 自动音量控制

从 IC1③脚输出的信号再经 C_6 耦合，RP1 可调电阻器降压，VD1 负向整流， C_4 滤波，得到的负偏压加到 VT2 的栅极，进行自动音量的控制。

- 当 VT2 栅极处于零负偏压时，其漏极与源极之间的阻抗将会变小，传输的信号幅度增大，进而使输出的信号增大。
- 当输出信号增大以后，就会使加至 VT2 栅极上的负偏压增高，漏-源极间阻抗增大，传输的信号幅度变小，回复到正常音量。

这样，不论外界声响的大小，耳机 BL 内发出的声音始终保持在一定音量上。

4.3 OCL 功率放大器的识图与应用

上面已经说过，OCL 电路是在 OTL 电路的基础上发展起来的，故 OCL 电路的许多特性都与 OTL 电路基本相同，下面仅介绍两者不同的部分。

4.3.1 OCL 功率放大器的识图与应用指导

图 4-31 所示是集成电路 OCL 功率放大电路，图 4-32 所示是分立元器件 OCL 功率放大电路。图 4-31 所示电路中的 IC1 为集成电路，它的内电路结构基本上与图 4-32 所示电路相同。IC1 各引脚作用如下：

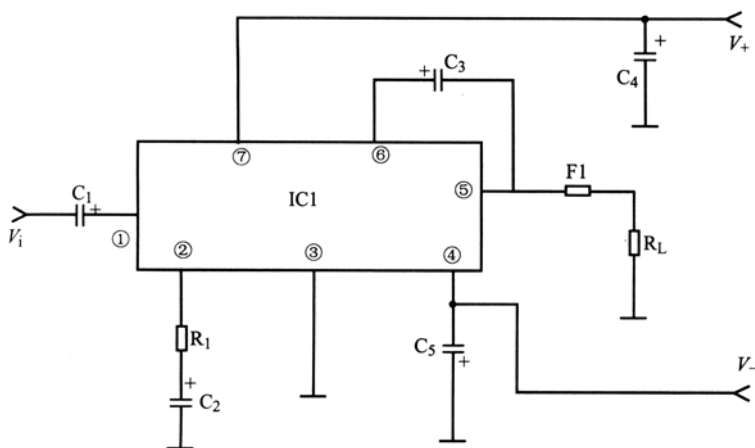
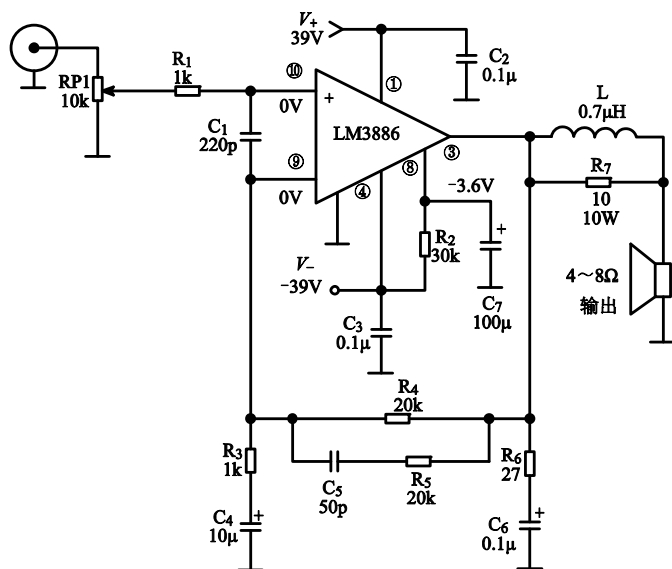
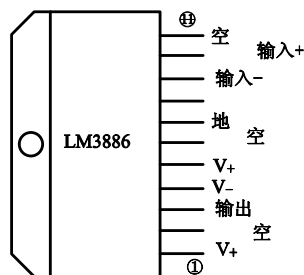


图 4-31 集成电路 OCL 功率放大电路

①脚-输入引脚, ②脚-负反馈引脚, ③脚-接地引脚, ④脚-负电源引脚, ⑤脚-输出引脚, ⑥脚-自举引脚, ⑦脚-正电源引脚。



(a)



(b)

图 4-33 由 LM3886 构成的功率放大电路及引脚功能

输入的音频信号经音量调整 RP1 后, 又经 R_1 加到 LM3886 同相信号输入端⑩脚, 经功率放大后的信号从③脚输出, 去推动扬声器发声。 R_4 、 C_5 、 R_5 、 R_3 、 C_4 均为负反馈元件, 用于稳定功率放大电路的工作点。

LM3886 引脚排列方式及功能如图 4-33 (b) 所示。

4.3.3 OCL 功率放大器在具有静噪功能放大电路中的应用与识图

图 2-58 所示是由 OCL 功率放大集成电路 LM3886 构成的具有静噪功能的放大电路, 适用于计算机音响、家庭音响等进行功率放大。

1. 识图指导

图 4-34 所示电路是由功率放大集成电路 LM3886 (IC1) 为主构成的。BL 为 8Ω 扬声器, RP1 用于对音量进行调节。采用 $\pm 35\text{ V}$ 供电。

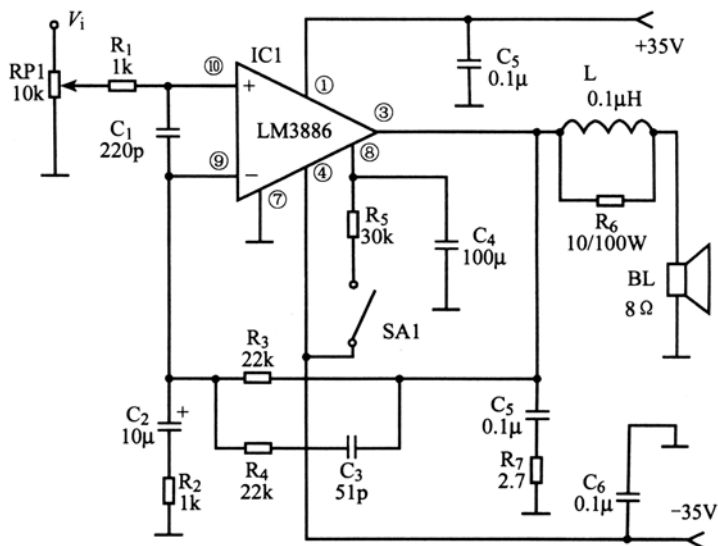


图 4-34 由 LM3886 构成的具有静噪功能的放大电路

2. 工作原理

V_i 信号从 IC1⑩脚输入，经放大后从③脚输出推动扬声器 BL 发声。 C_2 是负反馈回路的隔直流电容器，其时间常数由 $R_2 \cdot C_2$ 决定， R_3 与 R_4 、 C_3 也为负反馈网络。

SA1 为静音控制开关（该开关可由电子开关代替），当该开关断开时，电路就处于静音状态。

4.3.4 OCL 功率放大器在恒流驱动放大电路中的应用与识图

图 4-35 所示是由 OCL 功率放大器 LM3886 构成的具有驱流恒动方式的放大电路。适用于组成大功率多声道放音电路。

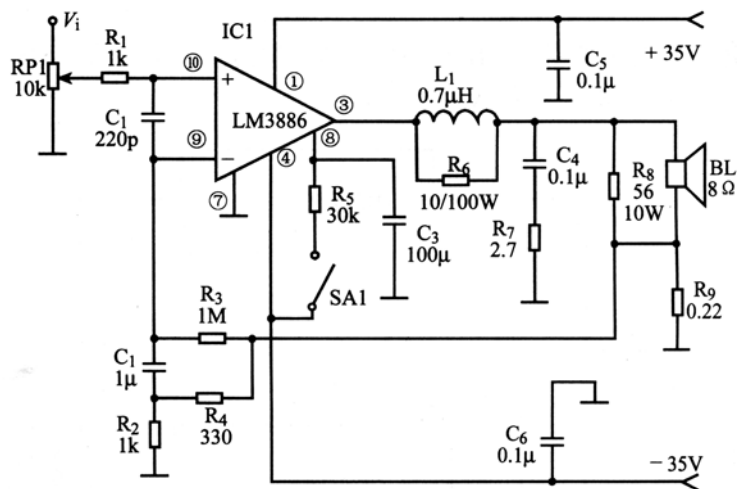


图 4-35 由 LM3886 构成的具有恒流驱动方式的功率放大电路

1. 识图指导

图 4-35 所示电路由功率放大器 LM3886 (IC1) 为主构成。BL 为 8Ω 扬声器; RP1 用于对音量进行调节。采用 $\pm 35\text{ V}$ 供电时, 不失真功率达 50 W 。

2. 信号流程

输入的音频信号 V_i 经 RP1 进行音量调节后加到 IC1 ⑩脚, 经功率放大后从 ③脚输出, 去推动扬声器 BL 发声。

3. 恒流驱动电路

IC1 的负反馈电压取自于与扬声器 BL 串联的 R_9 , 故扬声器的阻抗也是包含在负反馈电路中, 这对改善扬声器本身的失真是很有好处的。恒流驱动方式的输出特性类似于电子管, 它的输出功率会随负载阻抗的增大而变大, 信号频率的高端和低端都有所提升。

放大电路的电压增益 G 可由以下公式确定:

$$G = (R_8/R_9) \times (R_2+R_4)/R_2$$

反馈信号经 R_3 与 IC1 ⑨脚相连, 用于稳定 IC1 的零电位。

恒流驱动方式还具有负载短路保护作用功能, 当扬声器短路时, 电路变为全负反馈, 电压增益下降为 1, 输出电流也降低, 由此可防止 IC1 中的功率放大电路因过流而损坏。

4.4 BTL 功率放大器的识图与应用

上面已经说过, BTL 电路是在 OTL 和 OCL 的基础上发展起来的, 多是用两路 OTL 或 OCL 电路集成 (或组合) 后得到的。也就是说, BTL 功率放大电路通常既可由 2 块相同的功率放大电路组成, 也可由双声道功率放大电路组成。还有的就设计成 BTL 工作方式, 这种集成电路即为单片 BTL 功率放大电路。

4.4.1 BTL 功率放大器的识图与应用指导

BTL 功率放大器通常有两种形式, 一种是由两块单声道功率放大集成电路构成的电路, 另一种是单片 BTL 电路。

1. 由两块单声道功率放大集成电路构成的 BTL 电路

图 4-36 所示是采用两块功率放大集成电路构成的 BTL 电路。其中 VT1 构成分负载放大级, IC1 和 IC2 是两组功率放大电路。IC1 与 IC2 两块集成电路相同, 各引脚功能如下:

①脚-负反馈, ②脚-输入, ③与④脚-补偿, ⑤脚-接地, ⑥脚-输出, ⑦与⑧脚-电源。

图 4-36 所示电路的工作原理: 输入信号 V_i 经 C_1 耦合, 加到 VT1 基极, 放大后从集电极、发射极分别输出两个大小相等, 方向相反的信号, 经 C_2 、 C_3 耦合, 分别送到 IC1、IC2 的②脚, 经放大后输出。正半周时, 信号电流从 IC1 的⑥脚流出, 经负载 R_L 流入 IC2 的⑥脚; 负半周时, 信号电流从 IC2 的⑥脚流出, 经 R_L 流入 IC1 的⑥脚。

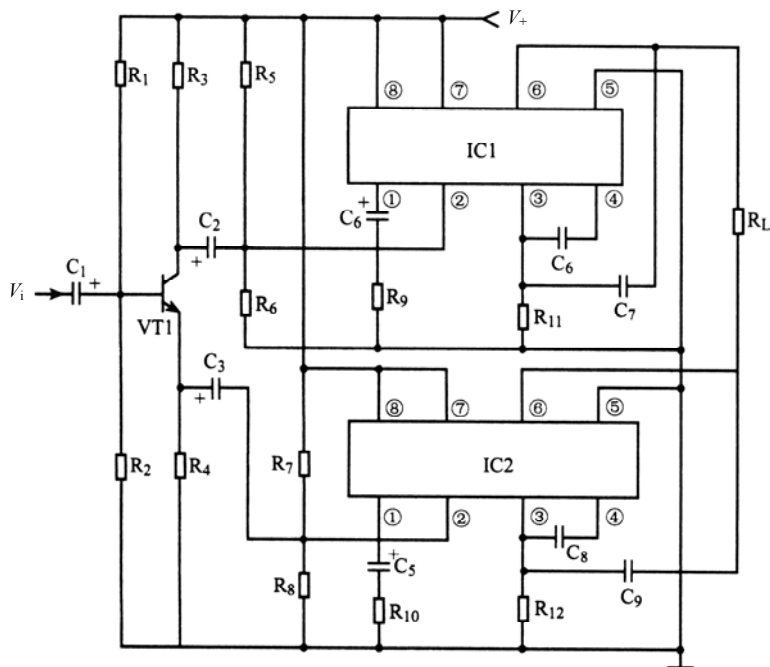


图 4-36 由两块功率放大集成电路构成的 BTL 电路

电路中, R_1 、 R_2 是 VT1 的分压式偏置电阻器。 R_5 和 R_6 对 V_+ 分压后经 IC1 的②脚为内电路提供直流电压。 C_4 和 R_9 是 IC1 的交流负反馈网络。 C_6 和 C_7 均为消振电容器。

2. 单片 BTL 电路

图 4-37 所示是由一块功率放大集成电路构成的单片 BTL 电路。其中, IC1 是一块具有两组功率放大的集成电路, 内电路设有简易的自倒相电路, 所以外电路中可以不设倒相级, 输入信号 V_i 经 C_2 耦合, 从③脚送入 IC1 内电路, 放大后的信号从⑥、⑧脚输出。

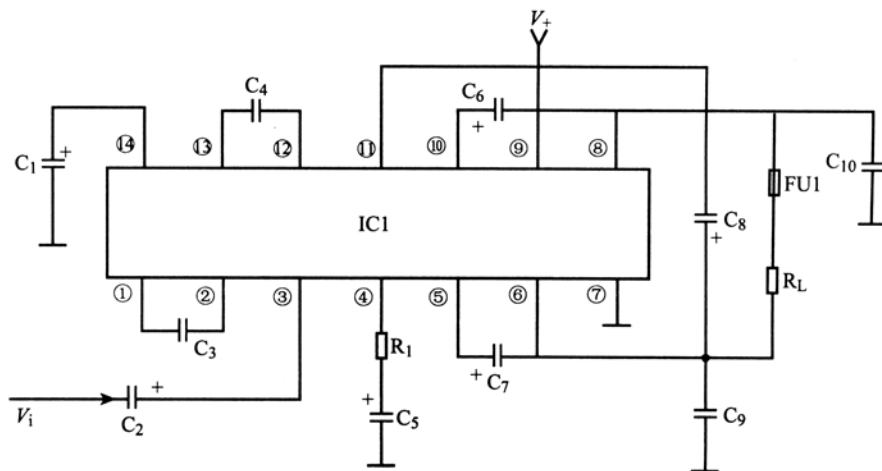


图 4-37 由一块功率放大集成电路构成的单片 BTL 电路

IC1 集成电路各引脚功能如下:

①与②脚—消振电容器端 1, ③脚—输入端, ④脚—负反馈端, ⑤脚—自举端 1, ⑥脚—输出端 1, ⑦脚—接地端, ⑧脚—输出端 2, ⑨脚—电源输入端, ⑩脚—自举端 2, ⑪脚—反相输入端, ⑫与⑬脚—消振电容器端 2, ⑭脚—旁路元件连接端。

图 4-37 所示电路的工作原理: 从 IC1③脚送入的信号, 经一路放大器放大后从⑥脚输出, 其输出信号一方面加到负载 R_L , 另一路经 C_8 耦合到另一路放大器的反相输入端⑪脚, ⑭脚是这一电路放大器的同相输入端; 由 C_1 交流接地, 经放大后从⑧脚输出, 所以两个放大器输出端⑥、⑧脚相位始终相反。

电路中, R_1 和 C_5 是一路放大器的交流负反馈网络。 C_6 、 C_7 是两组放大器的自举电容器。 C_3 、 C_4 是消振电容器。 C_9 和 C_{10} 具有改善音质, 防止高频自激和保护功率放大管的作用。FU1 是熔断器, 可保护负载 R_L 和两路放大器的功率放大管。

3. 需要说明的问题

① BTL 功率放大电路在较小的直流工作电压下, 也可以获得较大的输出功率。与 OTL、OCL 功率放大电路相比, 在相同的工作电压与负载阻抗下, 输出信号可增大一倍, 输出功率可增大 4 倍。

② BTL 电路的两输出端静态时直流电压相等, 这样在静态时无电流流过负载 R_L 。当采用两 OTL 功率放大电路时, 两输出端电压相等, 且等于电源电压的一半。当采用 OCL 功率放大电路时, 两输出端电压均为 0 V。

③ BTL 集成功率放大电路的各引脚识别方法基本上同 OTL 集成功率放大电路, 只是要注意有一个反相信号输入引脚 (如图 4-37 所示电路中的⑪脚), 它的特点是通过一个耦合网络接在一个输出引脚上。另外, 有的电路中负反馈引脚只有一个、多一个旁路引脚 (分别见图 4-37 所示电路中的④、⑭脚)。

④ BTL 电路中的负载为浮地, 故对检修带来了不便。当电路出故障时, 易损坏负载, 故要设保护电路。

4.4.2 单声道功率放大器的构成的 BTL 应用电路与识图

图 4-38 所示为由两块 TDA2003 集成电路组成的 BTL 典型应用电路。TDA2003 集成电路的引脚功能及特点在前面已作过介绍, 不重述。该电路的工作情况如下所述。

在图 4-38 所示电路中, 前级送来的音频信号由电容器 C_{25} 耦合→TDA2003 (IC1) ①脚, 经其内电路放大以后从④脚输出, 并分成两路: 一种经 C_{32} 加到扬声器的上端; 另一路经 R_{24} 、 R_{22} 、 R_{23} 电阻器分压得到与输入信号幅度相等的信号加至 IC2②脚, 经其内放大器放大后从④脚输出加到扬声器下端。这两路幅度相同、相位相反的信号在扬声器上叠加, 就得到一个完整的信号。

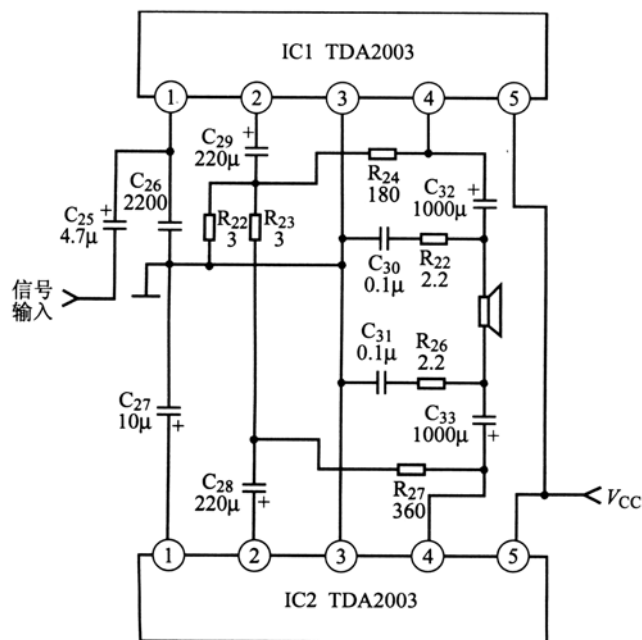


图 4-38 由两块 TDA2003 组成的 BTL 典型应用电路

4.4.3 双功率放大器的构成的 BTL 应用电路与识图

图 4-39 所示是由 TDA7050T 双功率放大器构成的 BTL 典型应用电路，该电路的外围元件只有一只音量电位器 RP1 和扬声器，电路结构相当简单。

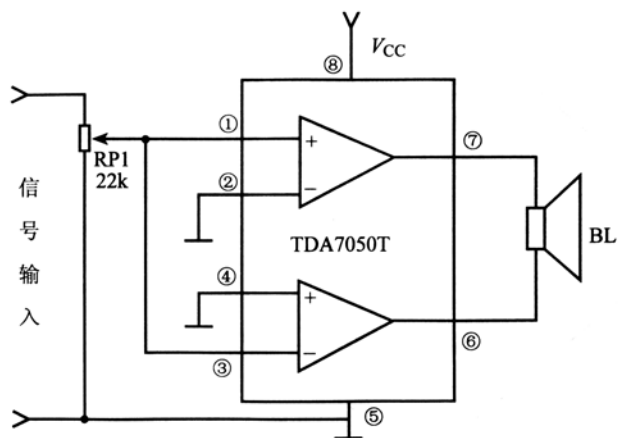


图 4-39 由 TDA7050T 组成的 BTL 功率放大电路

4.4.4 单片 BTL 功率放大器的应用电路与识图

TDA7056 是荷兰飞利浦公司推出的 3 W 单声道 BTL 音频功率放大集成电路。

1. TDA7056 内电路方框图及引脚功能

TDA7056 集成电路内电路方框图如图 4-40 所示。该集成电路采用 9 脚单列式封装结构，其集成电路的引脚功能及数据见表 4-9 所列。

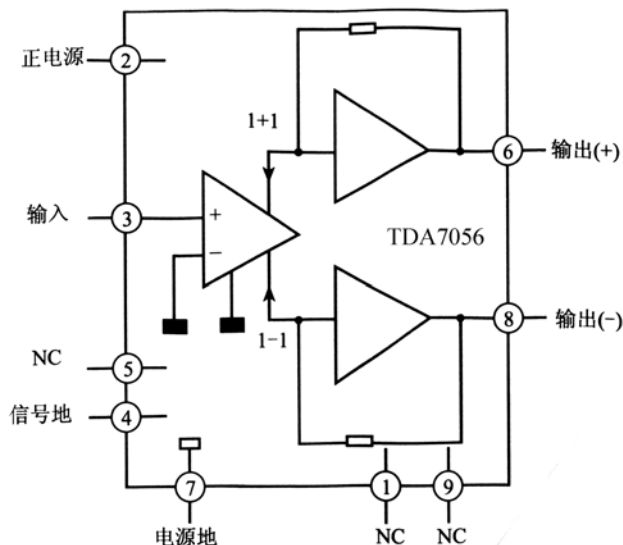


图 4-40 TDA7056 集成电路的内电路方框图

表 4-9 TDA7056 集成电路的引脚功能及数据

引脚号	符 号	功 能	电压 (V)		在路电阻值 (kΩ)	
			静态	动态	红笔测量 黑笔接地	黑笔测量 红笔接地
①	NC	空脚	0	0	∞	∞
②	V _{DD}	工作电源电压输入端	16	16	0.5	0.5
③	V _{IN}	BTL 音频功率放大电路信号输入端	2	2	7.5	33
④	GND1	接地线端 1	0	0	0	0
⑤	VC	音量调节控制信号输入端	0	0	7	9
⑥	OUT (+)	放大器正相信号输出端	8	8	6	7.5
⑦	GND2	接地线端 2	0	0	0	0
⑧	OUT (-)	放大器负相信号输出端	8	8	6	7
⑨	NC	空脚	0	0	∞	∞

2. TDA7056 典型应用电路

TDA7056 集成电路的典型应用电路如图 4-41 所示。

3. 工作原理

从 XPW01 插件进入的 R、L 声道信号，经 C_1 与 R_1 、 C_2 与 R_2 耦合后在 TA7558P②脚相加得到 R+L 信号，经该集成电路及外围元件组成的有源低通滤波后，得到的重低音信号 C_{20} 加到 TDA7056③脚，由该集成电路进行 BTL 功率放大后从其⑥、⑧脚输出，推动扬声器发出重低音。

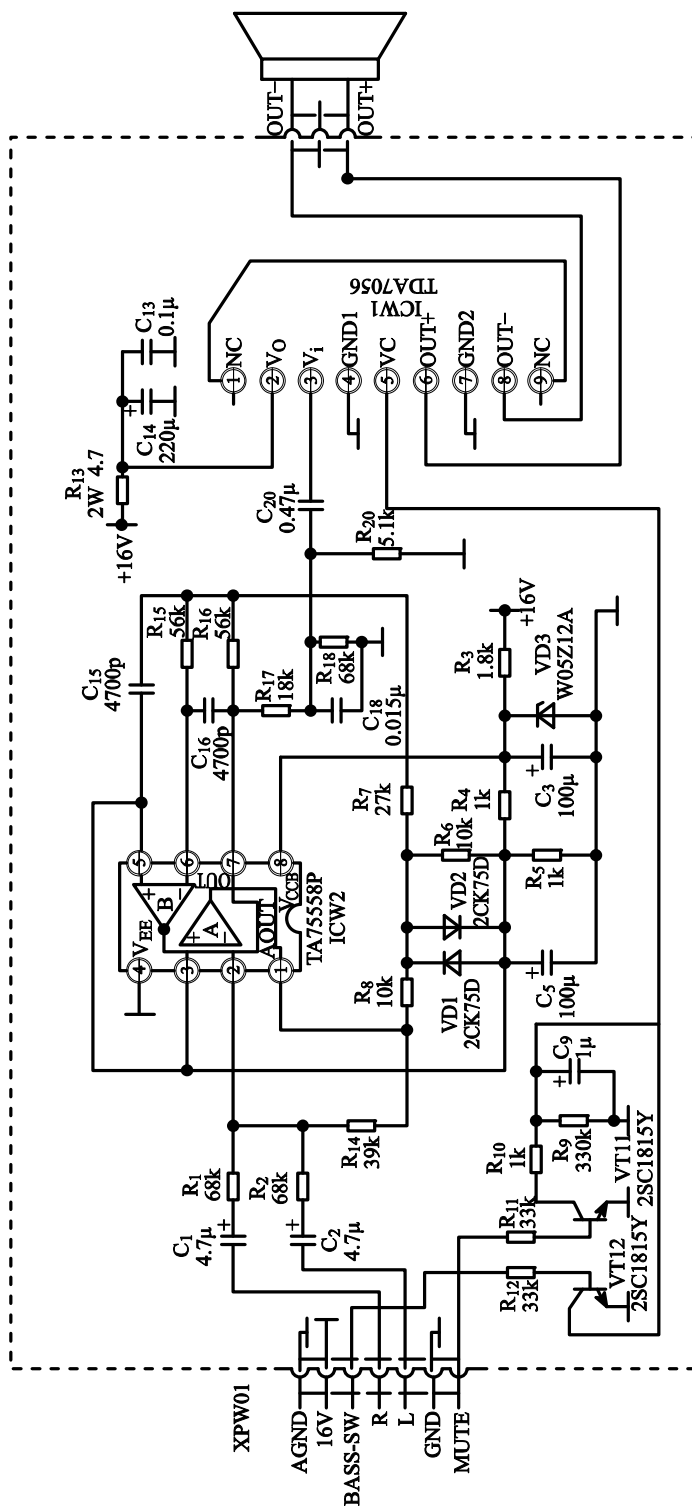


图 4-41 TDA7056 集成电路的典型应用电路

TDA7056 的⑤脚为电子音量控制端，受 VT12 管的控制，VT12 管又受重低音开关的控制。音量失控或无声均应先检查这部分电路。

4.4.5 单功率放大 TDA2030A 式 BTL 功率放大应用电路与识图

图 4-42 所示是由 TDA2030A 构成的串联叠加式 BTL 功率放大电路。该电路采用阻抗为 4Ω 的负载时，最大输出正弦有效功率超过 100 W，且无需调整即可工作，适用于音响系统作为功率放大电路。

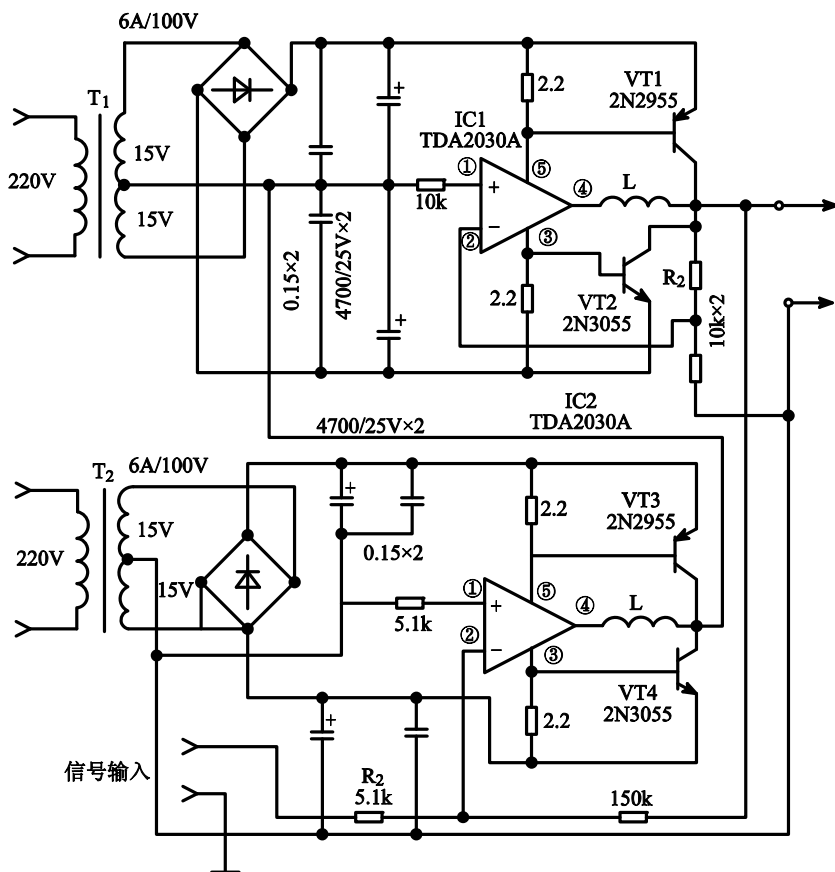


图 4-42 由 TDA2030A 构成的串联叠加式 BTL 功率放大电路

1. 识图指导

图 4-42 所示电路主要由 IC1、IC2、VT1~VT4、T₁、T₂、L 为核心构成。其中，IC1 与 IC2 的型号均为 TDA2030A，是一种单音频功率放大电路，该电路具有输出电流大，谐波失真和交越失真小等特点，电路内设有短路保护和过热保护，用以限制输出过载。

2. 工作原理

从图 4-42 所示电路中可看出，IC1 与 IC2 放大器的电源系统是各自独立的。IC1 的供电是由 T₁ 变压、桥式整流电路整流、电容器滤波后得到的直流电压提供的。IC2 的供电是

由 T_2 变压、桥式整流电路整流、电容器滤波后得到的直流电压提供的。

主放大器 IC2 的信号输出端经 L 电感器接到辅助放大器（由 IC1 及外围的有关元件组成）IC1 的地端，负载连接在 IC1 信号输出端④脚（经电感器 L）与 IC2 的地之间。

由 IC1、IC2 构成的组合放大器的外特性与单个放大器相同，其输出电压为 IC1、IC2 输出电压之和。适当选择 R_1 与 R_2 的值，可以使 IC1、IC2 两个放大器工作在各自的最佳状态（输出电流相同）。也可以使 $R_1=R_2$ ，由此就可使 IC1 与 IC2 这两个放大器分担的功率相同。

由以上分析可以看出，这种电路的连接方式可以将任何两个以上的放大器进行串联叠加，从而使输出功率更大。但由于组合后放大器的输出阻抗升高，最佳负载阻抗应作相应的调整。

4.4.6 单功率放大 TDA2030A 式另一种 BTL 功率放大应用电路与识图

图 4-43 所示是由功率放大 TDA2030A 构成的噪声极低的 BTL 放大电路。该电路很适合在功率较小的音响系统对音频信号进行放大。

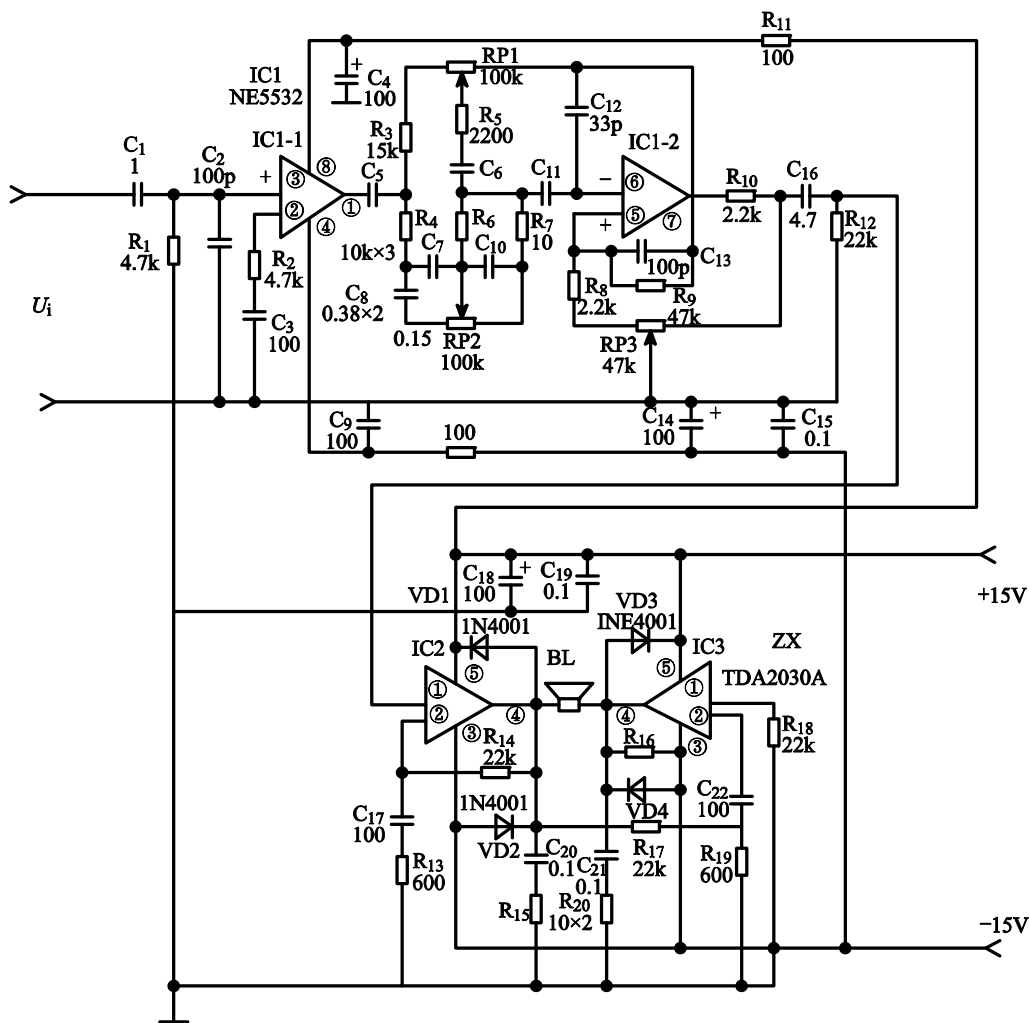


图 4-43 由 TDA2030A 构成的噪声极低的 BTL 放大电路

1. 识图指导

图 4-43 所示电路主要由 IC1~IC3、RP1~RP3 为核心构成。其中, IC1 的型号为 NE5532, 是一块双运算放大器; RP1 用于进行高音控制; RP2 用于进行低音控制; RP3 用于对音量进行控制; IC1-1 及外围元器件共同构成了同相放大电路; IC1-2 及外围元器件共同构成了音质、音量调整电路; IC2 与 IC3 的型号均为 TDA2030A, 是一块单声道音频功率放大电路, 在电路中 IC2 与 IC3 及外围的相关元器件共同构成了 BTL 音频功率放大电路。

2. 工作原理

音频信号 C_1 电容器耦合后加到 IC1-1 的同相信号输入端③脚, 经放大后的信号从①脚输出, 经电容器 C_5 耦合加到音调电路进行音质调整后, 再经 C_{11} 电容器加到音量控制电路中 IC1-2 运算放大器的反相信号输入端⑥脚, 经音量调节后的信号经 C_{16} 电容器耦合去后级电路。

图 4-43 所示电路中的 RP3 为音量调节电位器, 该电位器的中间滑接点与地线相连, 电位器 RP3 的另两端连接在 IC1-2 的同相信号输入端⑤脚与信号输出端⑦脚, 这种连接方式在旋转电位器 RP3 时可改变 IC1-2 的跨导来控制 IC1-2 的增益, 从而就可对音量进行调整。这种电路对音量进行调整时, 可以免除衰减式音量控制时引起的电路性能变化和噪声。

加到 IC2①脚上的音频信号经 IC2、IC3 组成的 BTL 功率放大电路放大后, 驱动扬声器 BL 发声。

制作提示:

图 4-43 所示电路所用的电阻器可用金属膜类的电阻器; 耦合及反馈电容器用钽电解电容器; 电源应采用双极性稳压电源供电, 最好采用对称度较好的伺服稳压电源; 电位器的连接线均应采用三芯屏蔽线, 输入引线应采用两芯屏蔽线。

4.4.7 BTL 功率放大器在超小型 FM 接收电路中的应用与识图

图 4-44 所示是由功率放大电路 TDA7050 构成的超小型 FM 接收电路。适用于制作超小型收音机、电子玩具及扩展为报警、遥控接收等实用器件。

1. 识图指导

图 4-44 所示电路主要由两块集成电路构成。IC1 是一块 AM/FM 接收集成电路, 这里仅用其 FM 接收电路。该集成电路内含: FM 高频放大、混频、本振、中频放大、鉴频, AM 高频放大、混频、本振、中频放大、检波, 辅助电路包括 AM/FM 切换控制, AGC 等电路。

IC2 (TDA7050) 是一块低电压小功率双声道功率放大电路, 在图 4-44 所示电路中连接成 BTL 工作方式。

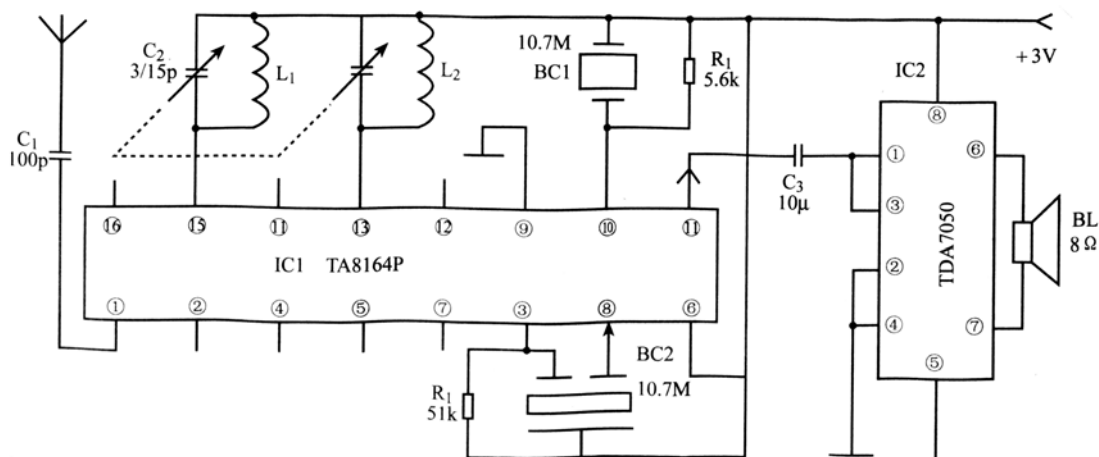


图 4-44 由 TDA7050 构成的超小型 FM 接收电路

2. 工作原理

由天线接收到的高频信号，经 C_1 耦合，进入 IC1 ①脚内的高频放大电路，放大后的信号送混频电路；IC1 的⑮脚外接高频选频电路，⑬脚外接本振回路元件，产生的本振信号在 IC1 内也送到混频电路，混频后的信号从③脚输出，经 BC2 选出 10.7MHz 的中频信号后从⑧脚又进入 IC1 内的中频放大电路，放大后的信号经鉴频，得到的音频信号从 IC1 ⑪脚输出，经功率放大后推动扬声器发声。

制作提示：

L_1 、 L_2 是一种直径 5 mm 的空心线圈，用线径 0.6 mm 漆包线密绕 6 匝而成的； L_1 与 L_2 线圈的间距，确定了电路所能覆盖的 FM 电台的范围。

C_2 是一种 3/15pF 的超小型双联可变电容器；BC1 为陶瓷鉴频器，BC2 为陶瓷滤波器，两者的色标相同。

习 题 四

1. 填空题

(1) OTL 是_____功率放大电路的意思。OCL 是_____功率放大电路的意思。BTL 是_____的意思。

(2) OTL 集成电路的输出端电压通常为电源电压的_____左右。OCL 集成电路的输出端电压通常为_____左右。

2. 选择题

- (1) 甲类功率放大器的静态工作点选择在晶体管的 ()
 (a) 靠近截止区 (b) 导通区
 (c) 放大区 (d) $I_{CQ} \approx 0$
- (2) 乙类功率放大器的静态工作点选择在晶体管的 ()
 (a) 靠近截止区 (b) 导通区
 (c) 放大区 (d) $I_{CQ} \approx 0$
- (3) 甲、乙类功率放大器的静态工作点选择在晶体管的 ()
 (a) 靠近截止区 (b) 导通区
 (c) 放大区 (d) $I_{CQ} \approx 0$
- (4) 在图 4-1 所示电路中, VT1 是工作在_____类放大状态 ()
 (a) 甲 (b) 乙 (c) 甲、乙 (d) 丙
- (5) 在图 4-1 所示电路中, 当输入信号为负半周时, VT2 处于_____状态, VT3 处于_____状态 ()
 (a) 导通、截止 (b) 导通、导通
 (c) 截止、截止 (d) 截止、导通
- (6) 复合管的导电极性取决于第_____只管, 输出功率取决于第_____只管 ()
 (a) 2、1 (b) 1、2 (c) 2、2 (d) 1、1
- (7) 在图 4-6 所示电路中, 当输入信号 V_i 为正半周时, V_i 信号使 VT1_____, VT2_____ ()
 (a) 截止、导通 (b) 导通、截止
 (c) 截止、截止 (d) 导通、导通
- (8) 在图 4-7 所示电路中, VT2 工作在_____类状态 ()
 (a) 甲 (b) 乙 (c) 甲、乙 (d) 丙
- (9) 在图 4-36 所示电路中, 当输入信号 V_i 为正半周时, 信号电流是从_____的⑥脚流_____经负载 R_L 流_____的⑥脚 ()
 (a) IC2, 出, 入 IC1 (b) IC1, 出, 入 IC2

3. 问答题

- (1) 功率放大电路有那几种主要类型？各有什么特点？
- (2) 在图 4-1 所示电路中， C_4 电容器是怎样将电位“举高”的？
- (3) 复合管有那几种形式？各有什么特点？
- (4) 怎样识别集成 OTL 电路的各引脚功能？OTL 集成电路主要引脚外接元件有什么特点？
- (5) OTL 与 OCL 两种电路在结构上有什么区别？各有什么特点？
- (6) 简述 OCL 功率放大电路的工作原理。集成 OCL 电路在结构上有什么特点？

- (7) 简述 BTL 功率放大电路的工作原理。集成 BTL 电路在结构上有什么特点？
- (8) 功率放大电路的任务是什么？它与电压放大电路主要有哪些不同？
- (9) 有一推挽功率放大器，其输入信号为一正弦波。若输入信号电压增大，则输出交流功率亦随之增大，于是电源供给的功率亦随之增大，这种说法是否对？为什么？
- (10) 甲类功率放大器在无信号输入时管耗最小，对不对？为什么？
- (11) 无变压器功率放大器（OTL 电路）中，有没有低频失真问题？为什么？
- (12) 在什么情况下需要晶体管并联运用？并联运用时怎样解决各晶体管的“均流”问题？

(13) 怎样分析甲类和乙类功率放大电路中管子所承受的最大反向电压值?

(14) 变压器耦合的功率放大器与 OTL、OCL 电路相比有哪些优缺点?

(15) 有人说收音机音量开得越大越费电, 你认为这种说法对吗? 为什么?



