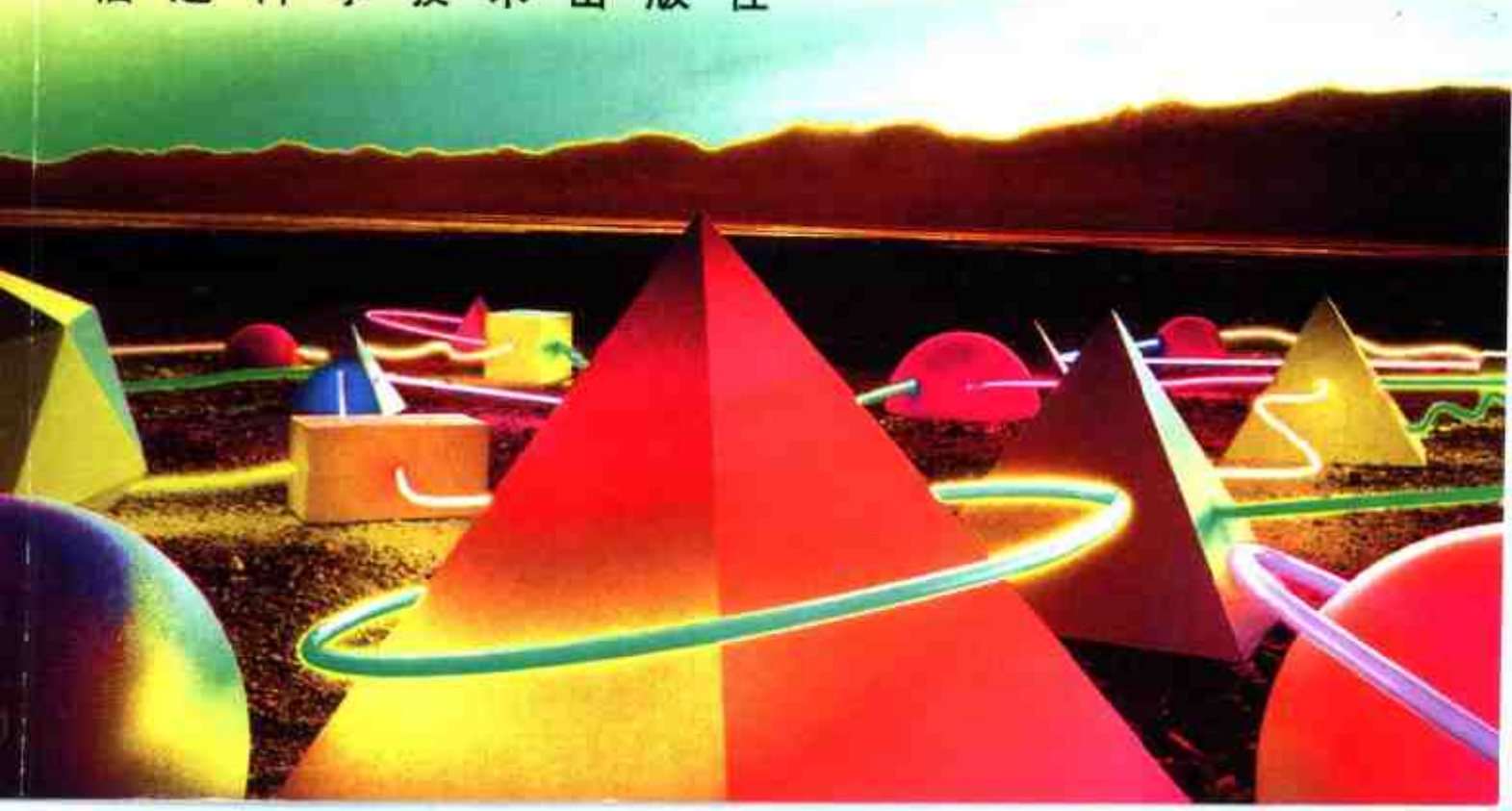


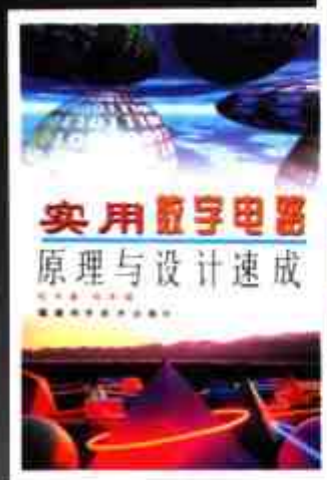
实用遥控电路

原理与设计速成

何书森

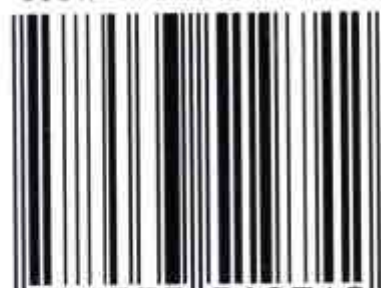
福建科学技术出版社





责任编辑 何 莉
封面设计 陈培亮
责任校对 林峰光

ISBN 7-5335-1974-4



9 787533 519742 >

ISBN 7-5335-1974-4/TN·262

定价: 18.80 元

实用遥控电路

原理与设计速成

何书森

福建科学技术出版社



图书在版编目(CIP)数据

实用遥控电路原理与设计速成/何书森编著. —福州:
福建科学技术出版社, 2002. 5
ISBN 7-5335-1974-4

I. 实… II. 何… III. ①遥控系统-电子电路-
电路理论②遥控系统-电子电路-电路设计
IV. TM925

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007576 号

书 名	实用遥控电路原理与设计速成
作 者	何书森
出版发行	福建科学技术出版社(福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州市屏山印刷厂
开 本	850 毫米×1168 毫米 1/32
印 张	10.375
插 页	2
字 数	250 千字
版 次	2002 年 5 月第 1 版
印 次	2002 年 5 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 7-5335-1974-4/TN·262
定 价	18.80 元

书中如有印装质量问题,可直接向本社调换

前 言

遥控技术是综合应用模拟电路知识和数字电路知识的一种实践，所涉及的知识范围较广，是广大电子爱好者的热门课题之一。

传统的遥控技术以时分制或频分制来实现多通道控制。而现代电子器件与电路理论的成熟和完善，使现代遥控技术通过编码、解码的方式轻而易举地实现了多通道控制，这种方式被称为“码分制”，它不仅大大简化了电路结构，而且具有高可信度以及强抗干扰能力。本书着重介绍采用“码分制”方式的超声波、无线电波、音频信号、红外信号等新型遥控电路及其制作，尽量避开那些陈旧的、已失去或基本失去现实意义的概念与方法。

为了适应更广泛的不同层次读者的需求，本书既介绍了简单的基本知识，又安排了适量具有综合性的应用知识。对于基础知识较薄弱的读者，可以暂时避开那些较复杂的电路，而对于基础较好的读者则可以略过基础章节，这将使不同层次的读者各有所益。

本书第二章介绍了双音多频(DTMF)信号在遥控电路中的应用原理和方法，以及利用电信网络实现远端控制的基本方法和电路。目前电信网络的发展十分迅速，几乎遍及了城乡的各个角落，使用双音多频信号通过电信网络实现远距离控制和遥测，是一种方便、实用、很有发展前景的方法。但必须指出，利用电信网络进行遥控的设备和装置，除必须严格符合电信标准所规定的参数外，还必须具备入网许可证。本书所涉及的这方面的内容只是作为一种知识，目的仅仅在于说明其应用原理和方法。

应用电子是一门实践性很强的技术，为有助于读者的实践练习，书中安排了较多的实验，每个实验都给出了具体的参数、元件选用、印刷电路板图、调试方法等。参照所介绍的方法进行练习，可得到较好的锻炼，且能有效加深对有关内容的理解和掌握，可起到举一反三的功效。

本书是在“青少年电子入门快车丛书”的《音频红外遥控电路实践》与《超声射频遥控电路实践》的基础上加以调整而成的，何华斌参加了本书部分章节的编写工作。

本书力求实用性和科学性，所列举的多数例子都经过笔者的亲身实践。但限于编者的水平，书中不足乃至错误之处恐在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

2002年4月

目 录

第一章 遥控系统的构成原理	(1)
一、遥控的基本概念	(1)
二、遥控系统的基本组成	(2)
三、遥控命令的生成、解释与传输	(7)
(一) 单音频遥控信号的生成与解释	(8)
(二) 双音多频遥控信号的生成与解释	(8)
(三) 脉冲编码遥控命令的生成与解释	(11)
(四) 脉冲编码遥控命令的传输	(14)
四、遥控命令的执行	(16)
五、遥控对象信息反馈与检测	(22)
第二章 音频遥控原理与实验	(28)
一、音频遥控命令的生成及其电路	(28)
(一) 双音多频信号发生器 UM95087	(28)
(二) 双音多频信号发生器 UM91210	(38)
二、音频遥控命令的识别及其电路	(43)
(一) 锁相环集成电路 NE567	(43)
(二) 双音多频译码集成电路 MC145436	(46)
(三) 双音多频译码器 MT8870	(58)
三、音频遥控电路分析与实验	(61)
(一) 音频遥控电路	(61)

- (二) 反馈信息的检测 (73)
- (三) 利用电话网的音频遥控电路 (76)

第三章 红外遥控原理与实验 (99)

- 一、红外发射器件及其驱动电路 (99)
 - (一) 红外发射器件 (99)
 - (二) 红外发射二极管的驱动电路 (100)
- 二、红外接收器件与电路 (105)
 - (一) 红外接收器件 (105)
 - (二) 红外接收放大电路 (108)
- 三、红外遥控信号的调制与解调 (116)
 - (一) 实用红外遥控信号的组成 (116)
 - (二) 红外信号调制电路 (117)
 - (三) 红外遥控信号的解调 (126)
 - (四) 专用遥控编解码电路 (137)
- 四、指示方法和电路 (155)
 - (一) 简单指示 (155)
 - (二) 数码指示 (155)
- 五、红外遥控电路分析与实验 (164)
 - (一) 简单红外遥控装置 (164)
 - (二) 带编解码的红外遥控装置 (169)
 - (三) 4路红外遥控装置 (176)
- 六、红外遥控专用集成电路 (185)
 - (一) 编码发送集成电路 ZD6631 (185)
 - (二) 接收解码集成电路 ZD6632 (187)
 - (三) ZD6331/ZD6332 的基本应用电路 (189)

第四章 超声遥控原理与实验	(191)
一、超声波传感器的原理与结构	(192)
(一) 超声波传感器的基本原理.....	(192)
(二) 超声波传感器的基本结构.....	(194)
(三) 超声波传感器的基本特性.....	(195)
二、超声波发射电路	(197)
(一) 分立元件组成的超声波发射电路.....	(197)
(二) 由集成门电路组成的超声波发射电路.....	(198)
(三) 由 555 定时芯片组成的超声波发射电路.....	(199)
(四) 具有晶体稳频的超声波发射电路.....	(199)
三、超声波接收电路	(200)
(一) 分立元件组成的超声波放大电路.....	(200)
(二) 带有选频回路的超声波放大电路.....	(201)
(三) 使用场效应管的超声波放大电路.....	(202)
(四) 由运算放大器组成的超声波放大电路.....	(203)
(五) 由 CMOS 非门组成的超声波放大电路.....	(204)
四、专用超声波收发集成电路 LM1812	(206)
(一) 引脚功能.....	(206)
(二) 作发射使用的等效电路.....	(208)
(三) 作接收使用的等效电路.....	(209)
(四) 基本应用举例.....	(209)
五、超声波遥控电路分析与实验	(210)
(一) 亚超声波遥控开关.....	(210)
(二) 电风扇变速超声波遥控电路.....	(213)
(三) 多路超声波遥控装置.....	(222)

第五章 射频遥控原理与实验	(232)
一、射频遥控命令的发送	(233)
(一) 发送装置的要求	(233)
(二) 发送装置的一般组成	(233)
(三) 主振电路	(234)
(四) 高频功率放大电路	(242)
(五) 鞭状天线	(252)
(六) 调制电路	(255)
(七) 元件的选择与制作工艺	(258)
二、射频遥控命令的接收	(261)
(一) 接收电路的主要要求	(261)
(二) 超再生接收电路	(262)
(三) 超外差式遥控接收机	(266)
三、射频遥控电路分析与实验	(267)
(一) 28MHz 简易射频遥控装置	(267)
(二) 250MHz 射频遥控报警装置	(274)
第六章 实用遥控电路举例与分析	(284)
一、可变亮度灯光红外遥控装置	(284)
(一) 发射电路	(284)
(二) 接收电路	(285)
二、窗帘红外遥控电路	(287)
(一) 发射电路	(288)
(二) 接收电路	(289)
三、射频遥控门铃	(291)
(一) 发射电路	(291)

(二) 接收电路·····	(292)
四、遥控电话线路锁·····	(294)
(一) 发送电路·····	(294)
(二) 接收电路·····	(295)
五、小型无线传呼系统·····	(298)
(一) 发射电路·····	(298)
(二) 接收电路·····	(299)
六、16 路射频遥控报警系统 ·····	(301)
(一) 发射电路·····	(301)
(二) 接收电路·····	(305)
附录 1 常用红外发光二极管性能参数 ·····	(310)
附录 2 常用光敏二极管与光敏三极管性能参数 ·····	(313)
附录 3 常用超声波传感器性能参数 ·····	(316)
附录 4 常用小型继电器性能参数 ·····	(318)
附录 5 常用集成电路引脚功能 ·····	(320)

第一章 遥控系统的构成原理

一、遥控的基本概念

所谓遥控，就是指对被控对象，按照所预定的意图对其内部参数、工作状态等进行远距离操纵。遥控技术在现代工农业生产、科研、国防等领域均有非常广泛的应用，随着现代科技的发展，它们的应用也越来越普遍。

遥控技术一般应用于操作者不能或难以到达受控对象的场合。而对于移动式的受控对象，则更不得不使用遥控技术，例如在恶劣环境下作业的机器，人难以到现场操纵，就必须使用遥控技术进行远距离操纵。又如工厂里的行车、模型飞机、模型舰艇，乃至当代的无人驾驶飞机、宇宙飞船、无线电制造导弹等等，这些移动式设施就更不可缺少遥控技术了。

现代遥控技术也十分普遍地应用于各类家用电器中，例如电视遥控、电灯遥控、电风扇遥控、空调器遥控等。这类应用提高了家电的功能和档次，更重要的是给使用者带来极大的方便。设有遥控功能的电视机，使用者不必离开座位，只需使用手持红外遥控器就可以进行节目切换，以及对音量、对比度、亮度等的调节。在这些应用中，操作者与受控者之间并非“遥”，也非“难以到达”，仅为方便而已，因此对“遥控”的定义，应广义地理解为操作者没有直接对受控对象进行操纵。

遥控的种类有很多，若以遥控信息传送方式区分，可以分为

有线遥控和无线遥控两大类,而无线遥控又包含了红外线遥控、超声波遥控和无线电遥控三类。有线遥控和无线电遥控可以达到很远的距离,而红外线和超声波遥控只能在十几米之内,因此多用于家用电器方面。

二、遥控系统的基本组成

一个遥控系统,一般应包括下面几个组成环节:命令(指令)输入、命令生成、命令发送、命令传输、命令接收、命令解释、命令执行等7个环节。典型遥控系统各个环节的相互关系如图1-1示意。

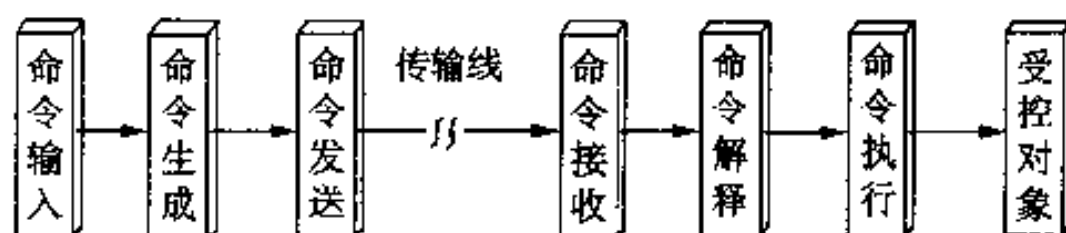


图 1-1 典型遥控系统的组成

1. 遥控命令输入

遥控命令输入一般由按键、按钮、键盘等构成。人们通过该环节把预先定义的命令输入到有关电路中去,这是最常用到的一种方法。在一些简单应用或特定应用中,也有使用其他方法实现命令输入的。例如语音识别系统,能根据人语音中所包含的各种频率成分具体参数的差别来判别各种命令,其“命令输入”环节可以理解为是音频接收器件——话筒;又如红外自动门,当有人走近门前时,红外线探测器探测到人体所发出的红外线,即通过电路的作用使门开启,可以把红外探测头理解为“命令输入”环节。

2. 遥控命令生成

遥控命令生成电路用于将由键盘、按钮等输入的遥控命令通过其电路处理生成各种不同的命令。这些命令都是以电信号形式出现的。这些电信号大体上又分为两类，一类是模拟信号（音频信号），用音频信号的不同频率或是若干种不同频率的不同组合来代表各种不同的命令；另一类是数字脉冲信号，通过不同的编码来代表各种不同的命令。以上这两种信号在现代遥控中都经常用到。

3. 遥控命令发送

遥控命令发送环节将上述电路所生成的含有命令信息的音频或数字脉冲信号转换为可以发送往接收端的信号。例如，电视遥控器将遥控命令信号通过红外发射管转换成红外光线发射，无线电遥控装置把遥控命令信号转换为高频（射频）信号发送。

4. 传输

传输环节把遥控命令信号传输到接收端，通常可分为有线传输和无线传输两大类。而无线传输又常分为无线电传输和红外线传输，在一些简单控制中，有时也采用超声波传输。

5. 命令接收

命令接收环节主要负责接收以有线方式或无线方式送来的遥控命令信号，并进行信号变换、放大、去除干扰等预处理。例如上述电视遥控装置，接收电路收到的是红外光脉冲信号，须先将其转换为电脉冲信号（即光/电转换），然后才能使用电子放大电路进行放大等处理。对于有线传输方式，接收环节相对比较简单。

6. 命令解释

命令解释与命令生成具有相反的过程。在时分制系统中，无论是以有线方式还是以无线方式传输信号，都是以单一通道传输的。以有线传输为例，不论有多少种复杂的命令内容，都是通过

同—对线路传送的。以无线电方式传输为例，不论有多少种命令内容，都是以一个射频频率传送的。这种传输方式中的信号组成格式，是一种称为“串行”的信号，复杂的具体命令的内容是由这些信号的不同组合情况来表达的。这种组合在专业俗语上称为“编码”，也就是上面所称的“命令生成”过程。“命令解释”则与之相反，称为“解码”，通过解码电路，把包含有命令信息内容的“串行”信号转换成了“并行”信号。这时，每一个命令内容都应该有一根输出线，每一根输出线控制一个相对应的动作，因此同时被控制的对象可以是多路的。

7. 命令执行机构

命令执行机构通常又称为伺服机构，可实现对受控对象的具体操作与控制，其典型代表有继电器、伺服电机、电子开关等。例如一个抽水系统，继电器在遥控信号的作用下吸合或释放，从而开动或关闭抽水设备，继电器是执行机构，抽水设备是受控对象。又如遥控窗帘，依靠小型电机的转动经减速传动机构带动窗帘，窗帘是受控对象，小型电机是执行机构。

为了使初学者对于典型遥控系统的构成有比较清晰的概念，我们以大家最熟悉的电视遥控装置为例来看一看其各部分的基本组成情况。

图 1-2 是一般电视遥控发射器的基本组成框图，主要由键矩阵、脉冲编码调制、输出驱动和红外发射 4 个部分组成。键矩阵担任“命令输入”任务，当某一个键被按住时，脉冲编码调制电路能识别到该键状态，于是生成一串脉冲，如图 1-3 中的第一列波形所示。这种波形（矩形波）只有两种电平取值，要么高电平，要么低电平，没有第三种取值，我们称它为数字信号。在正逻辑系统中又把高电平记为逻辑“1”，低电平记为逻辑“0”，它们分别与数字电路中的数 1、0 相对应。因此图 1-3 中的第一列信号又可

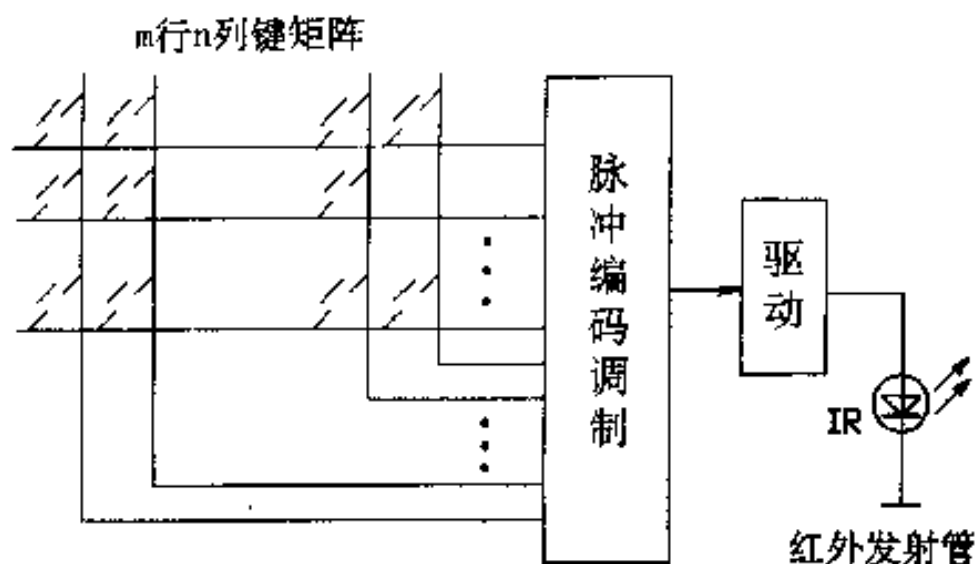


图 1-2 电视遥控发射器的构成示意图

以用 10100101 来表示。对于不同的按键，所生成的“0”和“1”的组合情况不同，这种组合上的差别就用以表示不同的命令内容。也就是说，当你按动不同按键时，图 1-3 中的第一列波



图 1-3 电视遥控信号波形

形 0 和 1 的排列情况是不一样的。其次还要用这种命令信号去调制载波，载波是一列频率较高的（常用的是 38~50kHz）脉冲波，如图 1-3 中第二列波形所示。以上过程与无线电调幅广播中用音频信号调制高频载波成为射频调幅波的情形很相似，不同的是无线电广播中的载波必须是正弦波，调制信号是模拟（音频）信号，调制后是幅度跟随音频信号变化的调幅波。而在这里，载波是矩形脉冲波，调制信号（命令信号）也是矩形波，调制后的信号用简单语言表达可以描述为“有”和“没有”。即在命令信号为高电平期间，有高频载波输出，在命令信号为低电平期间，没有高频载波输出，因而就形成了图 1-3 中第三列所示的波形。在数字电路里，第三列波形实际上是第一列和第二列波形相“与”的结果。另

外,图 1-3 中的 3 种波形都是单边正向波形,也就是说波形的最低值为零伏。图 1-2 中脉冲编码调制电路输出的是图 1-3 中第三列所示的波形,经功率放大后驱动红外发射管发出相同波形的红外光。

图 1-4 是一般电视遥控接收电路的基本构成框图。首先由红外接收放大电路(接收头)接收红外信号,经放大解调恢复出如图 1-3 第一列波形所示的信号,也

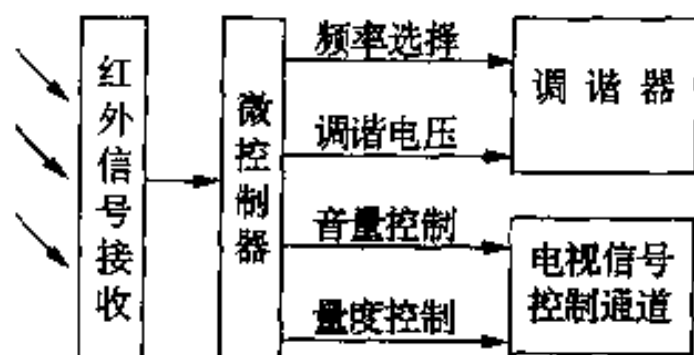


图 1-4 电视遥控接收电路构成示意图

就是遥控命令信号,然后送给微控制器进行解释。遥控命令的生成(编码)与解释(解码)是互相对应的相反过程,命令的内容(数据)与该内容所代表的意义(需要执行什么任务)是预先约定好了的。就好像我们通常所熟悉的打电报,发电报的人只在电报单上填写文字内容,电报局把文字用数字代码来表示,这一过程就是一种编码过程。接收电报的电报局收到电报后,电报员记录下来的也是数字,需要根据“电码本”把数字翻译成文字内容,这一过程就是一种译码过程。两个过程做了相反的工作,它们工作的依据是“电码本”,而“电码本”是双方事先约定好了的。微控制器(或微处理器)具有类似人的思维和判断能力,是一种智能部件,它能根据双方事先的约定对所接收到的遥控命令进行判别,决定应该控制哪一项内容,并从对应的控制线输出控制信号。图 1-4 中画出了有代表性的若干个控制信号,这些信号送到电视机里以后,又由一套相对应的电路负责执行具体内容,这些电路通常称之为“执行机构”。

三、遥控命令的生成、解释与传输

图 1-5 是一最简单的遥控装置的组成框图。操作者挤压气囊时，气囊发出声音，声波经空气传至话筒。话筒把空气的振动转换为电信号完成“压/电”转换工作，经过带通滤波和放大（带通滤波的作用是有选择地把某一定频率范围内的电信号放大，而对于该范围以外的其他频率成分的信号则不予放大或基本不予放大），然后再使用检波、放大电路把音频信号转换为直流信号并再次放大，控制双稳态电路翻转。双稳态电路的输出有且只有两种状态——高电平或低电平，输出高电平使继电器吸合点亮灯泡，输出低电平时继电器释放灯泡熄灭。从总体效果上看，气囊被挤压一次，双稳态电路就受一次触发而改变一次输出状态，因而灯泡的状态（亮或灭）也就改变一次。在这个简单的遥控系统中，可以理解为遥控命令是由气囊产生，由空气传送，由话筒接收，由双稳态电路进行解释，继电器负责执行命令，灯泡是受控对象。将这种气囊的发音称为“命令”，实际上是一种勉强的说法，因为它不能包含多种内容，也不能有效地区别于其他相近频率的干扰信号，因此它不但功能简单，而且抗干扰能力很差，其他物体的发音都有可能使灯泡误动作。因此实际上上述系统并没有多少实用价值，具有实用价值的遥控命令的组成要比这复杂得多。

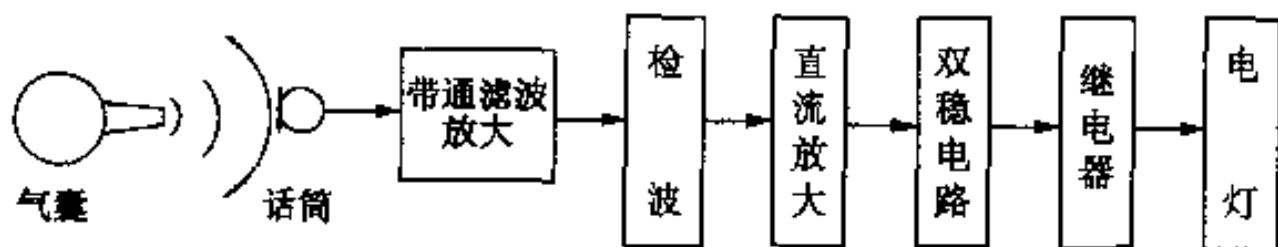


图 1-5 一个最简单的遥控装置的组成框图

（一）单音频遥控信号的生成与解释

单音频遥控命令与上面所举的简单例子颇有相似之处，它使用一个电子电路产生一个单音频信号（也就是正弦波）作为遥控命令，相当于上例气囊的发音。波形完好的正弦波只含有一个频率成分，而失真的正弦波或其他形状波形可看成是多种频率成分的正弦波合成的结果。早期的单音频遥控信号由分立元件构成，可靠性较低且电路安装麻烦，而现代电子应用中使用了专用集成电路并配合晶体振荡器，因而所产生的音频信号频率十分稳定、准确，波形失真小。使用这种信号作为简单遥控命令时，必须使用线路传输，由于线路传输为封闭型，线路外部的各种干扰不易侵入，因此在一些要求不高的场合常采用这种单音频信号作为遥控命令。

接收端在收到遥控命令后，首先加以适量放大，然后必须用一个识别电路把事先约定的这一频率识别出来。现代电子应用中使用锁相环技术来识别特定频率，现有多种专用锁相环集成电路，其价格便宜，外围元件少，使用方便。例如常用的锁相环集成电路 NE567 就是其中的一种，这种电路所选择的频率依靠外围元件中的 1 个电阻和 1 个电容的乘积来确定，当识别到特定频率时，其输出端输出低电平，否则输出高电平。使用若干个锁相环电路，就能识别出多个不同频率的信号——也就是可以对多个遥控命令进行解释。

（二）双音多频遥控信号的生成与解释

由单音频信号组成的遥控命令可靠性仍不够理想，采用双音多频信号作为遥控命令可使可靠性、抗干扰能力得到很大的提高。双音多频信号在专业文献中常缩记为 DTMF 信号，其规定见表 1-

1 示，表中左竖栏列出 4 种频率分别为 697Hz、770Hz、852Hz、941Hz，称为低频群；上横栏中也列出 1 209Hz、1 336Hz、1 477Hz、1 633Hz 共 4 种频率，称为高频群。用这 8 种频率中的 2 种组合起来代表 1 个数字或符号，例如 697Hz 与 1 209Hz 这 2 种频率组合代表数字“1”，表中共组合出了 16 个数字或符号。如果用 1 个数字或符号代表 1 个命令内容，那么根据表 1-1，就可以得到 16 个命令内容。

表 1-1 双音多频信号的规定

低频群 (Hz)	高频群 (Hz)			
	1 209	1 336	1 477	1 633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

现有用来产生双音多频信号的集成电路很多（品种不下 20 种），大家所熟悉的按键式电子电话机的内部所使用的“拨号”集成电路的主要功能之一就是用来生成双音多频信号。当你按住电话机上的某一个按键时（电话机须放在音频模式，由电话机背部或边上的一个拨动开关设置，把开关拨向 T 一边即为音频模式，拨向 P 一边为脉冲模式），“拨号”集成电路就生成 2 种频率成分的组合信号输出，经放大后送上电话线路。例如按住“2”这个按键，就有 697Hz 和 1 336Hz 这 2 种频率的音频信号同时送上电话线路。大家稍加留意表 1-1 还会发现，表中 0~9 以及 *、# 的排列情况恰好与电话机上按键的排列情况完全一致，双音多频信令主要就是为电话通讯而设计的。

双音多频信令可以用线路传输，也可以用无线电传输，早期的模拟手提电话和无绳电话，拨号时向电信局传送的电话号码——双音多频信号，就是用无线电方式通过空中传输的。

双音多频信令的解释工作使用专用解码电路来完成。这类DTMF解码集成电路也有多种，例如常用的MT8870、MT8880、MC145436等。它们有1个信号输入端，接收到的双音多频信号从该输入端输入；有4根输出线，如果接收到的信号符合表1-1中的规定并且波形失真度满足要求且信号大小满足要求，那么在这4根输出线上就会有1组编码信号输出，且每根线能输出的信号只有2种情况——高电平或低电平，也就是前面曾提到的“0”和“1”。4根线输出的情况（状态）组合起来一共有 $2^4=16$ 种，这16种状态称为16种编码，它们与所代表的数字或符号的对应关系见表1-2所示。若以电话为例，将电话机作为双音多频生成装置，上述DTMF解码集成电路作为接收、信令解释电路，那么当电话机上的按键“1”被按下时，DTMF解码电路的输出端电平情况是“低-低-低-高”，用数字电路中的语言——2进制数来表示，就是“0001”。同理，若电话机上按键“9”被按下时，则解码集成电路的输出是“1001”。这4根输出信号再被送入“4线-16线”译码电路。这种4线-16线译码电路的输入线有4根，输出线有16根。16根

表 1-2 DTMF 解码器编码表

数字符号	输出码			
	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
0	1	0	1	0
*	1	0	1	1
#	1	1	0	0
A	1	1	0	1
B	1	1	1	0
C	1	1	1	1
D	0	0	0	0

输出线中只有 1 根为高电平/低电平,其余 15 根则为低电平/高电平。有专门的集成电路可以实现这种功能,也可以用小规模集成门电路自行搭构成具有相同逻辑功能的电路,因此可得到 16 个(实际只能使用 15 个,表 1-2 中最后一种状态一般不使用)控制命令,可以实现对 15 个动作的控制。

(三) 脉冲编码遥控命令的生成与解释

在数字电路中,“码”用电路的一组状态组合来表示,在 2 进制数中,也可以用一组 2 进制数来表示。用 2 进制数表示的码称为 2 进制码,是常用的一种码制。它们实际上是同一事件的不同表达方法。例如,一个电路有 4 根输出线 C_3 、 C_2 、 C_1 、 C_0 ,用电压表测量这 4 根输出线得到的电压数值分别为 5V、0V、0V、5V,我们称这 4 根输出线的电路状态为高、低、低、高(也称逻辑电平状态为 1、0、0、1),用 2 进制数表示为 1001。可见,它们的意义虽有不同,但所表达的内容实际上是一致的,以后我们均用 2 进制数来表示“码”。

使用脉冲编码来传递遥控命令主要有下面的几点好处:

①当使用无线电射频为媒体传输脉冲编码信息时,对射频的调制是脉冲调制,它比模拟信号调制具有较大的发射功率和效率,因此在发射电路消耗相同的电功率的情况下,它能取得更远的传输距离。

②所包含的信息内容多。2 进制数的位数与码的个数之间的关系为:码个数 = 2^n 个,其中 n 为 2 进制数的位数。例如有 2 位 2 进制数 D_1 和 D_0 ,可以编出 4 个码:00、01、10、11;如果有 4 位 2 进制数,则可以得到 16 个码,如表 1-3 所示。2 进制数 $D_3 \sim D_0$ 中, D_0 称“低位”, D_3 称“高位”。由于 2 进制数写起来位数长,说起来和听起来都不方便,因而常用 16 进制数来表达。表中同

时列出其与 10 进制数的对应关系。10 进制数与 2 进制数的对应关系依照 8421 编码规则,也就是 D_3 位的权为 $2^3=8$, D_2 位的权为 $2^2=4$, D_1 位的权为 $2^1=2$, D_0 位的权为 $2^0=1$ 。若要将 2 进制数记为 10 进制数,可按下列法则计算:

$$10 \text{ 进制数} = D_n \cdot 2^n + \dots + D_3 \cdot 2^3 + D_2 \cdot 2^2 + D_1 \cdot 2^1 + D_0 \cdot 2^0$$

例如将 2 进制数 1001 转化为 10 进制数:

$$10 \text{ 进制数} = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 9$$

③ 容易克服失真问题。模拟信号在传输、放

大等处理过程中若出现了严重失真则很难给予纠正,且放大电路工作状态较难掌握(一定要工作在良好线性区内);而脉冲数字信号是“0”和“1”信号,其实质就是“有”和“没有”,因此对放大电路的要求较低,容易用限幅、整形等手段来纠正波形。

④ 可以用多种算法进行检错纠错,因而抗干扰能力强,可信度高。

上述 2 进制数编码是一种基本的常用编码方式,在数字通讯、复杂遥控系统中,还有多种编码方法,其中还包含有其他信息以

表 1-3 4 位 2 进制数的 8421 编码表

10 进制数	2 进制数				16 进制数
	D_3	D_2	D_1	D_0	
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	2
3	0	0	1	1	3
4	0	1	0	0	4
5	0	1	0	1	5
6	0	1	1	0	6
7	0	1	1	1	7
8	1	0	0	0	8
9	1	0	0	1	9
10	1	0	1	0	A
11	1	0	1	1	B
12	1	1	0	0	C
13	1	1	0	1	D
14	1	1	1	0	E
15	1	1	1	1	F

供各种检错、纠错算法。

脉冲编码遥控命令的生成由脉冲编码电路完成，图 1-6 所示是一个简单的 2 位编码电路，输出端 D_1 和 D_0 可输出 4 个码 00、01、10、11。当开关 K 接于 A_0 位置时，2 个或门的输入端全部为“0”，输出 $D_0=0$ 、 $D_1=0$ ；当 K 接于 A_1 位置时，上面的一个或门电路有 1 个输入端为“1”，则其输出 $D_0=1$ ，另一个或门输入情况不变，则 $D_1=0$ ……其余状态读者可根据数字电路的知识自行分析，该编码器输入与输出的对照关系见表 1-4 所示。这个电路中，每个码只用两位 2 进制数来表示，在实用上显得太少，通常是用 4 位（称半个字节）或 8 位（称 1 个字节）来表示。

表 1-4 2 位编码表

输入 A	输出	
	D_1	D_0
A_0	0	0
A_1	0	1
A_2	1	0
A_3	1	1

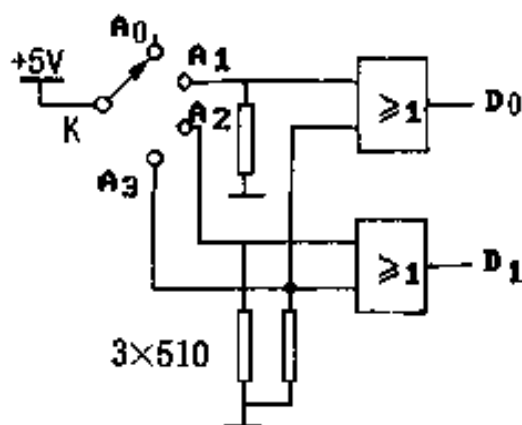


图 1-6 2 位编码电路

脉冲编码遥控命令的解释由数字译码电路完成，图 1-7 示出一简单的 2/4 线译码电路，译码真值表如表 1-5 示，输入端 D_1 和 D_0 ，输出端 $C_0 \sim C_3$ 。每一时刻只能有 1 根输出为“1”，其余均为“0”。例如当 $D_0=0$ ， $D_1=1$ 时，由电路知，此时与门 C_2 的两个输入端均为高电平，因而其输出端 $C_2=1$ 。对于其余 3 个与门电路，因 2 个输入端并不全为“1”，故输出为“0”。如果在输出端 $C_0 \sim C_3$ 各接一个发光二极管指示灯，如图中所示，那么现在我们将会看到指示灯“2”点亮，其余不亮。如果接的不是指示灯而是一个

小型继电器，那么这时 C_2 端的继电器就吸合，因此这个译码电路可以控制 4 个动作（实际应用中常常只使用 3 个）。

表 1-5 译码真值表

输入		输出
D_1	D_0	
0	0	C_0
0	1	C_1
1	0	C_2
1	1	C_3

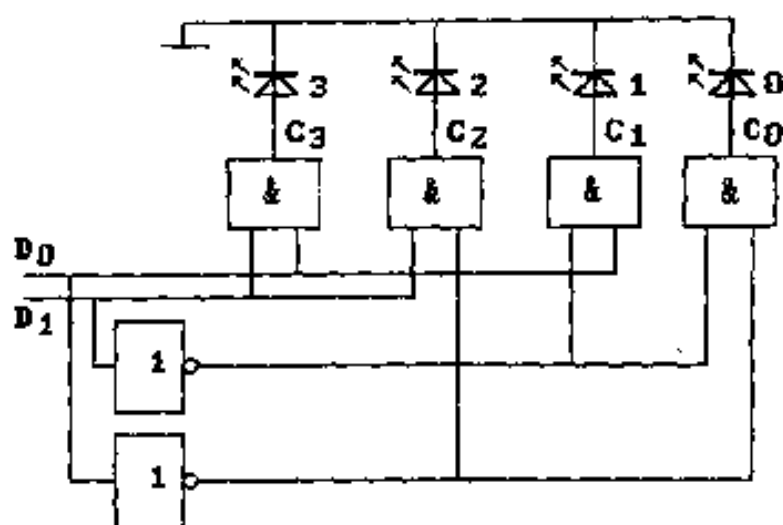


图 1-7 2/4 译码电路

(四) 脉冲编码遥控命令的传输

如果将图 1-6 的输出端 D_1 、 D_0 与图 1-7 的输入端 D_1 、 D_0 一一对应相连，那么就会得到这样的结果：当开关 K 打在 A_0 位置时，指示灯“0”点亮；打在 A_1 时，指示灯“1”点亮；打在 A_2 时，指示灯“2”点亮；打在 A_3 时，指示灯“3”点亮。归纳地说，哪一个指示灯亮是由开关 K 控制的，设想两个电路设置在相距较远的两个地方，它们之间的信号连线 (D_0 、 D_1) 及地线较长，那么对 K 的操作就可实现对远处指示灯“0~3”（或继电器等）的远距离控制。

按照上面的设计思想，如果要控制更多的动作，例如，希望控制 2^n 个动作，那么编码电路应该有 n 个输出端，译码电路也应该有 n 个输入端，而且两个电路之间的连线也需要 $n+1$ 根。但是稍有经验的读者就会发现，实际应用中并没有那么多的连接线，而且这种格式的信号在采用无线电或红外光作为载体时，也无法进行传输。的确如此，实际使用中不论有多少个编码信号，也不论

每个码的长度(2进制数的位数)为多少位,都只使用1根信号线再加1根地线来传输,在使用无线电射频作为载体时只使用1个射频频率,在使用红外光为载体时也只使用1个红外发射管。

上面所举的例子,编码器输出码为 n 位(2进制数的位数为 n)就采用 n 条信号线传输的数字信号(或称数据)称为“并行”信号。这种信号在传输时必须是各位同时传送,如同操场上的一队士兵排成“横队”前进一样。现在必须把“横队”改为“纵队”前进,也就是把原先同时传输的 n 位码排成一串,从低位到高位或从高位到低位顺序地逐位传输,这种按顺序先后逐位传输的信号称为“串行”信号,可以只用1根信号和1根地线或者用1个无线电射频频率或1个红外发射管来传输 n 位码信号了。在使用这种串行方式传输脉冲数字信号时还必须加上若干附加位,例如起始位判别、奇偶校验等附加信息。

能够将并行数字信号转换为串行数字信号的集成电路称为并-串转换集成电路,例如74LS165(74HC165)就是常用的一种8位并-串转换集成电路,它有8根信号输入端和1根并行数据读入控制端,1个移位控制端,1根输出线。在数据读入控制端加1个负脉冲,即把输入端的8位并行数据读入到内部锁存,然后移位控制端每加一个移位脉冲,则锁存在内部的8位并行数据就向输出端移出1位。

上面的方法如果采用小规模集成电路来搭构,电路较为复杂且可靠性低,在单片机(也统称微电脑)日益普及的今天,一般都采用单片机来完成上面的等等工作,其硬件电路就显得相当简单,且造价也低,可靠性提高,而且还具有类似人的思维判断能力,在复杂、高可靠性的遥控系统中均离不开它。在许多专用遥控系统中(例如电视遥控),生产厂家则生产了专用的集成电路,另外为能满足多种使用场合的遥控需要,厂家也生产有一些通用

性较强的专用中小规模遥控编解码等集成电路，这些资料我们将放在后面的有关章节中介绍。

上述遥控信号（即遥控命令）可以使用导线或无线电射频、红外光、超声波运送，我们统称导线、射频、红外光、超声波为载体或媒体。例如，如果把遥控命令比做“货物”，那么载体就相当于“汽车、火车、飞机”等交通工具，“货物”须有交通工具才能运送到目的地。

使用红外光或超声波为载体时，传送的距离较短，一般只能有十多米才具有使用价值；另外，红外光和超声波传送都具有方向性。

四、遥控命令的执行

遥控系统接收端经解码输出的遥控命令只是一种电压信号，根据使用场合不同，可能是逻辑电平（只取值高电平和低电平两种），也可能是模拟电压信号。不论是模拟信号还是逻辑信号，都只有很小的功率，不能直接驱动受控对象，而需要通过各类中间机构才能操作受控对象，这些中间机构就称作执行机构或伺服机构。例如使用遥控器打开电风扇，逻辑控制信号不能直接操作电源开关，而需要通过一个继电器控制风扇的电源，如图 1-8(a) 示。当控制信号为“1”（具体电路中的实际电压值可以在 3~5V 范围内）时，三极管 T 导通，继电器线圈得电，其常开触点闭合使电风扇得电而启动。继电器的基本结构如图 1-8(b) 所示，代表符号如 (c) 所示。当线圈通电时，线圈 [7] 产生磁场，通过铁心 [2] 的作用吸动衔铁 [3]，于是衔铁上的动触点 [1] 与常开触点 [9] 接触。反之当控制信号为“0”时（实际电压值可以在 0~0.5V 范围内），三极管 T 截止，继电器线圈没有电流流过，就没有磁场

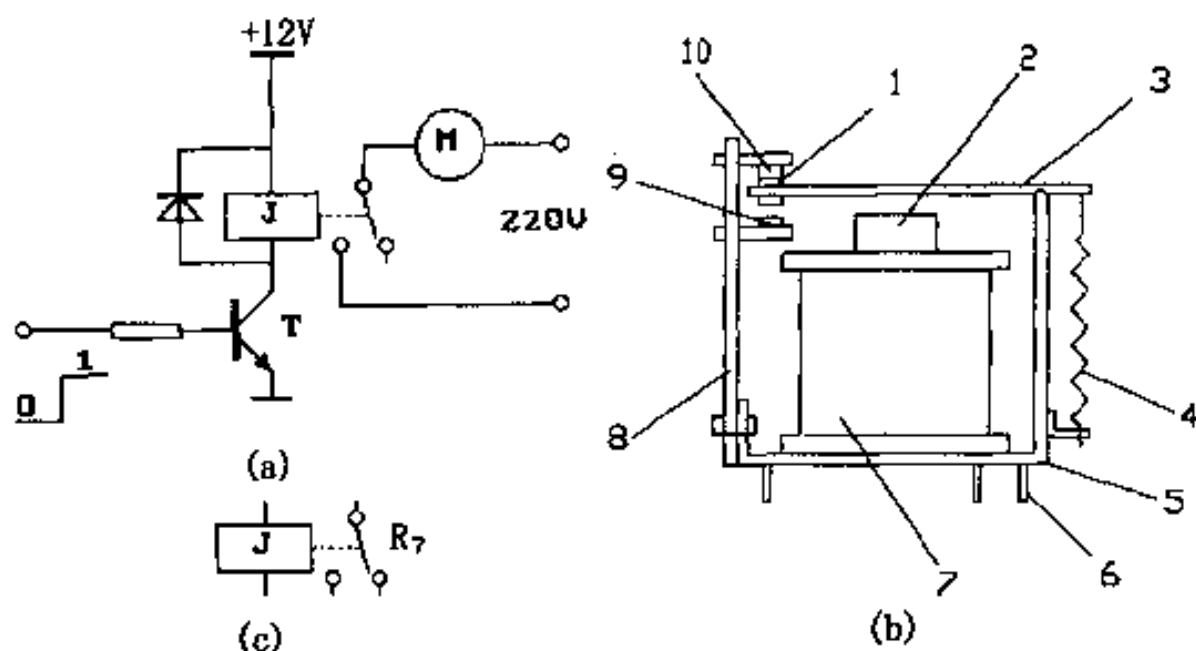


图 1 8 继电器的结构、符号及使用方法

产生，铁心 [2] 失去磁性，在拉紧弹簧 [4] 的作用下，动触点 [3] 上移与常闭触点 [10] 接触，3 个触点均通过引脚引出。继电器是遥控系统中最常使用的一种执行机构，下面再介绍几种较为常用的执行机构。

1. 双向晶闸管

晶闸管是一种半导体元件，分为单向晶闸管和双向晶闸管两大类。单向晶闸管主要用于整流。双向晶闸管相当于一个交流开关，但它与普通的机械式开关、继电器触点不同，机械式开关或继电器触点动作速度较慢，要求开、关速度较高时不能满足要求，再者控制电流较大时触点上会产生火花，易导致机械触点烧坏。双向晶闸管是一种没有触点的开关，因此不存在触点被烧坏的问题，而且其体积小，常常被用作控制系统中的执行机构。图 1-9 (a) 示出用双向晶闸管作为执行机构实现对加热器 R 的控制。当双向晶闸管控制极 G 被加上一个触发电压时，晶闸管就导通，加热器得电加热；当控制极电压消失时，晶闸管在交流电过零时自行关断。图中元件 LE 是光耦合器，它的作用是使输入的控制信

号与输出的控制信号在电气上互相隔离，避免控制输入回路与市电共线。光耦 LE 的工作原理如下：当控制信号为“1”时，LE 的发光二极管（称为一次侧）有电流流过而发光，使二次侧三极管受光而导通，于是 +12V 电源就通过三极管向晶闸管的控制极注入电流，使晶闸管导通；当控制输入信号为“0”时，LE 的一次侧二极管无电流流过不发光，二次侧三极管不导通，晶闸管控制极 G 没有电流注入，晶闸管在交流市电过零时立即关断。注意 +12V 电源必须是单独的一组，不能与控制电路的其他部分有共线，否则电路板可能带电。常见光耦合器以及双向晶闸管外形及引脚，如图 1-9 (b)、(c) 所示。

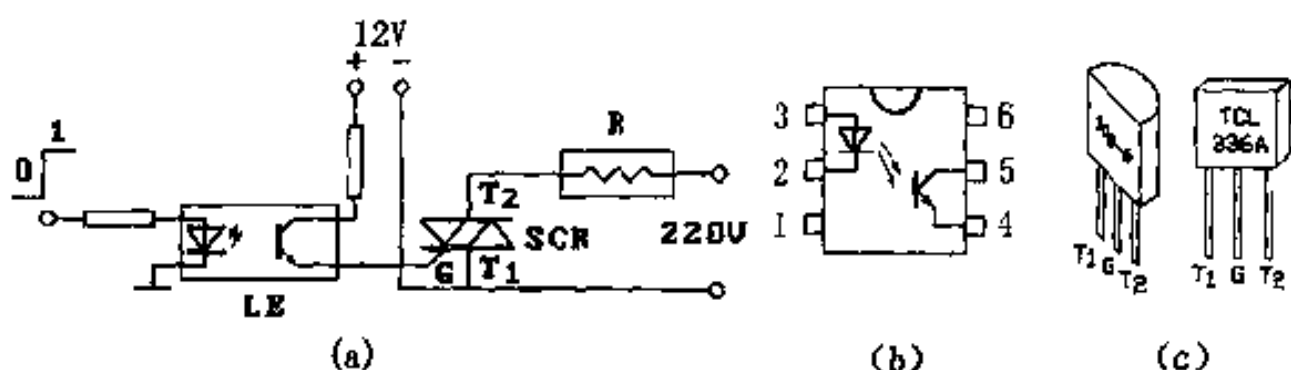


图 1-9 使用光耦及双向晶闸管控制加热器的电路

2. 光耦晶闸管

图 1-10 是使用光耦晶闸管控制照明灯泡的电路。光耦晶闸管可直接替代继电器实现对灯泡回路的控制，并使一次回路与二次回路保持隔离，而且其体积要比继电器小得多，安装也方便得多。

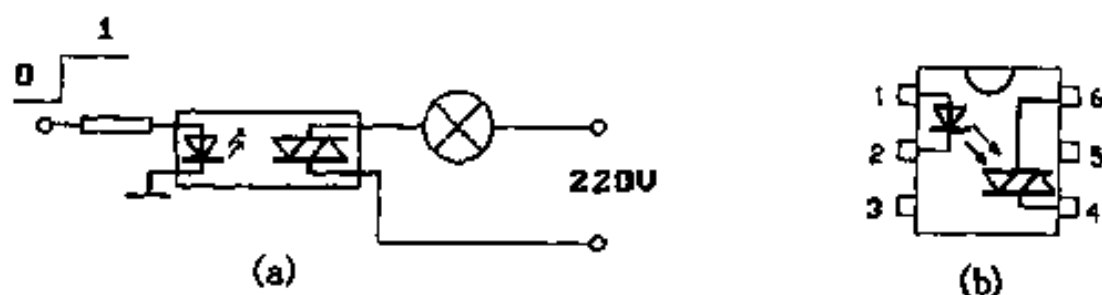


图 1-10 使用光耦双向晶闸管控制灯泡的电路

光耦晶闸管的工作过程与图 1-9 中的光耦合器类似。当控制信号为“1”时，一次侧二极管流过电流而发光，二次侧光晶闸管受光导通，灯泡点亮；当控制信号为“0”时，一次侧二极管无电流流过不发光，二次侧光晶闸管无光照在交流市电过零时关断，灯灭。该控制方法控制功率较小，对于图 1-9 中的加热器就不能使用这种控制方法。常见光耦晶闸管外形及引脚排列如图 1-10(b) 所示。光耦晶闸管也有单向晶闸管和双向晶闸管之分，具体选用时应注意它们的区别。

3. 交流接触器

交流接触器也是一种常用的执行机构。其基本构造及工作原理与直流继电器相似，主要区别是交流接触器的线包工作电压为交流 220V 或交流 380V，触点一般都在 3 对以上，触点容量较大，也就是说可以通过较大的电流。触点断开时，间隙较大，因而由触点控制的回路电压可以较高。而常见直流继电器线包工作电压一般为直流 3V、6V、9V、12V、24V、48V，功率都较小，触点间隙较小，触点容量也较小，只用于控制小功率用电设置。由于交流接触器的线包工作电压为 220V 或 380V，因此逻辑电平控制信号不能直接作用于它，也不能像图 1-8 那样用一个三极管来控制，而必须使用图 1-9 或图 1-10 的电路来控制它的线包回路，相当于图 1-9 中的用电器 R 或图 1-10 中的灯泡现在用接触器的线包来替代，或者用图 1-8 的控制电路来控制线包回路（即线包接在原电风扇的连接点上）。

4. 直流电动机

小型直流电动机也是相当常用的一种执行机构，例如遥控窗帘，要牵动窗帘必须使用小型直流电动机带动。常用小型直流电动机的工作电压为 6V、12V、24V、48V 等，直流电动机有两个很重要的特性：加给两端的直流电压极性倒置时，电机即反转；改

变给予的电压大小，能改变其转速。利用这两个重要特性，直流电动机可以成为多种复杂遥控装置的执行机构。例如上面提到的遥控窗帘，窗帘启闭运动的方向相反，因此使用的拖动电机必须能够正、反转，只能采用直流电机（一般能正反转的交流电动机必须使用三相电源，家庭供电均为单相电源，而且一般三相电机功率均较大）。

在某些以小型直流电机为执行机构的控制中，需要控制电机的转速。这种情况下，就不能像前面控制电风扇、加热器、灯泡那样仅对电机作开、关控制，而需要通过一种叫做“数模转换器”（D/A 转换器）的集成电路来实现将 1 组 2 进制码转换为电压信号，电压的大小正比于输入的数码的大小。例如 D/A 转换器 0832 这个器件，输入数码的范围用 16 进制数表示是 0~FFH（其中 H 表示 16 进数），用 2 进制数表示是 00000000~1111 1111，用 10 进制数表示是 0~255，对应的输出电压的范围为 0~5V。若在输入端加 80H（2 进制数为 10000000，10 进制数为 128），那么输出的电压约为 2.5V。将 D/A 转换器输出的电压进行电流放大后驱动直流电机，那么直流电机的转速就可由遥控命令控制了。前面提到的大家所熟悉的电视遥控中，对比度、亮度、音量乃至电台调谐等功能的控制调节过程都与直流电机调速遥控过程相类似，是通过改变 D/A 转换器输出电压达到各种调节的目的，而 D/A 转换器的输入是解码电路输出的 2 进制编码信号——遥控命令。此类遥控应用中，解码电路中大多数都由智能部件——单片机（微控制器）组成，电视遥控就是一例。

归纳上面所举的若干例子我们可以发现，供给执行机构的控制信号基本可以分作两类，一类是逻辑信号——高电平或低电平，也称为开关控制信号，它只能控制某种执行机构的动作或不动作；另一类是模拟信号——具有连续取值的渐变信号，它可以控制某

种执行机构的动作细节，例如电机的转速快慢。在传统的遥控理论中，称前者为开关控制，后者为比例控制。

5. 数字电位器

数字电位器是问世不多久的一种新器件，在现代电器电路中常被用作遥控执行机构，它实际是一块半导体集成电路，外形结构与一般集成电路毫无区别。图 1-11 所示是数字电位器 X9312 的引脚排列图，图 1-12 则是它

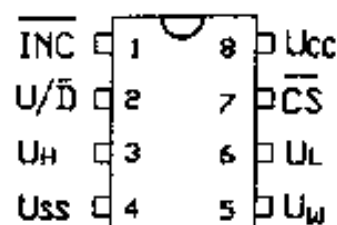


图 1-11 X9312 引脚排列

的工作波形图，其基本工作原理是：在

\overline{CS} 端为低电平期间，若在 \overline{INC} 端加入一串负脉冲，则电位器的动臂端 U_w 与低端 U_L 之间的电阻值就会改变——变大或变小。究竟是变大还是变小，由 U/\overline{D} 端的控制逻辑确定。若 U/\overline{D}

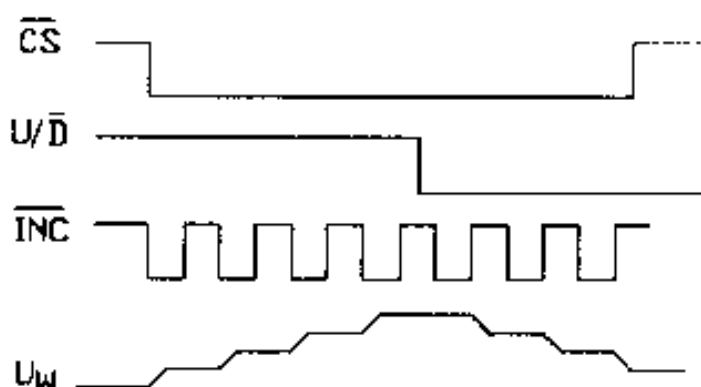


图 1-12 数字电位器输入输出波形

端为高电平，则阻值逐渐增大；若 U/\overline{D} 端为低电平，则阻值逐渐减小，读者可对照图 1-12 的波形进行理解。这种器件的输出电阻特性可以是线性电阻特性，也可以是对数电阻递变特性，应视具体应用场合选用，例如用于音响电路中的音量调节，就需要使用具有对数电阻递变特性的电位器。

图中所使用的符号，有些在符号的上方加一横“—”，是表示该端施加的信号为低电平或负脉冲时有效。“有效”就是起作用的意思，例如引脚⑦标以 \overline{CS} ，表示该端必须加低电平时该器件才能工作，专业俗语中称“低电平有效”。符号 U/\overline{D} ，表示该端有两个控制功能，为高电平时是“/”上方字母所表示的功能，即阻值增加；为低电平时是“/”下方字母所表示的功能，即阻值减小。

X9312 引脚说明： U_H ——高端； U_w ——滑动端； U_L ——低端； U_{SS} ——地； U_{CC} ——电源正极； \overline{INC} ——计数端； U/\overline{D} ——升/降控制端； \overline{CS} ——片选端。

数字电位器与机械电位器相比具有多种优点：调节更精确；不易受振动、污染等影响；没有机械触点，没有机械磨损，可长期使用；节省空间，易于装配；滑动端位置易于由单片机或其他逻辑电路控制。

五、遥控对象信息反馈与检测

遥控操作者使用遥控发送装置发出遥控指令后，接收端是否收到遥控指令？有无错误？是否对受控对象发生了作用？这些情况是操作者亟待了解的，这就要求受控对象在实现正确动作时能够返回一个信息。我们生活中常见的使用遥控器打开电灯，或使用遥控器操纵电视机的声、像效果。操纵者凭借“眼、耳”感觉到了电灯是否打开和电视机的声、像变化情况，这个过程就是最常见的一种信息反馈与检测过程。灯光或者电视机的声、像是受控对象所发出的信息，通过空间、通过空气传播到操作者的眼和耳，因此操作者的眼、耳是一种直接的检测机构。但是有很多情况下，受控对象并不发出光和声，它们或是在某一密闭的壳体里，或是由于各种遮挡物而视线不能直达，或是处在很远很远的地方，遇到这些复杂情况，就必须设法在电路方面采取一定的措施，使受控对象能返回一个确认信息。常见措施有以下几种，这些措施并不是完全通用，而必须结合具体情况灵活使用。

①在视线能直达的场合，可安装附加指示灯，由人眼直接观察。

②在视线不能直达而距离较近的场合，可安装声响电路，在

受控对象动作时发出提示讯响。

③使用线路传输遥控命令时，可通过检测线路上的电流变化情况来确定受控对象动作情况。使用这种方法时，要求被检测的电流变化量（当受控对象状态改变时）至少在 10mA 以上，否则可能出现不可靠现象。

图 1-13 所示是这种检测方法的一个简单例子，受控端电路在平常状态（守机状态）下工作电流

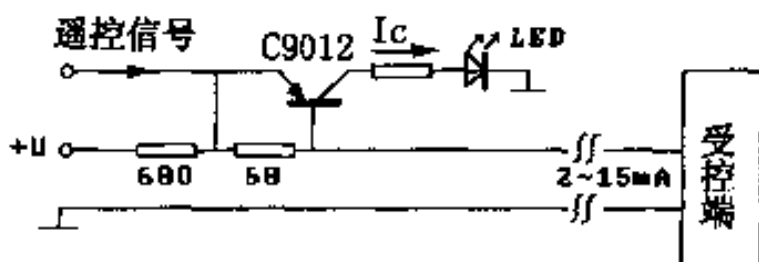


图 1-13 信息反馈检测电路之一

为 2mA，这一电流必定流过 68Ω 电阻，其两端产生的电压降约为 0.14V，小于三极管 9012 的基-射极导通阈电压，三极管截止，无电流流过发光二极管 LED，LED 不亮。当受控端动作时，取之线路的电流增加到 15mA，这时 68Ω 电阻上的压降为 1.02V（该值为三极管未接上时的数值，接上时由于 PN 结自身的特性所致，使这一电压值约为 0.7V），它大于三极管 9012 的导通阈电压，三极管导通，其集电极电流 I_c 流过发光二极管 LED 使之点亮。由于发光二极管是安装在发送端的，所以操纵者就易于观察到。

图 1-14 是另一种信息反馈检测电路，最终的反馈信息由非门电路的输出端检测。希望检测电路与传输线路保持电气隔离，因此使用了光耦合器件 LE 作为传感器。在受控端处于守机状

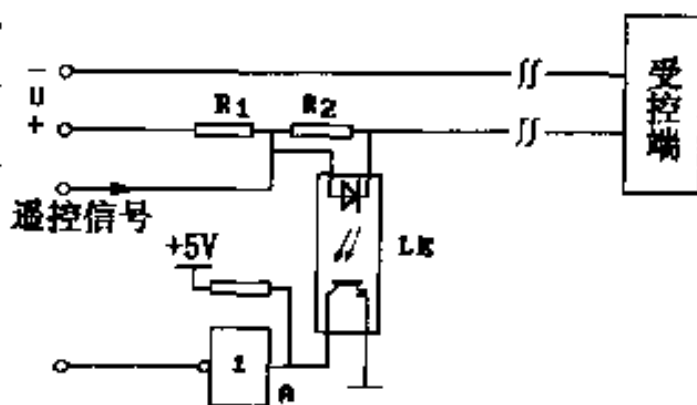


图 1-14 信息反馈检测电路之二

态时，流过电阻 R_2 的电流较小，使其上产生的电压降在 0.5V 以下，光耦的二极管不能导通不发光，无光照射二次侧三极管，三极管截止，A 点电位为高，非门电路的输出信号为低；当受控对

象动作时，流过电阻 R_2 的线路电流增加，使 R_2 上的压降增加至约 1V（该值为光耦未接上时的数值），则光耦的二极管导通发光，光耦二次侧三极管受光照而导通，A 点电位为低，于是非门电路的输出信号为高。因此，通过检测非门电路输出的逻辑信号，就可判断受控对象动作与否。检测电路使用单片机或其他逻辑电路。

④在使用线路传送遥控命令的应用中，还可以通过检查线路电压的变化情况来判断遥控命令是否生效，下面是两种可供参考的方法及电路。

(a) 反极法。当受控端确认遥控命令后，使送往发送端的线路电压极性倒置，于是在发送端（操作人员总是在发送端的）就可以检测到该信息。例如图 1-15 的电路，在接收端的输入回路上接入“反极继电器”JR。继电器释放时（常态），动触点打向常闭触点一边。由图知，传输线电压极性是 A 为正 B 为负，LED₂ 反偏，