第5章 典型模拟直流稳压器的识图与应用快捷入门

电源是各种设备能量的来源，每个电子设备都有一个供给能量的电源电路。直流电源的性能直接影响整机的可靠性及其指标。

5.1 直流稳压电源识图与应用的基础知识

在电子电路中，直流电源电压产生波动，就会引起电路工作的不稳定，甚至使系统无法正常工作。因此，通常都需要电压稳定的直流电源供电。

5.1.1 直流稳压电源的组成

稳压电源的组成可用图 5-1 所示的方框图来表示，它是由电源变压器、整流、滤波和稳压电路等四部分组成的，各部分处理后的信号波形如图 5-1 所示。

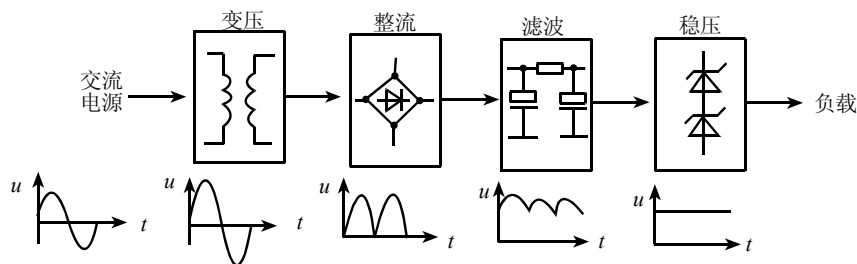


图 5-1 直流稳压电源电路组成方框图及信号波形

1. 电源变压器

电源变压器的作用是将电网上的交流电压（220 V 或 380 V）变成所需要的交流低压送后级电路。

2. 整流电路

整流电路的作用是利用具有单向导电性能的整流元件，将正负交替的正弦交流电压变成单方向的脉动电压。但这种单向脉动电压包含着很大的脉动成分，距离理想的直流电压还差很远。

3. 滤波电路

滤波电路由电容器、电感器等储能元件组成。它的作用是尽可能地将单向脉动电压中的脉动成分滤掉，使输出电压成为比较平滑的直流电压。但是，当电网电压或负载电流发生变化时，滤波电路输出的直流电压的幅值也将随之而变化，在要求比较高的电子设备中，

这种情况是不符合要求的。

4. 稳压电路

稳压电路的作用是采取某些措施，使输出的直流电压在电网电压或负载电流发生变化时保持稳定。

5.1.2 整流电路的应用与识图

利用二极管的单向导电特性将交流电压变换成单向脉动电压的过程称为整流。用来实现这一目的电路称为整流电路。

1. 半波整流电路

图 5-2 所示是单相半波整流电路。图中的 T 为电源变压器，由其将电网电压 u_1 (如 220 V, 50 Hz 的交流电) 变为需要的交流电压 u_2 ; VD1 为整流二极管; r_i 代表电网、变压器和 VD1 总的等效电阻值; R_L 为负载电阻器。其工作原理如下:

① 当 u_2 为正 (即图示极性) 半周时, VD1 导通, 有电流 i_D 流过 r_i 、VD1 和 R_L , 在 R_L 上产生电压降 u_o 。

② 在 u_2 为负半周期时, VD1 基本不导电。

由此可见, 在 R_L 两端得到的电压是单方向的, 整流输出的波形只有输入波形的一半故称为半波整流。

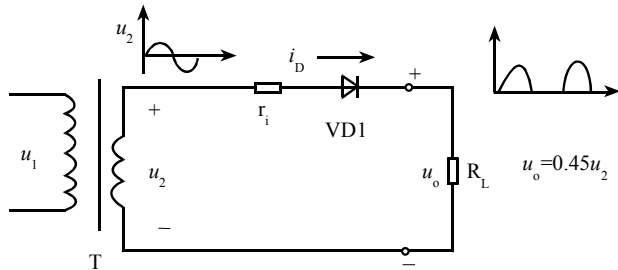


图 5-2 半波整流电路

2. 全波整流电路

全波整流电路如图 5-3 所示。其整流原理如下:

设交流电的正、负半周以 u_1 、 u_2 的电压极性均为上正下负 (因为是同方向绕的), 此时 VD1 导通, VD2 不导通, i_{D1} 流向 R_L ; 在负半周时, 电压极性与前相反 (如图 5-3 所示电路中带圆圈的正、负号所示), 可知 VD2 导电, VD1 不导电, i_{D2} 流向 R_L , 在负载上得到的是正、负半周都有整流输出的波形, 故称为全波整流。其整流输出电压平均值为半波整流的两倍。

3. 桥式整流电路

桥式整流电路如图 5-4 所示。其工作原理如下:

① 当 u_2 为正半周（上正下负）时，二极管 VD1 与 VD3 导通，负载电阻器 R_L 上得到一个与 u_2 相同的电压波形，是左正右负的。

② 当 u_2 为负半周（上负下正）时，二极管 VD2 与 VD4 导通，负载电阻器 R_L 上得到的波形仍与 u_2 相同，并且经过二极管引导仍为左正右负，负载上得到的是正、负半周都有的单向脉动电压波形。因此，桥式整流和全波整流的输出电压波形是相同的，如图 5-4 所示电路中所画的波形示意图。

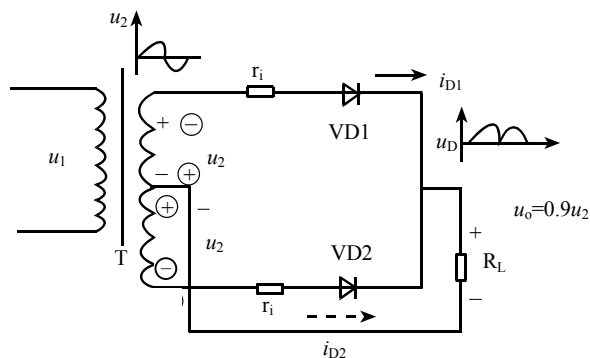


图 5-3 全波整流电路

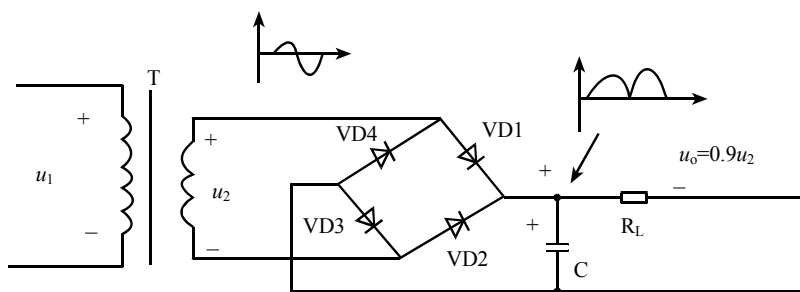


图 5-4 桥式整流电路

4. 倍压整流电路

用多个二极管和电容器可以获得较高的直流电压。图 5-5 所示是一个倍压整流电路。当 u_2 为负半周时 VD1 导通， C_1 被充电， C_1 上最高电压可接近 $1.4u_2$ ；当 u_2 为正半周时，VD2 导通， C_1 上的电压和 u_2 叠加在一起时对 C_2 进行充电，使 C_2 上的电压接近 $2.8u_2$ ，是 C_1 上电压的 2 倍，故称其为倍压整流电路。

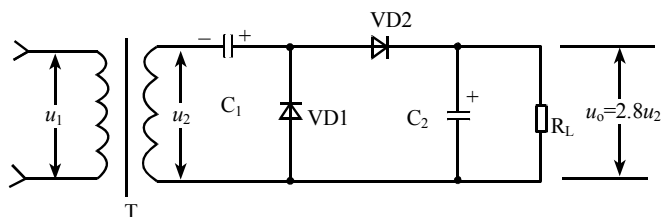


图 5-5 倍压整流电路

5.1.3 滤波电路的应用与识图

整流电路虽会将交流电转换为直流电，但负载上得到的是单方向上的电压，波动很大，需在整流电路之后加滤波电路，以减少输出电压中的交流分量。

1. 滤波电路常用元件

电容器和电感器是滤波电路常用元件。利用它们的储能特性，在二极管导电时储存一部分能量，然后再逐渐释放出来，从而得到比较平滑的波形。或者从另一个角度看，电容器和电感器对于交流成分和直流成分反映出来的阻抗不同，如果把它们合理地安排在电路中，可以达到降低交流成分、保留直流成分的目的，体现出滤波的作用。所以电容器和电感器是组成滤波电路的主要元件。

2. 电容器滤波电路（C 滤波器）

电容器滤波电路如图 5-6（a）所示，是用一只电容器连接在图 5-2 所示电路中负载电阻器 R_L 的位置上，即在整流电路的输出端并联一个容量很大的滤波电容器 C 。这种滤波电路简单，负载直流电压较高，纹波也较小，但输出特性较差，故适用于负载电压较高，负载变动不大的场合。

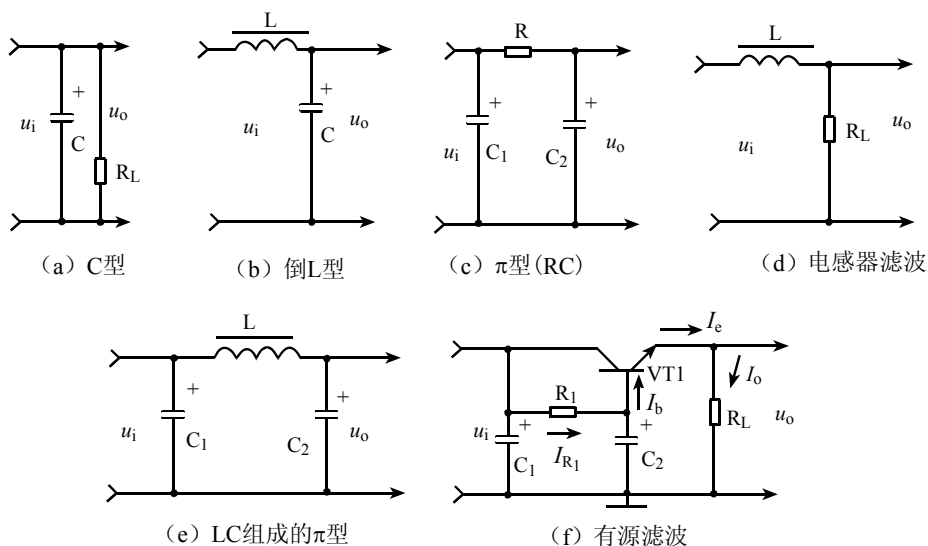


图 5-6 常见的滤波电路

3. 单 L（电感器）型滤波电路

在桥式整流电路和负载电阻器 R_L 之间串入一个电感器 L ，如图 5-6（d）所示，根据电磁惯性原理，当电感器中通过一变化的电流时，电感两端将产生一反电动势（自感电动势）来阻止电流的变化，因而它能起到平滑滤波的作用。当流过电感器中的电流增加时，反电动势会抑制电流的增加，同时有一部分能量存储在磁场中，使电流缓慢增加；反之，当电流减小时，电感器的反电动势又会阻止电流减小，电感器放出存储的能量，使电流减小的

过程变慢。因此利用电感器可以减小输出电压的纹波，从而得到比较平滑的直流。当忽略电感器 L 的电阻器时，负载上输出的平均电压和纯电阻器负载相同，即：

$$\overline{u_o} = 0.9u_i$$

4. 电感器电容器滤波电路（LC 滤波器）

为了减小负载电压中的纹波电压，在电感器后再接一只电容器与负载并联，如图 5-6（b）所示，就构成了 LC 滤波器（也称倒 L 型滤波电路）。这样整流输出电压经电感器滤波后，又经一电容器滤波，会使负载电阻器上得到一个更平滑的直流电压。此滤波电路适用于电流较大，要求输出电压脉动较小的场合，用于高频时更为适合。

5. LC 组成的 π 型滤波电路

如果要求输出电压的脉动更小，可以在 LC 滤波器的前面再并联一个滤波电容器 C_1 ，如图 5-6（e）所示，便构成了 π 型 LC 滤波器。它的滤波效果比 LC 滤波器更好，但整流二极管冲击电流较大。

6. π 型 RC 滤波电路

由于电感线圈的体积大而笨重，成本高，故有时用电阻器代替 π 型 LC 滤波器的电感线圈，这样就构成了 π 型 RC 滤波电路，如图 5-6（c）所示。电阻器对于交、直流电流都具有同样的降压作用，但是当其与电容器配合后，就使脉动电压的交流分量较多地降落在电阻器两端（因为电容器 C_2 的交流阻抗甚小），而较少地降落在负载上，故而实现了滤波作用。 R 愈大， C_2 愈大，滤波效果愈好。但 R 太大会使直流压降增加，所以这种滤波电路主要应用于负载电流较小而又要求输出电压脉动很小的场合。

7. 有源滤波电路

有源滤波也称为电子滤波，是由一只晶体三极管为主构成，如图 5-6（f）所示。图中主要滤波元件 R_1 、 C_2 接在 VT1 管的基极回路。它的特点是利用三极管的电流放大作用，把通过发射极的电流减小到原来的 $\frac{1}{(1+\beta)}$ 倍，即：

$$I_{R_1} = I_b = \frac{I_e}{1+\beta} = \frac{I_o}{1+\beta}$$

这样，由于在基极电路内加以滤波，加之偏流电阻器 R_1 较大，时间常数 $R_1 C_2$ 很大，使三极管的基级纹波减小很多。射极电位与基极电位基本相等（因为 VT1 基射极间电阻值 r_{be} 很小），因此输出电压的脉动成分也很小。

或者从负载电阻器 R_L 两端来看，基极回路中的滤波元件 R_1 、 C_2 折合到射极回路中，相当于 R_1 减小了 $(1+\beta)$ 倍，而 C_2 增大 $(1+\beta)$ 倍，因此，采用有源滤波后，为了达到同样的滤波效果，可以用较大的电阻器和较小的电容器，从而既可避免过大的直流电压损失，又可避免电容器体积过大的缺陷，故在小型电子设备中应用较广泛。

5.1.4 集成稳压电路的原理

以图 5-7 所示的三端稳压电源电路示意图为例。图中的 C_1 、 C_2 是输入、输出电容器。 V_{in} 为输入电压， V_O 是输出电压， R_L 是负载电阻器。三端稳压集成电路内部有控制电路、调整管 VT 及反馈电阻器 R_1 、 R_2 。无论是输入电压变动或负载电阻 R_L 的变动使 V_O 变动时，通过反馈电阻输入控制电路，来改变调整管的管压降，使 V_O 输出基本保持不变。

调整管工作在线性区（所以称为线性电源）。为了保证稳压，调整管 V_{CE} 要保证在 3 V 以上。

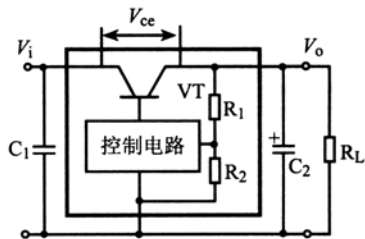


图 5-7 三端稳压电源电路示意图

5.1.5 集成线性稳压电路的类型

集成直流稳压电源根据其工作方式可分为线性稳压电源（以下简称线性电源）与开关稳压电源（以下简称开关电源）。这两种电源都是一种输出稳定电压的装置。无论输入电压有何变化或输出负载电流有何变化，其输出电压基本保持不变。

线性稳压电源根据其集成电路的引脚数可分为：三端式稳压电源，四端式稳压电源，五端式稳压电源，多端式稳压电源。其中，三端式稳压电源应用最广泛，它又分为三端固定稳压式和三端可调稳压式两类。这两类稳压器中又有正稳压器和负稳压器之分。

5.2 三端固定直流稳压器的识图与应用

线性三端固定直流稳压器根据其输出电压极性的不同，可以分为三端固定正直流电压输出稳压器和三端固定负直流电压输出稳压器。

5.2.1 三端固定直流稳压器的识图与应用指导

三端固定正电压输出稳压器有三个引脚，即电压输入端，电压输出端及公共接地端，输出的是正电源电压。

1. 三端固定正电压输出稳压器型号含义

进口和国产各电源生产厂家都把这一系列的稳压器命名为 78×× 系列。其含义：

① 78 后面的“××”是代表该稳压器输出的正电压的数值，以伏特为单位。例如：7805 是表示稳压输出为 +5 V；7812 则表示稳压输出为 12 V 等。

② 78 前面的一个或几个英文字母，如 μ A78××、HA78××、AN78××、W78××、BG78×× 等。前面的字母为前缀，是一般生产厂家或公司的代号。

③ 78×× 后面的一个或几个英文字母，称为后缀，如 L78××CV、AN78××C 等。后面的字母为后缀，用来表示输出电压容差和封装外壳的类型等。但各生产厂家对后缀所用字母定义不一样。

2. 三端固定正电压输出稳压器种类

78××系列稳压器按输出电压的不同可分为：7805、7806、7808、7809、7810、7812、7815、7818、7824。

78××系列按其最大输出电流又可分为：78L××、78M××与 78××三个分系列。其中，78L××系列最大输出电流为 100 mA；78M××系列最大输出电流为 500 mA；78××系列最大输出电流为 1.5 A。

3. 三端固定正电压输出稳压器封装方式

78××系列稳压器常见的外形如图 5-8 所示。

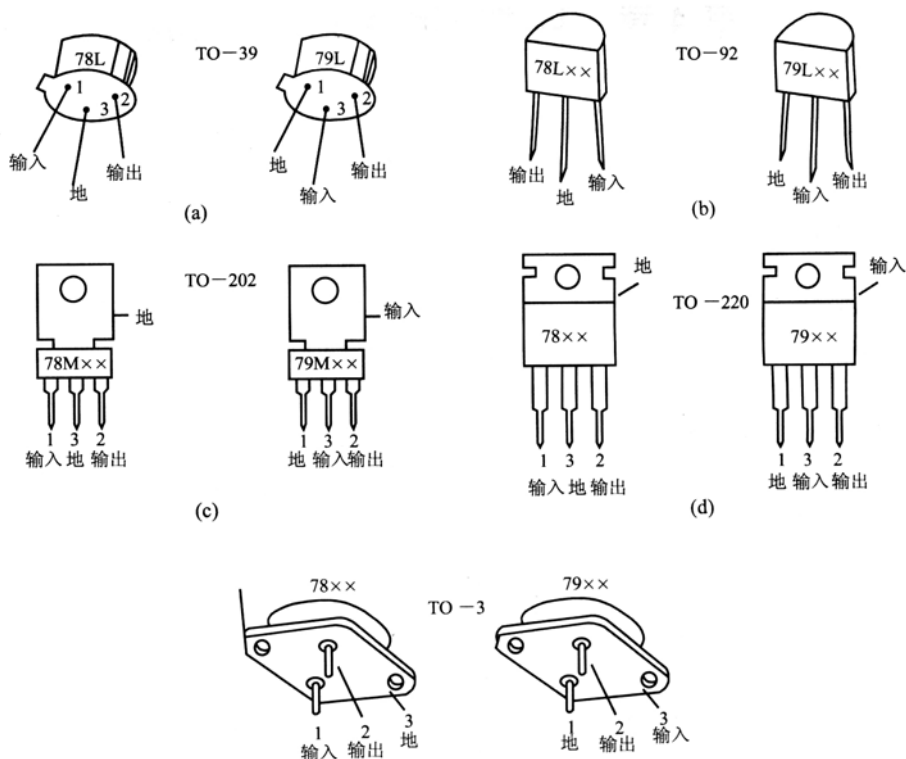


图 5-8 78××系列稳压器常见的外形

① 78L××系列稳压器封装形式。一般有金属壳 TO-39 封装，如图 5-8 (a) 所示；塑料 TO-92 封装，如图 5-8 (b) 所示两种方式。前者温度特性比后者好，最大功率损耗为 700mW，加装散热片后最大功率损耗可达 1.4 W；后者最大功率损耗也为 700mW，使用时可不用加散热片。故后者应用较广泛。

② 78M××系列稳压器封装形式。一般有塑料 TO-202 封装，如图 5-8 (c) 所示；塑料 TO-220 封装，如图 5-8 (d) 所示两种方式。两者不加散热片时最大功率损耗为 1 W，当加装上 200 mm×200 mm×4 mm 散热片以后，其最大功率损耗可达到 7.5 W。

③ 78××系列稳压器封装形式。一般有塑料 TO-220 封装，如图 5-8 (d) 所示；金

属壳 TO-3 封装, 如图 5-8 中下部所示。前者不加散热片时最大功率损耗为 2 W, 后者不加散热片时最大功率损耗约为 2.5 W。两者加装 200 mm×200 mm×4 mm 散热片后, 最大功率损耗可达 15 W 左右。由于塑封方式安装固定方便, 价格也比金属封装要低, 故应用较多。

4. 三端固定负电压输出稳压器

三端固定负电压输出稳压器也就是国内外生产厂家命名的 79×× 系列稳压集成电路。这类集成电路除了输出电压为负值及引脚排列不一样之外, 其命名方法、外形, 封装方式等与 78×× 系列稳压器者基本相同。

5.2.2 固定正电压稳压器在温漂极小的 DC 稳压电路中的应用与识图

图 5-9 所示是由固定正电压稳压器构成的温漂极小的 DC 稳压电路。由于该电路开机重复性好, 故可应用于精密测量仪器、计算机或自动控制系统中。

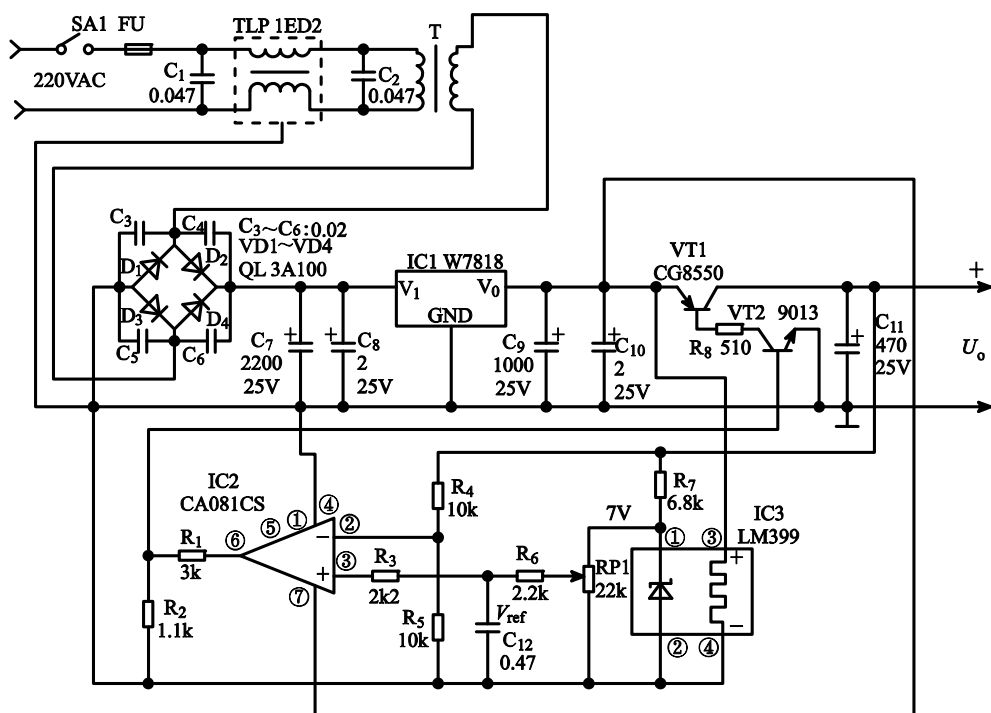


图 5-9 由固定正电压稳压器构成的温漂极小的 DC 稳压电路

1. 识图指导

图 5-9 所示电路主要由 IC1~IC3、VT1、VT2 为核心构成。其中, IC1 的型号为 W7818, 是一块稳压值为 18 V 的三端固定稳压集成电路; IC2 的型号为 CA081CS, 是一块单运算放大器; IC3 的型号为 LM399, 是一种内含齐纳二极管, 配有恒温电路的高精度基准电压源集成电路。RP1 为 WXDJ 型精密线绕的电位器, 用以调整输出电压的大小, 输出电压调整

范围为 1~15 V，输出电流 ≤ 500 mA，纹波电压 <0.2 mV。

2. 工作原理

图 5-9 所示电路主要由防干扰电路、前级稳压电路、调压电路 3 个单元部分组合而成。

(1) 防干扰电路

防干扰电路由 C_1 、 C_2 与电源滤波器 TLP 组成的 π 型低通滤波网络构成，用于滤除工频电源中的干扰信号防止其进入电源内。

(2) 前级稳压电路

前级稳压电路由 IC1 为主构成。IC1 的输入端连接着 C_7 ，输出端连接着 C_9 ，这两只电容器的容量值均较大，以使 IC1 输出的纹波降到最小， C_8 与 C_{10} 是两只小容量的钽电解电容器，连接在 IC1 的输入与输出端，以改善负载瞬态响应并抑制器件本身因外电路引起的高频自激现象。

(3) 调压电路

调压电路由 IC3 组成的精密电压源、IC2 组成的误差电压放大器及三极管 VT1、VT2 组成的放大缓冲调压电路等构成。

IC3 的温度稳定电路由 IC1 输出的 18 V 电源供电，稳压时提供的基准电压为 6.95 V，动态内阻值为 $0.5\ \Omega$ ，噪声电压小于 $0.7\ \mu\text{V}$ ，温度系数为 $0.0000003/^\circ\text{C}$ ，长期工作稳定性较佳。

IC2 及其外围元件共同构成了带负反馈的高增益直流差分放大器， R_4 与 R_5 组成了电压取样电路，取样电压加到 IC2 的②脚，IC2 的③脚为基准电压端，基准电压是 IC3 进行精密稳压、RP1 分压后得到的。这样，基准电压与比较电压进行比较后，产生的误差控制信号从 IC2⑥脚输出，经 R_1 、 R_2 分压后，控制 VT2、进而使 VT1 的管压降发生改变，以使输出的电压 U_o 稳定在设定值上。调整 RP1 可调电位器的电阻值，可以改变输出电压的高低，可根据实际需要设定。

5.2.3 固定正电压稳压器在上调式稳压电路中的应用与识图

图 5-10 所示是由三端固定稳压器 AN7800 构成的上调式稳压电路。主要由 IC1、VT1 为主构成。图 5-10 所示电路的输出电压可由下式表示：

$$U_{SC} = (U_A + U_{BE}) \cdot (1 + R_2/R_1)$$

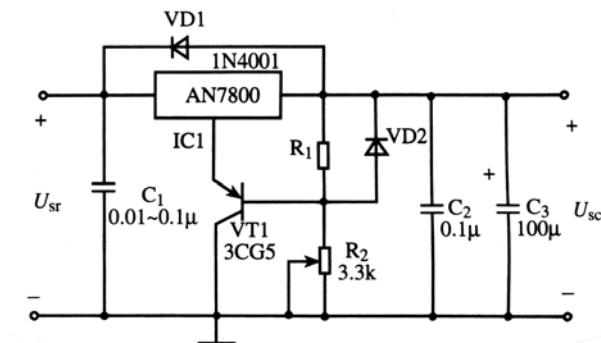


图 5-10 由 AN7800 构成的上调式稳压电路

式中, U_A ——集成电路额定输出电压。

U_{BE} ——三极管 VT1 发射结压降, 约 0.7 V。

由上式可看出, 改变 R_2 的电阻值, 可使输出电压改变。 U_{SC} 永远高于 U_A , 即最低电压为 $U_A + U_{BE}$, 如采用 W7805, 最低电压只能调到 5.7 V。电路中 VT1 选用 PNP 型硅功率管 (例如 3CG5 等)。VD1、VD2 用于输入、输出短路时保护 IC1。 C_1 、 C_2 用于消除高频寄生振荡。 R_1 、 R_2 额定功率应大于 1 W。

5.2.4 固定正电压稳压器在自零调压式稳压电路中的应用与识图

图 5-11 所示是由三端固定稳压器 AN7800 构成的自零调压式稳压电路。主要由 IC1、VT1 为主构成。

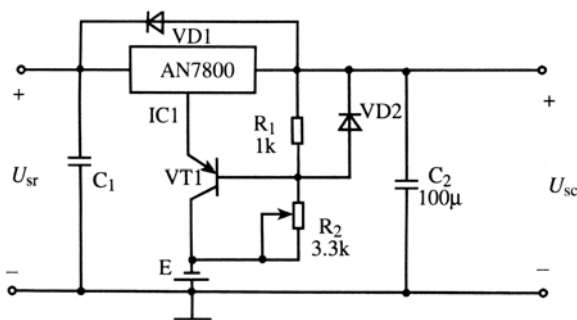


图 5-11 由 AN7800 构成的自零调压式稳压电路

图 5-11 所示电路与上调式电路比较, 只是多了一个外辅助电源 E。使得最低电压可调到 0 V。由于实际使用时需要用外辅助电源 E 很不方便, 故常用一只稳压二极管来代替这一辅助电源。

图 5-11 所示电路的工作原理和各元件的作用与上调式稳压电路相同。调节 R_2 , 可使 U_{SC} 电压从零伏调起。

5.2.5 固定正电压稳压器在 0~±18 V 连续可调电源电路中的应用与识图

图 5-12 所示是由三端固定稳压器 7805、7905 构成的 0~±18 V 连续可调电源电路。主要由 IC1、IC2、VT1、VT2、RP1 等组成。

图 5-12 所示电路的稳压部分工作原理较简单, 用于将 VD1~VD4 整流、 C_1 与 C_2 滤波后的正、负直流电压稳压后输出。RP1 是一种同轴可调电位器, 额定功率大于 1 W。两个 (VD5 与 VD6) 稳压管相当于两个辅助电源。 C_1 、 C_2 电容容量尽可能大些。 C_3 、 C_4 要靠近 IC1、IC2 输入端。 C_5 、 C_6 要靠近 IC1、IC2 输出端。 IC1 与 IC2 所加散热片不小于 200 mm × 200 mm × 4 mm (可用铝片)。

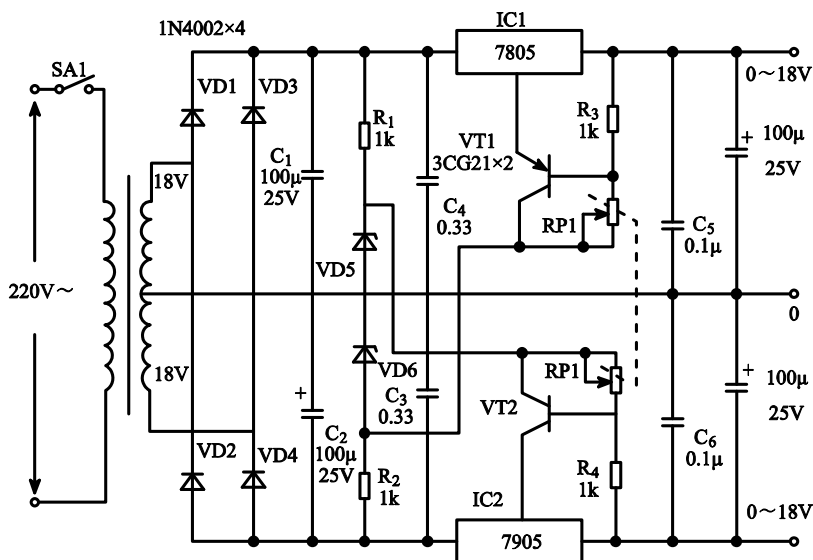


图 5-12 由三端固定稳压器构成的 0~±18 V 连续可调电源电路

5.2.6 固定正电压稳压器在扩流电源电路中的应用与识图

图 5-13 所示是由一只晶体三极管扩展 7800 系列三端固定稳压器输出电流的电路。

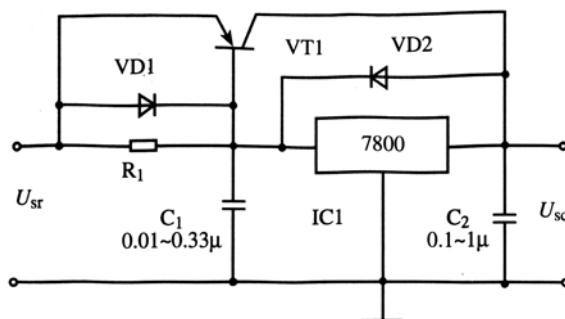


图 5-13 由一只晶体三极管扩展的 7800 系列三端稳压器输出电流电路

7800 系列集成电路的型号较多，如 7805、7806、7809、7812、7815、7820、7824 等。它们的输出电流太小（最大的为 1.5 A），如需扩展其输出电流，可按图 5-13 所示的连接方法，加接一只 PNP 型大功率晶体三极管，如 3AD30、3CD6 等型号。电路中的 R_1 的电阻值在 $0.8 \sim 3\Omega$ 之间，该电阻值的大小，决定了 VT1 管的工作状态。通常可调整 R_1 使 VT1 的发射极压降不超过 0.7 V 即可。扩展后的电流可达 2~5 A。

5.2.7 固定负电压稳压器在扩流电源电路中的应用与识图

图 5-14 所示是由一只晶体三极管扩展 7900 系列三端固定稳压器输出电流的电路。

电路中 R_1 的取值在 $0.8 \sim 3\Omega$ 之间，调整 R_1 的值，使 VT1 的发射极压降不超过 0.7 V。三极管 VD1 用于保护三极管 VT1，VD2 用于短路时保护 IC1，经扩展的电路输出电流可达

2~5 A, 决定于 VT1 的 I_{CM} 值。

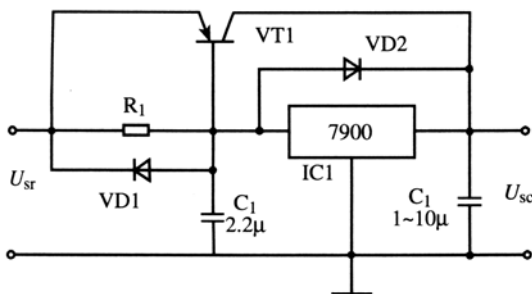


图 5-14 由一只晶体三极管扩展的 7900 系列三端稳压器输出电流电路

7900 也可以两块以上并联使用。并联时输入端和接地端直接并联, 输出端各接一只 $0.2 \sim 0.5 \Omega$ 1 W 的电阻器后再并联。输出、输入端要加上 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{F}$ 的电容器, 以消除高频寄生振荡。

5.3 三端可调输出电压直流稳压器的识图与应用

三端可调正电压输出稳压器有三上引脚, 即电压输入端 (V_i), 电压输出端 (V_o) 及电压调整端 (ADJ)。输出的是可调的正电源电压。

5.3.1 三端可调输出电压直流稳压器的识图与应用指导

三端可调式稳压器主要有以下 4 个特点。

- ① 它只需外接两个电阻器就可以在一定的范围内确定输出电压 (如 LM338K 能在 $1.2 \sim 32 \text{ V}$ 范围内提供小于或等于 5 A 的输出电流)。
- ② 它的各项性能指标都优于三端固定式集成稳压器。
- ③ 具有集成电路独具的全过载保护功能, 包括限流保护, 热过载保护和安全区域的保护。即使调节端悬空, 所有的保护仍有效。
- ④ 它们均是按标准的晶体三极管形式封装的, 其安装和使用均较方便。

1. 三端可调输出电压直流稳压器命名与封装

三端可调电压输出稳压器也有正电压输出和负电压输出两大类。这类稳压器的命名方法无明显规律, 封装也各异。

2. 三端可调输出电压直流稳压器主要电参数

三端可调输出稳压器品种繁多, 通常用量较大的各个系列稳压器的主要电参数如下:

LM137/LM237/LM337、LM117/LM217/LM317、LM138/LM238/LM338 系列的主要参数见表 5-1~表 5-3 所列, 表中管脚排列一栏中的图形如图 5-15 所示的三端可调稳压器图形。各个系列稳压器型号后缀字母的含义如下:

K—表示按 TO—3 形式封装。
 T—表示按 TO—220 形式封装。
 MP—表示按 TO—202 形式封装。
 H—表示按 TO—39 形式封装。

表 5-1 三端可调负集成稳压器 LM137/237/337 系列的主要参数

特 性	LM137	LM237	LM337
输入最大电压 (V)	-40	-40	-40
输出电压 (V)	-1.2~-37	-1.2~-37	-1.2~-37
输出最大电流 (A)	1.5	1.5	1.5
电压调整率 (%/V)	0.01	0.01	0.01
电流调整率 (%)	0.3	0.3	0.3
最小负载电路 (mA)	2.5	2.5	2.5
调整端电流 (μ A)	65	65	65
基准电压 (V)	-1.25	-1.25	-1.25
工作温度 ($^{\circ}$ C)	-55~150	-25~150	0~125
管脚排列	如图 5-15 (a) 所示		

表 5-2 三端可调整集成稳压器 LM117/217/317 系列的主要参数

特 性	LM117	LM217	LM317
输入最大电压 (V)	40	40	40
输出电压 (V)	1.2~37	1.2~37	1.2~37
输出最大电流 (A)	1.5	1.5	1.5
电压调整率 (%/V)	0.01	0.01	0.01
电流调整率 (%)	0.1	0.1	0.1
最小负载电路 (mA)	3.5	3.5	3.5
调整端电流 (μ A)	50	50	50
基准电压 (V)	1.25	1.25	1.25
工作温度 ($^{\circ}$ C)	-55~150	-25~150	0~125
管脚排列	如图 5-15 (b) 所示		

表 5-3 三端可调整集成稳压器 LM138/238/338 系列的主要参数

特性	LM138	LM238	LM338
输入最大电压 (V)	40	40	40
输出电压 (V)	1.2~32	1.2~32	1.2~32
输出最大电流 (A)	5	5	5
电压调整率 (%/V)	0.005	0.005	0.005
电流调整率 (%)	0.1	0.1	0.1
最小负载电路 (mA)	3.5	3.5	3.5
调整端电流 (μ A)	45	45	45
基准电压 (V)	1.24	1.24	1.24
工作温度 ($^{\circ}$ C)	-55~150	-25~150	0~125
管脚排列	如图 5-15 (b) 所示		

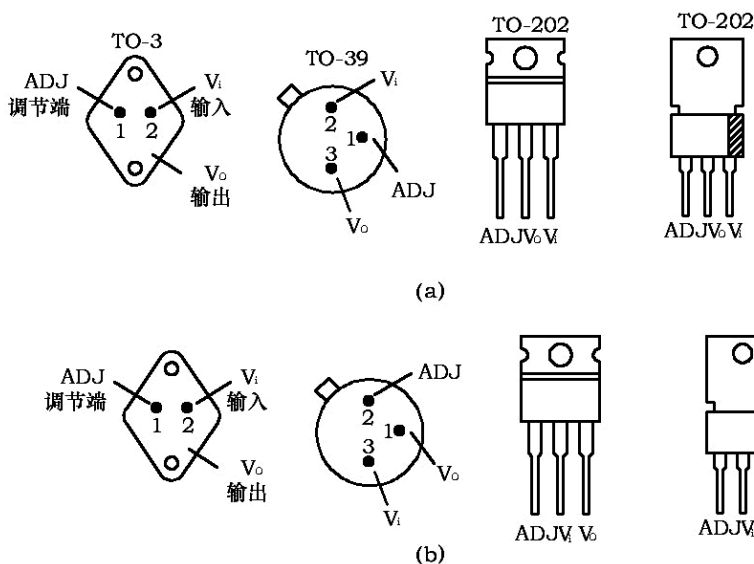


图 5-15 三端可调稳压器管脚图形

LM117、LM317 系列的封装形式和功率容量关系见表 5-4 所列。工作温度为 $-55\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的集成电路属军用品（如 LM117）；工作温度为 $-25\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的集成电路属工业用品（如 LM217）；工作温度为 $0\sim 125^{\circ}\text{C}$ 的集成电路属民用品（如 LM317）。

表 5-4 LM117、LM317 系列的封装形式和功率容量关系

器件	封装形式	允许功率损耗	设计的负载电流	器件	封装形式	允许功率损耗	设计的负载电流
LM117K LM317K	TO-3	20 W	1.5 A	LM117MF LM317MF	TO-202	7.5 W	0.5 A
LM117T LM317T	TO-220	15 W	1.5 A	LM117H LM317H	TO-39	2 W	0.5 A

3. 内部结构特点

图 5-16 所示是 LM317 的内电路方框图。从图中可看出，LM317 稳压器内运算放大器与偏置电路的接法，使所有的静态工作电流均流到稳压器的输出端，故其不需要单独设置一个接地端。只要满足稳压器的输入与输出的电压差在 $3\sim 40\text{ V}$ 之间，就能保证稳压器的正常工作。

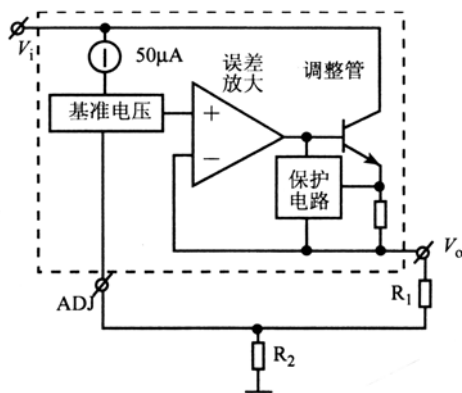


图 5-16 LM317 的内电路方框图

5.3.2 可调直流稳压器在恒流源电路中的应用与识图

图 5-17 所示是由三端可调稳压器 LM317 构成的恒流源电路。

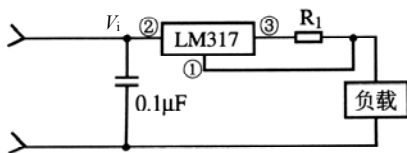


图 5-17 由 LM317 构成的恒流源电路

图 5-17 所示是一种负载可以接地的可调恒流源电路。恒流值可由下式输出：

$$I_o = V_{\text{REF}}/R_1 + I_{\text{ADJ}}$$

式中， V_{REF} ——基准电压。

I_{ADJ} ——调整端电流。

当 R_1 从 $120\ \Omega$ 到 $0.8\ \Omega$ 可调时，恒流源将从 $10\ \text{mA}$ 到 $1.5\ \text{A}$ 可调。由于基准电压只有 $1.25\ \text{V}$ ，LM317 的最小电压差为 $3\ \text{V}$ ，所以输入电压从 $4.25\ \text{V}$ 起恒流源就能正常工作了。当 R_1 为 $24\ \Omega$ 时，图 5-17 所示电路就可以组成一个 $50\ \text{mA}$ 的电池恒流充电电路。

5.3.3 可调直流稳压器在 1.5~12 V 电源变换电路中的应用与识图

图 5-18 所示是由三端可调稳压器 LM317 构成的 1.5~12 V 电源变换电路。

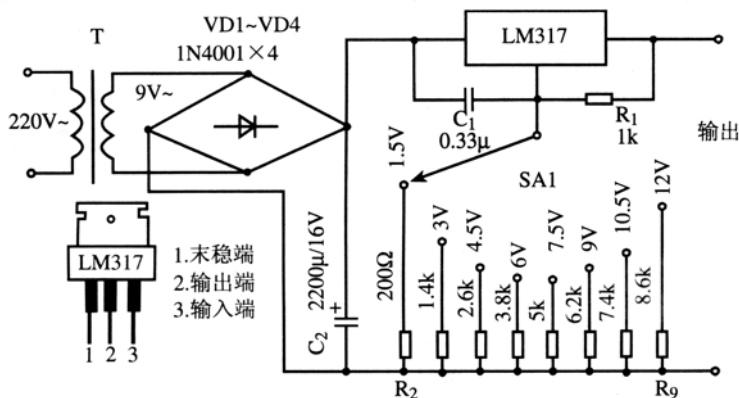


图 5-18 由 LM317 构成的 1.5~12 V 电源变换电路

220 V 交流电压经电源变压器 T 降压，从其次级输出 9 V 交流低压，该电压经 VD1~VD4 桥式整流、 C_2 滤波，得到的直流电压加到 LM317 的输入端，经其稳压后输出。LM317 输出电压的大小，由单刀多掷开关 SA1 通过转换 LM317 公共端与接地间的电阻值来确定，电压越高，该接地电阻值越大。

5.3.4 可调直流稳压器在 1.25 V 稳压电路中的应用与识图

图 5-19 所示是由三端可调式稳压器 LM317 构成的 1.25 V 稳压电路。

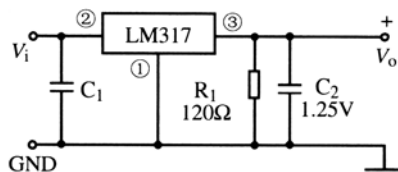


图 5-19 由 LM317 构成的 1.25 V 稳压电路

图 5-19 所示电路中 R_1 的作用是保证稳压器空载时也能正常工作。因为稳压器所有的偏置电流及调整管的漏电流都要被负载所吸收。所以，流过 R_1 电阻器的电流至少要大于最小负载电流 3.5 mA 左右，一般约为 5~10 mA 较好。因此， R_1 的电阻值可在 120~240Ω 范围内选择。电容器 C_1 、 C_2 均为旁路作用。

5.3.5 可调直流稳压器在电池自动充电电路中的应用与识图

图 5-20 所示是由可调直流稳压器 LM317 构成的电池自动充电电路。具有电池充满后保持容量，且可从恒流充电自动切换到恒压充电。

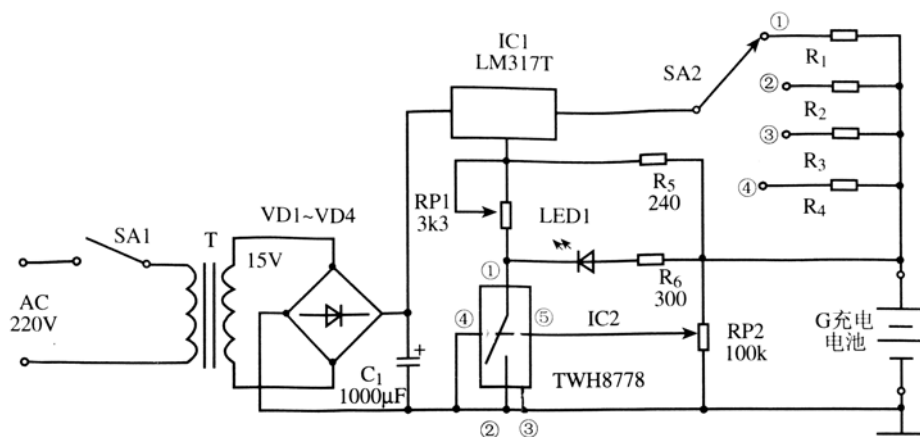


图 5-20 由 LM317 构成的电池自动充电电路

1. 识图指导

图 5-20 所示电路是由三端可调稳压器 IC1（LM317）、电子开关 IC1（TWH8778）等组成。SA2 为单刀多掷波段开关；G 为充电电池。

2. 工作原理

图 5-20 所示电路的工作原理可从以下 4 个方面来进行分析与说明。

（1）充电工作过程

220 V 交流电压加至电源变压器 T 的初级，经变压后从次级输出 15 V 的交流低压，该电压经 VD1~VD4 桥式整流、 C_1 电容器滤波，得到的约 20 V 左右的直流电压，经三端可调稳压器 IC1 稳压后，由 SA2 波段开关及限流电阻器为电池 G 进行充电。

(2) 充电电压检测控制电路

充电电压检测控制电路由 IC2、RP2 为主构成。RP2 用于检测电池的电压，并分压后控制 IC2 的工作状态：

在刚开始充电时，由于电池电压较低，RP2 分压后的电压不足以使 IC2 导通，故电路处于恒流充电状态，恒流电流值 I_0 为：

$$I_0 = 12.5 / R_X$$

式中 R_X —— $R_1 \sim R_4$ 电阻器中的某一电阻器的电阻值。

随着电池的充电，一旦 G 两端电压上升到设定值时，RP2 分压后的电压使 IC2 导通，等效于将 RP1 可调电阻器下端接地，由此一方面使 LED1 发光二极管导通发光，以示进入恒压充电状态；另一方面电路自动转换为恒压充电状态。

(3) 充电电流切换电路

充电电流切换电路由 SA2、 $R_1 \sim R_4$ 构成。通过波段的转换来选择充电电流的大小。 $R_1 \sim R_4$ 的电阻值可根据需要的电流确定，但其功率 P 必须足够，可根据以下公式计算得到：

$$P = I^2 R_X$$

式中 I ——流过电阻器中的电流。

(4) 充电电压的设定

充电电压的设定由 RP1 设定，可用电压表连接在充电电压输出端，调节 RP1，然后在刻度盘上分别对应地刻上相应的电压值，如：3 V，4.5 V，6 V，7.5 V，9 V，…，12 V。

RP2 用来调节电池在某一电压时转变为恒压充电状态。

5.3.6 可调直流稳压器在 1.25~30 V 稳压电路中的应用与识图

图 5-21 所示是由三端可调稳压器 LM317K 构成的 1.25~30 V 稳压电路。

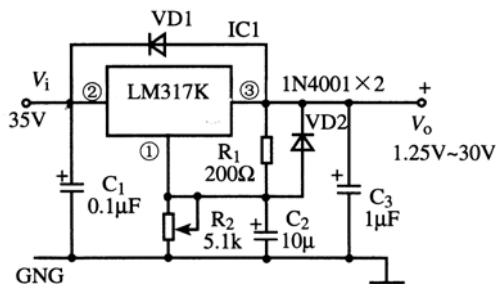


图 5-21 由 LM317K 构成的 1.25~30 V 稳压电路

1. 工作原理

在图 5-21 所示电路中， R_1 在取值时，使流过其上的电流为 5 mA，加上调节端的电流 I_{ADJ} （约 50 μ A）共同流过 R_2 ，使调节端的电压升高。这样，输出电压可由下式表示：

$$V_o = 1.25 (1 + R_2 / R_1) + 50 \mu A \cdot R_2$$

改变 R_2 的电阻值，就可方便地连续对输出电压进行调整。

LM317K 输出端外接的 $1\ \mu\text{F}$ 钽电容器（或 $25\ \mu\text{F}$ 的钽电解电容器） C_3 ，可以确保电路稳定地工作，同时也改善了电路的瞬态响应。

调节电位器对地所接的旁路电容器 C_2 ，用于提高纹波抑制比，当 R_2 较大时，效果尤其显著。当 C_2 为 $10\ \mu\text{F}$ 时，在稳压器的整个输出电压的范围内，可达 80dB 的纹波抑制比，这一点在固定式三端固定稳压器中是难以达到的。

2. 制作提示

如果稳压器离输入滤波电容器比较远，就需要在稳压器紧靠输入端处接上一只 $0.1\ \mu\text{F}$ 的旁路电容器 C_1 。当稳压器的输入、输出端接有大的电解电容器时，还需加入保护二极管 VD_1 、 VD_2 ，用于防止输入端及输出端对地短路时损坏稳压器内部电路。LM317K 的最大输出电流为 $1.5\ \text{A}$ ，最大功率损耗为 $20\ \text{W}$ 。如其输入与输出的电压差较大时，由于内部保护电路的作用，将会使其输出电流能力下降。

5.3.7 可调直流稳压器在恒流、恒压充电电路中的应用与识图

图 5-22 所示是由稳压器 LM317T 构成的恒流、恒压充电电路。充电开始时恒流充电，当电池电压升到某一值时变为恒压充电。

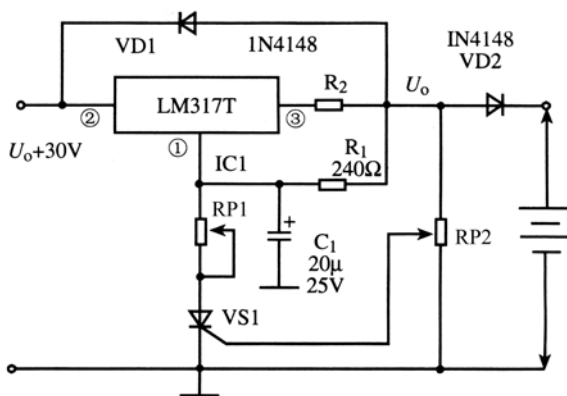


图 5-22 由 LM317T 构成的恒流、恒压充电电路

图 5-22 所示电路的工作原理可从以下两个方面来进行分析说明

1. 刚开始充电

单向可控硅 VS_1 连接在 LM317T 的①脚（通过 RP_1 ）， VS_1 的触发极连接在 RP_2 滑接点上。刚开始充电时由于电池电压较低，不能使 VS_1 导通， IC_1 接成恒流充电方式，充电电流为：

$$I=1.25/R_2$$

2. 充电到一定值时

随着充电电压的逐渐上升，当被充电电池的电压上升到某一值时， RP_2 分压后的电压触

发单向可控硅 VS1 导通, 进而使 LM317T 的①脚通过 RP1 与 VS1 接地, 此时电路连接成了恒流充电方式, 充电电压为:

$$U=1.25[1+(R_{RP1}/R_1)-0.7]$$

制作提示:

① 由于 VD2 二极管允许流过的电流有限, 当充电电压较大时, 可在 VD2 的两端并联相应数量的二极管。

② R_2 电阻器的功率必须足够, 其承受的功率 P 必须满足以下条件:

$$P \geq 1.6/R_2$$

R_2 的电阻值确定了恒流充电的电流大小, 应根据实际需要确定其电阻值。

5.3.8 可调直流稳压器在 0~30 V 可调电源电路中的应用与识图

图 5-23 所示是由三端可调稳压器 LM317K 构成的 0~30 V 连续可调电源电路。

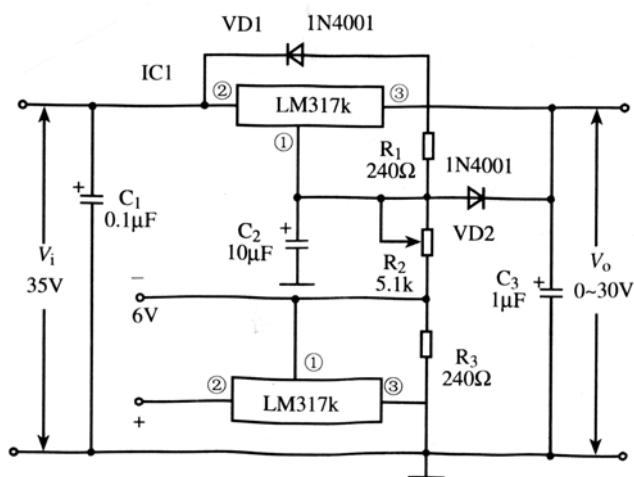


图 5-23 由 LM317K 构成的 0~30 V 连续可调电源电路

LM317 的最低稳定电压为 1.25 V, 故其只能从 1.25 V 起调, 如果 LM317 的控制端不接地, 而是接到一个 -1.25 V 电源上时, 就可实现从 0 V 开始调整的电源电路。图 5-23 所示电路正是基于这一原理而实现从 0 V 开始起调的。它的 -1.25 V 的基准电压是由另一只 LM317T 和独立的负辅助电源产生的, 负辅助电源与主回路没有公共地线。

5.3.9 可调直流稳压器在并联式稳压电路中的应用与识图

图 5-24 所示是由稳压器 LM317T 构成的并联式稳压电路。适用于 Hi-Fi 电路作为供电电路。

1. 识图指导

图 5-24 所示电路是由可调稳压器 LM317T (IC1、IC2) 运算放大器 LF351H (IC3、IC4)、

VT1~VT4 等组成的。

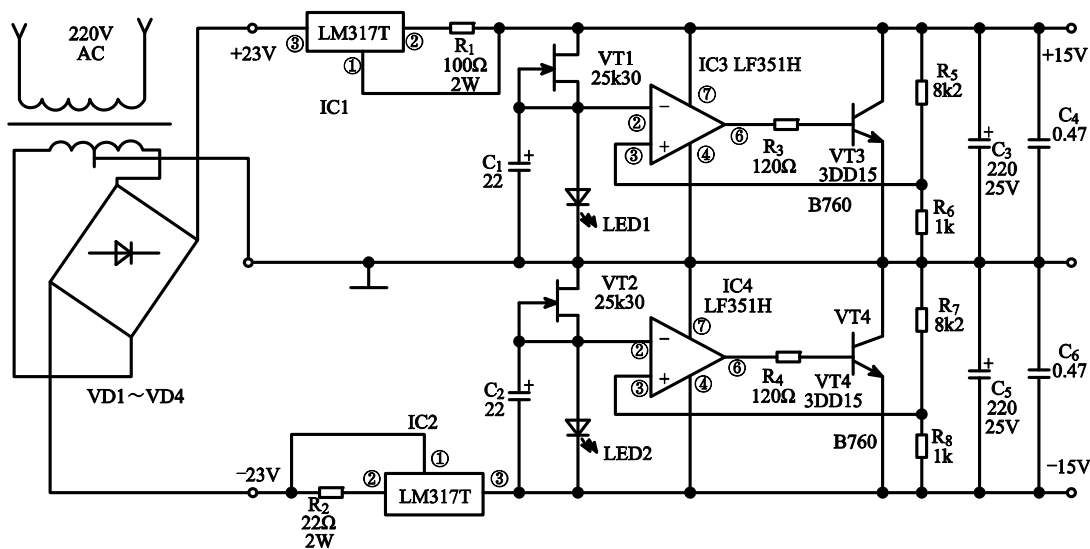


图 5-24 由 LM317T 构成的并联式稳压电路

2. 工作原理

IC1、IC2 与 R_1 、 R_2 构成了正、负恒流值为 560 mA 的恒流电路，为后级电路提供总的供电电流。

IC3 与 IC4 均连接成比较器方式。其中，IC3 反相输入端②脚上基准电压是发光二极管 LED1 导通后的压降。IC1 输出的电压经由结型场效应管 VT1 输出后使 LED1 导通发光。这样，流过发光二极管 LED1 的恒定电流，就会在其两端得到一个噪声很低，且稳定的基准电压。

IC4 反相输入端②脚上的基准电压则是发光二极管 LED2 导通后的压降，与上相同。

IC3 与 IC4 同相输入端的比较电压取自输出电压，经 R_5 与 R_6 、 R_7 与 R_8 分压后得到的。该比较电压与上述的基准电压进行比较，进而从其⑥脚输出控制信号去控制分流管 VT3、VT4 的电流，从而使输出的电压稳定在要求值范围内。

制作提示：

VT1 与 VT2 是一种配对管，其恒定电流约在 3~6 mA 范围内。VT3、VT4 应加足够大的散热片。

5.3.10 可调直流稳压器在可逆多挡稳压电源电路中的应用与识图

图 5-25 所示是由可调直流稳压器构成的可逆自动调整多挡稳压电源电路。由于可以可逆调整，故使用十分方便。

1. 识图指导

图 5-25 所示电路主要是由 IC1~IC4、KS1~KS4、R₁~R₄ 等构成的。其中, IC1(CD4093) 是一块 2 输入端四与非史密特触发器; IC2(CD40193) 是一块四位二进制可预置、可逆计数器(双时钟); IC3(LM324) 是一块 4 运算放大器; IC4(LM317) 是一块三端可调式稳压集成电路。KS1~KS4 是 4 个继电器。

2. 工作原理

IC2 的 CPU(④脚) 为加计数端, 加计数时须使减计数端 CPD(⑤脚) 接高电平; 减计数时应将加计数端 CPU 接高电平。这种联锁是由 IC1 的两个门 IC1-1、IC1-2 来实现的。平时 IC1-1、IC1-2 均输出高电平, IC1-3 产生的低频脉冲信号送不到 IC2 中。

通电以后, 高电平使 IC2 清零, 输出为低电平, 四个继电器的常闭触点均闭合, 使 IC4 输出最低挡电压。

(1) 升高电压

当要升高电压时, 按下 SA1, 门 IC1-1 导通, 脉冲信号得以送入 IC2 加计数端 CPU(④脚), 此时门 IC1-2 仍输出高电平, 满足 IC2 工作条件, 于是 IC2 做加计数, 使 KS1~KS4 共 4 个继电器逐个按二进制数据关系接通, 也就是使四个常闭触点逐个断开, 输出电压得以逐挡升高。当松开 SA1 开关后, 输出便稳定。

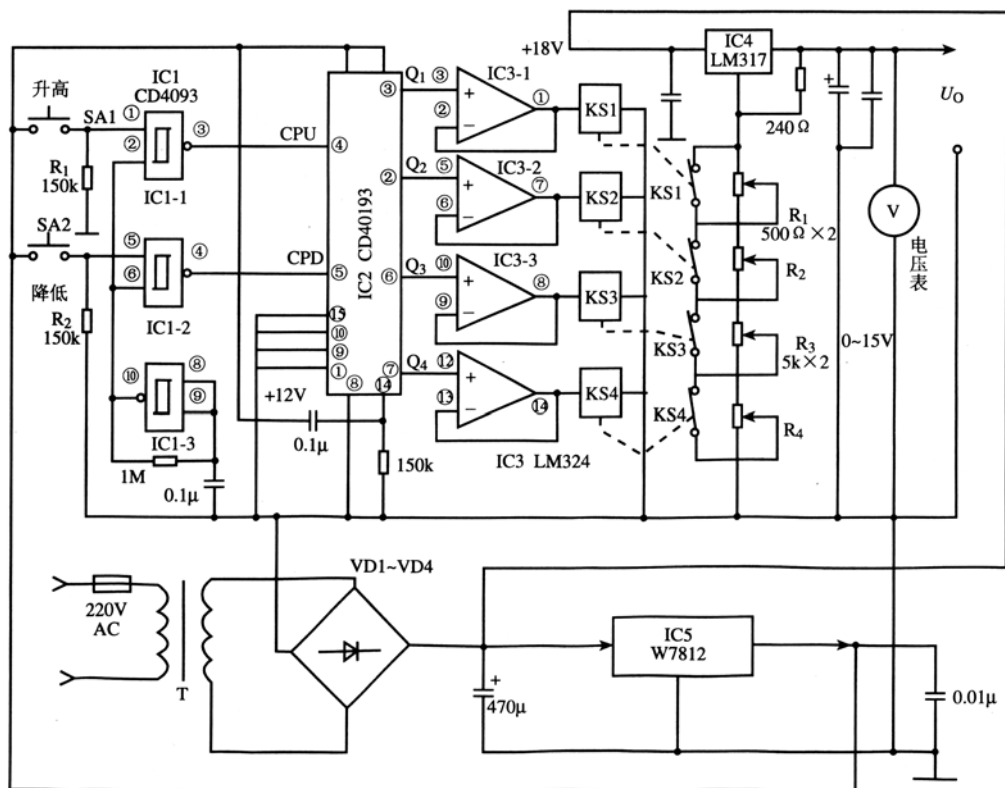


图 5-25 由可调直流稳压器构成的可逆自动调整多挡稳压电源电路

（2）降低电压

如按 SA2 做减计数时，门 IC1-1 关闭，输出高电平，门 IC1-2 打开，脉冲送入 IC2 减计数端 CPD，IC2 作减计数，使 KS1~KS4 逐个断开，于是 LM317 的输出逐挡降低。

由上可见，只要按 SA1 或 SA2，就可以使 LM317 的输出增高或降低。但应注意：不要一开机就按 SA2，因为这样会使 LM317 输出最高挡电压。但如想从最低挡一下跃至最高挡，当然也可按 SA2，想退回最低挡时，无须再按动 SA2 逐挡退出，而只须按一下或两下 SA1 即可使 IC2 自动清零。LM317 输出端所接的电压表，用于监测输出电压。

5.3.11 可调直流稳压器在降压稳压电路中的应用与识图

图 5-26 所示是由 HIP5600 构成的具有短路保护功能的降压稳压电路。该电路输出电压为 24 V，输出电流 250 mA。该电路的最大特点是其输入电压允许较高，这对于某些要求将高电压变换为低压稳压的场合是十分适用的。

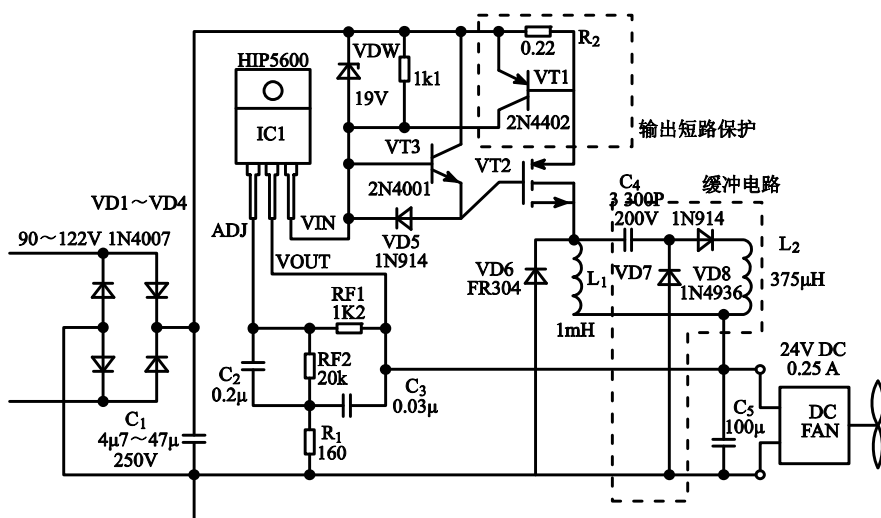


图 5-26 由 HIP5600 构成的具有短路保护功能的降压稳压电路

1. 识图指导

图 5-26 所示电路主要由 IC1、VT1~VT3、L₁、L₂ 为核心构成。其中，IC1 的型号为 HIP5600，是一种三端可调线性稳压器，其直流工作电压可达 400 V，交流工作电压可达 280 V；VT1 的型号为 2N4402，其 $I_{cm}=0.6$ A， $\beta=30\sim250$ ；VT2 是一只功率场效应管；VT3 的型号为 2N4401，其中 $I_{cm}=0.6$ A， $\beta=40\sim500$ ；L₁ 的电感量为 1mH，L₂ 的电感量为 375 μ H。

2. 工作原理

图 5-26 所示电路是由整流滤波电路、DC/DC 电压变换电路、输出短路保护电路、缓冲电路等 4 个部分组合而成。

（1）整流滤波电路

整流滤波电路由 VD1~VD4、C₁ 为主构成。输入的电压（交流）在 90~122 V 之间，

如使用 220 VAC 电压,则可加设限流降压电阻器。输入的交流电压经 VD1~VD4 桥式整流、 C_1 电容器滤波,得到的直流电压一路加到 IC1 的 VIN 端;另一路加到输出短路保护电路上。

(2) DC/DC 电压变换电路

DC/DC 电压变换电路由 IC1 及其外围的元件组成。用于将高压直流电压变换为 24 VDC 后从 IC1 的 VOUT 端输出,一路输出供使用,另一路经 RF1、RF2、 C_2 、 C_3 分压后作为控制电压加到 IC1 的 ADJ 端,用于控制输出电压的稳定。

(3) 缓冲电路

缓冲电路由 VD7、VD8、 L_2 、 C_4 组成,用于减小功率管 VT2 的功率损耗,以使 IC1 的工作频率维持在 18 kHz 左右。

(4) 输出短路保护

输出短路保护电路由 VT1、 R_2 等组成。 R_2 为取样电阻器,当输出电流因短路变得很大时,就会通过 VT1 使 VT2 截止,以保护电路不致使故障扩大。

5.3.12 可调直流稳压器在待机式稳压电路中的应用与识图

图 5-27 所示是由稳压电路 LM317 构成的具有待机功能的多功能稳压电路。具有 +12 V/500 mA、-12 V/500 mA、+5 V/2.5 A、+5 V/500 mA 多种电压输出。待机控制功能可采用遥控控制方式。适用于各种音频、视频及其他各种需要直流电源的场合。

1. 识图指导

图 5-27 所示电路是由五块集成电路、五只晶体三极管、两组整流桥堆、电源变压器 T 等组成的。IC1 (LM317) 是一块三端可调集成稳压器;IC2 与 IC3 (LM741) 均是单运算放大器;IC4 (W7805) 是一块三端固定稳压集成电路,IC5 (SG7400) 是一块 2 输入端四与非门,这里仅用了一只与非门。

2. 工作原理

图 5-27 所示电路是由整流滤波电路、 ± 12 V 跟踪电源、+5/2.5 A 电源、待机控制电路等 5 个部分构成。

(1) 整流滤波电路

220 V 交流电源加到电源变压器 T 的初级,经变压后从次级输出一组 9 V、一组 14 V $\times 2$ 交流低压。两组交流低压分别经 VD1~VD4、VD8~VD11 两组桥式整流、 C_5 、 C_1 与 C_2 滤波,得到电压分别提供给有关电路。

(2) ± 12 V 跟踪式电源

+12 V 由 IC1 为主构成,输出电压由 R_{11} 调节为 12 V, C_6 用于降低输出电压的纹波。

-12 V 电压跟踪+12 V 电源电压的变化,该电路主要由运算放大器 IC2 (LM741) 与 VT1、VT2 构成的复合调整管为主构成。当+12 V 电压上升时,IC2②脚由 R_{12} 与 R_{13} 分压后的电压也会升高,进而使 IC2⑥脚输出的电压变低 $\rightarrow$ 复合调整管 VT1、VT2 基极输入的电流增加,管压降减小,最终使负电压升高,实现了跟踪+12 V 的电压的目的,使 ± 12 V 电源对称。当正、负电源的绝对值相等时,IC2②脚电位为 0 V。

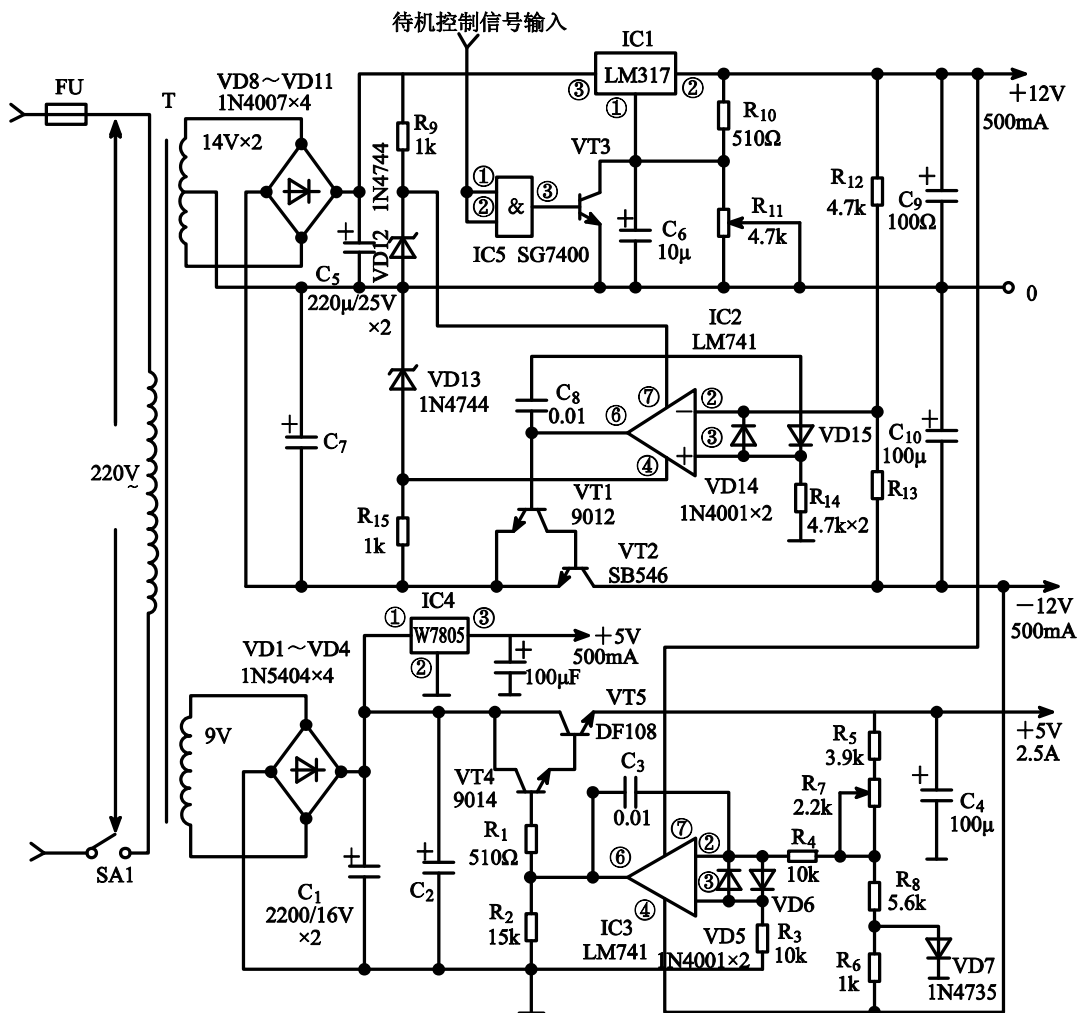


图 5-27 由 LM317 构成的具有待机功能的多功能稳压电路

(3) +5 V/2.5 A 电源

+5 V/2.5 A 电源电路由 IC3 与 VT4、VT5 构成的复合调整管为主组成。R₇ 为输出电压可调电位器。

当由于某种原理使+5 V 电压升高时，经 R₅、R₇、R₈、R₆ 分压加到 IC3②脚上的电位偏离了 0 V 也上升，进而使 IC3⑥脚电压下降，使注入 VT4 与 VT5 复合调整管基极的电流减小，VT5 的管压降增大使输出的电压降低回复到正常值。

(4) 待机控制电路

待机控制端 A 既可以是遥控器送来的信号，也可以是手动开关提供的信号，可根据实际需要确定。当有高电平信号从 A 端输入时，IC5③脚输出为小于 0.4 V 的低电平，使 VT3 管截止，稳压电源处于开机正常工作状态。

当 A 端为低电平时，IC5③脚输出为高电平，使 VT3 饱和导通，等效于将 IC1 的调整端对地短接，使其②脚输出电压下降至 1.1 V 左右（实测）。这就使被跟踪的-12 V 电压也

降为 0.4 V 左右（实测）；同时也使采用 $\pm 12\text{ V}$ 供电的 IC3 停止工作，使 +5 V/2.5 A 电压也无输出。

（5） 不受控 +5 V/500 mA 电源

IC4 组成了不受控制的 +5 V 电源，可利用该电源作为待机时的遥控信号接收电路电源或手动控制待机时的电源。

5.3.13 可调直流稳压器在有显示功能的 3~12 V 稳压电路中的应用与识图

图 5-28 所示是由 LM317T 构成的具有显示功能的 3~12 V 电压连续可调稳压电路。该电路可以在 3~12 V 间连续可调，并由发光二极管显示出相应的电压值，可制成稳压电源产品供各种直流电子、电气设备使用。

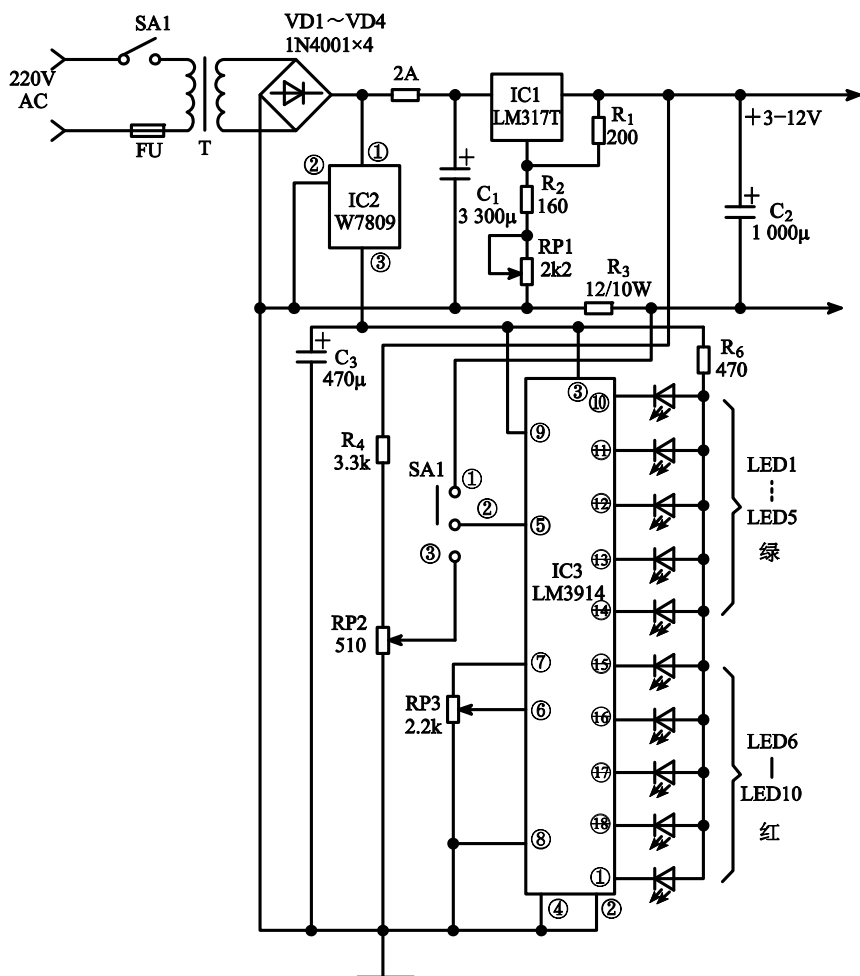


图 5-28 由 LM317T 构成的具有显示功能的 3~12 V 电压连续可调稳压电路

1. 识图指导

图 5-28 所示电路主要由 IC1~IC3、LED1~LED10 为核心构成。其中，IC1 的型号为

LM317T, 是一块输出电压可调的三端稳压集成电路; IC2 的型号为 W7809, 是一块稳压值为 9 V 的三端固定稳压集成电路; IC3 的型号为 LM3914, 是一只用来检测模拟信号电平、驱动 10 位 LED 进行线性显示的单片集成电路, 其内电路方框图如图 5-29 所示, 各引脚功能说明如表 5-5 所列。

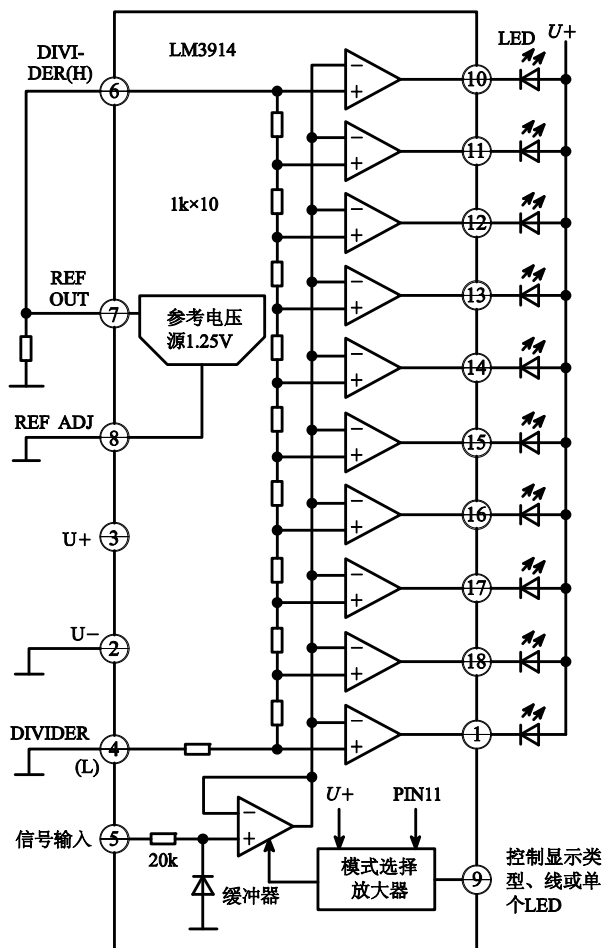


图 5-29 LM3914 集成电路内方框图

表 5-5 LM3914 集成电路引脚功能

引脚号	功能说明	引脚号	功能说明
①	驱动控制信号输出端 10	⑩	驱动控制信号输出端 1
②	接地线端	⑪	驱动控制信号输出端 2
③	工作电源电压输入端	⑫	驱动控制信号输出端 3
④	基准电压设置端接地线	⑬	驱动控制信号输出端 4
⑤	驱动信号输入端	⑭	驱动控制信号输出端 5
⑥	基准电压输入端 (1.25 V)	⑮	驱动控制信号输出端 6
⑦	基准参考电压输出端 (1.25 V)	⑯	驱动控制信号输出端 7
⑧	基准电压电路设置元件连接端	⑰	驱动控制信号输出端 8
⑨	显示类型 (线或单个 LED 等) 控制端	⑱	驱动控制信号输出端 9

2. 工作原理

图 5-28 所示电路主要由稳压电路与显示电路两个部分组成。稳压电路由 IC1、IC2 为核心组成。IC1 稳压电路即为 LM317 的典型应用方式，IC2 稳压电压为 IC3 做工作电源，RP1 用来调整输出电压的高、低。这部分电路的工作原理较简单，读者可自行分析。

显示电路由 IC3 及其外围的元件组成。SA1 为电压与电流显示转换开关。当该开关的①与③触点闭合后， R_3 电阻器两端的压降（也就是负载电流在 R_3 两端产生的电压降）加到 IC3 的⑤脚，由 IC3 处理后显示输出电流的大小。

当 SA1 开关的③与②触点闭合后，IC1 输出的电压经 R_4 、RP2 分压后加到 IC3 的⑤脚，由 IC3 处理后显示输出电压的大小。

制作提示：

RP3 用来调节加到 IC3 内比较器的基准电压，由此可改变输出电压、电流的显示范围。

5.3.14 可调直流稳压器在稳压及充电电路中的应用与识图

图 5-30 所示是由三端可调稳压器 LM317T 构成的稳压及充电电路。具有快充和慢充两挡，还具有 1.25~12 V（输出电流达 0.5 A）可调电源可供使用。

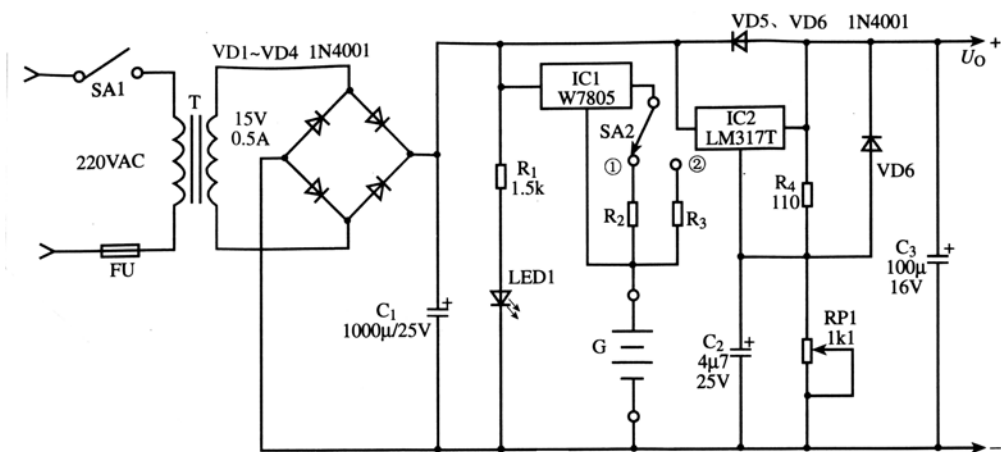


图 5-30 由三端可调稳压器 LM317T 构成的稳压及充电电路

1. 识图指导

图 5-30 所示电路是由三端固定稳压器 IC1（W7805）、可调三端稳压器 IC2（LM317T）等组成。SA1 为电源开关，SA2 为快充、慢充转换开关，当该开关处于 2 位置时为快充状态，1 位置时为正常恒流充电位置。

2. 工作原理

图 5-30 所示电路是由整流滤波电路、恒流充电电路、稳压电路 3 个部分构成的。

(1) 整流滤波电路

当闭合 SA1 开关以后, 220 V 交流电源经电源变压器 T 变压, 从其次级输出 15 V 的交流低压, 该电压经 VD1~VD4 桥式整流、 C_1 滤波, 得到的平滑直流电压作为恒流充电及稳压电源的供电电源; 同时也经 R_1 使 LED1 发光二极管导通发光, 以示电源指示。

(2) 恒流充电电路

恒流充电电路由 IC1、 R_2 、 R_3 为主构成。 R_2 、 R_3 是两只电阻值不同的电阻器, 以适应不同的充电电流, 电池容量与电阻值之间的关系见表 5-6 所列, 供选用时参考。

表 5-6 电池容量与电阻值之间的对应关系

电池容量 (mAh)	R_2 (充电 14~16h)	R_3 (充电 5h)	电池容量 (mAh)	R_2 (充电 14~16h)	R_3 (充电 5h)
500	100 Ω	33.3 Ω	800	62.5 Ω	20.8 Ω
600	83.3 Ω	27.8 Ω	900	55.5 Ω	18.5 Ω
700	71.4 Ω	23.8 Ω			

SA2 为快充、慢充切换开关, 通过选择开关的切换来得到不同的充电电流。电阻器 R_2 作为正常充电的恒流电阻器, R_3 为快充电恒流电阻器。充电电池可为 1~4 节普通镍镉电池串联充电。

(3) 稳压电路

稳压电路由 IC2、RP1、 C_2 、 C_4 、VD6、 C_3 等组成。调节可调电位器 RP1 的电阻值, 就可改变输出电压 U_o 的大小。VD5、VD6 作为 IC2 的保护二极管。 C_3 为电源滤波电容器。

制作提示:

- 采用快速充电法充电时, 充电时间不应超过 10%, 否则经常处于过充电状态的电池寿命将会缩短, 且容量也会明显减小。
- R_2 、 R_3 的功率不可太小, R_1 的功率不得小于 1/2 W, R_2 可在 1.5~3 W 之间选择。

5.4 其他可调直流稳压器的识图与应用

除了以上介绍的三端固定、三端可调直流稳压器以外, 还有四端可调稳压器、五端可调稳压器等。但这类直流稳压器的用量不如前者广泛。

5.4.1 其他可调直流稳压器的识图与应用指导

其他可调直流稳压器主要以四端和五端为多, 多端可调稳压器以 $\mu A723$ 系列较多, 下面主要介绍这几类可调稳压器的一些特点, 供应用时参考。

1. $\mu A78GUIC$ 与 $\mu A79MGUIC$ 型四端可调稳压器

$\mu A78GUIC$ 与 $\mu A79MGUIC$ 外形及内电路方框图如图 5-31 所示。 $\mu A78GUIC$ 与

$\mu\text{A}79\text{MGUIC}$ 分别为采用相同封装的正、负输出型四端可调稳压器,其外形与引脚如图 5-31 (a)、(b) 所示,其内电路方框图如图 5-31 (c) 所示,改变输出调整管的极性即得到 $\mu\text{A}79\text{MGUIC}$ 的结构示意图。

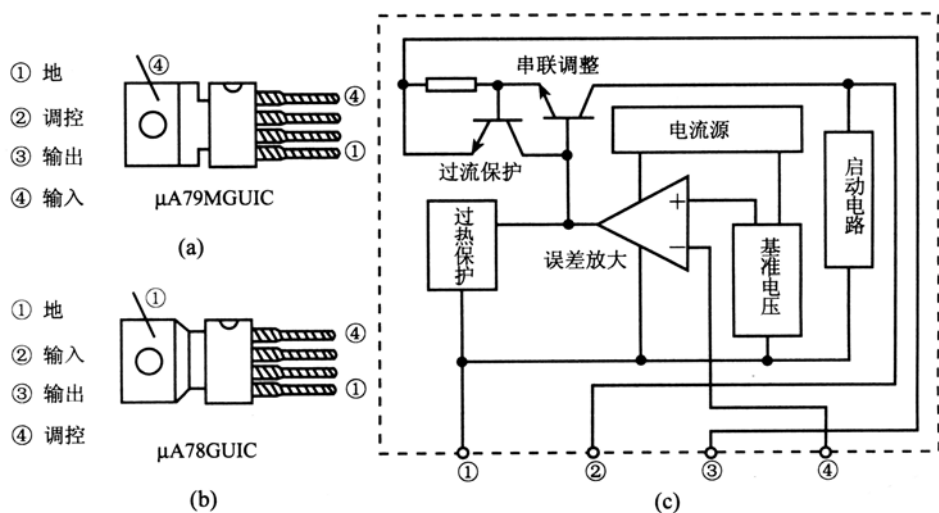


图 5-31 $\mu\text{A}78\text{GUIC}$ 与 $\mu\text{A}79\text{MGUIC}$ 外形及内电路方框图

从图 5-31 (c) 所示电路可知,这类四端稳压器内含有过流、过热保护电路,且具有优良的瞬态稳压特性。使用时其输入输出压差应控制在 $3\sim 15\text{ V}$ 内, $\mu\text{A}78\text{GUIC}$ 最大输出电流为 1 A ,输出电压调节范围为 $5\sim 30\text{ V}$ 。 $\mu\text{A}78\text{MGUIC}$ 最大输出电流为 0.5 A ,输出电压调节范围为 $-2.2\text{ V}\sim -30\text{ V}$,但输入电压都应限制在 40 V 内。

2. LAS16U 与 LAS19U 型四端可调稳压器

LAS16U 与 LAS19U 均为 $3\sim 5\text{ A}$ 大功率四端可调稳压器,是一种正电压输出型稳压电路,采用四端金属管壳 TO-3 封装方式,内部均具有过压,过流及过热保护电路。

3. CW200 型五端可调稳压器

CW200 是一种五端可调正电压输出稳压器。输出电压范围为 $2.85\sim 36\text{ V}$,并连续可调,输出最大负载电流为 2 A 。

(1) 主要特点

CW200 稳压器有以下主要特点。

- ① 外部只要用 2 只取样电阻器,就能调整到所需要输出的电压值。
- ② 内部设有过流、过热保护和调整管安全区工作保护电路,故使用安全可靠。
- ③ 具有较高的参数指标和稳压精度,既可以连接成固定电压输出方式,也可以连接成可调电压输出方式。

(2) 封装方式与引脚功能

CW200 的外形封装有两种方式,如图 5-32 所示,图 5-32 (a) 所示为金属封装的 F-2 型,图 5-32 (b) 所示为塑料封装的 S-7 型,它们的引脚排列位置及功能在图 5-32 (a)

所示图形中也已给出。

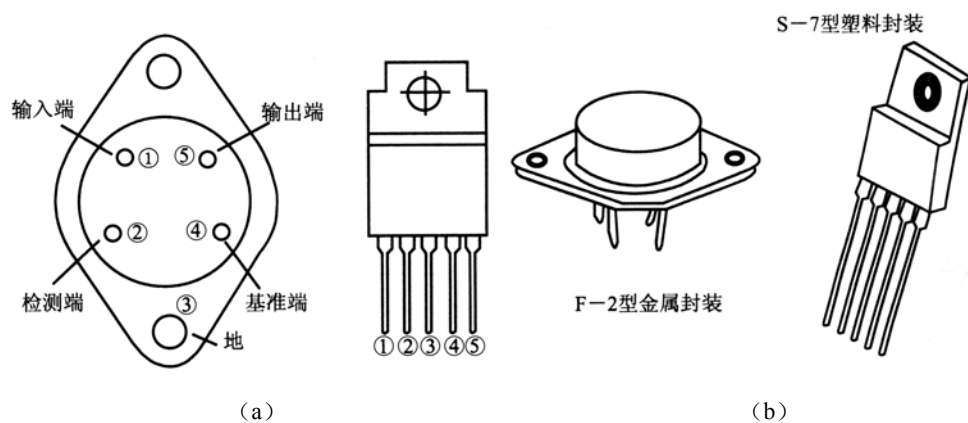


图 5-32 CW200 外形封装的两种方式

(3) 主要电参数

CW200 型稳压器的主要电参数：最大输入输出电压差 $(V_i - V_o)_{\max} = 40 \text{ V}$ ；最小输入输出电压差 $(V_i - V_o)_{\min} = 2 \text{ V}$ ；电压调整率 $S_V = 0.05\%$ ；电流调整率 $S_I = 0.15\%$ ；纹波抑制比为 60 dB；静态工作电流 $I_d = 4.4 \text{ mA}$ ；最大输出电流 $I_{\text{omax}} = 2 \text{ A}$ 。

4. $\mu\text{A}723$ 多端可调稳压器

$\mu\text{A}723$ 是一种较典型的多端可调稳压器，与其功能相同、且可直接代换的型号有 W723，CA723C，FG723，LM723，MC1723 等。 $\mu\text{A}723$ 内部方框图及 DIP-14 封装外形如图 5-33 所示。

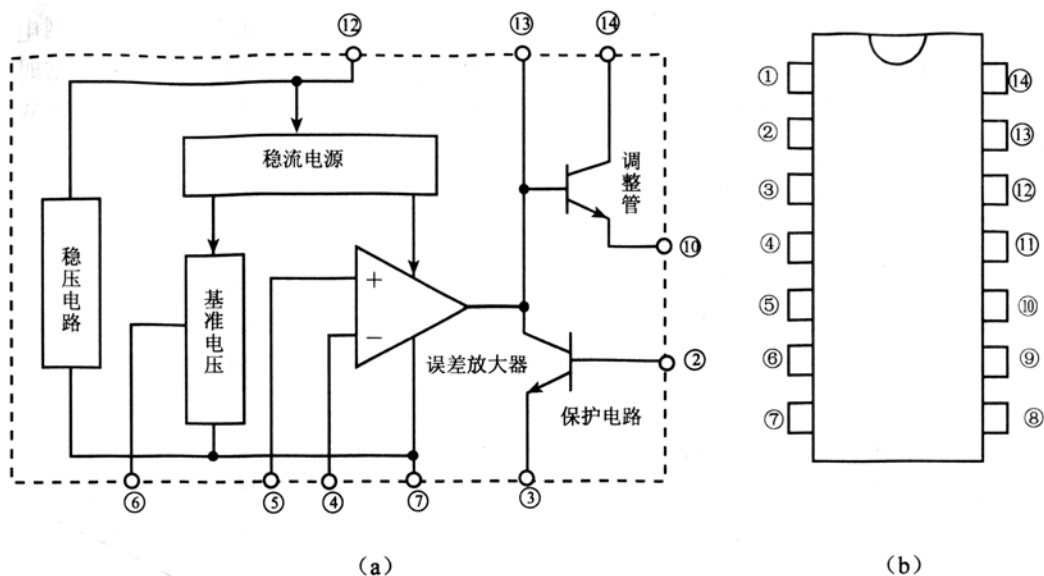


图 5-33 $\mu\text{A}723$ 内部方框图及 DIP-14 封装外形

(1) 封装方式及内部方框图

$\mu\text{A}723$ 有两种封装方式, 一种为双列 14 脚 DIP-14 塑封方式, 另一种是 10 脚金属封装方式, 两者引脚与功能的对应关系见表 5-7 所列。

表 5-7 $\mu\text{A}723$ 两种封装方式引脚功能及对应关系

金属封装	DIP 塑封	符号	引脚功能	金属封装	DIP 塑封	符号	引脚功能
⑤	⑦	V_-	负电源	②	④	INV	反相输入
⑧	⑫	V_+	正电源	④	⑥	V_{REF}	基准电压
⑩	②	CL	过载保护	⑦	⑪	V_{CC}	输入
①	③	C_S	过流保护	⑥	⑩	V_O	输出
③	⑤	NV	同相输入	⑨	⑬	COMP	频率补偿

$\mu\text{A}723$ 内部主要由基准电路、恒流源、误差放大器, 调整管和保护电路等组成, 其内部方框图见图 5-33 (a) 所示。

(2) 主要电参数

$\mu\text{A}723$ 多端稳压器的主要电参数有最大输入电压为 40 V, 输出电压为 2~37 V, 基准电压为 7.2 V, 最小压差为 4 V, 最大负载电流为 50 mA, 最大功率损耗为 0.3 W。

5.4.2 多端稳压器在 3.5~30 V 开关稳压电路中的应用与识图

图 5-34 所示是由 TWH9313 构成的可在 3.5~30 V 之间调整的开关稳压电路。该电路输出电流可达 2.5 A, 适用于取代普通的线性电源而应用于各个领域的电气、电子设备中。

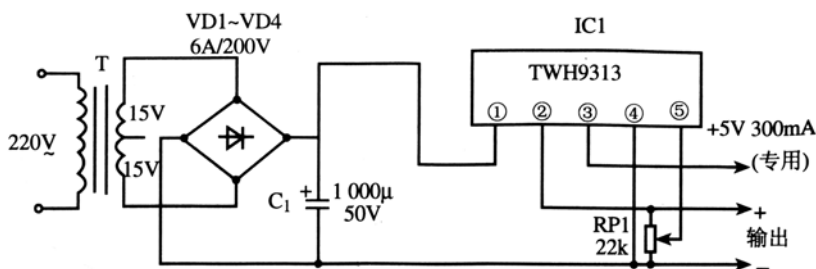


图 5-34 由 TWH9313 构成的可在 3.5~30 V 之间调整的开关稳压电路

1. 识图指导

图 5-34 所示电路主要由 IC1 集成电路为核心构成。IC1 的型号为 TWH9313, 是一块稳压集成电路, 其最高输入电压为 40 V, 输出电流为 2.5 A, 静态电流 $< 10 \text{ mA}$, 效率大于 95%。其内设置有过流保护电路, 对过载或瞬间短路均具有良好的保护作用。其采用 5 引脚单列封装方式, 各引脚功能说明如表 5-8 所列。

表 5-8 稳压集成电路 TWH9313 各引脚功能说明

引脚号	引脚功能说明
①脚	整流滤波后的 DC 电压输入端，输入电压范围为 15~40 V
②脚	开关电源电压输出端，输出电压可在 3.5~30 V 之间调节
③脚	+5 V、300 mA 专用电源电压输出端
④脚	电源负极端（公共端），即接地线端
⑤脚	输出电压取样调节元件连接端

2. 工作原理

图 5-34 所示电路是由变压、整流滤波电路和开关电源输出电路两个部分组合而成。

（1）变压、整流滤波电路

变压、整流滤波电路由 T、VD1~VD4、C₁ 构成，用于将 220 V 交流电压换为交流 30 V 低压后，由 VD1~VD4 桥式整流、C₁ 电容器滤波，得到的直流电压加到 IC1 ①脚。

（2）开关电源输出电路

开关电源输出电路由 IC1、RP1 构成。RP1 是一只直线型电位器，连接在 IC1 的②、④、⑤脚间，以调节输出电压的大小。从 IC1 的①脚输入的电压经稳压后从②脚、③脚输出。

制作提示：

由于 IC1 的输出电流较大，故应对其采取散热措施，最好选用铝板作机壳兼散热器。在输出端连接一只 30 Ω 左右、20 W 的电阻器做负载，通电调整 RP1 的值时，输出电压应能在 3.5~30 V 间变化。否则，可能为 IC1 本身不良。

5.4.3 多端稳压器在 6~24 V 可调稳压电路中的应用与识图

图 5-35 所示是由 DN-35 构成的具有输出电流可限的 6~24 V 连续可调稳压电路。该电路不仅可以使输出电压可调，而且可以根据需要对其输出电流加以限制，最大输出电流可达 2 A，使电路工作更加安全，是一种不易损坏的稳压电源电路。

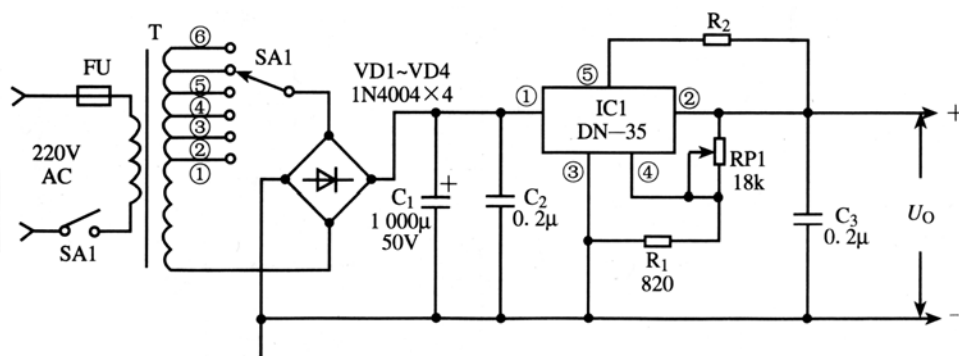


图 5-35 由 DN-35 构成的具有输出电流可限的 6~24 V 连续可调稳压电路

1. 识图指导

图 5-35 所示电路主要由 IC1、T、SA1 为核心构成。其中，IC1 的型号为 DN-35，是一种输出电压可调（2.85~36 V）、输出电流可限的五端稳压集成电路，其内电路方框图如图 5-36（a）所示，其各引脚功能如图 5-36（b）所示；T 是一只电源变压器，其次级分为六挡，它的①脚对 0 点电压为 9 V，②脚对 0 点电压为 12 V，③脚对 0 点电压为 16 V，④脚对 0 点电压为 20 V，⑤脚对 0 点电压为 24 V，⑥脚对 0 点电压为 27 V；SA1 是一只单刀六掷波段开关，用于选择交流电压。

2. 工作原理

220 V 交流电压经电源变压器 T 变压后，得到的次级低压经 VD1~VD4 桥式整流、C₁ 滤波，得到的直流电压经 IC1 稳压后，就可得到 U_o 稳定电压。即：

$$U_o = U_{\text{ref}} (1 + R_{\text{P1}}/R_1)$$

式中 U_{ref} —DN-35 内部的基准电压，通常可取 2.77 V。

由此可见，RP1、R₁ 是为决定输出电压的分压电阻。R₁ 的取值可在 500 Ω~1.5 kΩ 之间进行选择。

连接在 IC1②与⑤脚间的 R₂ 为限流电阻器，用于限制输出的电流，限制最大输出电流与 R₂ 电阻值之间的关系。

$$I_o (\text{max}) = U_{\text{sc}}/R_2$$

式中 U_{sc} —DN-35 集成电路②脚与⑤脚之间的电压，该电压通常在 0.38~0.52 V 之间选择，可取其典型值 0.45。

例如，要求限制最大输出电流为 800 mA，根据上式：

$$R_2 = 0.45/800 = 0.56 \Omega$$

这样，即使输出对地短路，其输出电流也只有 800 mA，不会再增大。R₂ 电阻器的功率可由下述公式计算出，即：

$$P = 0.45 \times I_o (\text{max})$$

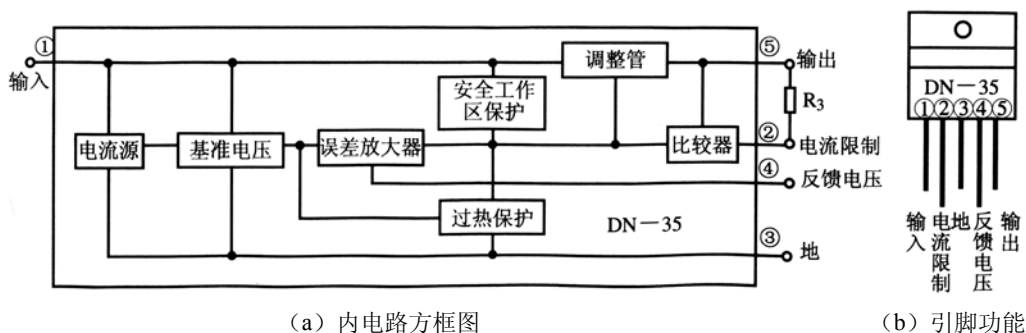


图 5-36 DN-35 内电路方框图及外形和引脚功能

5.4.4 多端稳压器在可控制定量放电电路中的应用与识图

图 5-37 所示是由多端稳压器构成的可控制定量放电的电路。镍镉电池是一种可多次充电的电池，其单节电池充电后的正常电压为 1.2 V，市售的 6 V 和 9 V 两种镍镉电池分别是由 5 节和 8 节 1.2 V 的镍镉电池串联组合而成。

从大量的使用情况来看，每节电池用到 1 V 时充电可以延长它的寿命，一般来说，在 1~1.1 V 时就应停止使用。充电前必须将电池放电到 1 V，并且放电电流最好为 100 mA。对于 6 V 和 9 V 两种电池，在停止使用时，必须将其放电到 5 V 和 8 V，而且放电电流为 100 mA，使用图 5-37 所示的电路，即可满足上述要求。

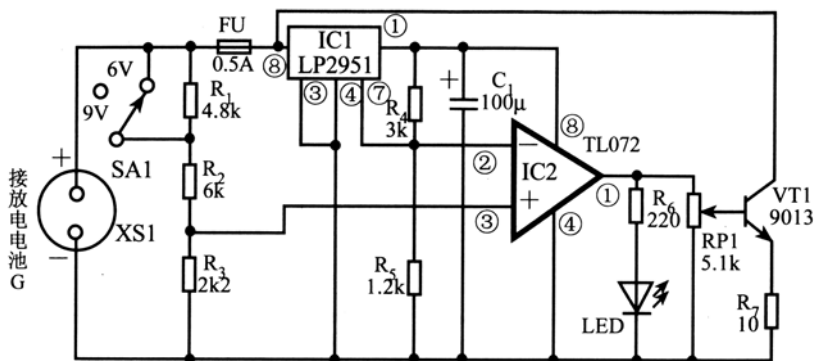


图 5-37 由多端稳压器构成的可控制定量放电的电路

1. 识图指导

图 5-37 所示电路主要由 IC1、IC2 为核心构成。其中，IC1 的型号为 LP2951，是一块低压差的稳压集成电路；IC2 的型号为 TL072，是一块双运算放大器，电路中仅使用了一只运算放大器。

2. 工作原理

图 5-37 所示电路主要由基准电压稳压电路和比较器两个单元部分组成。

(1) 基准电压稳压电路

基准电压稳压电路由 IC1 及外围的有关元件构成。用于将放电电池 G 的电压稳压为 4.7 V 从 IC1 ①脚输出。

(2) 比较器电路

比较器电路由 IC2 及外围的有关元件共同构成，IC2 的②脚为基准电压输入端，该电压是由 4.7 V 经 R_4 与 R_5 分压为 1.25 V 后得到的；IC2 的③脚为比较电压输入端，该电压是由 $R_1 \sim R_3$ 分压后得到的。

当电池 G 的电压超过 5 V 时，由 R_2 和 R_3 组成的分压电路分压后的电压为 1.25 V，并输入到 IC2 的③脚，使 IC2 ①脚输出为高电平，LED 导通发光。VT1 连接成射极跟随方式，调节 RP1 使 R_7 两端电压为 1 V 时，VT1 就成为 100 mA 的恒流源，使 G 的放电电流为

100 mA, LED 发光表示 G 正在放电; 一旦电池 G 的电压降到 5 V, IC2①脚输出低电平, LED 熄灭, 并使 VT1 截止, 放电电流为零, 即停止放电。

制作提示:

调节 R_6 的电阻值应使流过 LED 中的电流约为 8 mA。FU 熔断器的作用是提供安全保护。SA1 为 6 V 或 9 V 电池切换开关, 当电池 G 为 9 V 时, SA1 断开, 使电阻器 R_1 串入电路中, 由此可使 G 放电到 8 V, 放电电流也为 100 mA。电池放电结束后, 即可取出进行充电。

5.4.5 多端稳压器在并联稳压电路中的应用与识图

图 5-38 所示是由多端稳压器构成的可消除热量的并联稳压电路。由于该电路不需要开关稳压器保持同步, 而且对电流或电压方式控制器来说都适用。由于通常的并联电源是把两个电源并联使用, 所并联的两个电源不可能完全一致, 往往存在环流, 引起工作温度升高, 但图 5-38 所示电路却可以消除这种情况产生的热量。

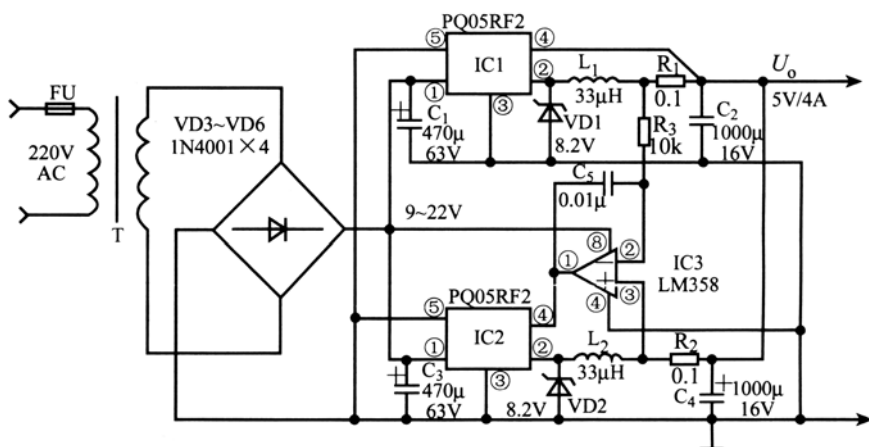


图 5-38 由多端稳压器构成的可消除热量的并联稳压电路

1. 识图指导

图 5-38 所示电路主要由 IC1~IC3 共三块集成电路为核心构成。其中, IC1 与 IC2 的型号均为 PQ05RF2, 是一种四引脚稳压值为 5 V 的开关稳压集成电路。IC3 的型号为 LM358, 是一块双运算放大器, 电路中仅使用了一只运算放大器。

2. 工作原理

在图 5-38 所示电路中, 它是把 2 个开关稳压器并联在一起, 并设置了 R_1 、 R_2 两个电阻器串接在 IC1 与 IC2 的电源输出端, 起取样作用, 取样后的电压提供给运算放大器 IC3 的两个输入端, 从而构成了两个转换电压电路。其中, 一个转换电路 (IC3 同相信号端③脚组成的电路) 用来控制输出的电压; 另一个转换器电路 (IC3 反相信号端②脚组成的电

路)则由运算放大器驱动起补偿作用。运算放大器 IC3 使取样电阻器 R_1 与 R_2 上的压降保持相等,从而使通过的电流也相等(约为 $\frac{1}{2}$ 输出电流)。

从图 5-38 所示电路中可看出,取样电阻器 R_1 与 R_2 和电感线圈 L_1 与 L_2 串联。它们位于反馈环路内,但并不影响输出电压的调节。电感线圈 L_1 与 L_2 的电感量均为 $33\ \mu\text{H}$,内阻很小,功率损耗也很小,发热量不大。

电路中,VD1 与 VD2 是两只型号相同的稳压二极管,其稳压值为 $8.2\ \text{V}$,这两只稳压二极管并接在 IC1 与 IC2 的②脚与③脚间,在此处的作用是起过压保护作用,一方面限制稳压器 IC1、IC2②脚输出的电压不会过高而损坏后级负载电路(例如 IC1 或 IC2 内部击穿而导致的输出电压过高等);另一方面也限制电感器 L_1 、 L_2 产生的反向峰值电压不致击穿 IC1 或 IC2 集成电路。

习 题 五

1. 填空题

- (1) 整流就是利用二极管的_____导电性,使_____电变成_____方向的脉动直流。
- (2) 在倍压整流电路中,所有二极管的反峰电压均为_____ u_2 (变压器次级电压)。
- (3) 线性稳压电源大多采用_____,将交流 220 V 市电变为_____低电,然后经_____得到_____低压,提供给稳压电路。
- (4) 整流电路按其所用交流电源的相数不同,可分为_____整流电路和_____整流电路。
- (5) 滤波就是保留整流电路整流后的_____分量,滤掉_____分量。

2. 选择题

- (1) 桥式(或全波)整流电容器滤波后的输出电压,约为电源变压器次级电压有效值的()
- (a) 0.5 倍 (b) 1.2 倍
(c) 1.5 倍 (d) 2 倍
- (2) 在图 5-4 所示电路中,输出电压为 u_D 值为()
- (a) $0.45u_2$ (b) $0.707u_2$
(c) $2\sqrt{2}u_2$ (d) $0.9u_2$
- (3) 图 5-3 所示全波整流电路中,如二极管 VD1 极性接反,则下列说明正确的是()
- (a) VD2 与负载电阻器 R_L 组成半波整流电路
(b) 当负半周时,VD1、VD2 串联,将变压器次级短接。二极管将被烧坏,变压器也可能受损
(c) 对电路正常工作不产生影响。
- (4) 78X00 系列稳压器中,输出电流从大到小正确的排列顺序是()
- (a) 78L00→78M00→7800 (b) 7800→78M00→78L00
(c) 7800→78L00→78M00 (d) 78M00→78L00→7800
- (5) 在图 5-10 所示电路中,IC1 的输出电压为()
- (a) $(U_A + U_{be}) \cdot (1 + R_1/R_2)$ (b) $(U_A + U_{be}) \cdot (1 + R_2/R_1)$
(c) $(U_A + 0.7) \cdot (1 + R_2/R_1)$ (d) $U_A \cdot (1 + R_2/R_1)$
- (6) 在图 5-13 所示电路中,VD1 的作用为()
- (a) 整流 (b) 检波
(c) 保护 VT1 (d) 保护 IC1
- (7) 在图 6-28 所示电路中,输出电压 V_0 的表达式为()
- (a) $1.25 (1 + R_1/R_2) + 50 \text{ mA} \cdot R_2$
(b) $1.25 (1 + R_2/R_1) + 50 \text{ mA} \cdot R_2$

- (c) $1.25 (1 + R_2/R_1) + 50 \text{ mA} \cdot R_1$
(d) $1.25 (1 + R_1/R_2) + 50 \text{ mA} \cdot R_1$
- (8) 在图 5-21 所示电路中, 当将 IC1①脚直接接地时, 输出电压为 ()
(a) $1.25 \sim 30 \text{ V}$ (b) 30 V
(c) 1.25 V (d) 0 V

3. 问答题

- (1) 直流稳压电源主要由哪几部分构成? 简述各部分电路的作用。
- (2) 全波、桥式整流电路中的二极管特性不对称时, 对整流输出波形有无影响? 如有影响的话是什么影响?
- (3) 单相半波、单相全波、单相桥式整流、倍压整流电路各有什么特点? 对整流管的要求有何不同?
- (4) 单相全波整流电路中, 如何组成电路来得到对地为正或对地为负的两个直流电压? 试画出电路原理图。

(5) 单相桥式整流电路中, 若任意一个二极管脱焊会出现什么问题? 若任何一个二极管极性接反了会出现什么问题? 若两个或三个二极管接反了, 会出现什么问题? 若四个二极管全部接反了行不行?