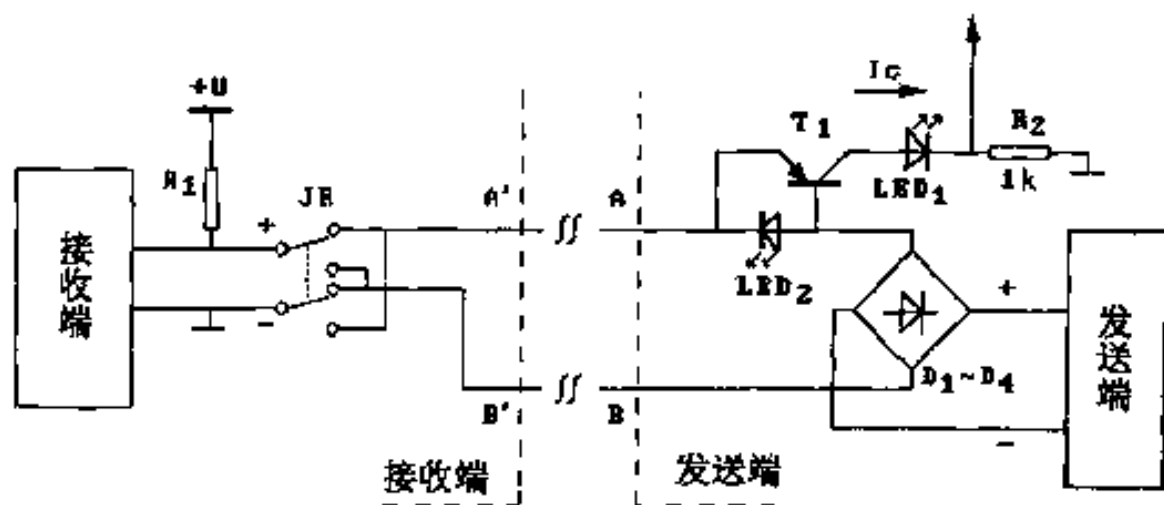


图 1-15 反极法检测电路之一

没有电流流过因而不亮。而三极管 T_1 (PNP 型) 发射极与基极之间有电流流过，三极管饱和导通，集电极电流 I_c 流过 LED₁ 指示灯，LED₁ 点亮，这时 T_1 集电极电阻 R_2 上输出的电压信号为“1”。当接收端确认遥控命令后通过一些控制电路使反极继电器吸

合一小段时间，这时继电器动触点打向常开触点一边，由图可知，此时线路电压 B 为正 A 为负，于是 LED₂ 导通点亮，而三极管截止。三极管无集电极电流 I_c 流过 LED₁ 指示灯，LED₁ 灭，同时 T₁ 集电极电阻 R₂ 上输出的电压信号由“1”变成“0”，这一逻辑电平的变化又可以被单片机或其他电路所检测。

图 1-15 的例子中，发送端的电路不另外配置电源，而是取自线路电压为电源，为了使 A、B 两线电压极性倒置时电路仍能正常工作，因而在线路中串入由二极管 D₁~D₄ 所组成的桥式整流电路。

使用继电器实现反极，电路虽较简单，但动作速度慢，而且继电器线圈本身消耗功率较大。要求有高的动作速度时，可采用图 1-16 的反极电路来实现极性倒置。当反极控制信号为“1”时，该高电平通过限流电阻分别加到 T₅ 和 T₄ 基极，使 T₅ 和 T₄ 饱和导通，T₅ 的导通又将 T₁ (PNP 管) 基极电位拉低，因而 T₁ 也饱和导通。而 T₂ 及 T₆ 基极的限流电阻是接到非门电路的输出端的，因该输出端此时为低电平 (小于 0.5V)，所以 T₂ 及 T₆ 无基极电流注入而截止，T₆ 的截止使 T₃ 无基极电流而截止。根据以上分析可得出结论：反极控制信号为高时，T₁、T₄ 饱和导通，T₂、T₃ 截止。其中 T₁ 的导通使电源正极能通过它送到线路 A'，T₄ 的导通使电源负极连通到线路 B'，此时线路电压极性为 A' 正 B' 负。反之当反极控制信号为低时，T₃、T₂ 饱和导通，T₃ 的导通使电源正极接向线路 B'，而 T₂ 的导通使电源负极连通到线路 A'，因此这时线路电压极性为 A' 负 B' 正，与前一种情况相反，实现了电压极性的反置。图 1-15 与图 1-16 的电路仅反极电路部分不同。

利用反极信号作为信息反馈信号十分可靠，又便于检测，因此在电信部门广泛使用反极信号作为通话计费的起始和终止信号 (也有的使用其他信号)。当主叫用户拨通被叫用户电话，被叫用

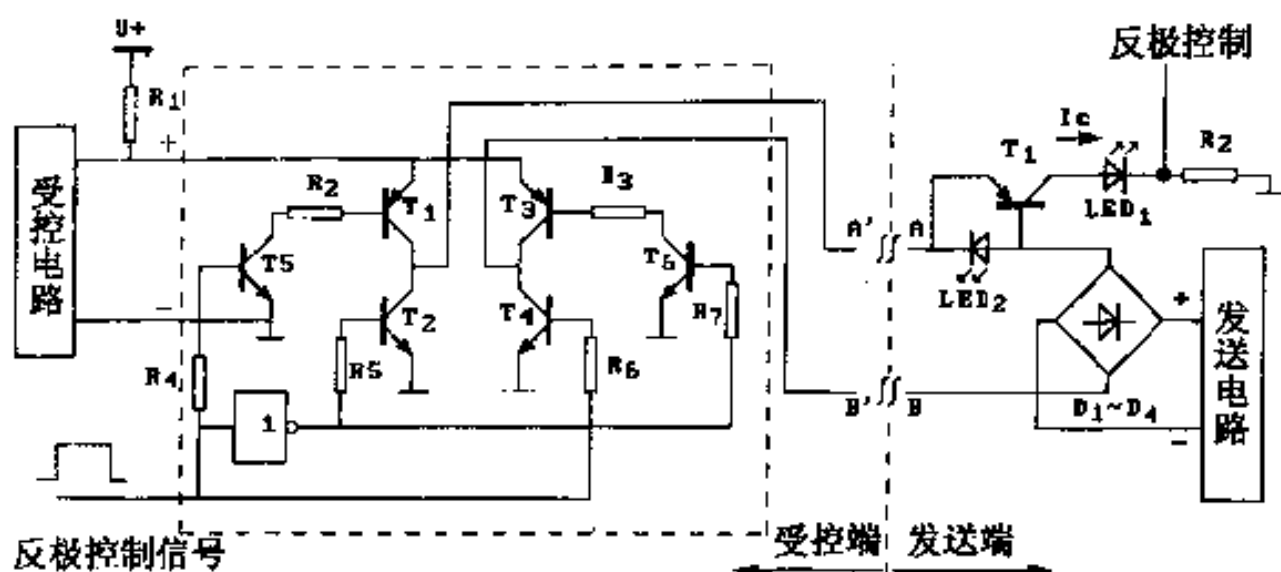


图 1-16 反极法检测电路之二

户提起话机的时候，电信局交换机即把送往主叫用户的线路电压极性倒置，主叫端（打出电话的这一端）的计费设备检测到线路电压极性改变即判为通话开始，当再次检测到线路电压极性改变回原状时即判为通话结束。

(b) 瞬间断电法。在受控端确认到遥控命令时发出一个控制信号，使送往发送端的线路电压断电片刻，则发送端即可检测到该状态。要控制线路断电可使用继电器，也可使用图 1-17 的电路，当“断电控制”信号为低时，三极管 T_2 无基极偏流而截止， T_1 由 R_1 和 R_2 提供足够的基极电流而饱和导通，电源正极被连通至线路 A 端。当“断电控制信号”为高时， T_2 有足够的基极电流注入， T_2 饱和导通，把 T_1 的基极电流拉向低，于是 T_1 截止，切断了线路电压。

使用上面介绍的“反极法”或“断电法”提供反馈信息的应用中，线路馈电电源须安置在受控端（接收端），如图 1-15、图 1-16、图 1-17 所示的那样。

⑤使用电话线路实现远距离遥控的应用中，收、发两端通过电信局的交换机发生关系，收发两端只有交流回路而没有直流回

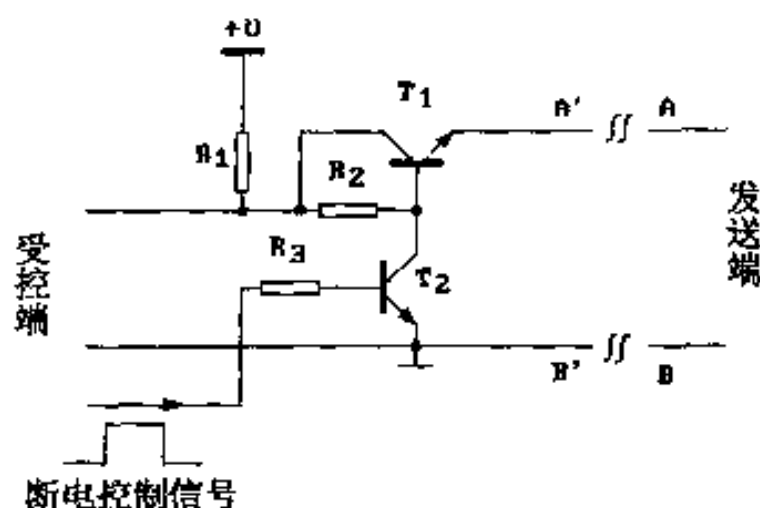


图 1-17 断电法检测电路

路，不能使用上面的几种检测电路，而需在受控端装置一个音频信号发生器，在受控对象正确动作时将特定的音频信号送上电话线路，则发送遥控命令的这一端就可以收到该音频信号以便确认（可以从电话机听筒里听到）。在受控端所使用的音频发生电路可采用现有的“音乐片”，因其外围电路极少，因此使用较为方便，当在发送端使用单片机检测反馈信号时，受控端以回送双音多频信号最为可靠。

随着电子技术的飞速发展，现代电子器件的日新月异及其强大功能，特别是具有类似人的思维能力的智能器件——单片机的出现和越来越普遍的使用，使传统的遥控理论受到了挑战，许多传统的构思、方法及复杂的电路均被今天的功能模块乃至单片机所取代，一些传统的复杂概念或方法正随着新器件的不断涌现而淡化、模糊、消亡。本书主要围绕着现代器件的应用和实用方法而展开讨论。

第二章 音频遥控原理与实验

一、音频遥控命令的生成及其电路

早期的遥控装置中，较普遍使用音频信号作为遥控命令，在使用线路传送遥控命令时，音频信号能够被远距离传送，因此在现今的很多应用中仍使用了音频信号作为遥控命令。但在早期的应用中，限于器件水平，用来产生音频信号的电路多采用分立元件组成，其电路复杂、稳定性较差、频率精度较低。随着集成电路的发展，由各种小规模集成电路（如运算放大器）组成的音频振荡器逐渐取代了分立元件。而今，则有很多厂商开发生产出了品种繁多的专用集成电路，这种集成电路以晶体振荡器作为基频振荡器，产生频率非常稳定的基频信号，并使用数字合成的方法产生多种频率的音频信号，下面介绍几种常用的专用集成电路及其应用电路。

（一）双音多频信号发生器 UM95087

1. 芯片简介

UM95087 是台湾联华电子有限公司生产的一种大规模 CMOS 集成电路，专门用来生成双音多频信号（有关双频多频信号规定见表 1-1），它与莫斯的克公司生产的同类集成电路 MK5087 完全兼容，两者可以互换使用，这种集成电路主要应用于电信系统中作为拨号电路，其主要特点有：

(1) 工作电压范围较宽，允许在 3.5~10V 范围内。

(2) 使用一个 3.58 (3.579545) MHz 的晶体振荡器产生基频信号，因此频率十分稳定，该集成电路也能工作于单音模式。具体各引脚功能说明如下，引脚排列见附录 5。

引脚①、⑥—— U_{DD} 和 U_{SS} ，分别为电源正端和电源负端；

引脚②—— \overline{XMUTE} ，开关输出端，内部连接 1 个晶体管开关，当有键按下时，该端呈高阻状态（开路），无键按下时，为高电平；

引脚③、④、⑤、⑨—— C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 ，称为列输入端，分别与键矩阵的各列相连接；

引脚⑭、⑬、⑫、⑪—— R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ，称为行输入端，分别与键矩阵的各行相连接；

引脚⑦、⑧——OSCI、OSCO，振荡器的输入/输出端，此两端接一个 3.58MHz 的晶体；

引脚⑩——MUTE，有键按下时此端为高电平，无键按下时此端为低电平；

引脚⑮—— \overline{STI} ，用于控制产生单音频或双音频，此端接地时芯片只能输出单音频信号，此端接高电平时芯片能输出双音频信号；

引脚⑯——TONE，音频信号输出端（双音或单音都由此端输出）。

UM95087 的主要电气参数见表 2-1。

2. 基本应用

使用单音频作为遥控命令时易受干扰，可靠性低，因此现代遥控装置中当采用音频信号作为遥控命令时都采用了双音频信号，也就是每一种遥控命令都由 2 个频率的音频信号组成。标准的双音频信号所采用的频率符合表 2-1 的规定，表中共列有 8 个

频率，其中横栏中的 4 个频率称高频群，左竖栏列出的 4 个频率称低频群，每种双音频信号总是取高频群中的 1 个和低频群中的 1 个组合而成，共能组合出 16 个双音信号，故而称为“双音多频”信号，以英文缩写为 DTMF 信号。

表 2-1 UM95087 主要电气参数

名称	数值	单位	条件
工作电压	3.5~10	V	
等待电流	0.2~100	μA	$U_{\text{DD}}=3.5\text{V}$
	0.3~200	μA	$U_{\text{DD}}=10\text{V}$
工作电流	1	mA	$U_{\text{DD}}=3.5\text{V}$
	13	mA	$U_{\text{DD}}=10\text{V}$
单列音调 输出幅度	500	mV _{P-P}	$U_{\text{DD}}=3.5\sim 10\text{V}$ $R_{\text{L}}=1\text{k}\Omega$
单行音调 输出幅度	400	mV _{P-P}	$U_{\text{DD}}=3.5\sim 10\text{V}$ $R_{\text{L}}=1\text{k}\Omega$

注：V_{P-P}称峰-峰值，即波形上顶峰到下顶峰之间的幅度。

UM95087/MK5087 的基本应用电路如图 2-1 所示，⑦、⑧脚间接 1 个 3.58MHz 的晶振，芯片的供电电源取自接收端。由图知，接收端+12~+24V 直流经过电阻 R₁ 后，由长线送到发送端经过由电阻 R₃ 及稳压管 Z₁ 组成的稳压电路稳压后，得到 5V 的直流供芯片工作，与稳压管并联的电容 C₁ 作滤波用，所产生的双音（或单音）信号从⑩脚输出，经三极管 T₁ 放大后从其集电极送上线路，于是在接收端就可检测到 DTMF 信号。

三极管发射极所接的电阻 R₆ 是负反馈电阻，可改善波形失真。

芯片的“行线” R₁、R₂、R₃、R₄，与键盘的 4 根“行线”一

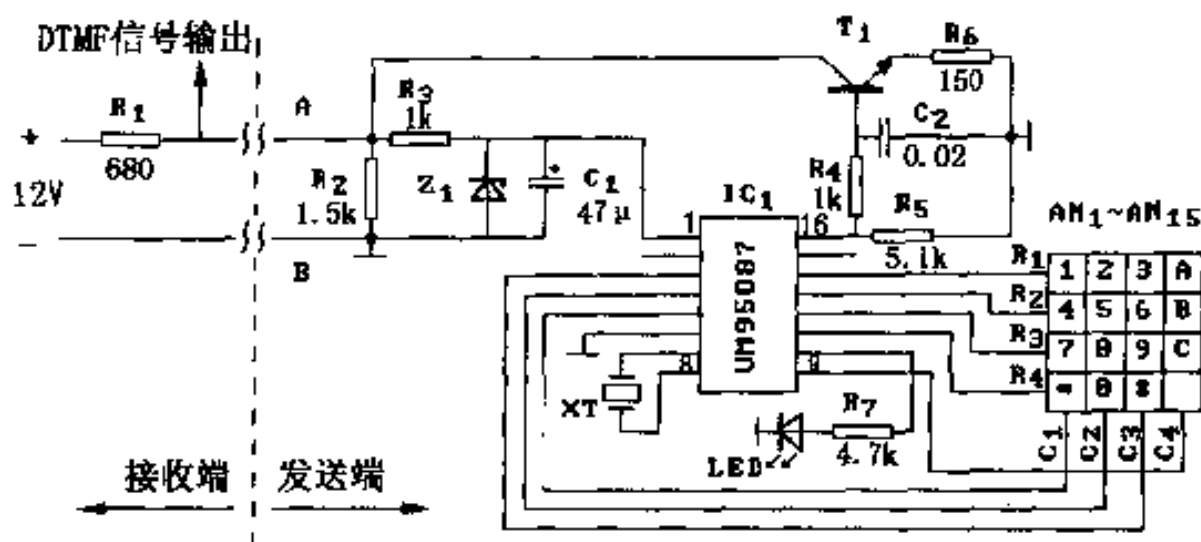


图 2-1 UM95087/MK5087 基本应用

一对应连接；“列线” C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 ，与键盘的 4 根“列线”一一对应相连。键盘的实际结构及接法如图 2-2 (a) 所示，例如当按键“1”被按下时，第 1 行 R_1 与第 1 列 C_1 相接通，这时芯片同时生成 1 209Hz 和 697Hz 2 个频率的正弦信号并由⑩脚输出；同理若按键“A”被按下，则第 1 行 R_1 与第 4 列 C_4 接通，于是芯片同时生成 1 633Hz 和 697Hz 2 个频率的正弦信号输出。芯片的⑩脚经限流电阻 R_7 接 1 个发光二极管指示灯到地，当有按键按下时，⑩脚输出高电平将发光二极管点亮，以此来指示按键操作是否确实生效。

按照图 2-1 的连接，由双音频信号所代表的遥控命令可以传输到 2~3km 远的地方去，不过线路较长时应考虑线路电阻产生的影响，此时可将线路电压抬高到 30~48V 左右。

3. 制作与实验

(1) 实验电路及元件选取

取图 2-1 的电路为实验电路。所使用的元件及其参数列于下，其中电阻 R_1 和 R_2 的功率应取 1/2W 以上，其余电阻取 1/4W 或 1/8W，发光二极管指示灯 (LED) 选直径小于 $\varnothing 3\text{mm}$ 的小型发光

二极管。通过这个实验，目的是使初学者对生成标准双音多频信号的方法和器件有初步的了解，对如何使用双音多频信号作为遥控命令以及如何达到远距离传输（有线传输）有初步的认识。

主要元件取值：

Z_1 ——5~5.6V 稳压管；

XT ——3.58MHz 晶振；

T_1 ——C9013 或其他 NPN 中小功率三极管；

LED —— $\varnothing 3\text{mm}$ 发光二极管。

(2) 实验印刷电路板

图 2-3 (a)、(b) 是按照图 2-1 设计的 1:1 印刷电路板焊接层透视图形，也就是从安装元件的那一面朝下看（假想电路板的绝缘板是透明的）所看的铜箔走线图形，图 2-2 (b)、(c) 是小键盘 1:1 印刷电路板焊接层透视图形，制作时切勿弄反。这一点十分重要，初学者往往容易搞错，以至前功尽弃。焊接时，不要直接将集成电路焊在电路板上，应使用集成电路插座，将插座焊在电路板上，集成电路插在插座上，这样便于检查和排除故障，特别是实验装置更应如此。

(3) 印刷电路板业余制作简介

作为业余爱好者往往免不了要亲自动手制作印刷电路板以供试验使用，这一过程即使是专业科研开发人员有时也免不了，因为虽有专业制作印刷电路板的厂家，但业余制作或者科研开发过程试验中往往只需制作 1~2 块，交付专业厂家制作就显得太贵了。单面印刷电路板的手工制作较为简单，下面简要介绍各步骤。

①设计印刷板图。最终使用的印刷板图必须是比例为 1:1 的透视图，也就是将印刷电路板翻过来，敷铜的一面朝着观察者所看到的图形。设计印刷板图时一般先确定集成电路的位置、各较大元件的位置、接插件或引出线的位置，然后添上各小元件，再

印刷电路板图，目前国内较流行的印刷板布线软件有 PROTEL 等。

②敷铜板的处理。先裁下一块与印刷板图相同面积的单面敷铜板，用小锉刀锉去边缘毛刺，然后用高密度水砂纸（也就是颗粒细小的水砂纸，五金店有售）砂去铜箔上的氧化层，这一过程应加水，直至将氧化层砂除干净露出明亮均匀的铜本色为止，切忌使用颗粒粗的砂纸，切忌过分砂除，否则将使铜箔层过薄而影响质量。

③在敷铜板上画走线图。使用复写纸将已设计好的印刷板图“复写”到铜箔上，贴上图纸时应认真确认焊接层（底层）正面视图是朝向观察者的。

④钻孔。“复写”好以后，先不要揭下图纸，按照图纸上的钻孔位置进行钻孔，一般元件的插孔使用 $\varnothing 0.8\text{mm} \sim \varnothing 0.9\text{mm}$ 直径的钻头钻孔，引脚大的元件（如三端稳压集成电路、大功率二极管、大功率电阻等）一般使用 $\varnothing 1\text{mm} \sim \varnothing 1.2\text{mm}$ 的钻头钻孔。钻好孔后揭去图纸，用细锉刀锉去板上留下的许多毛刺。

⑤上保护漆。按照“复写”在敷铜板上的走线，使用鸭嘴笔和油漆描绘走线。油漆要调匀，浓度要合适，鸭嘴笔张口大小要合适，初次尝试可先在空板上多试画几次，线条画好后再画焊盘。画焊盘的方法是：取一根火柴，用圆形的火柴头沾少许油漆，然后对准敷铜板上已钻好的小孔轻轻点一点，则沿孔周围就留下了一圈不大不小的油漆，为了使火柴头上所沾油漆的量能掌握合适，可将油漆罐里的油漆挑出少许滴在一块平板上使用，也可以用一竹片削成 $\varnothing 2\text{mm} \sim \varnothing 3\text{mm}$ 圆形，顶端再削成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的圆锥，将顶端沾少许油漆，对准已钻好的小孔轻轻一点即成。

⑥腐蚀。待油漆干后，取一把锋利的刻刀，对线条不规整的部分（因油漆量掌握不合适发生流动使线条变粗甚至两根线相碰等）进行修整，修整好以后放入三氯化铁溶液腐蚀。三氯化铁可

在化工商店购买，买回的三氯化铁呈浅褐色（类似红糖颜色，稍淡）块状，可按大约 1:5 的比例（三氯化铁 1，水 5）泡制溶液。把待腐蚀的板放入药液中时，宜将敷铜的那一面朝下，轻轻地平放下，让它浮在液面上，这种位置腐蚀速度最快，如果将敷铜面朝上并沉入液中，那么铜与三氯化铁的反应物必将沉积在铜箔上，导致进一步腐蚀受阻，严重影响腐蚀速度和质量。

⑦上助焊剂。腐蚀好后，取出印刷板洗净，用香蕉水擦洗干净油漆，然后再用旧水砂纸轻砂表面（边砂边冲水），确保铜箔线条光洁明亮，再用吸水性好的纸擦干，稍待晾干后，用软毛刷蘸“松香酒精溶液”刷涂 2 遍。经这样处理后的铜箔线条能经久不氧化、不变色，焊接时很容易吃锡，使焊接质量得到有效保证。松香酒精溶液的制作方法是：取一个小瓶子，倒入若干酒精，然后放入若干优质松香，盖好盖子等待一日左右松香即能全部溶解，松香与酒精的比例大约取 1:3。

使用油漆描绘对初学者有一定困难，不易操作，有条件的读者可以购买专用贴图条粘贴。贴图条类似胶带纸，绕成一卷一卷的，宽度有各种规格，只要沿着复写纸留下的线条痕迹粘贴即成，焊盘也有专用粘贴焊盘，很是方便。用这种方法制作出来的印刷板线条均匀、整齐，质量较高，但这种材料目前街面上不易买到，且价格较贵，粘贴起来速度较慢。手工制作电路板的方法还有多种，这时不一一叙述。

（4）焊接、调试

仔细检查电路板没有错误、没有碰线及断线等故障后，插上元件焊接，安装集成电路插座时要注意方向，有缺口的一端应与集成电路有缺口的一端保持一致，也就是有缺口的这一端的两个引脚分别是集成电路的第一脚和最后一脚，这样在以后插集成电路时才不易插错方向。按键采用微动按钮，这种按钮塑料耐热性

能较差，焊接时务必动作迅速，如果引脚受热时间稍长，内部结构将发生变形，导致按钮失灵。安装焊接完毕，然后按下面步骤调试。

①用万用表的电阻挡 $R \times 100$ 或 $R \times 10$ 检查按键是否动作可靠，具体步骤是：将一根表笔接在第“1”行线 R_1 （即集成电路插座的⑭脚），另一根表笔接在第一根列线 C_1 （即集成电路插座的③脚），轻按按钮“1”，万用表表针应摆动呈短路状态；松开按键，表针应呈开路状态。反复操作数次，看是否动作可靠，然后接 R_1 的那根表笔不动，把另一根表笔移到 C_2 （集成电路插座④脚），按同样的方法检验按钮“2”，再移到 C_3 检验按钮“3”……以类似的步骤，检验完全部 15 个按钮。

②将 A、B 两根线（见图 2-1）接在电话线上（虚线左边的电路不要接），电话线路上平时送有 48V 左右的直流电压。注意极性，A 接正，B 接负，用万用表测量集成电路插座①、⑥两脚间的电压 U_{1-6} ，应有 $U_{1-6} \approx 4 \sim 5V$ ，①脚为正，⑥脚为负。

③先断开 A 或 B 的连线，插上集成电路，然后再恢复 A、B 的连线，这时可以提起电话听筒监听，等待出现忙音时（注意一定要等到出现忙音时）按下一个按钮，听筒里能听到“滴——”的音频声音，声音应清晰，不能有沙哑，并且可以看到 LED 指示灯点亮。逐个试按每一个按钮，如有条件，可用示波器观察⑯脚输出波形，或者三极管集电极波形。此波形为 2 个频率的正弦混合波形，两波头不应有削顶失真现象。

④先断开连线 A，并放下听筒以“挂断”电话，过 2~3s 重新拿起听筒，并接上连线 A，听筒里听到电话拨发音（400Hz 的音频声音，连续）。在“试验小键盘按钮”上接入本机电话号码，当按下第一个按键后，听筒里的拨发音消失，直至逐位按完全部号码（6 位或 7 位），听筒里将听到忙音。这表明试验电路已能正常工

作，所产生的双音多频信令已能被电信局正确接收。当然，如果用试验小键盘所按入的电话号码不是本机号码，而是另外一个用户的号码，那么电信局就会向对方发出振铃信号，待对方提机后，你就可以与对方通话了。在上面的试验中，千万不可乱拨其他号码，因为电信上有若干个特殊服务电话号码，如火警 119、匪警 110 等，切不可拿这些号码作游戏。

试验完毕应及时从电话线上拆除，否则会影响电话正常使用。如果不用电话线做而使用直流电源做试验，则 A、B 两根线的连接方法应按照图 2-1 连接，在电源回路里应串入电阻 R_1 ($680\Omega \sim 1k\Omega$)。在这种情况下，只能观察 LED 指示灯的亮、灭情况以及由示波器观察波形，至于试验电路所生成的双音多频信号频率以及波形失真度是否满足要求等，则无法判断。

(二) 双音多频信号发生器 UM91210

1. 芯片简介

UM91210 是台湾联华电子公司生产的一种专门为电话拨号而设计的 CMOS 低功耗集成电路，既可产生双音多频信号，又可生成脉冲拨号，通过其中的 1 根引脚分别设置为高电平或低电平来进行选择。它从一个晶体振荡器 (3.58MHz) 用数字合成法导出所需要的双音频，因此具有很高的精确度和稳定性，并且噪声容限高，只需少量外围元件，是有线远距离遥控应用中的一种较理想的信令发生器，其器件引脚排列见附录 5，引脚功能如下：

引脚①~④—— $R_1 \sim R_4$ ，行线；

引脚⑮~⑱—— $C_1 \sim C_4$ ，列线，行线和列线作为键的输入端，分别与键盘矩阵的行、列线对应相连；

引脚⑤—— \overline{HK} ，当该端为 U_{DD} 时，芯片不工作，当该端为 U_{SS} 时（接地）芯片工作；

引脚⑥——M/B，通断比选择，用于脉冲拨号，作遥控信号发生器时不使用；

引脚⑦——MS工作方式选择，该端接 U_{DD} 时工作于脉冲拨号方式，接 U_{SS} 时作双音多频发生器；

引脚⑧、⑨——接3.58MHz的晶体；

引脚⑩—— U_{DD} ，电源正端；

引脚⑪—— U_{SS} ，电源负端，接地；

引脚⑫——TONE，双音频信号输出端；

引脚⑬—— \overline{XMUTE} ，当TONE端输出双音频信号时该端拉向地电位，无双音频信号产生时该端为高阻状态；

引脚⑭——DP，拨号脉冲输出端，只用于电话拨号。

UM91210的主要工作参数见表2-2示。

表2-2 UM91210主要工作参数

名称	数值	单位	条件
工作电压	2.0~5.5	V	
静态电流	0.05	μA	$\overline{HK}=U_{DD}$
工作电流	0.70	mA	双音频方式
等待电流	15	μA	$\overline{HK}=U_{SS}$
音调输出幅度	560~700	mV _{P-P}	负载=10k Ω
晶体频率	3.58	MHz	

2. 基本应用

图2-4示是UM91210的基本应用电路。图中，芯片的MS端接地，选择芯片为音频工作模式， \overline{HK} 端接地，芯片总是处于工作状态（除非开关K打向位置“2”那边），但这并不意味着芯片有双音多频信号发生，还必须有键按下时才产生出双音多频信号。双

音多频信号由 TONE 端输出，经过三极管 9013 的放大后送往线路，三极管基极所加的电阻 R_5 和电容 C 构成低通滤波，去除输出信号中的高频杂波。发射极所接电阻 R_7 为负反馈电阻，用以改善波形，减小失真。芯片的 $\overline{\text{XMUTE}}$ 端接一个发光二极管 (LED) 作为指示灯，当有键被按下时，该端将 LED 的阴极拉向地，而 LED 的阳极经过电阻 R_4 接线路电压的正极，因此有键被按下时 LED 点亮。芯片供电 (U_{DD}) 端由电阻 R_3 及稳压管 Z_1 构成的并联型稳压电路提供 +5V 电压，与稳压管并联的电容 C_1 为滤波电容，其值可取 $10\sim 47\mu\text{F}$ 左右均可。图中键盘采用 4 行 \times 3 列矩阵方式，第 4 列 C4 主要为电话所用，作遥控电路应用不使用，因而未接，所以该电路只能生成 12 种双音多频信令。

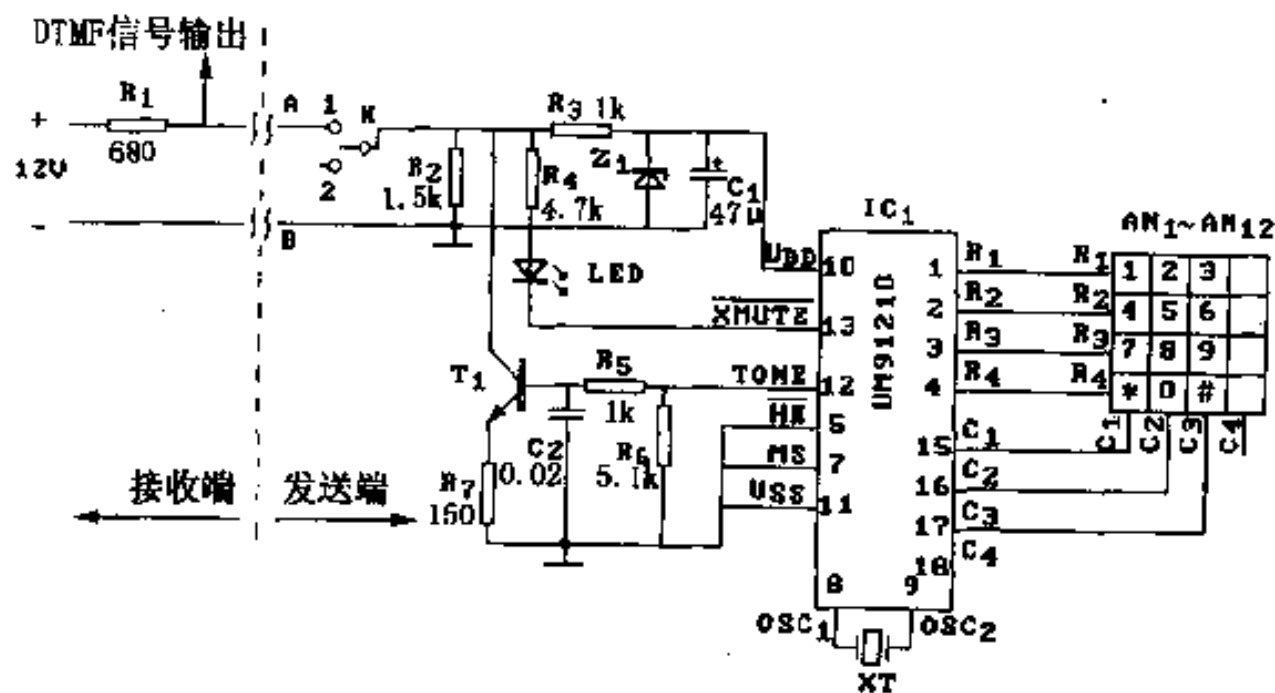


图 2-4 UM91210 的基本应用电路

3. 制作与实验

(1) 实验电路及元件选取

实验电路见图 2-4，主要元件选取如下：

Z_1 — 5~5.6V 稳压管；

XT——3.58MHz 晶振；

T_1 — C9013 或其他 NPN 小功率三极管。

(2) 实验印刷电路板

供实验用的印刷电路板如图 2-5 (a)、(b) 所示，图为 1:1 透视图，读者可按照前面所介绍的方法制作电路板，然后焊接元件，集成电路仍然使用插座，这里使用的插座为双列 18 脚。焊接完毕后，先不要插上集成电路，按下面步骤进行调试。

(3) 调试

①检查键盘接触情况，检查方法参照前面例子中介绍的方法进行。

②按图 2-4 电路接通电源，开关 K 打向“1”位置，测量集成电路插座 U_{DD} 端与 U_{SS} 端之间的电压（要将万用表的表笔直接接在这两个引脚上），应约为 5V；测量⑬脚对地电压约为 12V；其余所有引脚对地电压均为零。

③断开电源，插上芯片，然后再接通电源，再测量 U_{DD} 端电压应基本保持不变， \overline{XMUTE} 端为高电平（接近 A 点电压），TONE 端为低电平（接近 0V）。

④按动任一个按键，LED 指示灯均应点亮，如有条件可用示波器观察 A 点波形，波形情况与前例中对 MK5087 进行实验时的情形一样。

⑤利用电话线来检验生成的双音多频信号是否正确，基本方法与前面例中所述相同，因该步骤比较复杂，故将其要点重述于此。首先，识别好电话线路上的电压为直流 48V，将 A、B 两线从原来的线路上拆下，按照对应的极性（A 正 B 负）接入电话线路，拿起电话机听筒监听，待出现忙音时把开关 K 拨向“1”位置，逐个按动按键，听筒里应能听到清晰的“滴——”音频声音。这一步骤，只试验是否有音频信号产生输出，并不能检验所产生的双

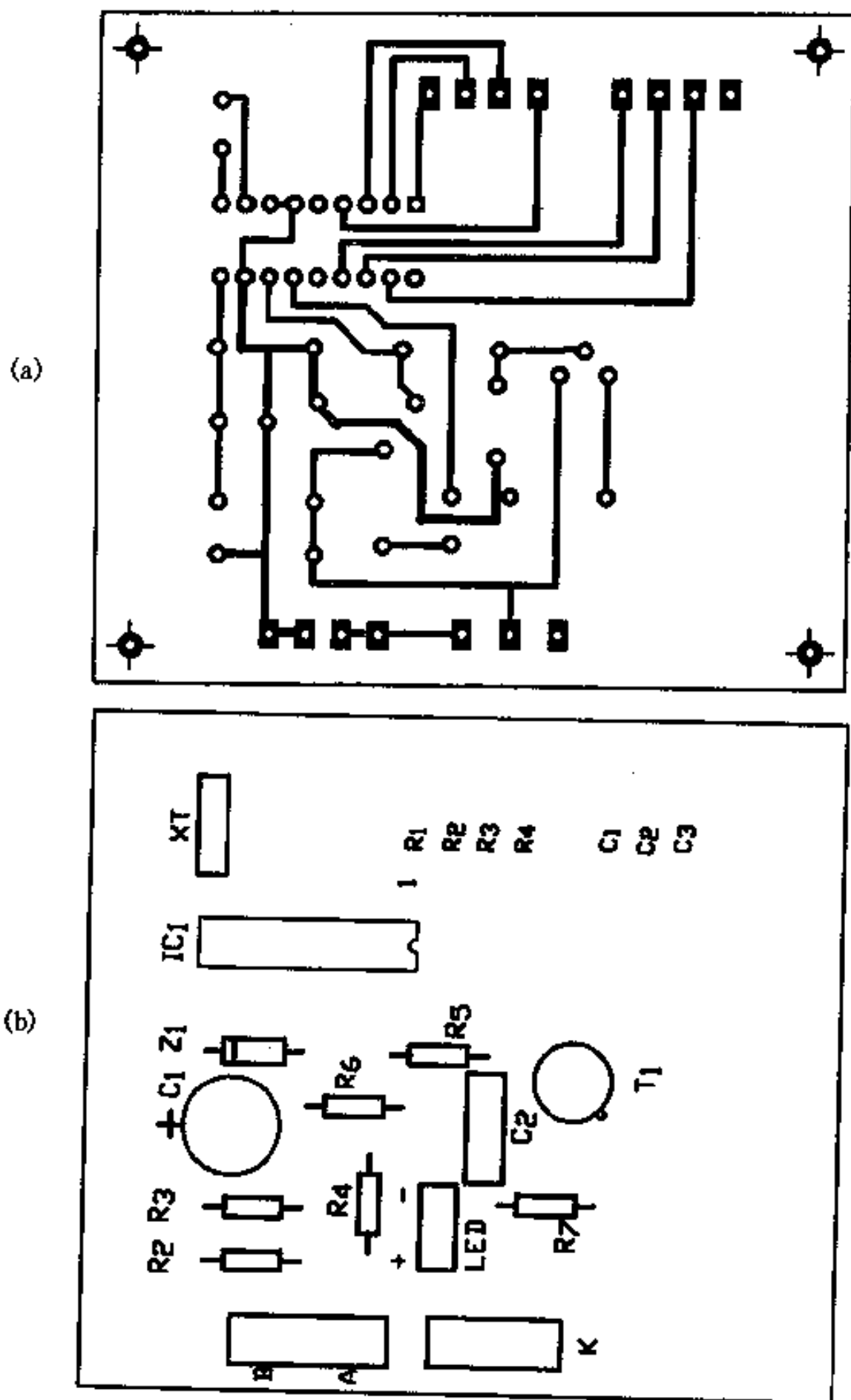


图 2-5 μ MP91210 实验印刷电路板

音信令是否有效，为了证明所生成的双音多频信令在频率、失真度、幅度等主要指标是否符合要求，还要做下面的试验。

⑥放下听筒，并且将开关 K 打向“2”位置，约过 2~3s，再提起听筒，这时可听到“拨号音”，表示电信局交换机设备允许接收双音多频信令。将开关 K 拨向“1”位置，用试验小键盘按入本机电话号码，可在听筒里听到忙音，或者找一个你所熟悉的电话号码，用试验小键盘按入电话号码，如果能够接通对方电话（只要能听到回铃音即可），表明试验电路所生成的双音多频信令正确。切记不要使用电信特殊服务电话号码，试验完毕应及时拆除与电话线的连接。

二、音频遥控命令的识别及其电路

在第一章第一节中我们曾提到音频遥控命令的解释（识别），在早期应用电路中限于器件水平而采用了一些不尽理想的办法，现代集成电路具有强大而完善的功能，能够精确识别音频频率，因而在远端控制中有很重要的用途。下面介绍几种常用的音频识别集成电路。

（一）锁相环集成电路 NE567

NE567 音调频率译码器是一个高稳定度的锁相环集成电路，其重要的基本功能之一是用以识别某一特定频率的信号，当输入信号落在它的识别带宽以内时，输出端就输出低电平信号，直至输入信号消失时恢复为高电平。NE567 的带宽、中心频率和输出延迟完全由外接的 4 个元件来确定，其主要特点是：中心频率稳定度高，频率范围宽（0.1Hz~500kHz），带宽可独立控制（14%），带外信号和噪声衰减率高，具有 100mA 的电流吸入能力。其外形

引脚见附录 5，内部功能框图如图 2-6 所示，各引脚功能如下：

引脚①——接输出滤波电容器 C_3 ；

引脚②——接低通滤波电容器 C_2 ；

引脚③——信号输入端；

引脚④——电源正端；

引脚⑤——定时元件 R_1 ；

引脚⑥——定时元件 R_1 和 C_1 ；

引脚⑦——电源负端（接地）；

引脚⑧——信号输出端。

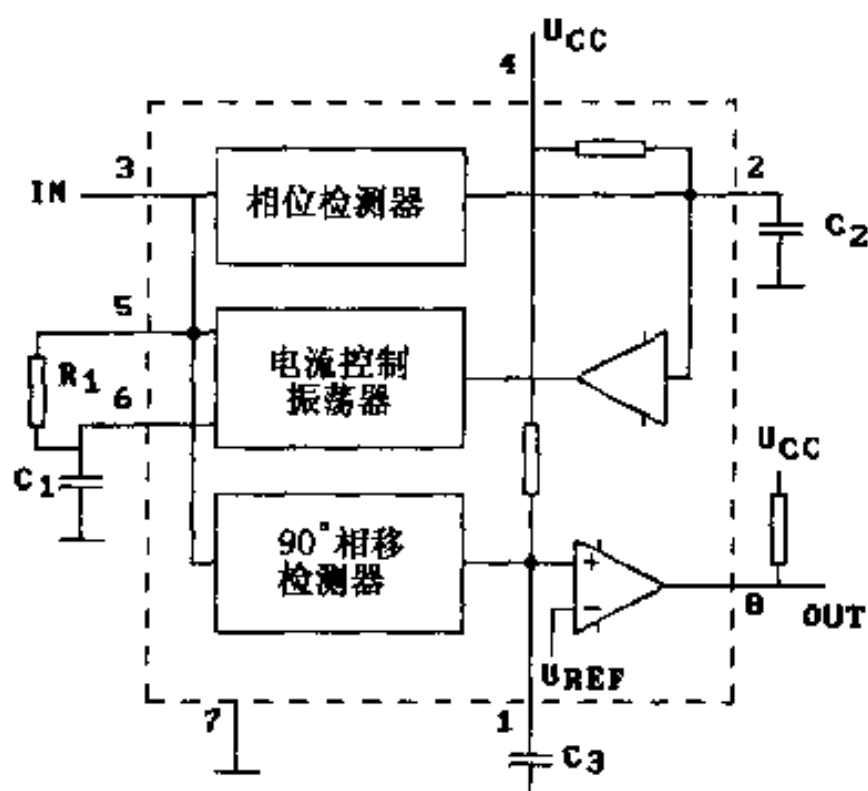


图 2-6 NE567 内部逻辑框图

输入信号从 NE567 的③脚输入，同时送入相位检测器及 90° 相移检测器。相位检测器的输出经低通滤波和放大后作为振荡器的频率控制信号。可控振荡器的输出同时作为相位检测器和 90° 相移检测器的输入，从而构成锁相环。在无输入信号的情况下，由电流控制振荡器产生自由振荡频率，此频率即为中心频率 f_0 ，在

门限电压(典型值为 200mV 有效值)以上的输入信号,若落入带宽以内,则由⑧脚输出低电平,典型连接如图 2-7 所示。

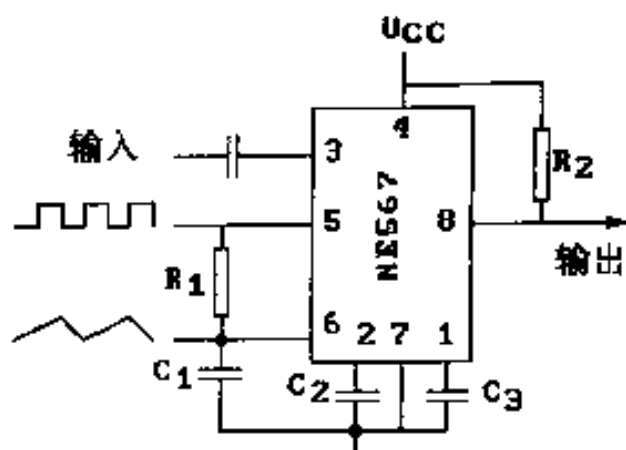


图 2-7 NE567 典型接法

外围元件 R_1 、 C_1 、 C_2 、 C_3 的选择合适与否十分重要,若选择不当则电路不能稳定工作,甚至不能工作,它们的选取原则如下:

①根据所要求的中心频率选定 R_1 和 C_1 。考虑有较好的温度稳定性,取 R_1 为 2~20k Ω 范围内比较合适, C_1 应选用温度稳定性好的电容器, C_1 的选取可参考下式计算:

$$R_1 \times C_1 \approx 0.9/f_o \text{ (kHz)}$$

其中 f_o 为中心频率,即所需要识别的频率。

②低通滤波电容 C_2 的选取主要考虑带宽的要求,可参照下式计算:

$$C_2 = \frac{U_i}{f_o} \times \left(\frac{1070}{B_w}\right)^2$$

其中 B_w 为带宽用 f_o 的百分值表示,即 $B_w = \frac{B}{f} \times 100$, B 为带宽(Hz); f_o 为中心频率(Hz); U_i 为输入电压有效值(V); C_2 为低通滤波电容(μF)。

③ C_3 的值不是很重要, C_3 用于衰减检测频带以外的寄生成分,其典型值取为 $2C_2$ 。 R_2 为上拉电阻,参考取值可在 2~10k Ω 左右。

(二) 双音多频译码集成电路 MC145436

1. 芯片简介

MC145436 是 CMOS 大规模集成电路, 包括有源滤波器和译码器等电路, 用以检测一对音调 (2 个音频频率) 是否符合双音多频标准。开关电容滤波器技术用于定时控制和输出电路的数字化, 具有优良的电源噪声抑制能力, 广泛用于远端控制设备。

MC145436 的引脚排列见附录 5, 内部逻辑框图如图 2-8 示。其技术特点如下: 单一电源, 工作电压为 +5V; 检测全部标准音频信号 (低频群 4 个, 高频群 4 个); 用外接的 3.579 545MHz 晶体 (或 3.58MHz); 提供“保持时间”控制, 以改善抗干扰能力; 输出为 4 位 2 进制码; 内有 60Hz 抑制电路和 400Hz 抑制电路。

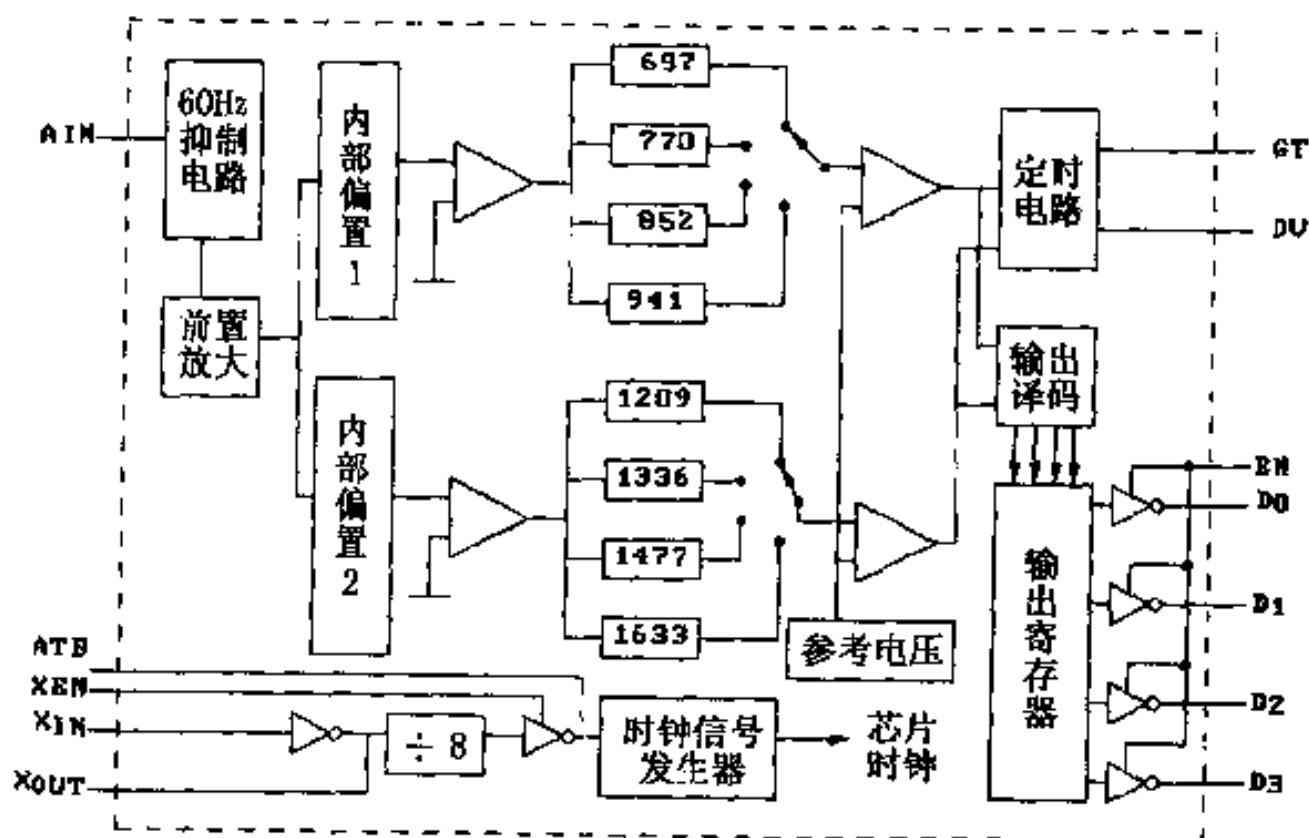


图 2-8 MC145436 内部逻辑框图

MC145436 的引脚功能如下：

引脚②、①、⑭、⑬—— $D_0 \sim D_3$ ，数据输出端，输出的 2 进制码符合表 1-2 规定，而它们所代表的数字或符号与双音频率的对应关系符合表 1-1 规定。例如，当它识别到 941Hz 和 1 477Hz 2 个频率混合信号时，出现在 $D_3 \sim D_0$ 4 根引线上的逻辑值为 1100，所代表的符号是“#”。

引脚③——EN，输出允许，当 $EN=1$ 时，允许 $D_3 \sim D_0$ 输出，当 $EN=0$ 时，输出端呈高阻状态。

引脚⑤——GT，“保持时间”控制端，该端为“1”时，需要使输入信号保持较长的时间才能被有效检测并输出，而当输入信号消失时，又能较快地停止输出，这样可提高抗干扰能力，当 $GT=0$ 时，能适应较快速的检测。GT 端不论是从高电平变为低电平或从低电平变为高电平，都将使芯片内部复位。

引脚⑥——XEN，振荡器允许端，当 $XEN=1$ 时，允许芯片上的振荡器工作，当不使用芯片内振荡器而由外部从 ATB 端提供工作时钟时，该端应接地。

引脚⑦——AIN，音频信号输入端，输入端的电路如图 2-9 示，内部已有隔直电容，从外部引入信号时可以采用直流耦合，也

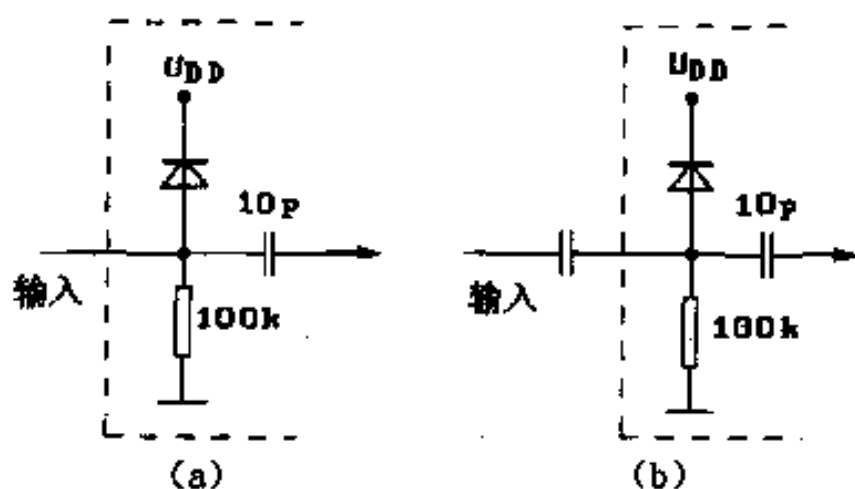


图 2-9 MC145436 输入端内部电路

可采用交流耦合,分别如图 2-9 (a)、(b) 所示。

引脚⑨、⑩—— X_{IN}/X_{OUT} ：振荡器输入/输出端，在这两个端子上连接一个晶体，再并联一只 $1M\Omega$ 的电阻，当采用外部时钟从 ATB 端输入时， X_{IN} 端应接 U_{DD} 。

引脚⑪——ATB 外部时钟输入端，当使用多个 MC145436 时，可以把几个芯片的 ATB 端连在一起，这样就不必每个芯片接一个晶体，而只要其中的一个芯片接晶体，由这个芯片从 ATB 端输出 $447.4kHz$ 的时钟信号送入其他芯片的 ATB 端，参见图 2-8。

引脚⑫——DV，“数据有效”信号输出端，当接收到双音多频信号经正确译码并出现在 $D_0 \sim D_3$ 线上时，DV 端变为高电平并保持至输入信号消失为止或者是 GT 端状态发生了变化。

引脚④—— U_{DD} ，电源正极。

引脚⑧——GND，电源负极，接地。

2. 典型应用电路

MC145436 的典型连接方法见图 2-10 示。检测信号经过电容 C_2 耦合至输入端，电阻 R_4 与电容 C_3 组成低通滤波，消除线路上

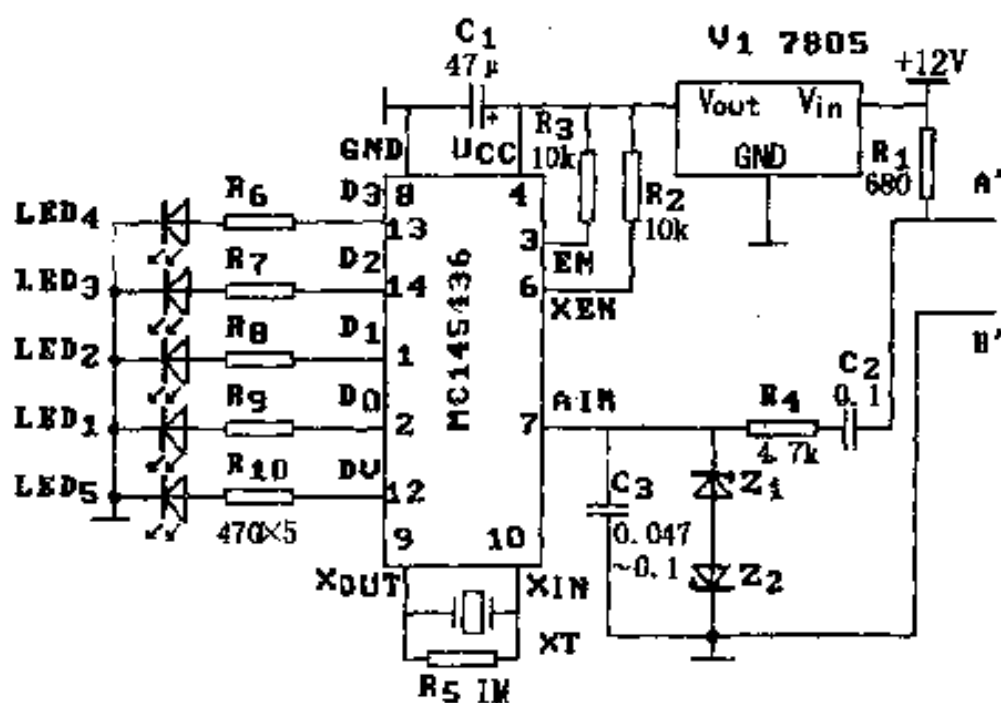


图 2-10 MC145436 典型应用电路

的高频干扰及高频杂波， Z_1 、 Z_2 两个 5V 稳压管以相反的方向串联。这样当加到⑦脚的信号或瞬间干扰脉冲，不论是正向还是负向，只要幅值超过约 5.7V 就能使 2 个稳压管均导通，保证了⑦脚电压不会大于 5.7V，也不会小于 -5.7V，起到保护芯片输入端的作用。芯片的 EN 端接高电平，表明芯片在解码正确时允许输出，XEN 端接高电平，表明允许片内振荡器工作，GT 端空着不接（图中未画出），称为“悬空”。在数字电路里，“悬空”被视作逻辑“1”处理，根据引脚功能说明，GT=1 表明芯片需要较长的检测时间，而当输入信号消失时输出端的数据也能较快地消失。输出端 $D_0 \sim D_3$ 及 DV 各接 1 个发光二极管（LED）指示灯，与之串联的 470 Ω 电阻起限流作用。这 5 根输出端中，若某 1 根为高电平，则有电流流过对应的那个 LED，于是使 LED 点亮。

3. 制作与实验

【实验一】

（1）实验电路及元件选取

取图 2-10 为实验电路，主要元件取值如下：

V_1 ——78L05 小功率三端稳压器；XT——3.58MHz 晶振；

$LED_1 \sim LED_5$ —— $\varnothing 3\text{mm}$ 红色或绿色发光二极管。

（2）实验电路板

图 2-11 (a)、(b) 是根据图 2-10 电路画出的印刷电路板 1:1 透视图。

（3）安装及调试

①电路板制作好后，按照图 2-10 安装焊接，但 R_1 先不要焊上！集成电路仍使用插座，这里使用的是双列 14 脚 IC 插座，注意 IC 座安装的方向，有缺口的那一端，两排的头两个引脚应分别是①脚和⑭脚。

②焊接完毕，先不要插上集成电路，外观先作认真检查无误

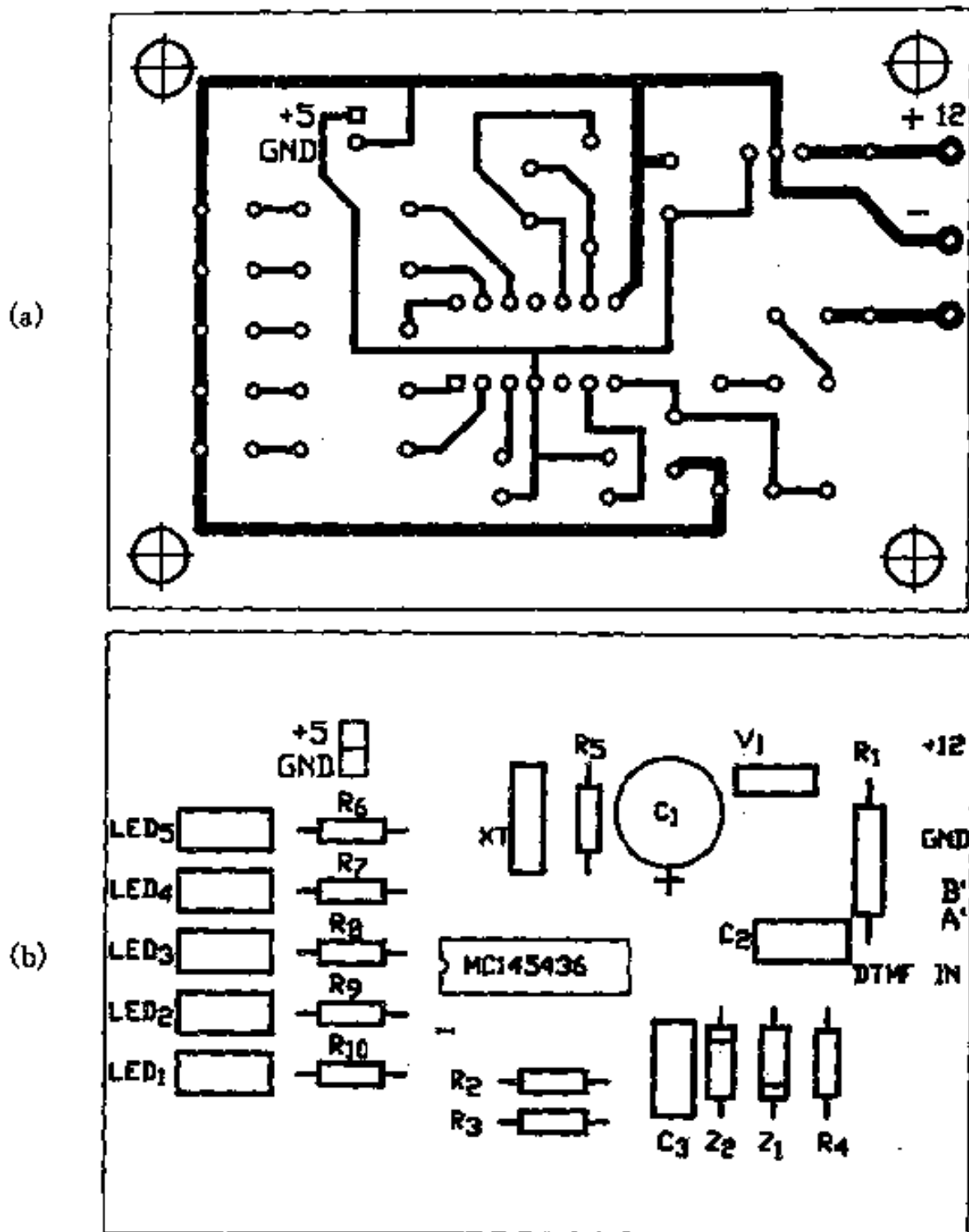


图 2-11 MC145436 实验印刷电路板

后，接通 12V 电源，用万用表直接测量确认引脚④和⑧之间的电压为 5V，再测量其他引脚。③脚、⑥脚应为高电平（5V），其他均为低电平（0V）。再取一根导线，一端插入 IC 座的第④脚，另一端分别碰触②、①、⑬、⑭和⑫脚，5 个 LED 灯应分别被点亮。如有不亮，应检查该 LED 有无接反了极性或是否损坏。

③断开电源，插上集成电路，分别把 A' 和 B' 两端连接到两根电话线上，不要区分极性，注意 R_1 不要焊上，否则会损坏三端稳压器和 MC145436 等。

④接通 12V 电源，LED 指示灯应处于全部不亮的状态，提起电话机话筒，等待约半分钟出现忙音后，用电话机的按键发送双音多频信号。MC145436 译码电路接收并译码双音多频信号的情况可以从 LED 指示灯的亮、灭情况来观察，亮、灭情况请参照表 1-2。每一种情况下，凡是表中标“1”的所对应的那个指示灯就亮，例如用电话机的按键按下“1”键，由表 1-2 知， $D_0=1$ ， D_1 、 D_2 、 $D_3=0$ ，因此 MC145436 的 D_0 线上（②脚）所连接的 LED₁ 点亮；同理若按下按键“*”，由表 1-2 知， $D_0=1$ ， $D_1=1$ ， $D_3=1$ 而 $D_2=0$ ，因此 MC145436 电路中，与 D_0 、 D_1 、 D_3 相连接的 LED 点亮， D_2 端所连接的那个 LED₃ 不亮。而对于 DV 端所连接的那个 LED₅ 指示灯，只要每按一个按键，它都应该点亮。所有被点亮的指示灯在按键松开时熄灭。也可以用万用表直流电压挡测量 $D_0\sim D_3$ 及 DV 端的电压情况，凡 LED 灯被点亮时所对应的那根引脚应为高电平（大于 3V 即可）。该步骤是以电话机生成双音多频信号的，因此必须将电话机设置成“音频”模式，目前一般电话机均已设置成该模式，但也有一些早期安装的电话，限于电信局交换机设备较陈旧，因此还只能使用“脉冲拨号”方式，遇到这种情况，在进行上述实验时就必须把电话机设置为音频模式，这只需将设置开关（在电话机边上或背部）拨向“T”（有的标作“TONE”）一边即可。

记住一定要等电话出现忙音后再做上面的实验，因为出现忙音后电信局已拒绝接受由电话机所发出的任何信号，因此我们可以利用这个时候把电话机作为一种现成的最方便的双音多频信号发生器，来进行双音多频信号的接收译码实验。

⑤将图 2-10 中电路与电话线的连接拆除,使用图 2-1 以 UM95087/MK5087 为双音多频信令发生器或使用图 2-4 以 UM91210 作为双音多频信令发生器来进行收发(双音多频编码和双音多频译码)联合实验。只要将图 2-10 中的信号输入端 A' 接至图 2-1 或图 2-4 的 A 端,两个电路的地线(B、B') 相连,图 2-10 电路焊上电阻 R_1 ,接通电源即可进行发令和收令的初步实验。这时可以在自制的小键盘上操作发令,小键盘操作情况与 LED 指示灯点亮的对应情况应与前一个步骤中以电话机发令时的情况相一致,稍有不同的是图 2-1 中多了“A、B、C”3 个按键。

【实验二】

上面的实验中,由 MC145436 译码器输出的信息 $D_0 \sim D_3$ 是一组 2 进制的码,还不适宜用于控制执行机构,下面我们在以上的基础上再进行扩展实验。

(1) 芯片介绍

4B→16 线译码集成电路 74LS154/159 的引脚图参见附录 5。其外形为 24 脚宽形(指集成电路两排引脚排与排之间的距离为 15.24mm,而窄形的为其 1/2,即 7.62mm)。“4B”表示输入的是 4 位 2 进制码,“16”表示有 16 根输出线。该器件输入线有 A、B、C、D、 G_1 、 G_2 共 6 根,其余除 U_{DD} 和 GND 外全部为输出线,输出线 $Y_0 \sim Y_{15}$ (注意不是引脚①~⑮) 共 16 根。当 $G_1 = G_2 = 0$ 时,对于 A、B、C、D 端所加的每一种编码,16 根输出线中只有 1 根输出低电平,其余输出高电平。若 G_1 、 G_2 中有一根以上为“1”,则器件无输出(此时 74LS154 输出端全为高,而对于 74LS159 输出端为开路状态),其译码表见表 2-3。4 位 2 进制码一共可编成 $2^4 = 16$ 组编码,见表 1-3 所示。例如对于 D_3 、 D_2 、 D_1 、 $D_0 = 1001$ 的编码,由表 1-3 知,它代表 16 进制数为“9”。若将 74LS154 的 D、C、B、A 设置成 1001,则在标有 Y_9 (引脚⑩) 的那个引脚输出为

低电平，其余输出线全部为“1”。同理若 $D_3、D_2、D_1、D_0=1100$ ，由表 1-3 知，它所代表的 16 进制数为“C”。若将 74LS145 的 D、C、B、A 设置成 1100，则只有标有 Y_{12} 的（引脚⑭）那根引脚输出为低电平，其余输出线全为“1”。

(2) 实验电路原理

现在，我们可以在前面双音多频信令发生与接收实验的基础上，接上 74LS154 进行二次译码的实验。实验电路如图 2-12 示，将原来电路中 MC145436 的输出端 $D_3、D_2、D_1、D_0$ 连接至 74LS154 的 D、C、B、A 端，74LS154 的

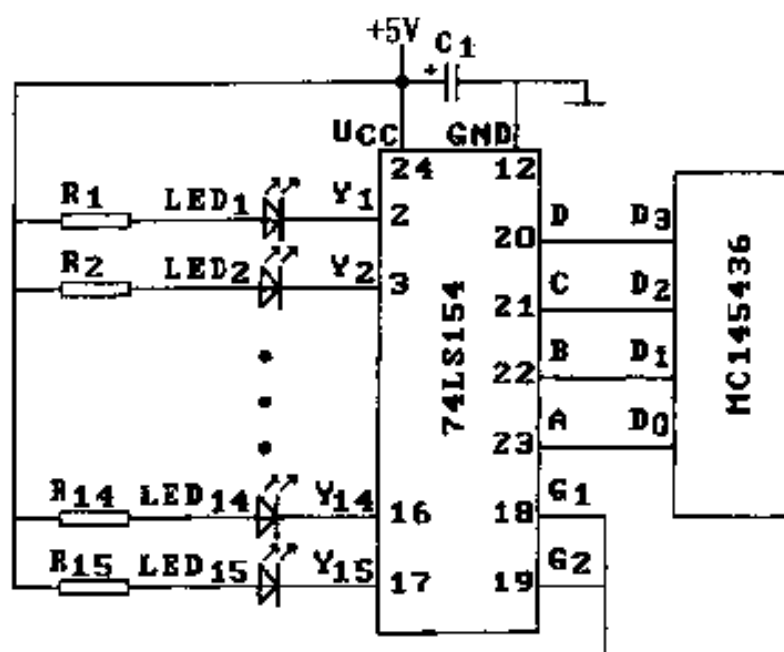


图 2-12 以 74LS154 为二次译码的实验

$G_1、G_2$ 接地，表明允许器件译码输出。输出线 $Y_1 \sim Y_{15}$ 各接 1 个 LED 指示灯的阴极，而各 LED 的阳极分别通过 1 个限流电阻接到电源正极。当某一根输出线为“0”（低电平）时，对应相连的那个 LED 灯就点亮。因此 LED 灯的点亮情况能指示 74LS154 的输出情况。LED₁~LED₁₅ 取 $\varnothing 3\text{mm}$ 红色或绿色发光二极管，限流电阻 $R_1 \sim R_{15}$ 取 $470 \sim 510\Omega$ ， $1/4 \sim 1/8\text{W}$ 。

表 2-3 74LS154/159 译码表

输 入					输 出																	
G_1	G_2	D	C	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	X	X	X	X																	
1	0	X	X	X	X																	
1	1	X	X	X	X																	

全部为 1

注：“X”表示可取“1”或“0”任意值。

(3) 实验电路板

图 2-13(a)、(b)是关于 74LS154 的译码实验印刷电路板 1:1 透视图,按照图制作印刷电路板。

(4) 安装

图 2-13 电路板不含有 MC145436 电路,它必须与图 2-11 电路板连接,图 2-13 电路板的 +5V 电源取自图 2-11 电路板三端稳压器 78L05 的输出,总体电路的供电为 +12V。图 2-13 电路板的

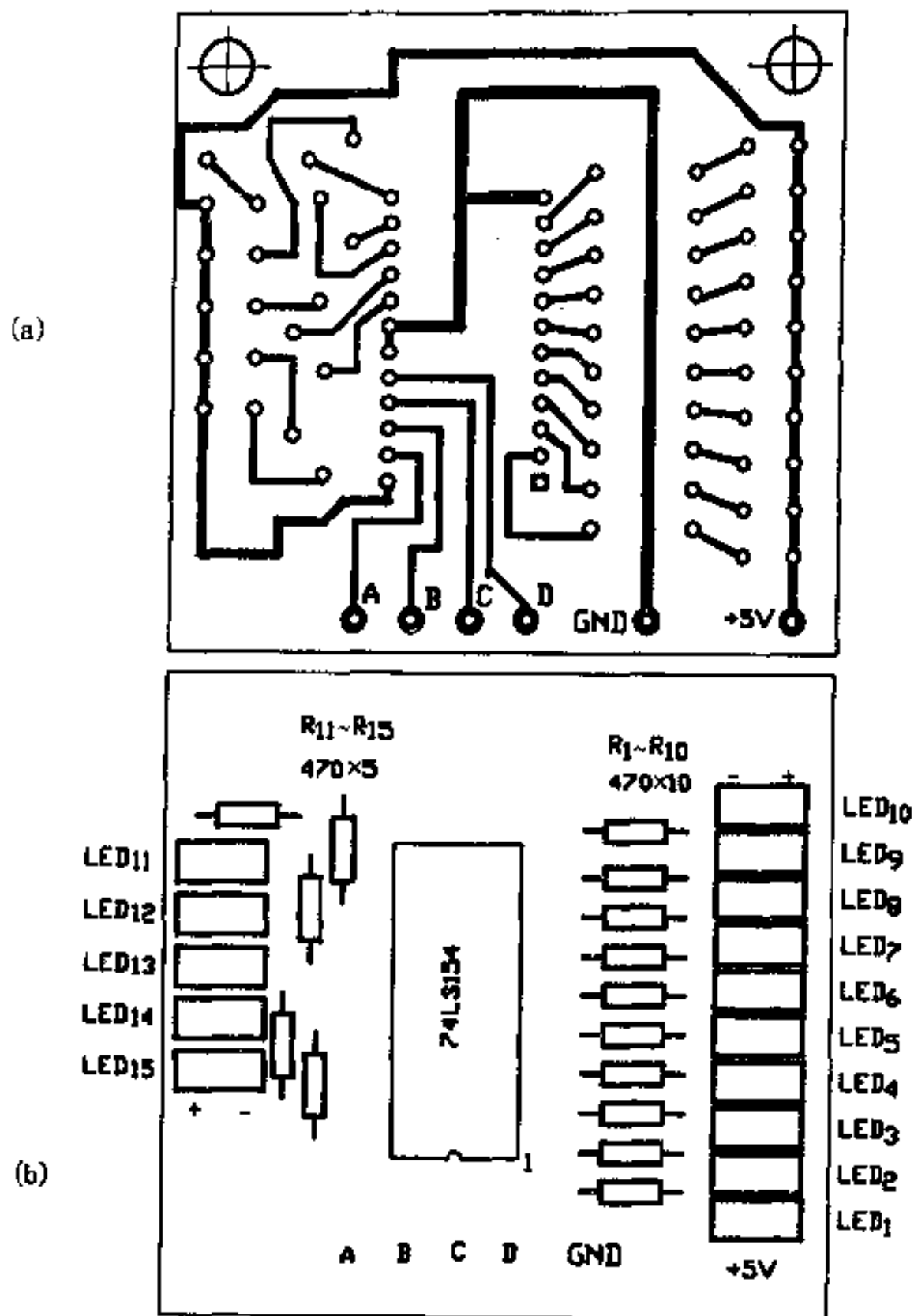


图 2-13 74LS154 译码实验印刷电路板

74LS154 输入 A、B、C、D 引线、+5V 输入及地线，与图 2-11 印刷板上 MC145436 的输出 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 引线、-5V 输出及地线，在位置排列上已互相对应，因此只要将两块印刷板靠在一起，

将 A、B、C、D 与 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 用跳线一一对应连接，两边标有 +5V、GND 的接点用跳线一一对应连接，即完成了两个电路的互联。当然也可以在制作印刷板时就把两部分制作在同一块板上，如图 2-14 (a)、(b) 所示。

(5) 调试方法与步骤

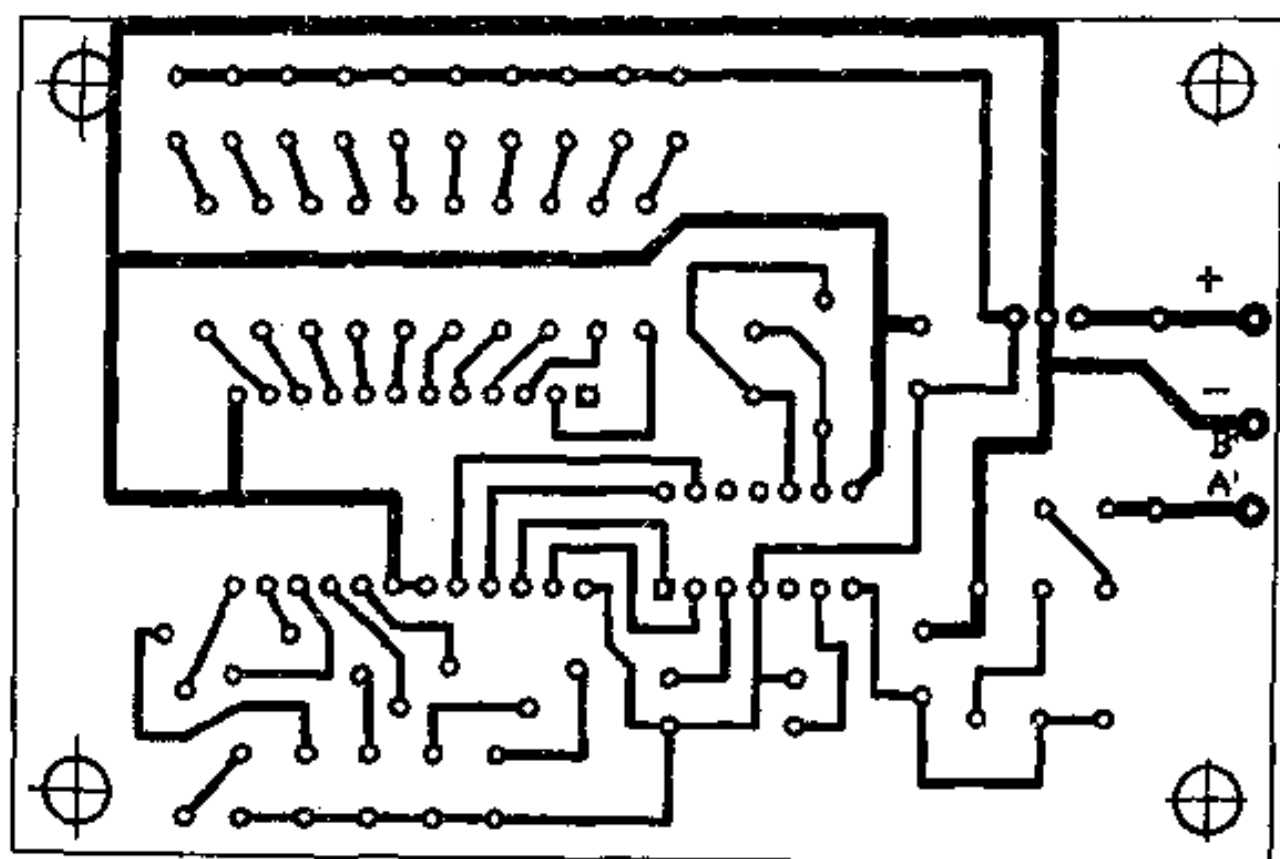
①在未插入 74LS154 的情况下，给实验电路加上电源，用万用表直接测量 24 脚 IC 插座，⑭、⑫脚之间电压应为 5V，②~⑪脚及⑬~⑰脚对地电压均约为 5V，其余引脚均为 0V（其中⑳~㉓脚对地电压约为 0V）。

②取 1 根硬导线，将其一端插入⑫脚（地），另一端分别接触②~⑪脚及⑬~⑰脚，每接触到一个脚，与该引脚对应连接的 LED 灯就会因其阴极被接地而点亮。

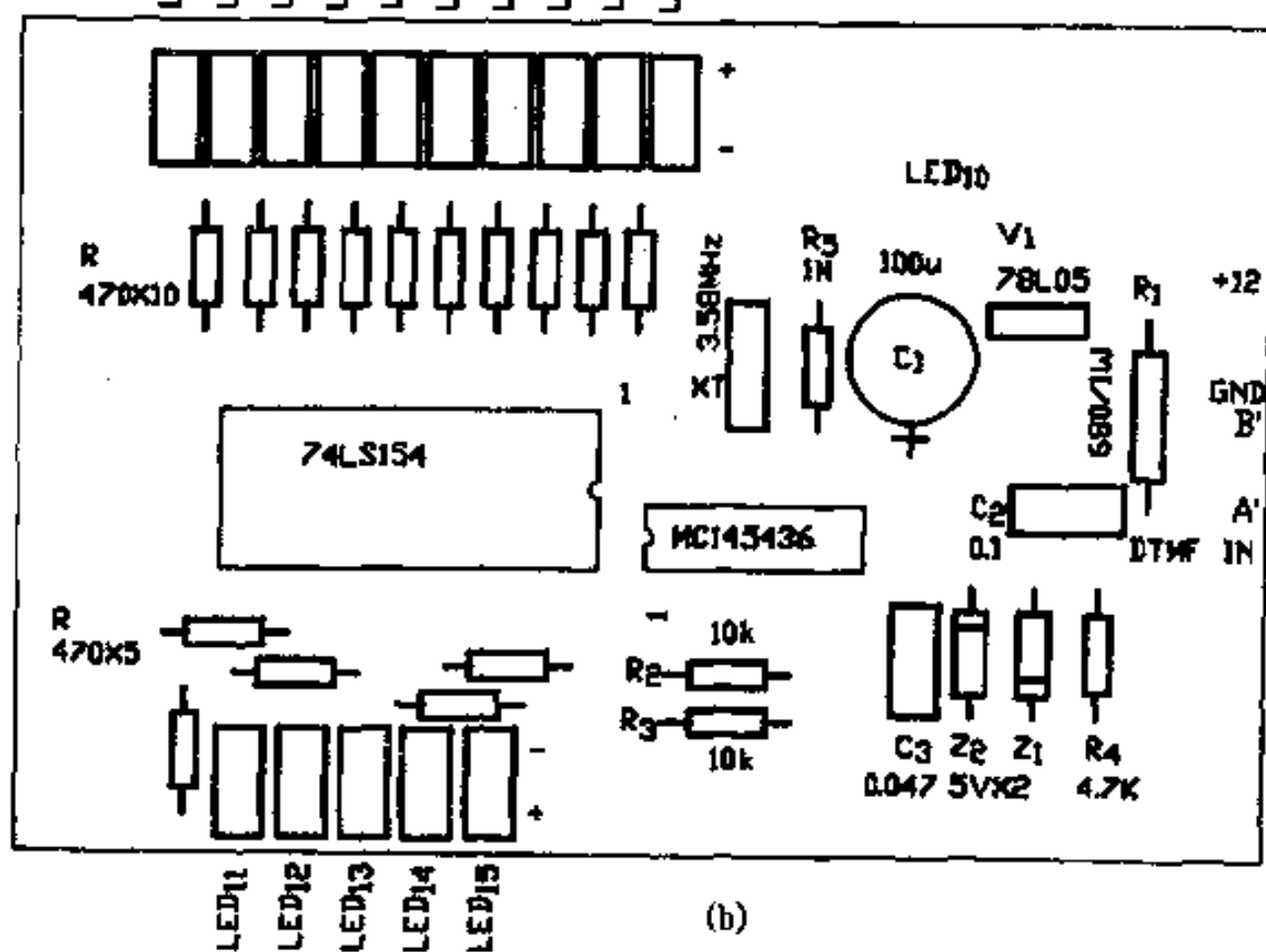
③断开电源，插上集成电路 74LS154，再接通电源，向图 2-10 电路的“信号输入端” A' 、 B' 送入双音多频信令。该信令可以用电话机产生，也可以用图 2-1 电路或图 2-4 的实验电路产生，具体连接及操作方法与实验一相同。值得重复强调的是，如果把图 2-11 或图 2-14 的 A' 、 B' 接到电话线上用电话机产生双音多频信令时，切记应把 R_1 焊开。

现在，按住键盘的按键“1”，图 2-12 电路中的 LED_1 就会点亮；按住按键“2”， LED_2 就会点亮……按住按键“0”， LED_{10} 点亮；按住按键“*”， LED_{11} 点亮；按住按键“#”， LED_{12} 点亮……按键与 LED 点亮的对应情况，读者可对照表 1-2 编码表及表 2-3 的译码表，并对照图 2-12 进行分析。

至此，我们已经初步掌握了双音多频信令的生成方法、识别方法、传输方法，并且进行了有关实验，有了感性认识，如果我们把图 2-11 及图 2-13（或者图 2-14 电路）构成的接收端设置在远离由图 2-1 或图 2-4 或电话机所构成的发送端（两端距离很远时



LED10 LED9 LED8 LED7 LED6 LED5 LED4 LED3 LED2 LED1 (a)



(b)

图 2-14 74LS154 与 MC145436 配合使用的印刷电路板

需提高线路馈电电压,也就是把 R_1 移接到一个较高的电压上,但 78L05 的输入电源仍只能取 +12V 以下,不能提高),就基本构成了一个远端控制系统,即遥控系统——一个以双音多频信号作为遥控命令的遥控系统。

现在我们知道了在该系统中需要某个 LED 灯点亮应该怎样发出遥控命令和发出什么样的遥控命令。举例来说,如果要使远端的 LED₁ 点亮,只要在发送端键盘上按住“1”这个按键即可。但是读者可能发现了问题,操作者松开按键后,LED 灯就随之熄灭了,如果要 LED 总亮着,是不是要求操作者一直按住按键呢?在实际应用系统中,当然不可以这样。因此诸如此类的问题还有许多,都还悬而未决,读者勿需心切,我们不指望一蹴而就,逐步深入的内容细节,将留待本章的后面部分逐步展开讨论。

(三) 双音多频译码器 MT8870

MT8870 是另一种常用的双音多频信号译码器,也是一种大规模 CMOS 集成电路,主要由滤波器、译码器和控制电路三部分组成,其内部逻辑框图如图 2-15 示,引脚排列见附录 5。外部输入的 DTMF 信号从 -IN 端进入运算放大器放大后,进入双音滤波器。双音滤波器是 2 个 6 级开关电容构成的高低通滤波器,它能有效地将 DTMF 信号中的高频群和低频群区分开来。被区分开的高、低频群,再经过各自的滤波器及整形电路后送入译码电路。译码电路由数字检测、编码转换和三态输出电路等几部分组成,数字检测电路采用对输入音频信号进行数字计数的方式以确定 DTMF 信号的频率并核查是否与标准的 DTMF 信号相一致,在此过程中,采用了一套复杂的算法,对 DTMF 信号的频率偏差提供一定的容差范围以提高对干扰频率和噪声的抗干扰能力。输入的 DTMF 信号被检测到后,经编码转换电路进行 8-4-2-1 编码后

送入锁存器锁存。当输出控制端 TOE 为高电平时,DTMF 信号所对应的 8-4-2-1 编码即出现在 $Q_3 \sim Q_0$ 端,MT8870 芯片内有一系列的控制电路,对接收器的工作进行控制与协调,控制电路对芯片进行如下的基本控制:

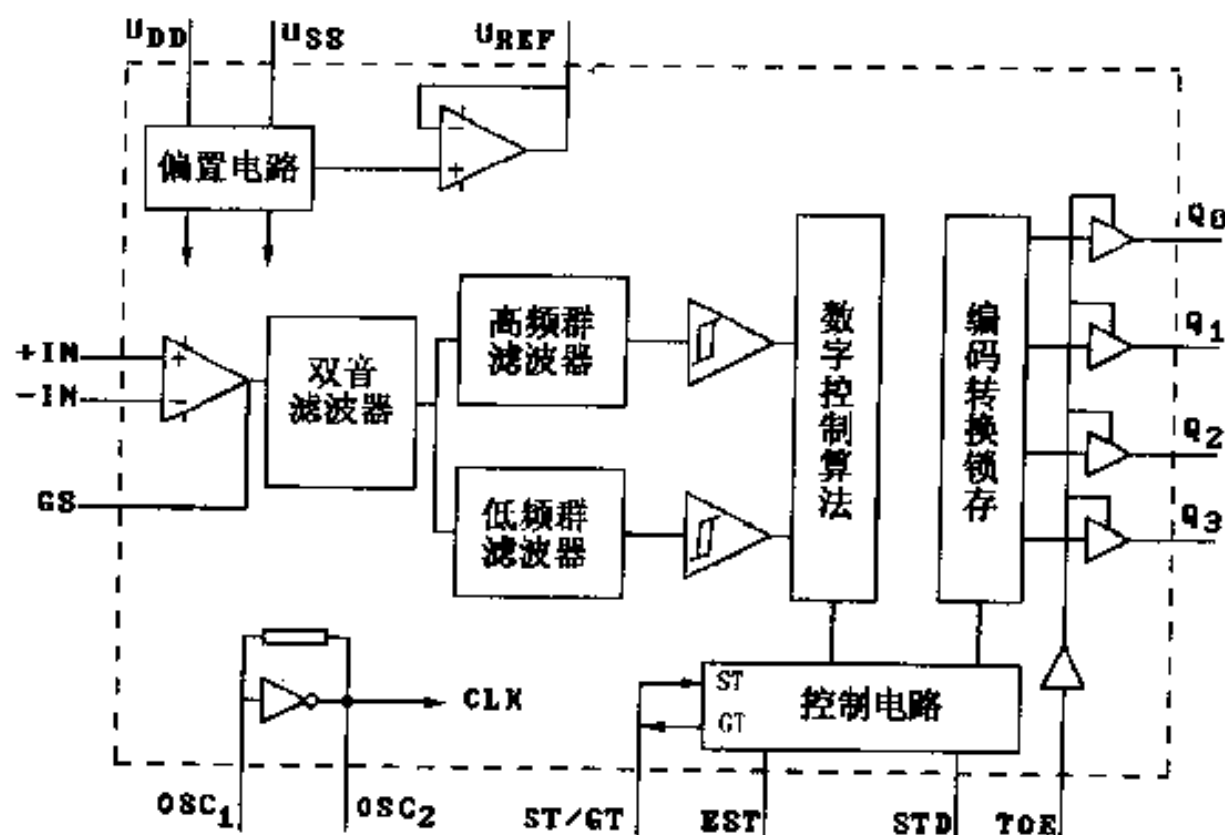


图 2-15 MT8870 内部逻辑框图

①输入的双音多频信号持续时间足够长（一般要求 $\geq 40\text{ms}$ ）时,接收器视为有效并实时地进行接收,否则不接收。

②在整个双音频信号持续期间,对于由于外部干扰等原因造成的瞬间间断,若双音频总持续时间足够长,接收器会排除这些干扰,仍视为有效进行接收。

③允许使用者根据本身需要设计芯片外部定时电路。

该芯片主要特点为:功耗低,当 $U_{DD}=5\text{V}$ 时, $I_{DD}=3\text{mA}$;采用外接 3.58MHz 晶振、外围元件少;音频接收持续时间典型值为 40ms ,间隔时间 40ms ;接收信号增益(放大倍数)可调;STD 端

输出信号指示 $Q_0 \sim Q_3$ 端数据已就绪，因而可作为中断申请（使用单片机时）或采样控制信号；输入阻抗高（约 $10M\Omega$ ）。

MT8870 的 DT-MF 信号输入端可以接成单端输入或双端输入，单端输入的基本应用电路如图 2-16 所示，输入的 DTMF 信号经过 C_1 、 R_1 输入到 $-IN$

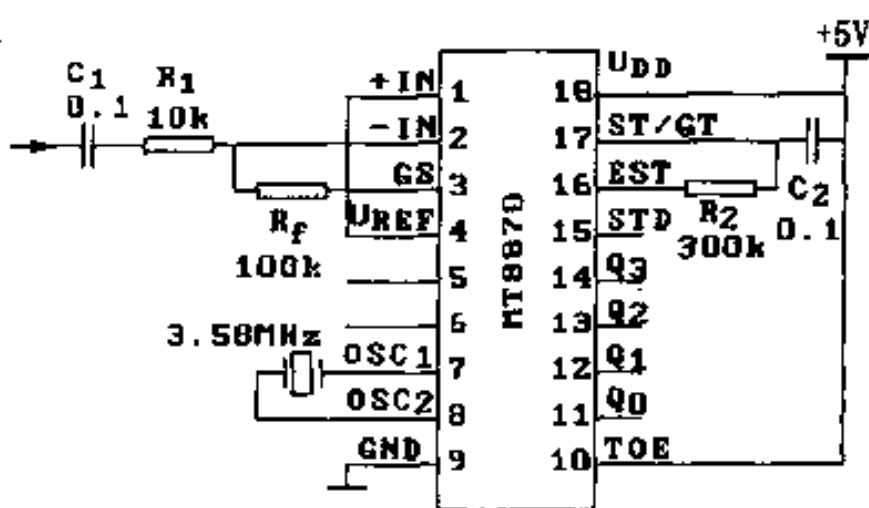


图 2-16 MT8870 典型接法

端。对照图 2-15 内部框图可知，该端是运算放大器的反相输入端，该放大器的增益取决于反馈电阻 R_f 与 R_1 之比。放大器的同相输入端 $+IN$ 与 U_{REF} 端相连，由 U_{REF} 提供 $U_{DD}/2$ 的参考电压作为偏置电压。 C_2 和 R_2 组成外部定时电路以确定芯片对输入信号的反应时间。TOE 端接 U_{DD} ，表示数据可以输出到 $Q_3 \sim Q_0$ 端。STD 端在芯片收到 DTMF 信号并经识别后，在 $Q_0 \sim Q_3$ 送出 2 进制码的时候变为高电平，因此该端信号可以作为“输出就绪”的指示信息。

采用双端输入时的电路如图 2-17 示。 $C_1 = C_2 = 0.01\mu F$ ， $R_1 = R_4 = 10k\Omega$ ， $R_f = 100k\Omega$ ， $R_2 = 60k\Omega$ ， $R_3 \approx R_2 \times R_f \div (R_2 + R_f) = 37.5k\Omega$ 。

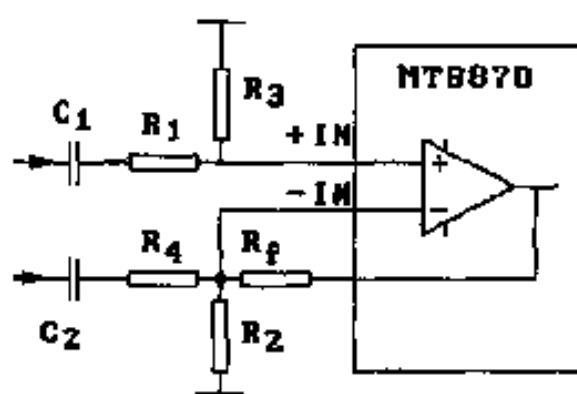


图 2-17 MT8870 双端输入接法

三、音频遥控电路分析与实验

通过前面两节的学习和单元实验，我们已掌握可以用什么样的器件来生成双音多频信令，以及用什么样的器件来实现对双音多频信令的译码。但那些单元实验与实用电路仍有一段距离，例如在对于图 2-11 的实验中曾经提出的问题：要使二次译码电路 74LS154 输出端所连接的指示灯保持点亮，是否要求 DTMF 发送端的按键一直按住？现在我们就来解决这个问题。

（一）音频遥控电路

1. 芯片介绍

（1）BCD→10 译码器 74LS42 简介

74LS42 芯片的引脚图见附录 5，其输入端为 A、B、C、D，输入的信息是一组 2-10 进制码，称为 BCD 码。我们已经知道，A、B、C、D 4 位 2 进制码可以组成 $2^4 = 16$ 种状态，但芯片只取其中的前 10 种状态（0~9）为有效。对应于其中的每一种状态，有 1 根输出线输出低电平，因此芯片共有 10 根输出线 $Y_0 \sim Y_9$ （不是引脚序号），故而记作“BCD→10”。该芯片的译码表见表 2-4，由表可知，输入端 A、B、C、D 的后 6 种状态，器件视之为无效，因而没有输出。

（2）D 触发器 74LS74 简介

D 触发器用图 2-18 所示的逻辑符号来表示，其内部包含了若干个与非门电路，但在画电原理图时为了简捷明了，使用规定符号来表示。该 D 触发器具有如下的逻辑功能：

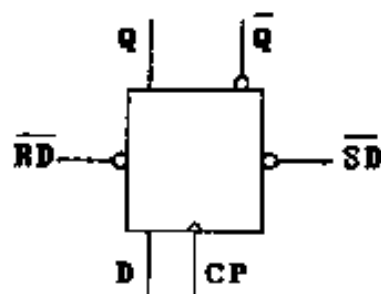


图 2-18 D 触发器逻辑符号

表 2-4 74LS42 译码表

输 入				输 出									
D	C	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	0	1	0										
1	0	1	1										
1	1	0	0										
1	1	0	1										
1	1	1	0										
1	1	1	1										

全部为 1, 不使用

①当 $\overline{RD}=1$ 且 $\overline{SD}=1$ (包括悬空) 时, 在 CP 端作用一个触发脉冲。在该脉冲的上跳沿作用后, 输出端 Q 的状态如何, 与 D 端的情况有关。如果 $D=1$, 在 CP 端触发后 $Q=1$; 如果 $D=0$, 在 CP 端触发后 $Q=0$ 。通常用表达式 $Q_{n+1}=D_n$ 来表示它的这种逻辑关系。其中下标 “n+1” 表示在 CP 端加触发后的状态, 称 “次态”, 下标 “n” 则是表示未在 CP 端加触发时的状态, 称 “现态”。

②若 $\overline{SD}=1$ ，在 \overline{RD} 端加一个负脉冲或低电平，则 $Q=0$ ，称“置 0”或“复位”，而与 D 及 CP 端状态无关，所以 \overline{RD} 端称为直接置“0”端。

③若 $\overline{RD}=1$ ，在 \overline{SD} 端加一个负脉冲或低电平，则 $Q=1$ ，称“置 1”或“置位”，而与 D 及 CP 端状态无关，所以 \overline{SD} 端称为直接置“1”端， \overline{RD} 与 \overline{SD} 两端不能同时加负脉冲或低电平。

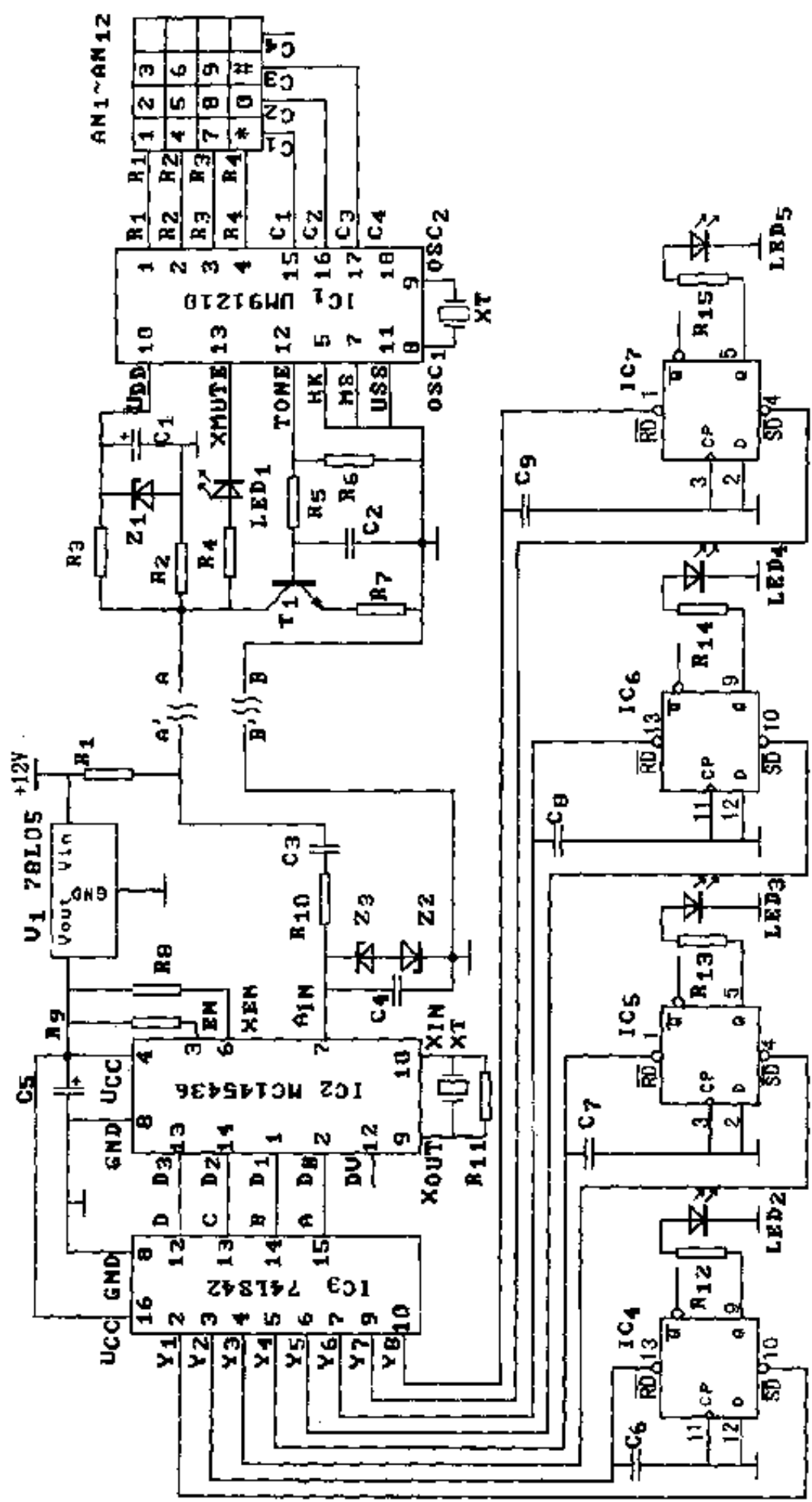
集成芯片 74LS74 内有两个相同的、互相独立的 D 触发器，附录 5 中的引脚图中在各引脚符号的前面加“1”和“2”以示区分。

UM91210 和 MC145436 集成芯片前面已作过介绍，这里不再复述。

2. 电路分析

电路原理图示于图 2-19，双音多频信令的生成发送以及接收译码，仍使用图 2-4 和图 2-10 的方法，但二次译码使用 74LS42，状态锁存使用 2 片双 D 触发器 74LS74，控制对象是 1 组 LED 灯。

MC145436 对双音多频信号译码后从 $D_0 \sim D_3$ 输出的 4 位 2 进制码分别送入 2 次译码器 74LS42 的 A、B、C、D 端进行译码，对应于输入的每一组 2 进制码，它都有且只有 1 根输出线为低电平，因而可对 D 触发器分别置“1”或置“0”。例如，当发送端在键盘上按下“1”这个按键时，UM91210 产生的双音多频信令从 TONE 端输出，通过三极管 T_1 送往传送线路。接收端 MC145436 收到该信令，对双音频信号进行识别后输出 $D_3、D_2、D_1、D_0=0001$ （参见表 1-2），亦即 2 次译码器 74LS42 的 D、C、B、A=0001。由表 2-4 译码表知，此时 74LS42 的“ Y_1 ”这根线（引脚②）输出低电平，其余输出均为高电平，所以 D 触发器 IC4 的 $\overline{RD}=1$ ， $\overline{SD}=0$ 。由前面介绍的 D 触发器逻辑特性知，该 D 触发器被置“1”，即 $Q=1$ ，也就是 Q 端输出为高电平，因而点亮了 LED_2 。现在发送端松开按键，停止发送双音频信令，MC145436 无输入， $D_3、D_2、$



IC6、IC7：74LS74

IC4、IC6：74LS74

图 2-19 DTMF 遥控实验

$D_1、D_0=0000$ 。由译码表 2-4 知，74LS42 的“ Y_0 ”线（引脚①）输出为低，其余均为高，则触发器 IC_4 的 $\overline{SD}=1$ 且 $\overline{RD}=1$ ，而其 CP 端接地不受触发，因此 $Q=1$ 的状态得以保持（称为锁存），解决了前面提出的关于“按键是否需要总按住”的问题。同理，如果要使该 LED_2 熄灭，只要发送端按一下按键“2”，则 74LS42 的输出线“ Y_2 ”（引脚③）输出低电平，其余为高电平，因此触发器 IC_4 的 $\overline{SD}=1$ ， $\overline{RD}=0$ ，使触发器置“0”，即 $Q=0$ ， LED_2 熄灭。概括地说，对于指示灯 LED_2 ，用按键“1”可以控制其亮，而用按键“2”可以控制其灭；对于 LED_3 ，用按键“3”控制其亮，用按键“4”控制其灭；对于 LED_4 ，用按键“5”控制其亮，用按键“6”控制其灭；对于 LED_5 ，用按键“7”控制其亮，用按键“8”控制其灭。其余按键未使用。即奇数按键“1、3、5、7”分别控制 LED_2 、 LED_3 、 LED_4 、 LED_5 的点亮，偶数按键“2、4、6、8”分别控制它们的熄灭，每个指示灯均可独立控制亮与灭。为清晰起见，我们将这一控制关系列于表 2-5 中。

表 2-5 图 2-19 遥控电路的控制关系表

LED 或其他	控制按键												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	#	0	*	
LED_2	亮	灭	×	×	×	×	×	×	×	×	未	使	用
LED_3	×	×	亮	灭	×	×	×	×	×	×	未	使	用
LED_4	×	×	×	×	亮	灭	×	×	×	×	未	使	用
LED_5	×	×	×	×	×	×	亮	灭	×	×	未	使	用

现在，如果我们用 4 套继电器及其驱动电路取代 4 个指示灯 LED，那么继电器的吸合或释放即可由发送端的按键来控制，从而构成可供实际使用的 4 路遥控装置。继电器及驱动电路接法如

图 2-20 示, $1k\Omega$ 电阻为限流电阻, 与继电器线包并联的二极管是用来消除线圈在断电时所产生的自感电势, 以防三极管 U_{CE} 超过其额定值而被击穿。其原理如下: 继电器线包回路可画成图 2-21 形式, 当三极管导通时, 电源 U_{CC} 向线包提供的电流 I_C 流向如图中所标。这时二极管 D 受反偏截止, 不起作用。当三极管由导通

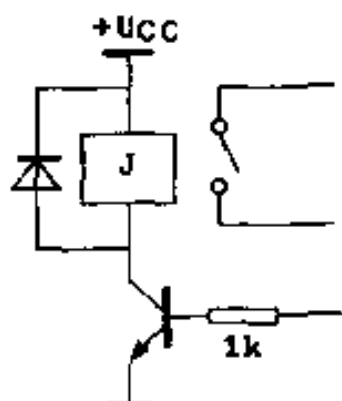


图 2-20 继电器接法

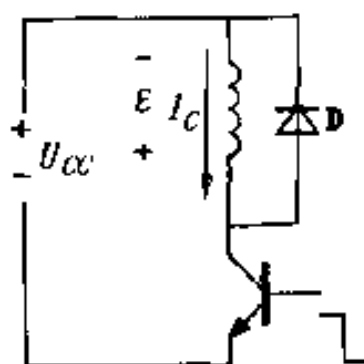


图 2-21 消除自感电势影响的原理

变为截止的瞬间, I_C 企图从原来的值在短时间内变为零, 由电感特性知, 这是不可能的, 电感中电流的变化引起了自感电势 ϵ , ϵ 的方向是要力图维持原来电流——该图中由上而下流向的电流, 因而 ϵ 的极性应该是下正上负, 如图中标注 (注意这时 ϵ 可以看做是一个电源, 在电源内部电流的方向是由负极流向正极的)。如果没有 D 的存在, 此时由图可知, 加在三极管 CE 极间的电压 $U_{CE} = U_{CC} + \epsilon$; 但如果接入二极管 D, 自感电势 ϵ 使 D 受正向偏置而导通, D 两端电压 (即线包两端电压) 此时只有约 $0.7V$, 因而 $U_{CE} = U_{CC} + 0.7$, 自感电势 ϵ 不再使 U_{CE} 有大的升高。

各 D 触发器的 \overline{RD} 端必须接一个 $4.7 \sim 22\mu F$ 左右的电容到地, 电容有一个重要特性——“其两端电压不能突变”, 因此刚上电瞬间能保证 \overline{RD} 端为 “0”, 而 \overline{SD} 端为 “1”, 所以 D 触发器处于 “0” 态, 即 $Q = 0$, 因而各继电器不动作。稍后, 电容充电, $\overline{RD} =$

“1”，D 触发器进入守候状态。

3. 制作与实验

(1) 主要元件选取

继电器采用 DC 12V、一对触点的小型继电器。三端稳压集成电路 7805 的外形及引脚如图 2-22 示，带有圆孔的金属底板是作为散热用的，当使用电流较大时（0.3~1A）应外加散热片，散热片面积大小视供出电流以及 1、3 两端间的管压降而定，根据经验，以手能够长时间握住散热片为限，该器件长时间使用宜在 0.8A 以下较好。电阻 R_1 和 R_2 的功率须在 1/2W 以上；LED 指示灯全部使用 $\varnothing 3\text{mm}$ 红色或绿色小型指示灯；阻容等元件的取值如下（也可参考图 2-4、图 2-10 的标注）：

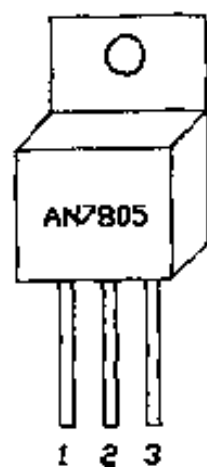


图 2-22 78XX 系列三

端稳压器外形及引脚

XT——3.58MHz 晶振；

Z_1 、 Z_2 、 Z_3 ——5V 稳压管；

V_1 ——三端稳压器 7805；

T_1 ——C9013。

(2) 实验印刷电路板

双音多频信令生成和发送使用图 2-5 的印刷电路板，若已在前面做过实验，现可继续使用。接收端的实验电路板如图 2-23 (a)、(b) 示，其为 1:1 焊接层透视图。该电路板只设计安装 4 个 LED 指示灯供遥控实验用，但另设计有安装 4 个继电器及其驱动电路的印刷板——图 2-24 (a)、(b)（电路如图 2-20）。它的宽度设计成与图 2-23 一样，不用继电器时则在标有 LED 的位置上装上 LED 指示灯实验。若需要用继电器实验，只要将两块印刷板对齐拼在一起，用跳线将图 2-24 中各三极管基极分别接到图 2-23

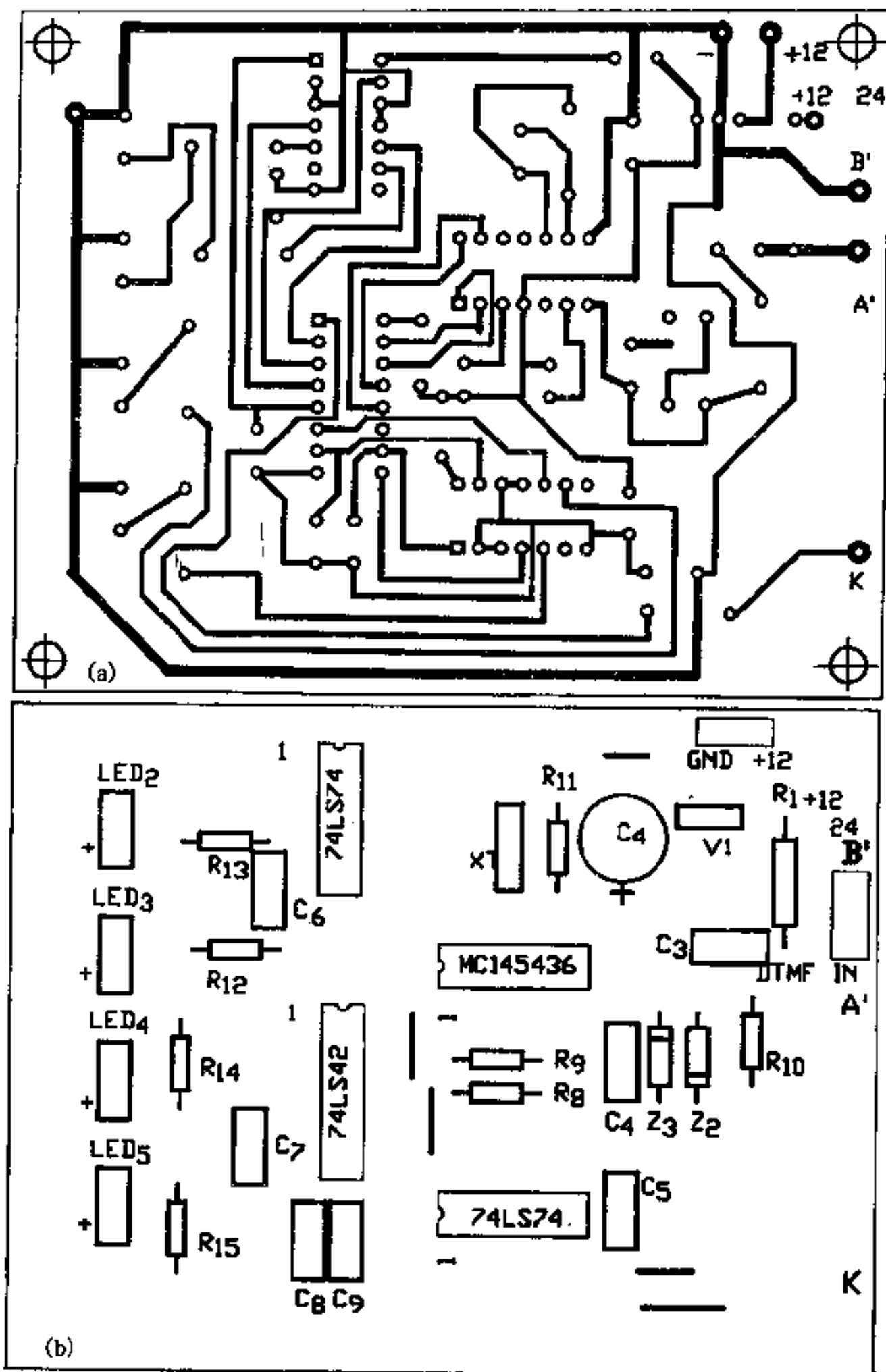


图 2-23 DTMF 遥控实验接收装置印刷电路板

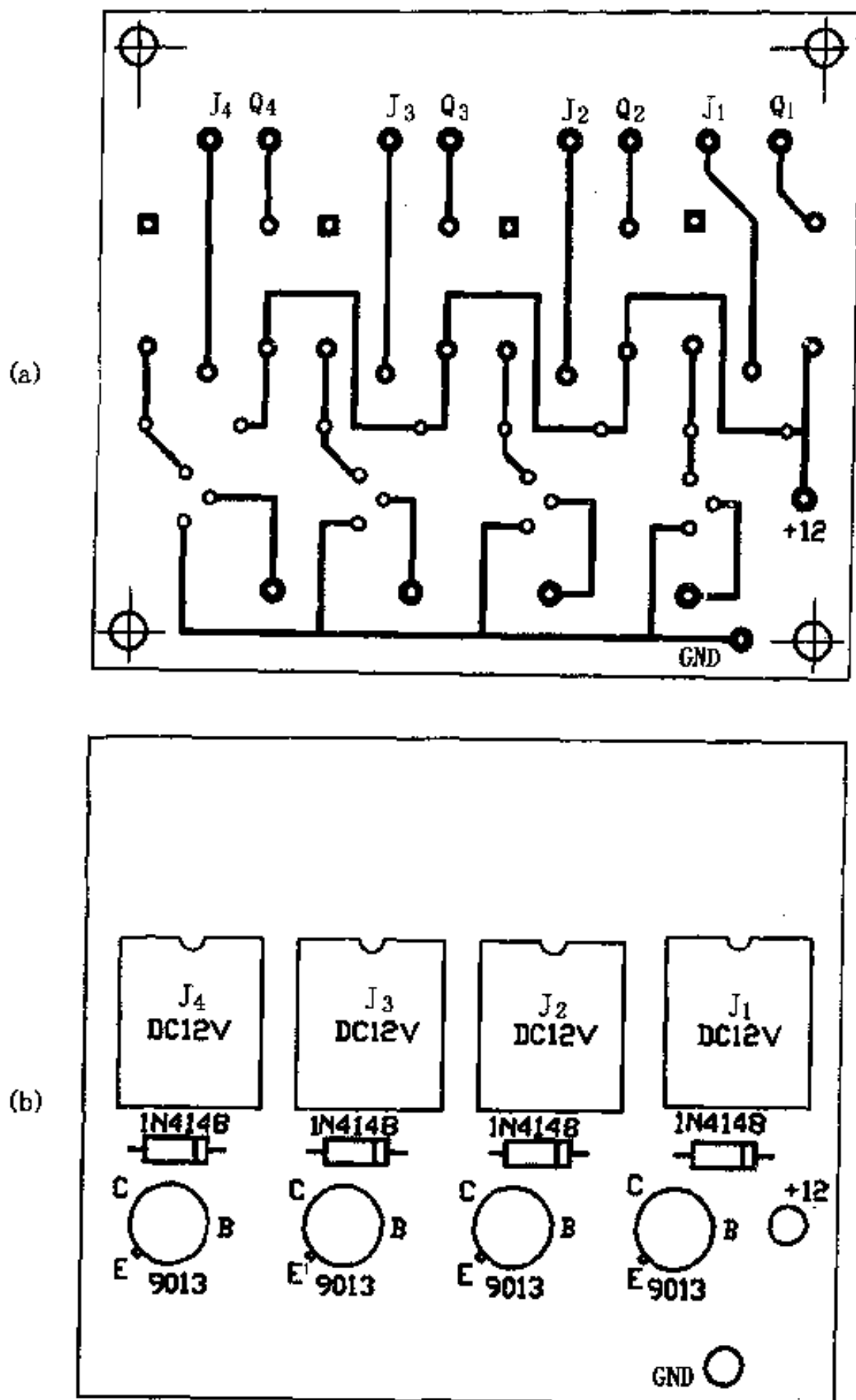


图 2-24 继电器及其驱动印刷电路板

中原来各 LED 指示灯的正极接点上(各连接点的位置已相应一一 对齐),并将两块电路板的 +12V 和地线分别对应相连即可,注意 LED 不能接上。图中标有“K”的引线端连到了 74LS42 的 Y_0 端,是为后面的实验所预留的,本实验暂未用到。

(3) 安装焊接

安装焊接时应注意以下几点:

① 集成电路插座方向应识别清楚。

② LED 指示灯过分受热易损坏,如果引脚剪得较短,由于其引脚根部较粗,极易导热,很容易损坏内部管心,所以焊接务必迅速。

③ 焊接继电器时也存在同样问题,小型继电器固定引脚的底座一般均为塑料所制,其引脚较粗而且直接与常开、常闭触点制成一体,若焊接时间较长,极易使其与塑料底座松脱,造成触点机械位置移位,以至使触点不能正常接触或断开。另外,有些继电器因搁置时间长了,引脚已发生氧化不能吃锡,必须先用小刀或小锉刀刮净吃锡后再安装到电路板上焊接,这样才能保证焊接质量,否则容易产生虚焊现象。

(4) 调试实验

为便于发现问题以及发生问题的部位,对于一个系统电路,一般需先分割调试,最后才联合总调。本实验电路中双音多频信令生成及发送部分在前面的实验中已调试成功,现在主要调试新安装部分——接收、译码、执行电路等,步骤如下:

① 先不要插上集成芯片,经认真外观检查,确认没有错焊、虚焊,三极管脚没弄错,稳压管二极管极性正确。

② 接通电路板 +12V 工作电源,使用万用表直接测量,MC145436 插座的④脚和⑧脚之间电压应为 5V,③脚对地、⑥脚对地电压均为 +5V,其余各脚对地电压均为 0V; 74LS42 插座⑩

脚与⑧脚之间的电压为 5V，其余各脚对地电压均为 0V。

③检查驱动电路及继电器。取一根硬导线，其一端插入 74LS74 插座的⑭脚（即接 U_{CC} ），另一端接触⑤脚，这样就给⑤脚所连接的那个驱动三极管基极注入了一个足够的偏置电流（若仅使用 LED 灯实验，那么这时 LED₂ 被点亮），使三极管饱和。测量该三极管的集电极对地电压，应有 $U_{CE} \approx 0.3V$ ，同时应听到继电器吸合的响声。每接触一下⑤脚，就会听到轻微“啪”的一声响，如果测量得 $U_{CE} > 0.3V$ ，表明三极管没有完全饱和，即使继电器会动作，但由于三极管功耗增加会使其发热增加，有可能会损坏三极管。遇到这种现象，应适当减少三极管基极的限流电阻或更换放大倍数大的三极管。用同样的方法检查其余各继电器及其驱动电路。

④检验状态锁存 D 触发器的状态。先断开电源，插上 D 触发器 74LS74，接通电源，各继电器均应处于释放状态。反复通电、断电（断电和通电的时间间隔至少在 2s 以上），继电器均应处于释放状态，如果有某继电器吸合，则应加大对应那个 D 触发器 \overline{RD} 端所接的电容器。再取一根硬导线，其一端接地，另一端碰触 74LS42 的输出线“Y₁”（引脚②），也就是 D 触发器 IC₄ 的 \overline{SD} 端，继电器 J₁ 应吸合，若没有使用继电器则观察 LED₂ 是否点亮；再碰触输出线“Y₂”（引脚③），也就是 D 触发器 IC₄ 的 \overline{RD} 端，J₁ 应释放（或 LED₂ 灭）。用同样方法检查触发器 IC₅、IC₆、IC₇ 是否能分别控制继电器 J₂、J₃、J₄ 的吸合和释放（或者 LED₃、LED₄、LED₅）。

⑤检验二次译码器 74LS42。先断电，插上集成芯片 74LS42，再通电。检验的基本方法是在 74LS42 的输入端 A、B、C、D 作人为设置，观察输出端情况是否符合表 2-4 所示的译码表。例如，人为设置 D、C、B、A 为 0001，此时输出线“Y₁”应该为低电平，D 触发器 IC₄ 应被置“1”，观察继电器 J₁ 有无吸合（可凭借吸合

时发出的声响来判断) 或 LED₂ 是否点亮; 再人为设置 D、C、B、A 为 0010, 此时输出线 “Y₂” 应该为低电平, D 触发器 IC₄ 应被置 “0”, 再观察继电器 J₁ 有无释放或 LED₂ 是否熄灭。同理根据表 2-4 的译码表设置 A、B、C、D 的其他状态并检查各对应输出端的情况。

为了方便检查, 有必要先制作一个简单的工具, 其电路图如图 2-25 (a) 示, 用 4 个单刀双掷小型拨动开关, 按图连接。当开关拨在 “1” 位置时, 该开关的刀所引出的线 D_i (i=0、1、2、3) 为 “1”; 拨在 “0” 位置时, 则 D_i=0。制作好以后的外形如图 2-25 (b) 示。拨动开关拨于不同位置时, 可以设置 4 根引线 D₃、D₂、D₁、D₀ 为不同的状态, 这 4 根引出线使用硬导线, 将它们分别对应地插入 74LS42 插座的⑫~⑮脚 (即 74LS42 的输入端 D、C、B、A), 这样就可以方便地人为给 74LS42 输入任何一组 2 进制码了。

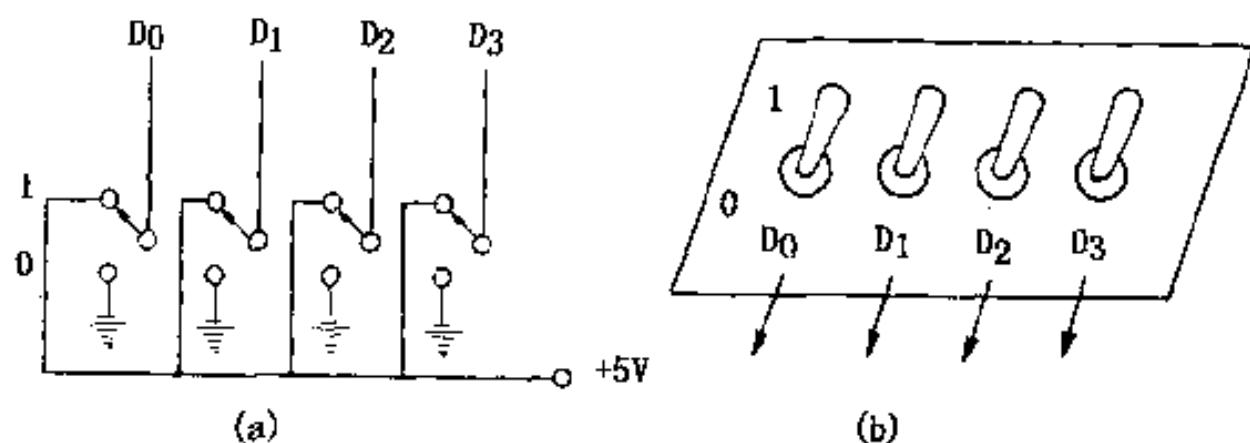


图 2-25 人工设置 8421 码的电路

⑥联合调试。经过以上各步骤的逐级调试, 可认为各部分性能基本满足要求, 现在可以将图 2-23 所示的电路板和图 2-5 所示的电路板连接起来组成图 2-19 所示的电路进行总体调试了。连接的方法是将两块电路板标有 A'、B' 的接线头与标有 A、B 的接线头分别对应连接 (参见图 2-19 原理图), 连线可取长些, 使收发两端距离较远, 以形象远端控制作用。接通电源 (图 2-23 的电路板

标有“+12”及“+12~24”的两个接点用跳线连起来),用键盘来控制继电器的吸合与释放:按键“1”和“2”分别控制继电器 J_1 的吸和放;按键“3”和“4”分别控制 J_2 的吸和放;按键“5”和“6”分别控制 J_3 的吸和放;按键“7”和“8”分别控制 J_4 的吸和放。在这个步骤中,必须用万用表测量继电器常开触点在吸合时是否接通,在印刷板图 2-24 (a) 上,标有 J 的那个焊点是继电器的动触点,标有“a”的那个焊点是常开触点。

(二) 反馈信息的检测

1. 电路原理分析

在远端控制实际应用中,遥控命令发送端与接收端之间有一段距离,接收端在确认遥控命令后需回送一个反馈信息通知操作者。本实验使用“反极法”,具体电路如图 2-26 示。它与图 1-16 电路基本相同,稍有不同的是,图 1-16 中的非门电路现在用三极管

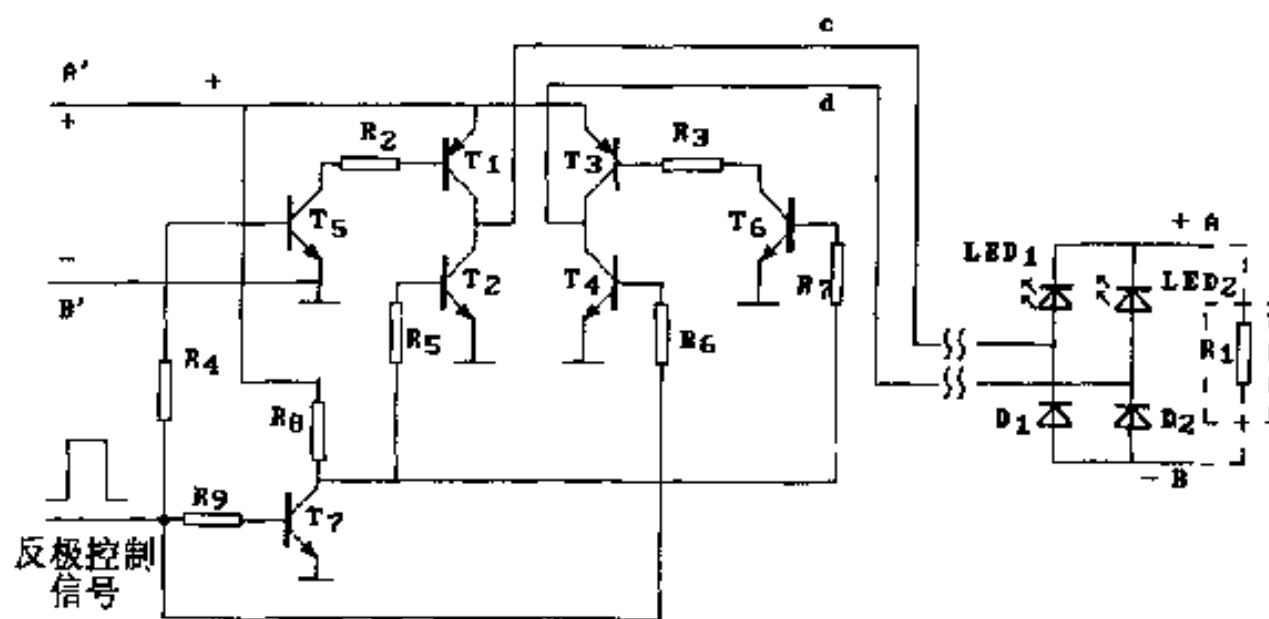


图 2-26 信息反馈检测实验电路

管 T_7 构成。反馈信息检测使用 2 个 LED 指示灯,它们同时又作为“极性校正”电路中的一个成员,工作过程简述如下:“反极控制”信号取自 74LS42 的输出线“ Y_0 ”(引脚①),没有收到遥控命