(6) 在图 5-3 所示单相全波整流电路中, 若其中一个二极管脱焊会出现什么问题? 若其中一个二极管极性接反会出现什么问题? 若变压器中心抽头处接线脱焊会出现什么问题?

(7) π 型滤波电路有哪两种? 各适用于什么场合?

(8) 单相半波整流电路中, 在加滤波电容器和不加滤波电容器两种情况下, 二极管承受的反向电压有无差别? 是否能选用相同耐压的二极管?

(9) 三端稳压器的型号是怎样命名的? 7818 集成电路的稳压值是多少?

(10) 在图 5-19 所示电路中, R_1 电阻值的选择有什么要求? 为什么?

(11) 图 5-21 所示电路中, C_2 与 C_1 电容器起什么作用? 为什么要加接这两只电容器?

(12) 设计一个桥式整流、电容器滤波电路, 要求输出电压 $U_o=20\text{ V}$, 输出电流 $I_o=600\text{ mA}$, 交流电源电压为 220 V , 50 Hz 。



第 6 章 典型模拟/数字混合集成电路的识图 与应用快捷入门

555 电路是 555 时基集成电路或 555 定时集成电路的简称，主要具有如下特点：

定时精度、工作速度和可靠性高；使用的电源电压范围宽，为 2~18 V，能和其他数字电路直接连接；有一定的输出功率，可驱动微电机、指示灯、扬声器、继电器等；结构简单，使用灵活，用途广泛，可由它组成各种波形的脉冲振荡器及定时延时器等电路。

6.1 模拟/数字混合集成电路识图与应用的基础知识

555/556 时基电路有双极型（TTL）和互补金属氧化物半导体型（CMOS）集成电路两大类。其中，555 为单时基电路，556 为双时基电路，它的内部含有与 555 完全相同的两个独立系统，仅公用电源和地线。

6.1.1 TTL 的 555 模拟/数字混合集成内电路方框图

TTL 的 555 电路内部由二十几个晶体三极管和二极管，十几个电阻器等元器件构成，大致可以分为分压器、比较器、R-S 触发器、输出级及放电电子开关五部分，其内电路方框图如图 6-1 所示。

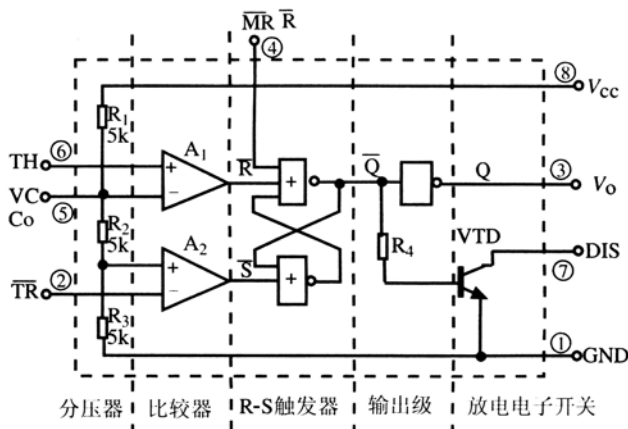


图 6-1 TTL 的 555 内电路方框图

6.1.2 CMOS 的 555 模拟/数字混合集成内电路方框图

CMOS 型 555 电路由于工艺制造的原因，它的内部电路和 TTL 型 555 电路是不同的，

其内电路方框图如图 6-2 所示。它与 TTL 的 555 电路相比主要有以下 4 个不同点。

1. R-S 触发器的组成

基本 R-S 触发器是用 2 个或非门组成的。或非门组成的基本 R-S 触发器是用高电平触发的，输入端用 R 和 S 表示，没有小圆圈。

2. 比较器连接方式

在内部比较器的连接上，它的上比较器 A_1 输入端是连接在同相信号输入端 (+) 上，下比较器 A_2 输入端是连接在反相信号输入端 (-) 上。这种接法正好和 TTL 型 555 电路相反。

3. 放电管

CMOS 型 555 电路中放电管 VTD 的 3 个极分别是 MOS 管的栅极、源极和漏极。但从放电作用和开关控制作用上讲是相同的。

4. 输入阻抗

由于 CMOS 型 555 集成电路具有极高的输入阻抗，因此，它的 3 个分压电阻值不是 $5\text{ k}\Omega$ 而是 $100\text{ k}\Omega$ 或更高，但对分析它们的逻辑功能影响不大。

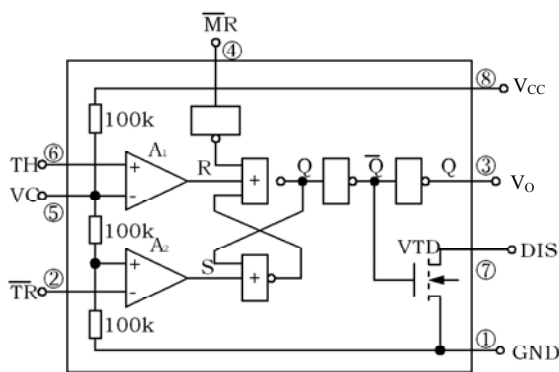


图 6-2 CMOS 的 555 内电路方框图

6.1.3 555/556 时基电路的同类产品

由于 555/556 电路的实用性，各电子器件的主要生产厂家相继生产了各自的 555/556 产品。总体上可分为两大类：双极型产品和 CMOS 型产品。

1. 双极型产品

双极型产品单时基电路的最后三位均为 555；双时基电路的最后三位均为 556。而且，它们的功能和外引脚排列完全一致。

双极型单时基电路常见型号有 NE555、CB555、SG555、SE555、CA555、LM555、FX555、

FD555、 μ A555、LH555、YF555、ICM555、5G1555 等，它们之间均可以直接互换。

双极型双时基电路常见型号有 NE556、CB556、SG556、SE556、CA556、LM556、FX556、FD556、 μ A556、5G1556 等，它们之间均可以直接互换。

2. CMOS 型产品

CMOS 型产品的单时基电路的最后 4 位均为 7555；双时基电路的最后 4 位均为 7556，而且，它们的功能和外引脚排列完全一致。

CMOS 型单时基电路常见型号有 5G7555、ICM7555、 μ A7555、LM7555、LH7555、 μ PD7555、CH7555、CB7555 等，它们之间均可以直接互换。

CMOS 型双时基电路常见型号有 5G7556、ICM7556、 μ A7556、LM7556、LH7556、NE7556、YF7556、HA7556、 μ PC7556、CB7556、CH7556、 μ PD7556 等，它们之间均可直接互换。

3. 四时基电路 NE558

NE558 四时基集成电路具有比 555 或 556 更广泛的应用范围，因为 NE558 实现了四组 555 单稳态时基电路封装集成化，这就使许多的电路设计变得更为方便灵活。

NE558 为双极型四时基集成电路，工作电压范围为 4.5~18 V，其中一个时基电路的内电路方框图如图 6-3 所示，由其组成的单稳态延时时间可用以下公式计算：

$$T=1.1 \times R_1 \times C_1$$

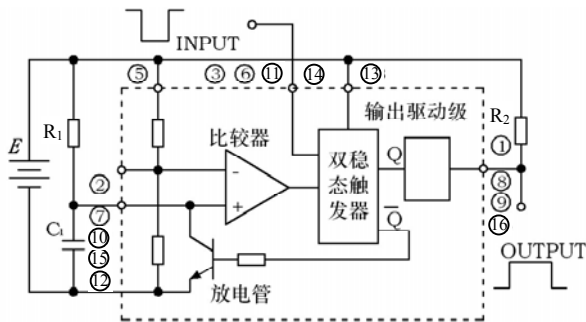


图 6-3 NE558 四时基集成电路中一个时基电路的内电路方框图

NE558 的各个部分如串接起来，可产生比单个 555 或 556 长许多倍的延时时间，也可利用串接进行分段延时。NE558 可组成两组独立的无稳态多谐振荡器。

由于 NE558 中 4 个单稳态时基电路输出端内部为 OC 门形式，故外电路一般应连接上拉电阻器 R_2 ；同时也不能将其⑤脚、⑫脚电源正、负极性接反；触发输入端和总复位应通过上拉电阻器接电源正极抗干扰；控制电压端与地之间一般接入一只 0.01~0.1 μ F 的电容器。

由于 CMOS 型 7555/7556 电路内部结构与 TTL 型的 555/556 不同，故在选用时应根据具体需要选用。

① 在负载轻、要求功率损耗低和定时时间长的场合，选用 CMOS 型的 7555/7556 时基集成电路比较合适。

② 若需要用 555/556 时基集成电路直接来驱动继电器、扬声器、微电机、指示灯等时，则选用 TTL 型的 555/556 时基集成电路比较合适。

6.1.4 时基电路的封装

555 单时基集成电路的封装有 8 脚圆形和 8 脚双列直插型两种。双时基集成电路封装多采用双列 14 脚直插式封装方式。四时基集成电路封装多采用双列 16 脚封装方式。

1. 555 单时基电路

555 单时基圆形封装的集成电路引脚的编号方法是将引脚朝下，带标志的引脚置于上侧，从带标志的引脚左边开始按逆时针方向顺序编号，其引脚排列方式如图 6-4 (a) 所示。

555 单时基双列直插型集成电路的引脚编号方法是把集成电路平放，从带标志的引脚开始按逆时针方向顺序编号，其引脚排列方式如图 6-4 (b) 所示。

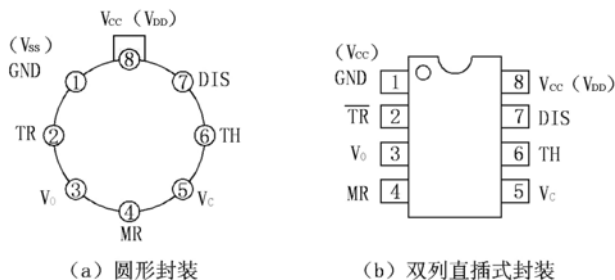


图 6-4 单时基电路引脚排列方式

2. 556 双时基电路

556（或 7556）双时基集成电路的引脚按双列直插型集成电路的统一方法编号，其引脚排列方式如图 6-5 (a) 所示。

3. 558 四时基电路

558（NE558N）四时基集成电路引脚按双列直插型集成电路的统一方法编号，其引脚排列方式如图 6-5 (b) 所示。

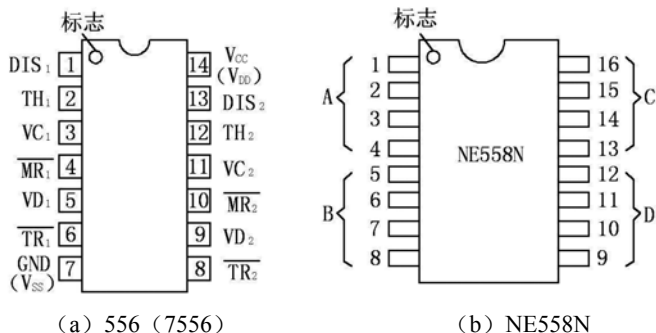


图 6-5 双时基与四时基电路引脚排列方式

6.1.5 时基电路引脚功能

555（7555）单时基集成电路各引脚功能见表 6-1 所列；556（7556）双时基集成电路各引脚功能见表 6-2 所列；558 四时基集成电路各引脚功能见表 6-3 所列。

表 6-1 555（7555）单时基集成电路引脚功能

引脚	代号	功 能 说 明	引脚	代号	功 能 说 明
①	V _{SS}	接地端	⑤	V _C	控制电压端
②	$\overline{\text{TR}}$	低触发控制输入端	⑥	TH	高触发端
③	V _O	输出端	⑦	DIS	放电开关端
④	$\overline{\text{MR}}$	双稳态触发器复位端	⑧	V _{CC}	工作电源电压输入端

表 6-2 556（7556）双时基集成电路引脚功能

引 脚	代号	功 能 说 明	引 脚	代 号	功 能 说 明
①	DIS1	时基电路 1 放电开关端	⑧	$\overline{\text{TR2}}$	时基电路 2 低触发控制输入端
②	TH1	时基电路 1 高触发端	⑨	VD2	时基电路 2 输出端
③	VC1	时基电路 1 控制电压端	⑩	$\overline{\text{MR2}}$	触发器 2 复位端
④	$\overline{\text{MR1}}$	触发器 1 复位端	⑪	VC2	时基电路 2 控制电压端
⑤	VD1	时基电路 1 输出端	⑫	TH2	时基电路 2 高触发端
⑥	$\overline{\text{TR1}}$	时基电路 1 低触发控制输入端	⑬	DIS2	时基电路 2 放电开关管
⑦	V _{SS}	接地线端	⑭	V _{CC}	工作电源电压输入端

表 6-3 558 四时基集成电路引脚功能

引 脚	功 能 说 明	引 脚	功 能 说 明
①	A 单稳态电路信号输出端	⑨	C 单稳态电路信号输出端
②	A 单稳态电路阈值端	⑩	C 单稳态电路阈值端
③	A 单稳态电路触发信号输出端	⑪	C 单稳态电路触发信号输出端
④	四单稳态电路控制电压端	⑫	负工作电源电压输入端
⑤	正工作电源电压输入端	⑬	四单稳态电路总复位端
⑥	B 单稳态电路触发信号输出端	⑭	D 单稳态电路触发信号输出端
⑦	B 单稳态电路阈值端	⑮	D 单稳态电路阈值端
⑧	B 单稳态电路信号输出端	⑯	D 单稳态电路信号输出端

双极型和 CMOS 型 555/556 电路的内部电路和结构虽然不同，但它们的引脚编号和功能是完全相同的。

6.1.6 使用模拟/数字混合集成电路应注意的问题

555/556 时基电路具有非常灵活的使用方法和极其通用的电路功能。555 集成电路在定时方面应用极为广泛，它可以在最基本的典型应用方式的基础上，根据实际需要，经过参数的重新配置和电路的重新组合，与外接元器件组成各种不同用途的电路，例如各种波形的脉冲振荡器、定时延时电路、双稳态触发电路、检测电路、电源变换电路、频率变换电

路等。

555 时基电路功能虽然十分强大，但应用时应注意以下 7 个问题。

1. 工作电压范围

555 时基集成电路使用的电源电压在 4.5~16 V 范围内，7555 时基集成电路使用的电源电压范围较宽，可以在 3~18.5 V 范围内选择。

2. 负载的连接方法

555 时基电路输出电压有高电平和低电平两种状态，其内部等效于一只自动开关。

① 当输出为高电平时开关向上，输出 V_O 端通过上部内阻 R_{01} （如图 6-6、图 6-7 所示）与电源正极相连。

② 当输出为低电平时开关向下，输出 V_O 端通过下部内阻 R_{02} （如图 6-6、图 6-7 所示）与公共端相连。

通常 555 时基电路内的两个电阻器均约十几欧，7555 的 R_{01} 较大，约为几百欧， R_{02} 较小，约为几十欧。

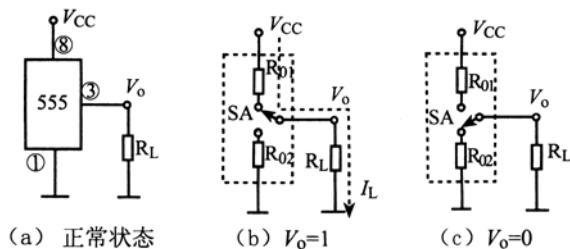


图 6-6 时基电路拉出电流连接方式

由于 555 电路有两种输出状态，所以负载的接法也有两种。

(1) 负载接在 V_O 与 V_{SS} （地线）端

将负载接在 555 电路输出端 V_O 与 V_{SS} （地线端）之间是常用的接法，如图 6-6（a）所示。这样，当输出端为高电平（即 $V_O=1$ ）时，内部开关接到 R_{01} 上，见图 6-6（b）所示。电流是从电源正极→ R_{01} 内阻→ R_L 负载后入地，是从 555 时基电路向外流进负载的，故称为拉出电流或输出电流。当输出为低电平（即 $V_O=0$ ）时，内部开关接到 R_{02} 上，见图 6-6（c）所示。这时负载中没有电流。

(2) 负载接在电源正极与 V_O 端

将负载接在 555 时基电路输出端 V_O 与电源正极 V_{SS} 端之间的电路见图 6-7（a）所示。

当输出端为高电平（ $V_O=1$ ）时，内部开关连接到 R_{01} 上，见图 6-7（b）所示。这时负载中没有电流。

当输出端为低电平（ $V_O=0$ ）时，内部开关接到 R_{02} 上，见图 6-7（c）所示。这时负载中有电流通过。电流通路为电源正极→负载 R_L → R_{02} 内阻后入地，是从外流进 555 时基电路的，故称为吸入电流或灌入电流。

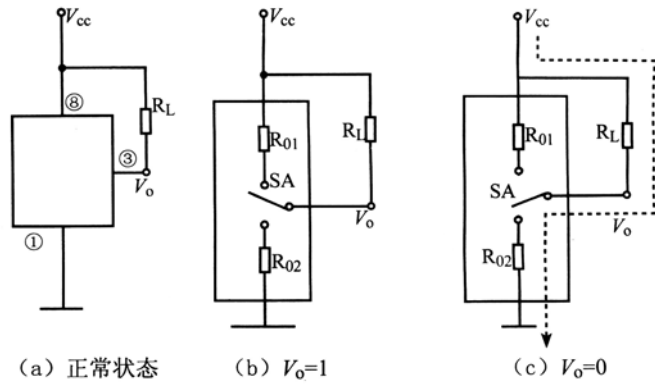


图 6-7 时基电路吸入电流连接方式

由于有以上两种连接方法，故在连接负载时，应根据 555 电路的输出状态和负载的要求来确定负载的连接方法。例如，在使用 555 时基电路时，为了获得较大的驱动电流，可采用第二种连接方法；如果负载是继电器，则由于继电器有常开触点和常闭触点两种方式可供选择，故而可以使 555 电路变化多端，使用更加灵活方便。

3. 负载能力的扩大方法

从驱动电流这一参数来看，555 时基电路的驱动能力较强，可直接驱动微电机、小型继电器及低阻抗的扬声器。而 7555 时基电路的驱动能力较小，只能驱动 LED 发光二极管指示灯、压电陶瓷蜂鸣器等负载。

因此，如果要使 7555 时基电路具有较大的驱动能力，可以在其输出端加装一级驱动放大电路。加接一级驱动放大器提高驱动能力的方法如图 6-8 所示。将 7555 时基电路的输出端 V_o 连接到晶体管 VT1 的基极，将负载 R_L 连接在晶体管集电极或发射极回路。这样就可以将负载电流扩大到 100 mA 左右，足以带动继电器、微电机等负载。

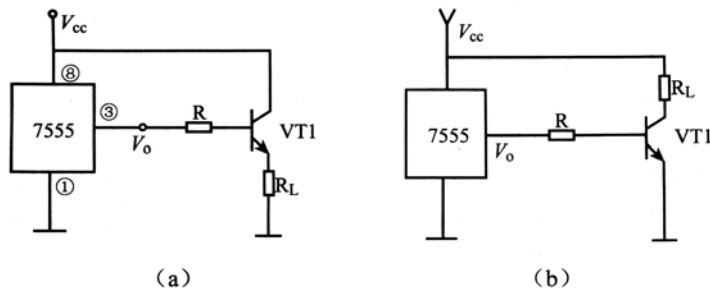


图 6-8 加接一级驱动放大器提高驱动能力方法

所加驱动放大管 VT1 既可用一只三极管，也可用两只晶体管复合后来使用，效果将更好。

4. 特殊型号和特殊封装

在实际使用中，有时会遇到一些特殊型号和特殊封装的集成电路，此时应先查阅资料，

查清它们的型号、封装和引脚及电气特性参数。例如日本三菱公司的 M51841 是时基电路；BU4020B 也是时基电路；而美国国家半导体公司的 MM555 则是模拟门开关电路。

5. 合理选用 555/556 与 7555/7556 时基电路

由以上介绍可以看出，555 时基电路的突出优点是驱动能力强，而 7555 时基电路的突出优点是适用的电源电压范围宽、输入阻抗高、功率损耗低。

因此，在实际应用中，对于负载轻、要求功率损耗低和使用较低电源电压及定时要求长（定时电阻器 $>10\text{ M}\Omega$ ）的场合，应选用 7555 时基电路或者 7556 时基电路。而在负载较重的场合则应选用 555 时基电路或者 556 时基电路。

6. 使用 CMOS 时基电路应注意的问题

7555 时基电路与 7556 时基电路由于其使用材料的特殊性，在使用过程中极易损坏，故应小心操作。

（1）电源极性

电源极性不得接反，否则将损坏集成电路。使用集成电路插座时，管脚顺序不允许插反。

（2）焊接方面

焊接时，应采用 20 W 内热式电烙铁，电烙铁外壳需接地线，防止因漏电而损坏集成电路。每次焊接时间应控制在 3~5 s 内。为了安全起见，也可先拔下电烙铁插头，利用电烙铁的余热进行焊接。严禁在电路通电时进行焊接。

7. 使用 555 时基电路④脚应注意的问题

在使用 555 时基电路的④脚控制功能时，应注意对其接口要进行适当的处理，否则可能会导致动作失误。

（1）原因说明

图 6-9 所示为简单的受控延时电路，这是一种简易的受控延时开关电路，通常④脚为低电平时，555 时基电路受控不会工作，其③脚也无输出；当④脚为高电平时，电路即可进入工作状态。

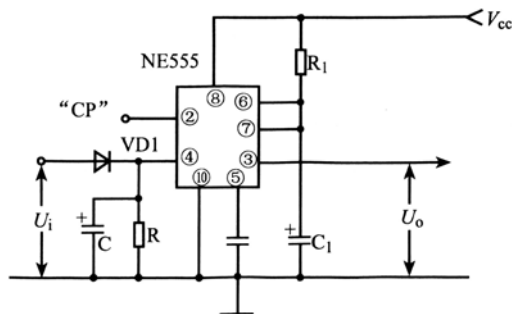


图 6-9 简单的受控延时电路

当 U_i 输入高电平时, ④脚为高电平, 555 时基电路工作, 当 U_i 翻转为低电平时, ④脚通过 R 、 C 并联网络延时, 当 C 放完电后, ④脚恢复为低电平, 555 时基电路处于截止状态。

但在实际应用中可以发现, 当时基电路⑥、⑦脚 RC 组成的定时器工作时, 其④脚上会出现一个跳变的高电压, 从而使电容器 C 被再次充电, 由此就会导致电路不能正常工作。这种现象在部分国产 555 时基集成电路上表现的较为突出, 使用时应采取一定的措施避免这种情况的发生。

(2) 加接开关电路

解决上述缺陷的第一种方法是在 555 时基电路的④脚上增加一个如图 6-10 (a) 所示的三极管开关电路, 可以防止出现跳变电压对 RC 延时网络的影响。

(3) 加接非门电路

解决上述缺陷的第二种方法是将 555 时基电路④脚直接连接于非门电路输入端, 如图 6-10 (b) 所示, 由此也可消除内部电路通过④脚对外电路的影响。

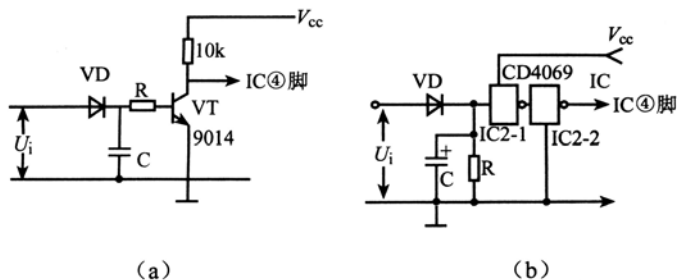


图 6-10 解决 555 时基电路④脚缺陷的方法

6.2 模拟/数字混合集成单稳态电路的识图与应用

时基电路在各种场合应用相当广泛, 其中很多电路都是在基本应用电路的基础上加以改进、扩展、变型以后得到的。时基电路构成的常见基本电路有单稳态触发电路、双稳态触发电路、无稳态工作电路等。

6.2.1 混合单稳态电路的识图与应用指导

由 555/556 时基电路构成的电路形式有多种, 单稳态触发电路就是较常用的一种。

1. 单稳态电路的工作原理

单稳态电路好像是一扇弹簧门, 平时该门总是保持着关闭状态, 只有在外力的作用下该门才会打开; 在全开一段时间以后它又会自动关闭。通常将关闭状态称为“稳态”, 而将从推开门到恢复到关闭这一段时间的状态称为“暂稳态”。这就是单稳态电路的通俗描述。

2. 单稳态电路的特点

单稳态电路的特点主要有以下 3 个方面:

- ① 它有一个稳定状态和一个暂稳状态（或称为准稳态）；
- ② 在无外来脉冲作用时，电路处于稳定状态不变；
- ③ 在外来脉冲的作用下，电路可由稳定状态翻转为暂稳状态，经过一段时间以后，又自动地返回到稳定状态，而暂稳态时间的长短，与触发脉冲无关，仅决定于电路本身的参数。

3. 单稳态电路的适用场合

单稳态触发电路一般用于电路的定时（产生一定宽度的方波）、整形（把不规则的波形转换成宽度、幅度都相等的脉冲）及延时（将输入信号延迟一定的时间之后输出）等。

由 555 时基电路构成的单稳态电路在各种场合应用相当广泛，其中很多电路都是在典型应用的基础上加以改进、扩展、变形后得到的。

6.2.2 混合单稳态电路在定时（延时）电路中的应用与识图

由时基电路单稳态工作方式构成的照明灯延时开关电路如图 6-11 所示。

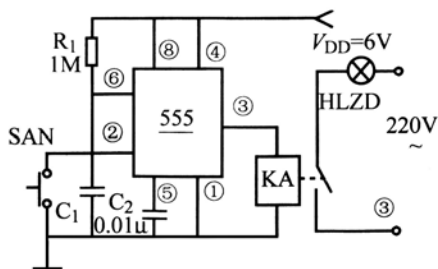


图 6-11 由 555 单稳态工作方式构成的照明灯延时开关电路

1. 未按 SAN 开关

静态时，电容器 C_1 充满电荷，其上电压约等于 6 V，所以 IC1③脚输出为低电平，继电器 KA 释放，触点断开，照明灯泡 HLZD 不亮。

2. 按动 SAN 开关

按动开关 SAN，电容器 C_1 快速放电，其上电压降为零，触发 IC1 使其输出由低电平转变为高电平，驱动继电器 KA 吸合，触点接通，灯泡 HLZD 点亮。

3. 松开 SAN 开关

当松开 SAN 开关以后，电源便通过电阻 R_1 给电容器 C_1 充电，当电容器上电压达到 $\frac{2}{3} V_{CC}$

(4 V) 时，触发 IC1 输出由高电平转变为低电平，继电器 KA 又变为释放状态，灯泡 HLZD 熄灭。这段延时时间由电阻器 R_1 、电容器 C_1 的数值决定，按图 6-11 所示电路中给出数值计算延时时间大约有 110 s。

制作提示:

图 6-11 所示电路稍加变形就可作为其他用途,如增加多挡电容器,电阻器用电位器代替就可以用于印相曝光定时控制等;调整延时时间还可用于高压延时电路,此时还应在 KA 继电器线圈的两端并接一只续流二极管,二极管正极接地。

6.2.3 混合单稳态电路在汽车速率检测电路中的应用与识图

555 单稳态电路可以组成多种检测电路。图 6-12 (a) 所示是由 555 单稳态电路组成的汽车速率检测电路。

1. 识图指导

图 6-12 (a) 所示电路中 R_1 、VDW1、 C_1 是稳压滤波电路,用于将 12 V 蓄电池稳压为 9 V; SA1 为点火开关触点。汽车在行驶时,点火线圈的点火次数与车速是成正比的,也就是说,点火线圈的接通、断开频率与车速成正比。点火线圈的接通与断开会产生脉冲信号,利用这一信号,用一块 555 时基电路即可构成速率表。

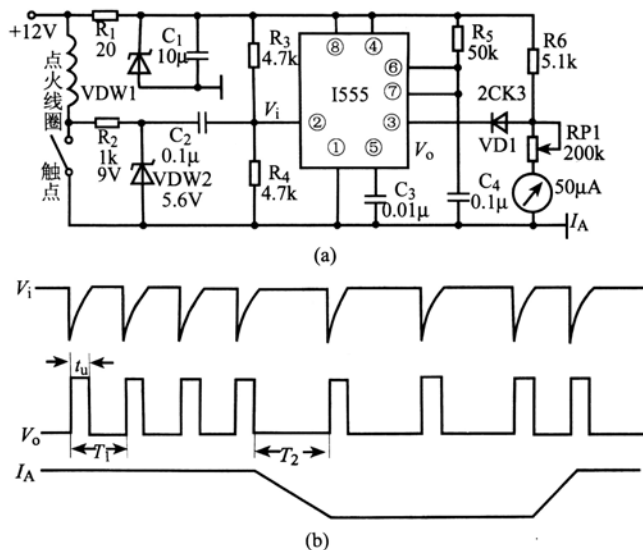


图 6-12 由 555 单稳态电路构成的汽车速率检测电路

2. 工作原理

当点火线圈因接通、断开产生的尖峰脉冲被 R_2 电阻器和 VDW2 稳压管钳位整形后,负向脉冲作为触发信号经 C_2 电容器耦合加到 IC1 的②脚,每一负向触发脉冲使定时电路翻转一次,在③脚产生一个输出脉冲,其宽度为:

$$t_{\mu}=1.1R_5\times C_4=1.1\times 50\times 10^3\times 0.1\times 10^{-6}=5.5\text{ ms}$$

当车速不同时,输出波形 V_o 的占空系数为:

$$D_Y = t_{\mu}/T$$

D_Y 也会随之发生改变, 电表指示出 V_o 的平均值:

$$I_A \approx V_{CC} \cdot t_{\mu}/T$$

由此可见, 当车速快时, t_{μ}/T (这里的 T 为车速快时的振荡周期) 就大; 车速慢时, t_{μ}/T (这里的 T 为车速慢时的振荡周期) 就小, 从而使 I_A 反映了速度的大小。该电路的工作过程是这样的。

点火脉冲通过 R_2 与 VDW2 的钳位和限幅、经 C_2 后作为 555 单稳态电路②脚的触发脉冲。每输入一个负脉冲, 555 单稳态电路翻转一次。当其③脚 V_o 为高电平时, 二极管 VD1 反向阻断, 电源提供的电流流入电流表。当③脚输出为低电平时, VD1 导通, 电源提供的电流经 VD1、③脚入地, 电流表中没有电流。因此电流表中的电流是和输出正向脉冲的宽度成正比的。和频率计的工作原理相似, 输入脉冲频率越高, 输出脉冲占空比就越小, 电流表中的电流就越大, 所以电流表中指针的偏转就表示汽车的速率。

制作提示:

图 6-12 (a) 所示电路应用范围较广, 通过传感器的变换, 该电路还可以进行电动机的转速、温度、压力等的测量。

6.2.4 混合单稳态电路在锯齿波和方波电路中的应用与识图

图 6-13 (a) 所示电路是在普通脉冲启动式 555 单稳态电路的基础上, 增加了一只晶体管 TV1 和二只电阻器 R_1 、 R_2 , VT1 的集电极与发射极串接在定时电阻器上, 相当于与 R_T 串联作为定时电阻器。

VT1 的 c-e 结串联在 R_T 电阻器中, 在电路中具有恒流源的作用; 也就是说, 通过晶体管 VT1 的电流基本上是保持一个恒定不变值。

由于电容器充电电流是按指数规律增长的, 故 C_T 两端的电压也是按照指数规律增长的曲线, 由于 VT1 管的恒流源的作用, 故在 C_T 两端的电压就是一个平直的锯齿波电压。如果触发端 $\overline{TR}$ (②脚) 输入的脉冲是连续的而且输入脉冲的周期 T 大于 t_d 时, 就可以得到连续的锯齿波和方波电压, 如图 6-13 (b) 所示。

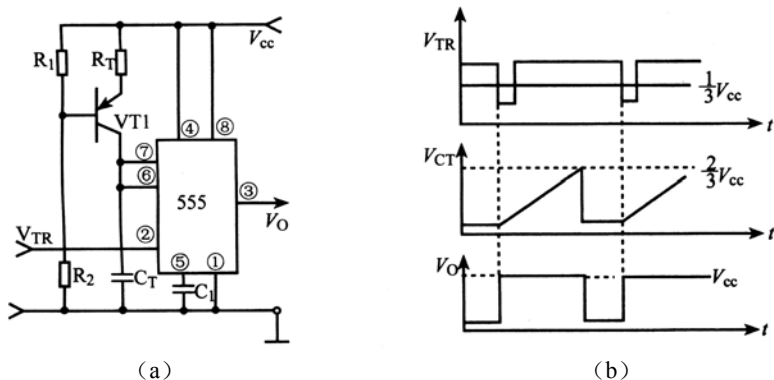


图 6-13 产生锯齿波和方波的 555 单稳态电路及波形

在图 6-13 (a) 所示电路中, R_1 、 R_2 是晶体管 VT1 基极直流偏置电阻器。

6.2.5 混合单稳态电路在 5 分频电路中的应用与识图

分频就是将高频率的信号变换为较低频率的信号。例如对某一信号频率 f 进行 n 次分频, 就是将该频率 f 除以 n , 即:

$$f_o = f/n$$

由于周期的倒数就是频率, 即:

$$f = 1/T$$

从该关系式来看, 对于某一个信号进行 n 次分频, 实际上就是将该信号周期 T 乘以 n , 即:

$$T_o = n \cdot T$$

对于脉冲信号来说, n 次分频就是将脉冲信号周期增大 n 倍, 也就是说单位时间里出现的脉冲个数减少。

例如, 某一信号频率为 $f=10\text{ kHz}$ ($T=0.1\text{ ms}$) 的脉冲进行 $n=5$ 分频, 分频后的脉冲信号频率为:

$$f_o = 10\text{ kHz}/5 = 2\text{ kHz}$$

$$T_o = 1/f_o = \frac{1}{2\text{ kHz}} = 0.5\text{ ms}$$

由 555 单稳态电路组成的分频电路及波形如图 6-14 所示。从图 6-14 (b) 所示可看出, 原来在 1 ms 时间内有 10 个连续的脉冲, 经 5 分频以后就成为 2 个脉冲, 但周期却增大到原来的 5 倍。

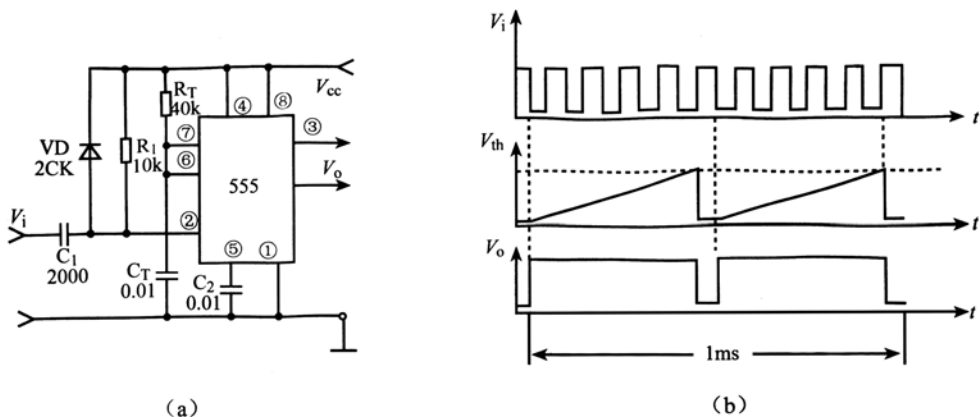


图 6-14 由 555 单稳态电路组成的分频电路及波形图

1. 555 单稳态电路实现分频的原理

在普通脉冲启动式 555 单稳态电路中, 当定时时间 t_d 大于触发脉冲的周期 T 时, 只有

第 1 个脉冲起触发作用，在暂稳态期间的后续触发脉冲均不起作用（属无效脉冲）。只有在定时电容器放电结束，恢复到稳态以后出现的触发脉冲才会再一次起触发作用。555 单稳态电路正是利用这一特性来对任意频率进行分频，制成任意数的分频器。

2. 由 555 单稳态电路构成的分频器

图 6-14 (a) 所示是由 555 单稳态电路构成的分频器典型应用电路。该电路原理与普通脉冲触发 555 单稳态电路没有太大的区别，但其定时电路中 R_T 与 C_T 的数值选用有一定的规律，具体方法如下：

假定要分频的脉冲（即触发脉冲）的周期为 T_1 ，要求进行 n 分频，此时就要选择定时时间 t_d 在 nT_1 与 $(n-1)T_1$ 之间，才可在输出端获得 n 分频的脉冲信号。

例如，上述的 10 kHz 的脉冲信号进行 5 分频，则 t_d 的取值范围为：

$$5 \times 0.1 \text{ ms} > t_d > (5-1) \times 0.1 \text{ ms}$$

如果 $t_d = 0.45 \text{ ms}$ ，根据：

$$t_d = 0.45 \text{ ms} = 1.1 \times R_T \times C_T$$

就可以计算得到 $R_T = 40 \text{ k}\Omega$ ， $C_T = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$ ，图 6-14 (a) 所示电路即可进行 5 分频，图 6-14 (b) 所示为其输出、输入波形。

3. 由单稳态电路构成的压控振荡器

由 555 无稳态电路构成的压控振荡器是通过改变时基电路阈值电压的方法实现用电压来控制频率变化的。除了这种方法以外，也可以采用改变控制电压引起充放电电流变化的方法来实现控制频率变化的目的。因此，如果将控制电压加到 555 单稳态电路的电压控制端 V_C （⑤脚）也可以组成压控振荡器。由 555 单稳态电路构成的基本压控振荡器电路如图 6-15 所示，由 555 单稳态与运算放大器组成的压控振荡器电路如图 6-16 所示。

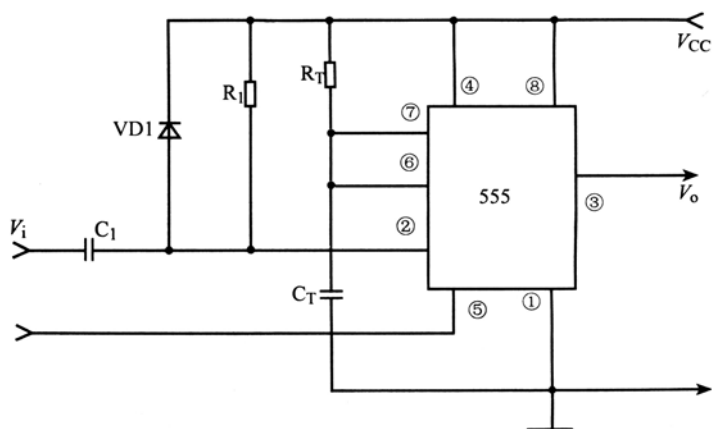


图 6-15 由 555 单稳态电路构成的基本压控振荡器电路

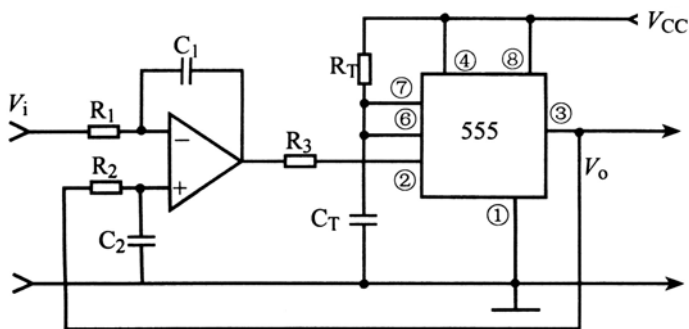


图 6-16 由 555 单稳态与运算放大器组成的压控振荡器电路

(1) 单稳态基本压控振荡电路

由 555 单稳态电路组成的基本压控振荡电路的结构特点是其 555 时基电路的⑥脚与⑦脚连接在充电电阻器 R_T 与电容器 C_T 串联电路的连接点上, ②脚输入被调脉冲, ⑤脚 (V_C 端) 加调制信号 V_{CT} 。

图 6-15 所示电路又称为脉宽调制 PWM 电路, 通常应用于脉宽调制、压频变换、A/D 变换等场合。

(2) 555 单稳态电路与运算放大器组成的压控振荡电路

由 555 单稳态电路组成的压控振荡器类型较多，大多是在基本单稳态工作方式的电路上，有的利用⑤脚的功能，也有在其输入端加接晶体管、场效应管、运算放大器、数字门电路等构成的辅助器件，故电路都比较复杂。

图 6-16 所示是一种由 555 单稳态电路与运算放大器构成的压控振荡电路。该电路的结构特点是未利用 555 时基电路的⑤脚功能，而是在基本脉冲启动式单稳态电路的输入端增加了一级运算放大器构成的电路，来对 555 时基电路②脚输入的信号进行控制。这是一种典型的压频变换器 VFC 电路。通常应用于压频变换、A/D 变换等场合。

6.2.6 混合单稳态电路在电话灯控制电路中的应用与识图

图 6-17 所示是由时基电路 5G1555 构成的电话灯控制电路, 可在夜间电话响铃或摘机拨号时自动点亮, 挂机后延迟一段时间会自动熄灭。

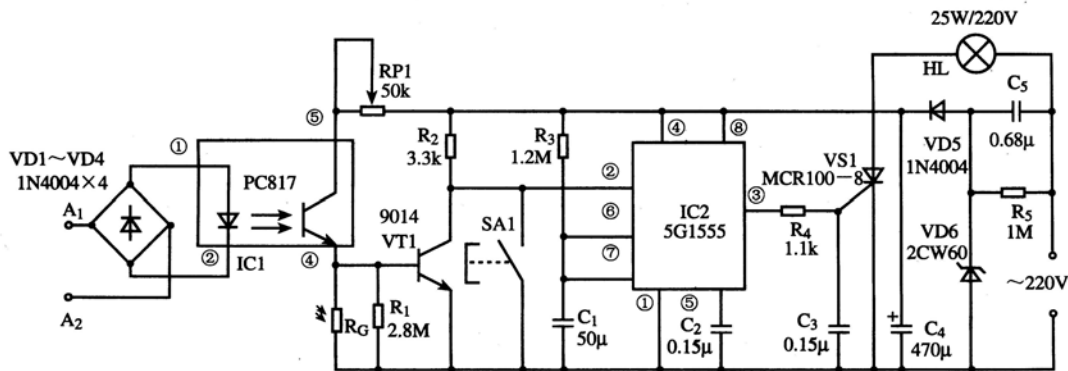


图 6-17 由时基电路 5G1555 构成的电话灯控制电路

1. 不使用电话机时

当无电话打入或未使用电话机时, IC1 截止, 照明灯 HL 不会点亮。

2. 白天使用电话机

由于光敏电阻传感器 R_G 受光照呈低阻态, 从而使 VT1 基极维持低电平而处于截止状态, IC2②脚仍保持高电平, 后级电路不会动作。HL 灯不会点亮, 且不影响电话机的使用。

3. 晚上且室内无光线时

在晚上且室内无光线时, 光敏电阻传感器 R_G 无光照呈高阻态, 且其电阻值远大于 $RP1$ 。这样, 当有电话打进时, IC1 内发光二极管就会导通发光, 其光敏管受光后导通, 从④脚输出的高电平加到 VT1 的基极, 使 VT1 导通, 等效于将 IC2 的②脚接地, 使 IC2 被触发翻转进入暂稳态, 其③脚由低电平翻转为高电平, 经 R_4 触发 VS1 单向晶闸管导通, HL 照明灯点亮。

如果电话铃响结束无人摘机或打完电话挂机后, IC1 的①脚与②脚因失去语音电流, 其内发光二极管熄灭, VT1 截止, IC2 的②脚为高电平, ③脚为低电平, VS1 关断, 照明灯 HL 熄灭。

制作提示:

SA1 为手动开关, 按下后 HL 灯就会点亮。改变 R_3 与 C_1 的值可调整延迟时间, $RP1$ 可调整光控灵敏度。

6.2.7 混合单稳态电路在人体感应自动电风扇控制电路中的应用与识图

图 6-18 所示是应由时基电路 NE555 构成的人体感应自动电风扇控制电路。该电路可在人体接近电风扇的一定距离范围内自动启动工作, 人离开后一段时间, 又会自动停止工作。

1. 识图指导

图 6-18 所示电路主要由 IC1~IC4、BH、M、VS1 为核心构成。其中, IC1 的型号为 TL082, 是一块双运算放大器, 在电路中仅使用了其中的一只运算放大器; IC2 的型号为 LM393, 是一块双电压比较器; IC3 的型号 78L06, 是一块稳压值为 6 V 的三端固定稳压集成电路; IC4 的型号为 NE555, 是一块单时基集成电路; BH 是一种红外多普勒传感器; M 为电风扇电动机; VS1 为双向晶闸管。

图 6-18 所示电路中的 VS1 双向晶闸管用于控制电风扇电动机的供电电压, 当 VS1 导通时, M 就会得电工作, 而 VS1 是否导通, 则受其触发电压的控制, VS1 的触发电压来自于 IC4 输出的信号, 而 IC4 输出的信号则又受其输入信号的控制, 也就是受 VT2 状态的控制, 而 VT2 则又受 IC2-2 输出信号的控制, IC2-2 则又受 IC2-1 输出信号的控制, IC2-1 则接收 IC1 输出的信号, IC1 的输入信号来自于 VT1 输出的信号, VT1 则接收 BH 传感器探

测并转换成的电信号。

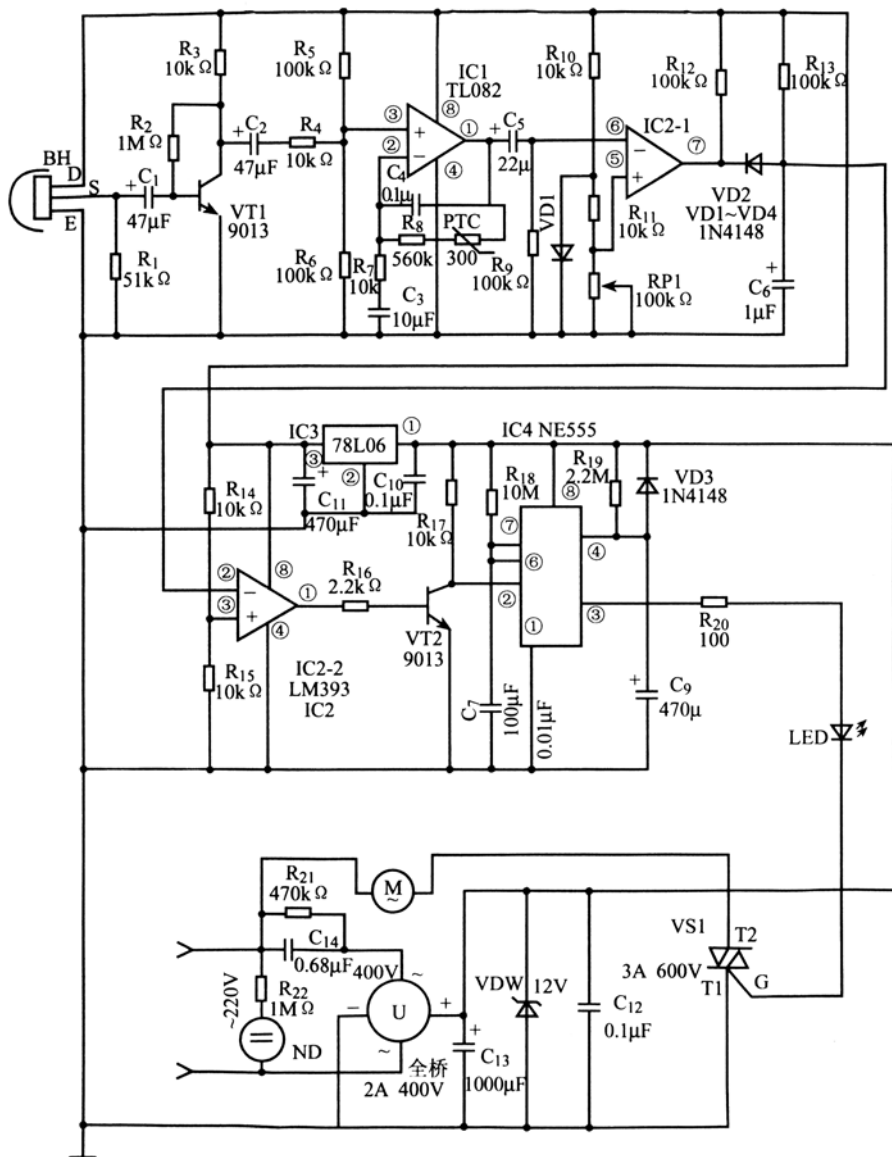


图 6-18 由 NE555 构成的人体感应自动电风扇控制电路

2. 工作原理

图 6-18 所示电路主要由人体感应检测与放大电路、比较电路、单稳电路及电风扇电动机驱动电路、电源电路 4 个部分组合而成。

(1) 供电电路

图 6-18 所示电路中的 ND 为氖管，其与 R_{22} 串联后并接在市电 220 V 两端，用以指示交流电压是否接入自动电风扇控制电路。

220 V 交流电压一路加到电风扇电动机的左端；另一路加到 C_{14} 电容器左端，经 C_{14} 降压后的电压，由整流全桥整流、 C_{13} 滤波、VDW 稳压为 12 V 的直流电压提供给控制电路作工作电源。

(2) 人体感应检测与放大电路

人体感应检测与放大电路由 BH 传感器、IC1、VT1 及其相关电路组成。其中，VT1 组成共发射极反相放大器，IC1 构成同相放大器。

当红外多普勒传感器 BH 探测到人体发出的感应信号时，就自动地将人体发出的红外线转换为低频信号，低频电信号通过电容器 C_1 耦合加到 VT1 管的基极，进行前置放大，放大后的信号从集电极输出，再通过 C_2 、 R_4 加到 IC1 同相信号输入端③脚。

IC1 及其外围元件共同构成的低噪声、高增益放大电路对其③脚输入的信号进行放大后从①脚输出，经 C_5 电容器耦合加到 IC2-1 比较电路上。

(3) 比较电路

IC2-1 及外围元件共同构成了第一级比较放大电路。IC2-1 的同相信号输入端⑤脚为基准电压端，该电压是由 R_{10} 、 R_{11} 、 $RP1$ 分压后得到的；IC2-1 的反相信号输入端⑥脚为比较电压端，比较电压来自于 IC1 的①脚，一旦①脚输出端有足够大的低频脉冲信号，亦即低频脉冲信号的幅值超过 IC2-1⑤脚所设定的基准电压时，IC2-1 的输出端⑦脚就会产生足够大的负脉冲，从而使 VD2 导通后加到 IC2-2 的②脚。

IC2-2 及其外围元件共同构成了第二级电压比较器。IC2-2 的同相信号输入端③脚为基准电压端，该端上的基准电压是由 R_{14} 与 R_{15} 分压后得到的，IC2-2 的反相信号输入端②脚为比较电压端，比较电压来自于 IC2-1 的⑦脚。这样，IC2-1⑦脚输出的负脉冲的幅值与 IC2-2③脚设定的基准电压的差值越大，IC2-2①脚所输出的正脉冲幅值越高。

(4) 单稳电路

单稳电路由 IC4 及其外围的有关元件共同组成。当 IC2-2①脚有脉冲信号输出时，一旦该脉冲的幅值使 VT2 管正偏时，VT2 导通，等效于将 IC4 的②脚接地。

IC4 的②脚为置位端，当该脚由高电平转变为低电平后，IC4 被置位，其输出端③脚由低电平翻转为高电平。这一高电平通过限流电阻器 R_{20} 使发光二极管导通点亮，并触发双向晶闸管 VS1 导通，电动机 M 就会得电运转。只要人体在 IC4 的单稳时间：

$$t=1.1\times R_{18}\times C_7$$

内稍动一下，电风扇即可再继续运转一段时间。根据图 6-18 所示电路中给定的数据，继续运转的时间约 18 min（也可视具体情况，设计得短一些）。直到人体离开 BH 传感器探测的区域后，电风扇仍会继续工作一段时间，然后才会自动断电关机，这样就实现了电风扇的全自动化控制。

6.3 模拟/数字混合双稳态电路的识图与应用

555/556 时基集成电路构成的双稳态电路可以作为触发器使用。施密特触发器是应用十分广泛的一种电路。

6.3.1 典型模拟/数字混合双稳态电路的识图与应用指导

由 555/556 时基电路构成的双稳态工作方式较常见的有两种：一种是 R-S 触发电路，另一种是施密特触发电路。

1. 双稳态电路基本特性

双稳态电路又称为双稳态触发器，是一种具有两个或两个以上输入端和两个输出端的电路。它的输出状态是由输入状态、输出原来的状态和触发器的性能决定的。它的输出有两个稳定状态，两个输出端 Q 和 $\bar{Q}$ 总是处在相反的状态，类似于翘翘板那样总是一高一低。当输出状态确定以后，即使撤除输入端的信号，输出的稳定状态仍保持不变，直到下一个输入触发信号作用后才会做出反应。

由于双稳定电路具有两种稳定状态，且必须在外加脉冲的触发下才会翻转，故称这种电路为双稳态触发电路，简称为双稳态电路。常见的双稳态触发器有 R-S 触发器、D 触发器、J-K 触发器等。

2. 双稳态电路应用说明

由 555 时基电路构成的双稳态电路应用的广泛程度不如前面介绍的单稳态工作方式和后面介绍的无稳态工作方式。这主要是已有大量的价廉质优的集成 R-S 触发器和施密特触发器面世所致，不必用 555 时基电路构成的电路来代用。

6.3.2 混合双稳态电路在路灯自动开关控制电路中的应用与识图

由 555 双稳态电路构成的路灯自动开关控制电路如图 6-19 所示。该灯早晨自动关闭、晚上自动开启。

1. 识图指导

图 6-19 所示电路中的 555 时基电路连接成施密特触发器方式。 R_G 为硫化镉 (CdS) 光敏电阻器，该电路有光照时电阻值变小，只有几十千欧左右；没有光照时电阻值变大，可大于几十兆欧。利用 R_G 的这种光敏特性，就可自动控制路灯的开启与关闭。

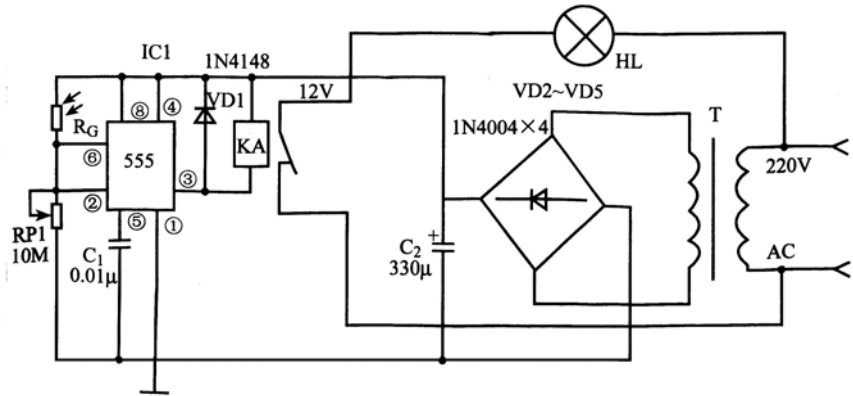


图 6-19 由 555 双稳态电路构成的路灯自动开关控制电路

2. 工作原理

在白天有光照时, R_G 电阻值变小, 输入端 V_i 为高电平加到 IC1②脚、⑥脚上, 使输出端 V_o (③脚) 为低电平, KA 继电器线圈得电吸合, 其常闭触点断开, 路灯失电就会熄灭。

当傍晚光线暗到一定程度时, R_G 光敏电阻值逐渐变大, 输入端 V_i 的电压也逐渐降低, 当 V_i 降低至约 4 V 以下时, IC1 输入端的 $V_R=0$ 、 $V_S=0$, 输出为高电平 $V_o=1$ 。继电器 KA 断开, 其常闭触点复位后接通, 使路灯 HL 得电点亮。

到了第二天黎明, 随着天色逐渐变亮, 光敏电阻器 R_G 的电阻值随着光照的增强, 电阻值逐渐变小, 使输入端 V_i 电压也逐渐上升。一旦 V_i 电压上升至 9 V 以上时, IC1 输入端的 $V_R=1$ 、 $V_S=1$, 于是其③脚输出电平又翻转为低电平, 使 KA 继电器线圈得电吸合, 其常闭触点断开, 又切断了 HL 的供电, 路灯 HL 又熄灭。

制作提示:

调整 RP1 的值, 使晚上 R_G 失去光照时, IC1③脚输出为高电平, 则早晨 R_G 受到光照时, IC1 输出 V_o 变为低电平, 驱动继电器 KA 的释放与吸合, 可形成对路灯的自动控制。如果路灯负载较大时, 可选用继电器对接触器线圈进行控制, 然后再由交流接触器的触点对接路灯 HL 的供电进行控制。

VD1 为续流二极管, 用于保护 555 时基电路内部输出三极管不致损坏。

6.3.3 混合双稳态电路在波形变换和整形电路中的应用与识图

由 555 构成的施密特波形变换与整形电路及波形如图 6-20 所示。

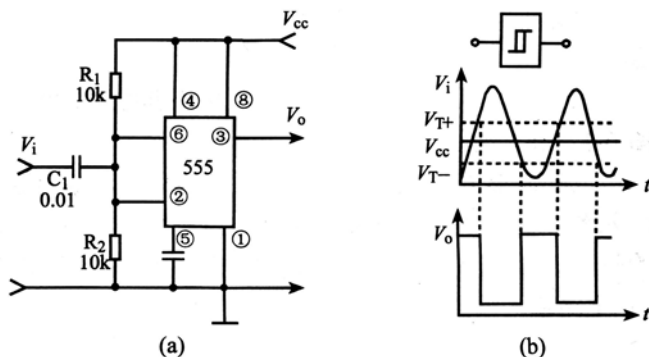


图 6-20 由 555 构成的施密特波形变换与整形电路及波形

1. 识图指导

在图 6-20 (a) 所示电路中, 555 时基电路的输入端用 2 只 10 k Ω 的电阻器 R_1 与 R_2 分压为 $\frac{1}{2} V_{CC}$ 后加到 555 的②脚与⑥脚上, C_1 为耦合电容器, 用于将 V_i 电压耦合后加到 IC1 的两个输入端, 这两个输入端的阈值电压分别为:

$$V_{T+} = \frac{2}{3} V_{CC} \quad V_{T-} = \frac{1}{3} V_{CC}$$

2. 波形变换工作原理

用施密特触发器可以将正弦波变换成矩形脉冲,如图 6-20 (b) 所示。当交流正弦信号加到图 6-20 (a) 所示电路的 V_i 输入端,在波形上升时, V_o 在 V_{T+} 处翻转;在波形下降时, V_o 在 V_{T-} 处翻转。由于输入端的直流电压被设置在 $\frac{1}{2} V_{CC}$ 上,故在 IC1 的③脚上可以获得较为规则的矩形脉冲。这就是图 6-20 (a) 所示电路的波形变换功能。

3. 波形整形工作原理

在脉冲数字电路中,矩形脉冲在进行远距离传输后,往往会出现波形畸变现象。矩形脉冲经远距离传输失真的波形如图 6-21 所示。其原因主要有以下两个方面。

(1) 传输线较长

由于传输线较长,两根线之间相当于有一只较大的电容器,该电容器的充放电作用会使原来直上直下的矩形脉冲产生失真,而变成了锯齿状的脉冲,如图 6-21 (a) 所示。

(2) 阻抗不匹配

当传输线较长而且在连接部分阻抗不匹配时,就会导致波形的前后沿出现颤抖现象,如图 6-21 (b) 所示。

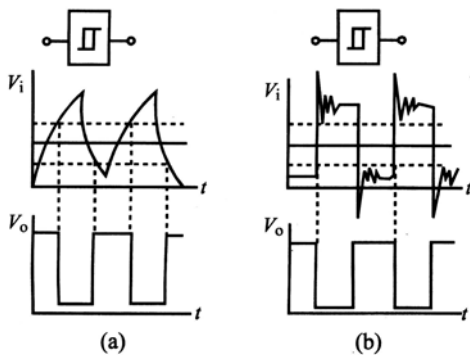


图 6-21 矩形脉冲经远距离传输失真的波形

上述这两种情况造成的波形失真如不加以处理而直接利用,则会导致不良后果。如果将这种畸变的波形送入图 6-20 (a) 所示施密特触发电路进行处理以后,从 IC1 的输出端③脚就可以得到原来的规则矩形脉冲,这就是 555 时基电路构成的施密特触发器的整形功能。

图 6-20 (a) 所示电路输入端的两个阈值电压分别为:

$$V_{T+} = \frac{2}{3} V_{CC}, \quad V_{T-} = \frac{1}{3} V_{CC}$$

故它的回差电压为:

$$\Delta V_T = \frac{2}{3} V_{CC} - \frac{1}{3} V_{CC} = \frac{1}{3} V_{CC}$$

如需要较大的回差电压,可以在电压控制端 V_c (⑤脚) 加一个直流电压。控制电压 V_c 的值越大,得到的回差电压也越大。

6.3.4 混合双稳态电路在汽车前照灯自动开关电路中的应用与识图

图 6-22 所示是由 LM555 构成的汽车前照灯自动开关电路。是一种防眩目的有效装置,适用于各种车辆的前照灯控制。

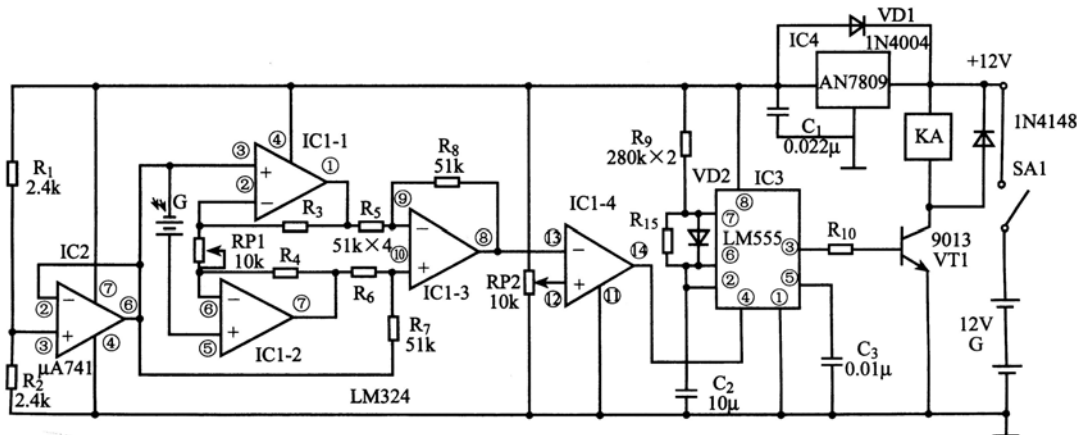


图 6-22 由 LM555 构成的汽车前照灯自动开关电路

1. 识图指导

图 6-22 所示电路主要由 IC1~IC4、VT1、KA 继电器等元器件组成。其中, IC1 (LM324) 为四运算放大器; IC2 (uA741) 为单运算放大器; IC3 (LM555) 为时基电路; IC4 (AN7809) 是稳压值为 9 V 的三端固定稳压集成电路。

KA 继电器的触点用于控制近光灯和远光灯的接通与断开,而 KA 继电器线圈中的电流通路受 VT1 管的控制,VT1 又受 IC3 状态的控制,而 IC3 的工作状态则受 IC1 电路的控制,IC1 则又受光电池 G 光照强弱的控制。

2. 工作原理

图 6-22 所示电路的工作原理可以从以下 3 个方面来进行分析说明。

(1) 对方灯光较强时的车灯状况

会车时,当对方汽车灯光照到本车的光电池 G 上时,在光电池上产生一个微小电势,该信号经 IC1-1、IC1-2、IC1-3 三个运算放大器组成的测量放大器进行放大,RP1 是放大倍数调整电阻器,放大后的信号从 IC1-3 ⑧脚输出,加到 IC1-4 反相信号输入端⑬脚。

IC1-4 同相信号输入端⑫脚上的基准电压取自 IC4 输出的 9 V 电压,该电压是经 RP2 分压后得到的。⑫脚上的电压与⑬脚上的电压进行比较。如果⑬脚上的电压大于⑫脚上的基准电压,则说明对方车灯光或外界灯光超过一定强度,IC1-4 ⑭脚输出低电平,该信号加至 IC3 的④脚,迫使 IC3 自动复位,其③脚输出低电平,该信号经 R_{10} 加至 VT1 管基极,使其截止,继电器 KA 线圈中的电流通路断开,由于继电器 KA 的常开触点控制着远光灯,当 KA 线圈断电以后,远光灯熄灭,汽车工作在近光状态。

(2) 对方灯光不强时的车灯状况

如果对方车灯灯光或环境光不强,经放大后加到 IC1-4③脚上的电压小于⑫脚电压,IC1-4④脚输出高电平,该信号加到 IC3④脚,使 IC3 处于振荡状态,VD2 是开关二极管,它可使输出为高、低电平的时间基本相同,都是:

$$t=0.693R_9\times C_3$$

根据图 6-22 所示电路中给出的数据, t 设定在 1.9 s 左右。车灯是按照 1.9 s 远光, 1.9 s 近光的交替状态进行工作。

RP2 用于调节 IC1-4 的给定基准电压,它的大小应以不使司机眩目,并能防止杂散光干扰自动开关工作为宜。

IC2 与 R_1 、 R_2 构成的电压跟随电路,给检测放大电路提供电源。

(3) 供电电路

IC4 是一块三端固定稳压集成电路,用于将 12 V 蓄电池电压稳压为 9 V 后提供给控制电路。

制作提示:

图 6-22 所示电路中的 6 只 51 kΩ 电阻器 ($R_3\sim R_8$) 应尽量相同。

6.3.5 混合双稳态电路在水塔水位控制电路中的应用与识图

图 6-23 所示是由 555 施密特触发器构成的小型水塔水位控制电路。适用于农村、学校、山区家庭或单位自建水塔从井内取水的供水系统。

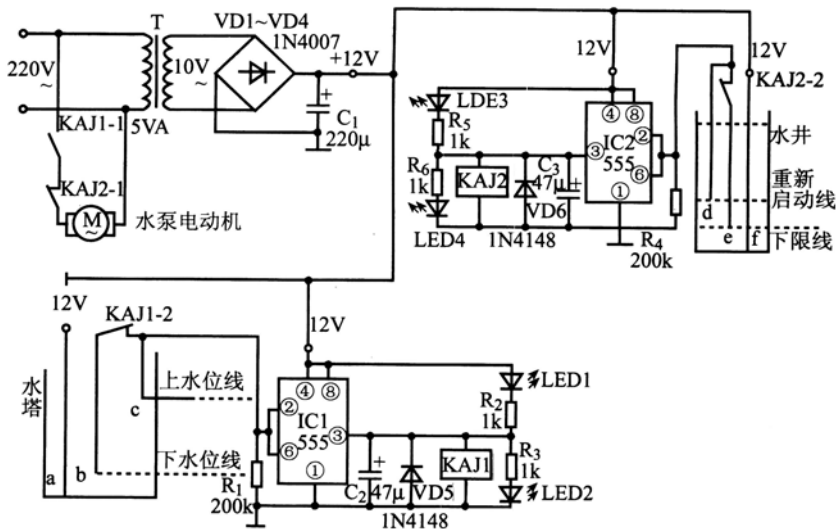


图 6-23 由 555 施密特触发器构成的水塔水位控制电路

1. 识图指导

图 6-23 所示电路主要是由两块 555 时基电路构成的水塔水位控制电路。IC1 组成的电

路用于对水塔水位进行控制，IC2 组成的电路用于对水井水位进行控制。a、b、c 是水塔中的三个电极，d、e、f 是水井中的三个电极。供电电压为 220 V 交流电，一路去水泵电动机控制电路，另一路加至电源变压器 T 的初级，经变压器变压后从其次级输出 10 V 左右的交流低压，该电压经 VD1~VD4 桥式整流和 C₁ 电容器滤波，得到的约 12 V 直流低压给控制电路提供工作电源。

2. 水井中水量充足，KA2-1 处于常闭状态

水塔中水位低于下水位线时，a、b 电极断开，IC1②与⑥脚为低电平 ($< \frac{1}{3} V_{CC}$)，其③脚输出高电平，使 KA1 继电器线圈得电吸合，其常开触点 KA1-1 闭合，使水泵电动机得电泵水，常闭触点 KA1-2 断开 b、c 电极，同时发光二极管 LED2 导通发光，以示水塔处于上水状态。

水塔水位处于上、下水位线之间时，此时由于 KA1-2 触点处于断开状态，故电路工作状态不变，继续处于向水泵内抽水状态。

水塔水位升至上水位线时，此时电极 a、c 由水电阻连通，IC1②脚与⑥脚电位升于 $\frac{2}{3} V_{CC}$ 以上，其③脚变为低电平，KA1 继电器线圈断电释放，故 KA1-1 触点断开，使水泵电动机断电停止往水塔内泵水，KA1-2 触点闭合，同时发光二极管 LED1 导通发光，以示水塔处于放水状态。

水位放至上、下水位线之间时，此时，由于 KA1-2 触点处于闭合状态，故电路状态不变，水泵仍维持停止状态。

水位放至下水位线以下时，此时，电路再次按上述程序进行工作。

上述控制过程循环往复，周而复始，使水塔内的水位始终保持在上、下水位线之间。

3. 水井中水位低于下限线，KA2-1 断开

以上工作过程是在水井中的水量充足的情况下水塔抽水的情况。事实上，一般家用水井抽一次水往往不能将水塔装满。因此，要保证自动控制电路的正常工作，必须要设置有防水井水位过低装置。

在图 6-23 所示电路中，当井中水位被抽低至下限时（此时进水管端尚未露出水面），电极 e、f 断开，IC2 的②脚与⑥脚电位低于 $\frac{1}{3} V_{CC}$ ，其③脚输出高电平，使 KA2 继电器线圈得电吸合，其常闭触点 KA2-1 断开，从而切断了对水泵电动机 M 的供电，使其停止泵水，常闭触点 KA2-2 断开了 d、e 电极；同时 LED4 发光二极管导通发光，以示井水处于欠水状态。

4. 水井中水位升至下限线以上、重新启动线以下时，KA2-2 断开

当水井中渗水水位升至下限线以上、重新启动线以下时，由于 KA2-2 触点处于断开状态，故电路状态不变，KA2 继电器保持吸合状态，水泵仍不会工作，由此即可防止进水水位在下限线临界时出现频繁动作。

5. 水井中水位升至重新启动线

当水井中的水位渐渐上升达到重新启动线时，电极 d、f 由水导电作用而接通，IC2 的②与⑥脚电位升至 $\frac{2}{3}V_{CC}$ 以上，其③脚由高电平翻转为低电平，使 KA2 继电器线圈断电释放，其 KA2-1 触点闭合，使水泵电动机 M 又得电重新启动泵水，KA2-2 触点也闭合，接通了 d、e 电极；同时，LED3 发光二极管导通发光，以示井水不欠水。

6. 水井中水位处于下限线与重新启动线之间，KA2-2 处于常闭状态

当水井中的水位被抽出而下降至下限线与重新启动线之间时，由于 KA2-2 触点处于闭合状态，故电路状态不变，KA2 继电器仍维持在释放状态，水泵继续处于往水塔内泵水状态。由此就保证了井中水位始终不会低于下限线。

制作提示：

- ① 由于一般的家用水泵功率不是很大，故 KA1、KA2 继电器可使用 JQX π -4F 等型号 12 V 的直流继电器，其空余的相同状态的触点可以并联使用以增大触点的容量。如果是三相水泵，可用继电器控制交流接触器线圈，由交流接触器触点去控制三相水泵电动机的供电。
- ② LED1~LED4 可使用不同颜色的高亮度发光二极管，并设置在醒目的地方。
- ③ a~e 电极可用不锈钢丝组成，其长短根据实际需要截取。

6.4 模拟/数字混合无稳态电路的识图与应用

直接反馈式 555 无稳态多谐振荡器电路多应用于方波输出、音响告警、电源变换等；间接反馈式 555 无稳态多谐振荡器电路和占空比可调脉冲振荡器被大量用做脉冲信号发生器、音响告警、家电控制、电子玩具、检测仪器、电源变换、定时器等。

6.4.1 混合无稳态电路在音响门铃电路中的应用与识图

图 6-24 所示是一种由 NE555 无稳态多谐振荡器构成的“叮咚”门铃电路，其音质优美。

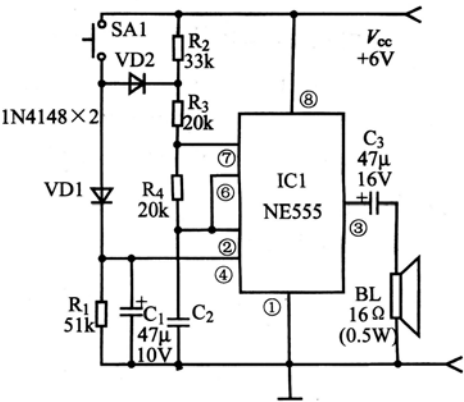


图 6-24 由 NE555 无稳态多谐振荡器构成的“叮咚”门铃电路

1. 识图指导

图 6-24 所示电路中的 R_2 、 R_3 、 R_4 、 C_2 、IC1、 C_3 构成了间接反馈式 NE555 无稳态多谐振荡器电路；SA1 为门铃按钮开关，VD1、VD2、 R_1 、 C_1 配合 SA1 完成门铃控制功能。

2. 工作原理

当按下门铃开关 SA1 后，电源电压 V_{CC} 经 VD1 对 C_1 进行快速充电，使 IC1 电路的④脚电压大于 0.7 V，总复位状态消失，IC1 电路与 R_2 、 R_3 、 R_4 、 C_2 等组成的无稳态多谐振荡器启振，其充电时间常数为：

$$t_1 = 0.693 (R_3 + R_4) \times C_2$$

放电时间常数为：

$$t_2 = 0.693 R_4 \times C_2$$

扬声器发出“叮……”声。

随着 SA1 开关的松开，电容器 C_1 上的电荷通过 R_1 放电，但④脚电位最初仍大于 0.7 V，故此时 NE555 多谐振荡器通过 R_2 、 R_3 、 R_4 对 C_2 充电，通过 R_4 、IC1⑦脚内放电开关进行放电，振荡频率降低，扬声器发出“咚……”声。

最后，电容器 C_1 上的电位放电至小于 0.7 V 时，IC1 强行复位，电路处于静态，为下一次工作做好准备。

6.4.2 混合无稳态电路在救护车警笛声电路中的应用与识图

救护车的警笛声是高低两种音调交替出现的结果，交替的周期大约是 1~1.5 s。图 6-25 所示是由两块 NE555 时基电路构成的模拟救护车警笛声电路。

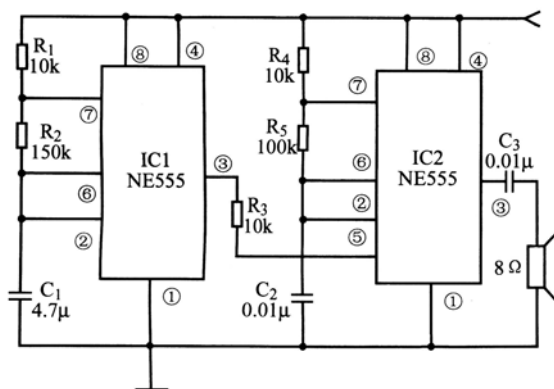


图 6-25 由 NE555 时基电路构成的模拟救护车警笛声电路

1. 识图指导

在图 6-25 所示电路中，两只 555 时基电路均连接成多谐振荡器方式，只是振荡频率不同。其中，IC1 的振荡频率约为 1 Hz 左右；IC2 的振荡频率约为几百赫。IC1 的输出经 R_3

接到 IC2 的⑤脚，所以 IC2 实际上是一个压控振荡器，其工作状态受 IC1 输出 1 Hz 方波电压的控制。

2. 工作原理

当 IC1 输出为高电平时，IC2 的基准电压变高，充放电时间延长，电路的振荡频率变低；当 IC1 输出为低电平时，IC2 的基准电压变低，电容器充放电时间缩短，电路的振荡频率变高。于是扬声器发出“嘀-嘟，嘀-嘟……”的声音。

制作提示：

图 6-25 所示电路是利用 IC1 的输出方波去调制 IC2 的振荡频率，从而形成了救护车警笛声的效果。如果用三角波去调制 IC2 的振荡频率，则可以形成公安警车声效果。因为多谐振荡器产生振荡的基本原理是利用电容器的充放电，而电容器的充放电波形近似为三角形，所以在图 6-25 所示电路中，如将 IC1②脚、⑥脚上的电压（实际上是电容器 C_1 上的电压）经一个三极管放大后加至 IC2 的③脚，便可形成公安警车的报警声。

6.4.3 混合无稳态电路在音频信号发生电路中的应用与识图

图 6-26 所示是由 555 无稳态多谐振荡器构成的最简单的信号发生电路。它的振荡频率为：

$$f=1.443/(R_1+2R_2+2R_{RP}) \times C_1$$

调整电位器 RP 的电阻值，可能使振荡频率在 300 Hz~10 kHz 之间变化。根据图 6-26 中的数据制成的电路可作为测试收音机的音频信号源。

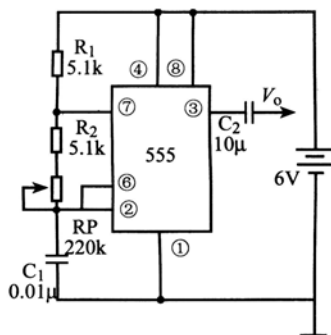


图 6-26 由 555 无稳态多谐振荡器构成的最简单的信号发生电路

6.4.4 混合无稳态电路在中频信号发生电路中的应用与识图

如果将图 6-26 所示电路中有关元件的数值减小，便可得到图 6-27 所示的由 555 无稳态多谐振荡器构成的中频信号发生电路。如改用交流供电，用桥式整流而不加滤波电容器，输出端得到的就是被 100 Hz 调幅的 465 Hz 中频信号，可以用做调整收音机的中频信号源。

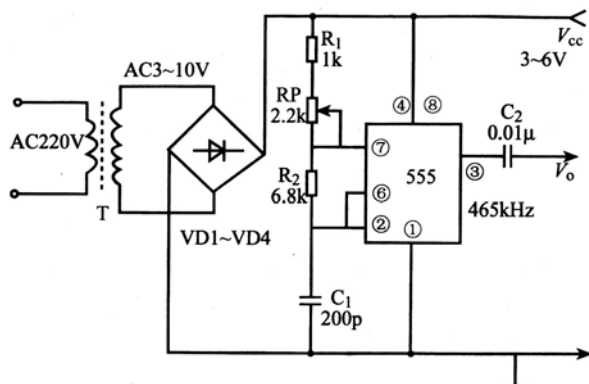


图 6-27 由 555 无稳态多谐振荡器构成的中频信号发生电路

6.4.5 混合无稳态电路在锯齿波发生电路中的应用与识图

如果在 555 无稳态多谐振荡器电路的③脚为矩形脉冲信号输出的同时,再用放电端 DIS (⑦脚)加一级射极跟随器 VT1,就可得到一个射极输出锯齿波,并经 C_2 将输出送回到 R_1 和 R_2 之间形成正反馈,使 V_{O2} 端的输出成为有较好线性的锯齿波电压。由 555 无稳态多谐振荡器构成的锯齿波发生电路如图 6-28 所示。

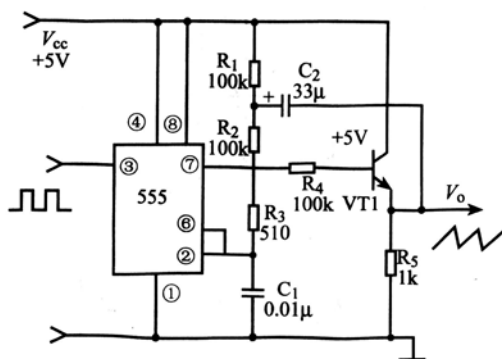


图 6-28 由 555 无稳态多谐振荡器构成的锯齿波发生电路

6.4.6 混合无稳态电路在红外遥控发射电路中的应用与识图

由 555 无稳态多谐振荡器构成的红外遥控发射电路如图 6-29 所示。该电路结构十分简单,它实际上就是一个脉冲振荡电路,用输出的脉冲信号驱动红外发射二极管 LED 向外发射红外光。

在图 6-29 所示电路中,由于 $R_{RP} \geq R_1$,故电容器 C_1 的充电时间 t_1 远大于放电时间 t_2 。在 C_1 放电的短暂时间内相当于输出一个负的窄脉冲,使 LED 因通过较大电流而发出很强的红外光。

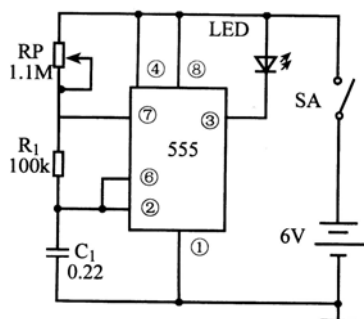


图 6-29 由 555 无稳态多谐振荡器构成的红外遥控发射电路

6.4.7 混合无稳态电路在玩具枪声效发生电路中的应用与识图

由 555 无稳态多谐振荡器构成的玩具枪声效发生电路如图 6-30 所示，该电路应用于玩具枪上。当扣动扳机时喇叭就会发出“嗒……”的机枪声。其 IC1 构成脉冲信号节奏发生器，IC2 构成枪声效多谐振荡器。调节 R_4 值可以改变 IC2 的振荡频率而使机枪声更加逼真。调节 R_{RP1} 值，可改变 IC1 的振荡周期，使机枪发声产生快慢速效果。

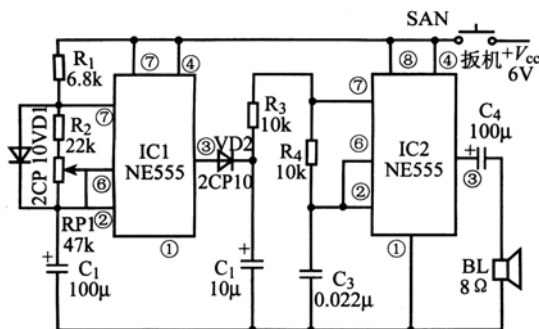


图 6-30 由 555 无稳态多谐振荡器构成的玩具枪声效发生电路

6.4.8 混合无稳态电路在晶体管检测电路中的应用与识图

图 6-31 所示是由 555 无稳态多谐振荡器构成的晶体管检测电路，它是一种用来测试晶体三极管与晶体二极管好坏的电路。

1. 识图指导

图 6-31 所示电路中的 555 时基电路连接成多谐振荡器状态，振荡频率可选在几十赫。555 时基电路的输出分成三路：一路经 R_4 、发光二极管 LED1、LED2 加至待测晶体管的集电极；另一路经 R_6 加至待测晶体管的基极；还有一路经三极管 VT1 反相放大后加至待测晶体管的发射极。显然，加到待测晶体管集电极和基极的脉冲振荡信号是同相的，而加到待测晶体管发射极的脉冲振荡信号与上述两路信号是反相的。

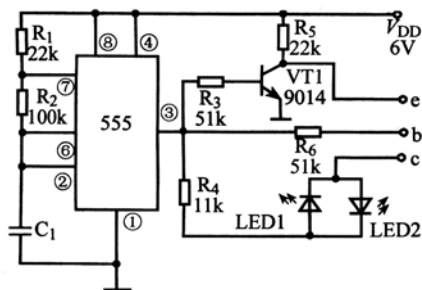


图 6-31 由 555 无稳态多谐振荡器构成的晶体管检测电路

2. 工作原理

假设被测晶体管是好的 NPN 管，则当 555 时基电路的③脚输出脉冲振荡信号为正半周高电平时，被测晶体管导通，LED1 点亮；负半周低电平时，被测晶体管截止，LED1、LED2 均熄灭。所以总的看起来是 LED1 闪亮、LED2 一直熄灭。如果被测晶体管是好的 PNP 管，则按照上述分析方法，应该是 LED1 一直熄灭，LED2 闪亮。

如果被检测晶体管是已经被击穿的坏管，则正半周 LED1 亮，负半周 LED2 亮，总的看起来是 LED1、LED2 交替交光；如果被测晶体管是已经开路的坏管，则 LED1、LED2 均不亮。

由此可见，图 6-31 所示电路不仅能判断三极管的好坏，而且还能判别三极管是 NPN 型的还是 PNP 型的。

测量晶体二极管时，只用 c、e 测试端，测试原理同前所述，而且也可以判断二极管的极性。图 6-31 所示电路的电源既可以使用一节电池，也可以采用交流变直流的稳压电源。

6.4.9 混合无稳态电路在直流升压电路中的应用与识图

许多仪器除需一种电源电压外，有的局部电路还需要较高的电压，555 时基电路构成的直流升压器就可满足这种要求。图 6-32 所示就是一种由 555 无稳态多谐振荡器构成的直流升压电路。

1. 识图指导

图 6-32 所示电路中的 555 时基电路连接成自激振荡器方式，振荡频率为：

$$f=1.443/[(R_1+2R_2) \times C_1]$$

根据图 6-32 所示电路中所给定的数据，可求得该电路的振荡频率为 10 kHz 左右。

2. 工作原理

当接通电源以后，IC1 及其外围元器件构成的自激振荡电路工作，产生的振荡信号从③脚输出，经 VD1、VD2 倍压整流，输出的电压约为输入电压的 2 倍，负载能力为 50 mA，负载越轻，输出电压越高。

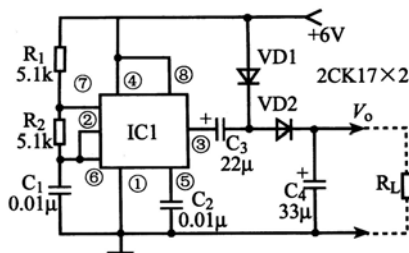


图 6-32 由 555 无稳态多谐振荡器构成的直流升压电路

图 6-32 所示电路空载输出电压 V_o 为 11.5 V；当负载 R_L 为 27 k Ω 时， $V_o=9.7$ V，当 $R_L=200$ k Ω 时， $V_o=10.3$ V。如将 VD2 换为锗二极管 2AP 或 2AK，输出电压可提高 0.5 V 左右。

6.4.10 混合无稳态电路在双电源产生电路中的应用与识图

图 6-33 所示是由 555 无稳态多谐振荡器构成的双电源产生电路。这是一种直接反馈式无稳态电路，电路工作时先将直流电压变为交流电压，使 555 时基电路的③脚输出占空比为 1:1 的方波脉冲，由于二极管 VD1、VD2 串接在 C_3 、 C_4 电容器的回路中，而 VD1 二极管采用正向连接方式，可得到正的 V_{CC} 电压，VD2 二极管采用反向连接方式，可得到负的 V_{CC} 电压，由此就得到了一组幅值相同极性相反的双电源。

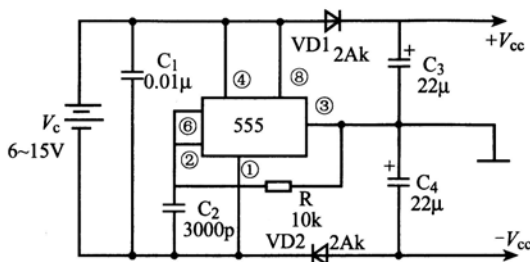


图 6-33 由 555 无稳态多谐振荡器构成的双电源产生电路

6.4.11 混合无稳态电路在自动探测器电路中的应用与识图

图 6-34 所示是由时基电路 NE555 构成的超声波传感自动探测电路, 探测距离在 0.2~3.5 m 之间可调, 适用于轿车车厢防侵入探测, 车尾行李箱防盗, 货车车厢防盗, 汽车倒车防撞, 柜台、橱窗、抽屉防盗, 配电柜防触电探测, 人体接近报警等。

图 6-34 所示电路主要由超声稳频发射、超声接收放大、多普勒拍频放大和双脉冲检测输出 4 个部分组成。

1. 超声稳频发射电路

超声稳频发射电路主要由非门电路 IC1、晶振 XT1、超声波发射传感器 T40-16 等组成。IC1-1~IC1-3 和 XT1 等构成 40 kHz 精密振荡器, 输出信号经 IC1-1 整形, 推动超声发

射传感器 T40-16 向空间发射 40 kHz 的超声波。

2. 超声波接收放大电路

超声波接收放大电路由超声波接收传感器 R40-16、VT1、VT2 等组成。R40-16 是 T40-16 的配对接收器，其将空间 40 kHz 超声波转变为 40 kHz 脉冲电压，经 C_2 耦合，由 VT1、VT2 两级线性放大器放大后输出。

3. 多普勒拍频放大电路

由 VD1、VD2、VT3、VT4、VT5、IC1-4、IC1-5 等组成了多普勒拍频放大电路。当探测空间为静态平衡时，前级接收放大的是稳定的 40 kHz 信号。如果探测空间有物体运动，则该运动物体上所反射的超声波会发生频率偏移，即多普勒效应。此时，前级接收放大的将是两个频率所形成的拍频，经本级的 VD1、VD2 检波， C_6 、 C_7 滤波，将拍频信号取出，并经 VT3、VT4、VT5、IC1-4、IC1-5 等多级放大后，输出数字电平信号。

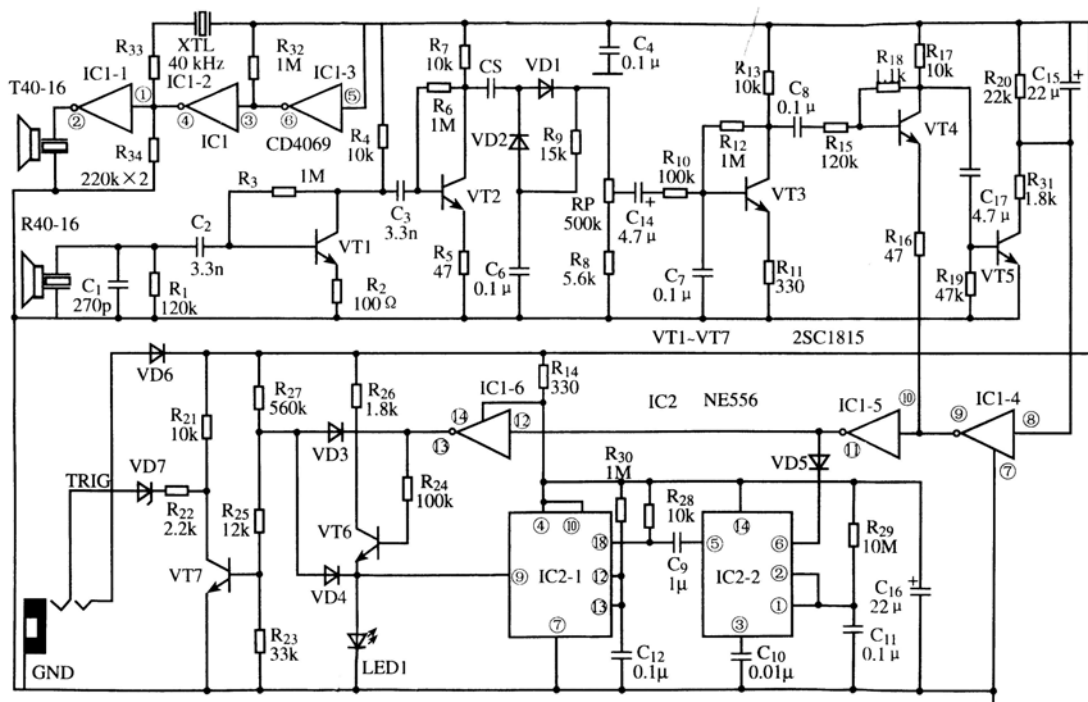


图 6-34 时基电路 NE555 构成的超声波传感自动探测电路

4. 双脉冲检测输出电路

双脉冲检测输出电路由 IC2、IC1-6、VD3、VD4、VT7 等组成。拍频信号一方面经 IC1-6、VT6 直接驱动 LED1 发光二极管指示检测状况；另一方面送到由双时基集成电路 IC2 组成的两级单稳延迟电路，输出一个经延迟、展宽的电平。VD3、VD4、VT7 组成一个与非门电路，只有当 IC1-6 与 IC2 的输出均为高电平时，VT7 才输出低电平。因此探测空间的每

一个动静都会被 LED1 显示,但不一定有输出,必须是一连串动静形成的多脉冲信号才能使与非门翻转,因此可以防止因偶然扰动等因素造成的误报警。

6.4.12 混合无稳态电路在压控振荡器电路中的应用与识图

由 555/556 时基电路构成的压控振荡器常见有无稳态型压控振荡器和单稳态型压控振荡器两种。前者是由无稳态多谐振荡器经过改进后得到的,后者是由单稳态触发器经过改进后得到的。

1. 压控振荡器基本知识

压控振荡器是一种输出频率随输入电压变化而改变的特殊振荡器电路;也就是说,压控振荡电路是一种输出频率受输入电压控制的振荡电路,通常将这种电路称为电压控制振荡电路,简称为压控振荡电路(VCO)。

压控振荡器在锁相技术、模/数转换技术、脉冲调制等方面应用较广泛,是一种很重要的部件。当压控振荡器应用在不同的场合时,根据它在实际电路中作用的不同还被分别称为压频变换器电路(VFC),脉宽调制电路(PWM)和脉冲位置调制电路(PPM)等。