令时, 该端输出为“0”(见译码表 2-4), T_5 、 T_1 、 T_4 均截止, T_7 也截止使其集电极电位为高, 因而 T_2 、 T_6 、 T_3 导通, 线路 c、d 两线上的电压极性为 c 负 d 正, 极性校正桥路的 D_1 和 LED_2 导通而 D_2 、 LED_1 截止, LED_2 点亮。当接收端收到双音多频遥控命令并译码后, 74LS42 输出线“ Y_0 ”为高, 于是 T_5 、 T_1 、 T_4 导通, T_7 也导通使其集电极电位为低, 因而 T_2 、 T_6 、 T_3 截止, 线路 c、d 两线上的电压极性为 c 正 d 负, 因而 LED_1 及 D_2 导通, D_1 、 LED_2 截止, LED_1 点亮。从 LED_1 和 LED_2 轮流点亮的情况, 操作者便可了解接收端是否译码成功, 但这个电路还不能识别译码器 74LS42 输出端以后的各个电路有没有正确动作。如需最终地识别受控对象是否确实动作, 则需设法由受控对象直接提供“反极控制”信号, 有关“反极电路”的工作详情请参见第一章“遥控对象信息反馈与检测”一节。

2. 制作与实验

(1) 印刷电路板

反极电路的印刷电路板图示于图 2-27 (a)、(b), 亦为 1:1 透视图。

(2) 元件选取

LED 选用 $\varnothing 5\text{mm}$ 红色或绿色发光二极管, 允许流过 40mA 以上的电流; D_1 、 D_2 也应该能承受 40mA 以上的电流; T_1 、 T_3 选用 I_{CEO} 小, $BU_{\text{CEO}} > 50\text{V}$ 的 PNP 管, 例如可选用 5401 等; T_2 、 T_4 、 T_5 、 T_6 均应按同样原则选取 NPN 型管子, 例如可选 5551 等; 对 T_7 没有特别要求, 任选 NPN 型管即可, 如 9014 或 9013 等常用管; $R_2 = R_3 = 10\text{k}\Omega$, $R_4 \sim R_9 = 2\text{k}\Omega$ 。

(3) 调试实验

①取一个 12~24V 的直流电源, 将电路板标有 A' 的接点串上一个 680Ω 的电阻后接到电源正极 (不串电阻也可以), B' 接向电

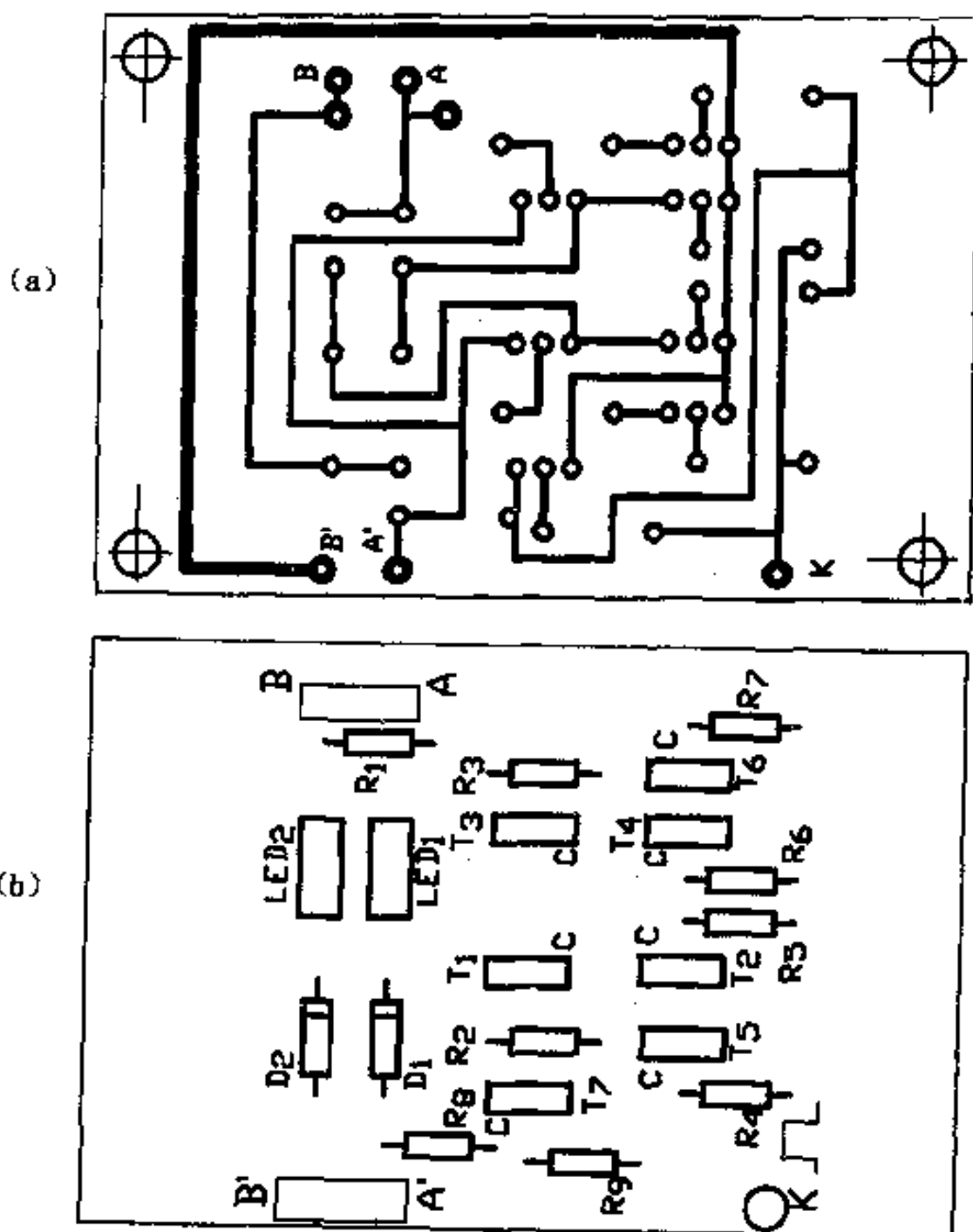


图 2-27 信息反馈检测实验印刷电路板

源负极，A、B 间接一个 $1 \sim 2\text{k}\Omega$ 的电阻作为假负载（电路板上已设计有焊接该电阻的位置，电阻标号为 R_1 ），反极控制端 K 接地。这时应看到 LED_2 点亮， LED_1 灭。用万用表测量检查， T_5 集电极电位应与 T_1 发射极电位约等； T_1 集电极电位约等于 0V ； T_6 集电极电位约等于 0V ； T_3 集电极电位约等于其发射极电位； T_7 集电极电位略大于 A' 点电位的 $1/2$ 。

②将反极控制端 K 接向 +5V 电源, 则 LED₁ 点亮, LED₂ 灭。用万用表测量, T₂ 集电极电位约等于 0V; T₅ 集电极电位约等于 0V; T₁ 集电极电位约等于其发射极电位; T₆ 集电极电位约等于 T₃ 射极电位; T₇ 集电极电位约等于 0V。

上面各步骤检查通过后, 可认为反极电路工作正常, 现在将图 2-19 的实验电路 (电路板为图 2-23) 中 A 与 A' 的连线断开, B 与 B' 的连线断开, 再将图 2-26 的电路 (电路板图为 2-27) 标有 A、B、A'、B' 的 4 个接点分别与刚才断开处的 A、B、A'、B' 一一对应相连, 反极控制端 K 与 74LS42 输出线 “Y₀” (在电路板图 2-23 中已引到边上, 并且也标有符号 “K”) 相连, 拆除图 2-27 电路板上的假负载 R₁。接通电源, 此时应有 LED₂ 亮、LED₁ 灭, 操作键盘, 在 “0~9” 10 个按键中任按一个按键, 都应有 LED₁ 亮、LED₂ 灭, 松开按键时恢复 LED₂ 亮、LED₁ 灭。

(三) 利用电话网的音频遥控电路

随着时代的进步, 电话的使用越来越普遍, 电话网络几乎遍布每一个角落, 利用在用现有电话线路实现远端控制是一种极为方便、投资最省、开发周期最短的方案, 同时又具有很高的可靠性以及线路免维护等优点。本实验电路使用现有电话线来传送遥控命令, 以普通电话机作为遥控命令生成和发送装置, 我们只要装置接收端的电路, 把它接在现有电话线路中, 那么就可以在其他任何地方, 任何一部电话机上实施对该受控装置的遥控操作。

1. 电话网络用户线路的主要特点

为了能正确地利用电话线路来实现远端控制并且不影响电话网络, 我们有必要简单地了解一下电话网用户线路的主要特点:

①通话状态下, 用户双方只有交流耦合。在平常非通话状态下, 各用户之间没有信号通路。当用户甲拨号呼叫用户乙时, 首

2. 框图说明

实验电路构成框图如图 2-30 所示,实验的主要任务是接收部分的电路,这部分各框图的基本作用、功能简述于下:

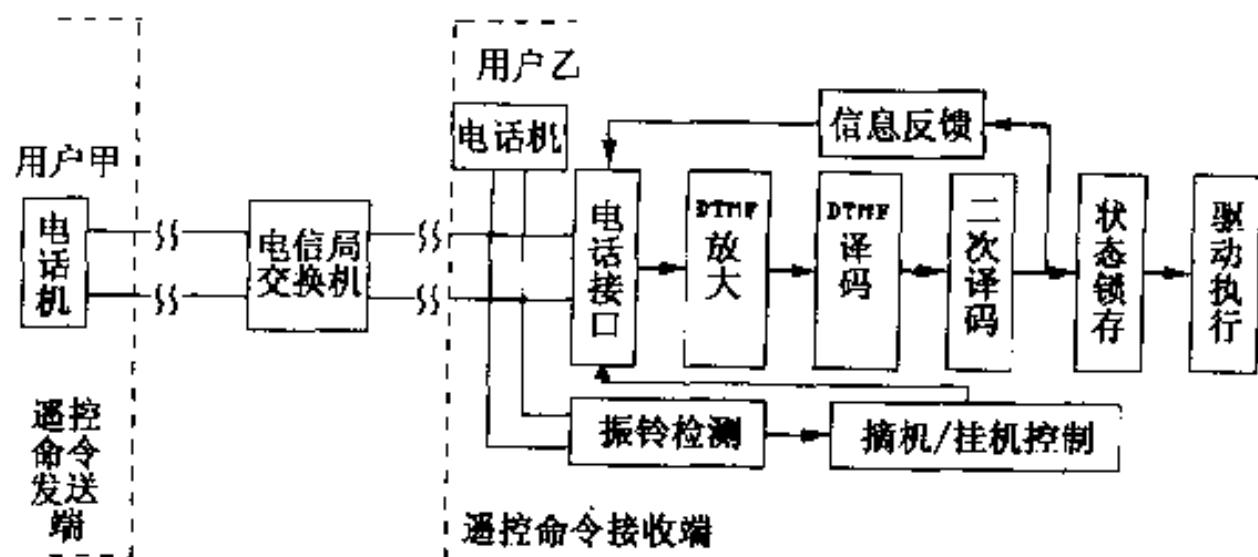


图 2-30 DTMF 遥控实验二电路框图

(1) DTMF 放大

这是一个低频放大电路,负责对所接收到的双音多频信令进行适量的放大。因为电话线路情况复杂,发送遥控命令的电话机可能在任何一个地方,因此有时传送到接收端的双音频信号可能较弱以至使 DTMF 译码器不能被识别,故需进行适当的放大处理。

(2) 电话接口

平常状态下,接收电路与电话线路保持脱离(除振铃检测电路外),仅当接收命令时才通过接口电路与电话线路接通,此外反馈信号也须通过接口电路才能送往电话线路。

(3) 振铃检测

当电信局交换机向该用户线送来振铃信号时,振铃检测电路检测到该振铃信号并振铃若干次后,才通知模拟“摘机/挂机”电路完成摘机工作(模拟接电话)。由于本遥控装置是与现有电话兼用的一对线路,因此振铃发生的时候,大多数是要求通话而不是要求传送遥控命令。为了不影响正常接听电话,必须设计为振铃

检测 7~8 声 (约 30~40s) 没有人接电话时才模拟摘机, 如果太早摘机, 将有可能造成正常用户接不到电话。

(4) “摘机/挂机” 电路

当振铃检测电路检测到若干次振铃信号时, “摘机/挂机” 电路能控制一个继电器吸合, 从而将一个约 680Ω 的电阻接向电话线路两端, 实现“模拟接电话”。

关于 DTMF 译码、二次译码、状态锁存、驱动执行、信息反馈等环节的作用在前面的实验中已详细讨论, 这里不再重复。

3. 电路原理分析

本实验遥控装置接收部分的组成电路如图 2-31 示。

(1) DTMF 信号放大电路

本电路采用线性放大集成电路 $\mu A741$, 其外形引脚图见附录 5。该芯片工作电压为正负两组电源, 为了简化电源, 这里只使用正电源, 而将原该接负电源的④脚接地。这样同相输入端的偏置电压就不能设置为 $0V$, 而应当设置为 $U_{CC}/2$ 。因此用两个串联的 $10k\Omega$ 电阻 R_5 、 R_6 对电源分压, 从它们的中间取出 $1/2$ 电源电压加给同相输入端③脚。 C_4 是旁路电容, 放大器⑥脚输出的音频信号中点电位与③脚电位相同。该放大器接成反相输入比例放大电路, 放大倍数主要由 R_F 与 R_3 的比例确定。 C_F 为抑制高频干扰而设置。输入端的 R_2 和 C_1 构成低通滤波器, 也是为滤除高频干扰信号而设置的。芯片的①脚、⑤脚是供“调零”用的, 这里没有使用。

(2) DTMF 译码

本电路使用 MC145436 进行 DTMF 译码, 与实验一相同。

(3) 二次译码

与实验一不同, 这里仅使用简单的与非门电路进行二次译码, 该电路只设计控制单一对象, 因而只需译码输出 2 个信号分别用于启、停受控对象。观察表 1-2, 在“1~#”的 12 种编码中 (使

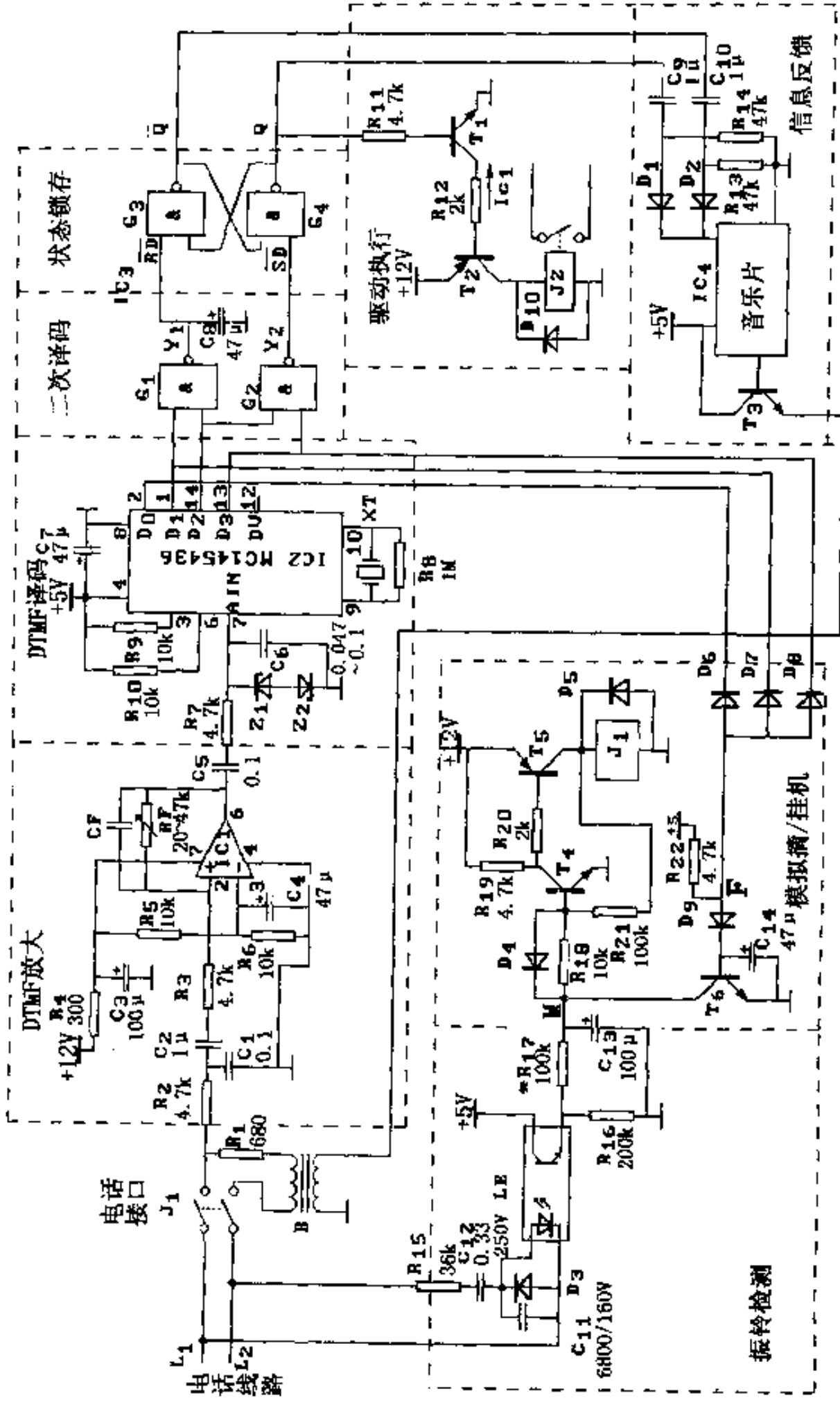


图 2-31 DTMF 遥控实验二电路

用普通电话机作为双音频遥控信令生成和发送装置，只有“1~#”12个按键)，只有“#”的编码 $D_3=1, D_2=1$ ，可以用这两位为“1”作为特征来控制受控对象的“启动”。继续观察表 1-2，可以发现 $D_1=1$ 且 $D_2=1$ 的编码中，只有“6”和“7”两种，我们不妨使用 D_1 和 D_2 为“1”作为特征来“停止”受控对象。

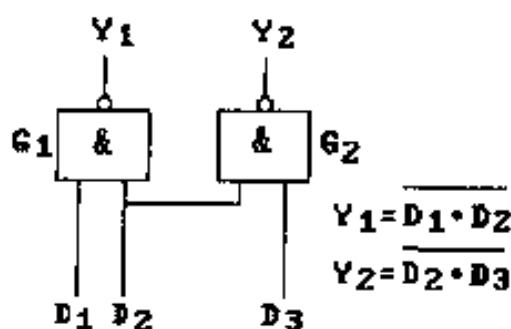


图 2-32 与非门译码电路

因此只需使用 2 个门电路 G_1 和 G_2 作为 2 次译码器，如图 2-32 示，译码关系式为 $Y_1 = \overline{D_1 \cdot D_2}$ 、 $Y_2 = \overline{D_2 \cdot D_3}$ 。

(4) 状态锁存 R-S 触发器

图 2-33 (a) 所示的基本 R-S 触发器由 2 个与非门电路构成，可以用图 2-33 (b) 的逻辑符号来表示。下面简单讨论一下当 \overline{RD} 、 \overline{SD} 端处于各种不同状态时 Q 、 \overline{Q} 端的情况。 \overline{RD} 、 \overline{SD} 两端的状态组合只有 4 种，如表 2-6 所示。

表 2-6 基本 R-S 触发器真值表

\overline{RD}	\overline{SD}	Q
0	0	不定
0	1	0
1	0	1
1	1	不变

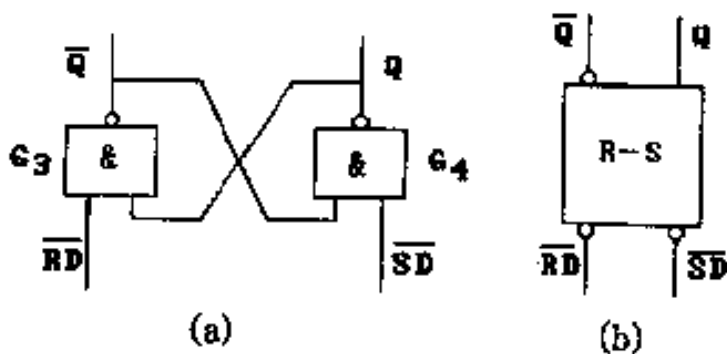


图 2-33 基本 R-S 触发器

①当 $\overline{RD}=0, \overline{SD}=1$ ：由图 2-33 知，与非门 G_3 因有 1 根输入端为“0”，所以输出 \overline{Q} 端为“1”， \overline{Q} 又反馈到 G_4 的输入，使 G_4 的输入均为“1”，故输出 Q 端=0。

② $\overline{SD}=0, \overline{RD}=1$ ：因 $\overline{SD}=0$ ，使 G_4 输出 Q 端=1， Q 反馈到

G_3 输入, 使 G_3 两输入均为 “1”, 故输出 \bar{Q} 端 = 0。

③ $\overline{RD} = \overline{SD} = 1$; G_3 的 $\overline{RD} = 1$, 输出 \bar{Q} 状态取决于另一根输入线。同理 G_4 的 $\overline{SD} = 1$, 输出 Q 状态取决于另一根输入线。也就是说, $\overline{RD} = 1$ 不影响 G_3 的原来状态, $\overline{SD} = 1$ 也不影响 G_4 的原来状态。这样, 如果在 \overline{RD} 端 (或 \overline{SD} 端) 加一个负脉冲, 可使 Q/\bar{Q} 变成某一预知的确定状态, 而后只要 $\overline{RD} = 1$, $\overline{SD} = 1$, 这一状态就能一直保持下去, 即具有锁存记忆功能。

④ $\overline{RD} = 0$, $\overline{SD} = 0$, 这种状态下将使 $Q = 0$, $\bar{Q} = 0$ 。当 \overline{RD} 、 \overline{SD} 端的低电平同时取消后, Q/\bar{Q} 的状态具有随机性, 无法确定, 称为 “状态不定”, 因此这种状态是不允许出现的。

归纳上述 4 点, 可得到表 2-6 的真值表。

(5) 驱动及执行电路

三极管 T_1 和 T_2 组成驱动电路, 执行器件为继电器 J_2 。 J_2 的常开触点可以用于控制多种用电设备, 例如电灯的亮暗、音响电路的开闭、电饭煲或热水器的开关等。当 R-S 触发器的 $Q = 1$ 时, T_1 的基-射结受正向偏置而导通, 其集电极电流 I_{C1} 来自于 PNP 三极管 T_2 的发射极-基极电流, 因而 T_2 有较大基极电流产生, T_2 饱和导通, 使继电器 J_2 线包接向 +12V 电源, J_2 吸合, 其常开触点接通; 反之当 R-S 触发器 $Q = 0$ 时, 三极管 T_1 截止, T_2 也无法产生基极电流而截止, 则继电器 J_2 因线包无电流而释放。

(6) 电话接口

电话接口可以理解为继电器 J_1 的 2 对常开触点、电阻 R_1 以及音频小变压器 B 所组成的电路。当 J_1 触点闭合时, 约有 680Ω 的电阻 (R_1 及变压器 B 的线圈电阻) 接向电话用户线, 用户线上电流的显著变化被电信局交换机检测到, 判为该用户已 “摘机” (也就是已提起 “电话机”), 于是交换机就停止送振铃信号并接通与主叫用户的音频回路。

(7) 模拟“摘机/挂机”控制电路

该电路如图 2-34 示。

暂且撇开 T_6 (设其截止), 设初态时 T_4 截止, 其集电极电位 $\approx 12V$, 则 PNP 管 T_5 的基极电位亦约为 $+12V$, T_5 的射-基结偏置电压 $U_{EB} \approx 0$, 因而 T_5 截止, 继电器 J_1 线圈无电流流过, J_1 释放。当 M 点电位高于某一定值时, T_4 导通, 把集电极

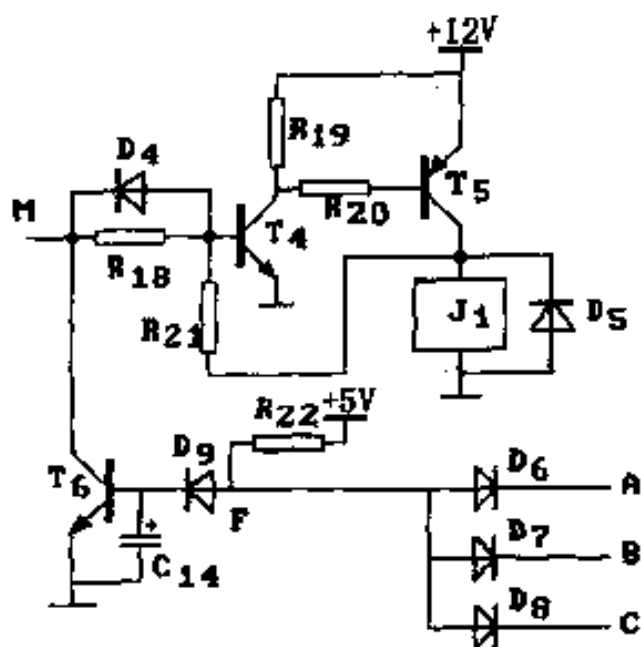


图 2-34 模拟摘机/挂机电路

电位拉低, 这时 T_5 的射-基结间正偏而导通, T_5 饱和使 J_1 线包接向 $+12V$, 因而 J_1 吸合使 2 对常开触点闭合, 实现了模拟摘机 (见“电话接口”说明)。同时 $+12V$ 电源通过 T_5 、 R_{21} 向 T_4 的基极提供进一步的基极电流, 这时若取消 M 点的外加电压, 但因有 R_{21} 供给 T_4 足够的基极电流, 所以 T_4 仍维持饱和。现在来考虑 T_5 的作用, 如果 T_6 有短时间的饱和导通, 其集电极电位 (也就是二极管 D_4 的阴极电位) $\approx 0.3V$ 。二极管阳极电位即三极管 T_4 的基极电位, 在 D_4 未接入时约为 $0.7V$ 。该二极管使用锗管, 所以这一电位差能使二极管 D_4 导通。 D_4 在小电流导通状态下其两端压降小于 $0.2V$, 因此这时 D_4 阳极的电位 (即 T_4 基极电位) 小于 $0.2 + 0.3 = 0.5V$, 这使 T_4 迅速退出饱和而进入截止, 引起 T_5 截止, 则 $+12V$ 电源再无法经过 R_{21} 向 T_4 基极提供偏置电流。因而 T_4 、 T_5 的截止状态得以维持, 继电器 J_1 释放, 其两对常开触点断开, 将 R_1 从电话用户线路上移去 (见“电话接口”说明), 实现了模拟挂机。现在回过头再来考察三极管 T_6 究竟受控于哪些因素? T_6 基极的电阻 R_{22} 及二极管 D_6 、 D_7 、 D_8 组成二极管与门电路, 该与

门电路有 3 个输入端 A、B、C，输出端为 F（见图 2-34）。当 A、B、C 中任意一个输入端为“0”时，对应连接的那个二极管就导通。二极管的阳极（即 F 点）电位大约为 0.7V，不能使 D_9 和 T_6 的基-射结导通，所以三极管 T_6 截止，对其他电路没有影响。但当 A、B、C 三端均为“1”时，二极管 D_6 、 D_7 、 D_8 截止，+5V 通过电阻 R_{22} 和二极管 D_9 向三极管 T_6 注入足够的基极电流使三极管 T_6 导通，导致了上面分析过的结果——继电器 J_1 释放。可见 T_6 受控于与门输入端 A、B、C 的状态。由图 2-31 知，A、B、C 分别接到 DTMF 译码器的输出线的 D_0 、 D_1 、 D_3 。考察表 1-2 知，在“1~#”的 12 种编码中，只有字符“*”的编码 D_0 、 D_1 、 $D_3=1$ ，也就是说当 DTMF 译码器 MC145436 检测到并且只有检测到发送端发来的是“*”这个信令时，输出 D_3 、 D_2 、 D_1 、 $D_0=1011$ ，结果使 T_6 导通，继电器释放，实现了模拟挂机。

T_6 基极所接电容 C_{14} 用来防止短暂的脉冲干扰，防止产生误动作。

(8) 振铃检测

如图 2-35 示，当电信局送来 25Hz 约 75V（有效值）的振铃信号时，有半周使二极管导通形成回路，另半周使光耦 LE 的一次侧发光二极管导通，因而有光照射二次侧光敏三极管。适当选取 R_{15} 及 C_{12} 的值使光耦一次侧导通电流足够大，则

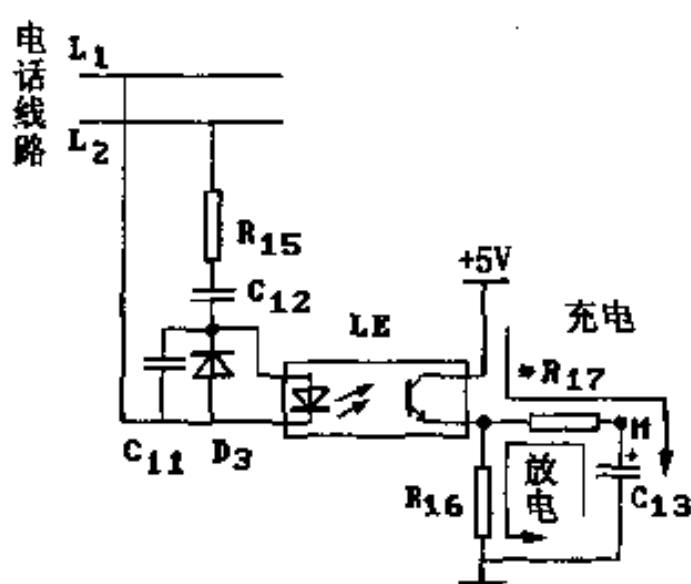


图 2-35 振铃检测电路

二次侧三极管受光足够强而较充分导通，+5V 电源经过 R_{17} 向电容 C_{13} 充电，充电回路时间常数约为 $R_{17} \cdot C_{13}$ 。当振铃信号过零及

振铃间歇期间,光耦不导通, C_{13} 上的电压通过 R_{17} 、 R_{16} 放电,放电回路如图 2-35 示。放电回路时间常数约为 $(R_{16} + R_{17}) \cdot C_{13}$, 大于充电时间常数,因此充电快而放电慢。经过几次振铃, C_{13} 上的电压也就是 M 点的电压将逐渐升高到一定数值,使 T_4 导通, T_5 导通。

(9) 信息反馈电路

如前所述,本遥控系统以电话线路传送遥控命令,收、发两端没有直流回路,仅有交流耦合,因此信息反馈只能采取回送一个音频信号的方法。产生音频信号的方法可有多种,这里使用现成产品——“音乐片”为信号源,目前市售音乐片有很多品种,能产生多种声音信号,例如“叮—咚”声、鸟鸣声、警报声、各种乐曲声等等,但不管哪种,其基本接法均大同小异。“音乐片”本身有几个外引线或外接元件接点:电源正极,接 3~5V 电源;电源负极,接地;信号输出端,接 NPN 三极管的基极;三极管的集电极也接 +5V 电源,发射极接音频变压器 B 的原边绕组,绕组的另一端接地,因此该三极管是射极输出器(共集电极)接法;另外音乐片还有 1 个触发端,如果将该触发端接至高电平并维持,那么音乐片就会一直工作下去,也就是会周而复始地一直“演唱”下去,如果在触发端只加一个触发正脉冲,它就只会“演唱”固定的时间(多数音乐片是这种触发方式,但也有的触发方式与此不同)。触发电路如图 2-36 所示。在

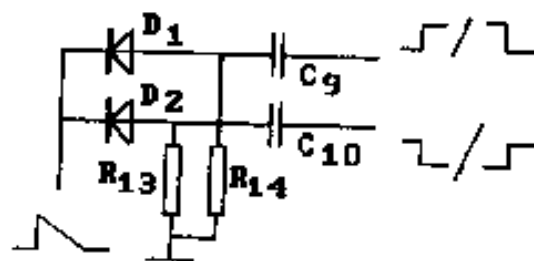


图 2-36 音乐片触发电路

图 2-31 的电路中, R-S 触发器每次翻转,必有 Q 或 \bar{Q} 端的电位发生正跳变(从“0”变为“1”),该正跳变经电容 C_9 或者 C_{10} 耦合,通过二极管 D_1 或 D_2 加到音乐片触发端(有关波形示于图 2-36 中),使音乐片“演唱”。稍后,随着 C_9 或 C_{10} 充电电压的升高,触发电压渐渐减少直至消失,因而音乐片也就会自动停止“演唱”。音乐

片输出信号经三极管 T_3 进行功率放大后，由变压器 B 耦合到电话线路，于是发送遥控命令的操作者即可从电话机听筒里听到这一反馈信号。

上面对各个单元电路作了详细分析，现在我们把各部分的工作流程贯穿起来作一个概括：遥控操作者在任何地方的电话机上拨打接收端的电话号码，电信局交换机收到该呼叫号码即向接收端送出振铃信号，振铃检测电路在振铃若干声（应设置为 7~8 声）后，M 点电位因 C_{13} 的充电而升高至使 T_4 导通、 T_5 导通。 T_5 的导通使继电器 J_1 吸合，其触点将大约 680Ω 的电阻接向电话线路实现了模拟提机，遥控操作者从听筒里判别到回铃音已消失，知道对方电话已“接通”，于是便可以用电话机的键盘（电话机应处于音频模式）来控制继电器 J_2 的吸合或释放。例如按“#”键时，电话机发出的双音多频信号经电话线路送到放大器 $\mu A741$ 的输入端，经放大后进入 DTMF 译码器 MC145436 译码，其输出使与非门 G_2 的输出 $Y_2=0$ ， G_1 的输出 $Y_1=1$ ，R-S 触发器被置“1”，即 $Q=1$ ，使 T_1 、 T_2 导通，继电器 J_2 吸合，同理，按下按键“6”或“7”时，MC145436 输出能使与非门 G_2 的输出 $Y_2=1$ ， G_1 的输出 $Y_1=0$ ，R-S 触发器被置“0”，使 T_1 、 T_2 截止，继电器 J_2 释放。在这两个操作过程中，R-S 触发器的 Q 或 \bar{Q} 端的正跳变经触发电路触发音乐片工作，音乐片输出信号经 T_3 放大、变压器 B 耦合送往电话线路，操作者从听筒里听到这一反馈信息。

操作者对继电器 J_2 进行预定目的的操作后，必须使用按键“*”发出“挂机”命令，当接收端收到“*”信令经 DTMF 译码后，其输出使三极管 T_6 导通，迫使 T_4 及 T_5 进入截止状态（见前述），实现了“挂机”操作。这一步骤十分重要，如果操作者没有进行这一操作，那么这条电话线路将永远处于占线状态，以至使任何呼叫都无法接通这条线路。可见，该实验电路仍然不够完善，

一般可采取两种办法克服上述现象：

①设置一个定时器，在没有收到双音多频信号后再经过某一定时间（例如 10s）能自动释放模拟“摘/挂机”继电器 J_1 ，从而实现模拟挂机。

②设置定时器，固定延时某一定时间后释放 J_1 ，例如从 J_1 吸合开始固定延时 30~40s 就释放继电器 J_1 。

图 2-37 是固定定时实现模拟挂机的电路。它从 J_1 吸合“接通电话”开始计时，经历一个固定的时间后“挂断电话”。集成电路

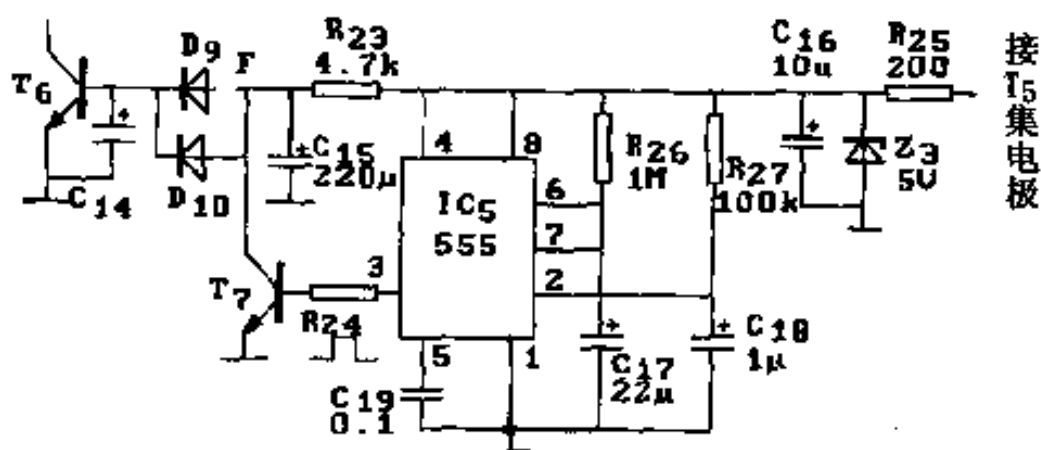


图 2-37 固定定时电路

555、 R_{26} 、 R_{27} 、 C_{17} 、 C_{18} 、 C_{19} 等组成单稳态定时电路。“常态”时，

③脚输出为低电平。若给②脚施以一个负脉冲，即能触发该单稳触发器翻转，于是输出为高电平，电路进入“暂态”，“暂态”持续时间取决于由 R_{26} 和 C_{17} 构成的积分电路。当 C_{17} 充电至 $2/3$ 电源电压（⑧脚电压）时，暂态结束，触发器翻转回到原来状态，③脚输出为低。根据理论计算，暂态时间 $t_p \approx 1.1R_{26} \cdot C_{17}$ 。555 集成电路的其他细节请参见有关书籍。图 2-37 的电路中，②脚接有一个电容 C_{18} 到地，因此在电路上电的瞬间，该脚电位为低，使单稳电路立即进入暂态，③脚输出为高，于是向 T_7 注入足够的基极电流使 T_7 饱和，则 T_7 的集电极电位为低，二极管 D_{10} 不能导通，对

T_6 不产生影响。暂态结束时，定时器翻转回“常态”，③脚输出为低， T_7 因得不到基极电流而截止，其集电极电位升高，使二极管 D_{10} 导通，向 T_6 基极注入电流， T_6 饱和导通。由图 2-31 以及前面有关图 2-31 的分析中知， T_6 导通就会使继电器 J_1 失电而释放，从而实现“挂机”。定时电路的电源取自于 T_5 集电极（见图 2-31），是将该电压经过由电阻 R_{25} 、稳压管 Z_3 及滤波电容 C_{16} 所组成的稳压电路稳压后形成的。也就是说定时电路是在 J_1 线包得电的同时才得电进入工作的，在这之前（模拟提机之前）定时器没有工作，同时 R_{23} 也不可能向二极管 D_{10} 提供电流，所以不会影响 T_6 。另外，在 555 上电的瞬间，可能它还来不及进入暂态，③脚就会出现瞬间的低电平，引起 T_7 瞬间截止，其集电极出现瞬间高电平，结果影响到 T_6 原来的工作状态。为避免这一现象的发生，在 T_7 集电极接入一个电容 C_{15} 到地以减缓该点电位上升速度，吸收该点出现的这一窄脉冲，从而有效消除定时电路在上电瞬间可能对 T_6 产生的不正确影响。在 T_6 的基极与“F”点之间串入的一个二极管 D_9 ，使“F”点与 T_7 集电极互相隔离，各自电位的变化均不会相互影响，称为隔离电路。 D_9 、 D_{10} 实际上也是一个正或门电路。

图 2-38 所示的定时电路用以检测双音多频信令的停顿时间，当该停顿达到某一定时间时才“挂断电话”。它与图 2-37 所示的定时电路相比较，不同之处仅仅多了一个三极管 T_8 。 T_8

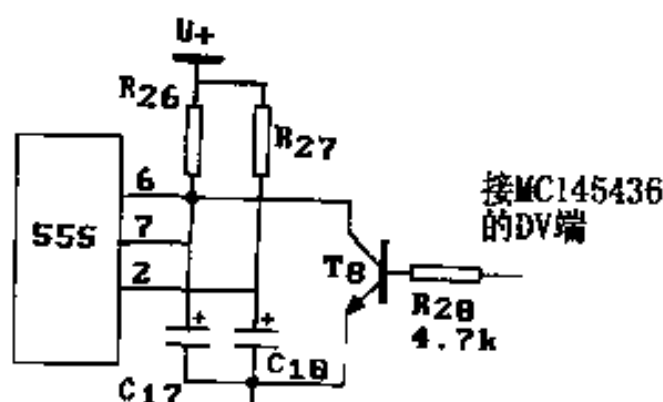


图 2-38 可变定时电路

的集电极接向 555 的⑦脚，如果 T_8 导通，那么电容 C_{17} 就不能被充电，因此 555⑥、⑦脚电位永远也无法达到 $2/3$ 电源电压，555 就不会退出暂态。只有当 T_8 截止时， C_{17} 才被充电，相当于定时器

开始计时。现在，将 T_8 的基极通过一个限流电阻 R_{28} 接向 DTMF 译码器 MC145436 的 DV 端 (⑫脚)。由前面对芯片的有关介绍知，当译码器对双音多频信令正确译码后，它即从 DV 端输出一个高电平，这一电平使 T_8 进入饱和，让 C_{17} 电荷放尽。只有当双音多频信号消失，DV 端回低电平时， C_{17} 才重新充电，定时从头开始，若此后再无 DTMF 信令收到，那么经过某一定时间 555 即退出暂态从而“挂断电话”。

(10) 电源电路

实验电路的供电电源电路如图 2-39 示。它使用 220V/2×6V、0.3A 的小型电源变压器，将 220V 交流市电降压至 2 组 6V，经 D_1 、 D_2 整流（双半波整流）， C_1 滤波，可输出 12~14V 的直流电压。该电压没有经过稳压，随输出电流（负载电流）的变化它将有一定范围的波动。该组电压主要供继电器工作，允许在 10~14V 范围内变化时不会影响继电器工作，该电压又经过三端稳压

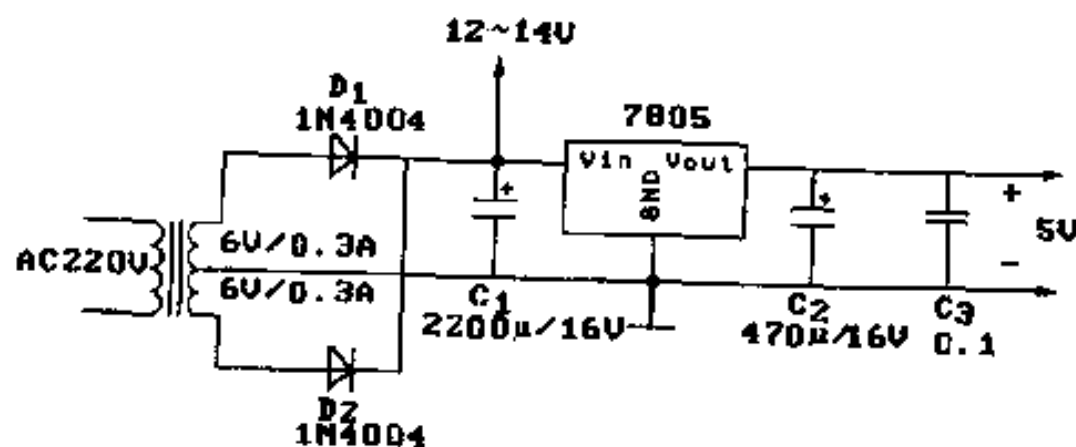


图 2-39 电源电路

器 7805 稳压后输出 +5V 电压供集成电路工作。稳压器输出端并联两个滤波电容，其中 C_2 ($470\mu\text{F}$) 对高频滤波效果较差，因为制作电解电容器时是将两长条形金属箔中间隔着一层绝缘纸绕成一卷而形成的，相当于一根导线绕了很多圈，因此形成了一种潜在的电感。该电感对高频分量表现了不可忽视的作用，因而遇到这

种情况，特别是在高频电路中，均需并联一个较小容量的电容，而且以瓷片电容（因为它不是一圈一圈绕制而成的）为佳。

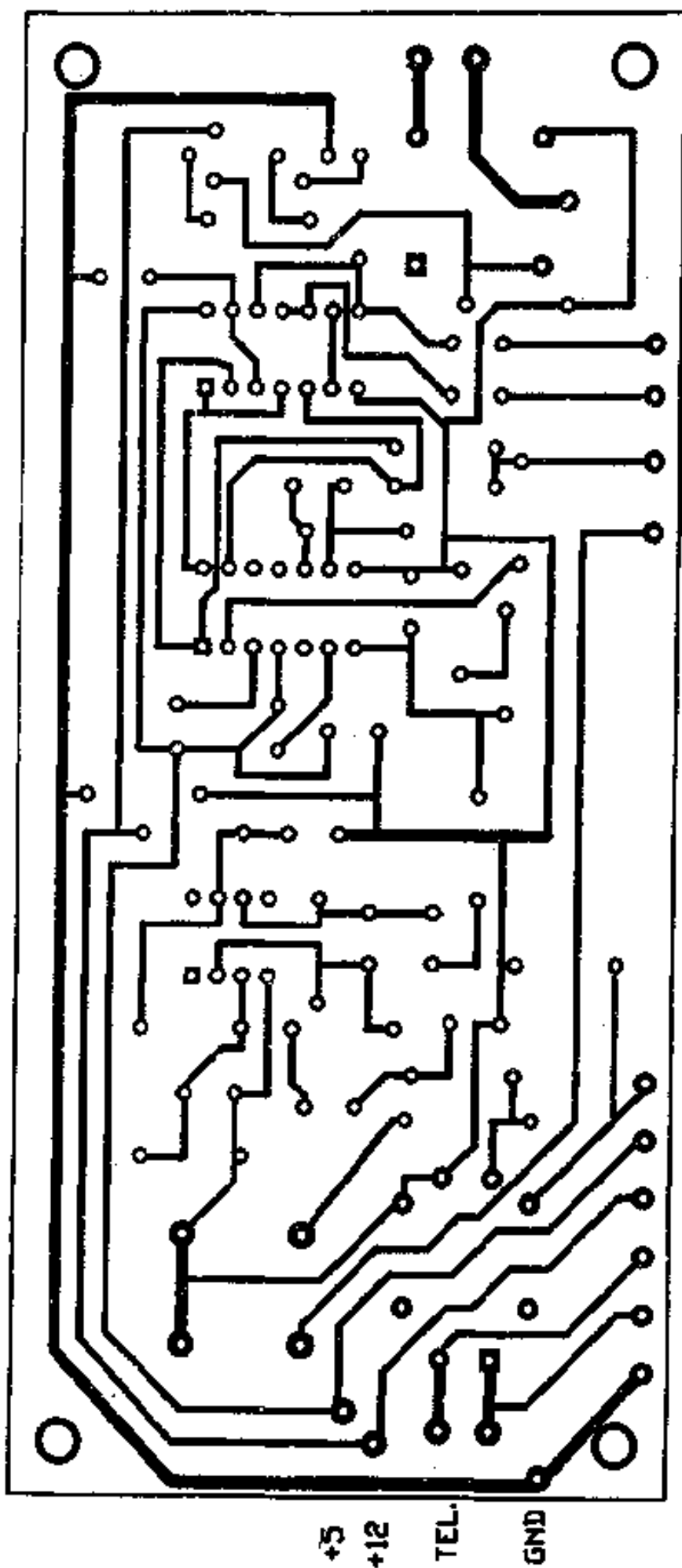
4. 制作与实验

(1) 印刷电路板

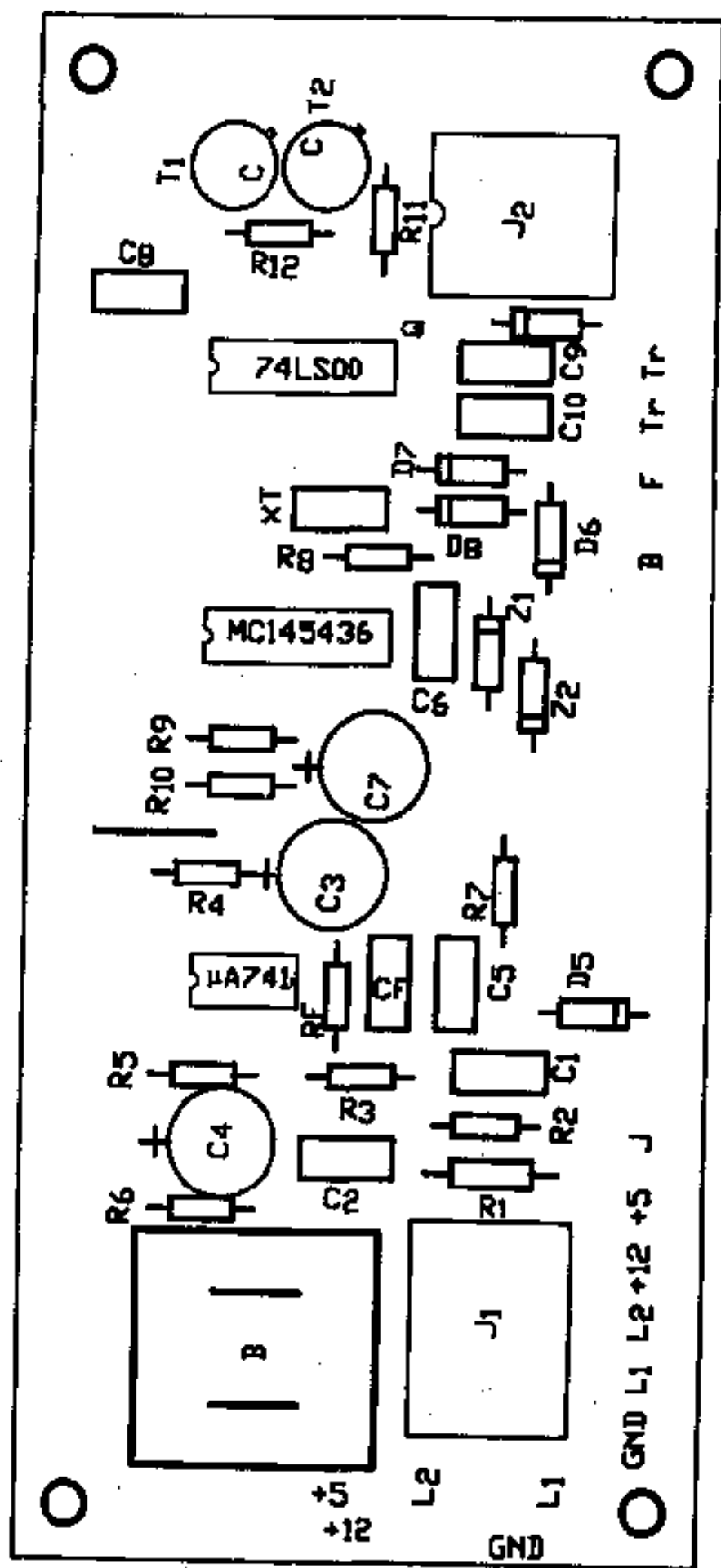
该电路比较复杂，元件较多，各部分电路之间的相互关联也较多，对于初学者宜采取分块装调实验、逐步完善的作法。因此可将图 2-31 的实验电路分为两块印刷电路板设计，图 2-40 (a)、(b) 为电路板〔1〕，包括电话接口、DTMF 信号放大、译码、二次译码、状态锁存、驱动电路、执行继电器 J_2 ；图 2-41 (a)、(b) 为电路板〔2〕，包含了其余所有部分，包括定时“挂机”电路，所采用的定时电路是图 2-37 的固定定时电路，两个印刷板图均为 1:1 透视图。两块电路板分别制作并调试好以后，可以将它们拼合成一块再进行总体调试实验，电路板图中已设计了相互拼合的固定孔，相互间应该连接的接点也都引到了印刷板的边沿，并且相互对齐，只要将两块电路板对齐，用两片固定铁片把它们固定在一起，对齐的连接点用跳线连接即可。另外，印刷板图中标有跳线连接的地方，焊接时应当用跳线连接起来。如果在制作电路板时就把两块制作在一起那就更好。在图 2-41 (b) 中，标注有 MUSIC 字样的方框是安装音乐片的位置。为节省空间，可将音乐片侧立起来安装，焊上 5 根引脚，再把引脚插入印刷板上相应的孔中焊接即可，其中标有“Tr”的接点为音乐片的触发端，标有“Uo”的是音乐片的信号输出，供推动三极管 T_3 。电源电路板示于图 2-42 (a)、(b)，亦为 1:1 透视图。

(2) 元件选用

继电器 J_1 使用有 2 对触点的直流 12V 小型继电器；继电器 J_2 使用单触点的直流 12V 小型继电器；音乐片要选用发音较连续的为好；二极管 D_4 一定要使用锗材料二极管；音频变压器如果匝数

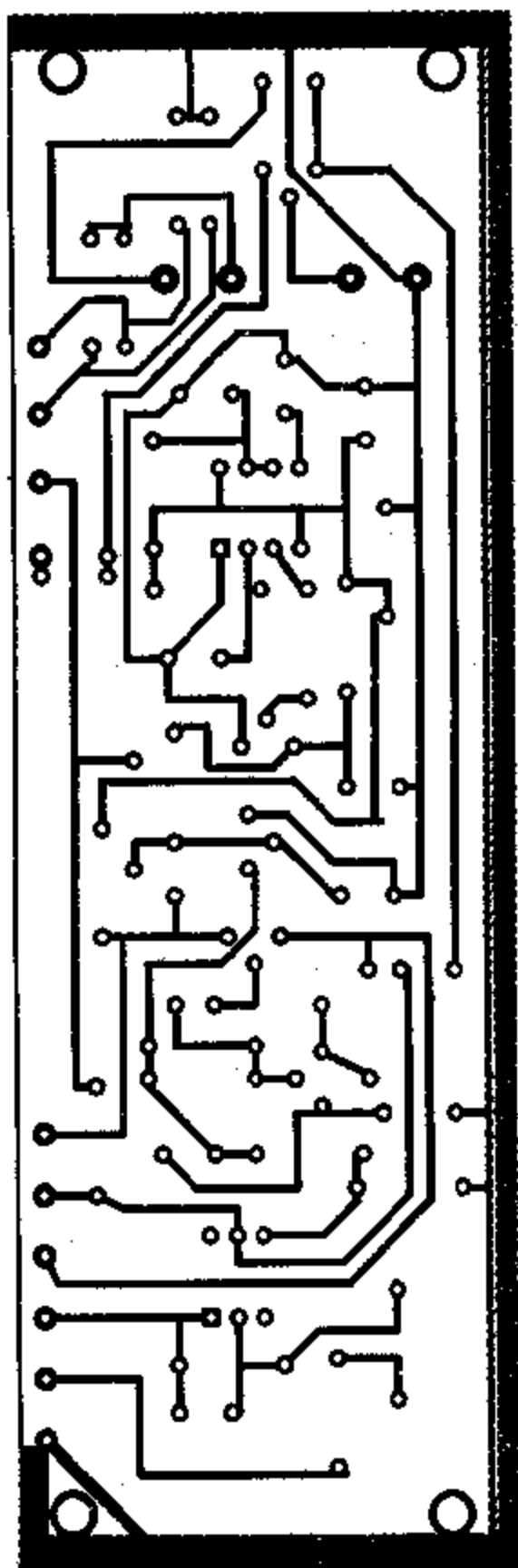


(a)

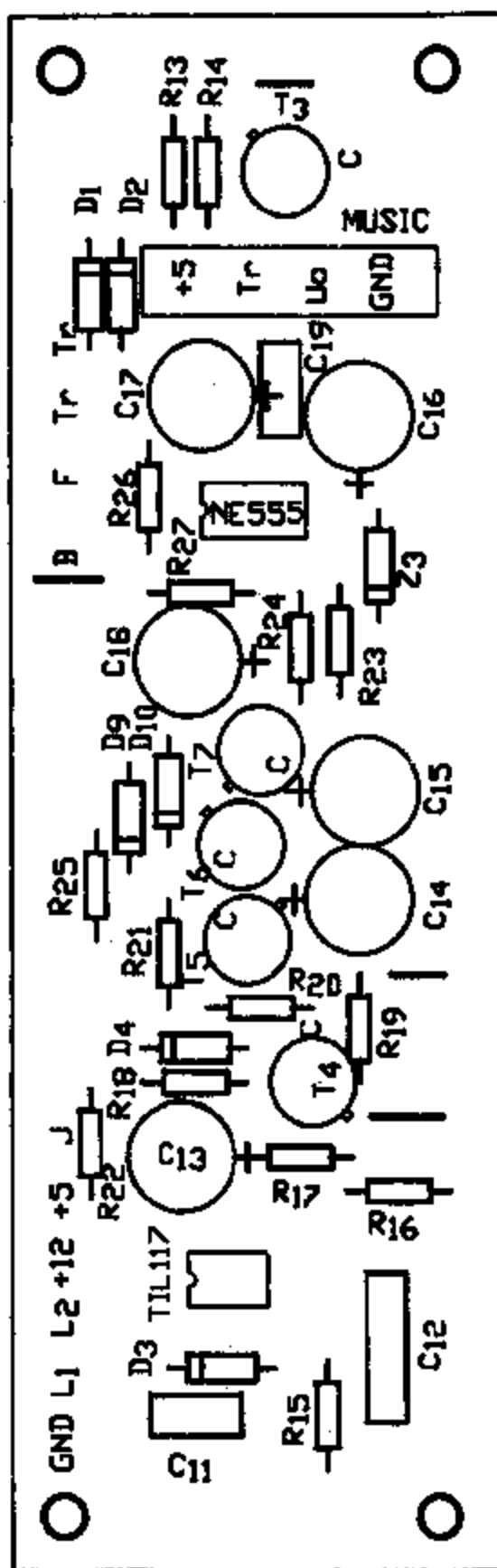


(b)

图 2-40 DTMF 遥控实验二印刷电路板 (1)

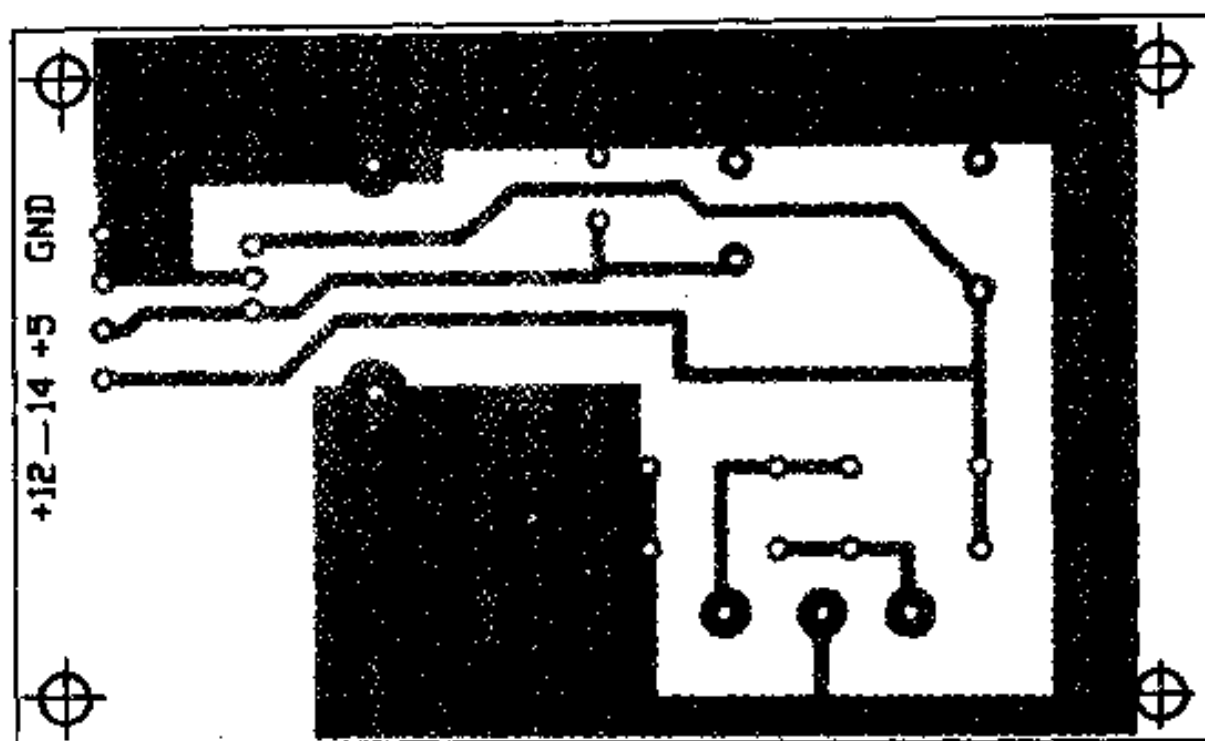


(a)

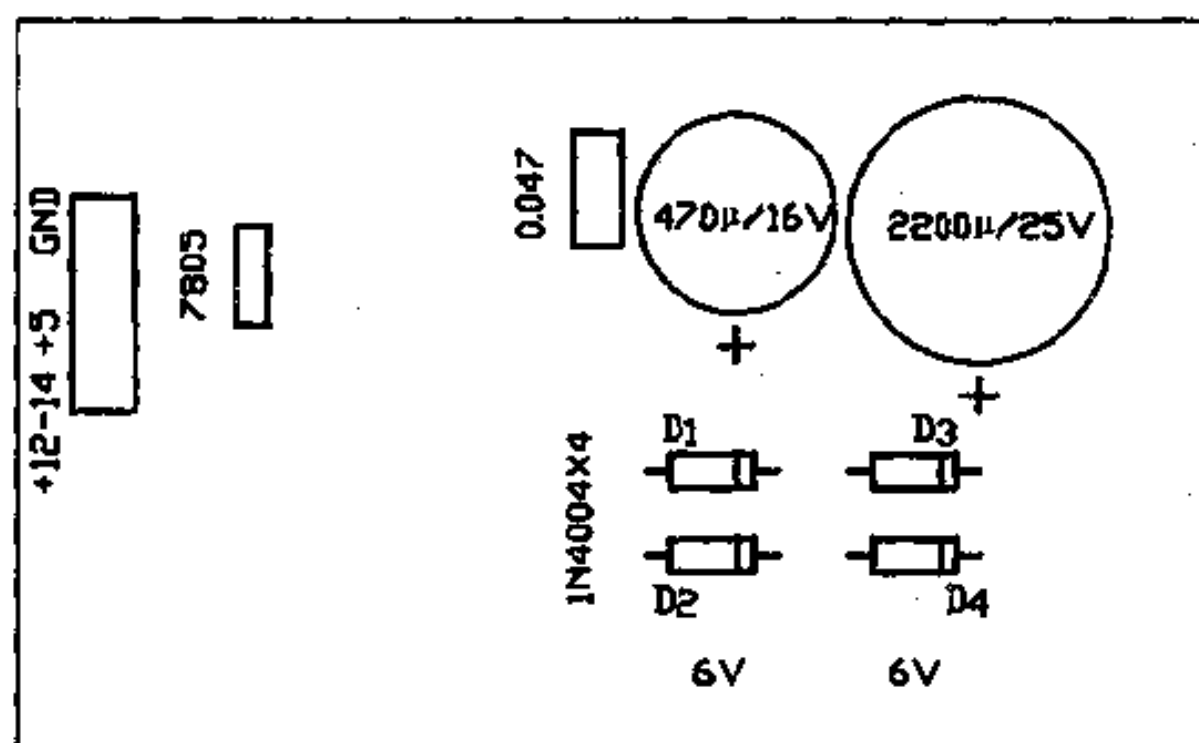


(b)

图 2-41 DTMF 遥控实验二印刷电路板 [2]



(a)



(b)

图 2-42 电源电路印刷电路板

比不是 1:1, 应将匝数少的那一边接 T_3 发射极; 电容 C_{12} 的耐压须在 250V 以上; 电阻 R_1 功率至少为 1/2W 以上; 与变压器绕组的串联总电阻不应大于 1k Ω , 对其余元件无特殊要求。主要元件取值如下 (包括图 2-37 定时电路):

IC₁—— μ A741； IC₂——MC145436；

IC₃——74LS00； IC₄——音乐片；

IC₅——NE555； LE——TIL117（或4N30）；

D₄——2AP12； D₀~D₃、D₅~D₁₀——1N4148；

Z₁~Z₃——5~5.2V 稳压管；

T₁、T₃、T₄、T₆、T₇——C9013； T₂、T₅——C9012；

XT——3.58MHz 晶体。

(3) 调试

①DTMF 信号放大及译码电路的调试。图 2-40 的电路板安装好以后，先经外观检查确认无误，先不要插上集成芯片，接通电源检查 IC 插座上的有关电压是否符合要求，主要内容有：对于 μ A741，⑦脚电压 $\approx +12V$ ，③脚电压为⑦脚的二分之一，其余各脚均为 0V；对于 MC145436，④脚电压 = +5V，③、⑥脚电压 = +5V，其余各脚均为 0V（未与图 2-41 电路板互联时）。

断开电源，插上 μ A741 和 MC145436 并测量， μ A741 的第⑥脚电压应约为电源电压（⑦脚电压）的二分之一，且约等于第③脚电压，MC145436 ①、②、⑫、⑬、⑭脚的电压均约为 0V。

输入 DTMF 信号作动态调试。直接使用电话机作为 DTMF 信令发生器，具体方法是将图 2-31 的信号总输入端 L₁、L₂ 接到现有电话线路上，不必认别极性，把继电器 J₁ 的两对常开触点短接，提机话筒，在听到忙音信号以后，按动电话机的按键以发出 DTMF 信号。这时若 DTMF 放大电路及译码电路工作正常，则在 MC145436 的 DV 端（⑫脚）应有正脉冲输出，可使用万用表直流电压 5~10V 挡监视该引脚电压。按住一个键并保持，万用表指示约 3~4.5V 也应保持，松开键，万用表指示约 0V。快速点动某一键，万用表表针应有跳摆（摆一下立刻回零），每一个键均应试过。在这个步骤的试验中，电话机发出的 DTMF 信号幅度较大，如果

放大器 $\mu A741$ 增益太大, 会使输出波形削顶失真, 结果导致 MC145436 不能译码, 因此必须调整 $\mu A741$ 的负反馈电阻 R_F 。在该步骤中也可采取下述的具体作法: 按住某一按键, 用万用表监视 MC145436 的 DV 端, 逐渐调整反馈电阻 R_F 使之从小到大 (大约从 $2k\Omega$ 开始往上调整), 直至万用表指示出现不可靠 (指示消失或出现摆动), 这时再将 R_F 往回调小少许即可。

②二次译码以及状态锁存电路的调试。插上 IC_3 (74LS00), 接通电源, 仍按上述的方法取得 DTMF 信号 (切记要在电话忙音状态下试验), 用万用表监视与非门 G_1 的输出端 Y_1 电位。按住按键 “6” 或 “7”, 万用表指示应可靠为 “0” (即不能有跳动), 点动该两个键, 万用表应有往 0V 方向的回摆跳动, 按其余任意按键, 万用表均不应有跳摆现象。移万用表正表笔于与非门 G_2 的输出端 Y_2 , 按住按键 “#”, 万用表指示应可靠为 “0”, 点动该按键, 万用表应有往 0V 方向的跳摆, 按其余任意键, 万用表均不应有跳摆。再将万用表正表笔移于与非门 G_4 的输出端 Q, 点动一下按键 “#”, 万用表应指示高电平 (3~4.5V) 并保持, 点动一下按键 “6” 或 “7”, 万用表应指示约 0 并保持。反复操作若干次, 应能可靠出现上述结果。

③驱动电路及继电器电路的调试。当与非门 G_4 的输出端 Q 为高电平时, 测量三极管 T_1 的集电极电位约为 0V, T_2 的集电极电位与发射极电位应大约相等 (相差约 0.3V 左右), 如果相差较大, 不仅继电器吸合不可靠而且三极管 T_2 将发烫可能造成损坏。最后再用万用表的电阻 $R \times 10$ 或 $R \times 1$ 挡检测输出继电器 J_2 的常开触点能否可靠闭合与断开。

④信息反馈电路的调试。电路板 [1] 调试好后, 把两块电路板拼接起来, 电路的输入端 L_1 、 L_2 两点仍接在电话线上, 拿起听筒监听, 将音乐片的触发端 (也就是二极管 D_1 、 D_2 的负极) 与电

源正极碰触，听筒里应能听到音乐片发出的声音，待出现忙音后，用按键来操纵继电器的吸合或释放。继电器每次动作，从电话听筒里都应能听到音乐片的声音。改变电容器 C_9 和 C_{10} 的大小，可以改变发音时间的长短，电容越大，发音时间越长，可视具体需求调整其大小。另外耦合变压器B绕组两端的次序对发音大小有一些关系（以两个绕组流过的直流分量所产生的磁通互相抵消为好），试验时可对调原边或副边绕组的两端接线，取较满意的一种。

⑤模拟摘机/挂机电路的调试。先不要插上定时器芯片555，用一小段硬导线插入其插座将第③、④两脚短接，去除继电器 J_1 两对触点的短接线。在通电状态下，将三极管 T_5 的集电极和发射极短接一下（或者将 T_4 的集电极和发射极短接一下），继电器应立即可靠吸合并保持，且 T_5 集-射结电压不大于0.4V， T_4 集-射结电压不大于1V。如果继电器吸合后不能保持，应首先检测三极管 T_6 是否处于截止状态，检查的方法是测量二极管 D_6 、 D_7 、 D_8 的阴极电位，应至少有一处约为0V，测量其阳极（F点）电位应小于1V。

提起电话机话筒，按住“*”键，二极管 D_6 、 D_7 、 D_8 的阴极电位应均为高电平，三极管 T_6 应饱和导通， T_4 、 T_5 截止，继电器释放。

将上述调试步骤重复2~3遍。

⑥振铃检测电路的调试。将光耦合器LE的二次侧三极管C、E两极短路约1~2s，继电器 J_1 应吸合。

提起电话机听筒，在拨号音状态下（ J_1 应处于释放状态），向电信局拨“电话振铃检测号码”。拨完后放下话筒挂断电话，则程控交换机能自动向该用户线路送来振铃信号，但这种振铃信号与正常的振铃信号有些区别。正常的振铃信号是响1s停4s，而这种专供检验电话机的振铃信号是不停顿的，待电话机铃响数秒，继

电器 J_1 应能吸合。(电话振铃检测信号有些电信局或有些线路没有提供。福州市该项特殊服务号码为 144, 电话在提机状态并听到拨号音时, 拨“144”号码, 然后把话机挂断, 该电话机即能连续振铃)。

约定一位朋友用户, 请对方拨正在实验的这条线路的电话号码, 在听到电话机振铃约 7~8 声后继电器 J_1 应吸合。 J_1 过早吸合会影响正常电话的使用, 通过调整电阻 R_{17} 或电容 C_{13} 可以满足这一要求, 增大 R_{17} 或 C_{13} , J_1 吸合推后, 反之 J_1 吸合提前。

⑦定时电路的调试。去除定时芯片 555 插座上的短路跳线, 插入芯片 555, 接通电源。这时 555 电路仍未得电, 用万用表监测 555 输出端③脚电位, 将“摘/挂机”电路中的三极管 T_4 的 C-E 极短接, 这时继电器 J_1 吸合, 555 电路得电。555 应在得电的同时立即进入暂态, ③脚输出应立即为高电平(约 3~4.5V), 等待大约 20~30s, 555 电路翻回稳态, ③脚跳回低电平。在暂态过程中, 若用数字万用表测量 555⑥脚电位, 可见其逐渐升高, 当升到三分之二的电源电压时, 555 翻转(不能使用普通指针式万用表测量 555 的⑥脚电位, 因其内阻不够大, 当接入测量点时已改变了电路的实际状况, 致使⑥脚电压不能正常上升甚至永远也无法升至 2/3 电源电压值)。在 555 翻回稳态时, 去除 T_4 的 C-E 短接, 继电器 J_1 应释放。上述过程应反复试验 2~3 次。

将光耦 LE 的二次侧三极管 C-E 短接至听到 J_1 吸合声即立刻松开。继电器应保持, 等待约 20~30s, J_1 释放。该步骤也要反复 2~3 次。定时时间由 R_{26} 或 C_{17} 调整, 它们的值越大, 定时时间越长, 电容 C_{17} 应选用质量好、漏电小的电解电容, 最好选用钽电容。

⑧实际运行实验。经过上面各步调试与实验, 现在可以进行实际运行实验了。约定几位不同地区的朋友, 用他们的电话机对该遥控电路进行操纵, 观察各项动作是否符合要求。

第三章 红外遥控原理与实验

红外遥控是以红外线作为载体来传送遥控命令的。红外线的波长介于红光和微波之间， $0.77\sim 3\mu\text{m}$ 为近红外区， $3\sim 30\mu\text{m}$ 为中红外区， $30\sim 1000\mu\text{m}$ 为远红外区。红外线在通过云雾尘埃等充满悬浮粒子的物质时不易发生散射，有较强的穿透能力，还具有不易受干扰，易于产生等优点，因此被广泛用于遥控装置。

一、红外发射器件及其驱动电路

(一) 红外发射器件

红外发射（发光）器件是红外遥控装置中不可缺少的重要器件，也是一种发光二极管（LED）。但发光二极管有可见光波长的发光二极管和红外光波长的发光二极管——红外发光二极管（IR LED，全称 Infrared Light Emitting Diode），除各自的发光效率不同外，前者与人类的视觉灵敏度相匹配，后者与受光器件（接收器件）的灵敏度光谱相匹配，这是决定这些器件性能的重要因素之一。人类的视觉灵敏度在波长 555nm （纳米，即 10^{-9} 米）时为最高（这是绿色光的波长），在红色光波长 650nm 时大约降低 10% 左右，而在 780nm 以上时成为红外，人眼不能感觉，只能使用半导体光电材料制成的受光器件来检测。大多数的这种受光器件在波长 900nm 附近（近红外部分）灵敏度最高，在近红外区域，发光器件有 GaAs（镓、砷化合物）发光二极管、GaAlAs（镓、铝、

砷化合物)发光二极管和激光二极管,虽然激光二极管光束集中,方向性好,能量高度集中,但其价格昂贵,寿命又不及LED,因此应用场合有所局限。在家用电器等红外遥控的广泛应用中,普遍采用红外LED作为光发射器件。

与普通可见光LED相比,红外LED的发光效率高,即消耗的电功率转化为近红外光功率时,转化效率高。GaAs发光二极管的发光峰值波长常选940nm,采用环氧 \varnothing 5mm封装的成品在50mA的正向电流下发射的光功率 $P_o \approx 5 \sim 10\text{mW}$ 。流过电流为50mA时,其正向压降约为1.2V,在5V反向电压下反向电流小于 $10\mu\text{A}$ 。

GaAlAs红外发光二极管的发光效率比GaAs高许多, \varnothing 5mm环氧封装管在50mA下可发出的功率 $P_o \approx 8 \sim 15\text{mW}$,电流为50mA时正向压降约为1.35V。性能好的GaAlAs红外LED因其发光效率较高(约20%),输出光功率较大,近年来已开辟了许多新的应用领域。如在主动式近红外摄像系统中作为光源,在全黑的夜晚,不加任何照明,将几十个IR LED组成阵列作为红外光源将景物“照亮”(人眼看不见),使用对该波段灵敏的CCD摄像机便可以在电视监视器上看到清晰的图像,就如同在通常照明条件下摄取景像一样,因此可用于安全保卫和夜视系统中。

目前广泛应用于遥控的常用红外发射管的外形与普通圆形发光二极管相同,表3-1列出若干典型IR LED的主要参数。

(二) 红外发射二极管的驱动电路

在一些很简单的近距离(1~2m)红外遥控装置中,红外发射二极管使用了图3-1所示的接法。它仅仅通过一个限流电阻R和一个控制开关接到大小为“ U_+ ”的电源电路中。当K闭合时,有电流流经红外发射二极管使之发出红外光。在这种电路里,流过

表 3-1 几种 IR LED 的主要参数

型号	发射功率 P_o (mW) $I_F=50mA$	峰值波长 (nm)	U_F (V) $I_F=50mA$	材料	封装 (mm)	特点
L 5IR880A	9	880	1.45	GaAlAs	透明 $\varnothing 5$	高效高功率
L 5IR880B	12.25	880	1.45	GaAlAs	透明 $\varnothing 5$	高效高功率
L 5IR2	5	940	1.3	GaAs	透明 $\varnothing 5$	经济普通型
L 5IR3	7	940	1.3	GaAs	透明 $\varnothing 5$	经济普通型

红外二极管的电流是连续的，因此红外管连续工作，发出连续的红外光。但在绝大多数的实用电路中，需对开关 K 进行快速的通断控制，使红外管不连续工作，发出的是断续的红外光，其目的有两个：其一是断续工作时红外二极管承受的瞬间电流可以较大，设红外二极管所允许的平均正向电流为 I_F ，用图 3-1 电路，必须调整限流电阻 R 使实际流过的电流小于 I_F ，

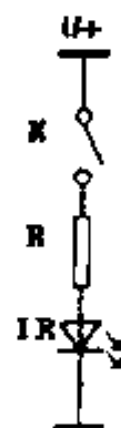


图 3-1 红外发射二极管基本接法
若采用断、续时间比例为 1:1 的方式工作，那

么在通电期间允许流过的电流可以达到 $2I_F$ 以上，这就使红外管发射功率增大，发射作用距离增大；其二是在实用电路中，需要传送的是脉冲编码信号而不是连续的单值信号。在图 3-1 电路中，使用机械开关 K 无法满足快速通断的需求。

1. 晶体管的开关作用

让我们来考察图 3-2 的电路。在 (a) 图中，开关 K 合上时，流经开关 K 的电流 $I_K = E/R$ ，K 两端的电压降 $U_K = 0$ 。而当 K 断开时， $I_K = 0$ ， $U_K = E$ 。图 (b) 中，根据三极管的输出特性知，当

三极管 T 处于饱和区时, $U_{CE} \approx 0$, $I_C \approx E/R$, 而当 T 处于截止区时, $I_C \approx 0$, $U_{CE} \approx E$ 。为方便比较, 将上面分析结果列于表 3-2, 观察表的

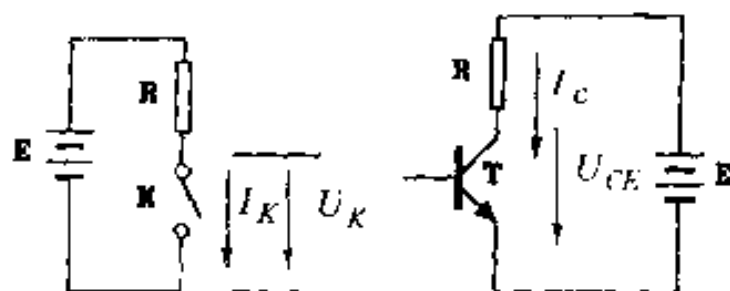


图 3-2 晶体管的开关作用

的第 3 行、第 4 行可知, 三极管 T 饱和时对电路所产生的效果与开关 K 闭合相当, 截止时对电路所产生的效果与开关 K 断开相当。由此可得出结论: 三极管可以取代开关 K, 而且具有其独特的优势: 没有机械触点因而“开、关”的速度可以很高; 没有机械触点因而不存在触点积垢、损坏等问题。

表 3-2 三极管与开关 K 的比较

三极管 T			开关 K		
状态	I_C	U_{CE}	状态	I_K	U_K
饱和	E/R	0	闭	E/R	0
截止	0	E	断	0	E

2. NPN 管驱动电路

图 3-3 (a) 所示为 NPN 管驱动红外发射管的电路, 使用控制信号 U_K 来控制三极管的导通和截止, 从而达到控制红外管发射或不发射的目的。设计该电路的主要内容是确定限流电阻 R 和偏流电阻 R_B 的取值, 设红外发射二极管的最大正向电流 (查数据手册) 为 I_F , 则令 $I_C = I_F$:

$$R = (U_+ - 0.3 - 1.3) / I_C \dots\dots\dots 3.1$$

其中 0.3V 为三极管的饱和管压降 U_{ces} ; 1.3V 为红外发射管的导通管压降; 该 I_F 值是平均电流值。因此若红外发射管以通、断比 1:1 的方式工作时, 可取 $I_C \approx 2I_F$ 代入式 3.1 计算 (根据红外发射

管的短时间过流特性，流过红外发射管的脉冲电流实际上可取大于 $2I_F$ ），但切忌三极管总处于饱和状态，否则可能烧坏红外管甚至三极管。 R_B 的选取应使得当 U_K 为高电平期间注入基极的电流 I_B 足够大，以使三极管进入饱和区， I_B 取值原则如下：

$$I_B = (U_{+} - U_{BE}) / R_B > I_C / \beta \dots\dots\dots 3.2$$

其中 I_C 已在前一个步骤中根据 I_F 选取； U_{BE} 为三极管的基-射结导通压降，取 $0.7V$ ； β 为三极管的电流放大系数，一般只能取 50 倍左右较为可靠。该电路 U_K 为低电平时应小于 $0.5V$ ，才能使三极管可靠截止。三极管主要根据最大集电极电流 I_{CM} 选取，一般取 $I_{CM} > 2I_F$ 。

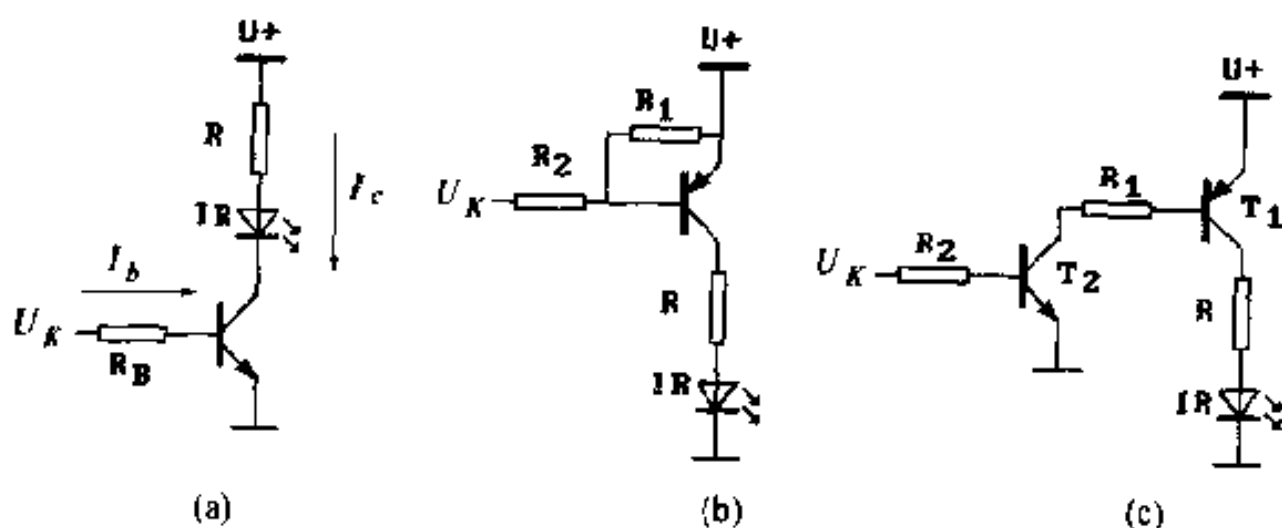


图 3-3 红外发射管的三种驱动电路

3. PNP 管驱动电路

图 3-3 (b) 是使用 PNP 管驱动的一种电路，限流电阻及三极管按前面方法选取。这个电路中偏流电阻 R_1 和 R_2 的选取至关重要，若选取不当电路将不能工作。 R_1 和 R_2 可按下面的方法估算，为清晰起见，先把图 3-3 (b) 改画成图 3-4 形式，要求控制信号 U_K 为高电平 U_{KH} 时，三极管截止，也就是

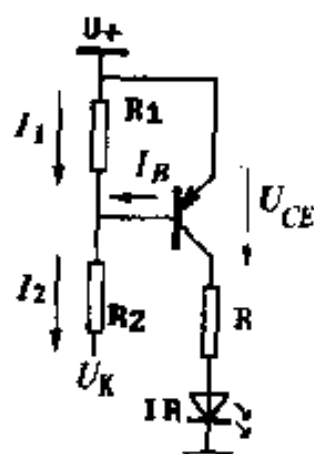


图 3-4 图 3-3(b) 的另一种画法

R_1 两端所分得的电压应小于 $0.5V$ ，由图3-4可得：

$$R_1 \times (U_+ - U_{KH}) / (R_1 + R_2) < 0.5 \quad \dots\dots\dots 3.3$$

而当 U_K 为低电平 U_{KL} 时 (取 $0.5V$)，三极管应饱和，因此要求三极管未接入时 R_1 上所分得的电压应在 $0.8 \sim 1V$ 左右，由此可得：

$$\begin{aligned} & R_1 \times (U_+ - U_{KL}) / (R_1 + R_2) \\ & = R_1 \times (U_+ - 0.5) / (R_1 + R_2) > 0.8 \quad \dots\dots\dots 3.4 \end{aligned}$$

联立式 3.4 和 3.3 可以得到：

$$0.5 / (U_+ - U_{KH}) > R_1 / (R_1 + R_2) > 0.8 / (U_+ - 0.5) \quad \dots\dots 3.5$$

根据上式，结合经验初步选取 R_1 和 R_2 ，使它们的比例符合上式要求。然后再验算在 U_K 为低电平 U_{KL} (取 $0.5V$) 时，流过三极管基极的电流 I_B 是不是能够使三极管饱和，如果不能，应适当减小 R_2 值，并依据式 3.5 的比例分配关系重新选择 R_1 和 R_2 。验算能否饱和的算式如下：

$$\begin{aligned} I_B &= I_2 - I_1 \\ &= \frac{U_+ - 0.7 - U_{KL}}{R_2} - \frac{0.7}{R_1} \\ &= \frac{U_+ - 0.7 - 0.5}{R_2} - \frac{0.7}{R_1} > \frac{I_C}{\beta} \quad \dots\dots\dots 3.6 \end{aligned}$$

其中 I_C 参照式 3-1 选取 ($I_C = I_F$ 或 $I_C = 2I_F$)， β 取值不应大于 50。

在这个电路中，电源电压 U_+ 与控制电压的高电平值 U_{KH} 若相差较大，则难以满足上面的要求。在 TTL 逻辑电路中， U_K 高电平值小于 $5V$ ，受此限制，电源电压 U_+ 也只能限制在大约 $5V$ 左右。

4. NPN-PNP 复合驱动电路

图 3-3 (c) 的驱动电路有较好的功能，只要取较小的控制信号电流就能给出较大的驱动电流，保证三极管 T_1 能进入饱和区。例如设红外发射管发射电流取 $100mA$ ，以 T_1 的放大系数为 50 计算，其基极电流 I_{B1} 只要取 $100/50 = 2mA$ 即够，若 T_2 的放大系数也取 50，那么只要 T_2 的基极电流 I_{B2} 大于 $2mA/50 = 0.04mA$ 即

可，由此可以计算出 T_2 偏置电阻 R_2 ：

$$R_2 < (U_{KH} - 0.7) / I_{B2} = (U_{KH} - 0.7) / 0.04 \dots\dots\dots 3.7$$

若取 $U_{KH} = 4.5V$ ，则 $R_2 < (4.5 - 0.7) / 0.04 = 95 (k\Omega)$ ； R_2 取值的下限只要求流过 T_2 的基极电流不会使基-射结烧坏即可，假设取 $R_2 = 2k\Omega$ ， $U_{KH} = 4.5V$ ，那么 $I_{B2} = (4.5 - 0.7) / 2 = 1.9 (mA)$ 。这个值是绝对安全的，因此 R_2 的取值有很大宽容性，应用时完全不必计算，仅凭粗略的经验，任取 $2 \sim 10k\Omega$ 均可。对于 R_1 ，其作用也仅仅是为了限制 T_1 的基极电流（也是 T_2 的集电极电流），使 T_1 或 T_2 不被烧坏即可，因而可随意取 $1 \sim 2k\Omega$ 均可。限流电阻 R 的选取与前面相同。该电路对电源 U_+ 的大小没有 (b) 图中的那种限制。

二、红外接收器件与电路

(一) 红外接收器件

红外接收器件是一种光电子器件，它的作用是将所接受的红外光转换为电信号。能够将其他各类物理量转换为电信号的器件通常称为传感器、换能器，因此红外接收器件也可称为红外线传感器。目前，光电子器件已有许多种类，在红外遥控中常用到的红外接收器通常有光电二极管、光敏三极管和 P-I-N 光电二极管，下面分别作简要介绍。

1. 光电二极管

光电二极管也是一个 PN 结，其基本工作原理基于半导体中的光生伏特效应。即：在 PN 结以及肖特基结等结构中，由于存在内建电动势垒（有关 PN 结的论述请参阅其他有关书籍），在受到光照时，若 PN 结的两端用导线连接成回路，便有光电流流经这一

外接回路，即使没有外加偏压，PN 结自身也会产生一个光生电动势，

这种光电效应称为光生伏特效应。光电二极管按其工作模式又可以

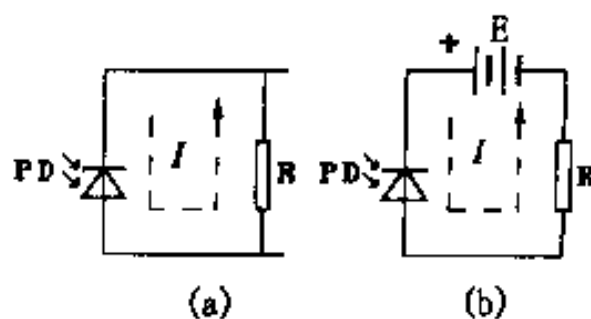


图 3-5 结型光电二极管的工作模式

分为光电导(光导)模式和光伏模式，图 3-5 简单说明了这两种模式的划分。图 (a) 为光伏模式，光电二极管在无外加偏压下工作，光照时能产生一定极性的电流 I 流过外电路电阻 R ；图 (b) 为光导模式，光电二极管在外加反偏压下工作，未加光照时只有很微弱的反向漏电流（暗电流），光照时产生光电流。光导模式光电二极管加反向偏压，增厚了耗尽区的宽度因而减小了结电容，使频率特性得以提高，短波端灵敏度提高，但暗电流噪声较大，相比较而言光伏模式的光电二极管噪声小，因而有较高的信噪比。

普通硅光电二极管的使用波长范围为 $400\sim 1\ 050\text{nm}$ ，红外增强型可延长到 $1\ 150\text{nm}$ ，峰值波长（也就是灵敏度最高的波长）在 900nm 附近，应用者使用时须选用相同波长的发射管和接收管才能取得最大灵敏度。

红外遥控装置中常使用的波长约为 940nm 左右。

2. PIN 光电二极管

为提高灵敏度和响应速度，在 PN 结光电二极管的结构中插入一层高阻“ I 层”材料，形成 PIN 三层二极管。此结构的特点是 I 层耗尽区很宽，结电容很小，因此响应速度比普通 PN 结光电二极管快很多，上升时间约短两三个数量级。这种光电二极管是目前红外遥控装置中最普遍使用的，其典型代表 PH302 就是目前许多电视遥控器中所采用的红外接收器件。在红外遥控信号接收装置中，红外光接收器件 PIN 光电二极管是一个关键性器件，其特

性直接影响红外遥控系统的遥控距离和指向性等技术指标，要求PIN 光电二极管具有光灵敏度高、暗电流小、快速响应特性好、指向性宽、能滤除可见光等优点。

3. 光敏三极管

光敏三极管（光电三极管、光电晶体管）的结构模型可用图 3-6 (a) 的等效电路来示意，它可以看做是 BC 结上并联了一个光电二极管的普通三极管，该光电二极管在光照下产生的光电流 I_{LD} 就

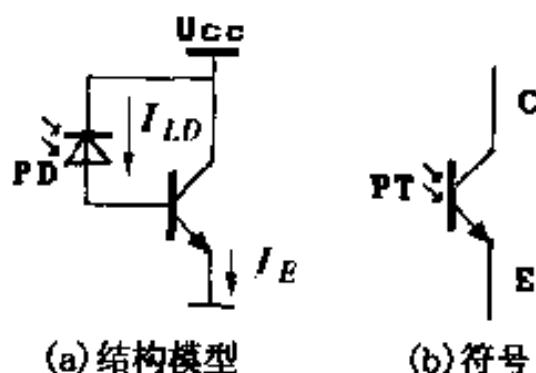


图 3-6 光敏三极管的结构模型及符号

是三极管的基极电流。由于晶体管的电流放大作用，发射极电流

$$I_E = (1 + \beta) I_{LD} \dots\dots\dots 3.8$$

此即为光敏三极管的光电流，它比光电二极管能输出的光电流要大得多，因而具有较高的灵敏度。光敏三极管习惯上用图 3-6 (b) 的符号来表示，几种典型的光电器件的主要参数列于表 3-3 和表 3-4。

表 3-3 几种近红外硅光敏二极管主要参数

型号	响应光谱 (nm)	光电流 (μA)	暗电流 (nA)	反压 U_R (V)	封装 (mm)
2CU33IR	700~1100	>50	<5	>30	7×7.6, 黑色
2CU35IR	700~1100	>25	<5	>30	5×7.6, 黑色
2CU50IR	700~1100	>10	<10	>30	∅5, 黑色, 凸镜

表 3-4 几种近红外硅光敏三极管主要参数

型号	响应光谱 (nm)	光电流 (mA)	暗电流 (μA)	反压 U_{CEO} (V)	P_{cm} (mW)	封装 (mm)
3DU030IR	700~1050	>2	<0.1	>30	100	∅3, 黑树脂, 凸镜
3DU050IR	700~1050	>4	<0.1	>30	150	∅5, 黑树脂, 凸镜

(二) 红外接收放大电路

红外接收器件接收到的光信号一般均较微弱，因此无论是光电二极管还是光电三极管，它们所输出的光电流信号都很微弱，需要进一步的放大才能实现遥控功能。根据遥控距离的不同，有多种的放大电路形式可供选择，下面介绍几种有代表性的放大电路。

1. 由分立元件组成的简单放大电路

图 3-7 (a)、(b) 是最简单的两种放大电路，(a) 图使用光电二极管为红外接收器件；(b) 图使用光敏三极管为红外接收器件，它比前者具有较高的灵敏度。这两个图中，选取 R_c 值是否合适很重要，选取原则是：

当无光照射时，红外接收器件 PD 或 PT 仅有暗电流流过，由表 3-3 和 3-4 可以得到有关参考数据。暗电流在 $0.1\mu\text{A}$ 以下，假设取 $0.1\mu\text{A}$ ，三极管放大倍数取最大值 $\beta=150$ ，那么

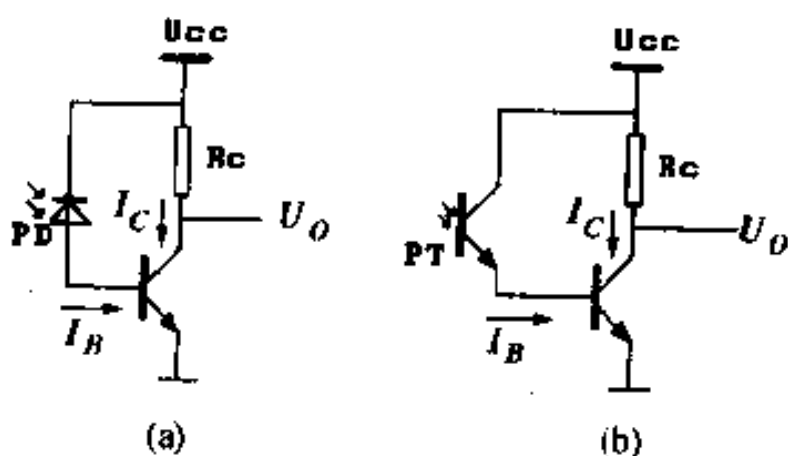


图 3-7 简单的红外接收放大电路

集电极电流 $I_c = \beta \times I_B = 150 \times 0.1 = 15 (\mu\text{A})$ 。这时电源电压扣除在 R_c 上的压降，集电极电压 U_o 应能取到“高电平”值，例如 $U_{cc} = 5\text{V}$ ， U_o 应至少在 3.5V 以上，即 R_c 上的压降应小于 1.5V 。则应有 $R_c < 1.5/I_c = 1.5/0.015 = 100 (\text{k}\Omega)$ ；

当有光照时，PD 或 PT 上有光电流产生，所形成的 I_B 应使三极管饱和，集电极电压 U_o 为低电平 (0.5V 以下)。 R_c 取值大，有利于饱和，有利于电路灵敏度的提高，因此在满足前一个条件的情况下取大一些可得到较高的灵敏度，例如图中取 $R_c = 47\text{k}\Omega$ ，那

么三极管饱和电流 $I_{CS} \approx U_{CC}/R_c = 5/47 \approx 0.11$ (mA), 需要注入多大的基极电流才能得到这个 I_C 值呢? 设取最小值 $\beta = 50$, 那么 $I_{BS} = 0.11\text{mA}/50 \approx 0.002\text{mA} = 2\mu\text{A}$, 也就是说, 光照只要使 PD 或 PT 产生 $2\mu\text{A}$ 以上的光电流就能使三极管进入饱和。

图 3-8 (a)、(b) 使用了两个三极管, 它们的连接方法称为复合方式 (复合管), 又称达林顿方式 (达林顿管), 它们具有比单管大得多的放大倍数。 T_1 的基流 I_{B1} 被放大后形成发射极电流 $I_{E1} \approx \beta_1 \times I_{B1}$, 该电流没有别的去路, 只能流入 T_2 的基极形成 I_{B2} , 又被 T_2 放大了 β_2 倍。因此 T_2 的集电极电流 $I_{C2} = \beta_2 \times I_{B2}$, 因 $I_{B2} = \beta_1 \times I_{B1}$, 所以 $I_{C2} \approx \beta_1 \times \beta_2 \times I_{B1}$, 可见图 3-8 比图 3-7 有更高的灵敏度。但值得注意的是, 放大倍数的提高对暗电流的放大作用同样也增大了, 为了确保暗电流所引起的 T_2 集电极电流不至于在

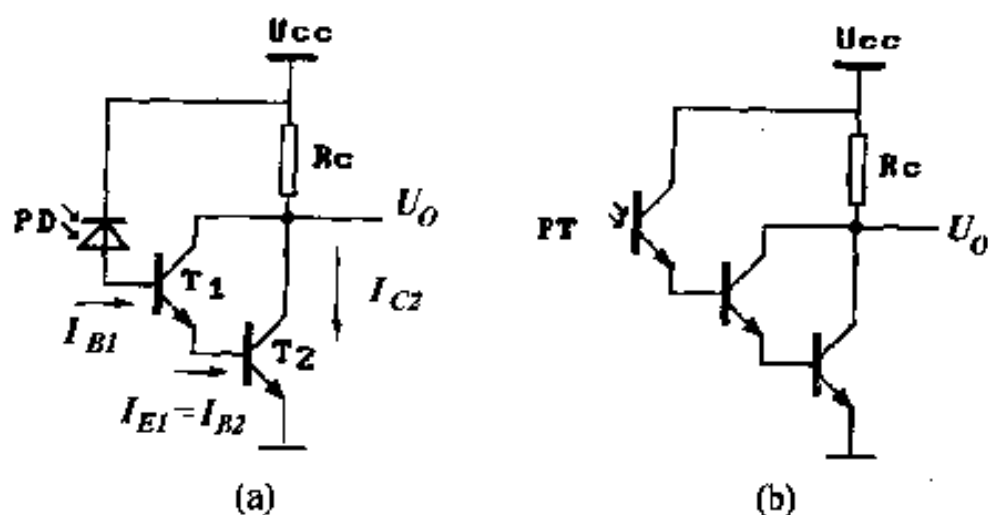


图 3-8 采用复合管的红外接收放大电路

R_c 上产生较大的压降, 就要限制 R_c 不能取较大的值。从这一方面看, 它制约了整个电路的灵敏度, 因此在上述的几个电路中, 一味地提高放大倍数是不恰当的。

2. 由集成运算放大器组成的放大电路

(1) 集成运算放大器简介

简单通俗地说, 运算放大器是一个高放大倍数的直流放大电路。作图时用一个倒放的等腰三角形来表示, 如图 3-9 所示。它的

输入端有两个，一个称反相输入端，标有“-”符号，另一个称同相输入端，标有“+”符号。三角形的顶点是输出端。还有两个电源端：正电源和负电源，正负电源的电压值相同。此外，大多数集成运算放大器有两个调零端。如图 3-13 示，①、⑤脚为调零端，通过调整电位器 R_w ，可以保证当两个输入端无信号时（都接地时），输出端电压 $U_o = 0V$ 。有时为了节省电源，只使用单电源工作，这种情况下应将负电源端接地，但无输入信号时无法使输出端 $U_o = 0V$ ， U_o 应调整为 $1/2$ 的 U_{cc} 值，这时放大器输出信号 U_o 的中心值与同相输入端电位相同，即为 $1/2$ 电源电压。

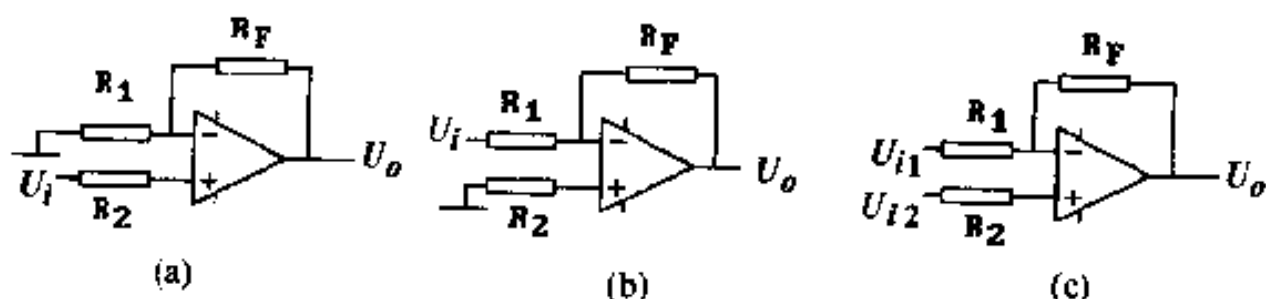


图 3-9 运算放大器的三种基本放大电路

(2) 基本比例运算放大电路简介

图 3-9 示出 3 种最基本的运算放大应用电路，图中未画出电源电路以及调零电路。

①同相比例运算放大电路。电路见图 3-9 (a)。 R_F 称为负反馈电阻，输入信号 U_i 从“+”端输入，输出信号 U_o 与 U_i 相位相同，即 U_i 变大时， U_o 也是按比例变大， U_i 减小时， U_o 也按比例减小，输入输出的关系为：

$$U_o = (1 + R_f/R_1) U_i \dots\dots\dots 3.9$$

式中 $(1 + R_f/R_1)$ 定义为该放大电路的放大倍数，由分析可知：

放大倍数（增益）大小与集成电路本身无关，它仅取决于外部电阻 R_f 与 R_1 的比值，因此这种放大电路比分立元件构成的放大电路有非常长足的优点，其放大倍数容易由计算确定，并能长

期相对保持稳定；

当 $R_f=0$ (短路时) 或者 $R_1=\infty$ (开路时), 放大倍数等于 1, 则输出等于输入, 作为跟随器使用, 跟随器常见接法如图 3-10 示。

②反相比例运算放大电路。电路见图 3-9(b), 输入信号 U_i 从“-”端输入, 输出信号 U_o 与 U_i 相位相反, U_o 与 U_i 的关系为:

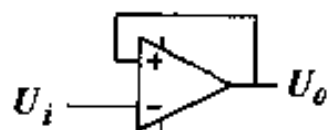


图 3-10 跟随电路

$$U_o = (-R_f/R_1) U_i \dots\dots\dots 3.10$$

其中 $(-R_f/R_1)$ 定义为放大倍数, 负号表示输入、输出反相。若只论大小, 则放大倍数为 R_f/R_1 , 由分析可知:

当 $R_f > R_1$ 时, 放大倍数大于 1, 电路成为一种放大电路;

当 $R_f = R_1$ 时, $U_o = U_i$, 输入、输出大小相等, 但相位相反, 称为“反号器”或“倒相器”;

当 $R_f < R_1$ 时, 输出小于输入, 成为一种衰减器。

③双端输入(差动)放大电路。电路见图 3-9(c), 有两个输入信号 U_{i1} 和 U_{i2} , 分别从“-”端和“+”端输入。设只有 U_{i1} 作用时 (U_{i2} 接地), 输出为 U_{o1} , 这时电路与图 3-9(b) 相同, 套用式 3.10 得: $U_{o1} = (-R_f/R_1) U_{i1}$ 。再设只有 U_{i2} 作用时 (U_{i1} 接地) 输出为 U_{o2} , 这时电路与图 3-9(a) 相同, 因此可以套用式 3.9, 得 $U_{o2} = (1+R_f/R_1) U_{i2}$, 于是利用叠加原理得总的输出为:

$$U_o = U_{o1} + U_{o2} = (1 + \frac{R_f}{R_1}) U_{i2} - \frac{R_f}{R_1} U_{i1} \dots\dots\dots 3.11$$

(3) 电压比较器简介

电压比较器的作用是用来鉴别某一未知的输入电压究竟是比某一已知的参考电压大还是小, 若比参考电压大则输出逻辑“1”/逻辑“0”, 若比参考电压小, 则输出逻辑“0”/逻辑“1”。图 3-11 是由运算放大器构成的电压比较器电路, 在“-”端接一个已知的参考电压(或称基准电压) U_R , 未知信号 U_i 由“+”端

输入，输出端的情况如图 3-12 所示，该图称为这个比较器的传输特性，横轴表示输入电压，纵轴表示输出电压。设参考电压取值如图中 U_R 处，那么当输入 U_i 大于 U_R 时，输出 U_o 总等于正最大值 $+U_{om}$ （接近正电源），当输入小于 U_R 时， U_o 值总等于负最大值 $-U_{om}$ （接近负电源）。可知，比较器的输出只有 2 个取值，要么最大值，要么最小值。

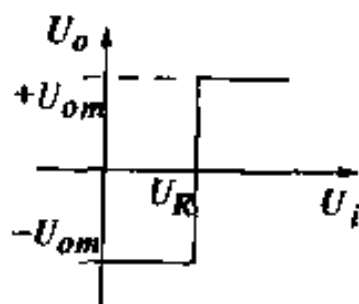
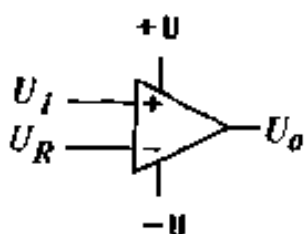


图 3-11 运算放大器作电压比较器

图 3-12 电压比较器传输特性

图 3-11 所示电压比较器由运算放大器构成，但现有多种专用比较器，例如 LM339。这类专用的电压比较器由单 5V 电源供电，输出高电平约为 5V，低电平约为 0V，符合 TTL 逻辑电平标准，容易与其他逻辑电路匹配，并且供电电源简单，也无需调零电路，因此被广泛采用。LM339 是一片 DIP14 脚封装的集成电路，引脚排列见附录 5，其内部包含了 4 个独立的电压比较器，引脚图中分别用下标 1~4 来区别。

(4) 集成运算放大器组成的红外接收放大电路

图 3-13 为用集成运算放大器 $\mu A741$ 组成的红外接收放大电路，用电压比较器进行幅度鉴别和整形。 $\mu A741$ 接成图 3-9 (a) 所示的同相比例放大电路，放大倍数决定于 R_f 与 R_1 的比例。红外接收器件——光电二极管 PD（或使用光敏三极管 PT）在无红外光照时，只有极小的暗电流流过 $100k\Omega$ 电阻，其两端所生成的电压也很小，这时调节“调零”电位器 R_w 使 $\mu A741$ ⑥脚输出电压 U_o'

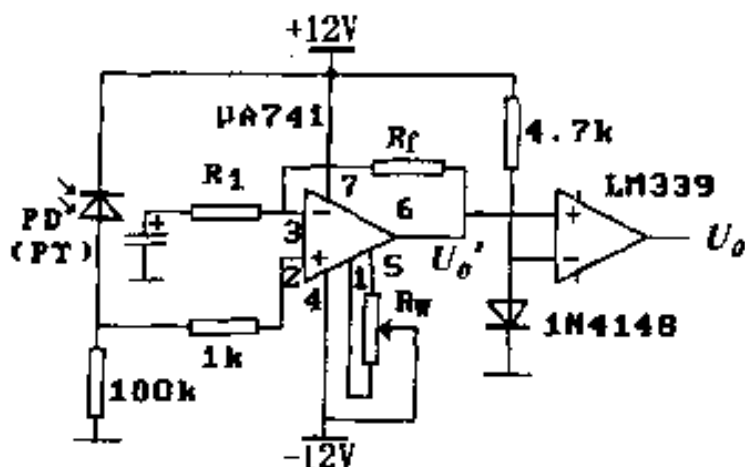


图 3-13 由运算放大器组成的红外接收放大电路

$=0V$ 。当有红外光照 PD 或 PT 时，光电流使 $100k\Omega$ 电阻上的电压增大，通过 $\mu A741$ 放大， U_o' 增大。LM339 是一电压比较器， $4.7k\Omega$ 电阻和二极管 1N4148 组成一个基准电压，因为二极管处于正向导通状态，其两端压降被稳定在 $0.7V$ ，所以 LM339 “-” 端的电压总保持为 $0.7V$ 。当 U_o' （即“+”端电压）高于 $0.7V$ 时，LM339 的输出电压 $U_o \approx +5V$ ；当 U_o' 低于 $0.7V$ 时， $U_o \approx 0V$ ，这一作用也相当于又把较小的 U_o' （只要大于 $0.7V$ ）放大到近 $5V$ ，而 U_o' 小于 $0.7V$ 时统统视为 $0V$ 处理，因此常常又可以把 $0.7V$ 这一电压称为该比较器的阈电压。

(5) 脉冲红外光接收放大电路

前面所举例的几种放大电路，无论是用分立元件构成还是用集成运算放大器构成，都不能把放大倍数做得很大，这是因为放大电路中存在着“零点漂移”的现象。关于零点漂移，可以结合图 3-14 和图 3-15 来说明。图 3-14 放大电路，为了取得较大的放大倍数，用两级放大电路构成，前后级之间的

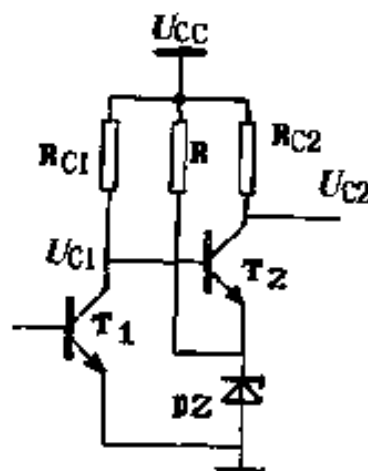


图 3-14 直流耦合放大电路

联系采用直接耦合方式，也就是第一级的输出 U_{o1} 直接接至第二级

的输入。我们知道，半导体元件的参数稳定性较差，例如穿透电流 I_{CEO} ，温度每升高 10C ， I_{CEO} 就增加 1 倍。这一电流变化使 R_{c1} 的压降改变，因而 T_1 集电极电位 U_{c1} 随之变化，该变化又被送入后级基极，继续被后级

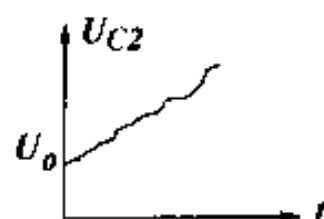


图 3-15 零点漂移

放大，结果体现在 T_2 集电极的电位变化就比较可观。放大倍数越大，表现在最后一级输出端的变化也就越大，这一变化就称为“零点漂移”。它使输出偏离了原来应有的数值，这种偏离不是由于输入信号作用的结果，而是半导体元件自身的缺陷所造就的。当有信号输入时，被放大的信号与漂移电压同存于输出信号之中，致使真伪不能区分。

如图 3-15 所示，当 $t=0$ 时设 $U_{c2}=U_0$ ，但随时间推移， U_{c2} 并不保持恒值—— U_0 ，而是忽快忽慢地往上爬升。这种“零点漂移”现象在运算放大电路中也同样存在，放大倍数大的时候不可忽视，因此在前面介绍的几种放大电路，只能在一些很简单的、收发相距很近（ 0.5m 以内）的、干扰源少的场合使用。在更广泛的应用中，它们实际上没有实用价值。

为了解决放大倍数与零点漂移之间的矛盾，必须使用交流放大电路以取得高的放大倍数，级与级之间的耦合通过电容实现。由于电容具有隔断直流、传递交流的特性，因而极为缓变的零点漂移信号，各级自身虽仍有存在，但不会通过电容传递到后一级被放大，而动态信号（交流信号）则可较顺利地从前级送到下一级继续放大。换言之，也就是说电容器能够区别对待交流和直流信号，从而解决了放大倍数和零点漂移的矛盾。

图 3-16 所示为由两级运算放大器和一个电压比较器组成红外光脉冲接收放大电路。第一级运算放大器担任前置放大，放大倍数由 R_5 和 R_3 的比例确定， C_2 引入高频成分负反馈以抑制高频

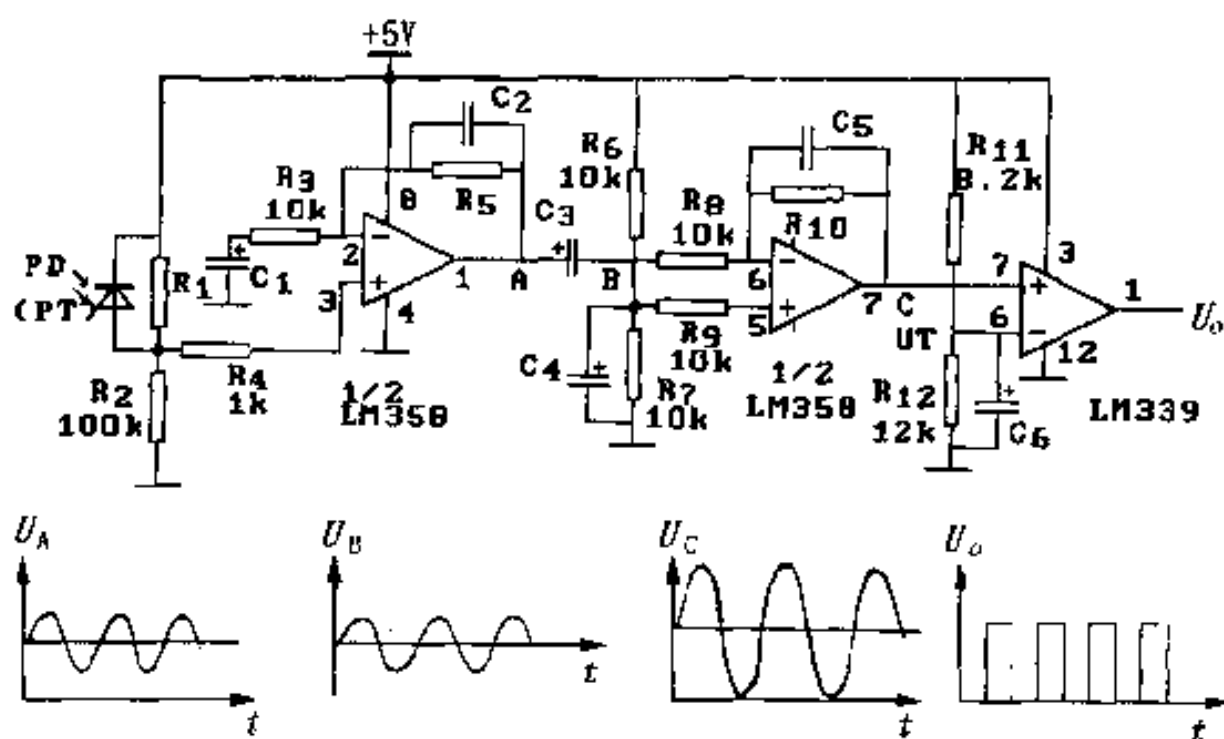


图 3-16 脉冲红外接收放大电路

干扰， C_1 作用是使 R_3 交流接地。该运放采用 LM358 集成电路，内部包含两个独立、相同的器件，引脚排列见附录 5。该运放原设计为双电源（正、负电源）工作方式，为简化电源电路，现只使用单电源工作，必须把同相输入端——③脚的静态电位设置为电源电压的 $1/2$ ，即 $2.5V$ ，这可通过调整 R_1 和 R_2 的比例来实现。这样，输出端——①脚的静态电位亦为 $2.5V$ 。当光接收元件光电二极管 PD（或使用光敏三极管 PT）受脉冲光照射（即间断地受光）时，①脚的电位即能在原来静态值的基础上变大或变小，形成如图 3-16 中所标示的波形 (U_A)，经过电容 C_3 的隔直作用，去掉了直流成分，波形的中心位置移到了横轴处 (U_B)。该交变信号被送入第二级进一步放大，在⑦脚输出的波形又是以静态值（约 $2.5V$ ）为中心的波形，形状与①脚波形相似，只是幅度增大了。这一波形的形状并不规整，其一是上升或下降的边沿不陡峭，其二是由于光电器件受光强弱不一致因而放大后的波形幅度也不可能一致，因而必须予以整形。这一任务由电压比较器 LM339 来完成。

成，比较器的阈电压 U_T （基准电压）由电阻 R_{11} 和 R_{12} 分压确定，由图中知：

$$U_T = 5 \times R_{12} / (R_{11} + R_{12}) \approx 3 \text{ (V)} \dots\dots\dots 3.12$$

静态时，比较器“+”端电压约为 2.5V，该值小于 U_T ，比较器输出电压 $U_o \approx 0V$ ；当“+”端电压高于阈电压 U_T ， U_o 立即上升为约 5V，因而 U_o 端的波形是前后边沿陡峭的、幅度整齐的矩形波。

三、红外遥控信号的调制与解调

（一）实用红外遥控信号的组成

实用红外遥控中用以传递遥控信息的光脉冲波形如图 3-17 所示，其主要特点是：在 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ 期间，有脉冲光发生，且

光脉冲的频率较高（一般取 38~40kHz），在其余的时间段，没有红外光发生。另外，该波形里包含了两种信息，其一是 38~40kHz 的频率信息，其二是矩形包络信息。当接收电

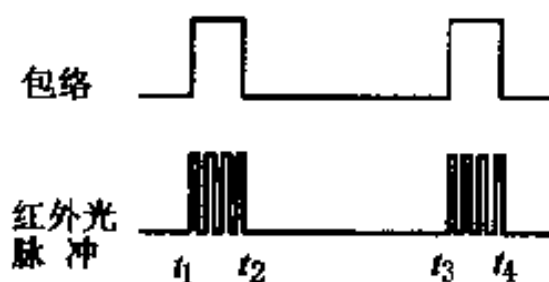


图 3-17 实用红外遥控信号波形

路收到这种波形的光脉冲信息并经光接收器转换为电信号后，对 38~40kHz 的频率信息进行放大，然后取出包络信息作为遥控命令。

为什么要采用上述波形的红外光来传送遥控命令呢？其主要原因大致有 3 个：

① 红外发射管在短时间内可以承受的工作电流要比其额定值大许多，因此让红外发射管发高频光脉冲比发恒定光信号的发射功率大。

② 为了提高抗干扰能力，在接收放大电路中，使用了“带通

滤波器”有选择地放大频率为 $38\sim 40\text{kHz}$ 左右的信号，对其他频率的信号则不予放大甚至给予抑制。理想带通滤波器的幅度-频率特性如图 3-18 (a) 示，横轴表示频率值，纵轴表示输出与输入之比值。在通带 B 内，滤波器的输出/输入比值为最大值，表明信号可以得到最大传输；在通带以外， U_o/U_i 值为零，表明这些频率的信号不能通过它。实际的带通滤波器，其幅-频特性如图 3-18 (b) 示，在通带以外频率的信号，不是完全不能通过，而只是随着偏离中心频率 f_0 越来越远，通过的信号分量也越来越少。带通滤波器可以由 RC 双 T 网络构成，也可以由有源滤波器（运算放大器配合若干个 RC）构成，也可以用 LC 并联谐振电路构成。

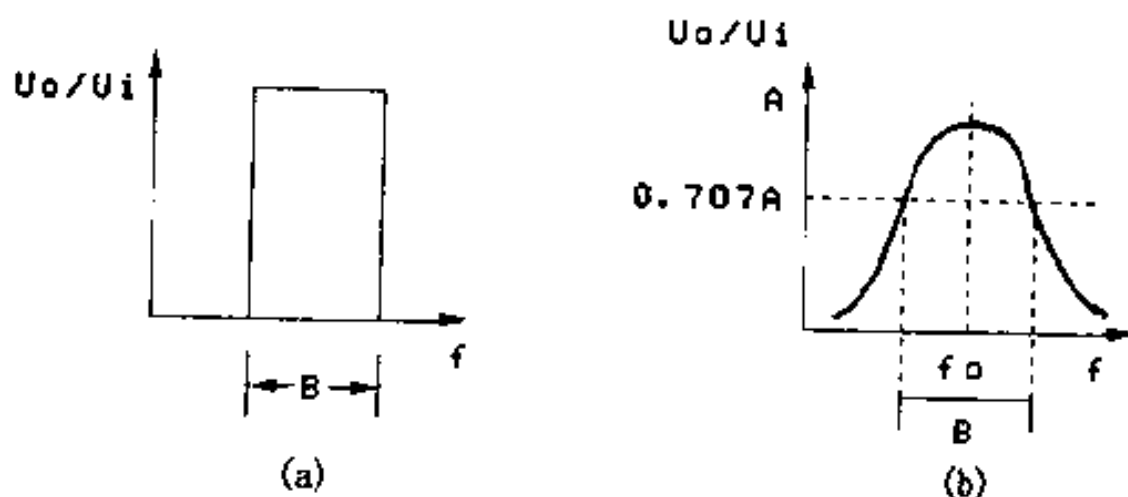


图 3-18 带通滤波器幅频特性

③这种动态信息可用交流放大电路进行高倍放大。图 3-17 中，高频光脉冲称为“载波”，包络称为“调制”信号，载波与包络相组合的波形（图中第 2 列）称为“已调波”。

(二) 红外信号调制电路

1. 振荡电路

如前所述，为了把遥控命令（调制波）以较大的红外光发射功率发射，并且有利于接收端用交流放大器放大以及抑制干扰，必

须使用高频(38~40kHz)的载波来载送遥控命令。能生成载波信号的电路称为振荡器。与无线电载波不同,这里的载波不使用正弦波而使用脉冲波,而且是单极性的脉冲波。

能产生矩形脉冲波的振荡器称为多谐振荡器,从数学分析的观点来看待矩形波,它可以分解为1个基波和 n 个谐波(1倍频、2倍频、3倍频…… n 倍频, $n=\infty$),由于包含有许多丰富的谐波,故而称之为“多谐”振荡器。

典型的多谐振荡器如图3-19示,它由两个与非门电路构成,振荡频率由 R 、 C 元件调节。当 R 与 C 的取值对称时,输出为方波;当 R 、 C 取值不对称时,可以得到不对称(高电平宽度与低电平宽度不相等)的矩形波。当使用TTL电路时,该电路 R

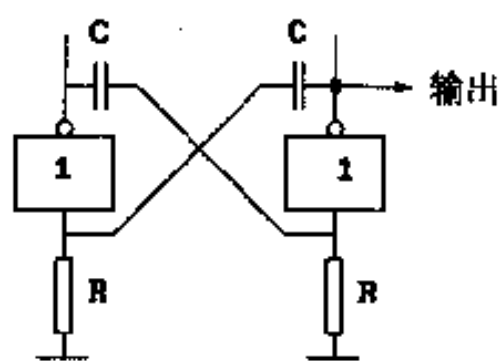


图 3-19 多谐振荡器典型电路

的取值不宜大于 $1k\Omega$,否则可能不能振荡。图3-20是由2个非门电路组成的一种实用型多谐振荡器,振荡频率 $f \approx 1/(2.2RC)$ 。这两种振荡器电路结构很简单,元件也很便宜,但 RC 的取值范围不能太宽。当要求振荡频率较低时, RC 取值必须较大,这时可能导致不能起振,另外图3-20振荡电路最好使用CMOS集成电路。

图3-21是由定时器集成电路555所组成的多谐振荡器。它具有比前几个电路较优越的性能,其一是其振荡频率调节范围宽,不易停振;其二是输出功率较大,输出最大电流可达 $200mA$,因此可以直接驱动红外发射管;其三是电源电压范围宽,可以在 $5\sim 15V$ 范围内工作;其四是振荡频率较稳定。但这种振荡器的输出波形高电平宽度与低电平度宽的比值不是 $1:1$ 关系,其高电平宽度 $TP_H \approx 0.7(R_1 + R_2) \cdot C_1$,而低电平宽度 $TP_L \approx 0.7R_2 \cdot C_1$,周期 $T = TP_H + TP_L$ 。该图中,一般可通过调节 R_2 和 C_1 的值来改变

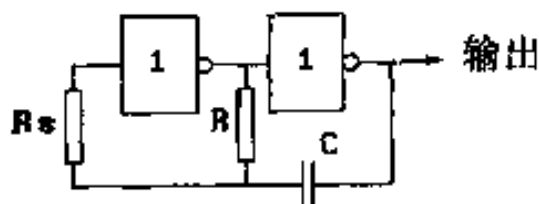


图 3-20 CMOS 反相器组成的多谐振荡器

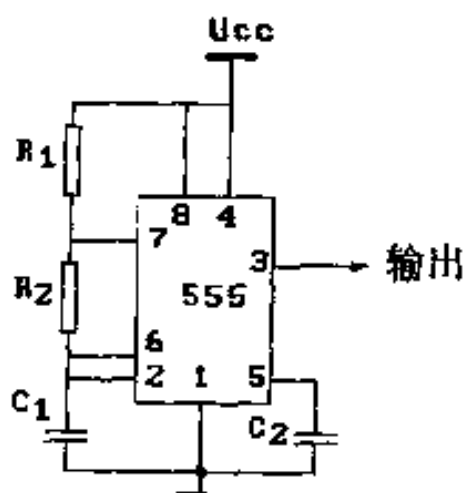


图 3-21 定时器 555 组成的多谐振荡器

振荡频率。红外载波不要求高低电平等宽，因此该振荡器是一种很实用的电路。

2. 调制电路

图 3-22 (a) 为一种常见的调制电路。它用一个与门电路来担任调制任务。这种调制过程很简单，实际上就是在载波通往驱动三极管的通路上设置了一个电子开关，当调制信号为高电平期间，载波信号可以通过，经过三极管驱动使红外发射管 IR 发射脉冲光；而在调制信号低电平期间，门电路关门，载波不能通过，三极管 T 截止，IR 不发红外光。关于载波、调制波、以及调制后的波形概况见图 3-23 中标示，其情况与第一章的图 1-3 相同。

图 3-22 (b) 是另一种实用的红外信号调制电路，基本工作原理是利用调制信号来控制载波振荡器的工作。由图知，当调制信号为高电平时， T_2 有基极电流产生，只要适当选取 R_1 (约取 $4.7k\Omega$)，可使该基极电流足够大，使 T_2 饱和。 T_2 的集电极电流就是 T_1 的基极电流，其大小此时取决于 R_2 的大小，适当选取 R_2 (约 $1k\Omega$)，能保证使 T_1 进入饱和区。于是电源电压就通过 T_1 加给振荡器，振荡器起振输出载波信号。而当调制信号为低电平时，