可以组成压控振荡电路的元器件较多,如运算放大电路、数字门电路、变容二极管、场效应管等,也有专用的集成化压控振荡器产品。由 555 时基电路构成的压控振荡器,具有价格低廉、线性度好、电路结构简单等特点。

2. 由无稳态电路构成的压控振荡器

由 555 无稳态多谐振荡器构成的压控振荡电路如图 6-35 (a) 所示,该电路与 555 时基电路的无稳态工作方式电路相比,是将后者电路中 555 时基电路芯片电压控制端 V_C (⑤脚) 加上一个变化的直流电压后得到的,由此就可以使其阈值电压随输入电压变化而成为一个压控振荡器。

由于单独在 555 时基电路的 V_C (⑤脚) 端加一变化的直流电压十分不方便,实际应用时,通常用分压的方式,将提供给 555 芯片的供电电压 V_{CC} 分压后加到⑤脚上,并用一只可调电阻器来调节加到⑤脚上的电压 V_{CT} ,具体应用电路如图 6-35 (b) 所示。

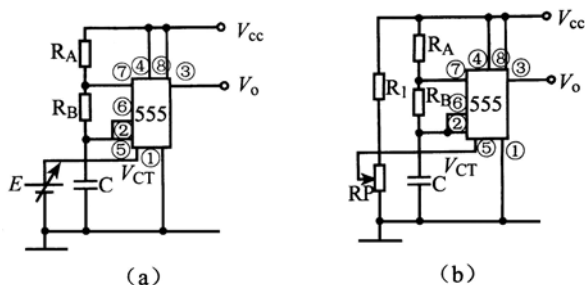


图 6-35 由 555 无稳态多谐振荡器构成的压控振荡电路

6.4.13 混合无稳态电路在汽车电子闪光电路中的应用与识图

图 6-36 所示是由时基电路 NE555 构成的汽车电子闪光电路。该电路制成闪光器产品

后,适用于各种汽车做转向闪光用。

1. 识图指导

图 6-36 所示电路主要由 IC1、KA、KR、RV、SA1、H₁ 与 H₂、H₃ 与 H₄ 为核心构成。其中, IC1 的型号为 NE555, 是一块单时基集成电路; KA 是一只直流工作电压为 12 V 的继电器, 其常闭触点用于控制干簧管线圈中的电流; RV 是一只 16~18 V 的压敏电阻器; SA1 为汽车转向灯开关; H₁ 与 H₂、H₃ 与 H₄ 是汽车上左、右转向灯; KR 是一只干簧管, 绕有 10 匝线圈, 作为电磁线圈, 从而构成了干簧管式继电器。

2. 工作原理

图 6-36 所示电路中的 R₃ 与 RV 共同构成了过压保护电路, 用于防止汽车电路因负载断开等原因产生的瞬时高压而导致闪光电路元件损坏。该电路的工作原理可从转向灯开关 SA1 未接通(处于中间位置)和接通两种情况来加以说明。

(1) SA1 开关处于中间位置

当转向灯开关 SA1 未接通而处于中间位置时, 由于干簧管继电器 KR 内的触点处于断开状态, 故 IC1 的⑦、②与⑥脚均为低电平, 其③脚输出高电平, VD2 隔离二极管截止, KA 继电器不工作。

(2) SA1 开关置于左或右转向位置

当 SA1 转向灯开关置于左或右转向位置时, 转向灯点亮, KR 干簧管继电器线圈中的电流通路形成, 其内的常开触点闭合, 电源电压就会经 JG 内闭合的触点、R₂、R₁ 对 C₁ 电容器充电, 一旦 C₁ 上的电压上升到一定值后, IC1 内的触发器状态就会翻转, 其③脚输出由高电平转变为低电平, VD2 导通, KA 继电器得电吸合, 其触点断开, KR 线圈断电, 转向灯熄灭。

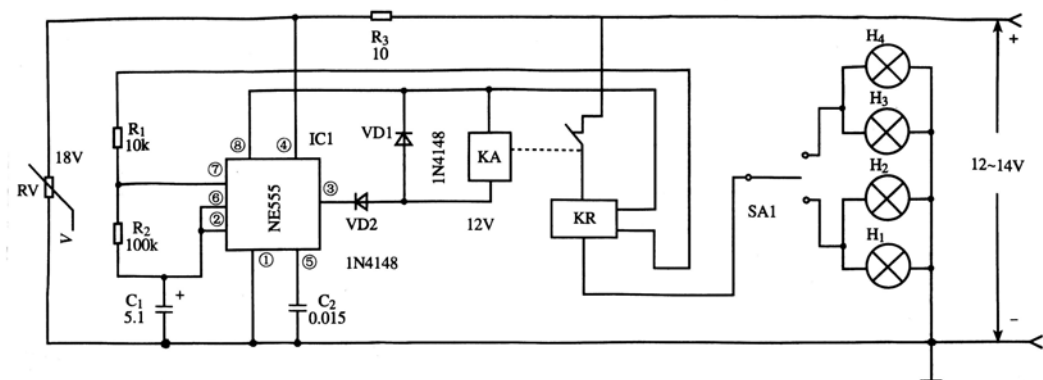


图 6-36 由时基电路 NE555 构成的汽车电子闪光器电路

此后, C₁ 通过 IC1 ⑦脚内的放电管进行放电, 一旦 IC1 ②与⑥脚为低电平时, 其③脚又变为高电平, 重复上述工作过程, 从而使转向灯闪亮。

6.4.14 混合无稳态电路在负载功率可调电路中的应用与识图

图 6-37 所示是由时基电路 FX555 构成的负载功率可调电路,适用于需要调节功率的各种电器。

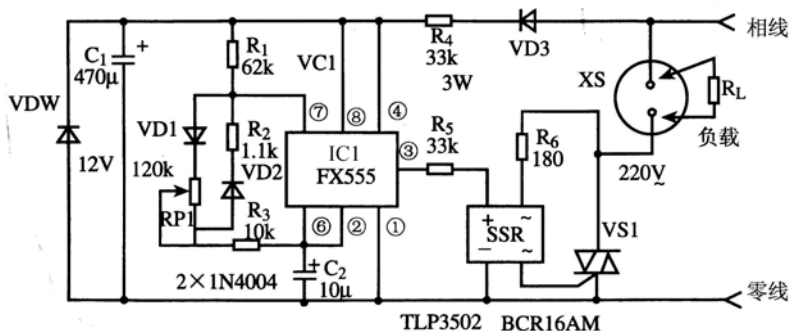


图 6-37 由时基电路 FX555 构成的负载功率可调电路

1. 电路组成

图 6-37 所示电路主要由 IC1、SSR、VS1 等组成。其中,FX555 与 R_2 、VD1、VD2、 R_3 、RP1 共同构成了一个脉冲占空比可调节的自激多谐振荡器;SSR 的型号为 TLP3502,是一种固态继电器;VS1 的型号为 BCR16AM,是一只双向晶闸管,XS 是一只二芯或三芯插座,各种负载(即用电器的)可插在此处受控。

2. 工作原理

图 6-37 所示电路的工作原理可从以下两个方面进行分析说明。

(1) 供电电路

220 V 交流电压一路加到负载 R_L 与双向可控硅 VS1 串联支路的两端;另一路经 VD3 半波整流、 R_4 降压限流、 C_1 电容器滤波、VDW 稳压为 12 V 后作为控制电路的供电。

(2) 占空比可调自激多谐振荡电路

IC1 及其外围元器件构成脉冲占空比可调振荡器,其振荡频率约为 1 Hz 左右,调节 RP1 的值,就可以改变 IC1③脚输出脉冲的占空比。占空比越大,在单位时间内,双向可控硅 VS1 导通的时间就越长,负载 R_L 得到的功率就越大。由此可见,调节 RP1 的值,就可以改变负载 R_L 的功率。振荡器的振荡频率在 0.5~2 Hz 间较佳,频率过高调节功率效果将变差。

习 题 六

1. 填空题

- (1) 555/556 时基电路有_____和_____集成电路两大类。
- (2) 模拟/数字混合集成电路 555 为_____电路, 模拟/数字混合集成电路 556 为_____电路。模拟/数字混合集成电路 NE558 为_____电路。
- (3) 由 555 构成的施密特触发器的输出状态靠_____信号的电位来维持。如果_____信号撤除, 它的输出状态又会重新翻转回去。

2. 选择题

- (1) 555 时基集成电路使用的电源电压范围在_____内, 7555 时基集成电路使用的电压范围在_____内 ()
- (a) 3~18.5 V, 3~13.5 V (b) 4.5~16 V, 4.5~13.5 V
(c) 4.5~13.5 V, 3~18.5 V (d) 3~18.5 V, 4.5~13.5 V
- (2) 在图 6-1 所示电路中, 当 555 电路①脚接地时, 比较器 A_1 的基准电压 U_{f1} 为_____VCC; A_2 的 U_{f2} 为_____VCC ()
- (a) 2/3, 1/3 (b) 1/3, 2/3 (c) 2/3, 1/2
(d) 1/2, 2/3 (e) 1/3, 1/2 (f) 1/2, 1/3
- (3) 在图 6-1 所示电路中, 当从 555 电路⑤外加基准电压 V_C 时, 比较器 A_1 的基准电压 U_{f1} 为_____VCC; A_2 的 U_{f2} 为_____VCC ()
- (a) 2/3, 1/3 (b) 1/3, 2/3 (c) 1, 2/3
(d) 2/3, 1 (e) 1/3, 1 (f) 1, 1/3
(g) 1, 1/2
- (4) 555 时基集成电路的核心是一个基本_____电路, 是由 2 个_____门交叉构成的 ()
- (a) JK 触发器, 与非 (b) D 触发器, 与非
(c) RS 触发器, 与非 (d) RS 触发器, 或非
- (5) CB555 是一种_____时基集成电路, CB556 是一种_____时基集成电路, UPD556 是一种_____时基集成电路 ()
- (a) 单, 单, 双 (b) 单, 双, 单 (c) 双, 单, 单
(d) 双, 单, 双 (e) 单, 双, 双
- (6) 555 时基集成电路构成的施密特触发器在第一个稳态时, $R=?$ 、 $\bar{S}=?$ 、 $V_O=?$ ()
- (a) 0, 0, 1 (b) 0, 1, 0 (c) 0, 1, 1
(d) 1, 0, 0 (e) 1, 0, 1 (f) 1, 1, 0
- (7) 555 无稳多谐振荡器有_____暂稳态, _____稳态 ()

- (a) 1 个, 1 个 (b) 2 个, 1 个 (c) 1 个, 2 个
(d) 2 个, 没有 (e) 没有, 2 个
- (8) 555 时基集成电路构成的单稳态有_____稳态, _____暂稳态。
(a) 1 个, 1 个 (b) 2 个, 1 个 (c) 1 个, 2 个
(d) 2 个, 没有 (e) 没有, 2 个
- (9) 在图 6-1 所示电路中, 当在 $\overline{\text{MR}}$ 端加上二进制数 0 时, Q 端输出状态为 ()
(a) 0 (b) 1 (c) 原状态不变 (d) 不定

3. 问答题

(1) 555 时基电路由哪几部分构成? CMOS 型 7555/7556 电路内部结构与 TTL 型的 555/556 有什么不同? 各适用哪些场合?

(2) 时基集成电路有哪几种封装形式? 怎样识别其引脚?

(3) 用 555 时基集成电路组成的单稳和多谐振荡器有何优点?

(4) 如要改变由 555 时基集成电路组成的单稳的脉冲宽度应怎么办?

(5) 图 6-38 所示电路为多谐振荡器 555 应用电路图, 如欲不改变其周期而只改变脉冲宽度应怎么办?

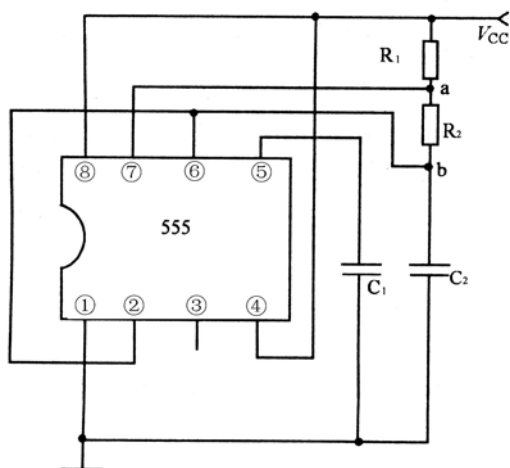


图 6-38 多谐振荡器 555 应用电路图

(6) 图 6-38 所示电路中的多谐振荡器 R_1 和 R_2 的比是 4:1，如果 555 时基集成电路②、⑥脚引线连接到 a 点而⑦脚引线连接到 b 点会产生什么现象？

(7) 图 6-38 所示电路的多谐振荡器，如其 $V_{CC}=8\text{ V}$ ， $R_1=10\text{ k}\Omega$ ， $R_2=2\text{ k}\Omega$ ， $C=470\text{ pF}$ ，试计算其输出脉冲频率？

(8) 用 555 时基集成电路作为多谐振荡器（如图 6-38 所示）产生 12 kHz 的脉冲， R_1 、 R_2 和 C 应取多大值？

图 7-2 BTS412 功率开关内电路方框图

2. 工作原理

图 7-1 所示电路是由开关电路、比较放大电路、供电输入电路几个部分组成的。比较电路由 IC2 及其外围的元件组成。IC2 的①脚为基准电压输入端,该脚电压直接取自 VD1~VD4 桥式整流、C₁ 滤波后的电压,该电压经 R₁ 降压、VD5 稳压后得到的;IC2 的反相信号输入端为比较电压端,比较电压取自 IC1⑤脚输出的电压。

(1) 输出电压降低

当输出电压低于 IC2①脚上的基准电压时,IC2 的⑥脚输出高电平,IC1 启动导通,使输出电压上升。

(2) 输出电压上升

当输出电压高于 IC2①脚上的基准电压时,IC2 的⑥脚输出低电平,IC1 关断,使输出电压下降。

制作提示:

合理选择 R₂、R₃ 的数值,可使 IC1、IC2 获得满意的电平匹配。C₂ 的容量值不可太大,否则会使启动电流过大而导致 IC1 自动保护。该电路在交流市电 12~270 V 大范围波动时,均可正常工作。

7.1.2 模拟功率开关集成电路在智能开关电源电路中的应用与识图

图 7-3 所示是由模拟功率开关集成电路 BTS412 构成的智能开关电源电路。该电路结构简单,功率损耗较低,很适用于取代常见的线性稳压电源电路而应用于各种电气设备电路中。

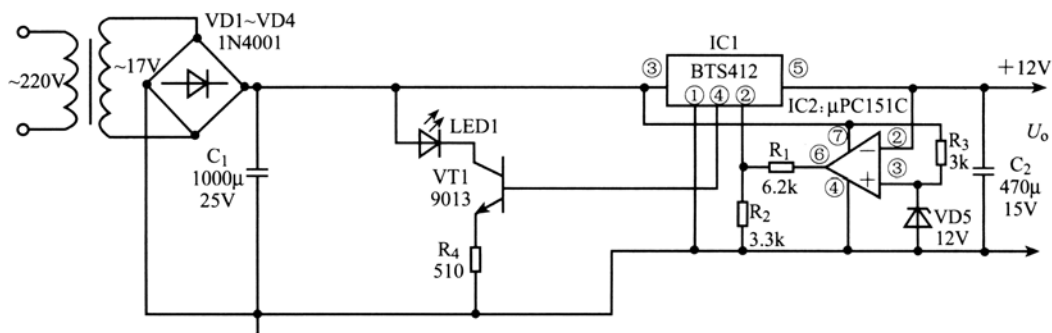


图 7-3 由模拟功率开关集成电路 BTS412 构成的智能开关电源电路

1. 识图指导

图 7-3 所示电路主要由 IC1、IC2 为核心构成。其中, IC1 的型号为 BTS412, 是一种开关器件, IC2 的型号为 μ PC151C, 是一块单运算放大器, 在电路中与 VD5 等共同构成了误差电压比较放大电路。

2. 工作原理

IC2 运算放大器组成的比较电路，其同相信号输入端③脚为基准电压端，该脚电压是由 R_3 降压，VD5 将整流后的降压电压稳压为 12 V 后得到的，比较电压来自于 IC1⑤脚，加到 IC2 的反相信号输入端②脚。

(1) 启动过程

当接通电源 C_1 两端上的电压建立后，该电压经 R_3 由 VD5 稳压使 IC2③脚上的电压为 12 V，而此时 IC1⑤脚无电压输出，故 IC2 的③脚电压大于②脚，其⑥脚输出高电平，该电压经 R_1 与 R_2 分压后加到 IC1②脚，一旦该电压上升到 IC1 的启动电压时，IC1 进入导通状态，IC1 的⑤脚就有电压输出。

(2) 稳压过程

当 IC1⑤脚有电压输出后，该电压一路作为输出电压；另一路加到 IC2②脚上，一旦②脚上的电压（也就是输出端 U_0 电压）超过③脚上的基准电压时，IC2⑥脚输出变为低电平，使 IC1 关断，从而使输出电压下降，实现稳定输出电压的目的。

(3) 故障诊断指示和保护

IC1④脚为故障诊断端，当电路工作正常时，该脚输出为高电平（约 5 V），该信号使 VT1 管导通，从而使发光二极管 LED1 导通发光，以示电路工作正常；一旦输出出现短路等使输出电压严重降低时，IC1④脚输出低电平，LED1 熄灭，同时 IC1 内电路也自动关闭，进行自动保护。

制作提示：

滤波输出电容器 C_2 的容量值不可过大，否则会因启动电流过大而使 IC1 闭锁。

7.1.3 模拟功率开关集成电路在家用防盗发射电路中的应用与识图

图 7-4 所示是由模拟功率开关集成电路 TWH8778 大功率开关集成电路构成的袖珍式家用防盗发射电路。该电路如与无线防盗接收电路配合使用构成的呼叫系统，其作用距离约为 500 m，适用于一般中、小单位上班时防盗，亦适合于安全保卫人员佩带，随时监听仓库、财会室及重要场所的盗情；用于公共场所时，因白天有人上班、其接收报讯机应关闭；而在家庭使用时，上班后应开启接收报讯机，以便随时探听家中盗情。

1. 识图指导

图 7-4 所示电路主要由 IC1~IC5、B、T、E 为核心构成。其中，B 采用双元件人体热释电传感器 P2288-02，IC1 采用信号专用处理器 SN9201 或 BISS0001 等。有关外围元件可参照图 7-4 数据选用，输出脉冲宽度可按 $48152R_9 \cdot C_6$ 估算实验确定。触发封锁时间可按 $24R_8 \cdot C_7$ 估算，实验确定。如自制有困难，也可购置成品组件，如 BH9402 组件等。该件内含有 P2288-02，SN9201 及所有的外围元件。

其主要技术性能如下。

- ① 输入工作电压：DC2.5~5.5 V；

- ② 静态功率损耗：小于 $100\ \mu\text{A}$ （ $5\ \text{V}$ 时）；
- ③ 输出脉冲幅度： $0.9\ \text{VDD}$ ；
- ④ 输出高电平电流：大于 $0.5\ \text{mA}$ ；
- ⑤ 输出脉冲宽度：约为 $2\sim 5\ \text{s}$ 出厂时设定，可调 R_9 改变。
- ⑥ 探测距离：约为 $5\ \text{m}$ （ $+25^\circ\text{C}$ ）；
- ⑦ 视场角度： 120° （配置微型半球面菲涅耳透镜）；
- ⑧ 使用环境温度： $-10\sim +50^\circ\text{C}$ ，（相对湿度小于 85% ）。

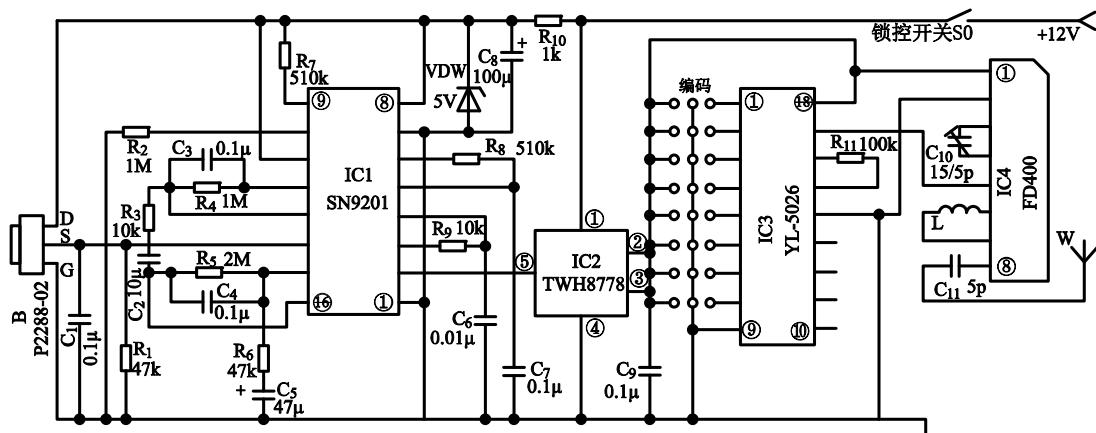


图 7-4 由 TWH8778 大功率开关集成电路构成的袖珍式家用探盗发射电路

该组件共有四条引出线：白色为电源负端；橙色为电源正端；绿色为信号输出端；蓝色为使能端，它是为扩展功能而设的，与 SN9201 的⑨脚相接。该端不用时，即 SN9201 的⑨脚接 VDD（与 R_7 相接），接通电源时即有高电平输出，维持 $2\sim 5\ \text{s}$ 后恢复为低电平，待预热 1 分钟后，用手在透镜前晃动，即有高电平脉冲输出。

IC2 采用 TWH8778 大功率开关集成电路，工作时无噪声，通流量大。IC3 采用专用编码集成电路 YL-5026、YHH5026，VD5026 均可。IC4 采用强力发射集成电路 FD400。由编码集成电路加上强力发射集成电路的组件也有出售，如自制不便，亦可购置成品件。T 采用 $4\ \text{W}/15\ \text{V}$ 电源变压器，IC5 采用 7812 稳压集成电路即可，E 可使用免维护全密封蓄电池， $12\text{V}2\text{Ah}$ 即可。

2. 工作原理

图 7-4 所示电路主要是由人体热释电传感处理器、编码器、超高频强力无线电发射器等 6 个单元电路组合而成。

（1）人体热释电传感器

B 是人体红外线热释电传感器，采用双元件制成，可以识别运动的生物体和非生物体，对于人体发出的微量红外线尤为敏感，是目前国际上流行的最可靠的检测器件之一。在 B 的前方配有半球形塑料菲涅耳透镜，其视角达 120° ，安装在房角上（房角的视角一般为 90° ）可对整个房间实行全方位监控。由 B 探测到的信号由 S 端输出，信号进入 IC1 进行放大、识别处理。

(2) 传感信号处理电路

IC1 是一块信号专用处理集成电路, 比起过去运算放大器构成的处理器来, 性能更加优异。IC1 的内部包括二级高阻抗编程运算放大器, 双向窗口鉴别器, 电压比较器, 状态控制器, 延时、定时器, 时间封锁器等。配以少量的外围元件即可形成单元电路, 厂家已将这部分装配好, 制成组件, 只要接通电源即可正常工作。IC1 的②脚是信号输出端。当探测到人体时, IC1 的②脚由原来的低电平(低于 0.4 V)跳变为高电平(0.9 VDD), 控制后级电路工作。IC2 是一块大功率开关集成电路, 通流量达 1 A 以上。IC2 的控制端⑤脚的电平为 1.6 V 以上, 低于 1.6 V , IC2 呈截止状态, 高于 1.6 V , IC2 开通, 其输出端②、③脚同时输出高电平使后级电路通电工作。

(3) 编码电路

IC3 是一块编码专用集成电路, IC3 的①~⑧脚为编码地址端, 它的地址端可以接 VDD , 接 VSS 或浮空。IC3 的⑩~⑬脚为编码数据端, 总编码量达 26 万种之多, 在这个编码范围内的每台机器所发出的数据都不重复。经过编码后的信号从 IC3 的⑰脚输出, 进入强力无线电发射集成电路 IC4 的⑤脚进行调制发射。

(4) 发射电路

IC4 是由振荡器、功率放大器和微型天线等构成的专用发射集成电路。工作频率为 $100\sim 400\text{ MHz}$, 由于工作频率高, 天线可以做得极小, 浓缩在集成电路内部, 因此一般不需另设天线, 当电源电压为 12 V 时, 其发射距离可达 500 m 左右, 如果外接一根软导线 W , 其发射距离还可增大, 甚至达 700 m 以上。

(5) 工作过程

从上述介绍中不难看出, 一旦探测到活动人体, IC1 的②脚便输出一个高电平信号(其信号宽度由 R_9 , C_6 的数值决定), IC2 的⑤脚变为高电平, 于是 IC2 的②、③脚也变为高电平, IC3、IC4 同时工作, 向空中辐射出无线电信号。这样就完成了一次信号处理过程。平时没有探测到活动人体时, IC1 的②脚为低电平(低于 0.4 V)故 IC2 呈关断状态。其②、③脚就没有电压输出, 后级的编码、发射电路自然就不会工作。因此静态时是极省电的。

(6) 供电电路

该装置的电源是交、直流电两用的, 其发射器供电电路图如图 7-5 所示, 且可自动转换。它由电源变压器 T 将 220 V 市电降压成 15 V , 然后由全桥 U 整流、 C_{13} 滤波, 经 IC5 稳压成直流 12 V 供给电路工作。由于平时交流供电的电压稍高于直流 E 供电电压, 故直流电 E 不对外放电。一旦交流电消失, E 通过二极管 VD1 向电路供电, 完成了供电续接。

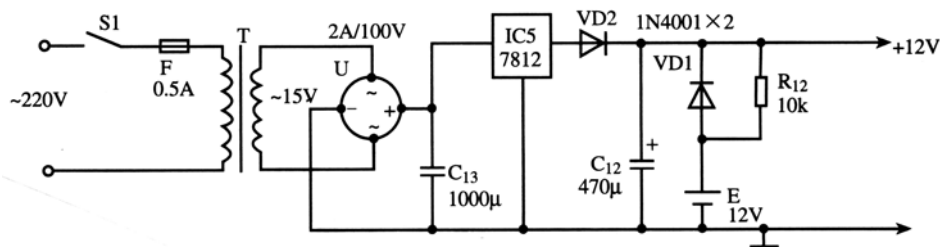


图 7-5 发射器供电电路图

制作提示：

该装置由于全部采用集成电路且由成品组件构成,只要成品组件的质量良好,且连线无误,一般不用调试即可正常工作。图 7-4 所示电路中的 S0 为锁控电源开关,与门锁联动,家里人进门时均使用钥匙,故进门前已切断电源,不会触发防盗装置,外人无钥匙,以撬门、破门、破窗方式进入室内,当然就会触发防盗器发出信号。

7.1.4 模拟功率开关集成电路在触摸式互复位开关电路中的应用与识图

图 7-6 所示是由模拟功率开关集成电路 TC9135 构成的触摸式互复位开关电路。该电路可以采用触摸的方式来对六路互复位开关进行控制,适用于作为音响系统的功能选择开关使用。

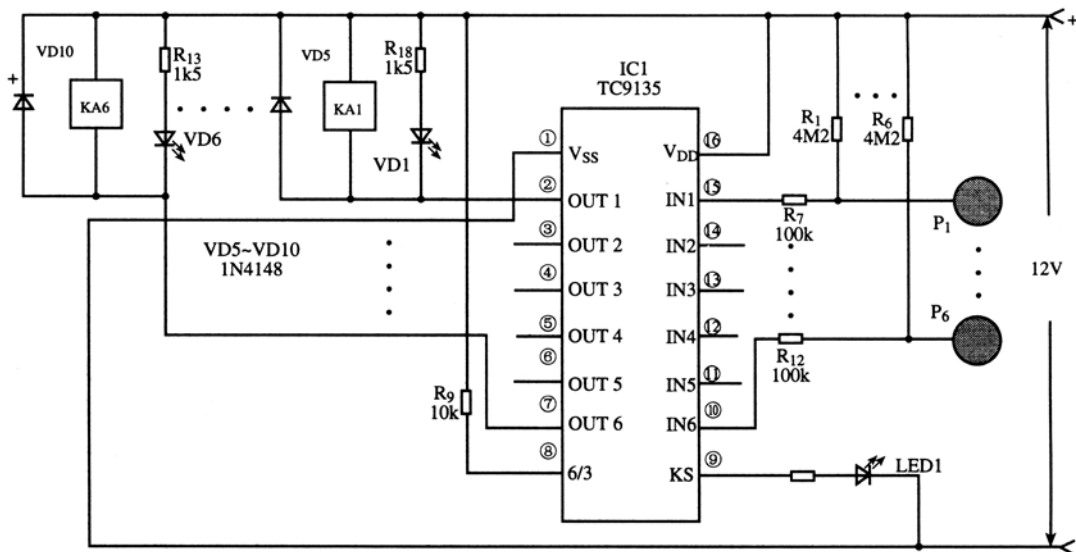


图 7-6 由 TC9135 构成的触摸式互复位开关电路

1. 识图指导

图 7-6 所示电路主要由 IC1、KA1~KA6、P₁~P₆ 为核心构成。其中, IC1 的型号为 TC9135, 是一块单片六路互复位型触摸开关集成电路; KA1~KA6 是 6 只型号相同的直流 12 V 的继电器, 其触点即可用来作为开关来对电气设备的电源或信号的接通或断开进行控制; P₁~P₆ 是 6 只圆形铜片, 供手触摸用。

2. 工作原理

图 7-6 所示电路中 IC1 的各引脚功能如表 7-1 所示。其⑧脚为功能切换控制信号输入端, 当该脚为高电平时, IC1 工作在 6 路互复位开关状态, 电路中由 R_9 电阻器将 IC1⑧脚设置为高电平。

表 7-1 TC9135 集成电路各引脚功能说明

引脚	字母代号	功能说明	引脚	字母代号	功能说明
①	VSS	接地线端	⑨	KS	输入信号检测端
②	OUT1	第一路控制信号输出端	⑩	IN6	第六路输入信号端
③	OUT2	第二路控制信号输出端	⑪	IN5	第五路输入信号端
④	OUT3	第三路控制信号输出端	⑫	IN4	第四路输入信号端
⑤	OUT4	第四路控制信号输出端	⑬	IN3	第三路输入信号端
⑥	OUT5	第五路控制信号输出端	⑭	IN2	第二路输入信号端
⑦	OUT6	第六路控制信号输出端	⑮	IN1	第一路输入信号端
⑧	6/3	功能切换控制信号输入端	⑯	VDD	工作电源电压输入端

IC1 的⑨脚为输入信号检测端，当其⑮~⑩脚输入端中任一出现低电平时，⑨脚就会有高电平信号输出，故可以利用该脚的这一功能连接上蜂鸣器、指示灯等，用于指示 IC1 的工作状态。当用手触摸 P₁~P₆ 任一触摸片时，人体感应信号使 IC1 ⑮~⑩脚中某一为低电平，其相应的输出端（②~⑦脚中）就会有低电平信号输出，相应的指示灯（VD1~VD6 中）点亮，该路继电器线圈得电吸合，从而使其触点动作，起到了开关的作用。

7.2 模拟音频处理集成电路的识图与应用

模拟音频处理集成电路类型相当广泛，既有单片模拟音频处理集成电路，又有多功能模拟音频处理集成电路。下面仅介绍几种较常见的模拟音频处理集成电路。

7.2.1 模拟收音集成电路在调幅及调频收音电路中的应用与识图

图 7-7 所示是由模拟收音集成电路 D7642 构成的调幅及调频低电压收音电路。该电路采用 1.5 V 电池供电，具有两个波段，适用于制成简易收音机或各种玩具收音机产品等。

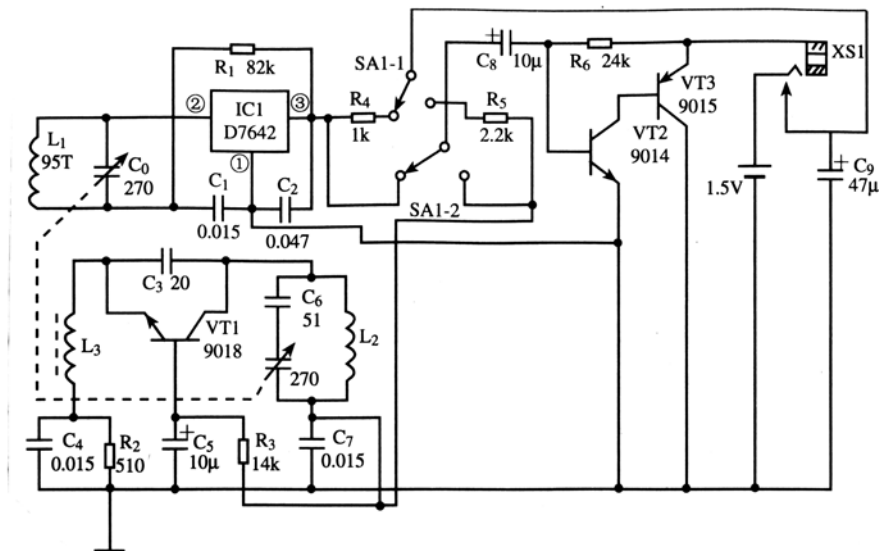


图 7-7 由 D7642 构成的调幅及调频低电压收音电路

1. 识图指导

图 7-7 所示电路主要由 IC1、VT1~VT3、XS1、SA1、 $L_1 \sim L_3$ 、 C_0 为核心构成。其中，IC1 的型号为 D7642，是一块国产调幅收音机集成电路，与其同属一类可直接代换的型号还有：CIC7642、YS764、SY414、MK484、BS414、NT484、ZN414 等。

D7642 集成电路对外只有 3 个引出脚，其①脚为接地线端，②脚为天线选频后的信号输入端；③脚为音频信号输出端。其外形如图 7-8 (a) 所示，内电路方框图如图 7-8 (b) 所示。它是由 5 级高阻，高增益的高频放大电路及检波电路等组成；VT1 管的型号为 9018，是一只 $f_T \geq 500$ MHz 的高频率管；VT2 的型号为 9014，是一种 NPN 类晶体管；VT3 的型号为 9015，是一种 PNP 类晶体三极管；XS1 为耳机插座，该插座是改装成带开关方式的；SA1 是一只双刀双掷波段开关； L_1 是在磁棒上绕 95 圈的磁棒线圈； L_2 是一只采用直径为 0.5 mm 的漆包线，在 6 mm 的圆棒上绕 8 圈脱胎后的空心线圈； L_3 是一只用细漆包线在“I”型磁芯上绕 70 圈的电感线圈； C_0 的型号为 CMB202B2，是一种容量值为 270 pF 的双联可变电容器。

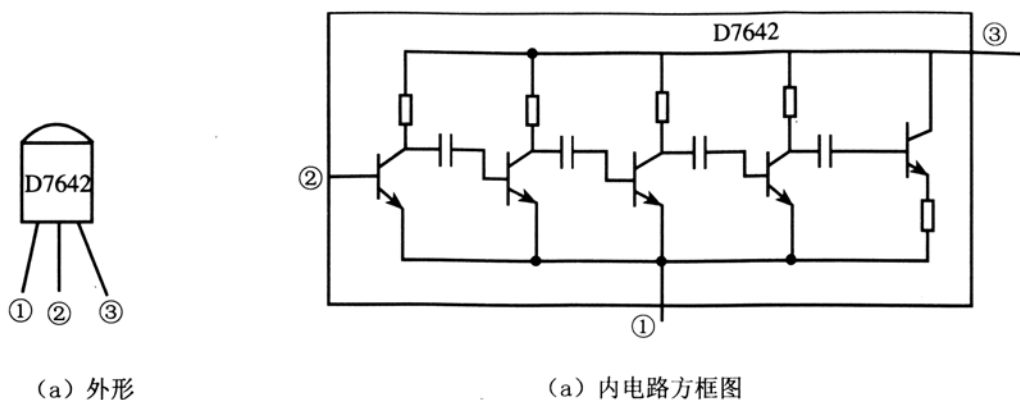


图 7-8 D7642 集成电路外形及内电路原理图

2. 工作原理

图 7-7 所示电路是由 AM 收音电路、FM 收音电路、低频放大电路 3 个部分组成。

(1) AM 收音电路

无线电波经磁性天线接收后，进入由 L_1 、 C_0 组成的并联谐振电路。调节 C_0 的容量可改变谐振频率，起到选台的作用。选到的某一频率的电台信号送入 IC1②脚内，先进行高频放大后进入检波电路，由检波器取出电台所播送的音频信号后从③脚输出。

(2) FM 收音电路

FM 收音电路由 VT1、 C_3 、 L_2 等组成，这是一种超再生接收电路，采用谐振原理，以 L_2 、 C_6 回路作为接收天线用，虽未用外接天线，但由于再生作用，接收灵敏度仍较高。产生的信号去 SA1-2 开关。

(3) 低频放大电路

低频放大电路由 VT2、VT3 等组成。由波段开关转换后的 AM 或 FM 信号经 C_8 耦合，

由 VT2, VT3 放大后驱动耳机发声。

7.2.2 模拟收音集成电路在电调谐 AM/FM 收音电路中的应用与识图

图 7-9 所示是由模拟收音集成电路 TDA7021T 构成的电调谐 AM/FM 收音电路。该电路可接收 47~860MHz 频率内的广播、飞机、船舶、业余和蜂窝式移动通讯信号,还可接收 CATV 全频道电视伴音。由于采用了带增补频道的 CATV 调谐器与单片 FM 接收芯片,故性能优异、灵敏度优于 $0.5 \mu V_0$ 。

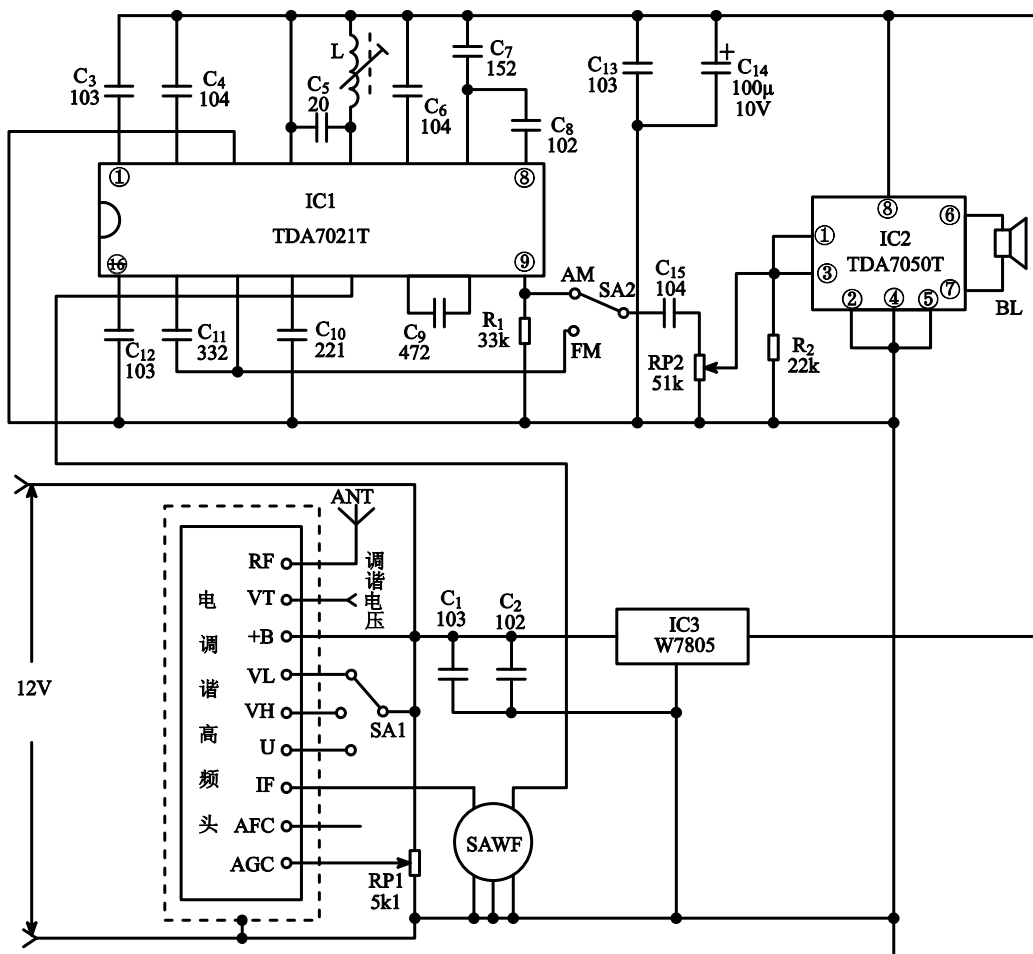


图 7-9 由 TDA7021T 构成的电调谐 AM/FM 收音电路

1. 识图指导

图 7-9 所示电路主要由 IC1、IC2、IC3、SAWF、SA1、SA2、L、ANT 为核心构成。其中, IC1 的型号为 TDA7021T, 是一种单片 FM 接收集成电路; IC2 的型号为 TDA7050T, 是一块音频功率放大集成电路。SAWF 是一只中频为 38MHZ 的声表面波滤波器; SA1 是一只单刀三掷波段开关; SA2 是一只单刀双掷波段开关; L 的型号为 10LV335, 是一只中周变压器; ANT 天线取决于需要接收的频率, 可用双极振子及八木天线等。

2. 工作原理

图 7-9 所示电路中的电调谐器高频头可选用带增补频道的 CATV 调谐器成品件, 由该调谐器接收选择后的信号, 经高频放大、混频, 得到的中频信号从 IF 端输出, 经声表波滤波器滤波, 取出 38MHz 的中频信号加到 IC1 的⑫脚。

IC1 及外围元件构成的电路由 TDA7021T 担任二次变频及解调, 本振回路连接在 IC1 的④与⑤脚间, L 与 C₅ 电路谐振在 38 MHz 上, 使有效带宽缩小至 100 kHz 左右。解调后的信号从 IC1 的⑭脚输出。

AM 解调也由 IC1 内部设置的 AM 检波器来完成, 用于将 IC1 ⑨脚场强指示端作 AM 输出。

AM 或 FM 解调后的信号经 SA2 选择后, 由 C₁₅ 耦合, RP2 对音量进行调整后加到 IC2 的①、③脚上, 经放大后的信号从⑥、⑦脚输出, 驱动扬声器 BL 发声。

制作提示:

SA1 用于进行波段切换, 可扩展采用电子开关进行控制。

7.2.3 模拟回声集成电路在演唱电路中的应用与识图

图 7-10 所示是由模拟回声集成电路 SZ-9655A 构成的回声演唱电路。该电路既可以单独使用, 也可以与其他音响系统配合、安装后使用。

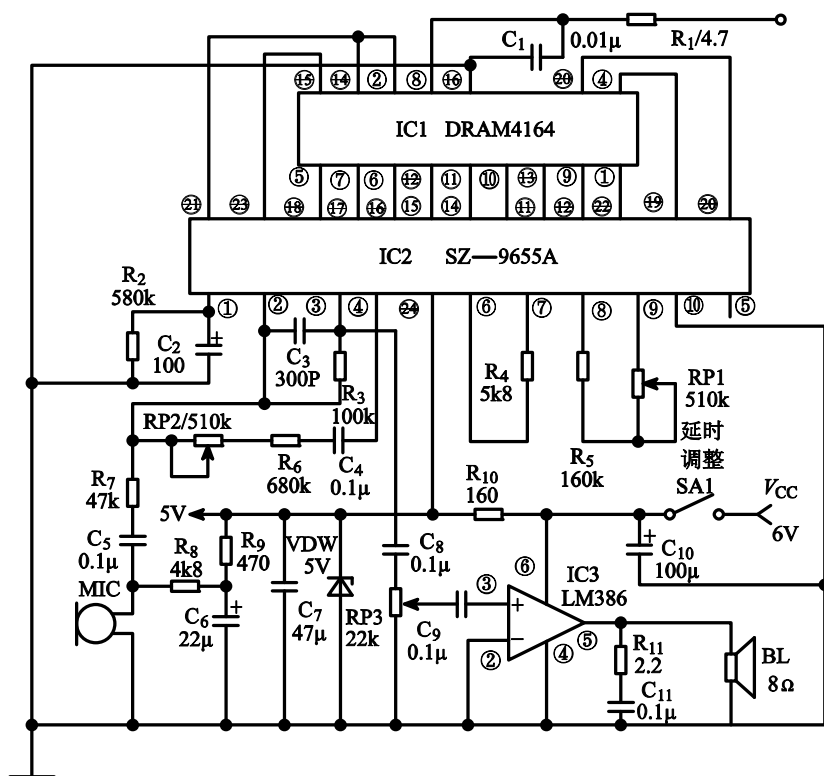


图 7-10 由模拟回声集成电路 SZ-9655A 构成的回声演唱电路

1. 识图指导

图 7-10 所示电路主要由 IC1~IC3、MIC、BL 为核心构成。其中, IC1 的型号为 DRAM4164, 是一块存储器, 为 IC2 提供连续可调的延迟时间; IC2 的型号为 SZ-9655A, 是一块具有延迟处理功能的回声集成电路, 其内含前置放大器, 具有 DRAM 选择, 10bit 的 A/D 及 D/A 转换、控制逻辑等电路。该集成电路采用双列直插式 24 脚塑封, 其外形引脚排列方式如图 7-11 (b) 所示, 内电路方框图如图 7-11 (a) 所示, 其引脚功能如表 7-2 所列; MIC 为拾音话筒; BL 为放音喇叭; IC3 的型号 LM386, 是一种功率放大集成电路。

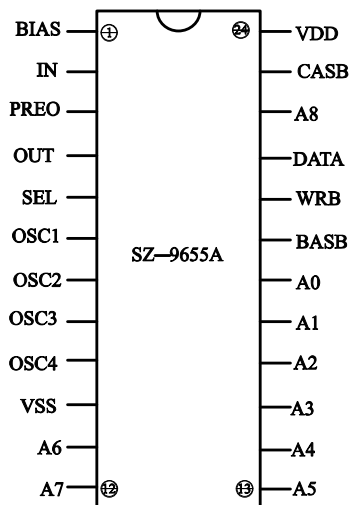
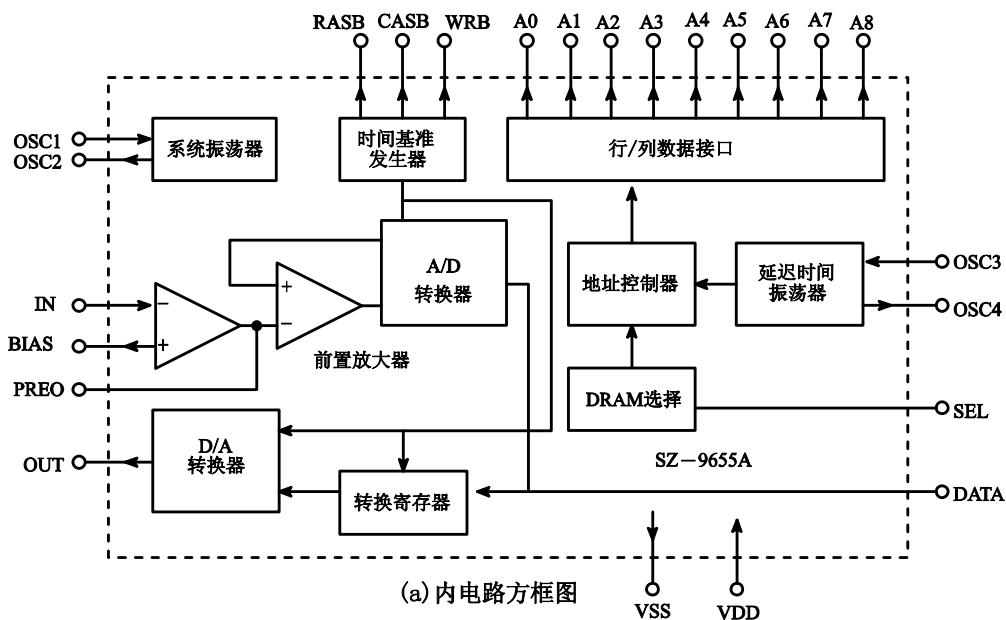


图 7-11 SZ-9655A 集成电路引脚排列及内电路方框图

表 7-2 集成电路 SZ-9655A 引脚功能说明

引脚号	功能说明	引脚号	功能说明
①	前置放大器内部偏压端，处接去耦电容器	⑧⑨	延时时间控制振荡器输入、输出端
②	音频信号输入端	⑩	电源负极端，通常接地线
③	前置放大器信号输出端	⑪～⑬	地址端
④	延迟音频信号输出端		
⑤	延迟时间选择端	⑭	接 DRAM 的 RASB 端
		⑮	接 DRAM 的 WRB 端
		⑯	数据信号输入/输出端
⑥⑦	系统振荡器输入、输出端	⑰	接 DRAM 地址端 A8
		⑱	接 DRAM 的 CASB
		⑳	正电源电压（5V）输入端

2. 工作原理

演唱的声音由传声器 MIC 拾取转换为电信号后,经 C₅、R₇ 进入 IC₂ 的②脚,由 IC₂ 的内部电路对声音进行 A/D 及 D/A 延时处理后由 IC₂ 的④脚输出。调节电位器 RP₁ 可以改变回声时间。由 IC₂④脚输出的音频延时信号经 C₄、R₆、RP₂ 与原音进行混合,再经 R₃、C₈、RP₃、C₉ 进入功率放大集成电路 IC₃ 进行功率放大,最后推动扬声器 BL 放出具有混响效果的声音。

制作提示:

IC2 由于采用了高信噪比的电路及较高的采样频率, 故电路失真小, 延迟时间较长, 当采样频率为 25 kHz 时, 可延时 0.8~0.2 s。

7.2.4 模拟音频前置放大集成电路在伴唱电路中的应用与识图

图 7-12 所示是由模拟音频前置放大集成电路 BA328 构成的简易伴唱电路。该电路既可以单独使用,又可以与其他音响系统配接使用。

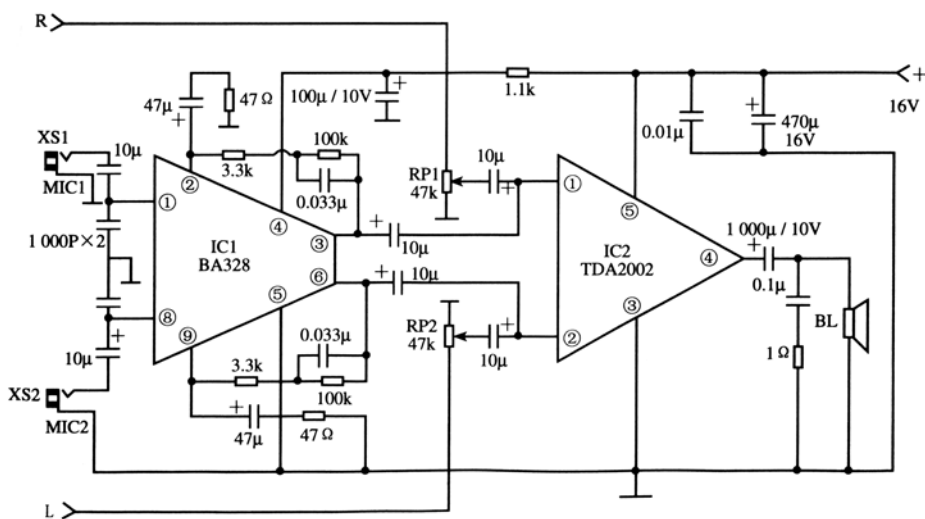


图 7-12 由模拟音频前置放大集成电路 BA328 构成的简易伴唱电路

1. 识图指导

图 7-12 所示电路主要由 IC1、IC2 为核心构成。其中，IC1 的型号为 BA328，是一块双声道音频前置放大集成电路；IC2 的型号为 TDA2002，是一块单功率放大集成电路；RP1、RP2 是两只电位器，可用来对 L、R 声道送来信号的音量进行调整；XS1、XS2 是两只插座，可用来插入话筒，输入伴唱的信号。

2. 工作原理

图 7-12 所示电路是由伴唱前置放大电路与功率放大电路两个部分组合而成。

(1) 伴唱前置放大电路

伴唱前置放大电路由 IC1 及外围的有关元件组成。IC1 的内电路方框图如图 7-13 所示，各引脚功能及实测数据如表 7-3 所列。从 XS1、XS2 插座输入的伴唱信号，经 IC1 放大后从③、⑥脚输出，由电容器耦合加到 IC2 的①与②脚上。

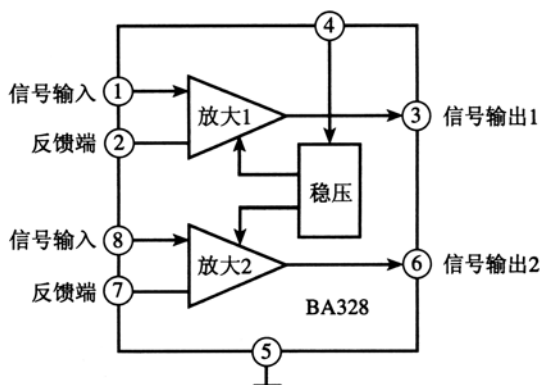


图 7-13 BA328 内电路方框图

表 7-3 双声道放音前置放大集成电路 BA328 引脚功能及实测数据

引脚号	功能说明	电压 (V)	在路电阻值 (kΩ)		开路电阻值 (kΩ)	
			红笔测量 黑笔接地	黑笔接地 红笔测量	红笔测量 黑笔接地	黑笔接地 红笔测量
①	前置均衡放大器 1 放音音频信号输入端	1.2	47	12	27	104
②	前置均衡放大器 1 反馈元件连接端	0.9	14	125	6.5	900
③	前置均衡放大器 1 信号输出端	3.78	12.8	18.5	6.5	45
④	Vcc 电源电压输入端	9.9	10.5	16.5	5.3	35
⑤	接地线端	0	0	0	0	0
⑥	前置均衡放大器 2 信号输出端	3.7	12.8	18.5	6.5	45
⑦	前置均衡放大器 2 反馈元件连接端	0.9	14	150	6.5	900
⑧	前置均衡放大器 2 放音音频信号输入端	1.2	47	43	24	103

(2) 功率放大电路

功率放大电路由 IC2 及外围的有关元件构成。IC2 的①与②脚是同相与反相信号输入

端,当从这两只引脚输入立体声信号 L 和 R (该信号由各种音源提供),由于立体声中歌唱的声音一般都在中间位置,也就是说,左、右声道的声音大小基本相等,故进入 IC2 反而相互抵消,其④脚无歌声信号输出。而伴奏音乐是左右两个声道分开的,所以能够经 IC2 放大后从④脚输出。由此就可使 IC2④脚输出的就只有伴奏音乐的声音了。适当对 RP1 与 RP2 的电阻值进行调整,可使消歌声的效果达到最佳。但加到 IC2①、②脚上的伴唱是不会被消除的,会随伴奏声一同从 IC2④脚输出。

7.2.5 模拟混合处理集成电路在无线话筒电路中的应用与识图

图 7-14 所示是由模拟混合处理集成电路 NJM2035D 构成的 FM (调频) 立体声无线话筒电路。适用于舞台、摄像机等作无线话筒等。

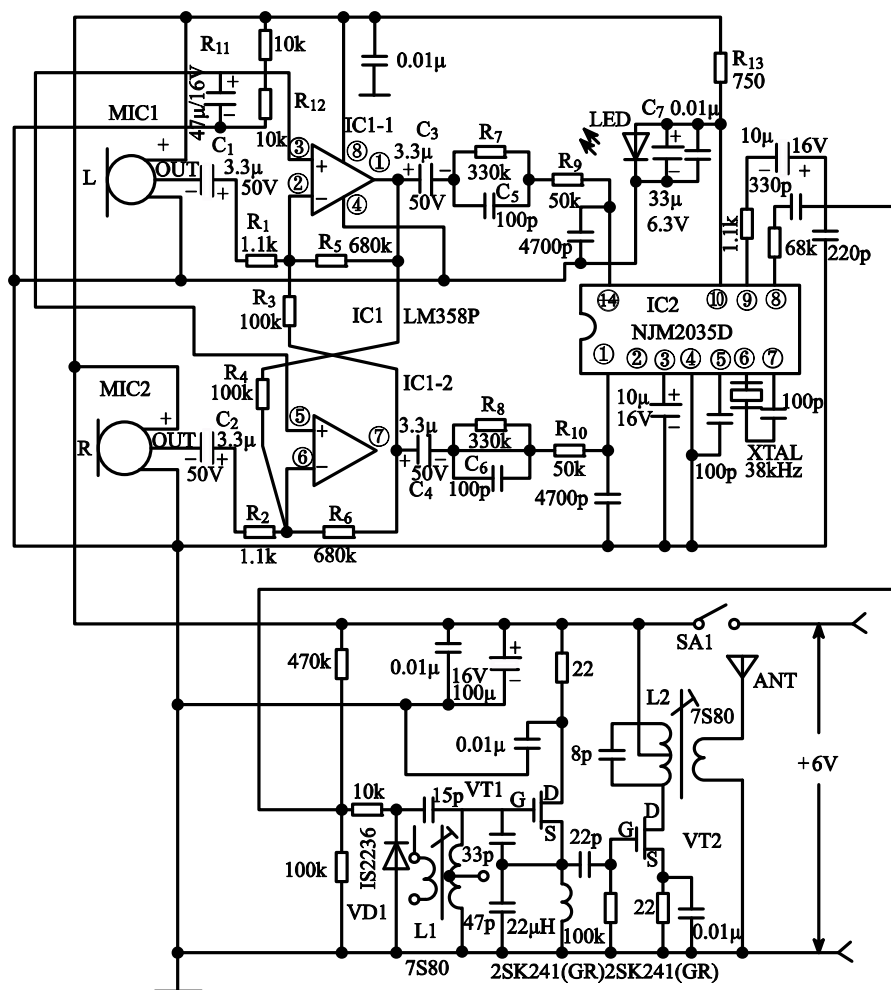


图 7-14 由 NJM2035D 构成的 FM 立体声无线话筒电路

1. 识图指导

图 7-14 所示电路主要由 IC1、IC2、VD1、VT1、VT2 为核心构成。其中, IC1 的型号

为 LM358P, 是一块双运算放大器; IC2 的型号为 NJM2035D, 是一块立体声混合处理集成电路, 其内电路信号处理过程方框图如图 7-15 (a) 所示, 该电路处理后输出的复合立体声信号的频率图如图 7-15 (b) 所示; VD1 的型号为 1S2236, 是一只变容二极管; VT1 与 VT2 的型号均为 2SK241, 是一种 MOS-FET (MOS 场效应晶体管), 应使用 Y 或 GR 级别的。为了防止静电感应, 保存时应用铝箔包装。MIC1 与 MIC2 是一种三端脚的电容式话筒。

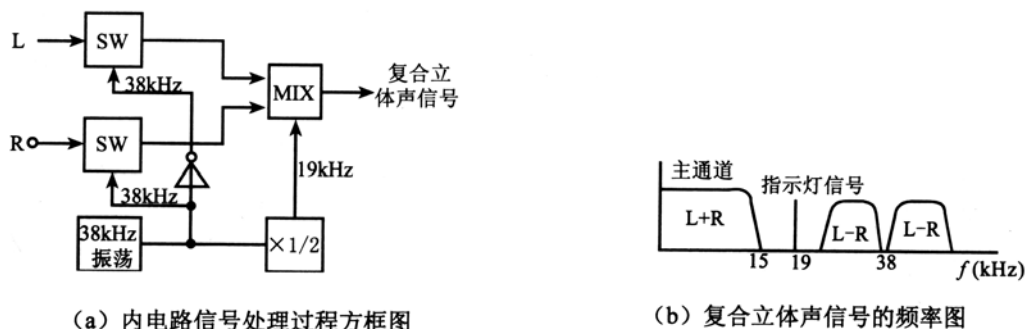


图 7-15 NJM2035D 内电路信号处理及输出频率波形

2. 工作原理

图 7-14 所示电路主要由话筒信号接收、处理电路与发射电路等 3 部分组合而成。

(1) 话筒信号接收、处理电路

话筒信号接收、处理电路由 MIC1、MIC2、IC1 等组成。驻极体电容式话筒用于检拾话音信号, 并将其转换为电信号, 经 C_1 与 C_2 电容器耦合, R_1 与 R_2 电阻器分别加到 IC1 的两个反相信号输入端②脚与⑥脚。

由于 MIC1 话筒与 MIC2 话筒的距离很近, 故将其设计成如图 7-16 所示的分离式改进电路示意图, 用于将同相位输入的信号相互抵消, 以改善其性能。

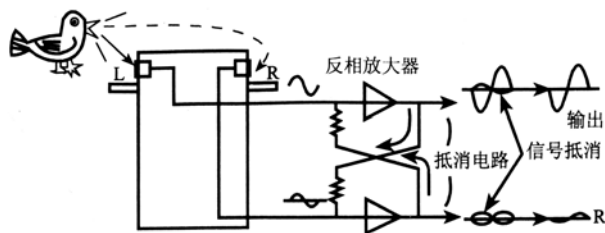


图 7-16 话筒分离式改进电路示意图

从图 7-14 所示电路中可看出, IC1-1 运算放大器的输出端①脚输出的信号一路去后级电路, 另一路经 R_5 电阻器反馈到 IC1-1 的反相信号输入端②脚, 第三路经 R_4 电阻器加到 R 声道的 IC1-2 的反相信号输入端⑥脚; 同样, R 声道电路中 IC1-2⑦脚输出的信号一路去后级电路; 另有一路经 R_6 电阻器反馈到 IC1-2 的反相信号输入端⑥脚, 第三路经 R_3 电阻器加到 L 声道的 IC1-1 的反相信号输入端②脚。这种连接方式的目的是为了消除话筒一部

分干扰信号，增强相应的主信号。

IC1-1 与 IC1-2 运算放大器将输入的信号进行放大后，经 C_3 、 C_4 、 $R_7//C_5$ 、 $R_8//C_6$ 、 R_9 、 R_{10} 处理后加到 IC2 的⑭脚与①脚。

在图 7-14 所示电路中，IC1-1 与 IC1-2 运算放大器的同相信号输入端设置有基准电压，该电压是由 R_{11} 与 R_{12} 分压后加到 IC1-1 的③脚与 IC1-2⑤脚上的。

(2) 立体声混合电路

立体声混合电路由 IC2 集成电路及外围的有关元件共同构成。IC2 的工作电源电压为 1.5 V，是由 R_{13} 电阻器将 6 V 电源降压，利用发光二极管导通点亮后的正向压降得到约 1.5 V 的额定电压，该电压加到 IC2 的⑩脚，此时 LED 点亮以示电路已进入工作状态。

IC2 的⑥脚与⑦脚外接的 38 kHz 时钟振荡晶体与这两引脚的内电路共同构成了 38 kHz 时钟振荡电路，产生的振荡信号一方面作为开关信号，另一方面进行 1/2 分频为 19 kHz 作为监控信号。IC2 对其⑭脚与①脚输入的信号是这样进行处理的：即先把 2 个立体声信号转换成一个合成的立体声信号，也就是先把左右声道的信号以 38 kHz 的频率相互混合后，再加上 19 kHz 的监控信号。由于在 38 kHz 的振荡电路中使用了晶体，因此，即使不用调整也可稳定地振荡。IC2 处理后的信号从⑧、⑨脚输出送后级电路。

(3) 发射电路

发射电路由 VT1、VT2、VD1 等组成。其中，VT1 及其外围的元件共同构成了电容三点式振荡电路，振荡电路用以产生约 86 MHz 的振荡频率。由于把声音信号电压叠加到变容二极管 VD1 上，受到频率调制。当 IC2 输出的立体声信号经振荡电路调制，再经 VT2 缓冲放大后，即可向外发射。由于 L_2 的作用，即使接上天线，也可使 VT1 组成的振荡电路及发射频率稳定不变。

制作提示：

立体声无线调频话筒电路的印制板图如图 7-17 所示。安装时，引线的长短、方向应注意不要影响其他电路。调整时，只要将该发射机向 FM 收音机发射信号，在 86 MHz 频率上，调节 L_1 磁芯，直到收音机收到发射的信号为止。再调整 L_2 的磁芯，使发射的信号最大，且收音机收到的信号噪声最小为止。

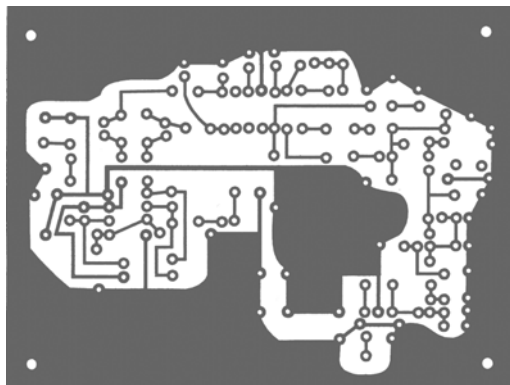


图 7-17 立体声无线调频话筒电路的印制板图

7.3 模拟信号转换集成电路的识图与应用

典型模拟信号转换集成电路类型较多，既有物理量转换集成电路，又有电量之间的转换。这里仅介绍常见的用于电源电路中的转换电路。

7.3.1 模拟电源转换集成电路在电池组充电电路中的应用与识图

图 7-18 所示是由 ATC105 构成的 7.2 V/1200 mA 电池组充电电路。该电路具有电池充至 25% 和 75% 显示功能，还具有快充与慢充自动转换功能，适用于对镍镉电池的充、放电。

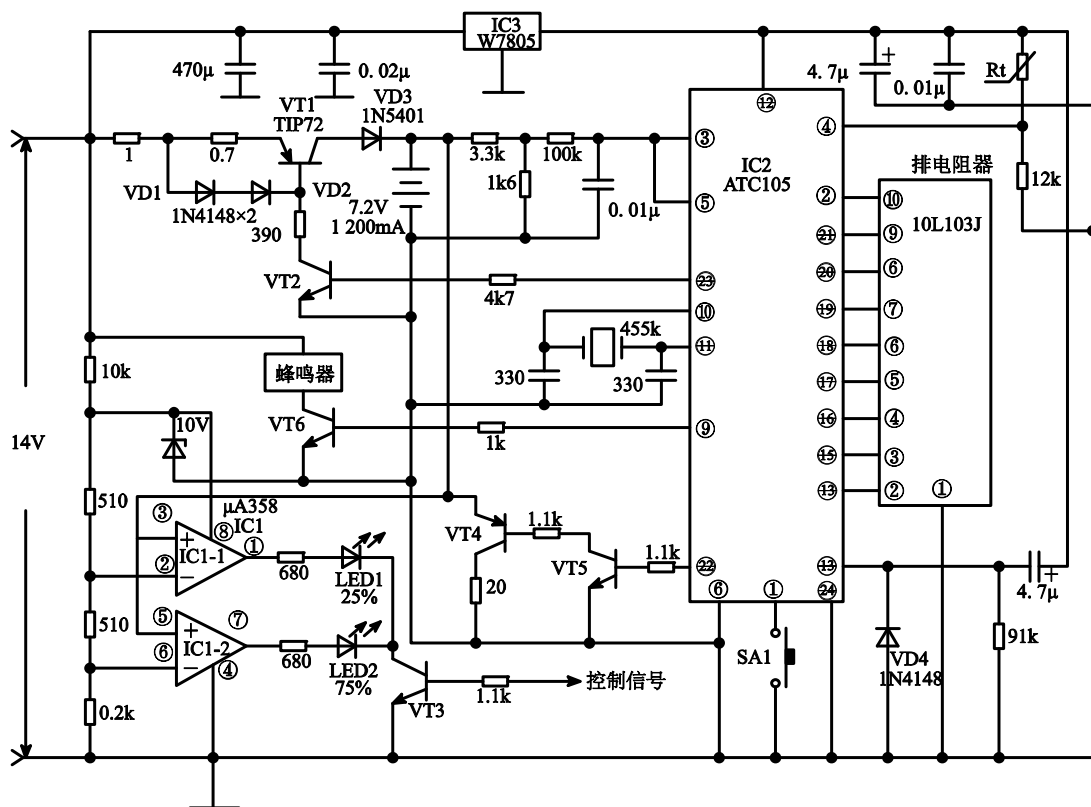


图 7-18 由 ATC105 构成的 7.2 V/1200 mA 电池组充电电路

1. 识图指导

图 7-18 所示电路主要由 IC1~IC3、VT1~VT6、Rt 为核心构成。其中，IC1 的型号为 $\mu\text{A}358$ ，是一块双运算放大器；IC2 的型号为 ATC105，是一块镍镉电池充电控制器，该集成电路采用双列直插 24 脚封装，其各引脚功能说明如表 7-4 所列；IC3 的型号为 W7805，是一块稳压值为 5 V 的三端固定稳压集成电路；VT1 的型号为 TIP72，是一只 PNP 类晶体管；VT2、VT3、VT5、VT6 的型号均为 9013，是一种 NPN 类晶体管；VT4 的型号为 9012，是一只 PNP 类晶体管；Rt 是负温度系数热敏电阻器。

表 7-4 ATC105 集成电路各引脚功能说明

引脚号	字母代号	功能说明	引脚号	字母代号	功能说明
①	PISI/P	放电手控信号输入端	⑬	RESET	复位信号输入端
②	VREF	A/D 参考电压输入端	⑭	DA1	D/A（数/模）比较电压输出端，通常与 D/A 变换网络（排电阻器）相连接
③	VBA	充电电池电压输入端 A	⑮	DA2	
④	NTC	温度检测电压输入端	⑯	DA3	
⑤	VBB	充电电池电压输入端 B	⑰	DA4	
⑥	NC	未使用，一般接地	⑱	DA5	
⑦	LED1	发光二极管用于状态显示	⑲	DA6	
⑧	LED2		⑳	DA7	
⑨	BUZ	蜂鸣器驱动信号输出端	㉑	DA8	
⑩	OSC2	振荡器外接元件连接端	㉒	DISCHO/P	放电控制信号输出端
⑪	OSC0		㉓	PWM	充电控制信号输出端
⑫	VDD	正电源电压输入端	㉔	GND	接地线端

2. 工作原理

图 7-18 所示电路是由充、放电控制电路与充电指示电路两个部分组合而成的。前者主要由 VT1、VT2、IC2 及外围的有关元件构成，通过 IC2②脚控制 VT5、VT4 对电池进行放电，通过 IC2③脚控制 VT2、VT1 对电池进行充电。

充电指示电路由 IC1、VT3、LED1、LED2 等组成，IC1 的两个运算放大器构成的电压比较器可对电池充至 25%~75%进行显示，VT3 基极受有关电路的控制确定是否要进行充电状态显示。

7.3.2 模拟电源转换集成电路在镍镉电池充、放电电路中的应用与识图

图 7-19 所示是由模拟电源转换集成电路 ATC105 构成的镍镉电池充、放电电路。该电路快充与慢充会自动转换，自动检测电池电压的饱和点，且具有温度及定时器保护功能，还具有短路、电池异常保护等功能。

1. 识图指导

图 7-19 所示电路主要由 IC1~IC3、VT1~VT4 为核心构成。其中，IC1 的型号为 W7805，是一块稳压值为 5 V 的三端固定稳压集成电路；IC2 的型号为 ATC105，是一种镍镉电池充电控制集成电路；IC3 的型号为 10L103J，是一种集成排电阻器集成电路，其内电路图如图 7-20 所示；VT1、VT3 的型号均为 9012，是一种 PNP 类晶体管；VT2、VT4 的型号均为 9013，是一种 NPN 类晶体管。

2. 工作原理

图 7-19 所示电路是由充电控制电路、放电控制电路及温度保护、充电电池数设定电路等 4 个部分组合而成。

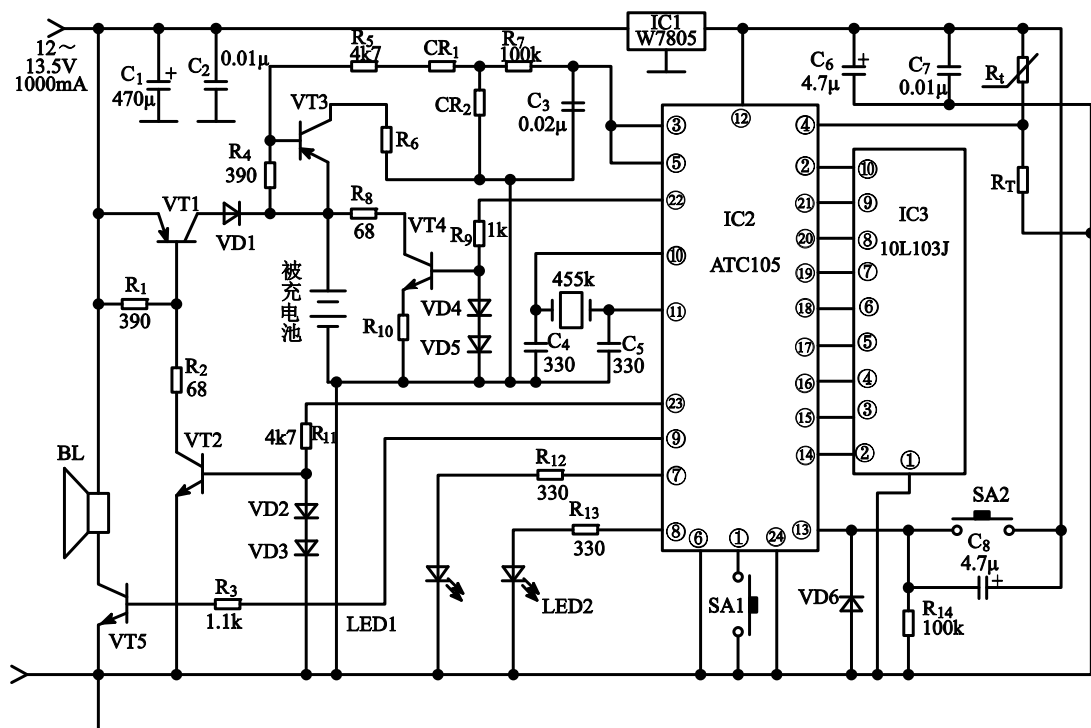


图 7-19 由 ATC105 构成的镍镉电池充、放电电路

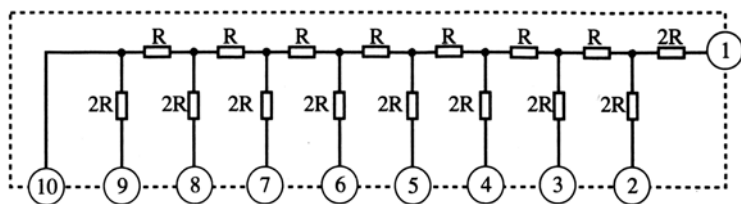


图 7-20 10L103J 集成排电阻器内部电路

(1) 充电控制电路

充电控制电路由 IC2②脚外接的电路组成。当进行快充电时，②脚输出高电平使 VT2 导通，由 VT1 对电池进行充电，当电池充至饱和状态时自动转为慢充状态，②脚输出的是频率为 1 kHz，占空比为 1:40 的脉冲信号。

(2) 放电控制电路

放电控制电路由 IC2②脚外接的电路组成。当充电过程中需要放电时，②脚输出的高电平驱动 VT4 等对电池进行放电。

(3) 温度保护电路

温度保护信号由热敏电阻器 R_t 和分压电阻器 R_1 分压后加到 IC2④脚上的。 R_t 的电阻值根据使用的 R_t 电阻值而定， R_1 的值应大于 $R_t + 5\%R_t$ 。

(4) 充电电池数设定电路

充电电池数设定电路由 IC2③脚外接的元件构成。适当改变 CR_1 与 CR_2 电阻值的分压比，可改变充电电池数 N 。

7.3.3 模拟电源转换集成电路在单电源变双电源电路中的应用与识图

图 7-21 所示是由模拟电源转换集成电路 MAX739 构成的单电源变双电源电路。适用于各种手提式（便携式）仪器、仪表及其他各种电气设备中对电源进行变换的场合。

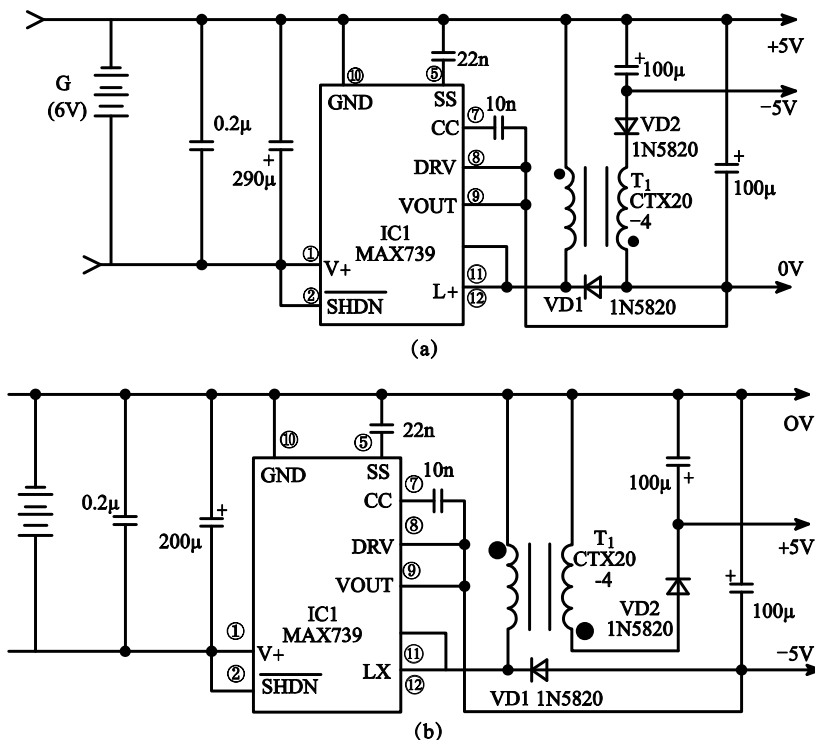


图 7-21 由 MAX739 构成的单电源变双电源电路

1. 识图指导

图 7-21 所示电路主要由 IC1、T₁、VD1、VD2 为核心构成。其中，IC1 的型号为 MAX739，是一块电源变换集成电路；T₁ 的型号为 CTX20-4，是一种双匹配电感线圈，在电路中作为变压器使用；VD1 与 VD2 的型号均为 1N5820，是一种整流二极管。

2. 工作原理

图 7-21 所示电路构成的实际上是一只升压变换器，用于将输入的 4~6 V 的直流电压转换为可控的 ±5 V 电源电压。IC1 集成电路的①脚为工作电源（正电源）电压输入端；⑩脚为接地线端；⑪与⑫脚连接在一起驱动 T₁ 变压器产生出交流信号；⑨脚为信号输出端，在图 7-21 (a) 所示电路中作为输出信号的公共引脚端，在图 7-21 (b) 所示电路中作为 -5 V 电压输出端；⑧脚为反馈信号输入端，用于将 IC1 ⑨脚输出的信号经⑧脚反馈到 IC1 内电路中，以使输出的电压保持稳定。

IC1 ⑪与⑫脚内开关电路产生的信号，经 T₁ 变压器处理后，由 VD1、VD2 半波整流后，即可获得 ±5 V 的两组稳定的直流电压。

②脚提供一个启动电压，该电压对 IC1 内部的定时电容器 C_T 进行充电（如图 7-23 所示），在充电期间，振荡器产生一个消隐脉冲使 PWM 控制器关断，输出晶体管 VT3 不能被驱动。振荡器峰值门限电压为 0.5 V。当 C_T 被充电到峰值电压值时，输出开关管 VT3 开始启动。当 C_T 放电时，只要其两端电压低于误差放大器输出，比较器则将门锁复位，从而驱动输出晶体管 VT3 工作，使 U_o 端有 3.3 V 的电压输出。

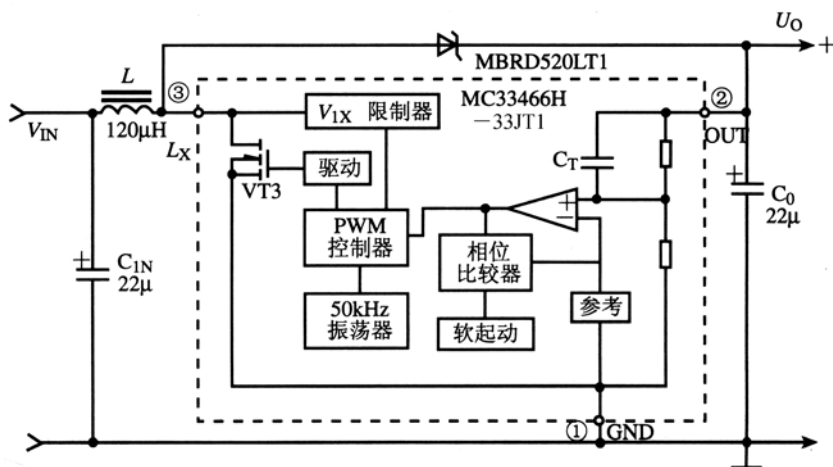


图 7-23 MC33466H-33JT1 内电路方框图

VT1 管（如图 7-22 所示）在电路中受 IC1③脚的驱动输出晶体管 VT3 的控制，工作在开关状态，其容量的大小决定了输出的电流，故应根据实际要求选用符合要求的开关管。

制作提示：

图 7-22 所示电路中 IC1 振荡器的工作频率设定在 50 kHz 上，开通时间约为 6.6 μ s。IC1 ②脚与地之间所接的 C_2 、 C_3 是两只薄片式钽电容器，以满足电路的要求。

7.4 模拟驱动集成电路的识图与应用

典型模拟驱动集成电路的类型也十分多，尤其在灯光控制与驱动方面，应用非常广泛。

7.4.1 模拟驱动集成电路在警笛声产生电路中的应用与识图

图 7-24 所示是由模拟驱动集成电路 BH3909 构成的警笛声产生电路。该电路可以模仿产生出警车、救护车警笛声，供各种不同的场合使用。

1. 识图指导

图 7-24 所示电路主要由 IC1、IC2、BL 为核心构成。其中，IC1 与 IC2 的型号均为 BH3909，是一块闪光驱动集成电路，其内电路方框图如图 7-25 所示，内含一个单片振荡电路，其工作电压很低，只要 1.5 V 电压即可正常工作，且具有自行启动功能，外围元件十分简单，

但功率损耗低, 平均电流小于 0.5 mA, 功率大, 输出管可提供 150 mA 电流, 可直接驱动扬声器发声; BL 是一只 $25\ \Omega$ 的扬声器, 作为发声元件。

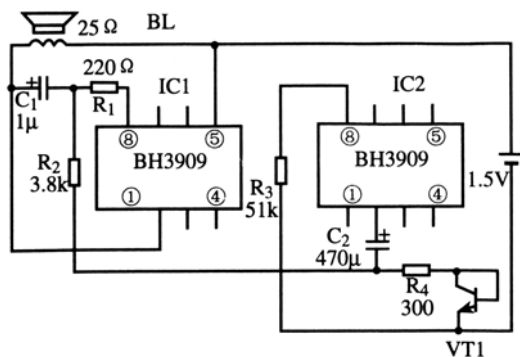


图 7-24 由模拟驱动集成电路 BH3909 构成的警笛声产生电路

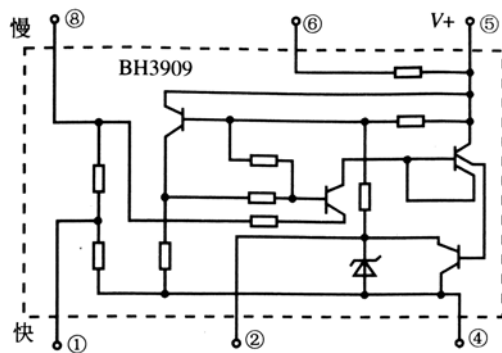


图 7-25 BH3909 内电路方框图

2. 工作原理

图 7-24 所示电路中的两块集成电路各组成一个振荡电路。其中, IC1 外接的 C_1 、 R_1 构成了第一个振荡器的时间常数元件, 确定了 IC1 内振荡电路的振荡频率; IC2 外接的 R_3 、 C_2 、 R_4 、VT1 构成了第二个振荡器的时间常数元件, 确定了 IC2 内振荡电路的振荡频率。这两个振荡电路产生的振荡信号交替驱动扬声器, 就会使扬声器中发出模拟的警车声。适当对振荡电路中的时间常数值进行调整, 还可产生出救护车警笛声等。

制作提示:

BH3909 集成电路有 8 脚双列直插和扁平陶瓷封装两种, 可根据使用情况选择。该集成电路的③脚与⑦脚为空脚, 电路中未使用, 可悬空不连接。

7.4.2 模拟驱动集成电路在彩光气氛渲染器电路中的应用与识图

图 7-26 所示是由模拟驱动集成电路 D9032 构成的卡拉 OK 彩光气氛渲染电路。该电路受音频信号的驱动, 与卡拉 OK 机配合使用, 利用五光十色的彩灯跟随伴唱者的歌声不断

地旋转闪烁, 室内彩光交相辉映, 使伴唱着大有歌舞会的临场感。

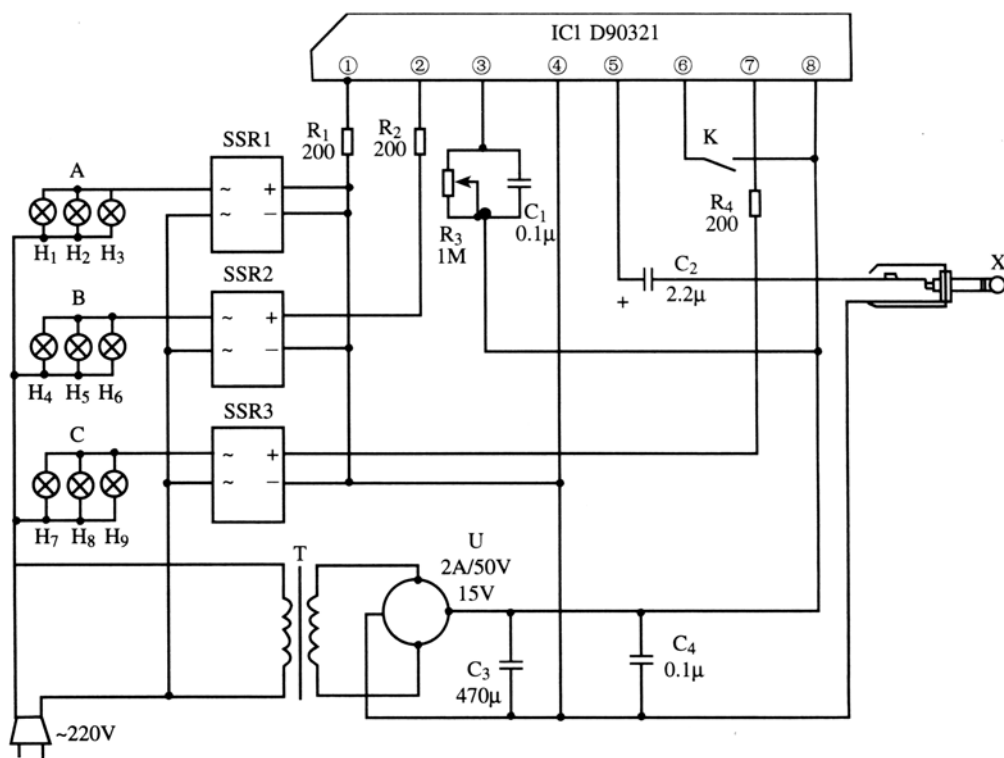


图 7-26 由模拟驱动集成电路 D9032 构成的卡拉 OK 彩光气氛渲染电路

1. 识图指导

图 7-26 所示电路主要由 IC1、SSR1~SSR3、H₁~H₉、T、U 为核心构成, 其中, IC1 采用声光环行指示灯旋转驱动集成电路 D9032, 其内电路方框图如图 7-27 (a) 所示。它系单列 8 脚塑封。如采用 D9031 双列 8 脚塑封, 除印刷电路板应稍作修改外, 它们的电性能完全相同。SSR1~SSR3 均采用 220 V 交流固态继电器, 驱动电流视所接彩灯的功率而定, 如采用小功率 (1 A) 的 SP11 等固态继电器, 每组采用 3 个灯泡, 每个灯泡的电功率应在 25 W 以下。T 采用初级电压为 220 V, 次级电压为 12~15 V, 2~3 W 的收录机电源变压器。U 采用 2 A、50 V 以上全桥, 亦可用 4 只 2 A、50 V 的整流二极管构成桥式整流电路。C₃ 为 470 μF, 耐压在 25 V 以上的电解电容器。

2. 工作原理

图 7-26 所示电路是由彩灯驱动与供电电路两个部分组合而成

(1) 彩灯驱动电路

该装置电路工作原理见图 7-26 所示。它是利用音频信号来控制环形计数脉冲的输出, 由大功率的交流固态继电器驱动三组彩灯作旋转闪烁。当音频信号从 IC1 的⑤脚输入时, IC1 内部的整流电路将其整流后用以控制内部压控振荡器的振荡频率, 其振荡频率的高低又确定了内部脉冲分配器的速率; 然后由三个输出级依次输出高电平。由此分析可见输入

到 IC1 中的音频信号强度越大, 所获得的整流电流强度越大, 压控振荡器的振荡频率亦越高, 环行脉冲输出的速率越高, 表现在灯光上则旋转闪光越快。IC1 的①、②、⑦脚为驱动电平输出端, 当它们依次输出高电平时, 使得交流固态继电器 SSR1~SSR3 导通, 于是 A、B、C 三组彩灯依次旋转闪烁。IC1③脚上的外接 C_1R_3 元件可以确定其内部压控振荡器的振荡频率, 其典型值为 $0.5\sim 20\text{ Hz}$, 调节 R_3 可以微调其基准频率。IC1⑥与⑧脚相接的 K 为时序开关, 合上 K 可以改变灯光旋转的起始方向, 趣味无穷。

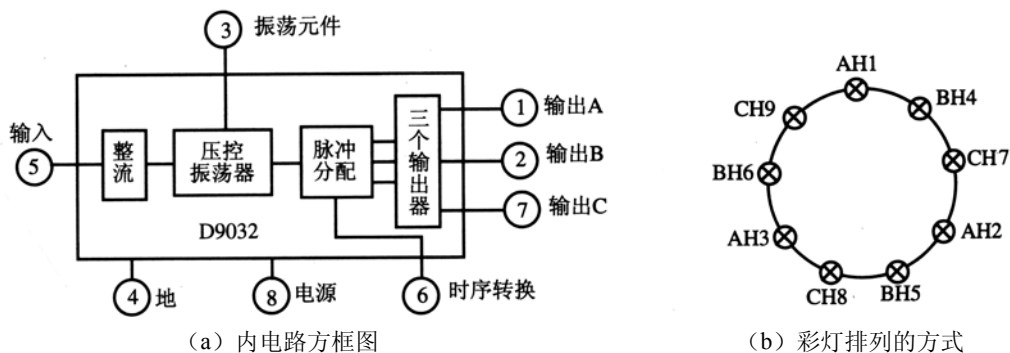


图 7-27 D9032 内电路方框图及彩灯排列的方式

(2) 供电电路

该装置采用电源变压器 T 降压, 全桥 U 整流后由 C_3 、 C_4 滤波供给 IC1 工作。由于采用了具有电隔离特性的交流 SSR, 从而使得 220 V 市电与控制电路所需的低压 15 V 直流电源完全隔离, 确保了使用者的安全。它的印刷电路板如图 7-28 所示。

制作提示:

对于图 7-26 所示电路只要所用元器件质量良好, 且焊接无误, 几乎不用调试即可正常工作, 然后装入塑封或胶木盒中即可投入使用。彩灯在室内的具体布置可按各人爱好自定。图 7-27 (b) 所示为一种彩灯排列设计方案。读者还可自行发挥, 设计出更佳效果的排列方案。

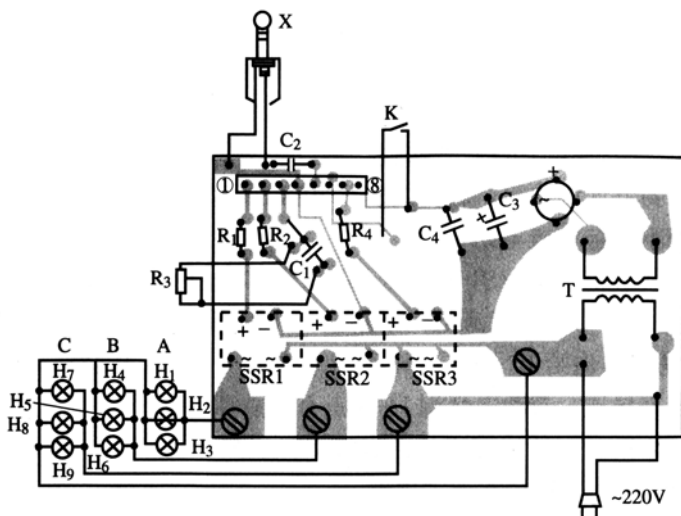


图 7-28 卡拉 OK 彩光气氛渲染器印制板图

7.4.3 模拟驱动集成电路在声控及光控节能灯电路中的应用与识图

图 7-29 所示是由模拟驱动集成电路 NJM2072D 构成的声控及光控节能灯控制电路。该电路白天不起作用，晚上工作，受话筒的控制会使照明灯自动点亮，延迟一段时间后会自动熄灭。

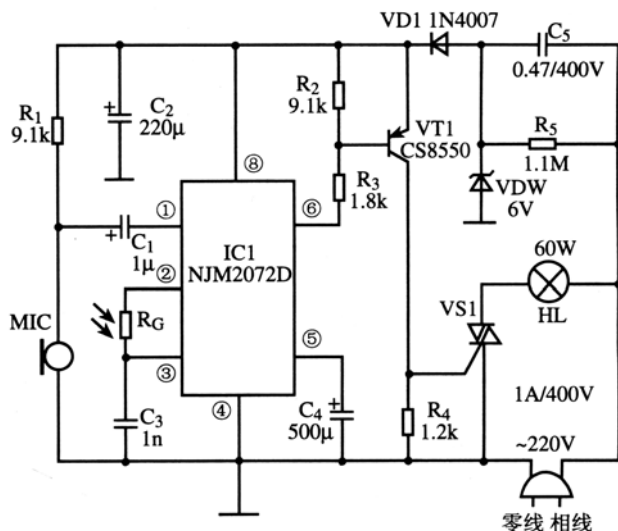


图 7-29 由 NJM2072D 构成的声控及光控节能灯控制电路

1. 识图指导

图 7-29 所示电路主要由 IC1、VS1、VT1、MIC、RG 为核心构成。其中，IC1 的型号为 NJM2072D，是一块单片电平检测集成电路，其内含放大器、检波器、模拟开关、施密特触发器、输出缓冲器和恒流源等电路；VS1 为单向晶闸管，其容量应根据照明灯的功率确定其型号；VT1 的型号为 CS8550，是一种 PNP 类晶体三极管；MIC 为驻极体话筒，用于拾取声音信号；RG 为光敏电阻器，其受光照时电阻值会变小，无光照时电阻值很大。

2. 工作原理

图 7-29 所示电路是由光控电路、声控电路等几个部分组合而成的。

(1) 白天

在白天，RG 光敏电阻器受光照电阻值在 $200 \sim 400 \Omega$ 之间，等效于在 IC1 的②与③脚间连接一只很小的电阻器，故 IC1 内的放大器增益小于 1，IC1 ⑥脚输出高电平，VT1 截止，对后级电路不产生影响。

(2) 晚上

到了晚上，RG 光敏电阻器无光照电阻值很大，不会对 IC1 ②与③脚内的放大器的增益产生影响，故而解除了对 IC1 的封锁。

这样，当有声音被 MIC 话筒拾取后，转换为电信号经 C1 电容器耦合，加到 IC1 ①脚内，

经 IC1 内电路处理后, 就会使 IC1⑥脚输出的高电平转换为低电平, 该信号经 R_3 加到 VT1 管基极, VT1 导通, 使 R_4 电阻器上产生的电压降触发 VS1 导通, 使照明灯 HL 得电点亮。

当 HL 照明灯点亮后, 约点亮 90 s 左右, IC1 的状态又会翻转, 其⑥脚输出由低电平转变为高电平, VT1 又截止, HL 照明灯自动熄灭。

制作提示:

IC1⑤脚内部为施密特触发器, 其外接的 C_4 电容器的容量值, 确定了照明灯 HL 点亮的时间, 可根据实际需要确定该电容器的容量值。

7.4.4 模拟驱动集成电路在多路彩灯 (LED) 电路中的应用与识图

图 7-30 所示是由模拟驱动集成电路 C182 构成的多路彩灯 (LED) 控制电路。该电路受音频信号大小的控制, 可直接驱动众多发光二极管闪光, 故特别适用于声光音响控制的场合, 也适用于各种工艺品、花瓶、画屏及喜字等的装饰闪光。

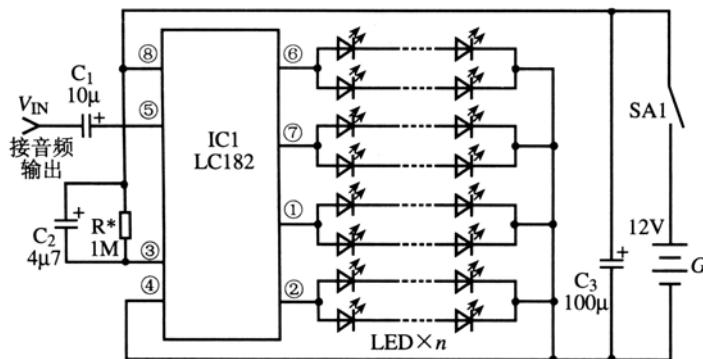


图 7-30 由 LC182 构成的多路彩灯 (LED) 控制电路

1. 识图指导

图 7-30 所示电路主要由 IC1、LED 为核心构成。其中, IC1 的型号为 LC182, 是一块彩灯专用驱动集成电路, 其外形如图 7-31 (a) 所示, 内部主要由信号整流电路、压控振荡器、脉冲分配器和 4 路驱动器等组成, 其内电路方框图如图 7-31 (b) 所示; LED 为发光二极管, 其数量可根据实际需要确定。

2. 工作原理

从 IC1 的内电路方框图可看出, 内部的压控振荡器的频率受控于前级整流电路, 当输入音频信号的幅度增大时, 压控振荡器的频率提高, 从而使分配器的分配速度加快, ⑥、⑦、①、②脚各输出端循环周期缩短。这种由音频信号大小调制分配器频率高低的方法可以形成良好的视觉效果。

当合上电源开关 SA1 后, IC1 内部的压控振荡器便工作, 此时 IC1 的四路输出端⑥、⑦、①、②脚依次变为高电平, 其循环频率为 0.5~1 Hz, 彩灯 (LED) 慢悠悠地循环闪光。

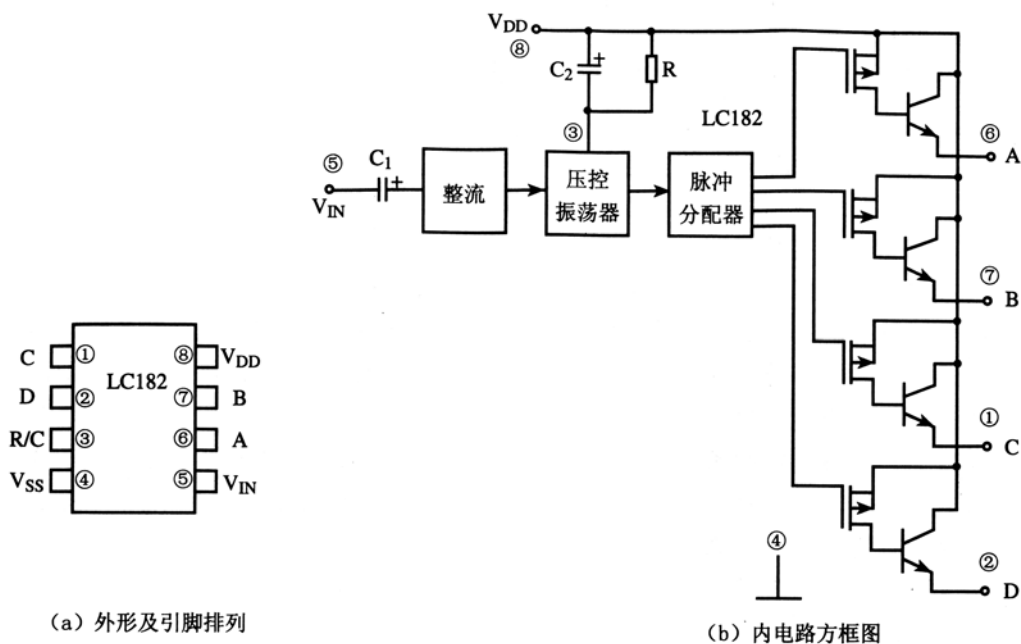


图 7-31 LC182 集成电路外形及引脚排列与内电路方框图

当将 IC1 的调制输入端接入音频设备的输出端（如收录机、组合音响、电视机、CD、VCD、DVD、MP3 等），在音频信号的控制下，彩灯的循环速度随音频信号的大小而加快，最大调制率为 15 倍，即原来以 1 Hz 频率循环加大到 15 Hz。适当地调整 R、C₂ 的数值，可以控制无调制信号加入时的循环速度。