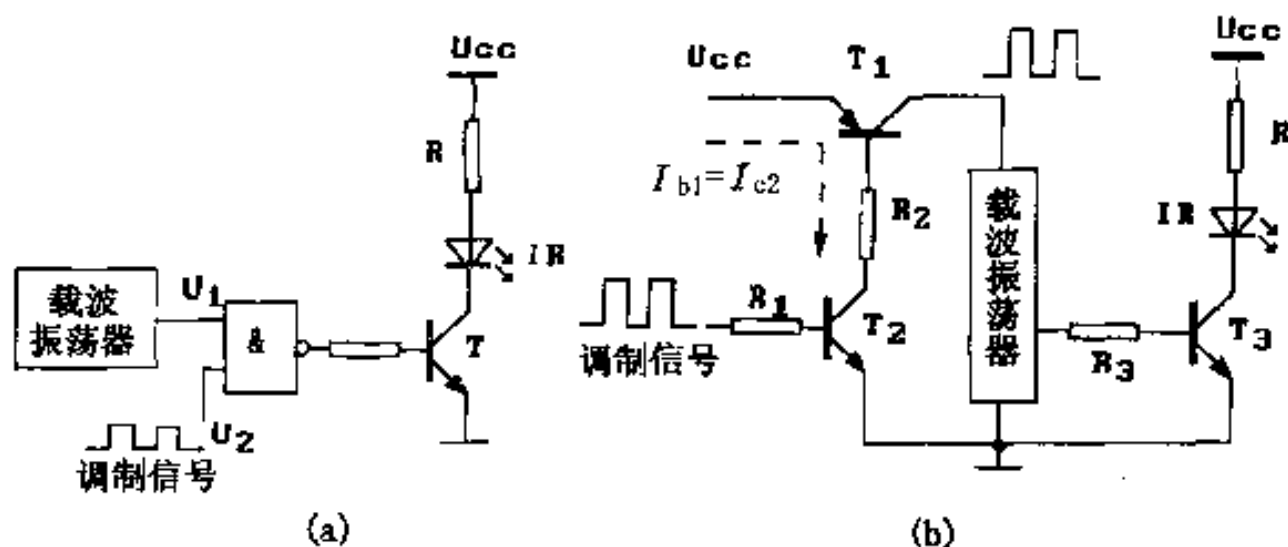


图 3-22 两种红外调制发射电路

T_2 不能得到基极电流而截止, T_1 也截止, 停止向振荡器供电, 振荡器不工作, 没有载波信号输出。

3. 实用红外调制发射电路的实验

【实验一】

(1) 电路原理分析

图 3-23 为实验电路原理图, 使用 G_1 和 G_2 两个 CMOS 与非门电路组成振荡器, 根据理论分析, 振荡频率约为 40kHz。

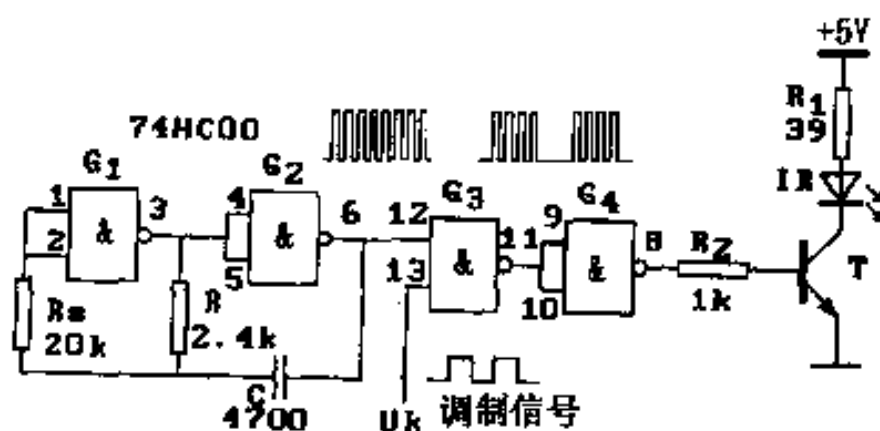


图 3-23 红外调制发射实验电路一

在调制信号 U_K 为高电平期间, 振荡输出的 40kHz 矩形脉冲, 经过 G_3 和 G_4 给驱动三极管 T 注入脉冲基极电流, 使之交替地饱和、截止, 则红外发射管就不断地发出 40kHz 的脉冲红外光, 把

“电载波”转换成了“光载波”。当调制信号 U_K 为低电平期间，门 G_3 关闭，振荡器输出的“电载波”信号不能通过，门 G_4 输出恒为低，于是 T 截止，IR 不发射红外光。因此 G_3 在这里承担了调制和缓冲的任务， G_4 起缓冲、倒相的作用。也许有的读者要问，为什么要使用 G_4 ，不用 G_4 岂不节省一个门电路吗？其原因有二：

①产生调制信号的编码器件，在不输出编码信号的时候（常态）输出应为低电平，即 $U_K=0$ 才能关闭门电路 G_3 ，这时要求三极管处于截止状态，红外发射二极管不工作。但 $U_K=0$ ，使 G_3 输出为高，需要用 G_4 倒相才能达到上述目的。设想如果没有 G_4 ，那么 G_3 输出的恒高电平使 T 总导通，发射管 IR 在“常态”下就有电流流过，而且流过的将不是断续的脉冲电流，而是连续的电流，可能造成 IR 过流而烧坏。另外，IR 的长时间工作使电源总处于较大的消耗之中，如果电路使用的是电池供电，那么电池必将很快耗尽。

②与非门集成电路 74LS00 内部包含了 4 个独立的与非门，除了其中两个用作振荡器，恰好剩余两个 (G_3 和 G_4) 用来构成一个与门电路。当然，对于另外一些编码电路，它们在常态（不发编码信号）时输出为高电平，那么这时就必须在 U_K 的通路上串入倒相器，确保不发编码信号时调制门 G_3 是处于关闭状态。

(2) 制作与实验

①元件选取。与非门电路选用 CMOS 集成电路 74HC00，74LS00 与 74HC00 的引脚及逻辑功能完全一样（引脚图见附录 5），可以互换使用。但改用 74LS00 后，输入电流比 CMOS 电路大许多，因此振荡频率有所改变，需调整电阻 R，并且输出的脉冲也不是方波。从 G_2 输出端看波形，高电平宽度约为低电平的 1.5~2 倍。另外应注意的是，改用 74LS00 后， R_s 的阻值应小于 $1k\Omega$ ，否则可能不会起振。红外发射管可任取 $\varnothing 5mm$ 圆形塑封普通发射管；三极管取 NPN 中功率管， I_{CM} 大于 $100mA$ ，例如选用 C9013

等；其余元件见图 3-23 标注。

②印刷电路板及安装要点。印刷电路板图示于图 3-24，为 1:1 焊接面透视图，图上标 U_k 处接调制信号，调制信号规格要求为 TTL 电平（即低电平对应 0~0.5V，高电平对应 3~5V），标有 IR 处接红外发射管，注意区别极性。另外，红外发射管发射的方向是其顶部所对准的方向，发射管顶部半圆形实际上是一个凸透镜，能把管芯所发出的红外线聚成一束平行光，以增强发射距离，因此安装时红外发射管一般不是立着安装，而是躺着安装的。

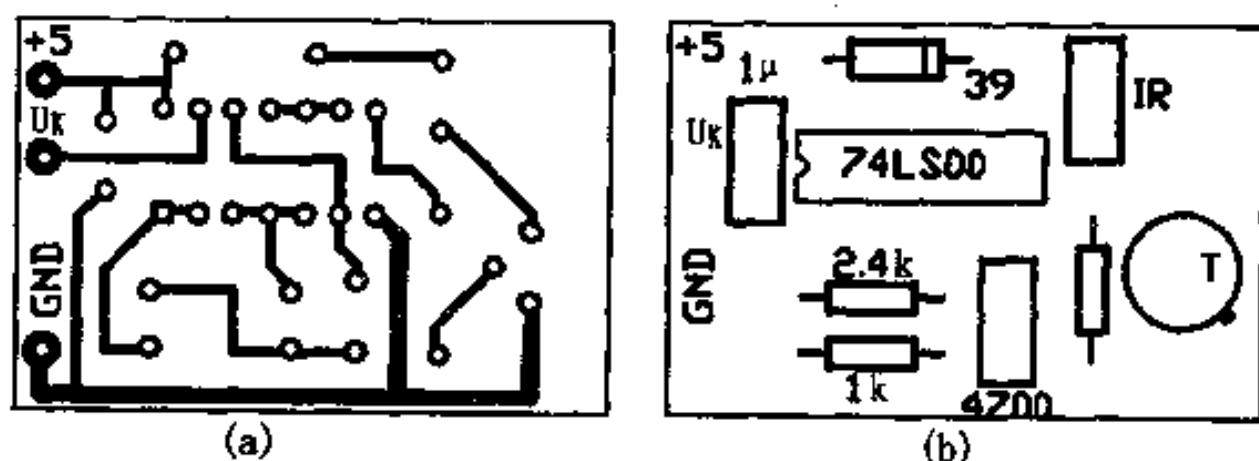


图 3-24 红外调制发射实验电路一的印刷电路板

③调试。

(a) 振荡电路的调试（以 74LS00 为例）。电路安装好以后，经外观检查确认无误，可直接插上集成块实验。接通电源，测量集成块的⑭脚与⑦脚间电压，其值应为 5V（⑭脚为正）。然后再测量与非门 G_2 的输出端（⑥脚）电位，其值应大约为 2.3V。若把与非门 G_1 的输入端（①或②脚）接地，⑥脚电位立即降为约 0V；若把 G_2 的输入端（④或⑤脚）接地，则 G_2 的输出（⑥脚）应立即升为高电平。如果几种状态能符合上面情况，则基本可以断定振荡器已起振。有条件的读者可用示波器观察 G_2 输出波形，该波形与第一章图 1-3 中的第 2 列所示的波形相类似，但高低电平宽度不一样，从⑥脚观察到的波形，高电平宽度大于低电平宽度。

(b) 调制电路的调试。用万用表直流电压挡监视与非门 G_3 的输出端 (⑪脚)。当 U_K 端悬空时, ⑪脚应约为 $1.3V$; 将 U_K 端接地, ⑪脚应为高电平。若测量与非门 G_4 输出端 (⑧脚), 应有类似结果。但 U_K 接地时, ⑧脚应为低电平, 这与⑪脚情况相反。若有条件用示波器观察⑧脚波形, 则当 U_K 端接地时波形消失, U_K 端悬空时波形出现。

(c) 驱动与发射电路的调试。为检验红外发射电路的发射作用, 必须有一个接收电路, 最简单的接收电路如图 3-25 (a) 所示。取一只光敏三极管, 一台指针式万用表置于 $R \times 1k$ 挡, 将黑表笔接光敏三极管的 C 极, 红

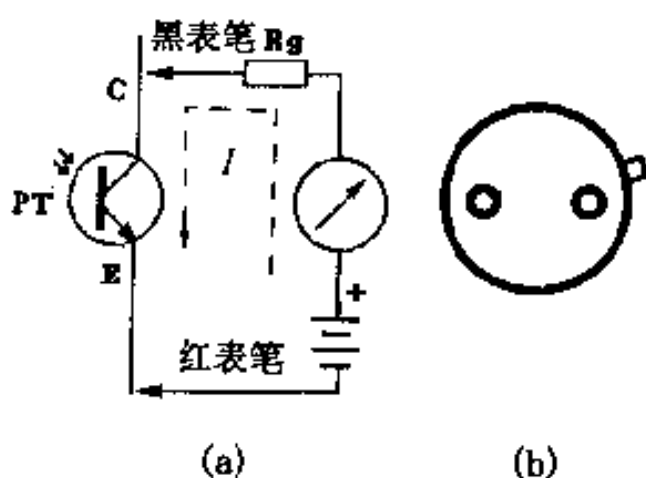


图 3-25 光敏三极管测量电路

表笔接 E 极。这时万用表的等效电路如图 3-25 (a) 示, 内部可归结为内阻 R_g 、表头、 $1.5V$ 或 $3V$ 的干电池, 黑表笔连至内部电池的正极, 而红表笔连至内部电源的负极。这时若有红外光照射光敏三极管, 回路里的电流 I 将增大, 表现为万用表指针顺时针方向摆动, 相当于黑、红两表笔外部所连元件的等效电阻减少。电路接好以后, 先使用自然光或电灯光 (光线要强一些) 照射光敏管, 看电路是否能起作用, 然后再用它来接收本实验中红外发射装置发射的红外光, 收发距离只能在 $20cm$ 以内, 而且发射管发射的方向要对准光敏三极管接收的方向。光敏三极管外形与普通圆形封装的三极管相似, 其底部只引出两个引脚, 其中靠近金属管壳“凸起”标记的那个引脚为发射极, 见图 3-25 (b)。光敏三极管顶部是一个玻璃凸透镜, 用以会聚所接收的红外光线, 以提高接收灵敏度。由于安装了该聚焦透镜, 因此方向性较强, 实验时应注

意这一点，仔细调整方向，同时应避开自然光的干扰（放在光线较弱的地方或背光之处实验）。当发射电路的 U_K 端悬空时，红外管发射红外光，光敏三极管若收到该红外光，则万用表指针应顺时针摆动。 U_K 端接地时，不发射红外光，万用表指针应回位。实验应反复若干次。

【实验二】

(1) 电路原理分析

图 3-26 是另外一种红外调制发射电路，定时集成电路 NE555 同时承担了振荡和调制、驱动工作。根据 555 的逻辑特性，当直接置“0”端①脚为低电平时，其

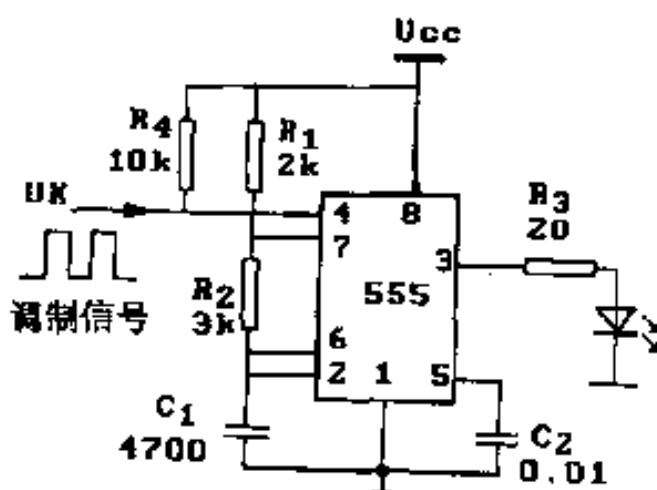


图 3-26 红外调制发射实验电路二

输出③脚恒为低电平；当④脚为高电平时，器件工作，按图中接法则形成一个振荡器。该振荡器频率 $f \approx 38\text{kHz}$ ，波形的高电平宽度 $TP_H \approx 16\mu\text{s}$ ，低电平宽度 $TP_L \approx 9.9\mu\text{s}$ 。我们可以利用④脚的逻辑功能，把该引脚直接作为调制信号的输入端。另外，555 集成块能输出较大的电流，高电平输出时可输出约 200mA 的电流，低电平输出时也可吸收约 200mA 的电流。从内部结构来看，高电平输出时内部相当于已有约 10Ω 的电阻接电源，输出低电平时相当于内部已有 10Ω 的电阻接地，应用者在选择外部限流电阻时应考虑到这些因素。这个电路也有不足之处，由上面分析知，输出的高电平宽度约 $16\mu\text{s}$ 而低电平宽度约为 $10\mu\text{s}$ ，这意味着红外发射管通电工作的时间长于停歇的时间，因而对节省电源消耗不利。

(2) 制作与实验

①元件选取。所有电阻均可选取 1/8W，电阻值及电容值按图上标示选取，红外发射管可任取 $\varnothing 5$ 塑封通用发射管。

②印刷电路板。实验用电路板如图 3-27 示，图为 1 : 1 透视图。

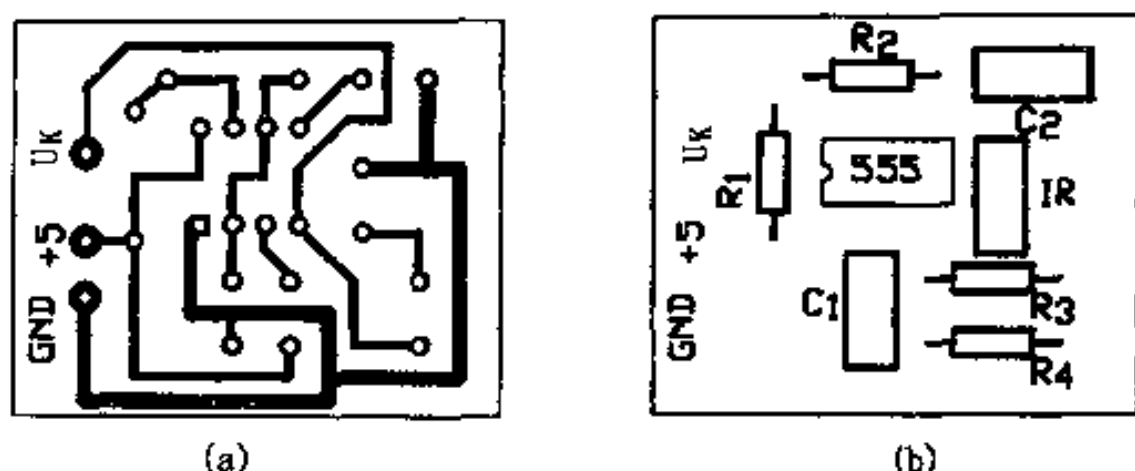


图 3-27 红外调制发射实验二的印刷电路板

③调试。该电路比较简单，元件也较少，调试较容易。

(a) 振荡功能的调试。先经外观检查无误后，即可接通电源，测量集成电路的⑧脚与①脚间电压，其值应为 5V，⑧脚为正。测量④脚对地电压，其值应为 5V。再测量③脚空载电压（必须先脱开 R_3 ），其值应约为 3V。用一根硬导线把②脚接地，③脚电压应升为高电平值——约电源电压。若把②脚接电源端，③脚应为低电平——约 0V。如果试验结果符合上述情况，可判定电路已起振，有条件的读者可以使用示波器观察③脚波形，并且测量出振荡波形的周期，如果周期值不符合要求，可微调 R_2 直至满足要求。

(b) 调制功能的调试。仍用万用表监视③脚电压，当把④脚（调制信号输入端 U_K ）接地时，③脚电压立即降为低电平；恢复 U_K 端为悬空状态（此时④脚实际上已由 R_4 接高电平），③脚又恢复为约 3V。

(c) 红外发射功能的调试。把前面脱开的电阻 R_3 接上，仍利用图 3-25 电路作为接收电路。 U_K 端接地时，IR 不发射红外光，接收电路万用表指针应基本上没有偏摆；当 U_K 端悬空时，万用表指针有一定幅度的偏摆。实验过程应反复若干次，并放在自然光较弱或背光处进行。

(三) 红外遥控信号的解调

1. 解调的基本原理

试观察图 3-28 的波形及图 3-29 电路。先来看图 3-28 (a) 波形有何特点, 在 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$ 、 $t_5 \sim t_6$ 时段内, 各有一组频率较高 (较密集) 的波形, 而其余时段为空白, 即 $U_i = 0$ 。此外, 该波形的零点在 t 轴处, 也就是波形正负对称。现如果将该波形加给图 3-29 (a) 电路的输入端, 由于二极管的单向导电性, 当 U_i 为负半周时二极管截止, 则负半周不能到达输出端, 只有正半周可以通过二极管到达输出端而构成 U_{o1} 。此时 U_{o1} 的波形如图 3-28 (b) 所示, 它是

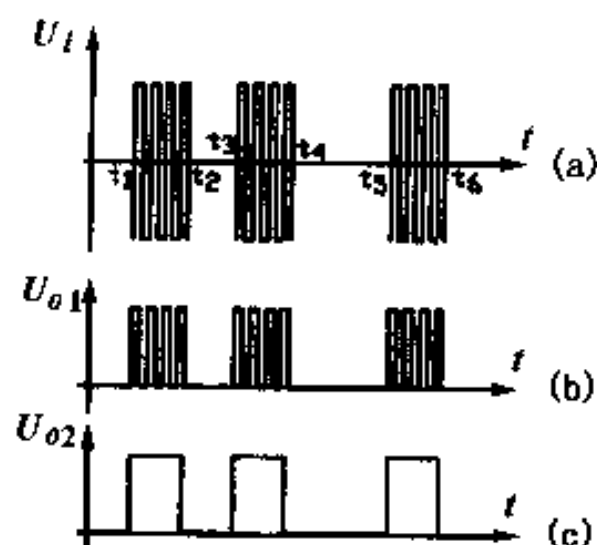


图 3-28 解调的基本原理

(a) 波形切去下半周所形成的。若在图 3-29 (a) 的基础上添加电容 C 如图 3-29 (b) 示, 构成一个低通滤波器 (实际上也是一个积分电路), 那么情形就不同了。图 3-29 (b) 中, 取 $R_2 \gg R_1$, 在二极管导通期间, U_i 通过 R_1 向 C 充电; 在二极管截止期间, 二极管只能通过 R_2 放电, 充放电回路如图中标示。由图可知充电过程时间常数小, 而放电过程时间常数大, 因而充电快放电慢, 结果致使在 $t_1 \sim t_2$ 区段内, 电容 C 上的电压能维持一个最大值 (区段 $t_3 \sim t_4$ 、 $t_5 \sim t_6$ 也同样); 在 $t_2 \sim t_3$ 区段, U_i 迟迟不出现, C 上的电荷才得以逐渐放完, 这样就得到了如图 3-28 (c) 所示的波形。这一过程也称作 C 的积分作用, 而二极管的单向导电作用称作检波。当然, 所示出的波形是理想化的波形, 实际波形并不那么规矩, 上升和下降并不那么干脆, 它的上升过程是慢慢升高至最大值的, 而

下降过程也是慢慢下降的，还需要用“整形电路”来作进一步的处理，才能得到图 28 (c) 的波形。

也可以从数学分析的角度来解释上述现象，图 3-28 (b) 的波形可以看做包含了两个基本信息，一个是 (c) 图所示的“包络”信息，其频率较低；另一个信息是频率较高的载波。由于电容的容抗与所加在其两端的信号频率成反比，对于频率较高的成分有较好的旁路作用，而对于频率较低的信号基本上没有作用，因此载波信号被旁路，频率比它低数十倍甚至数百倍的包络信息不会被旁路，而顺利地出现在 U_{o2} 端。

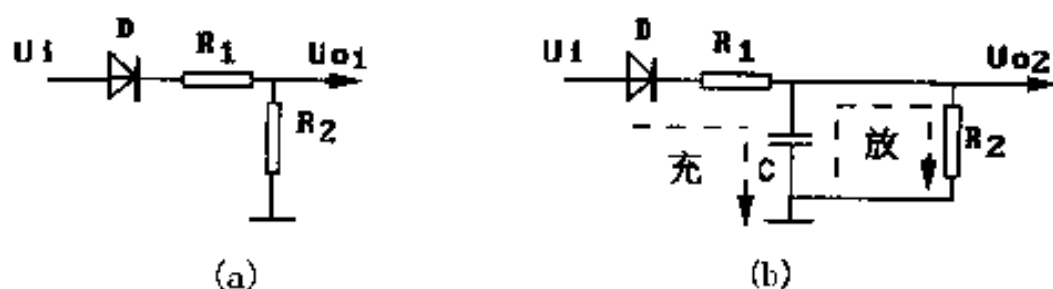


图 3-29 基本解调电路

回顾稍前关于“实用红外遥控命令的组成”一节所曾作过的介绍，实用红外遥控命令由高频载波和包络信息（遥控命令）组成。在接收端，由光电器件把光信号转换为电流信号后，为取得大的放大倍数而又不致产生零点漂移，使用了交流放大电路，放大后的波形就如图 3-28 (a) 所示，如果用图 3-29 (b) 的电路来处理，就可得到代表遥控命令的“包络信息”，这个过程就是最基本的解调过程与原理。当然，实际电路可有多种多样，而且大多比上述电路复杂得多，借用上面的简单电路，仅仅旨在说明一个基本的道理。

2. 典型的专用红外遥控接收、放大、解调电路 CX20106A

CX20106A 是彩电红外遥控中普遍使用的一种典型的红外接收、放大、解调专用集成电路。它采用 8 脚单列直插式塑封结构，

外形及引脚排列如图 3-30 所示,靠近有斜角的那一端的引脚是①脚;其内部组成框图示意于图 3-31,它包含了前置放大、限幅放大、带通滤波、峰值检波、积分(检波和积分构成了解调电路)、整形电路等部分。各引脚功能如下:

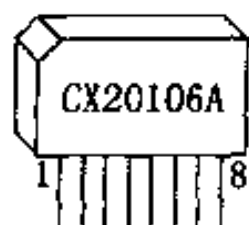


图 3-30 CX20106A 外形及引脚排列

引脚①——遥控信号输入端,该脚和地之

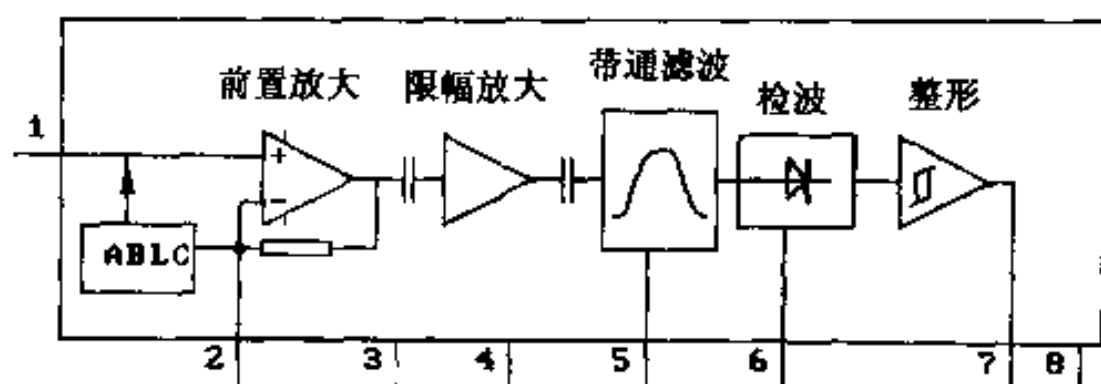


图 3-31 CX20106A 内部示意框图

间连接 PIN 光电二极管,该脚的输入阻抗约为 $40k\Omega$;

引脚②——该脚与地之间连接 RC 串联网络,它们是负反馈网络的一个组成部分,改变它们的数值能改变前置放大器的增益和频率特性。由框图及图 3-33 知,增大电阻 R_1 或减小 C_1 ,将使负反馈量增大,放大倍数下降,反之则放大倍数增大。但 C_1 的改变会影响到频率特性,一般在实际使用中不必改动,推荐选用参数为 $R_1=4.7\Omega$, $C_1=1\mu F$;

引脚③——该脚与地之间连接检波电容,电容量大为平均值检波,瞬态响应灵敏度低;若容量小,则为峰值检波,瞬态响应灵敏度高,但检波输出的脉冲宽度变动大,易造成遥控误动作,推荐参数为 $3.3\mu F$;

引脚④——接地端;

引脚⑤——该脚与电源间接入一个电阻,用以设置带通滤波器的中心频率 f_0 ,阻值与中心频率 f_0 的关系如图 3-32 示。由图可

知,阻值越大,中心频率越低,例如,取 $R=200\text{k}\Omega$ 时, $f_0\approx 42\text{kHz}$,若取 $R=220\text{k}\Omega$,则中心频率 $f_0\approx 38\text{kHz}$;

引脚⑥——该脚与地之间接一个积分电容,标准值为 330pF ,如果该电容取得太大,会使遥控距离变短;

引脚⑦——遥控命令输出端,它是集电极开路输出方式,因此该引脚必须接一个上拉电阻到电源端,推荐阻值为 $22\text{k}\Omega$,没有接收红外信号时该端输出为高电平,若接收连续的未调制载频信号,该输出端亦为高电平;

引脚⑧——电源正端, $4.5\sim 5\text{V}$;

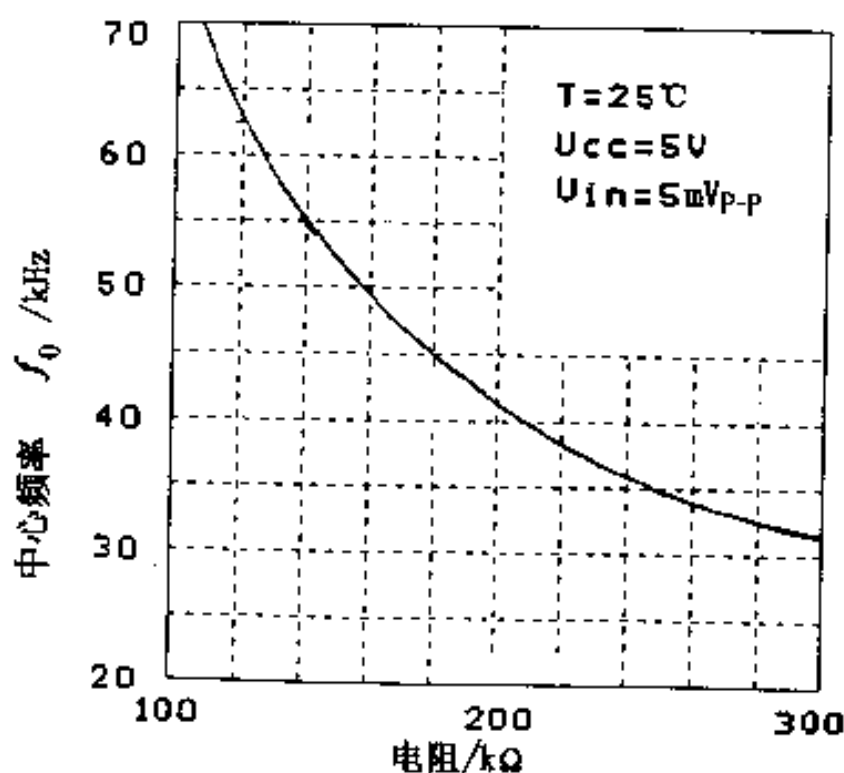


图 3-32 CX20106A⑤脚电阻与中心频率的关系

CX20106A 的主要特点:

低电压供电, $U_{cc}=5\text{V}$, 低功耗, 当 $U_{cc}=5\text{V}$ 时, 典型功耗为 9mW ; 带通滤波器在集成电路内部, 中心频率由⑤脚所接的一个外部电阻确定, 因而调整方便, 由于没有使用电感元件, 可免受磁场影响; 能和 PIN 光电二极管直接相连; 集电极开路输出, 易于进行电平转换。以便与非标准逻辑电平匹配; 内部各级放大器

间采用交流耦合，因此可以做到很高的放大倍数而无须担心零点漂移。

CX20106A 外围电路典型接法如图 3-33 所示。由红外发射装置发射来的约 40kHz 的红外光脉冲，被光电二极管 PH302 接收，生成微弱的光电流，并通过 CX20106A ①脚的输入电阻（约 40kΩ）形成大约 40μV 的电压信号，再从①脚送入前置放大器进行预放大。调节②脚上的电阻 R₁ 可以改变该级的放大倍数，也是整个接收装置的灵敏度。减小 R₁ 可提高灵敏度，但灵敏度过高会使工作不稳定，易受干扰，因此必须综合考虑各方面的因素，不可片面追求高增益。在①脚和②脚之间设置有 ABLC（自动偏置控制）电路，有利于抑制强光的冲击干扰和提高对弱信号的放大能力。经前置放大后的信号用阻容耦合至下一级作限幅放大，两级放大总增益约 80dB，然后再经过带通滤波器。40kHz 左右的信号可以顺利通过滤波器，而偏离 40kHz 较远的信号将被严重衰减，难以到达输出端。换句话说，CX20106A 能有选择地放大某一定频率范围（40kHz 左右）的信号，对于该范围以外的其他频率的信号不予放大或放大倍数很小。这一频率范围是与红外发射端的电路约定好了的，因此这种方法能很有效地排除干扰光信号。通过带通滤波器挑选输出的信号，到达检波器、积分器，经检波并滤除高频载波成分，拾取出包络信号，其波形类似于图 3-28（c）。但如前所述，这时的波形还不能像图中那样规整，主要表现在波形的上升沿和下降沿不那么陡峭，而是有一个慢慢变化的过渡过程，还必须通过最后一个环节——整形电路（施密特触发器，也称作幅度鉴别器），才得到图 3-28

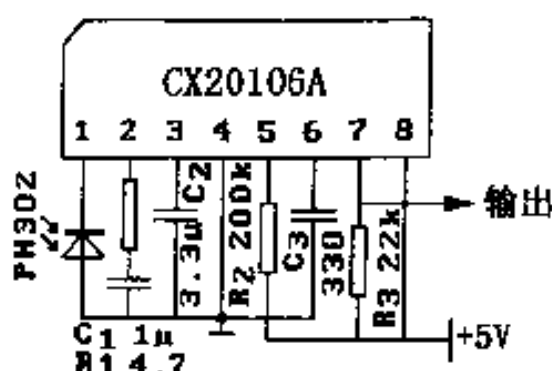


图 3-33 CX20106 的接法

整形电路（施密特触发器，也称作幅度鉴别器），才得到图 3-28

(c) 所示的规整的遥控编码信号从⑦脚输出。

CX20106A 可直接用 KA2184A 替代而无需更换外围元件。

3. 微型红外遥控接收器

红外接收头由早期的分立元件结构，发展到以专用集成电路为核心，配合少量外围元件构成带屏蔽盒的组件产品，给使用者带来了极大方便，同时也使性能得到极大的提高。

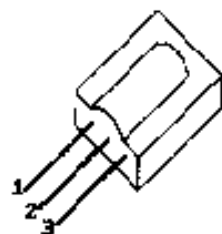


图 3-34 微型红外接收头

而新型微型红外接收头，已把所有的器件包括红外接收光电二极管都集成一体而成为一体化产品，因此具有更加优良的性能，使用更加方便，其大小与一只塑封三极管相似，具有屏蔽性能好、功耗低、灵敏度高、显著优点。例如，由日本生产的 NJL41 系列一体化红外线接收头，使用时不需要任何外部元件，就能完成从接收到输出的全部工作，输出电平为 TTL 电平，输出信号的相位与 CX20106A 所构成红外接收头相同，是替代 CX20106A 等红外接收头的理想器件。NJL41 系列红外接收头引脚如图 3-34 示意，③脚为信号输出端，①脚为地线，②脚为电源正端，主要特性如下：

接收频率范围——32.75kHz, 36.7kHz, 38kHz, 40kHz;

电源电压——4.7~5.3V;

工作电流——3mA;

工作温度——-10~+60℃。

该系列器件采用黑色环氧聚光透镜，能抑制可见光的干扰，其内部已包含 PIN 光电二极管。使用 NJL41 系列接收器时应注意以下几点：

①因器件增益高且不可调，易受外界电磁干扰，若外部再加以金属屏蔽，可提高抗干扰能力；

②器件只能响应脉冲调制信号，不能响应连续载频信号，也

就是说若有 38kHz 的载频脉冲红外光连续照射该器件，其输出端不会有反应，只有间断地接受照射，输出端才会有输出（有光照射时输出为低），能够响应的调制脉冲宽度最大约为 20ms，最小约为 0.4ms。

③发射器的载波频率应调整为与接收器件的中心频率一致，据经验，当偏离中心频率 1kHz 时，对接收灵敏度就会产生较大影响，该接收器中心频率由厂家确定用户不可调整，因此必须由发射器中调整。

表 3-5 列出 NJL41 系列产品 8 种型号的参数规格。

表 3-5 NJL41 系列产品中心频率与型号对照表

中心频率 (kHz)	顶部受光型	侧面受光型
32.75	NJL41H328	NJL41V328
36.7	NJL41H367	NJL41V367
38	NJL41H38	NJ41V38
40	NJL41H40	NLJ41V40

4. 红外接收头的制作与实验

(1) 电路

本实验采用图 3-33 的电路图，工作原理已在前面叙述。放大电路使用典型的 CX20106 集成电路；光电二极管可取任意一种 PIN 光电二极管，例如典型例子 PH302、HPD711 等；其他元件值如图标注，但体积要小，电阻可选 1/16~1/8W，各种电容均没有高的耐压要求。实验用印刷电路板如图 3-35 示，该图为 1:1 焊接层视图。

(2) 安装焊接

按照第二章所介绍的方法制作好电路板后，应认真检查有无碰线。由于该电路放大倍数大，走线太长会引起不可预知的不良

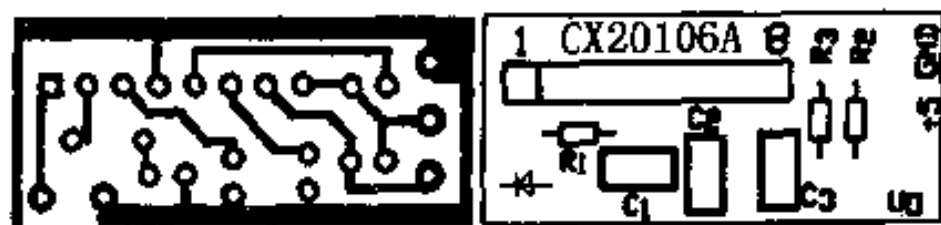


图 3-35 红外遥控接收头印刷电路板



图 3-36 PH302 外形

后果,因此设计电路板时走线尽量取短,电阻等也都采取立式安装。整个电路设计得比较紧凑,手工制作容易碰线,另外焊接时也要十分小心,否则容易将两个不该相连的焊接点连在一起。集成电路 CX20106A 插入印刷板时应注意引脚顺序,有斜口的那一端为①脚,这里不使用 IC 座,而采取直接焊接方式。集

成电路插入印刷板时不要插到底,但也不要引脚留得太长,一般取集成电路离开印刷板约 3mm 左右比较合适。光电二极管 PH302 (或 HPD711) 的外形如图 3-36 所示,为扁形塑封器件,外表呈全黑色。按图中位置,把没有写字的那一面作为受光面,安装时应对准红外线发射的方向;有斜口的那一端引脚为二极管的正极。用万用表 $R \times 1k\Omega$ 挡测量,黑表笔接正极、红表笔接负极时,阻值较小(约几 $k\Omega$);而当红表笔接正极、黑表笔接负极时,无光照时阻值很大,表针基本没有偏摆,但此时将受光面对准自然光线较强的方向,或对准白炽灯(距离约 20~50cm),可以看到表针有较大的偏摆。如有以上效应,表明该器件基本可用。

焊接 PH302 及 CX20106A 时动作要迅速准确,因为元件引脚留得较短,焊接热量很容易传到内部半导体器件上,焊接时间较长可能因温度过高而使其损坏或性能变劣,这一点对于焊接实践偏少的读者是十分重要的。

这个电路安装完毕后还必须用金属屏蔽盒屏蔽,否则不能使

用，屏蔽盒可以参照图 3-37 的展开图制作，取一块薄铁皮（普通罐头盒，但不能使用“易拉罐”，因为那不是铁皮，不能用锡焊接），先剪成图 3-37 所示的大小（单位 mm），旁边 $\varnothing 5\text{mm}$ 的孔是留给电路引出线用的。业余条件下可用大铁钉冲个孔，并用锉子修整，也可在靠边的位置上剪一个小口，只要引出线能通过就可以了。在另一边留的 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 方孔是红外线入射孔，

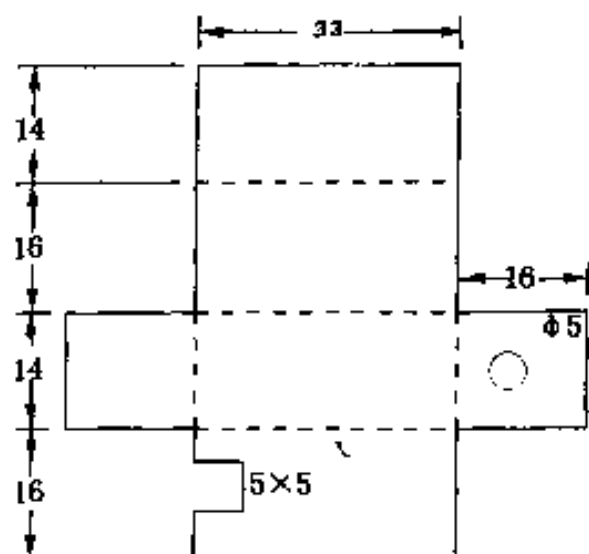


图 3-37 屏蔽盒展开图

组装时应使光电管 PH302 的受光面对准并务必贴近该孔。铁片剪好后，朝着读者的方向按虚线位置折过来，把焊接好的电路板放入盒内，元件朝下、焊接面朝上，电路板的宽度与盒子的宽度恰好相同。电路板两侧走线是地线，应将该地线与金属盒焊接起来，以达到屏蔽效果，同时也起到固定电路板的作用，焊接时只需在两侧各焊 1~2 个点即可。最后形成的接收头外形如图 3-38 所示，铁片接口处用焊锡焊上 1~2 个焊点，起固定作用。在铁片上焊接时，对于有镀锡的罐头皮，可以直接焊接，但有些罐头皮没有镀锡，不能直接焊接，必须将焊接处清理干净（用小刀或其他利器刮净），然后涂少许焊锡膏，才能上锡，注意焊锡膏千万不能涂到电路板上。

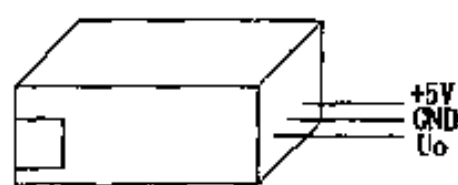


图 3-38 接收头外形

(3) 调试

该电路外围元件少，是一种很成熟的电路，按照图中所推荐的数值选用元件，焊接认真可靠，一般均能达到较理想的效果，无需调整元件参数。实验时，使用的电源电压要控制在 5V 以内，否

则电路有可能工作欠稳定，推荐使用 $4.5\sim 4.8\text{V}$ 。实验必须在屏蔽盒完成后才能进行，步骤如下：

用万用表直流电压挡监视输出端 U_o 的情形，接通 5V 电源，用手挡住受光窗口，这时万用表的读数应稳定在 4.5V 以上，不能有跳动现象；用普通白炽灯照射受光窗口（要靠得近些， $5\sim 10\text{cm}$ 内），可以看到万用表读数略有减小，表明接收电路能够接收并放大由灯泡发射的红外光。

任取一种家庭里使用的红外遥控器，对准接收头的受光方向，按动遥控发射器按键，可以看到万用表指针略有回摆，摆动幅度不会超过 1V 。对于不同的遥控发射器，可能有两种不相同的反应：一种遥控发射器具有自动关闭功能，当按下按钮时，遥控器发射指令，但若一直按住按键不放，遥控器将不再发送而自动关闭，因此从万用表上只能看到指针往回摆了一下即回到高电平状态；另一类遥控器没有自动关闭功能，只要一直接住按键不放，发射器就一直处于工作状态，一直发射红外线，因此万用表的表针就会停留在比最高电平小的一个刻度上（大约为 3.8V 处）。

使用前面图 3-23 或图 3-26 实验红外发射装置作为发射器，把发射方向对着接收头的接收方向，不断地将调制输入端 U_k 碰触地线（电源负端），则发射器就间断地发射出约 40kHz 的红外光脉冲，接收头若能收到，则万用表的指针应能一次一次地回摆，且回摆幅度较大。

逐渐拉开发射器和接收头的距离，直至万用表指针不会偏摆。这时发射器与接收头之间的距离大致为最大遥控距离，但实际可靠遥控距离要短些，因为实际遥控中必须正确接收每一个编码脉冲，不能有任何的丢失，而用万用表观察是无法观察到那种微小、快速的变异的。

5. 增加遥控距离的方法

(1) 提高接收头的接收灵敏度

例如在上面的实验电路,若减小 CX20106A②脚的电阻,会使接收头的接收灵敏度提高,但它会与稳定性产生矛盾,灵敏度提高,将会导致抗干扰能力降低,稳定性能变劣。

(2) 加大发射功率

增大发射功率,不仅能增加遥控距离,还会提高遥控动作的可靠性,是值得推荐的办法,增大发射功率一般可取以下几种措施:

①增加发射管的发射工作电流。这只需减小限流电阻(例如图 3-23 中的 $R_1=39\Omega$,图 3-26 中的 $R_3=20\Omega$)即可,方法很简便,但这种方法潜伏着危险性。发射管正常工作时通过的是脉冲电流,虽然它的峰值较大(瞬间值),但总体平均电流却要小许多,只要平均电流不超过发射管的最大正向电流,一般来说对发射管是安全的。但一旦振荡电路停振或驱动电路等出了毛病,例如图 3-23 中若三极管 T 击穿,或因停振等原因造成 G_4 输出总为高电平,那么这时会使流过发射管 IR 的平均电流大为增加,可能烧坏发射管及三极管。

②增加发射管的数目。这可以使发射功率成倍增加,是增大遥控距离、提高可靠性的有效办法。图 3-39 示出了 4 种电路。(a) 图将 2 个发射管串联,这是一种较好的办法,它并没有增加电源的消耗功率,只是把原该消耗在限流电阻 R 上的能量转移到发射管上,调节 R 使流过三极管的电流与只使用 1 个发射管时相同,对电源来说并未增加消耗,但因有两个发射管同时发射,因而使发射功率大为增加。另外,这种方法也没有增加三极管基极的推动功率。这种方法要求电源电压不能太低,例如图 3-39 (a) 使用了 2 个发射管串联,电源 U_{CC} 需在 4V 以上。如用 3V 电源供电,就不能使用串联方法。使用多个发射管串联时,电源电压还需提高。

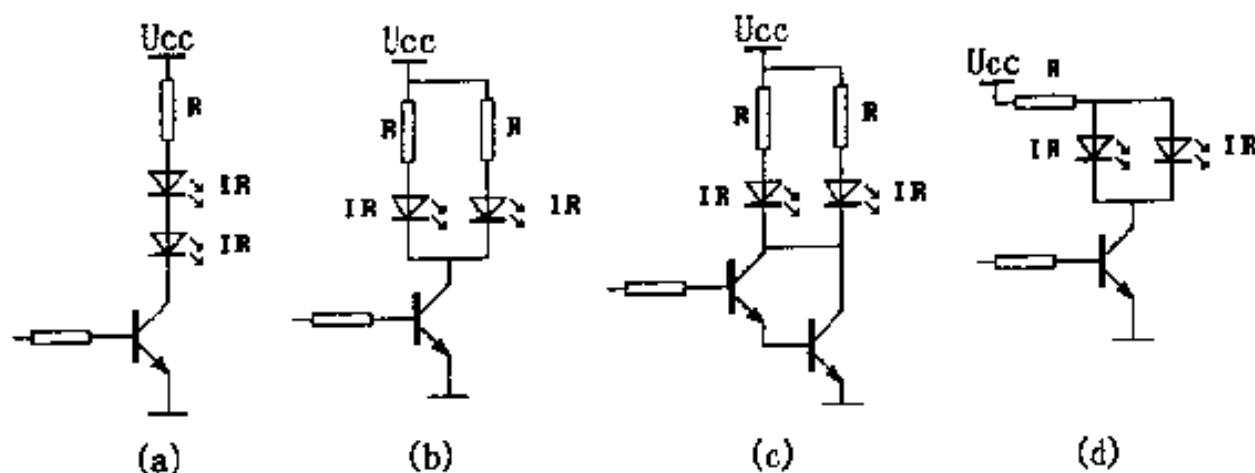


图 3-39 提高发射功率的方法

图 3-39 (b) 将 2 个发射管接成 2 条并联支路，限流电阻 R 的选取与仅用 1 个发射管时相同。因增加了一条同等的支路，因而取自电源的电流增加了 1 倍，电源的消耗增加，同时流过三极管的电流（三极管在这里只能取饱和及截止两个状态，而不允许工作在放大状态）也增大了 1 倍，增大了管耗，必须取 I_{cm} 更大一些的管子。为使三极管能可靠进入饱和区，基极的推动功率必须加大，仅使用 TTL 门电路的输出来推动是不够的，使用 CMOS 电路来推动就更不够了，因此必须使用达林顿三极管或复合管，如图 3-39 (c) 所示，也可使用图 3-3 (c) 所示由 PNP 和 NPN 两个不同类型的三极管组成的驱动电路。

也许有些读者会采取图 (d) 所示的并联方法，这是一种错误的接法，因为两个发射管的正向导通压降等参数不可能完全一致，因此它们所分担的电流是不相同的，严重时甚至只有一个发射管工作。由于发射管发出的是不可见光，难以被实验者发觉，结果是貌似双管工作而实际上只有单管在发射，遥控距离并未增加。

(四) 专用遥控编解码电路

早期的遥控系统中，使用了相当复杂的编解码方法和电路，尽

管人们想尽可能把电路设计得完善简洁并竭力提高加工工艺，但其性能总不能尽如人意。许多业余爱好者有心学习这方面的知识，但限于知识和设备，在那复杂的电路和逻辑面前往往望而生畏。近十年来，随着 CMOS 大规模集成电路制造技术的迅速发展，许多厂商开发出了许多种类的 CMOS 专用遥控编解码电路。实践证明，这类专用集成电路具有很高的稳定性和可靠性，因此近年来被越来越广泛地应用于各行各业各类的电子产品，例如家用电器的遥控、密码锁、医院病员呼叫系统、防盗报警系统等等，同时也为广大爱好者的学习提供了极大的便利。

为便于理解，我们先从一个简单的电路入手进行一个简单的实验，在取得一定的感性认识后，再来介绍有关的抽象概念和更深入一步的各种应用。

1. 引例

图 3-40 所示的电原理图和图 3-41 所示的电路板图是一个最简单的有关编解码专用集成电路的实验。VD5026 称为编码电路，VD5027 称为解码电路，图中两片集成电路的接法有以下几个异同点：

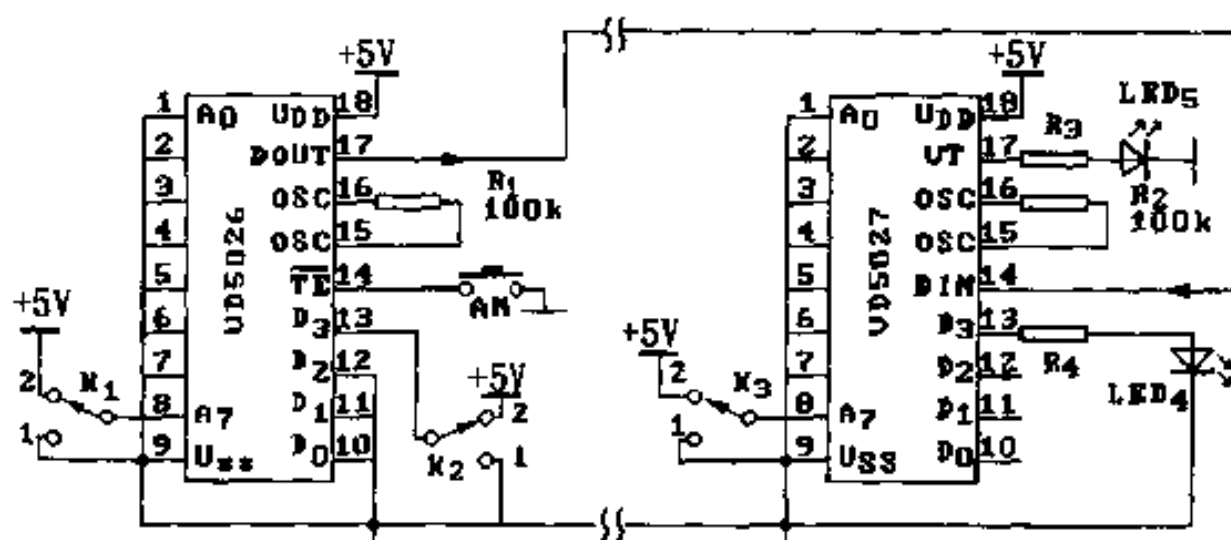
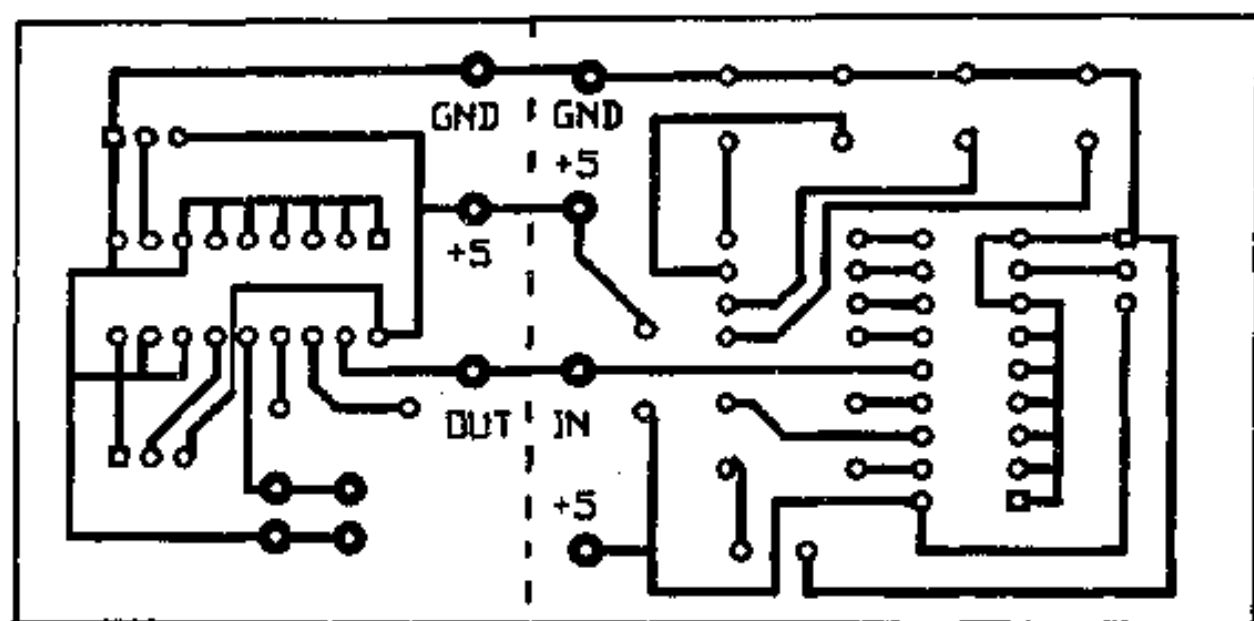
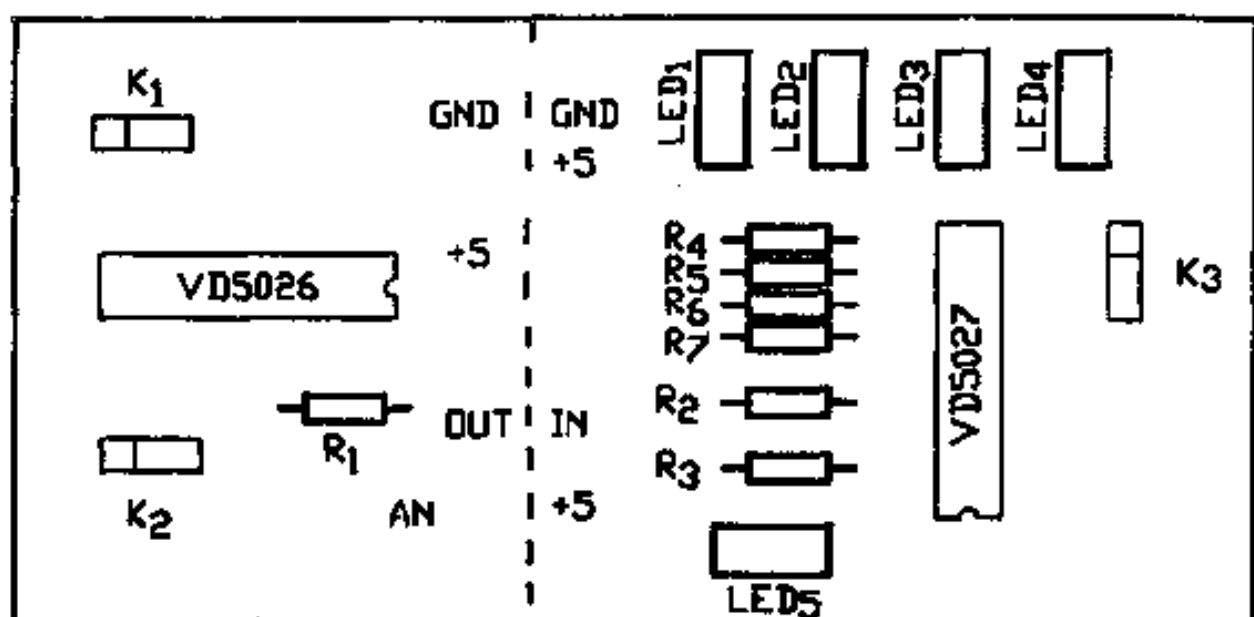


图 3-40 “引例”实验电路

① 除⑭脚和⑰脚以外，其他引脚的符号完全相同。对于



(a)



(b)

图 3-41 “引例”实验印刷电路板

VD5026, ⑰脚是编码信号的输出端; ⑭脚是“输出允许”端, 该端接地时, 编码信号才从⑰脚输出。而对于 VD5027, ⑭脚是编码信号的输入端; ⑰脚是“译码正确”指示端, 当收到编码并正确译码后该端输出一个正脉冲。

②两片集成电路都可通过一个拨动开关把 A₇ 这根线接到 +5V 或地, 也就是置“1”或“0”。

③VD5026 的 D₀~D₂ 接地, 而 D₃ 也可用 1 个拨动开关将其设置为“1”或“0”, 而 VD5027 的 D₃ 线通过一个限流电阻 R₄ 接

一个 LED 指示灯到地。

现在我们按以下的步骤进行实验：

①接通电源，把两片集成电路的 A_7 都接向 +5V，把 VD5026 的 D_3 也接向 +5V。

②按动一下接在 VD5026 ⑭脚的按钮“AN”，可以发现 VD5027 VT 端的指示灯 LED_5 亮了一下又熄灭了，而 D_3 端所接的 LED_4 被点亮后却一直亮着。

③把 VD5026 的 D_3 接向地，再按下 AN，可以发现 VD5027 上的 LED_5 又闪亮了一下，而 LED_4 却熄灭了。

④把 VD5026 的 A_7 从接 +5V 改为接地， D_3 从接地又改回接 +5V，再按一下 AN，可以发现 VD5027 的 LED_5 不会像前面那样闪亮一下，而 LED_4 也不会像步骤②那样被点亮，这表明 VD5027 并没有正确解码。

⑤把 VD5027 的 A_7 也接向地（与 VD5026 保持一样），再按一下 AN，发现这时 VD5026 的 LED_5 和 LED_4 又像步骤②那样点亮。

为了使电路简单并减少实验步骤，上面只对 A_7 和 D_3 做了实验，实际上若对 $A_1 \sim A_6$ 也做与 A_7 相同的实验，会得到与 A_7 相同的结果。对 $D_0 \sim D_2$ 做与 D_3 同样的实验，会得到与 D_3 同样的结果。

由上面的实验，我们可以初步得到下面的结论：

①VD5026 的 $A_1 \sim A_7$ 接法（接“0”或“1”）与 VD5027 的 $A_1 \sim A_7$ 接法必须完全相同，VD5027 才能正确解码。

②当 VD5027 正确解码后，VD5026 的 $D_0 \sim D_3$ 的状态（接“1”或“0”）会出现在 VD5027 的 $D_0 \sim D_3$ 端。例如上面的实验中，VD5026 的 $D_3 = 1$ ，则 VD5027 收到编码并正确译码后 D_3 也为“1”， LED_4 点亮。这就像 VD5026 的 $D_0 \sim D_3$ 的状态被搬迁到了 VD5027 的 $D_0 \sim D_3$ 端，使两者相一致。

③VD5027 的 VT 端的 LED_5 只会亮一下又熄灭，称该端输出

的只是一个瞬态脉冲；而 D_3 端 ($D_0 \sim D_2$ 也一样) 的 LED_4 一旦点亮，在没有再次收到新的信号之前就一直亮着，称之具有“锁存”功能或“记忆”功能。

通过上面的基本实验，我们已经有了一些感性认识，对编解码集成电路的基本性能有了初步的了解。下面我们进一步地来介绍几种较普遍使用的专用编解码电路。

2. 典型编解码电路

(1) HT-12E/HT-12F 编码/解码集成电路

HT-12E/HT-12F 集成电路双列直插封装的外形引脚参见附录 5。HT-12E 是编码器，HT-12F 是与之相匹配的解码器。 $A_0 \sim A_{11}$ 称为地址线，每一根都可以被设置为高电平（接电源）或者低电平（接地）两种状态之一，因此总共可以设置成 $2^{12} = 4096$ 种组合状态。对应于每一种状态，编码器

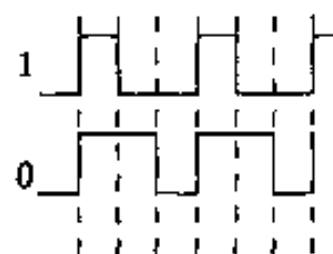


图 3-42 编码器的编码格式示意图

器内部能够生成一种特殊的编码，这种编码也是由“1”和“0”组成，但并不是用高电平代表“1”，用低电平代表“0”，而是用高电平与低电平宽度比例的不同来区分“1”和“0”。例如图 3-42 的波形形状，第 1 行波形高电平宽度是低电平宽度的 $1/2$ （称占空比为 $1:3$ ），用 2 个周期这样的波形代表 1 个“1”；第 2 行波形高电平宽度是低电平宽度的 2 倍（称占空比为 $2:3$ ），用 2 个周期这样的波形代表 1 个“0”。当编码器的“传输使能”端 \overline{TE} 变低时，编码信号能从“DOUT”端以串行方式输出，将该信号送入解码器的“DIN”端。若该解码器的 $A_0 \sim A_{11}$ 高低电平设置情况与编码器相同，那么此时在“数据有效 (VT)”端就会输出高电平，但随着输入到“DIN”端的信号消失，VT 端高电平也随之消失，因此该端输出的只是 1 个正脉冲。若解码器的 $A_0 \sim A_{11}$ 设置情况与编码器

不相同或者解码器因其他原因没能正确解码，那么 VT 端就不会有正脉冲输出，所以可利用该信号作为控制其他电路的触发信号。编码器在送出编码信号时，除了由地址信息构成的数据编码外，还要传送“引导段”、“同步段”，因此编码器每发送的 1 个“字”，包括了“引导段、同步段、数据段”。而且为了提高接收的正确率，每次发送往往不是只发 1 个“字”，而是连续发 3 次，在解码器内部，重复地比较前后两次数据是否吻合，当吻合次数达到要求值时，才判为“传输有效”，这样大大提高了可靠性。

HT-12E 的引脚名称及作用如下：

引脚①~⑧—— $A_0 \sim A_7$ ，地址线；

引脚⑭—— \overline{TE} ，输出使能端，低电平有效；

引脚⑩~⑬—— $A_8 \sim A_{11}$ 或 $D_0 \sim D_3$ ，作为地址线或数据线使用，取决于接收端的解码电路（见后述）；

引脚⑮、⑯—— OSC_1 、 OSC_2 ，此两端接一个振荡器电阻，该电阻对于不同的型号有不同的推荐值，需根据厂商说明选用；

引脚⑰——DATA OUT (DOUT)，编码信号以串行方式由此端送出；

引脚⑱—— U_{DD} ，电源正端，2.4~12V；

引脚⑨—— U_{SS} ，电源负端。

HT-12F 的引脚名称及作用如下：

引脚⑭——DATA IN (DIN)，串行编码信号输入端；

引脚⑰——VT，传输有效指示端，当解码正确时该端输出一个正脉冲。

其余引脚及功能与编码器 HT-12E 相同。

HT-12E/F 的编解码流程如图 3-43 示意。

(2) HT-12D 解码电路

HT-12D 也是与 HT-12E 相匹配的解码电路，其引脚排列见

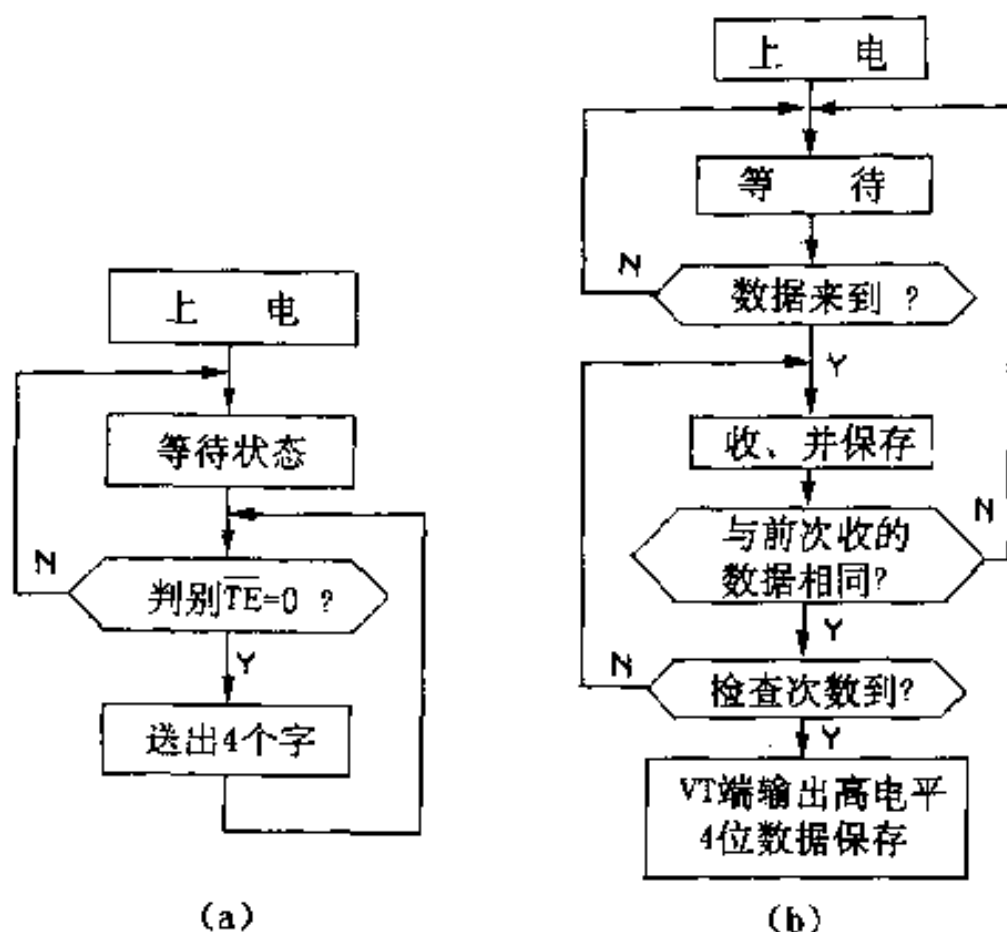


图 3-43 编解码流程示意图

附录 5。该器件除引脚⑩~⑬的功能与 HT-12F 解码电路不同外，其余完全相同。⑩~⑬脚称“数据线”，分别记为 $D_0 \sim D_3$ 。当 HT-12E 和 HT-12D 配对使用时，地址线只有 $A_0 \sim A_7$ 共 8 根，⑩~⑬脚作为数据线用，编码数为 $2^3 = 256$ 。正如在“引例”的实验中我们已经实践过的那样，当解码器 HT-12D 收到编码器 HT-12E 的信号并正确解码以后，编码器 HT-12E 的 $D_0 \sim D_3$ （⑩~⑬脚）的高低电平情况能完全“搬迁”到解码器 HT-12D 的 $D_0 \sim D_3$ 上，我们常常称之为把发送端的“数据资料（信息）”送到了接收端。因此我们可以通过发送端设置编码器 $D_0 \sim D_3$ 的不同状态，来遥控接收端的若干个装置的动作。

(3) PT2262 编码电路和 PT2272 解码电路

PT2262 编码电路与 PT2272 配对使用，PT2262 的特点是在其内部已经把编码信号调制在一个较高的载频上。前面我们已经

论述了，要把遥控编码信息用无线方式（红外或无线电等）传送出去，必须有载体（载波），把编码信息“装载”在载体上（调制在载波上）才能传送出去，因此需要一个振荡电路、一个调制电路。在PT2262编码器内部，已包含了这些电路，从DOUT端送出的是调制好了的约38kHz高频已调波，因此使用就非常方便，适用于红外和超声遥控电路。

PT2262和PT2272的引脚排列见附录5，引脚符号的意义与上面介绍的相同。对于PT2262， $A_0 \sim A_5$ 共6根线可作为地址线；而 $A_6 \sim A_{11}$ 共6根线可以作为地址线，也可以作为数据线，这要取决于所配合使用的解码器。若解码器没有数据线，则 $A_6 \sim A_{11}$ 也可作为地址线用，这种情况下， $A_0 \sim A_{11}$ 共12根地址线，每线都可以设置成“1”、“0”、“开路”三种状态之一，因此共有编码数为 $3^{12} = 531\,441$ 种。但若配对使用的解码器的 $A_6 \sim A_{11}$ 是数据线，例如PT2272，那么这时PT2262的 $A_6 \sim A_{11}$ 也作为数据线用，并只可设置为“1”和“0”两种状态之一，而地址线只剩下 $A_0 \sim A_5$ 共6根，编码数降为 $3^6 = 729$ 种。

该编解码器的编码信号格式是：用2个周期的占空比为1:3（即高电平宽度为1，低电平宽度为2，周期为3）的波形来表示1个“0”；用2个周期的占空比为2:3（即高电平宽度为2，低电平宽度为1，周期为3）的波形表示1个“1”；用1个周期的占空比为1:3的波形紧跟着1个周期的占空比为2:3的波形表示“开路”。

(4) VD5026 编码器和 VD5028/VD5027 解码器

VD5026与VD5027或者VD5028配对使用。它们的引脚排列见附录5，各符号意义与前面介绍的相同，下面介绍它们的主要特点。

每根地址线可以有4种状态——“1”、“0”、“开路”和第四

态（记为 4TH）。因此编码总数大大增加。

A_0 不作为地址线使用，而是作为地址的第四态设置。例如要将地址线 A_3 设置为第四态，那么就把 A_3 这根线接到 A_0 。设置为“1”时可接电源端，设置为“0”时接地，设置为“开路”时将其悬空（即什么也不要接）。如果不使用第四态，则把 A_0 接地。

解码器 VD5028 没有数据线，地址线 $A_1 \sim A_{11}$ 共 11 根，可有 $4^{11} = 4\,194\,304$ 种状态。解码正确时，VT 端输出正脉冲。

解码器 VD5027 有数据线 $D_0 \sim D_3$ 共 4 根，解码正确时编码器 $D_0 \sim D_3$ 的“1”或“0”状态组合被“搬迁”到这 4 根线上并锁存，随后 VT 端送出 1 个正脉冲。因此它的地址线只有 $A_1 \sim A_7$ 共 7 根，有 $4^7 = 16\,384$ 种状态。

编码器 VD5026 的 $A_1 \sim A_7$ 为地址线； $A_8 \sim A_{11}$ 或为地址或为数据，与 VD5028 配合时作地址线，地址编码总数为 $4^{11} = 4\,194\,304$ ；与 VD5027 配合时作数据线用，地址编码总数为 $4^7 = 16\,384$ ，数据线的状态只能为“1”或“0”两态之一。

(5) 双向编解码集成电路 UM3758-108A

新型编解码集成电路 UM3758-108A 具有双重功能，即可作编码又可作解码，通过一根引脚分别设置为高电平或是低电平来选择。它是一种低功耗 CMOS 器件，最大工作电流 1.2mA，工作电压范围宽，为 3~12V，工作时钟振荡频率 $f_{osc} \approx 160\text{kHz}$ ，发送编码时钟频率为 $f_{osc}/16$ ，发送编码（1 个位）的周期为 $6 \times 16/f_{osc}$ （参见图 3-44 波形）。UM3758-108A 为双列直插式封装（24 脚宽型，两排引脚间宽度为 15.24mm），其引脚排列见附录 5，各引脚功能简述如下：

引脚①~⑩—— $A_0 \sim A_9$ 10 根地址线，可以是“0”、“1”和“开路”3 种状态，可以设置成 $3^{10} = 59\,049$ 种组合状态；

引脚⑪~⑱—— $D_0 \sim D_7$ 8 根数据线，当器件作为编码使用

时，它们作为数据输入线；当器件作为解码使用时，它们作为数据输出线，有锁存功能；也能作为地址线使用，但这种情况下仅能作 2 态编码，高电平或开路均视为“1”、低电平视为“0”；

引脚⑱— OSC，外接 RC 构成时钟振荡器，振荡频率 $f_{osc} \approx 2/RC$ ；

引脚⑳— U_{SS} ，接地；

引脚㉑— $\overline{T/R}$ ，功能设置，当该脚设置为高电平时，器件作为编码使用，设置为低电平时作为解码使用；

引脚㉒— IN，器件作为解码使用时，接收到的串行编码信号由此端送入，器件作编码使用时，该端不使用；

引脚㉓— TX/RX，当器件作解码使用时，在接收到编码信号并正确解码时该端输出为低电平；当器件作编码使用时，该端作为编码信号的输出端；

引脚㉔— U_{DD} ，电源正极。

该器件编码信号格式是：编码“1”用两个周期的占空比为 1 : 3 的脉冲表示；编码“0”用

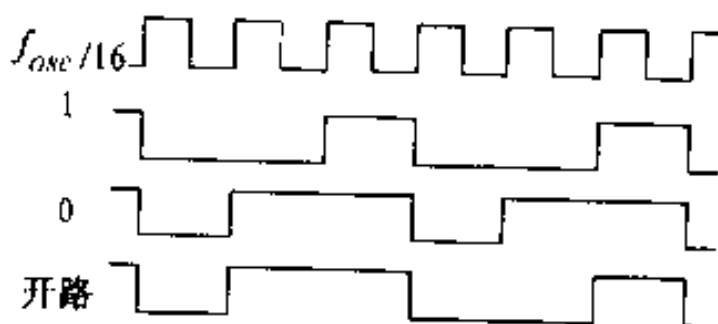


图 3-44 UM3758-108A 编码格式

两个周期的占空比为 2 : 3 的脉冲表示；编码“开路”是占空比为 2 : 3 的一个周期的脉冲紧跟着一个周期的占空比为 1 : 3 的脉冲，波形如图 3-44 所示。该编码器发送一组编码的周期为 $3.456T_{osc}$ ，其中 T_{osc} 为振荡器振荡周期。以振荡频率为 $f_{osc} = 160\text{kHz}$ 计算，振荡周期 $T_{osc} = 1/160 = 0.00625\text{ms}$ ，编码器发送一组编码的周期为 $3.456 \times 0.00625 = 21.6\text{ms}$ 。

UM3758-108A 因具有 8 根数据线，一次可传送 8 位数据信息，所携带的信息数为 $2^8 = 256$ 个；而 VD5026 等只有 4 根数据

线，一次只能携带 $2^4=16$ 个信息。使用二次译码电路后（参考第二章关于二次译码的介绍），UM3758-108A 可遥控 256 个动作，而 VD5026 只能遥控 16 个动作。另外，UM3758-108A 既可作为编码又可作解码，只要改变第⑳脚所接电位即可，因此是双向遥控或双向呼叫应用中不可缺少的器件，有着广泛的用途。例如医院病床呼叫系统，护士值班室可以任意选择呼叫数十甚至数百个病床中的某一病床而不干扰其他病员；任一个病床也可呼叫值班室，值班室能立即知道是哪一个病床在呼叫。这就是使用了像 UM3758-108A 这类的双向编解码集成电路，使值班室与众多的病床之间的联系仅仅使用了 3~5 根连线即可实现。

UM3758-108A 的基本应用电路如图 3-45 所示，其中图右边接成编码电路，图中把全部地址线都设置为“0”，把全部数据都设置为“1”。实际应用中根据实际需要分别对每一根地址线 and 数据线进行设置，根据引脚功能说明，把“功能设置端” T/\bar{R} 接一个按钮。当按钮被按下时， T/\bar{R} 接高电平，即形成编码电路，内部电路能把 $A_0\sim A_9$ 的地址信息、 $D_0\sim D_7$ 的数据信息再加上一些特殊信息编成一串特定的“码”信号，串行地从 T_x/R_x 端送出。

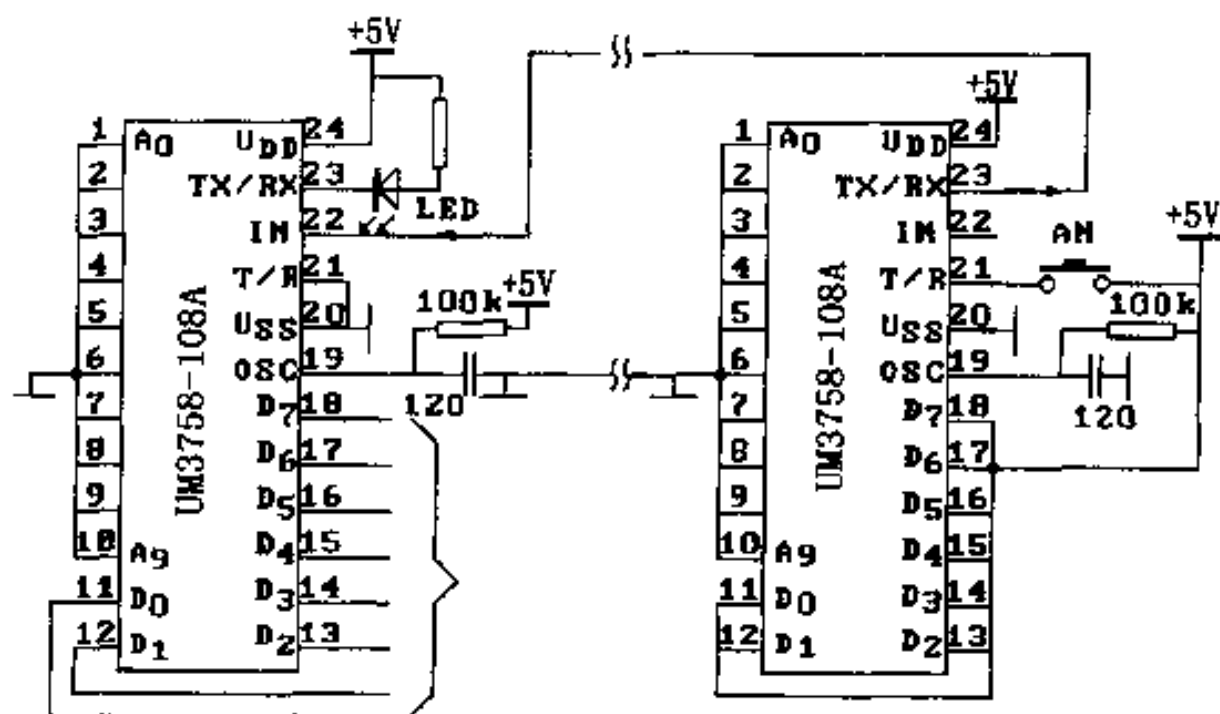


图 3-45 UM3758-108A 编解码接法

图左边接成解码电路，地址 $A_0 \sim A_9$ 的设置必须与编码电路一致，根据引脚说明的规定，把“功能设置”端 T/\bar{R} 接地，编码信号由“IN”端送入。当编码电路中的按钮 A_N 按下时，解码电路即收到编码信号，若有正确解码，则 T_x/R_x 端会变为低电平，把该端所接的 LED 指示灯的阴极电位拉低，LED 点亮。

3. 地址编码的应用

如前所述，专用编解码电路有若干地址线，地址编码数由几百至几万甚至几百万种，这么多的不同地址编码，在实际应用中有哪些作用呢？前面虽曾有过初步的介绍，但并不明确也不具体，这里我们针对几种典型的的具体应用介绍一下地址编码的作用以及地址编码数目的多少对产品产生的影响。

(1) 地址编码应用之一

许多读者所熟悉的“楼宇防盗对讲系统”，来访者在安装于楼梯口的传呼主机上接入某套房间的编号（或按动某一个按钮），主机就能选择地接通所需求的那套房间的分机，但主机与各个分机之间的联系并不像普通电话那样每部分机都有一对独立的线路连到主机，而是把所有的分机都并接到一组线路上。当主机发送呼叫信号时，这一信号同时送到所有的分机，同时被所有分机收到，但为什么其中只有一部分机能接通而其他均不能接通呢？这就要用到编解码电路的地址编码技术了。图 3-46 所示是一个主机与多分机联络的示意图，主机发出的呼叫信号是由编码电路完成的，编码电路的地址线由一套编码开关来完成。这

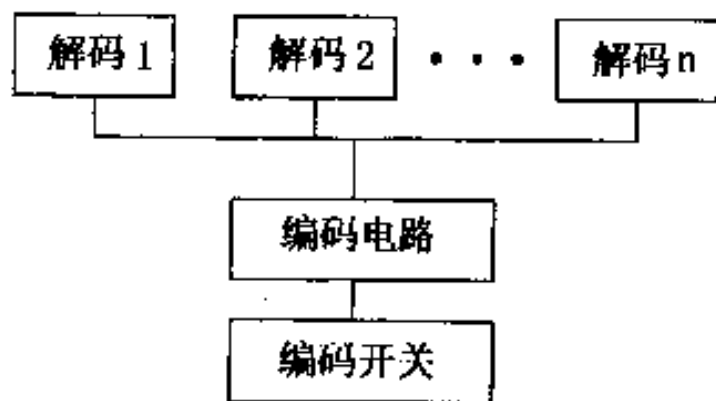


图 3-46 地址编码的应用之一

个编码开关可以是机械开关，也可以是一些逻辑电路，还可以用先进的手段——单片微型计算机（或称微控制器）来担任。总之不管用什么手段，其最终目的是将编码器的地址线分别置“1”或“0”。对于各房间里的分机，则安装有解码器，解码器的地址线预先已固定设置为某一种状态，每部分机一个编码，不能重复，这些编码与房间的号码相呼应并已登记在册。主机要呼叫某分机（即某一编码）时，就通过编码开关把地址设置成与该分机相同的状态，于是当所有分机都收到主机发来的编码信号时，就只有地址编码相吻合的那一部能正确解码并从 VT 端送出脉冲信号以控制有关电路“接通”。上述方法是这类应用中较先进的一种办法，特别是分机数较多，几十部甚至几百部，例如学生宿舍、职工集体宿舍等，必须使用这种编解码技术。许多老式的楼宇对讲系统，因房间数少等原因，还没有采用这种先进的编解码技术，仍使用一部分机拉一根控制线的作法。

（2）地址编码应用之二

这也是大家所熟悉的一个应用——摩托车报警装置。它分为两个组成部分，一部分安装在车身隐蔽处，当有人盗车时，振动传感器接受振动信号触发发射电路工作，把特定的编码信号经无线电射频载波送往天空；另一部分是佩带在车主身上的接收装置，它收到信号便得知有人盗车。可以想象，有许多的摩托车都安装了这种装置，因此在同一地方可能有许许多多的发射装置和接收装置，其情景如图 3-47 所示。现希望发、收能一一对应—— TX_1 发则 TR_1 收…… TX_n 发则 TR_n 收，但又不可能每对收发装置使用一个射频频率（无线电射频使用资源有限，并受无线电管理委员会严格控制）。因此 TX_1 所发信号可被许多个接收装置同时收到，同理 TX_n 所发信号也能被多个接收装置同时收到。使用地址编码技术之后，虽然每个无线电接收头都收到了射频信号，但只

有地址线设置与发射装置相同的那个接收装置，才能正确解码取得告警信息，而其他所有的接收装置都不能通过解码器正确解码，这样有效地克服了互窜、互扰。作为厂商的一种产

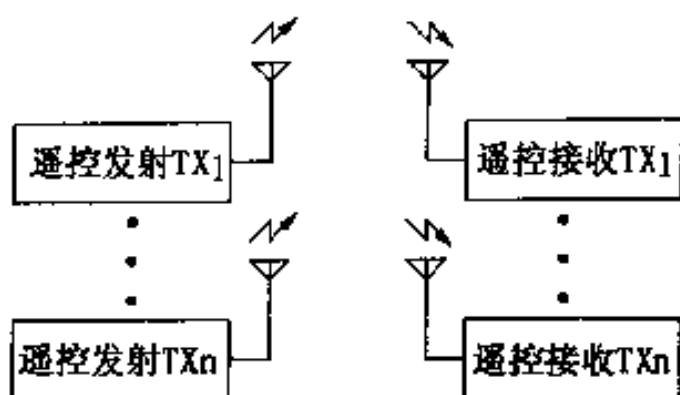


图 3-47 地址编码的应用之二

品，最好售出的产品中每件一个编码不重复，但地址编码数总归有限，而产品的产量却没有限制，因而必有重码现象。但若地址编码数越多，这种重码的几率就越小，互窜、互扰误报警现象就越少。这犹如我们日常生活中天天所见的钥匙，钥匙上的齿形数目越多，齿形深浅排列组合状态就越多，重复的机会就越少，锁的保密性也就越好。

(3) 地址编码应用之三

这是一个报警系统，它有多个报警或呼叫装置，每个均可向某值班点传送报警、呼叫信号。为减少传输线路，所有发送装置均并接在一对线路上（使用无线电传送时使用同一个载频发送），接收装置在收到信号以后如何判别报警地点呢？我们可以使用地址编码技术解决这个问题。系统示意图见图 3-48 所示，有 n 个编码发送装置，通过同一对线路向接收解码电路传送报警信息。每

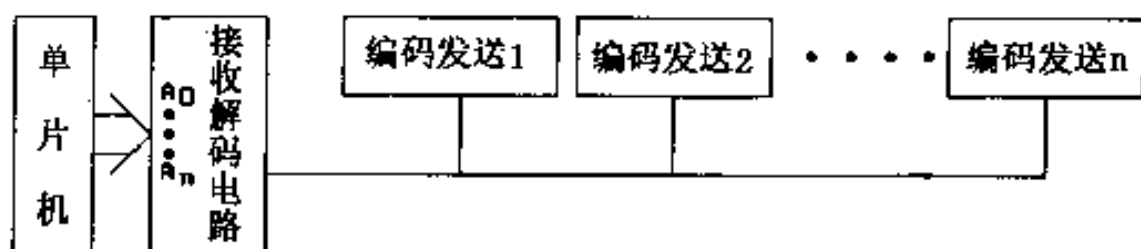


图 3-48 地址编码的应用之三

1 个编码器设置 1 种地址编码, 共有 n 种已知的地址编码。接收装置中的解码电路的地址线由单片机控制编码, 单片机能轮流进行上述的 n 种编码设置, 称之为“扫描设置”。只要扫描的总时间小于每个编码器的发送时间, 则接收装置必能收到 n 个编码器中的任一个所发来的信号并得到正确解码。这时, 单片机立即记住刚才的编码, 于是就能判断是哪个编码器发来的信息。但这种方法要求编码发送装置的数目应较少, 一般不宜大于 20 (即 $n \leq 20$), 否则“扫描编码”循环时间太长, 没有实用价值。

4. 数据资料的应用

数据资料的应用一般有下面两种:

(1) 用于识别对象

图 3-48 所示的应用, 可以不用上述地址编码方法来识别发送对象, 而使用数据编码来识别。把所有编码器的地址都设置成同一状态, 接收解码电路的地址也设置成一样, 但每个编码器的数据线状态设置成各不同相同。以 VD5026 为编码器为例, 它共有 4 根数据线 $D_0 \sim D_3$, 可编成 0~F 共 16 组合状态, 参见第一章表 1-2, 接法如图 3-49 所示。0~15 个编码器中, 数据线 $D_0 \sim D_3$ 接法各不相同。解码器使用 VD5027, 它有 4 根数据输出, 因所有编码器地址均与解码器相同, 因此各编码器发送出的信号均能被解码器收到并能正确解码 (不能同时发送, 但在实际应用中发送时间总有先后或长短区别, 不可能完全重叠), 因此在解码器的 $D_0 \sim D_3$ 状态就能指示出究竟是哪一个编码器发来的信号。为观察方便, 使用 16 线译码器 74LS154 进行二次译码 (有关 74LS154 进行二次译码的使用方法已在第二章图 2-12 的实验中介绍, 这里不再重述), 并用 LED 指示灯作简单指示。例如, 若编码器第 15 号发送信号, 由图知, 该编码器的 $D_3 \sim D_0$ 全部接高电平, 因此解码器 VD5027 收到并解码后, 其 $D_3 \sim D_0$ 也会出现“1111”。由译码器

74LS154 的逻辑特性知, Y_{15} 这条输出线就变为低电平 (见译码表 2-3), 于是 LED_{15} 被点亮。当我们看见 LED_{15} 被点亮时, 由事先写在指示灯边上的编号“15”, 立即可推知是第 15 号编码器发来了信号。如果使用具有 8 位数据线的编解码器, 例如 UM3758-108A, 则最多可识别 256 个对象。

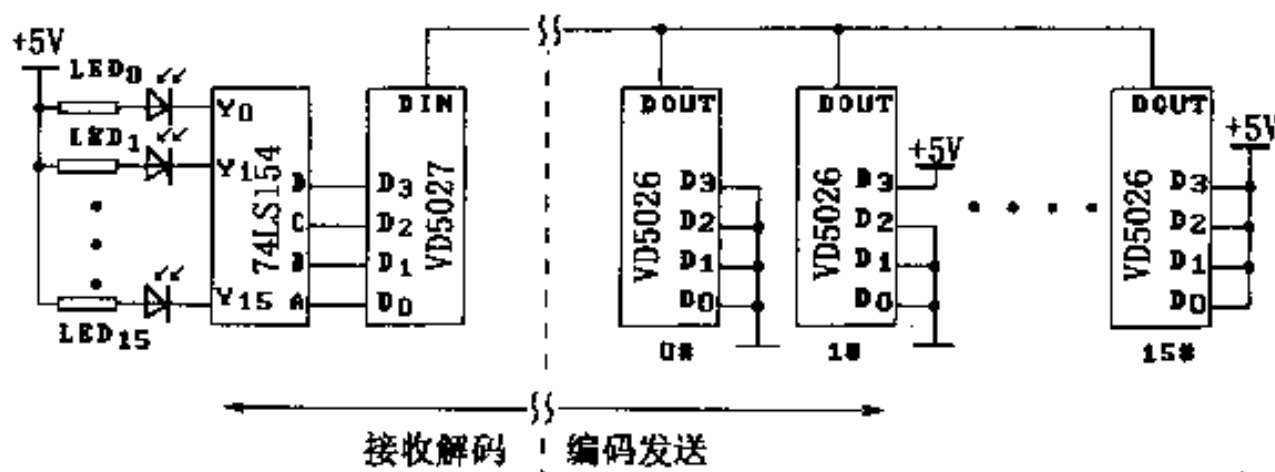


图 3 49 利用数据编码识别对象

上面的“指示”仅以 LED 指示灯作简单指示, 较先进的方法是采用数字显示, 数字显示需要使用专用数字译码器, 而在现代遥控应用中, 又普遍地使用了廉价的单片机同时承担数字译码、各种判断、信号转发、动作控制等任务。

(2) 用于对象选择

所谓“多路遥控”、“能控制几路”等等说法, 意思就是指能够“选择多个对象”、“能够选择几个对象”, 对其实施控制的意思。早期的遥控装置中, 用了较复杂的电路来实现这一功能, 而当控制对象很多时, 这几乎是不可能实现的。如今有了专用编解码电路, 使问题得到极大简化, 如果配合使用单片机, 可选择对象可以达到几百甚至几千, 而硬件电路并不复杂, 这在早期的遥控装置中是不可能办到的。

图 3-50 所示电路说明了实现对象选择的基本原理。该电路有

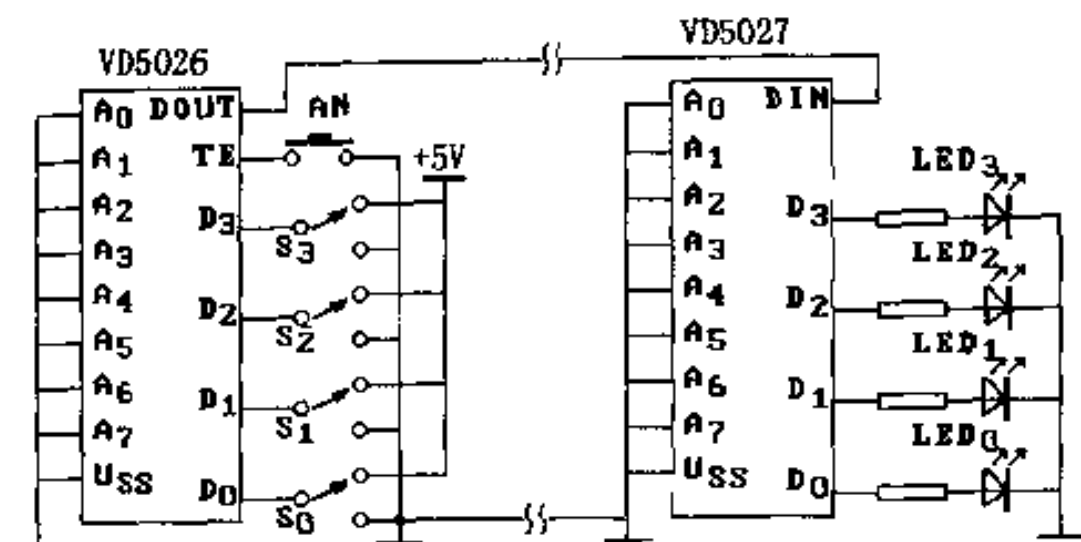


图 3-50 利用数据编码选择对象

LED₀、LED₁、LED₂、LED₃ 共 4 个可选对象，要求在远端能够通过开关 S₀、S₁、S₂、S₃ 任意选择其中的某一点亮。我们用 VD5027 作为解码器，将 4 个 LED 分别接到解码器的 D₀~D₃ 线上；编码器采用 VD5026，其数据线 D₀~D₃ 分别用开关 S₀~S₃ 接成高电平或低电平。因 VD5026 与 VD5027 的编/解码电路的地址线接法相同，因此只要按下按钮 AN，编码器发出的编码信号就会被解码器 VD5027 接收并正确解码，于是编码器 VD5026 的 D₀~D₃ 状态就被“拷贝”到解码器 VD5027 的 D₀~D₃ 线上。可见，如果要选择 LED₃ 点亮，只要把编码电路开关 S₃ 打向 +5V 再按一下按钮 AN，则 LED₃ 即能点亮。同理可以任意选择 4 个 LED 中的任一个点亮。

选择对象较多时，必须使用二次译码，方法及电路如图 3-49。在解码器的输出线 D₀~D₃ 上，再接入一片译码器 74LS154，那么可选对象就由刚才的 4 个扩展为 16 个。如果使用有 8 根数据线的编解码器，用类似的方法或应用单片机技术，可扩展选择对象 256 个。

在结束本节之前，再次强调现代专用编解码集成电路在现代遥控、信息遥传中的重要地位，并根据笔者的有限经验，提请读

者在使用编解码电路时应该注意的下面几个问题：

①专用编解码集成电路目前品种繁多，但功能大同小异，各引脚的符号及作用也大多相似。有些虽型号不同，但引脚数目、排列、功能完全相同，因而可互换使用，甚至有的本来就是同一种器件，仅是销售商把原型号抹去，标上自家的型号而已。

②这类编解码集成电路都属于CMOS器件，工作电压可以低至2.5V左右，高至5V到12V不等，视具体型号而定。同时功耗很小，静态守候电流可在10 μ A以下。

③对于解码器，在静态守候状态时，应保持信号输入端“DIN端”的外接电路的高阻方式，否则静态电流可能大大增加。

④解码器的输出数据D₀~D_n一般有锁存功能，但也有一些型号无锁存功能，输出的仅是瞬态信号。

⑤解码器在上电时，不能保证数据线的初态全为“0”。

⑥输入解码器DIN端的编码信号的高低电平有所要求，应接近电源的高低电平值，否则不能解码或工作不可靠。

⑦编、解码电路两地相距大约500m以内时，编码信号可以直接用线路传输。

表3-6列出几种编解码集成电路的主要参数，以供参考。

表 3-6 几种遥控编解码集成电路的主要参数

型号	功能	地址数目/状态	配对型号	数据位数 (bit)	工作电压 (V)	推荐振荡电阻 (k Ω)
VD5026	编码	11/4 态	VD057, 5028	4	2~6	75~200
VD5027	解码	7/4 态	VD5026	4	2~6	75~200
VD5028	解码	11/4 态	VD5026	无	2~6	75~200
HT-12E	编码	12/2 态	HT-12F, 12D	4	2.5~12	1500
HT-12F	解码	12/2 态	HF-12E	无	2.5~12	75
HT-12D	解码	8/2 态	HF-12E	4	2.5~12	75
UM3758	编码 解码	10/3 态	本身	8	3~12	100 (C=120p)

四、指示方法和电路

(一) 简单指示

图 3-49 使用了若干个 LED 指示灯，在每个指示灯的边上标上数字代码，利用“灯亮”这一事件并借助事先标注的代码可以判断告警或遥控信号究竟来源于哪一个编码发送装置。这种指示方法的硬件电路简单，故障率低，造价也相对便宜，但在指示数目较多时，上述优点便不复存在，相反电路却变得较为复杂甚至相当复杂，在这种情况下往往不使用图 3-49 中的简单指示方法，而采用数码显示器作为指示。

(二) 数码指示

数码指示使用数字显示器，或称数码管，一般有下列几种类型。

(1) 辉光显示器。辉光显示器是使用较早的一种数字显示器件。这是一种“电子管”器件，外形是一个圆柱式的玻璃泡，内部有 1 个阳极，需加给 +180V 左右的直流电压，阴极有 10 个，用细金属丝构造成 0~9 共 10 个字形，并通过引脚引到外部。当某个阴极被接地时，在该金属丝的周边就会发出红色的光晕，形成一个美丽的数字。这种显示器字形美观，富有艺术感，亮度也较亮，字形较大，适于体积较大、允许耗电较大的设备。

(2) 荧光显示器。荧光显示器也是一种“电子管”器件，外壳为玻璃制品，外形各有所异，有单字的，也有一个玻璃外壳里排列了若干个字的，这种显示器一般都发绿光，字形不是整体形，而是制成 7 段（包含小数点共 8 段），称为 8 段荧光显示器。使用这种显示器至少要两组电源，其中一组约为 3~6V，可以是直流

也可以是交流，供管内灯丝使用，另一组通常十几伏至几十伏，供字段（阳极或阴极）使用。目前这种显示器还用得很多，大家所熟知并也常见的商用电子秤，显示颜色为绿光的就是使用的这类显示器。

(3) 液晶显示器 (LCD)。这种显示器是目前应用最广的显示器件，例如数字电子表、计算器、BP 机、手提电话、笔记本电脑显示屏等等。这种显示器的最大特点是耗电极省，因此便携式的电子装置、设备、仪器都不无例外地必须使用这种显示器，这种显示器的另外一个特点是容易制作成点阵式的，在电子线路的配合下可以实现中文显示，如果只需显示数字（如电子表、计算器）就使用 8 段式的。

(4) 发光二极管数字显示器 (LED)。这种显示器也是目前最广泛使用的显示器件之一，其主要特点是坚固耐用。前面几种显示器都是玻璃外壳、易碎易破，而 LED 是塑封外壳，不会破碎，驱动电路简单，特别适合于电子实验、业余电子爱好者使用。因此这里着重介绍 8 段 LED 数字显示器的结构和具体使用方法。

1. LED 数码管简介

图 3-51 是 LED 数码管的结构示意图，其内部实质上是 8 只发光二极管，分别记为 a、b、c、d、e、f、g、h，其中除 h 制成圆形用以表示小数点外，其余 7 只全部制成条形，并排列成图 3-51 所示的“8”字形状。每只发光二极管都有一根电极引到外引脚上，而另一电极全部连接在一起引到外引脚。图 3-51 (b) 所示，把各个发光二极管的阳极都接在一起，从“COM”端引出，阴极分别从其他 8 根引脚引出的，称为共阳结构；图 3-51 (c) 所示，把各个发光二极管的阴极都接在一起，从“COM”端引出，阳极分别从其他 8 根引脚引出的，称为共阴结构。两种结构不同，使用的显示驱动方法和具体电路也就不同，因此在购买 LED 数码管

时，必须说明是共阴还是共阳。此外，LED 数码管字形尺寸大小也有若干规格，显示颜色也有红、绿、黄等，显示亮度还有“高亮”和“普亮”之分，在选购时均需说明。

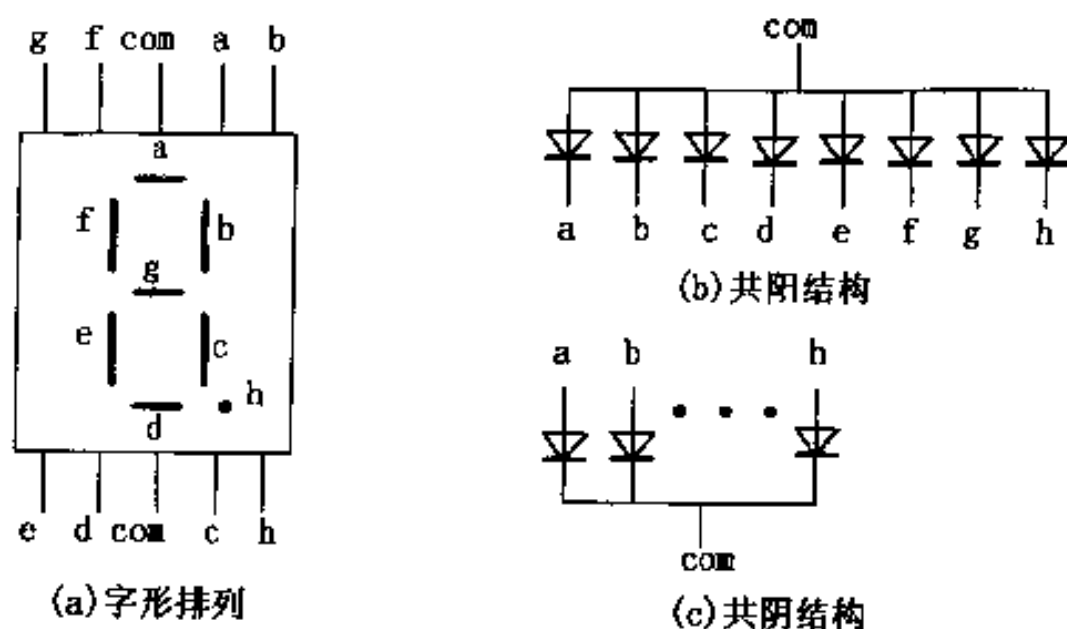


图 3-51 LED 数码管结构示意图

图 3-51 (a) 中，字形及引脚排列是从正面观察的顺序，但引脚不是从上下侧引出的，而是从背后引出的，实物外形立体图应如图 3-52 所示。弄清 LED 数码管的基本结构以后，就不难掌握它的用法了。根据图 3-51 所示，可以知道

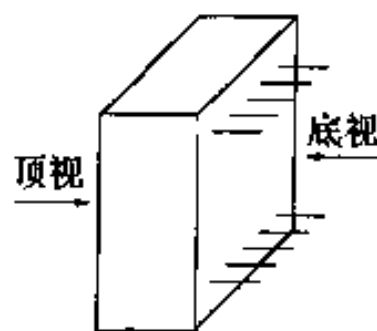


图 3-52 LED 数码管外形

如果希望显示“0”字，那么除了“g”和“h”这两个发光二极管不要点亮以外，其余全部须点亮。同理如果要显示“1”，那么只需点亮“b”、“c”两个发光二极管，其余均不必点亮。对照图 (b) 的共阳结构，就是要把公共端 COM 接电源正极，而 b、c 两个负极分别经过一个限流电阻后接低电平（电源负极）。而对照图 (c) 的共阴结构，就是把要把公共端 COM 接低电平（电源负极），b、c 两个正极分别经过一个限流电阻接到电源正极。按照同样的

方法分析，可以得到表 3-7 所示的段码。该表适合共阳 LED 数码管，例如表中，当显示“1”时，根据刚才前面所分析的结果，须把“b、c”两段的阴极接低电平“0”，而其余各段阴极接高电平“1”，因此表中段码为11111001B，用 16 进制数来表示为 F9H（“B”表示 2 进制数，“H”表示 16 进制数）。如果使用的是共阴结构的数码管，则段码与表中相反，即“1”改为“0”，“0”改为“1”。

LED 数码管可以用下面方法进行初步测试。

方法 1：用万用表测试。

指针式万用表内部电池有两组：一组为低压，所用电池有 1 节和 2 节两种类型；另一组为高压，所用电

池有 9V、12V 或 15V 几种。对于低压组使用 3V 的万用表，可使用 $R \times R \times 10$ 挡测量 LED 数码管。例如测量 1 个共阳 LED 数码管，把黑表笔（对应于万用表内部电池的正极）接“COM”端，把红表笔分别接“a、b……g、h”各引脚，可以看到对应的那个段被点亮。注意每接 1 个引脚只能点亮 1 个段，若有两段点亮表明这两段在器件内部已被短路，不能使用。还需注意每段亮度是否基本相同，

表 3-7 LED 数码管段码与显示数

显示数	段码	16 进制数
	h g f e d c b a	
0	1 1 0 0 0 0 0 0	C0
1	1 1 1 1 1 0 0 1	F9
2	1 0 1 0 0 1 0 0	A4
3	1 0 1 1 0 0 0 0	B0
4	1 0 0 1 1 0 0 1	99
5	1 0 0 1 0 0 1 0	92
6	1 0 0 0 0 0 1 0	82
7	1 1 1 1 1 0 0 0	F8
8	1 0 0 0 0 0 0 0	80
9	1 0 0 1 0 0 0 0	90
A	1 0 0 0 1 0 0 0	88
b	1 0 0 0 0 0 1 1	83
c	1 1 0 0 0 1 1 0	C6
d	1 0 1 0 0 0 0 1	A1
E	1 0 0 0 0 1 1 0	86
F	1 0 0 0 1 1 1 0	8E

注：小数点全部不点亮。

如果有个别段特别暗，表明该器件质量有问题。对于低压组为 1.5V 供电的万用表，可仿照类似方法测量，但应指出，有些 LED 数码管每段导通电压大于 1.5V，特别是字形大的，每段可能由 2 个发光二极管串联组成，所以导通电压大于 1.5V，这种情况就不能使用电源为 1.5V 的万用表测量。但使用 R×10k 挡，上述两种万用表均可测量，不过只能测各“段”的正反向等效电阻（与测普通二极管相同），而不能点亮各个“段”，所以这种方法不如前者好。测量共阴 LED 数码管时，应将红表笔接“COM”端，黑表笔分别接“a……h”各引脚，测量法与上面相同。

方法 2：用电池组测试。

用两节电池串联，再串入一个 100~200Ω 的电阻，然后也类似于使用万用表测量时的步骤来“点亮”各“字段”，从点亮的情况容易准确判断该器件的好坏。也可使用 1 只 6~9V 的层叠电池作为电源，因层叠电池所能提供的电流有限，不串联电阻，也不会烧坏器件，测量电路如图 3-53 所示。对于图 3-53 (a)，电池负极分别接“a、b……g、h”各引脚，应看到对应的那个段被点亮；对于图 3-53(b)，电池正极分别接“a、b……g、h”各引脚，应看到对应的那个段被点亮。

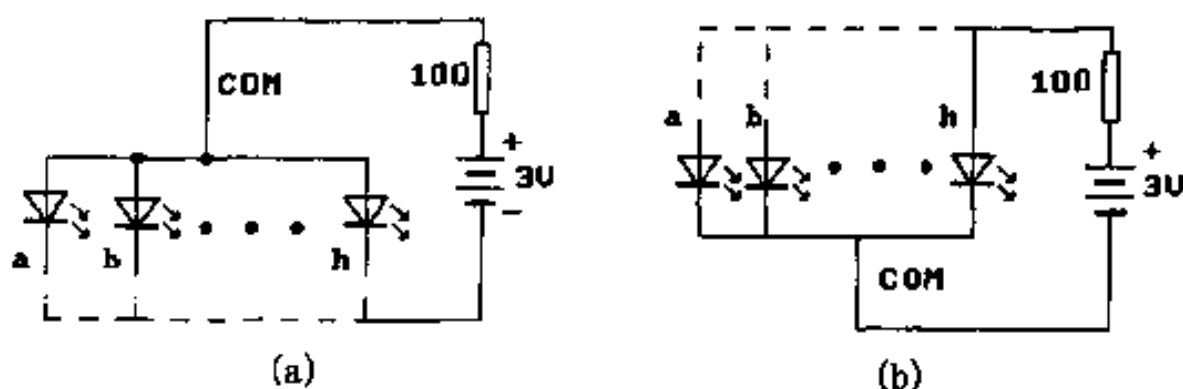


图 3-53 用电池组测量 LED 数码管

2.7 段译码驱动电路

实际使用的译码驱动电路是专用集成电路，一般不能译出小

数点，只能将 2 进制码 D、C、B、A 译成 0~9 共 10 个数字或 0~F 共 16 个数字符号所对应的段码，在实际使用中经常使用的是前一种，称为“BCD→7 段”译码。“BCD”即 BCD 码，称为 2-10 进制码。在选择 7 段译码驱动器时最要紧的是要弄清所采用的数码管是共阴还是共阳结构，然后选择具有相应译码功能的译码驱动器，否则不能使用；其次要弄清所选的译码驱动器是不是“集电极（或漏极）开路输出型”，“开路型”在手册中常以符号“OC”标注。

当与共阳 LED 数码管相匹配使用时，可以使用并且最好使用“OC”型，而与共阴 LED 数码管相匹配时，最好使用非“OC”型。如若使用“OC”型，那么在每个输出端（即 a、b……g 各引线上）必须外接一个上拉电阻到电源，上拉电阻的阻值根据每段发光二极管所实际承担的电流来选取。

图 3-54 是一种实际使用的 7 段译码显示电路，采用共阴 LED 数码管，CD4511 为译码器，由图 3-51(c)的结构原理可知，应把数码管的“COM”端接地，a、b、c、d、e、f、g 7 个段分别经过一个 300Ω 的限流电阻接到译码集成电路的 7 个输出端。译码器 CD4511 的译码表如表 3-8 所示。例如，当输入 D、C、B、A (D_3 、 D_2 、 D_1 、 D_0) 为 0110 时，7 个输出端中只有 b 为低电平，其余全为高电平，所以 LED 数码管就只有 b 段不亮其余各段均点亮，从图 3-51(a)分析可以知道，显示器显示字形为“6”。

CD4511 除 A、B、C、D 外还有 3 个输入端 \overline{LE} 、 \overline{BI} 、 \overline{LT} ，它们的功能为：

\overline{LE} —— 锁定允许。当 \overline{BI} 、 \overline{LT} 为“1”时，若该端为高电平，加在 A、B、C、D 端的外部编码信息不能进入译码，所以译码器的输出状态保持不变，则显示器显示内容也就不变。图 3-54 把 CD4511 的⑤脚（ \overline{LE} 端）接地，表明只要 A、B、C、D 编码状态经改变，立即就会反映到输出端。

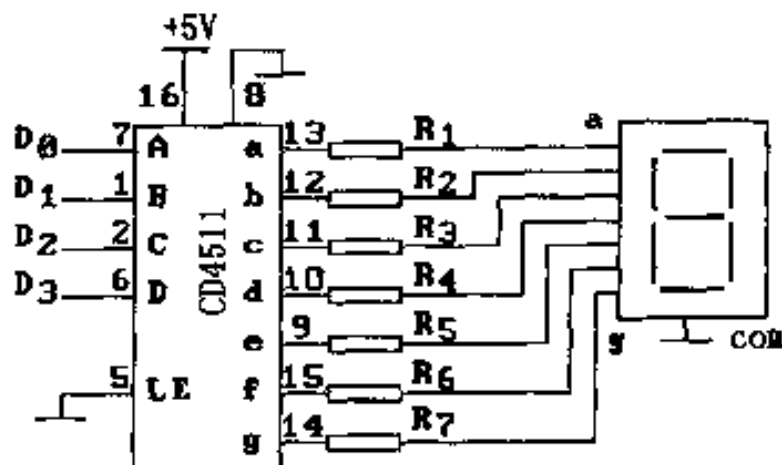


图 3-54 7 段译码显示电路

\overline{BI} ——消隐。当 \overline{LT} 为“1”时，若该端为低电平，则译码器输出端全为“0”，LED 显示器熄灭。因此在一般使用中应接高电平，图 3-54 中没有画出，表明该端可以空着不接（悬空）。前面曾介绍过，在数字逻辑电路中“悬空”一般均视为“1”处理。

\overline{LT} ——“电珠测试”端。如果该端为低电平，则译码器输出全为高，LED 显示器 7 段均点亮，显示“8”字。该端拥有最高权限，只要它为“0”即有上述现象，与其余所有输入端状态均无关。这一功能主要用于测试目的，正常使用中应接“1”，图 3-54 中未画出，表明可以不接（悬空）。

CD4511 是一种 CMOS 集成电路，工作电压范围可以在 3~15V 之间，图 3-54 中 7 个限流电阻取值为 300~680Ω，只适合于 5V 供电的情况，如果供电电压提高，则须相应增大限流电阻，限流电阻取值可以参照下式估算：

$$R \text{ (k}\Omega\text{)} \approx (U_{DD} - 1.5) / (5 \sim 10) \dots\dots\dots 3.13$$

其中， U_{DD} 为电源电压，单位伏。

CD4511 的引脚排列见附录 5。

表 3-8 7 段译码器 CD4511 译码表

输入							输出							显示
LE	$\overline{\text{BI}}$	$\overline{\text{LT}}$	D	C	B	A	g	f	e	d	c	b	a	
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	灭
1	1	1	X	X	X	X	——不变——							维持
0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	3
0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	4
0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	5
0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	6
0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	灭
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	灭
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	灭
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	灭
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	灭
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	灭

3. 数字译码和显示的实验

实验电路采用图 3-54 电路, 以 CD4511 为 7 段译码器, 使用共阴 LED 数码管, 7 个限流电阻使用 470Ω 、 $1/8W$ 的碳膜电阻, 供

电电源为+5V、大于100mA即可。相应的印刷电路板图见图3-55示，该图为1:1透视图，电路板上标有D₀、D₁、D₂、D₃的接点是BCD码的输入端，板上设计了一个SIP插座，以便于实验时设置BCD码。安装时译码器应使用插座，以便于检查毛病及更换器件。安装完毕后按下述的步骤进行实验和调试。

①先不要插上集成电路CD4511，接通电源，这时显示器应熄灭。

②取一段硬导线，一端插入IC座的⑬脚(+5V)，另一端依次分别接触⑬、⑫、⑪、⑩、⑨、⑮、⑭各脚，应看到显示器的a、b、c、d、e、f、g各段依次被轮流点亮，每次只能亮一段。

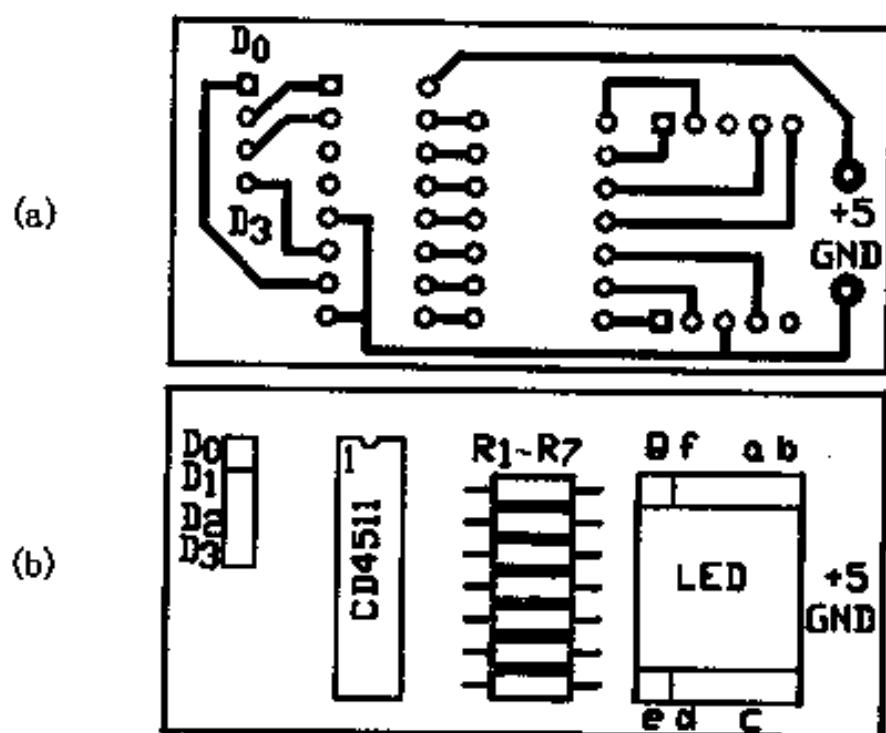


图 3-55 译码显示实验印刷电路板

③关掉电源，插入CD4511，注意集成电路的方向，不可插错，否则可能烧坏集成电路。

④接通电源，显示器应熄灭。取第二章图2-25的“用于人工设置8421码的装置”，将其D₀、D₁、D₂、D₃引线分别对应地插入本实验电路板SIP插座。

⑤按照第一章表1-3的8421编码表设置D₀、D₁、D₂、D₃的状

态,观察显示器显数的数字是否与表 1-3 符合。例如设置 D_3 、 D_2 、 D_1 、 D_0 为 1001,由表 1-3 可知显示器应显示“9”。本实验所使用的译码器 CD4511 是 BCD \rightarrow 7 段译码器,只承担 0~9 共 10 个编码的译码,因此表 1-3 的第十至第十五种编码,显示器为“熄灭”状态(见译码表 3-8)。

五、红外遥控电路分析与实验

(一) 简单红外遥控装置

1. 发射装置

图 3-56 是一个最简单的脉冲红外光发射装置,由 T_1 、 T_2 、 R_1 、 R_2 、 C_1 及红外发射管 IR 组成振荡器, T_2 同时承担了驱动任务。振荡器的振荡频率主要确定于 C_1 、 R_1 和 R_2 ,但调整时只需调整其中的一个,一般可以调节 R_2 来改变频率。 R_2 值小时,振荡频率升高,反之则频率降低。按照图中所注参数,振荡频率约为 40kHz,对于具体不同的三极管特性(主要是 r_{be})以及 IR 管压降的不同,振荡频率会有所差异,可以微调 R_2 值使频率约为 40kHz 左右。不过对于业余爱好者,一般都缺乏设备条件,无法测试实际频率值,且在实际实验中,对频率值的要求并不严格。频率偏离不太多时,能影响遥控距离,但对实验的主要目的并无大碍,所以可按图中选取元件参数,不必调整。

开关 K 最好使用双掷按钮开关,“1”为“刀”,“2”为常闭触点,“3”为常开触点。松开按钮时,由于开关内部回位弹簧的作用,触点“1”和“2”接通,电源 E 对电容 C_3 充电至电源电压。当按下按钮时,“1”、“2”脱离,“1”接向“3”,电容 C_3 上的电压充当了振荡电路的工作电源,振荡器进入工作,红外发射管 IR 发

射出约 40kHz 的脉冲红外光。由于电容储能有限，很快就放电完毕，因此即使按钮开关一直按住，IR 也只能工作一小段时间，发射出一组红外脉冲。正是由于 C_2 的上述这种“替身”作用，开关 K 有可能采用其他任何形式的拨动开关。使用拨动开关时，若拨在“1、3”接通状态，电源 E 不消耗功率；若 K 拨在“1、2”接通状态，E 向 C_2 充电后即不再消耗功率；需要进行遥控操作时，只需要来回拨动一下开关 K 即可。平时 K 无论接向哪一边均可，该方法适合于使用电池供电的场合。

该发射装置的电路板图如图 3-56 (b)、(c) 所示，为 1:1 透视图。安装完毕后，可按照图 3-25 所介绍的方法检验发射装置是否工作。该电路比较简单，只要元件完好，一般均能一次成功，对于初学者需要特别注意的是应识别清楚三极管管脚，红外发射管的正负极不能搞错。

2. 接收装置

(1) D 触发器 CD4013

CD4013 是 CMOS 双 D 触发器，有关 D 触发器的基本知识在第二章中已作过介绍，对于本实验中的应用，再作如下补充：

①直接置“1”端 SD 和直接置“0”端 RD 的有效信号为高电平（而第二章中介绍的 74LS74 是低电平为直接置“0”和直接置“1”的有效信号），当 $SD=1$ ， $RD=0$ 时，触发器被置“1”，即 $Q=1$ ；当 $RD=1$ ， $SD=0$ 时，触发器被置“0”，即 $Q=0$ ，与 D 端及 CP 端完全无关。

②当 $RD=SD=0$ 时，Q 端的状态如何与 D 端及 CP 端有关。CP 端不加触发脉冲（称时钟脉冲）时，不管 D 端为“1”或为“0”，Q 端状态不会改变；当 CP 端加一个触发脉冲，在其上跳沿作用后，Q 端状态必与 D 端状态相同，就好像是 D 端状态被搬到了 Q 端。

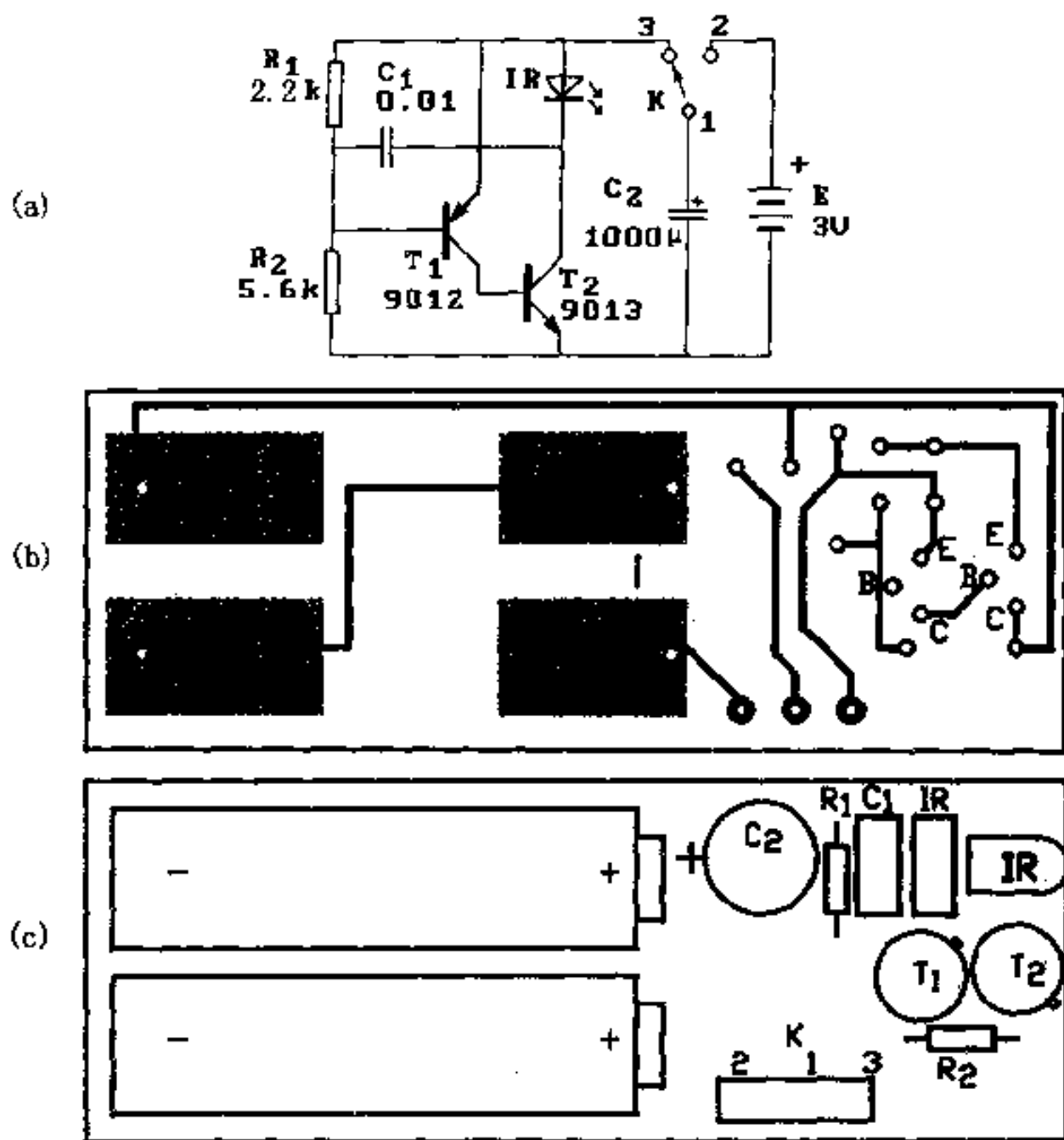
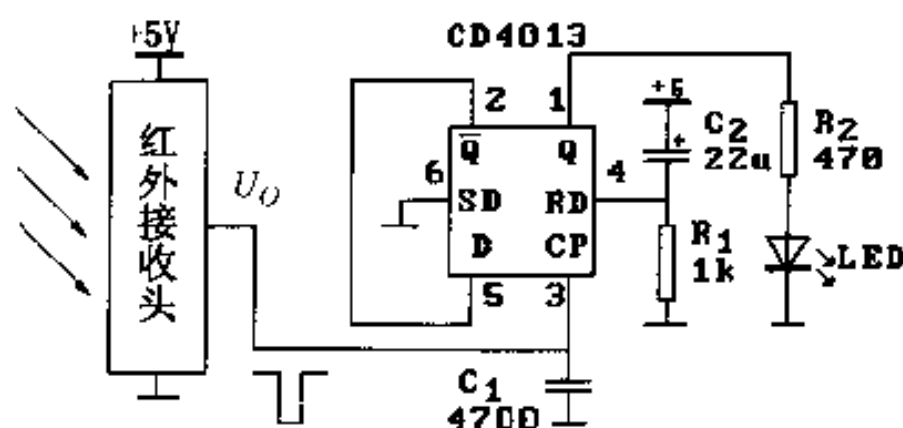


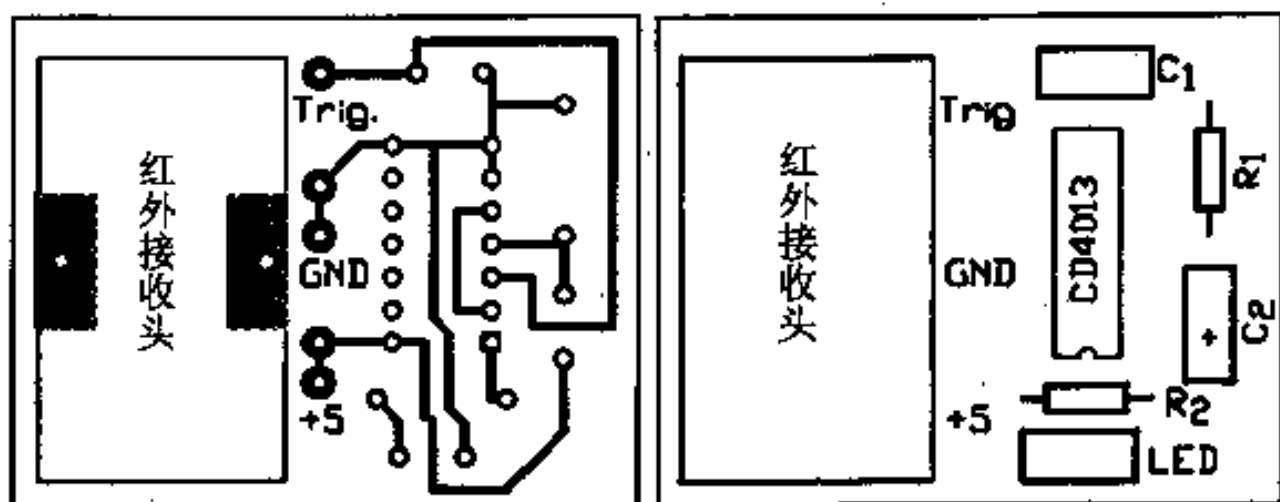
图 3-56 简单红外遥控发射装置

③根据上述特性，现在若把 D 端与 \bar{Q} 端相连，如图 3-57 所示，那么因为“ \bar{Q} ”端总与“Q”端相反，因此 D 端也就总与 Q 端相反。这样，若在 CP 端加触发，则 Q 端为了追随 D 端，就必须改变一次状态，而当它的状态改变过来以后，D 端（即“ \bar{Q} ”端）又自动改变成了另外状态。其最终结果是，CP 端每加一次上跳沿触发，它们的状态总改变一次，称为翻转一次，也就是“1-0-1-0”循环变化。CD4013 的引脚排列见附录 5，它内部包含了 2 个相

同、独立的 D 触发器，在各引脚的符号之首分别冠以“1”或“2”以示区别。



(a)



(b)

(c)

图 3-57 简单红外遥控接收装置

(2) 接收装置电路工作原理

图 3-57 (a) 是本实验的接收装置原理图，红外接收头采用前面图 3-35 “接收头实验” 的作品，也可以购买现成的任何型号的“红外遥控接收头”。不管采用哪一种，它都只有 3 根引线——+5V、地线、信号输出 U_o 。接收头在收到由图 3-56 发射装置发来的红外光脉冲后，由 U_o 端输出 1 个负脉冲。该脉冲作为 D 触发器 CP 端触发脉冲。D 触发器的 D 端与 \bar{Q} 端相连，如前所述，它在每一个 CP 脉冲的上跳沿触发下就会翻转一次，也就是说每按动一下图 3-56 的发射器按钮（或来回拨动一次开关），Q 端电平状态就