制作提示：

当音频信号的输入电流过大时，最好在 VIN 端串入一只限流电阻器。

7.4.5 模拟驱动集成电路在触摸式五挡调光吊灯电路中的应用与识图

图 7-32 所示是由模拟驱动集成电路 5G673 构成的触摸式五挡调光吊灯电路。该电路可装在一只精巧的塑料装饰盒内固定在墙壁上，适用于各种场合的照明。

1. 识图指导

图 7-32 所示电路主要由 IC1、LED1~LED5、VT1~VT5、K₁~K₅、DIAC、BCR、M₁~M₆、C₃、C₄、C₂ 为核心构成。其中，IC1 采用 5G673，它应使用负电源，但只要将⑨脚接 +12 V，⑮脚接地，即可在正电源状态下工作。发光二极管 LED1~LED5 均采用 $\phi 3$ mm 红色管。VT1~VT5 均采用 9013 或 8050 等 NPN 三极管， $\beta \geq 120$ 。继电器 K₁~K₅ 均采用 JRX-13F，用 12 V 的 4100 或 4098 也可。DIAC 采用 DB3 双向触发二极管。BCR 视吊灯灯泡的功率而定，一般采用 3~6 A、600 V 即可。M₁~M₆ 为六块触摸片，可用镀铬金属片黏在塑料面板上，接好引线即可。C₃、C₄ 的耐压值要求大于 160 V，C₂ 的耐压值要求大于 400 V。

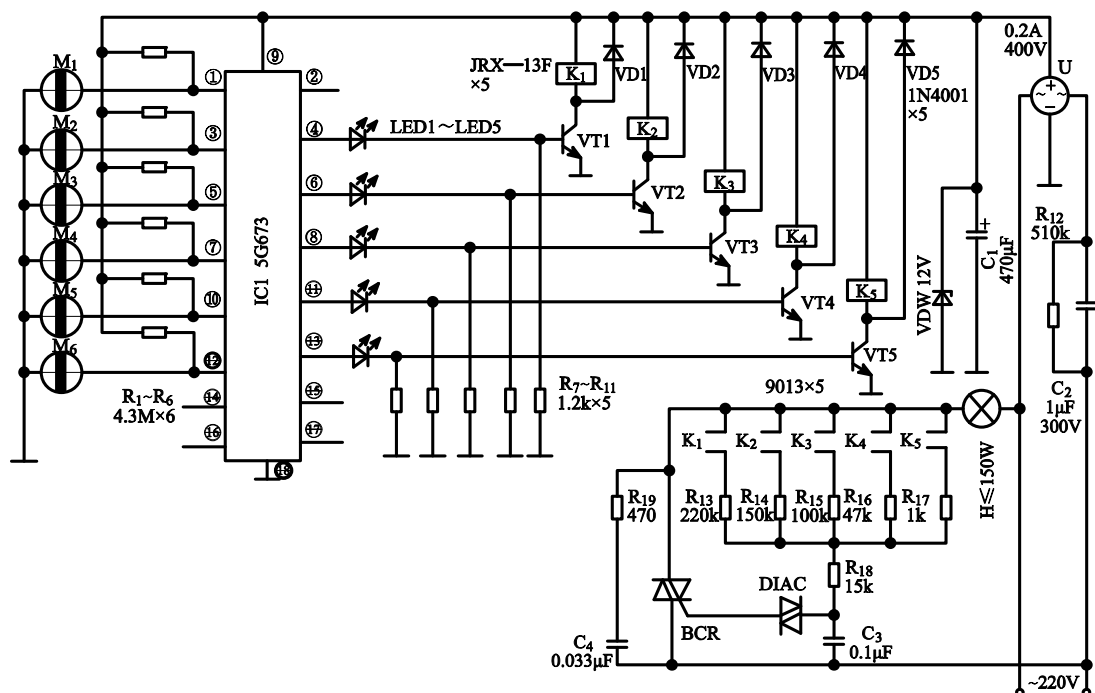


图 7-32 由 5G673 构成的触摸式五挡调光吊灯电路

2. 工作原理

图 7-32 所示电路是由触摸式电子开关电路、继电器控制电路、可控硅调光电路及电源电路 3 个部分组合而成。

(1) 触摸式电子开关电路

5G673 是一块具有互锁的 8 挡输出 PMOS 驱动集成电路。 $M_1 \sim M_6$ 是六只金属触摸片。平时其输入端通过电阻器 $R_1 \sim R_6$ 接至电源正极，故呈高电平状态，其输出端均为低电平，一旦用手触摸金属片 $M_1 \sim M_6$ 的任意一块时，相对应的输出端变成高电平，此路的发光二极管点亮，并在电阻器 $R_7 \sim R_{11}$ 上产生压降使该路的三极管导通，从而驱动继电器吸合达到变光目的。如触摸 M_6 ，由于人手的连接作用，使 IC1 的⑩端变为低电平，此时 IC1 的⑬脚变为高电平，三极管 V_5 导通，继电器 K_5 励磁吸合，导致其常开触点 K_5 闭合。

(2) 可控硅调光电路

由于可控硅变光控制电路中采用 RC 移相触发，改变 $R_{13} \sim R_{17}$ 的阻值，即可改变其触发相位，从而控制双向可控硅的导通角，也就使流过吊灯 H 的电流发生变化，由此使吊灯形成不同的亮度。

(3) 电源电路

电路的电源由 C_2 和 R_{12} 限流降压，经全桥 U 整流， C_1 滤波，VDW 稳压成 12 V 供给 IC1 及其驱动电路。

制作提示:

图 7-33 所示为五挡调光吊灯电路的印制板图, 电路所用元器件良好, 且焊接无误, 可先接入吊灯, 只试验其触摸控制功能, 看是否工作正常, 如正常再接入吊灯。

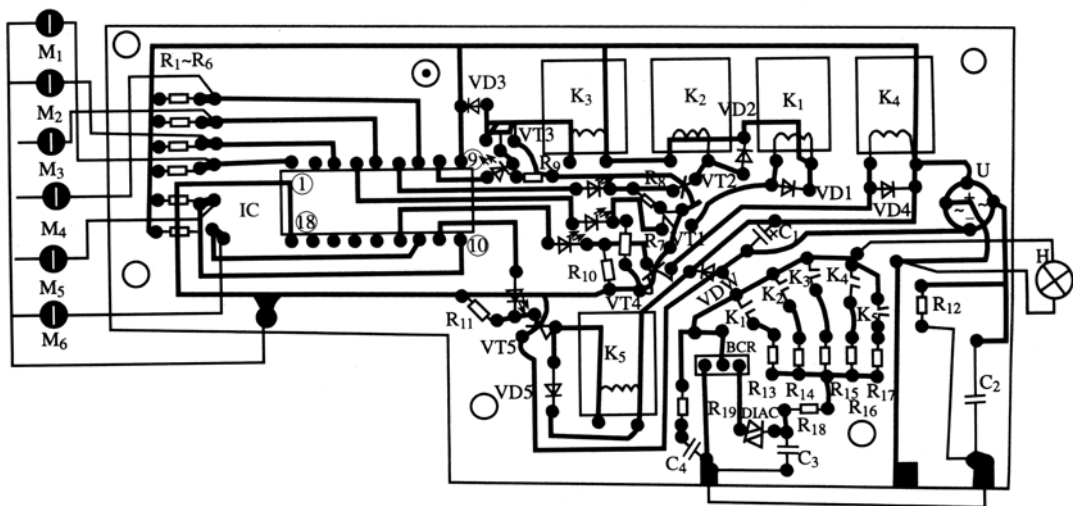


图 7-33 触摸式五挡调光吊灯电路印制板图

7.4.6 模拟驱动集成电路在触摸分挡调光灯控制电路中的应用与识图

图 7-34 所示是由模拟驱动集成电路 HT7713 构成的触摸分挡调光灯控制电路。该电路采用触摸的方式对台灯的亮度进行调整, 每触摸一次触片, 台灯灯泡的亮度就会改变一次, 灯光的亮度按较暗→渐亮→最亮→熄灭→较暗……的方式进行循环。适用于制成对灯光进行控制的灯控产品。

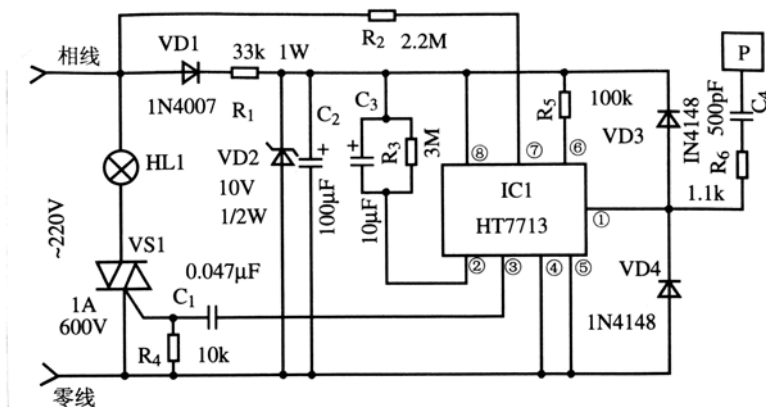


图 7-34 由 HT7713 构成的触摸分挡调光灯控制电路

1. 识图指导

图 7-34 所示电路主要 IC1、VS1、P、HL1 为核心构成。其中，IC1 的型号为 HT7713，是一块专用灯光驱动控制集成电路；VS1 是一只双向晶闸管，其型号根据所驱动的灯泡 HL1 的功率来定，VS1 的功率应大于 HL1 的功率；P 是一只采用铜片制成的触摸片，供用手触摸用；HL1 为 220 V 的白炽灯泡，其功率可根据实际需要确定。

2. 工作原理

图 7-34 所示电路是由供电电路、触摸控制电路两个部分组合而成的。

(1) 供电电路

220 V 交流电压一路加到 HL1 与 VS1 串联电路的两端；另一路经 VD1 二极管半波整流、 R_1 电阻器降压、VD2 稳压二极管稳压、 C_2 电容器滤波，得到的 10 V 直流电压一路加到 IC1 的⑧脚，另一路经 R_3 加到 IC1 的⑥脚，为 IC1 提供工作电压。该 10 V 电压还经 $C_3//R_3$ 加到 IC1 的②脚上。

(2) 触摸控制电路

触摸控制电路由 IC1、P 及外围的元件组成。当触摸一次 P 触摸片后，通过 C_4 、 R_6 为 IC1 的①脚提供一个控制信号，该信号经 IC1 处理后，就会从其③脚输出一个触发信号，该触发信号经 C_1 就会使 VS1 的导通角发生改变。每触摸一次触摸片 P，就会使 VS1 的导通角改变一次，进而就会使 HL1 灯光亮度改变一次，其变化规律为较暗→渐亮→最亮→熄灭→较暗……

图 7-34 所示电路采用 4 挡方式循环，前三挡方式运行时，双向晶闸管 VS1 的导通角分别为 17° 、 86° 和 121° 。

制作提示：

P 触摸片既可以单独设置，又可以利用台灯上的金属装饰件代替。 C_4 为隔离电容器，一定要选用特性及可靠性较高的；交流电压的连接应注意相线与零线的正确接线。

7.4.7 模拟驱动集成电路在触摸四级灯光控制电路中的应用与识图

图 7-35 所示是由模拟驱动集成电路 HT7713T 构成的触摸四级灯光控制电路。该电路采用触摸方式可对灯光的亮度进行四级调整，适用于需要对吊灯、台灯的亮度进行调整的场合。

1. 识图指导

图 7-35 所示电路主要由 IC1、P、VS1 为核心构成。其中，IC1 的型号为 HT7713T，是一块触摸调光驱动集成电路，该集成电路采用 CMOS 工艺生产，故功率损耗低、抗干扰能力强，采用单+10 V 电源供电，触摸端的负载电容器范围在 $0\sim 1200\text{ pF}$ 之间，不必区分市电的火线与零线，具有触摸、按键或遥控等控制方式。HT7713 采用双列直插式封装，其各引脚功能如表 7-5 所列。

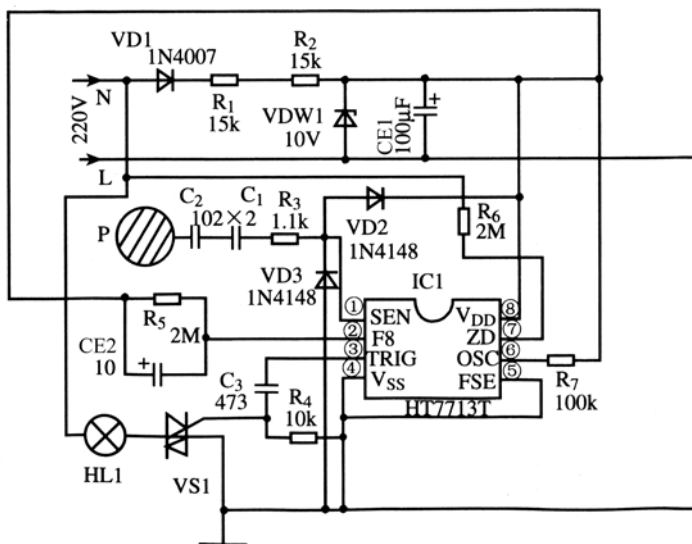


图 7-35 由 HT7713T 构成的触摸四级灯光控制电路

表 7-5 HT7713T 集成电路各引脚功能说明

引脚号	字母代号	功能说明	引脚号	字母代号	功能说明
①	SEN	触摸控制信号输入端	⑤	FSE	市电频率选择, 悬空为 60 Hz, 接地为 50 Hz
②	FB	反馈控制端, 用于控制①脚的输入电流	⑥	OSC	频率振荡器输入端
③	TRIG	双向晶闸管控制信号输出端	⑦	ZD	过零同步信号输入端
④	VSS	接地线端	⑧	VDD	正工作电压输入端

2. 工作原理

HT7713T 不需使用变压器, 直接从市电降压、整流获得+10 V 电源。C₁、C₂、R₃、VD2、VD3、R₅、E₂ 构成触摸控制电路。VD2、VD3 起钳位作用, 提高抗干扰能力。每触摸一次“触摸控制”端即按照关→微光→弱光→中光→强光→关的顺序变化。过零同步信号由 R₆ 直接从市电上获得。R₅、E₂ 构成触摸控制信号的负反馈网络, 以保护 HT7713T。R₇ 为内部时钟振荡器所需的外接振荡电阻器。该电路所接外部负载的大小由双向可控硅的容量决定。

制作提示:

焊接完要先检查有无连焊、虚焊。若 VDW 虚焊就会造成高电压烧毁 HT7713T。若 R₆ 错接成 1 MΩ 以下的电阻器, HT7713 也会因高压而烧毁, 通电前还要认真检查 C₁、C₂、R₃, 确保没问题, 触摸点与其余元件之间应符合安全标准。

7.4.8 模拟驱动集成电路在静电检测电路中的应用与识图

图 7-36 所示是模拟驱动集成电路 SL322 构成的静电检测电路。该电路可以测试出物体

是否带有电荷，并能相应判断出静电的电荷量大小。不仅适用于教学演示，还可以作为其他行业静电监测用。

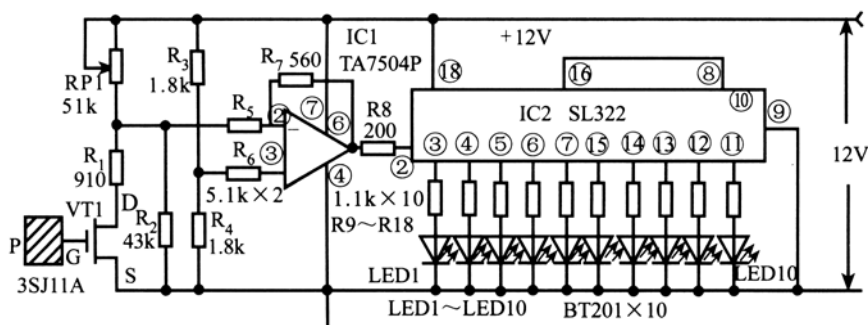


图 7-36 由模拟驱动集成电路 SL322 构成的静电检测电路

1. 识图指导

图 7-36 所示是由 IC1、IC2、P、VT1 为核心构成。其中，IC1 的型号为 TA7504P，是一块单运算放大器；IC2 的型号为 SL322，是一块双路发光二极管电平显示驱动集成电路；P 是一块采用 1 mm 厚的 30 mm×30 mm 正方形铜片，用来作为静电检测传感器，该铜板的中心点直接与 VT1 的栅极 G 相连接；VT1 的型号为 3SJ11A，是一只 P 沟道绝缘栅型场效应晶体管；LED1~LED10 是 10 只发光二极管，受 IC2 的控制会逐个点亮，点亮发光二极管的多少取决于被测静电强度的大小。

2. 工作原理

图 7-36 所示电路主要由静电检测传感器、电压比较器、显示驱动电路等单元电路组合而成。

(1) 检测传感器与比较电路

当检测传感器 P 检测到静电作用时，相当于在 VT1 管的栅极施加上了一定偏压，使其漏极 D 与源极 S 之间趋于导通状态，从而使 D-S 间的电压降变小，该信号使加到 IC1②脚上的电压也下降。

IC1 作为电压比较放大器，用于将加到②脚上的微弱信号进行放大，从其输出端就会有相应的电压输出，经 R₈ 加到 IC2 的②脚。

(2) 显示驱动电路

IC2 及外围的有关元件组成的显示驱动电路，受其②脚输入的信号控制，使发光二极管相应被点亮。平时，测试板 P 未受静电或电场的作用时，VT1 的 D-S 间电阻值很大，IC1 ②脚电压大于③脚，其⑥脚输出低电平，IC2 的②脚电位也下降，则被点亮的发光二极管个数相应减少。

当 P 检测到电荷或电场时，VT1 的 D-S 间电阻值变小，IC1 的②脚电压低于③脚，⑥脚输出电压上升，IC2②脚上的电压也提高，使点亮的发光二极管个数相应增加。

制作提示:

RP1 电位器可以调整 IC1②脚上的电压, 该电位器的电阻值以 P 未检测到静电或电场时, LED1 为点亮状态为佳, 用 LED1 作为工作指示灯。

7.4.9 模拟驱动集成电路在锁车灯光延迟熄灭电路中的应用与识图

图 7-37 所示是由模拟驱动集成电路 SG3524 构成的汽车锁车延迟熄灭电路。该电路会使车内灯光逐渐变暗并延长一段时间, 足以使驾驶员在夜晚停车时从容不迫地将车锁好, 最后车灯自动熄灭。

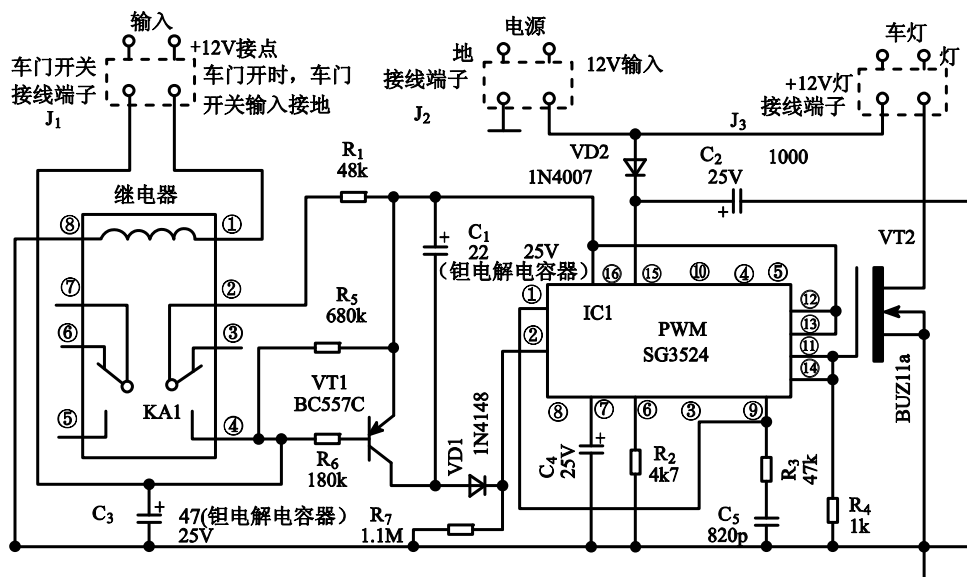


图 7-37 由 SG3524 构成的汽车锁车延迟熄灭电路

1. 识图指导

图 7-37 所示电路主要由 IC1、KA1、VT1、VT2 为核心构成。其中, IC1 的型号为 SG3524, 是一块脉冲宽度调制 (PWM) 驱动集成电路; KA1 是一只直流 12 V 的继电器; VT1 的型号为 BC557C, 是一只 PNP 类晶体三极管; VT2 的型号为 BUZ11a, 是一只场效应晶体管。

2. 工作原理

图 7-37 所示电路中的场效应管 VT2 用来驱动车灯,并由脉冲宽度调制器 IC1⑪、⑭脚输出的信号对车灯的亮度进行调整。

(1) 车门打开时

当车门打开时, 车门开关的输入接地, 等效于将 C_3 电容器正极接地, 使 C_3 电容器迅速放电, 使 VT1 饱和导通, C_1 电容器两端等效短接, IC1②脚反相输入, VT2 导通, 车灯得电工作 (灯光明亮)。

(2) 车门关闭时

当车门关闭时, 车门开关打开, C_3 充电, VT1 通过 R_5 、 R_6 保持饱和导通状态约 1 min 左右, 然后随着 C_3 上的电压上升进入截止状态, C_1 开始缓慢充电, 导致 IC1 的②脚有 +0.6 V 电压输入, 使 VT2 的导通角逐渐变小, 车灯也开始调光并逐渐变暗。

(3) 锁车离开时

当要锁车离开、锁住车门时, 继电器 KA1 线圈 +12 V 电源接点接通而吸合, 使 C_3 电容器被快速充电、VT1 迅速截止, 进而使 IC1 调整 VT2 使其迅速截止, 车灯熄灭。

制作提示:

图 7-37 所示电路中的二极管 VD2 与 C_2 是为了防止干扰而设置的, 以保护汽车发动机电路。

7.5 模拟检测集成电路的识图与应用

7.5.1 模拟降噪集成电路在动态降噪检测电路中的应用与识图

图 7-38 所示是由模拟降噪集成电路 LM1894 构成的具有动态降噪功能的混合放大电路。这是一种高保真信号源选择与混合电路, 适合于各种音响的前置电路中使用。

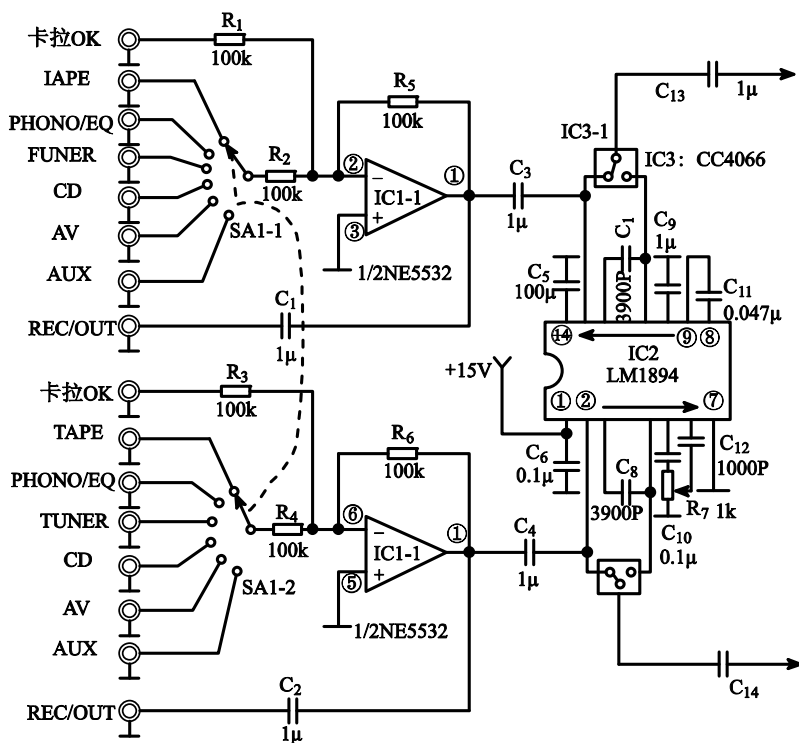


图 7-38 由模拟降噪集成电路 LM1894 构成的具有动态降噪功能的混合放大电路

1. 识图指导

图 7-38 所示电路主要由三块集成电路为主构成。其中, IC1 是一块双运算放大器; IC2 的型号为 LM1894, 该电路是利用人耳听觉特性, 并根据噪声随带宽成正比和掩蔽效应的原理进行工作的, 可以有效地消除信号源在还音时的电路高频噪声, 降噪量达 10~14 dB。IC3 的型号为 CC4066, 是一种四双向模拟开关。

图 7-38 所示电路中的 SA1 是一种波段转换开关, 用来对输入的信号源进行选择。该波段开关可改用电子开关。

2. 工作原理

图 7-38 所示电路可分为信号选择、混合放大、动态降噪 3 个部分来分析。

(1) 信号源选择

图 7-38 所示设计成 2 路混合、6 路输入转换及 1 路录音输出, 以适合配用多种不同信号源输入的需要。输入的各种信号由 SA1 进行切换选择后送入混合放大器。

(2) 混合放大器

IC1 的两只运算放大器构成了两路反相放大电路, 其对于任何一种输入信号其增益都等于 1, 输入阻抗就等于输入电阻器 ($R_1 \sim R_4$) 的电阻值为 100 k Ω 。两路送至 IC1 的信号一路为音频信号源输入, 另一路为卡拉 OK 话筒混响信号输入, 混合后的信号一路送往后级, 另一路由 C_1 、 C_2 送到线路输出端供其他电路使用。

(3) 动态降噪电路

从 IC2 的⑬与②脚输入的信号, 经降噪处理后从⑪脚与④脚输出, 由 IC3 选择是否需要降噪后的信号送后级电路。

7.5.2 模拟检测报警集成电路在光控发声电路中的应用与识图

图 7-39 所示是由模拟检测报警集成电路 M5232L 构成的光控发声电路。该电路在有光照时无声音发出, 无光照射时会发出声音。适用于需要对光进行检测的场合, 也可应用于电子玩具中。适当对电路进行变形、改动, 还可构成有光照时有声音发出, 无光照射时不会发声的工作方式。

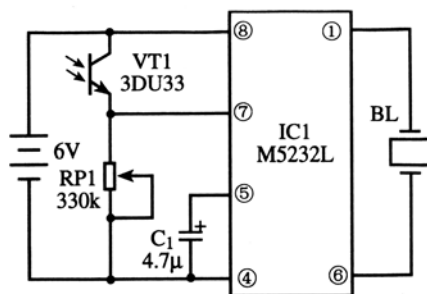


图 7-39 由 M5232L 构成的光控发声电路

1. 识图指导

图 7-39 所示电路主要由 IC1、VT1、BL 为核心构成。其中，IC1 的型号为 M5232L，VT1 的型号为 3DU33，是一只光敏三极管，受光照时，其集电极与发射极之间的电阻值（内电阻）会变小，无光照射时，其集电极与发射极之间的电阻值会变得很大；BL 是一种压电蜂鸣器，受驱动时会发出声响。

2. 工作原理

图 7-39 所示电路结构十分简单，其工作原理可从有光照射与无光照射两个方面来说明。

（1）有光照射

当有光照射到光敏三极管 VT1 上时，VT1 的内电阻变小，使电源电压经 VT1 的内电阻加到 IC1 的⑦脚。在电路中，VT1 与 C₁ 及 IC1⑦、⑤脚内的电路共同构成了一个音频振荡器，当 IC1 的⑦脚为高电平时，该振荡电路就会停止振荡，IC1 的①与⑥脚无驱动信号输出，故压电蜂鸣器不会发声。

（2）无光照射

当无光照射到 VT1 上时，VT1 的内电阻变得很大，IC1⑦脚为低电平，上述的音频振荡器就会启振工作，BL 压电蜂鸣器就会发声。

制作提示：

图 7-39 所示电路如用来检测电冰箱内的照明灯电路是否损坏较方便，当将该装置放在电冰箱照明灯下方，关闭电冰箱门后 BL 应发声。如不发声，则就说明电冰箱照明灯未熄灭或门封不严有漏光等。

图 7-39 所示电路中的 RP1 可以调整光控的灵敏度，可根据实际需要进行调校。

7.5.3 模拟音频振荡集成电路在甲烷检测报警电路中的应用与识图

图 7-40 所示是由模拟音频振荡集成电路 SGZ07 构成的甲烷检测报警电路。该电路可在一定区域内对甲烷的浓度进行检测，一旦检测到其含量超过设定值时，就会发出报警声，并将检测到的数据用数字的方式显示出来。图 7-41 所示为其显示电路。

1. 识图指导

图 7-40 与图 7-41 所示电路主要由 IC1~IC4、QMR 为核心构成。其中，IC1 的型号为 LA6324，是一块四运算放大器，它们中的 IC1-3 与 IC1-4 及外围元件共同构成了两级比例信号放大器；IC1-1 与 IC1-2 及外围元件共同构成了电源取样放大和欠压指示放大器，如图 7-41 所示。IC2 的型号为 SGZ07，是一块音频振荡放大集成电路；IC3 的型号为 ICL7660，是一块双直流电压转换电路；IC4 的型号为 ICL7107，是一块单片 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换集成电路，用于驱动 LED（发光二极管）发光数码显示屏显示检测甲烷的含量。QMR 是一种气体检测传感器，用于检测甲烷的含量；FT-43 是一只蜂鸣器，用于进行声音报警；LED1~LED6

是 6 只发光二极管,用于进行光信号报警。这两部分电路均受 IC2 的控制,而 IC2 则受 IC1-3 与 IC1-4 电路输出信号的控制,IC1-3 输入信号来自 QMR 传感器。

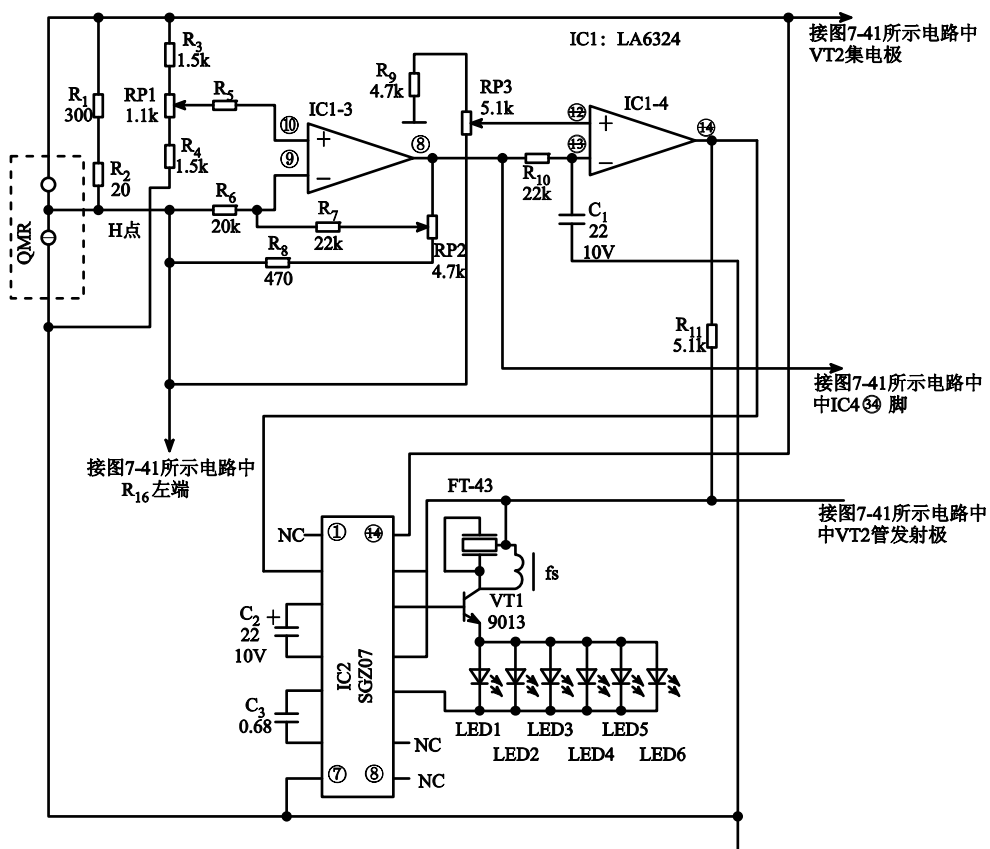


图 7-40 由模拟音频振荡集成电路 SGZ07 构成的甲烷检测报警电路

2. 工作原理

图 7-40 与图 7-41 所示电路主要由信号检测放大和报警电路、双电源转换电路及模数转换电路 3 个部分组合而成。

(1) 信号检测

QMR 传感器与 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 $RP1$ 组成了测量电桥电路。当传感器 QMR 检测到一定浓度的甲烷气体时,其表面就会发生火焰燃烧,温度上升,电阻值随温度增高而增大,由此就会使图 7-40 所示中的 H 点电位升高,该信号就会送到后级电路。

(2) 信号比较放大电路

IC1-3 集成运算放大器的同相信号输入端⑩脚加有基准电压,该电压是由 R_3 、 $RP1$ 与 R_4 分压后得到的,当 QMR 传感器检测到甲烷气体使 H 点电位升高时,该电压经 R_6 电阻器加到 IC1-3⑨脚,使 IC1-3⑨脚电压升高时,经比例放大器放大后其⑧脚输出电压下降,使 IC1-4⑬脚上的电位也下降。一旦甲烷浓度上升到一定量,使 IC1-4⑬脚电压低于⑫脚,其⑭脚输出高电平(约 2.5 V 左右),就会触发 IC2 进入报警工作状态。

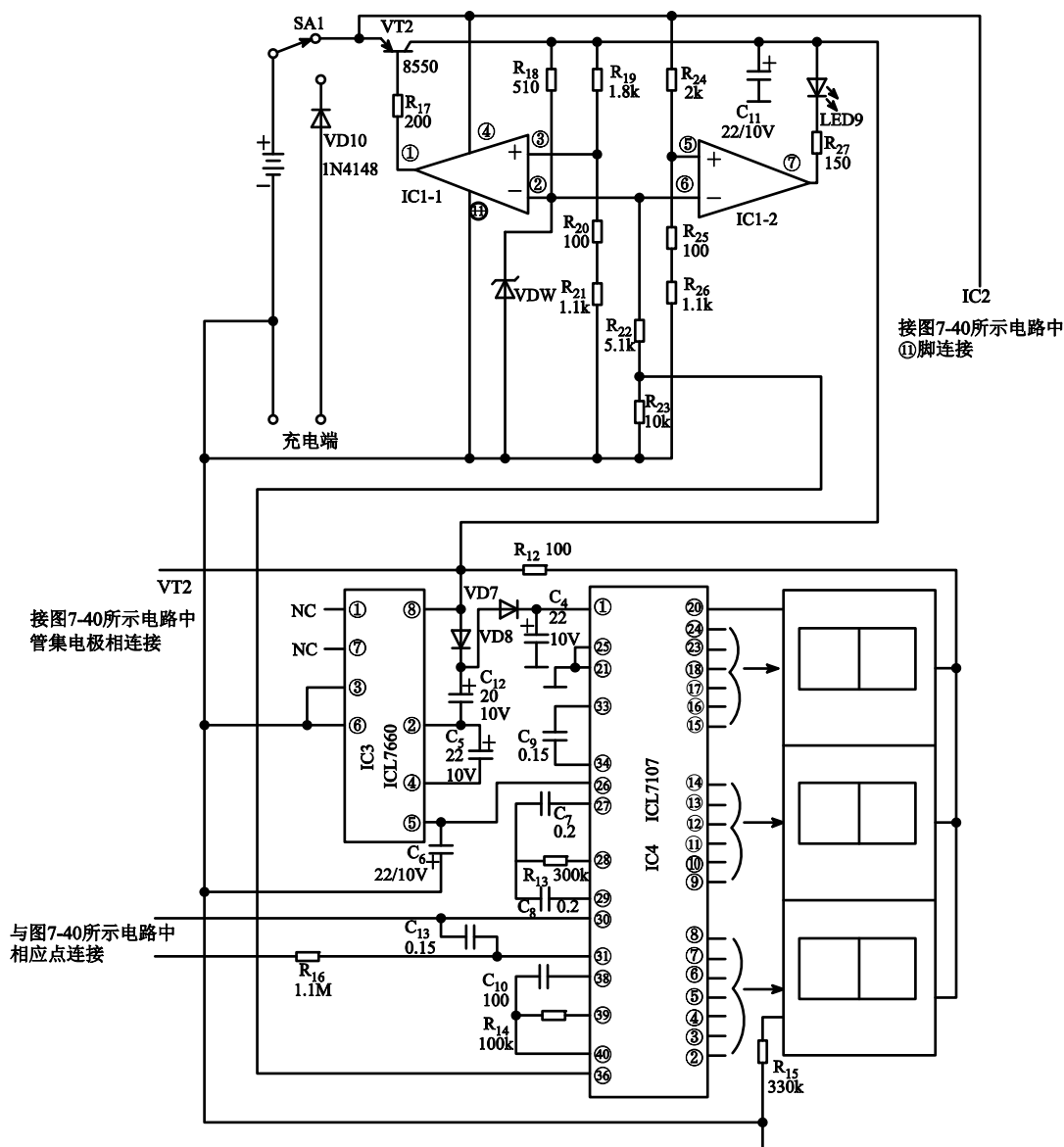


图 7-41 由模拟音频振荡集成电路 SGZ07 构成的甲烷检测显示电路

(3) 信号报警电路

信号报警电路由 IC2、FT-43、LED1~LED6 等组成。当 IC2 的②脚输入电位大于 2 V 时, IC2 内电路中的反相器就会翻转, 其内的调制振荡器电路和音频振荡器均启振工作, 经混频放大器放大整形后, 从 IC2 的⑩脚射极输出, 直接加到 VT1 管的基极, 推动 FT-43 蜂鸣器发出报警声和使 6 只发光二极管 (LED1~LED6) 连续不断地闪光, 这就实现了声、光报警。

调整 RP3 可调电阻器的值, 就可以调节上述的报警时间。调整 C₃ 电容器的电容量, 就可以改变报警的声调。

(4) 模数转换与显示电路

模数转换电路由 IC4 及外围的有关元件共同构成,如图 7-41 所示。IC4 的③⑩脚为信号输入端,⑩脚信号来自 IC1-3 的⑧脚,③脚信号来自 QMR 传感器输出的信号,这一差分模拟信号经 IC4 内部发缓冲放大器、积分器,再送入比较放大器进行比较,而比较器的输出状态则作为逻辑电路的控制信号;逻辑电路根据比较器的输出状态判断信号的极性和基准积分结果的时间。逻辑电路周期性地发出三个阶段的控制信号,并及时地控制计数器、数据锁存器、译码器,使与模拟信号大小相应的数字形成个位、十位、百位及千位的七段码,直接驱动数码管显示出甲烷的含量。

(5) 双电源变换电路

如图 7-41 所示,双电源变换电路由 IC3 及外围的有关元件共同构成。用于为 IC4 提供正负工作电源。当电源开关 SA1 接通后,VT2 输出的约 2.9 V 直流电压从 IC3⑧脚输入后,IC3 内的振荡器启振工作,产生的振荡信号经分频器分频、电平变换电路,在逻辑电路的控制下,分别控制 IC3 内 4 个 CMOS 开关功率管的导通和截止,产生的开关电压通过其②与④脚不断地对储能电器 C₅ 进行充电,在②脚上得到的脉动电压与 VD8 送来的 2.2 V 电源电压进行叠加,经 VD7 倍压整流, C₄ 平滑滤波、在 IC4①脚上就可得到+5 V 的直流电压;在 IC3⑤脚得到的-3 V 电压,加到 IC4 的⑥脚,作为 IC4 的工作电源。

(6) 电源稳压电路

电源稳压电路由 IC1-1、VT2、VDW 等组成。IC1-1 构成了比较放大电路,其反相信号输入端②脚为基准电压端,该脚电压是由 R₁₈ 限流,VDW 稳压后得到的。比较电压取自 VT2 输出端,经 R₁₉ ~R₂₁ 分压后得到的。两电压进行比较后从 IC1-1①脚输出信号控制 VT2,以使输出的 2.9 V 电压稳定。

(7) 欠压指示电路

欠压指示电路由 IC1-2 及外围的有关元件共同构成。IC1-2⑥脚上的基准电压与 IC1-1 同取自 VDW 稳压后的电压,比较电压直接取自干电池正极,经 R₂₄ 与 R₂₅、R₂₆ 分压后加到 IC1-2⑤脚上的,一旦电池电压下降到一定值,使 IC1-2⑤脚电压低于⑥脚时,IC1-2⑦脚输出低电平,使发光二极管点亮,以示欠压。

习 题 七

1. 填空题

(1) 在图 7-12 所示电路中, IC1 的型号为 BA328, 是一块_____集成电路; IC2 的型号为 TDA2002, 是一块_____集成电路。

(2) 在图 7-14 所示电路中, VD1 的型号为 1S2236, 是一只_____; VT1 与 VT2 的型号均为 2SK241, 是一种_____, (_____)。

2. 选择题

(1) 模拟功率开关集成电路 BTS412 的哪一个引脚为故障输出信号端 ()

- (a) ①脚 (b) ②脚
(c) ③脚 (d) ④脚
(e) ⑤脚

(2) 在图 7-3 所示电路中, 当 IC2②脚上的电压 (也就是输出端 U_0 电压) 大于③脚上的基准电压时, IC2⑥脚输出变为_____, 使 IC1_____, 从而使输出电压_____, 实现稳定输出电压的目的 ()

- (a) 高电平, 关断, 下降
(b) 低电平, 关断, 下降
(c) 低电平, 导通, 下降
(d) 高电平, 导通, 下降
(e) 低电平, 关断, 上升
(f) 高电平, 关断, 上升

(3) 在图 7-4 所示电路中, 当 IC2 的⑤脚电平低于 1.6 V, IC2 呈_____状态, 高于 1.6 V, IC2_____, 其输出端②、③脚同时输出_____ ()

- (a) 导通, 截止, 高电平
(b) 截止, 导通, 低电平
(c) 截止, 导通, 高电平
(d) 导通, 截止, 低电平

(4) 在图 7-6 所示电路中, 当用手触摸 $P_1 \sim P_6$ 任一触摸片时, 人体感应信号使 IC1⑮~⑩脚中某一为_____, 其相应的输出端 (②~⑦脚中) 就会有_____信号输出 ()

- (a) 低电平, 高电平
(b) 高电平, 低电平
(c) 高电平, 高电平
(d) 低电平, 低电平

(5) 在图 7-7 所示电路中, FM 收音电路由 VT1、 C_3 、 L_2 等组成, 这是一种_____接收电路, 采用_____原理, 以 L_2 、 C_6 回路作为_____用 ()

- (a) 超短波, 谐振, 接收天线

(b) 超长波, 谐振, 接收天线

(c) 超再生, 谐振, 接收天线

(d) 超短波, 谐振, 发射天线

(e) 超再生, 谐振, 发射天线

(6) 在图 7-14 所示电路中, VT1 及外围的元件共同构成了_____振荡电路, 振荡电路用以产生约_____的振荡频率 ()

(a) 电容三点式, 68 MHz

(b) 电感三点式, 68 MHz

(c) LC, 86 MHz

(d) RC, 86 MHz

(e) 电容三点式, 86 MHz

(f) 电感三点式, 86 MHz

(7) 在图 7-18 所示电路中, R_t 是一种_____电阻器 ()

(a) 负温度系数热敏

(b) 正温度系数热敏

(c) NTC

(d) PTC

(e) 碳膜

(f) 金属膜

(8) 在图 7-29 所示电路中, R_G 为光敏电阻器, 其受光照时电阻值会变小, 无光照时电阻值很大 ()

(a) 光敏, 变大, 变小

(b) 热敏, 变大, 变小

(c) 光敏, 变小, 变大

(e) 热敏, 变小, 变大

(f) 光敏, 变大, 不变

3. 问答题

(1) 在图 7-12 所示电路中, 当从 IC2 的①与②脚输入立体声信号 L 和 R (该信号由各种音源提供) 时, 电路是怎样消除歌声、保留伴奏音乐的?

(2) 在图 7-14 所示电路中, IC2 集成电路及外围的有关元件共同构成的立体声混合电路是怎样把 2 个立体声信号转换成一个合成的立体声信号的。

(3) 在图 7-24 所示电路中, 模拟驱动集成电路 BH3909 及外围元件组成的电路是怎样生产警笛声的? 如要该电路产生出救护车警笛声, 该怎么办?

(4) 在图 7-26 所示电路中, 驱动集成电路 D9032 是怎样实现 A、B、C 三组彩灯依次旋转闪烁的?

(5) 在图 7-30 所示电路中, 模拟驱动集成电路 C182 是怎样驱动多路彩灯(LED)进行工作的?

(6) 在图 7-32 所示电路中, 模拟驱动集成电路 5G673 是怎样采用触摸的方式实现五挡吊灯的调光的?

(7) 在图 7-34 所示电路中, 模拟驱动集成电路 HT7713 是怎样采用触摸的方式实现分挡调光控制的? 该电路与图 7-35 所示电路有哪些不同之处?

(8) 在图 7-37 所示电路中, 模拟驱动集成电路 SG3524 构成的电路是怎样实现锁车后, 汽车车灯延迟熄灭的?

(9) 在图 7-40 与图 7-41 所示电路中, 模拟音频振荡集成电路 SGZ07 构成的甲烷检测报警电路是怎样对甲烷进行检测和报警的?

(10) 在图 7-36 所示电路中, 模拟驱动集成电路 SL322 构成的静电检测电路是怎样对静电进行检测的?



附录 A 习题答案

习题一

1. 填空题

- (1) 模拟 数字 模拟 模拟
- (2) 连续变化 连续 正弦函数
- (3) 线性 非线性 线性模拟集成 非线性模拟集成

2. 选择题

- (1) (c) (2) (c) (3) (b) (4) (b) (5) (c) (6) (a)

3. 问答题

- (1) ~ (4) 略。
- (5) TA7240AP 为正向引脚型，TA7241AP 为反向引脚型。
- (6) 不能，前者为单列直插 9 脚，后者为 16 脚双列扁平封装。

习题二

1. 填空题

- (1) 高增益直流
- (2) 差分输入 中间放大 输出 偏置
- (3) 开环增益 输入阻抗 输出阻抗
- (4) 双端 单端 高 高输入 低输出
- (5) 输出 输入

2. 问答题

略。

习题三

1. 填空题

- (1) 开环 差分放大
- (2) 模拟 电压

2. 选择题

- (1) (d) (2) (b) (3) (a) (4) (b) (5) (c) (6) (b)

3. 问答题

略。

习题四

1. 填空题

- (1) 无输出变压器的 无输出耦合电容器的 平衡式无输出变压器
(2) $1/2$ 0 V

2. 选择题

- (1) (c) (2) (d) (3) (a) (4) (a) (5) (d) (6) (b)
(7) (b) (8) (a) (9) (b)

3. 问答题

- (1) ~ (8) 略。
(9) 对。
(10) 不对。
(11) 输出耦合电容太小会产生低频失真。
(12) 加散热片也不能满足要求；在发射极加小电阻器 R_e 。
(15) 甲类功率放大的收音机不对 乙类功率放大的收音机对。

习题五

1. 填空题

- (1) 单向 交流 单
(2) $2\sqrt{2}$
(3) 电源变压器 交流 整流和滤波 直流
(4) 单相 三相
(5) 直流 交流

2. 选择题

- (1) (b) (2) (d) (3) (b) (4) (b) (5) (b) (6) (c)
(7) (c) (8) (c)

3. 问答题

略。

习题六

1. 填空题

(1) 双极型 (TTL) 互补金属氧化物半导体型 (CMOS)

(2) 单时基 双时基 四时基

(3) 输入 输入

2. 选择题

(1) (c) (2) (a) (3) (g) (4) (c) (5) (e) (6) (a)

(7) (d) (8) (a)

3. 问答题

(4) 改变定时电容量或电阻值

(7) $f=217\text{ kHz}$

(8) 根据周期、频率关系式计算

习题七

1. 填空题

(1) 双声道音频前置放大 单功率放大

(2) 变容二极管 MOS-FET (MOS 场效应晶体管)

2. 选择题

(1) (d) (2) (b) (3) (c) (4) (d) (5) (c) (6) (f)

(7) (a) (c) (8) (c)

3. 问答题

略。



参 考 文 献

- (1) 孙余凯等. 电子技术基础与技能实训教程. 北京: 电子工业出版社, 2006
- (2) 张庆双. 电子元器件的选用与检测. 北京: 机械工业出版社, 2004
- (3) 孙余凯等. 模拟电路基础与技能实训教程. 北京: 电子工业出版社, 2006
- (4) 孙余凯等. 电子电路快速识图技巧. 北京: 电子工业出版社, 2009
- (5) 孙余凯等. 巧学巧用电子元器件实用技术. 北京: 电子工业出版社, 2009
- (6) 孙余凯等. 巧学巧用基础电路实用技术. 北京: 电子工业出版社, 2009 