会改变一次，结果受控 LED 指示灯的“亮”或“灭”状态就会改变一次。与 LED 指示灯串联的电阻作为 LED 的限流电阻。

为了保证在电路“上电”后的初始状态 LED 处于“灭”状态，必须使 D 触发器在“上电”瞬间被置“0”，为此将其 RD 端接成如图所示形式。在上电瞬间，由于电容的耦合作用，RD 端电位瞬间为高，SD=0，RD=1，故 Q=0。随后电容充电满，RD 电位下降到较小的电平，被视为逻辑“0”处理，此后均为 RD=0，SD=0 状态，可以接受触发。CP 端接入的 C1 有助于抑制干扰，但该电容值不可过大，否则 D 触发器不能触发，实验时应略加调整，以能够触发翻转为前提，尽可能取稍大些为好。

(3) 制作与实验

接收装置的印刷电路板如图 3-57 (b) 示，图为 1:1 透视图，焊接完毕，外观检查无误，即可接通电源，按以下的步骤进行实验：

①先不插上 CD4013，使用万用表测量 IC 座的⑭脚与⑦脚间电压，应为 5V，⑭脚为正。用一段硬导线，一端接触⑭脚，另一端接触①脚，使⑭脚与①脚短接，这时 LED 指示灯应点亮。如果灯不亮，多为 LED 正负极接错，或 LED 已损坏，可以关断电源，用万用表 R×1k（有的万用表须用 R×10k 挡）测量 LED，找出毛病。

②接通电源，用万用表监视 IC 座的③脚电压，也就是红外接收头输出端的电压。在静态时，该电压约为 5V。使用本实验的发射装置，按动按钮以发射红外脉冲光，每按动一次按钮（或来回拨动一次“拨动开关”），可以看到万用表指针向指示小的方向跳一下。

③关断电源，插上 CD4013，再接通电源，LED 应处于熄灭状态，反复通断电源若干次（每次断与通之间的时间间隔应在 3s 以上），LED 灯均不应点亮，如果有异，应适当加大电容 C₂ 值。

④用发射器来控制 LED 灯，按一次发射器按钮（或来回拨动一次“拨动开关”），LED 灯亮，再按一次按钮，LED 灯灭。

⑤逐渐拉大发射装置与接收装置之间的距离，并观察遥控效果，直到控制失灵，记录有效遥控距离。本装置遥控距离约为 8~10m。

本实验发射装置最好使用电池供电，若与接收装置同使用一个电源供电，有可能因电源内阻引起交连干扰。

（二）带编解码的红外遥控装置

前一个红外遥控装置虽然简单，但抗干扰能力差，强的自然光、白炽灯光、日光灯等直接照射接收头的光电二极管时，特别是当这些光照强度突然大幅度变化时容易引起误动作。尤其在使用“电子镇流器”的日光灯的场合，干扰特别强，能导致接收装置根本无法工作。彻底解决抗干扰问题的有效措施是采用编解码技术。下面的实验使用了 VD5026 和 VD5027 专用编解码集成电路，可有效克服光照干扰，同时也能排除其他红外发射装置所发射的红外信号。

1. 发射装置

（1）电路原理

发射装置电原理图如图 3-58 (a) 示。它使用一片 TTL 与非门集成电路 74LS00 作为载频振荡器和调制电路。其中与非门 G_1 和 G_2 及 R_3 、 R_2 、 C_2 构成振荡器，振荡频率由 R_3 和 C_2 共同确定，与非门 G_3 起缓冲推动作用，振荡器所生成的约 40kHz 的脉冲从 G_3 输出去推动发射驱动管 C9013。对载频的调制作用由门 G_2 兼任，由编码电路 VD5026 生成的编码信号从⑰脚输出，用 74LS00 内多余的一个与非门构成反相器把编码器输出的编码信号倒相后加到调制门 G_2 的一个输入端。当该端信号为低电平时，门 G_2 关

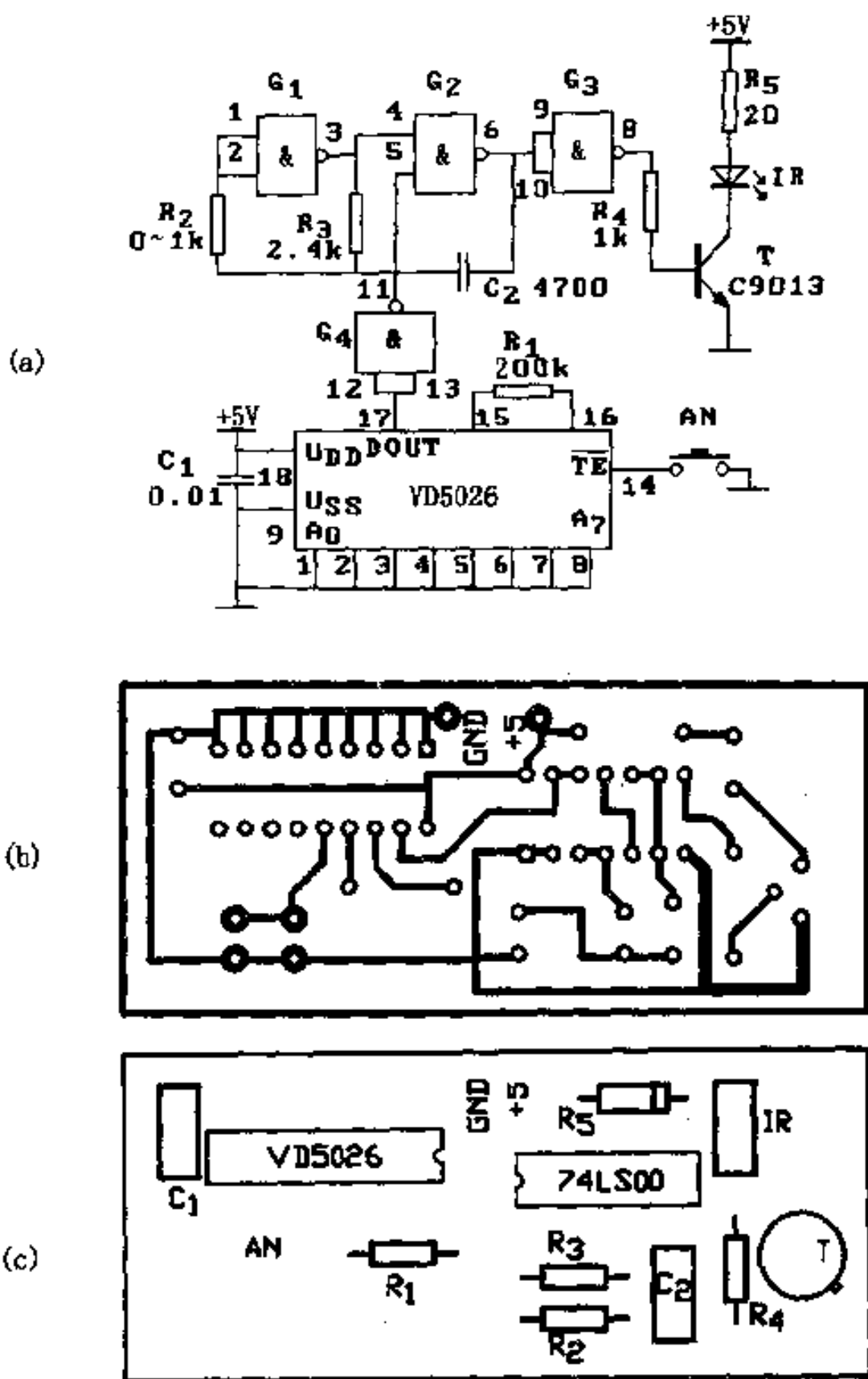


图 3-58 带编码的红外遥控发射装置

闭，且振荡器停止振荡，其⑥脚为高，使 G_3 输出端⑧脚为低，因此三极管 T 截止， IR 不发射红外光。而当输入到 G_2 的编码信号为高电平期间，振荡器工作， G_2 的⑥脚输出高频脉冲，经 G_3 缓冲

倒相推动三极管 T，IR 发射脉冲红外光。

编码器 VD5026 全部地址线接低电平，如有多组实验并在同一个场所里进行，各组必须将地址设置成互不相同的状态，以避免相互干扰。按钮 AN 用于“发射”操作，按下 AN，VD5026 的⑭脚被接地，依据前面关于该器件特性的介绍，此时编码器发出编码信号。不按下 AN 时，编码器不输出编码信号，输出端⑰脚为高电平，用 G_4 倒相后成为低电平，关闭了门 G_2 ，使整个电路处于静止状态。如无 G_4 倒相，那么平时不发编码时 G_2 开放，振荡器工作，IR 不断发射红外载频脉冲，既浪费电源又浪费器件寿命 (IR 等)。

(2) 制作与实验

本实验发射装置的印刷电路板 1:1 透视图如图 3-58 (b)、(c) 所示，根据原理图所标注的参数选取元件，并依据电路板元件排列图安装焊接。

注意事项：2 片集成电路应使用 IC 座；与非门应选择 TTL 型 74LS00 或 7400。CMOS 型 74HC00 虽然引脚及逻辑功能方面均与前面两者相同，但它的带负载能力较弱，难以保证三极管 T₁ 可靠工作在饱和、截止区，将使 IR 的发射功率下降。

焊接完毕，外观检查确认无误，按以下步骤实验：

①先不插集成电路，用万用表测量 74LS00 插座的④脚与⑦脚间电压为 5V (④脚为正)；测量 VD5026 插座⑱脚与⑨脚间电压为 5V (⑱脚为正)；测量三极管集电极电位约等于 3.7V。

②插上 74LS00 (每次拔、插集成电路时均应先断开电源)，此时因与非门 G_4 输入端悬空，所以测量 G_4 输出端为低电平，振荡器不工作，则 G_2 输出为高电平 ($>4.5V$)、 G_3 输出为低电平，三极管 T 的集电极电位与前一个步骤中测量结果一样。

③用一段硬导线，一端插入 VD5027 座的⑰脚，另一端碰地，

测量门 G_3 的输出，应大约在 $1\sim 3V$ 之间，三极管 T 的集电极电位小于前步骤测量结果。上述测量结果表明振荡器已起振。

④插上 VD5026，振荡器应停止振荡，测量各门电路的状态应与步骤②相同，按动按钮 AN，这些状态应有变化。

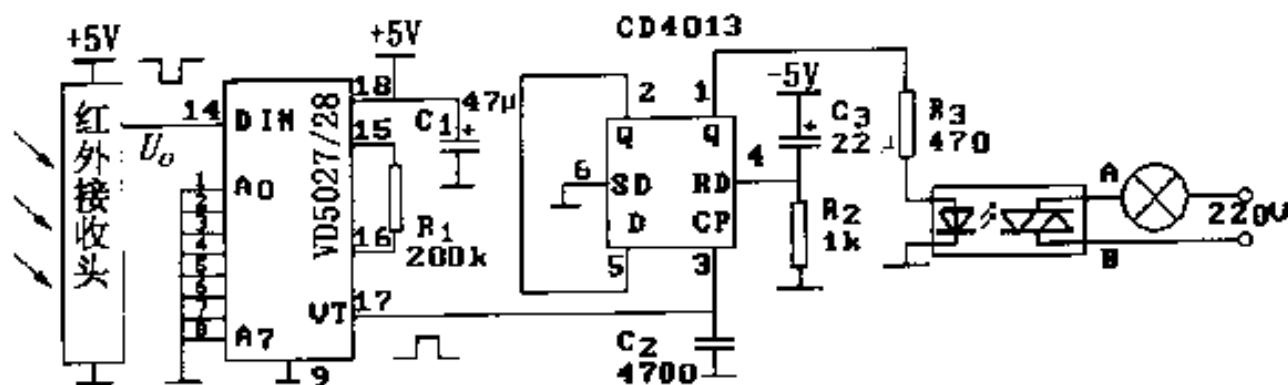
⑤用前一个实验的接收装置来检验该发射装置是否有效。测量接收头（见图 3-57）输出端 U_o ，每当按住发射器按钮 AN， U_o 值应有所减少，这表明接收头收到了红外信号。

U_o 端的输出与编码器 VD5026 所生成的脉冲编码信号相同，它能不断触发 D 触发器 CD4013 翻转，Q 端输出是一串方波（各周期不一定相等），使 LED 指示灯闪烁发光。但由于人眼的“视觉暂留”特性，看不到这一快速的闪烁发光现象，所感觉到的是连续的“亮”。也可以使用更早些实验中的任何红外接收装置来检验本实验发射器的发射功能。

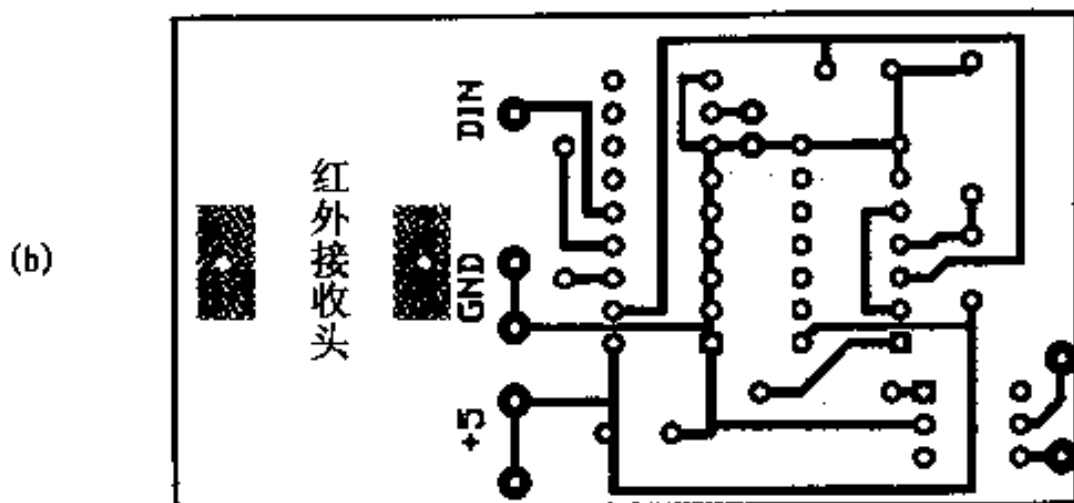
2. 接收装置

(1) 电路原理

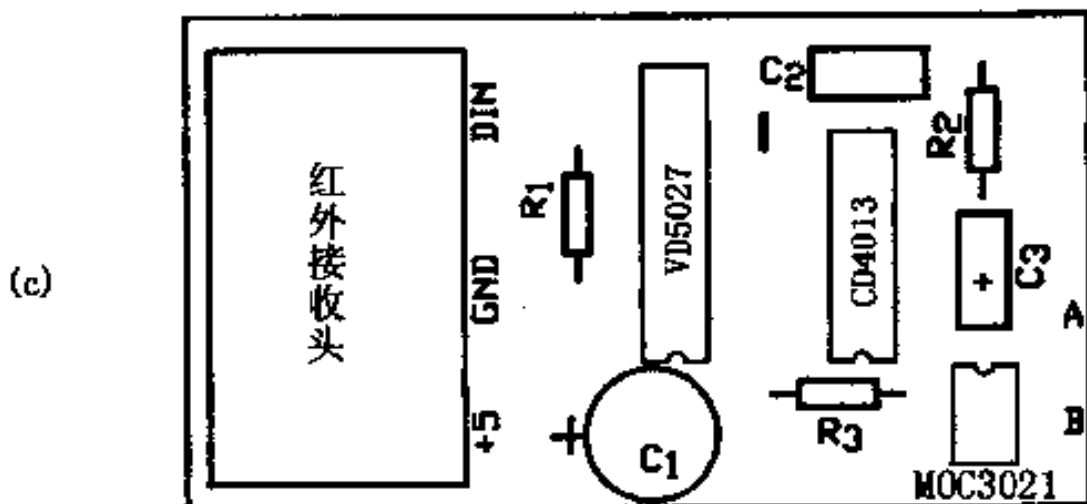
接收装置的电原理图如图 3-59 (a) 所示，该电路由红外载波接收、放大、解调、命令解码、状态锁存、执行机构、受控对象共 5 个小部分组成。它们分别由红外接收头、专用解码集成电路 VD5027（或 VD5028）、D 触发器 CD4013、双向可控硅光耦合器和电灯泡担任相应的角色。该电路与图 3-57 比较仅有两处不同，其一是接收头输出信号 U_o 不再直接送入 CD4013，而是先送往解码器 VD5027，因为在这个电路中，接收头收到的是经过编码的红外信号，而不是前一个实验那样仅是简单的“有”和“无”，所以需经相应的 VD5027 解码。若解码正确，方才由解码器的 VT 端送出一个正脉冲去触发 D 触发器 CD4013 使其翻转。其二是 D 触发器的输出端 Q 不再直接去控制 LED 指示灯，而是去控制一个“双向可控硅光耦”，通过该可控硅光耦再去控制灯泡回路的通、断。



(a)



(b)



(c)

图 3-59 带解码的红外遥控接收装置

有关光耦可控硅的使用知识见第一章中“遥控命令的执行”一节。

(2) 制作与实验

①主要器件选取。红外接收头可以采用任何型号的成品红外接收头，也可以使用前面实验中制作成功的作品，但必须注意接收头输出信号的极性。本实验要求接收头在静态时输出端 U_o 应为高电平。解码器采用 VD5027 或 VD5028。状态锁存使用 CMOS 双

D 触发器 CD4013, 也可以使用 TTL D 触发器 74LS74 等, 但它们的引脚不同, 直接置“1”端和直接置“0”的有效信号也不同, 不能直接代用, 使用 CD4013 具有较好抗干扰能力, 锁存状态较为稳定。光耦可控硅使用 MOC3020 或 MOC3021, 它们所能控制的回路电流不宜超过 300mA, 图中以小于 60W 的灯泡为例子, 若需要控制较大的电流, 则必须使用另外的可控硅或继电器来控制用电设备主回路的通断。另外, 光耦可控硅有单向可控硅和双向可控硅之区别(已在第一章中提到过), 这里使用的是双向可控硅光耦。其余元件与前一个实验相同。

②安装调试。本电路的印刷电路板如图 3-59 (b)、(c) 所示, 图 (b) 为 1:1 透视图, 按照图 (c) 所指示的元件排列进行安装、焊接。注意 VD5027 的 A_7 没有直接接地, 而是用一根跳线接地, 焊接时不要忘记焊上。完毕, 经认真检查无误, 按下列步骤实验:

(a) 先不要插上集成电路, 也不要接入灯泡供电电源的 220V, 用万用表直接测量集成电路座的电源引脚间电压是否正常 (VD5027 是⑱脚 (+) 和⑩脚之间, CD4013 是⑭脚 (+) 与⑦脚之间); 接收头输出端 (也是 VD5027 的⑭脚 DIN 端) 应为高电平。

(b) 插入集成电路 VD5027 和 CD4013, 接通 5V 电源。测量 VD5027 的 VT 输出端 (⑰脚), 应为低电平。CD4013 的 Q 端 (①脚) 也应为低电平。用万用表监测该引脚电平, 按动发射器的按钮 AN 一次, Q 端电平由低变高, 再按动一次 AN, Q 端电平又从高回到低。每按动一次 AN, 万用表指示就相反一个状态, 与按住 AN 的时间无关, 只与按动的次数有关。监测 VD5027 (或 VD5028) ⑰脚 VT 端电平, 当按住发射器按钮 AN 时 VT 端即为高, 松开 AN, VT 端回零。

(c) 改变解码器 VD5027 的地址设置, 例如任意将 $A_1 \sim A_7$ 中的某一根引脚悬空, 重复步骤 (b) 的实验, VD5027 的 VT 端应

不能输出正脉冲，CD4013 也不会翻转。因为这时解码器 VD5027 与发射器的编码地址设置不同，所以 VD5027 就不会正确解码。在实验印刷电路板上，VD5027 的 A₇ (⑧脚) 在引向地的连线上已设计成用一根跳线连接，只要焊开这根跳线，A₇ 便悬空了。

(d) 上面 (b)、(c) 两步实验结果如能符合，可以判断为接收、解码、锁存各环节工作正常，最后只需判断光耦可控硅能否正常工作就可以了。

(e) 图 3-59(a) 电路，以普通照明灯泡作为受控对象，由 220V 市电供电。但在实验中，为了安全起见，请不要接入 220V 市电，而用一个 6V 左右的低压电源来代替，同时相应地把灯泡换成 6V 的小指示灯进行实验。如果光耦可控硅工作正常，那么现在就可以使用发射器来操纵小灯泡了，每按动一次发射器上的按钮 AN，小灯泡的“亮、灭”状态就变更一次。

本实验电路可以作为一个实用的家用灯光遥控装置。对于有一定实践能力的读者，可以把发射电路安装在一个小塑料盒里，采用 3 节 5 号电池供电，形成一个手持式红外遥控发射器，但应把按钮 AN 改接成控制总电源回路，而把 VD5026 的 ④脚直接接地。这样，平时可不消耗任何电源，只有

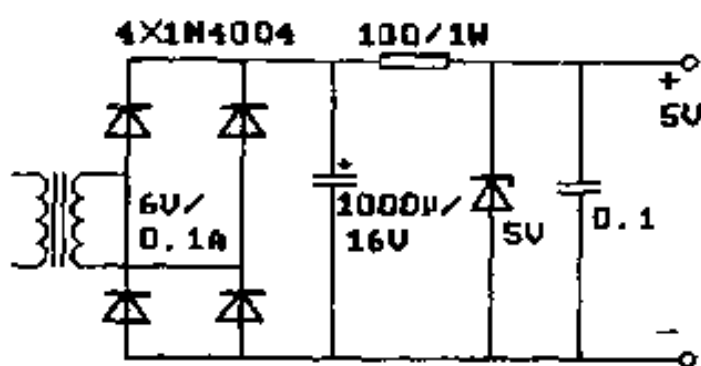


图 3-60 接收器电源

当按下按钮时才消耗电源。同样，也可以把接收电路安装在一个壳体里形成一体。例如安装在台灯底座内，但要解决电路的直流供电问题。一个参考方案是使用一个 6V/0.1A 的小型变压器把市电变压、整流、稳压后供给，如图 3-60 示。

本实验结束的时候，再次提请初学者注意，不要向电路板引

入 220V 市电，灯泡供电只宜采用安全电压（36V 以下），建议采用步骤（e）推荐的方案。

（三）4 路红外遥控装置

本实验的接收装置有 4 路信号输出，每路输出可以独立控制一个用电设备的通、断两种状态，实验中以 LED 指示灯模拟受控对象，在发射装置中，设有 4 个按钮开关，分别用于操纵接收装置中的 4 个受控对象。

1. 发射装置

（1）电路原理

图 3-61 (a) 是本实验的发射装置电原理图，40kHz 的载频振荡器由定时集成电路 7555，电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 ，电容 C_1 、 C_2 组成，振荡频率可由 R_1 、 R_2 或 C_1 调整。该振荡器与图 3-26 相同，不过这里使用的是 7555，7555 与 555 的主要差别有 3 点：其一是前者为 CMOS 集成电路，称为单极型器件，后者是 TTL 集成电路，又称双极型器件；其二是前者工作电压范围宽（2~18V），后者略小（5~15V）；其三是前者带负载能力差，只能输出 1mA 左右的电流，而后者输出电流大，可达 200mA。考虑采用 7555 的理由是因为其工作电压可以较低，因此整个发射装置就有可能用 2 节干电池供电，装置成一个手持式发射器。但 7555 输出电流很小，不能驱动三极管进入饱和区，更不能直接驱动红外发射管，为此其输出（③脚）经两级三极管放大驱动红外发射管。当输出为低时，三极管 T_1 （NPN 型）截止，使 T_2 （PNP 型）基极无回路，因而也截止，红外发射管 IR 不发射红外光；当输出为高时， T_1 导通，其集电极电流构成了 T_2 的基极电流，该电流较大，足以使 T_2 可靠饱和，此时有较大电流流过红外发射管 IR 使其发射红外光，流过的电流大小主要取决于限流电阻 R_6 。电源端所接电容 C_3 起滤波

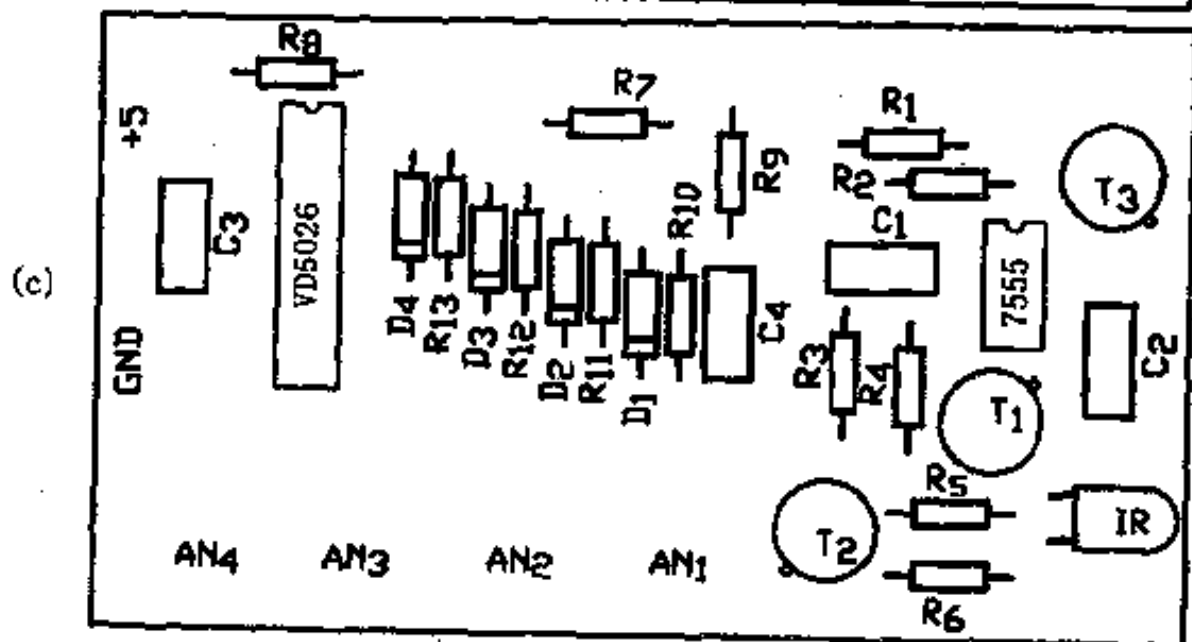
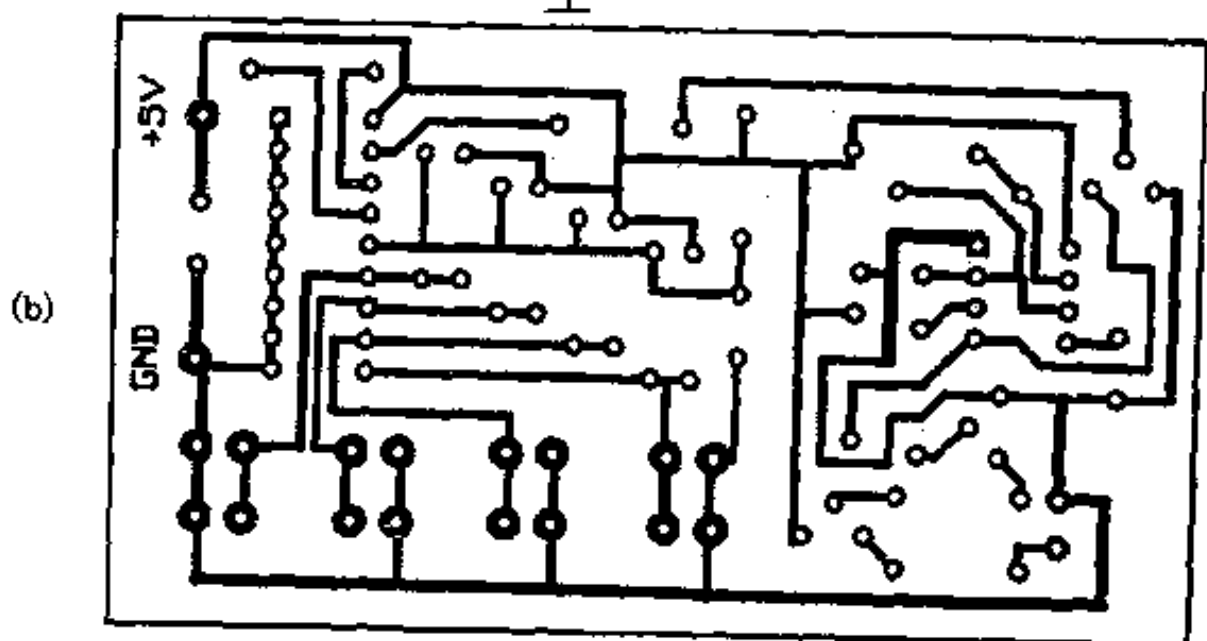
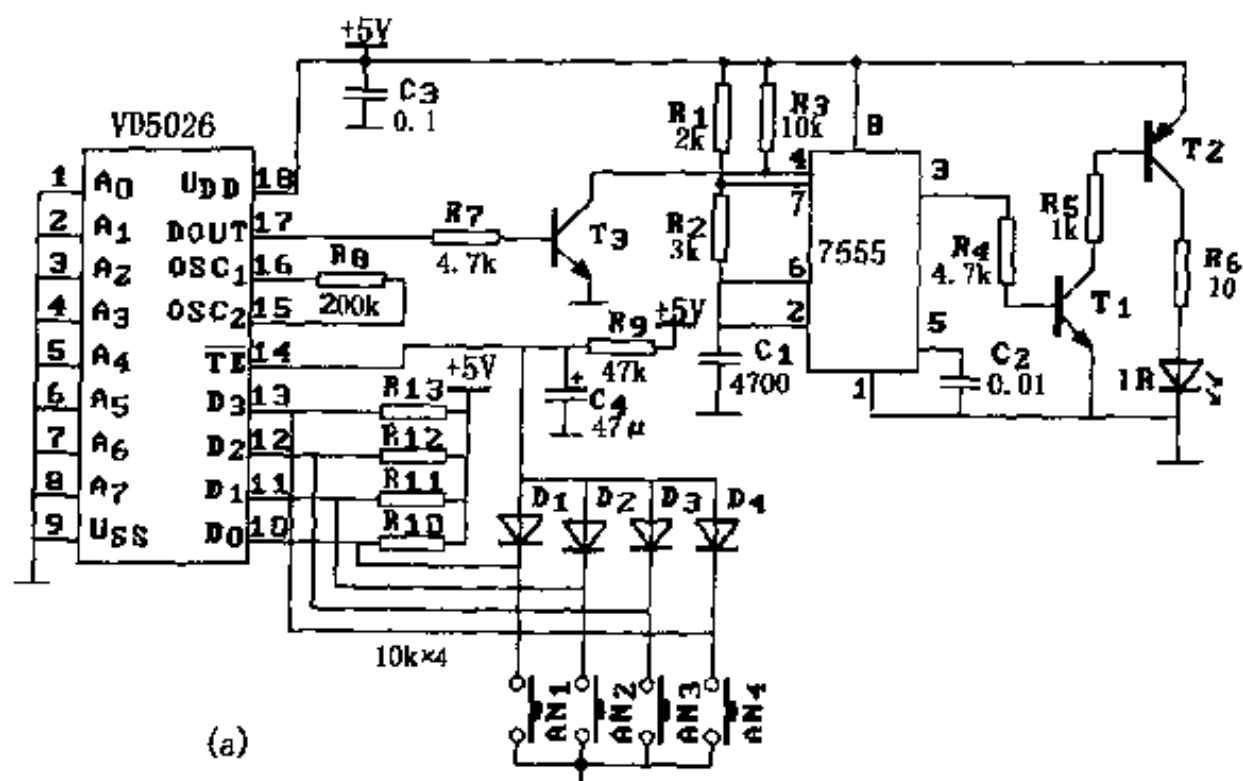


图 3-61 1路红外遥控发射电路图

退耦、减小电源动态内阻等作用。

遥控命令编码电路由 VD5026 担任，其所有地址线均接地。数据线 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 各通过一个电阻接电源正极，同时又各连到一个按钮开关，为分析方便及清晰起见，现分解出其中的一路 (D_3) 重画于图 3-62 中。

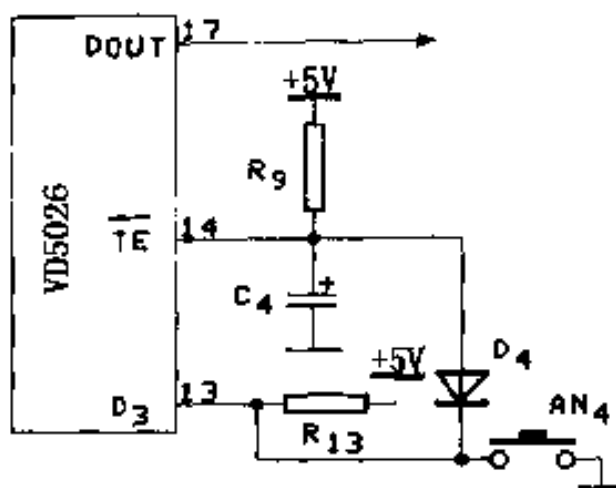


图 3-62 图 3-61 (a) 的分解电路

从该分解图可以清楚地看出，当按钮 AN4 未按下时，VD5026 数据线 D_3 上为高电平，同时 \overline{TE} 端也为高电平；当按下按钮 AN4 时，数据线 D_3 为低电平，并通过二极管 D_4 把 \overline{TE} 端也拉低。由 VD5026 特性知， \overline{TE} 端为低时，编码器即能从 DOUT 端输出编码信号，该编码信号中携带了“数据线 D_3 为低电平”这一信息。当松开按钮 AN4 时， D_3 线立即由电阻 R_{13} 拉向高电平，但 \overline{TE} 端却由于接有电容 C_4 ，不能立刻为高电平，需经过若干时刻， C_4 才会被充电至高电平（+5V 通过电阻 R_9 对其充电）。在这一小段时间里，VD5026 继续输出编码，但此时编码中包含的数据线 D_3 的信息不再是“ $D_3=0$ ”，而是“ $D_3=1$ ”。综上所述，得到结论如下：每按动一次按钮（按住又松开），数据线 D_3 先低后高的两种信息连续地、依次地从 DOUT 端输出。牢记住这一结论，以便于后面的分析中使用。对于其余 3 根数据线的情况与此同理，不再一一分析。二极管 $D_1 \sim D_4$ 的作用是起隔离作用，当某按钮按下时，不会影响其他根数据线的电平情况。此外还有一个作用，以图 3-62 中的 AN4 为例，当它由按住到松开时，VD5026 ⑬脚电位立即变高，而 ⑭脚电位却需稍待片刻方为高。试想若不经二极管 D_4 隔离，那么 ⑬脚和 ⑭脚就连到了同一根线

上，两者为“同电位点”，得不到上面的一前一后的变化效果，这是我们所不希望的。

VD5026 输出编码信号经过三极管 T_3 倒相后去调制载频振荡器 7555。由前面关于 555 特性的介绍知，其④脚为直接置“0”端，即该脚为低电平时振荡立即停止，为高电平时起振。VD5026 的⑰脚输出特性是：无编码信号输出时为常高（即静态为高电平）。为使在静态时 7555 不工作，VD5026 的输出端高电平就不应加到 7555 的④脚，而必须使用三极管倒相后加给。它的另一个作用是它使接收器中解码电路的输入信号能与发射器中编码电路的输出信号保持同相位关系。

(2) 制作与实验

①主要器件选取。振荡器使用 CMOS 型 7555，其引脚、功能与 555 兼容，因此也可使用 555 直接代换，代换以后振荡频率会有所改变；4 个二极管最好使用锗材料二极管；三极管 T_1 和 T_2 应选放大倍数较大的，要求 T_1 的漏电流要小；VD5026 的振荡电阻 $R_8 = 200\text{k}\Omega$ ，要求其误差应较小。元件清单如下：

IC₁——VD5026；IC₂——7555；三极管—— T_1 为 C9013， T_2 为 C9012， T_3 为 C9013/C9014；

二极管—— $D_1 \sim D_4$ 为 2AK 型或 2AP 型；

IC 座——DIP18、DIP8 各 1 个；

IR——任意红外发射管。

其余阻容元件见图标注。

②安装与调试。实验电路板图如图 3-61 (b) 所示，为 1:1 透视图，根据原理图 (a) 和元件排列图 (c) 安装焊接完毕，经认真外观检查无误后按下列步骤进行调试实验：

(a) 电源电压检验：先不要插上集成电路，通电测量 IC 座上两根电源引脚间的电压是否正常，这一步骤的目的在于检验电源

电压的数值、极性、连线错误等，电源极性错、电压过高都有可能导致集成电路永久性损坏。

(b) 振荡功能检验：先插上 7555，测量④脚电压应约等于电源电压，这时振荡器应能振荡。初步检验方法是测量输出端③脚电压大约为 $2/3$ 的电源电压。将④脚对地短接，③脚电压应降为近 0V。测量 T_2 集电极电压，当 7555 的④脚接地时为 0V，否则应有 $1/2$ 的电源电压以上。进一步的检验必须使用前面实验中成功的接收头作品来接收该发射装置的红外信号，测量接收头的输出端电压，用遮挡物间断地遮挡接收头的受光孔，电压表的指针应有往“0”方向的跳摆。

(c) 调制作用的检验：仍用接收头接收红外脉冲光，取一段硬导线，一端插入 VD5026 插座电源端⑱脚，另一端间断地碰触⑰脚。⑰脚是通往三极管 T_3 的基极的，导线间断地接触该管脚时相当于给 T_3 基极加上了一串调制脉冲信号，因此接收头输出应有负跳变信号，电压表指示会有往回的跳摆。

(d) 键操作功能的检验：以分解图 3-62 为例，用万用表监测 VD5026 输出端⑰脚电压。在按钮 AN_4 未按下时，万用表指示为高电平，其值约为电源电压；按下 AN_4 ，万用表指示减小，松开按钮，万用表指示应稍延时片刻回高，延迟时间至少须在 0.2s 以上。如延时时间太短，应适当增大 VD5026⑭脚所接的电容 C_4 。依照此方法，逐个检验图 3-61 中 $AN_1 \sim AN_4$ 各按钮的操作功能。

2. 接收装置

(1) 电路原理

图 3-63 是本实验接收装置的电原理图，由 4 个部分组成：

(a) 接收头。可使用前面实验中制作成果或购买成品接收头。

(b) 遥控命令解码器。可使用 VD5027，解码后的命令信息从其数据线 $D_0 \sim D_3$ 输出。

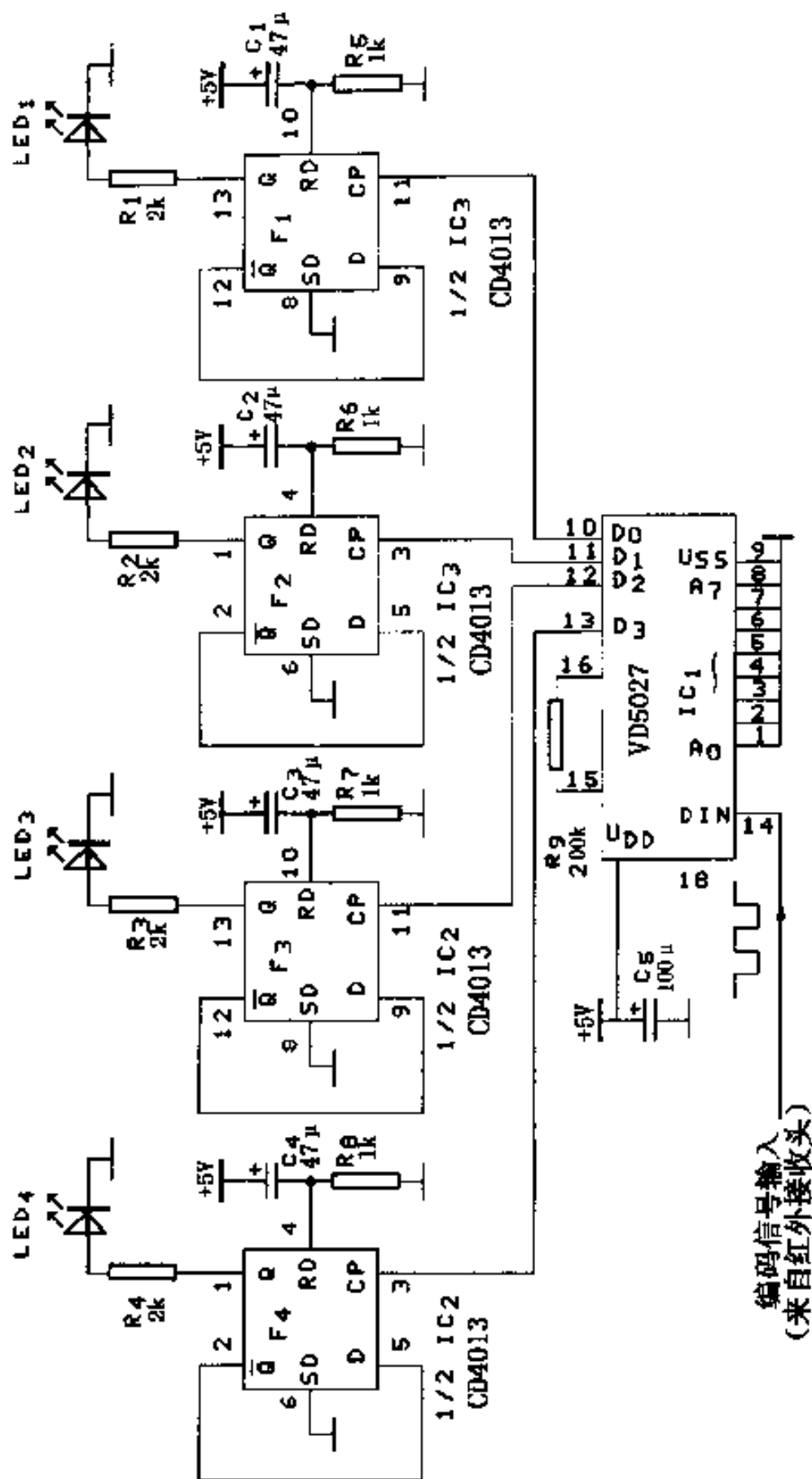


图 3-63 4 路红外遥控接收电路图

(c) 4 个双稳态电路 $F_1 \sim F_4$ 。可以理解为由它对 VD5027 输出的遥控命令信息进行再解释，这部分电路共由 4 个 D 触发器组成，CD4013 集成电路内部包含有 2 个独立相同的 D 触发器，所以这里采了两片 CD4013—— IC_2 和 IC_3 。

(d) 4 个受控对象使用 4 个 LED 指示灯模拟。实用中可以用其他的实际控制对象及执行机构来取代，例如用前一个实验中的“光耦可控硅——电灯泡”电路来取代，就形成了 4 路灯光遥控装置。

红外接收头收取发射器发来的红外脉冲信号，经放大、解调等处理后，编码命令出现在输出端 U_0 线上，送入解码器 VD5027 ⑭脚。该解码器的地址设置与发射装置中的编码器 VD5026 完全相同，因此能够正确解码，解码后除了在 VT 端输出一个高电平脉冲以外（图中未画出），根据前面有关 VD5026 与 VD5027 特性介绍知，编码器的 $D_0 \sim D_3$ 状态还同时出现在解码器的 $D_0 \sim D_3$ 端并锁存。让我们回顾一下在本实验发射装置原理图介绍中曾提请读者牢记的一个结论——每按动一次按钮 AN_4 ，编码器数据线 D_3 的先低后高两种状态信息就会连续地、依次地先后从其 DOUT 端输出。现在，解码器收到了这种信息，其数据线 D_3 必须也重显了编码器数据线 D_3 的状态——先低后高。 D_3 线上的电平值从低跳变到高，这一上跳变能够触发 D 触发器 F_4 翻转，则其输出端 Q_4 就改变一个状态（从低变为高或从高变为低），指示灯 LED_4 “亮灭”情况也就改变一次。综上分析，归纳为因果关系是：每按动一次发射器 AN_4 ，受控对象 LED_4 指示灯就改变一种状态，也就是说，用 AN_4 按钮可以遥控 LED_4 的亮或灭。上面是以数据线 D_3 的情况为例所做的分析，至于其他数据线 $D_0 \sim D_2$ 、触发器 $F_1 \sim F_3$ 、按钮 $AN_1 \sim AN_3$ 的情况以及它们相互之间的关系完全类同。

各个 D 触发器的 RD 端接有 R、C 组成的复位电路，其工作原理见实验一有关论述。

(2) 制作与实验

① 器件选取：

接收头——任意成品红外遥控接收头或自制作品，要求输出为常高；

解码器——IC₁ VD5027；

D 触发器——IC₂、IC₃ 取 CD4013；

受控对象——LED₁~LED₄ 取 $\varnothing 5\text{mm}$ 红色或绿色指示灯；

IC 座——DIP18, DIP14 \times 2。

电阻 R₉ 的阻值应与发射装置中的编码器 VD5026 振荡电阻阻值相同，相差不应超过 2%，所有电阻取功率 1/8W、碳膜电阻。

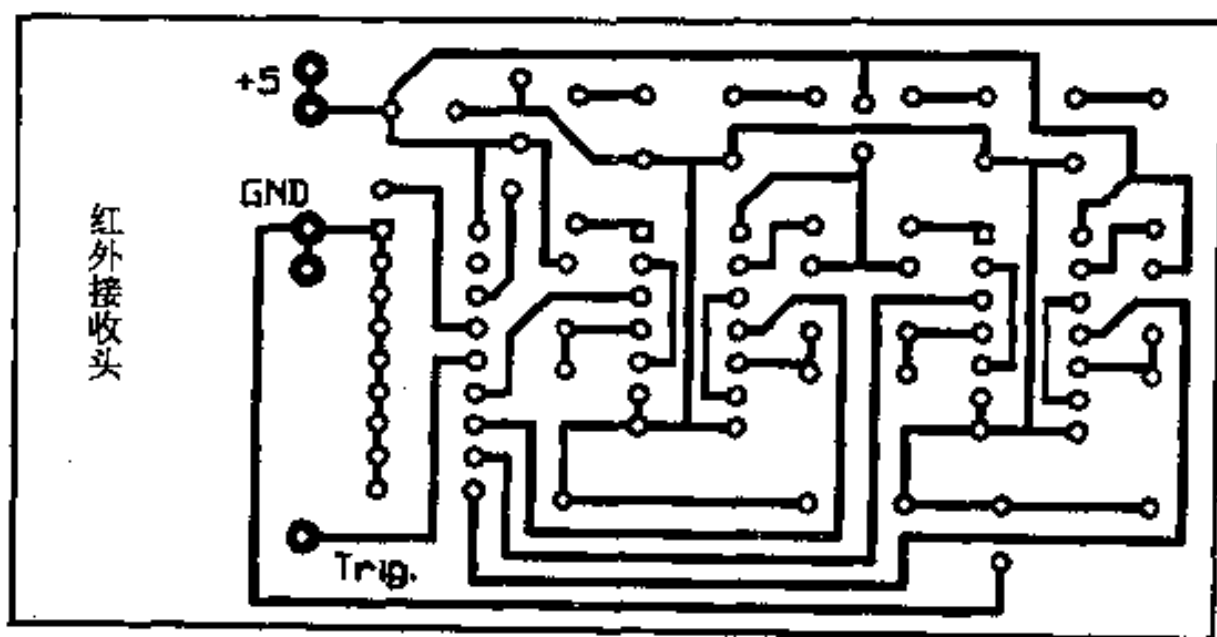
② 安装调试。供实验的电路板图如图 3-64 (a)、(b) 所示，图 (a) 为 1:1 透视图。根据原理图 3-63 以及元件排列图 3-64 (b) 安装元件并焊接完毕，经外观检查后按下列步骤实验：

(a) 先不插集成电路，接通电源，测量集成电路插座上电源正、负两端间的电压大小以及极性是否符合要求。然后检验各个 LED 指示灯能否点亮，方法是用一段硬导线，一端插入 IC 座的电源正端引脚 (CD4013 为⑭脚)，另一端分别接触 IC₂ 座的①脚、⑬脚、IC₃ 座的①脚、⑬脚，应有 LED₄、LED₃、LED₂、LED₁ 依次轮流点亮的状况。

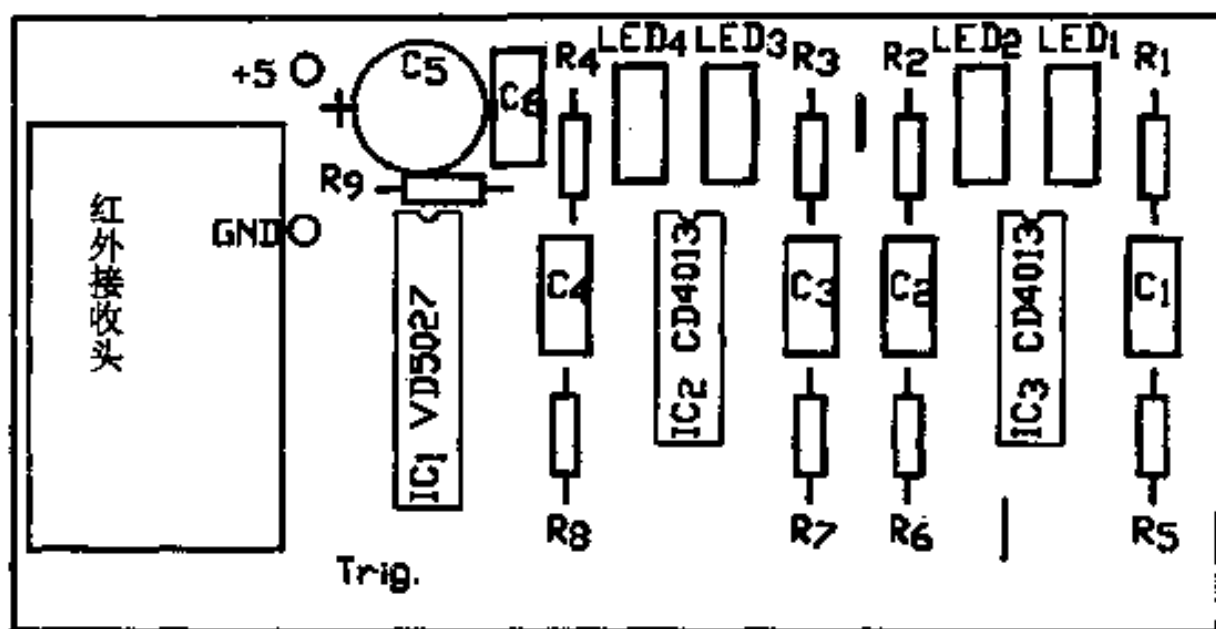
(b) 用万用表监测接收头输出端，也是 VD5027 插座的⑭脚，应为高电平，按动发射器的任一个按钮，表针指示应有回摆现象。

(c) 插上集成电路 VD5027，用万用表监测数据线。仍以 D₃ 为例，每按动一下发射器的按钮 AN₄，万用表指针应有回摆后又回到高电平值 (首次测量时为高或为低没有确定状态)。对于其他数据线 D₀~D₂，照此方法实验。

(d) 插上集成电路 CD4013，逐个反复操作各个按钮，应能遥控各对应 LED 指示灯的“亮、灭”，AN₁ 操纵 LED₁，AN₂ 操纵



(a)



(b)

图 3-64 4路红外遥控接收电路印刷电路板

LED₂……

(e) 逐渐拉大收、发两者的距离，直至遥控失灵，然后再细调发射装置中的载波振荡器的频率（调电阻 R₂），使遥控距离达到最大。

六、红外遥控专用集成电路

本章介绍了红外遥控的基本原理和实现方法，并以编解码集成电路 VD5026/VD5027 为例介绍了实用红外遥控装置的一般构成原理和方案。由于红外遥控有很重要的用途，尤其是在家用电器遥控方面得到越来越普遍的广泛应用，因此众多的厂商推出了多种型号的专门用于红外遥控的集成电路，这类集成电路把载频振荡、调制、编码、键命令输入、驱动等部分都集成在同一块半导体上，形成单片集成电路，只需配合少量外围阻容、红外发射管以及按键即可形成具有多路遥控功能的红外发射器。这类器件除一体化程度高、整体性好之外，另一个显著优点就是供电电压低，一般均为 3V，易于制成手持遥控发射器。接收部分则把解码电路、二次译码电路等集成一体，形成单片集成电路，可输出多路不同格式的控制信号。这些格式通常有单个脉冲输出方式、电平输出方式、连续的脉冲串输出方式、双稳输出方式（即每按一次发射器按键，输出端状态改变一次）等。这些单片集成电路配合少量外围阻容、红外接收头，并设计适于具体对象的控制执行电路，即可形成多功能多路红外遥控接收器。这类集成电路虽然有许多种型号，但大多大同小异，读者在掌握了本章所介绍的基本原理和方法之后，只需根据器件的产品说明，弄清它们的外引脚功能，就不难自行搭构适合各种应用场合的具体电路。下面以 ZD6631/ZD6632 为例，简单介绍红外遥控专用集成电路的一般结构和基本应用。

（一）编码发送集成电路 ZD6631

ZD6631 是一种 CMOS 高性能集成电路，具有 8 个键命令输

入端口, 1 个串行编码调制的载频脉冲输出口, 其内部结构基本框图示意于图 3-65。ZD6631 包含了载频振荡电路、编码锁存与错误检测电路、用户编码器 (即地址编码)、输出驱动电路、定时脉冲发生器等, 为 16 脚 DIP 封装 (双列直插封装), 其引脚排列见附录 5, 各引脚功能如下:

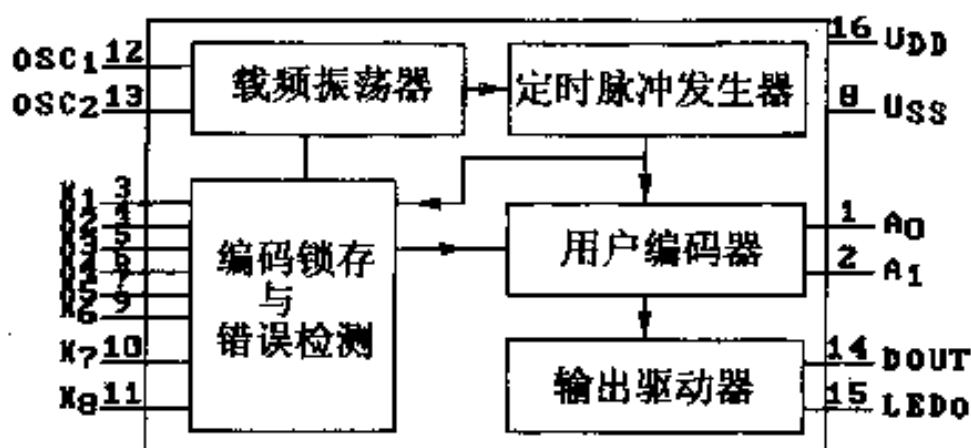


图 3-65 ZD6631 内部结构示意图

引脚①、②—— A_0 、 A_1 ，用户代码输入端，相当于前面介绍的地址编码输入端，用以区别不同的用户或不同的接收装置。 A_0 、 A_1 共可设置成 00、01、10、11 共 4 种编码，可以识别 4 个用户。例如在同一个房间里，通过对 A_0 、 A_1 的不同设置可允许有 4 对这种发射接收装置工作而不会造成操纵对象混淆。

引脚③~⑦、⑨~⑪—— K_1 ~ K_8 ，遥控命令的输入端口，每线上允许接一个按钮开关。当某按键按下而把对应的输入线接到低电平时，编码器就会生成一组特定的编码。对应于 8 个按键共能生成 8 组编码，每组编码用 7 位 2 进制数组成，同时从 DOUT 端送出经编码调制的载频脉冲信号。

引脚⑫、⑬—— OSC_1 、 OSC_2 ，此两端之间接一个 455kHz 的石英晶体振荡器或陶瓷振荡器。

引脚⑭——DOUT，经编码调制的载频信号输出端。

引脚⑮——LEDO，发送指示端，发送信号时该端输出低电

平，外接一个 LED 指示灯用以指示发送状态。

引脚⑬、⑧—— U_{DD} 与 U_{SS} ，电源正端和负端（接地端）。

编码器每当 $K_1 \sim K_8$ 中有任一线接入低电平时，就会由 DOUT 端连续发送命令数据字两遍，每个命令由 12 位串行码组成，其格式如表 3-9 示。

表 3-9 ZD6631 的编码字的格式

起始码			用户码		按键编码						
1	1	0	A_0	A_1	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7

这 12 位码的前 3 位作为起始标志，固定为 110。接着的 2 位是用户码（地址码），后 7 位 $B_1 \sim B_7$ 是按键编码，它与各个按键的对应关系如表 3-10 示。

表 3-10 按键与编码

按键	按键编码
K_1	0 0 0 0 0 0 1
K_2	0 0 0 0 0 1 0
K_3	0 0 0 0 1 0 0
K_4	0 0 0 1 0 0 0
K_5	0 0 1 0 0 0 0
K_6	0 1 0 0 0 0 0
K_7	1 0 0 0 0 1 1
K_8	1 0 0 0 1 1 0

ZD6631 从 DOUT 端输出的信号格式约定为用高低电平的宽度比例不同来区别逻辑“0”和逻辑“1”，规定占空比为 1:4（高电平宽度为 1，低电平宽度为 3）的一个周期的信号表示逻辑“0”，用占空比为 3:4 的一个周期的信号表示逻辑“1”。

该器件工作电压范围较宽，允许在 2.5~6V 之间，因此特别适合于使用电池供电的场合，同时其静态功耗很低，静态电流仅 $1\mu A$ （3V 供电时）。

（二）接收解码集成电路 ZD6632

ZD6632 也是 CMOS 器件，工作电压 2.5~6V，静态电流 0.3mA。其内部主要组成有定时脉冲发生器、触发器、串-并行转换电路、解码及多路输出驱动电路等，示意框图见图 3-66。该器

件为 DIP14 脚封装，引脚排列见附录 5，引脚功能如下：

引脚②——DIN，串行编码信号输入端，输入信号必须与编码器输出信号的包络同相位。

引脚③～⑧—— $CP_1 \sim CP_6$ ，多键控制输出端，它们的状态由编码器 ZD6631 中的 $K_1 \sim K_6$ 键来确定，这与 VD5026/VD5027 中的数据线 $D_0 \sim D_3$ 相似， $K_1 \sim K_6$ 的状态能够被“拷贝”到 $CP_1 \sim CP_6$ 端。与 VD5026/VD5027 中所不同的是 $CP_1 \sim CP_6$ 无锁存功能，输出为单个脉冲形式。 $K_1 \sim K_6$ 可以允许同时有几个键按住。

引脚⑨、⑩—— CP_7 、 CP_8 ，单键控制输出端，当编码器 ZD6631 中的 K_7 键被按下时， CP_7 输出端的状态就改变一次，是一种双稳态输出方式；同理，当 K_8 键被按下时， CP_8 输出端的状态就改变一次，也是一种双稳态输出方式。不允许 K_7 、 K_8 同时被按下，否则视为无效，解码器不动作。

引脚⑪、⑫—— A_1 、 A_0 ，用户码（地址码）设置，必须与编码器 ZD6631 相同，否则不能选中，这与 VD5026/VD5027 中 $A_1 \sim A_7$ 的作用相同。

引脚⑭、①—— U_{DD} 、 U_{SS} ，电源正端、负端（地端）。

引脚⑬——OSC，时钟振荡器外接 RC 元件端，在 OSC 的内部已含有反相器和反馈电阻组成的环形振荡器，只要 OSC 端外接 RC 元件即可振荡。

ZD6632 解码器在收到编码信号以后，首先要判别用户码（地

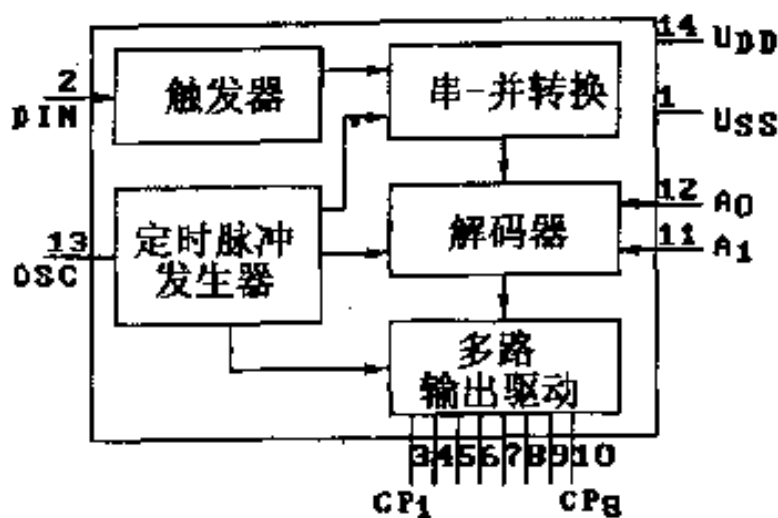


图 3-66 ZD6632 内部结构示意图

址码) 是否符合, 若不符合, 表明不是预定编码器发出的信号则予以拒绝。其次要连续接收编码器发来的 2 遍相同的 12 位编码, 将第一遍收到的先寄存在一个 12 位寄存器, 将第二遍收到的与之逐位比较。若两者完全相同, 则给予解码, 在相应的输出端输出控制信号; 若不相同则不作解码, 出错信号将系统复位。采用连续两遍 (或多遍) 发送、接收相同编码信号的方法可以很有效地提高可靠性和抗干扰能力。

(三) ZD6631/ZD6632 的基本应用电路

1. 编码器基本应用电路

ZD6631 的基本应用电路如图 3-67 所示, 将用户码 A_0 、 A_1 设置为 “00” (视具体需要而定), 键输入端接 8 个按钮开关, 能够任意地将某根输入线接低电平, 以便输入 8 种遥控命令。OSC₁ 和 OSC₂ 间连接一个 455kHz 的陶瓷振荡器, 经内部电路产生振荡, 再经分频得到 38kHz 的载频。每当

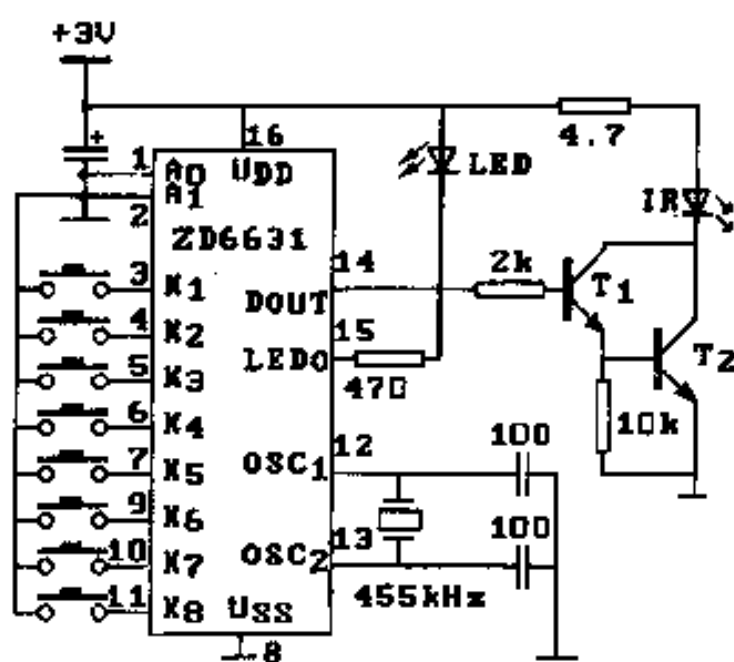


图 3-67 编码器 ZD6631 基本应用

按下某一个键时, 经过编码调制的 38kHz 载频信号就从 DOUT 端输出, 经过复合管 T₁ 和 T₂ 的放大, 驱动红外发射二极管 IR 发射出调制红外脉冲光。T₁ 发射极所接 10kΩ 电阻起分流作用, 目的是减少 T₁ 的穿透电流对 T₂ 产生的不良影响。如无该电阻, 则 T₁ 的穿透电流全部流入 T₂ 基极, 有可能使 T₂ 不能处在可靠截止状态 (DOUT 端为 “0” 时)。但若 T₁ 质量好, 穿透电流极小, 该

电阻也可省去。发射管 IR 的脉冲电流大小主要决定于与其串联的 4.7Ω 电阻。

LEDO 端外接一个 LED 指示灯, 当有任意键按下时, 该指示灯就闪烁一次。

2. 解码器的基本应用电路

图 3-68 是 ZD6632 的基本应用电路, 将用户码 A_0 、 A_1 设置为与 ZD6631 编码器相同, OSC 端外接 RC 元件, 解码后的控制信号从 $CP_1 \sim CP_6$ 以及 CP_7 、 CP_8 输出, 可以控制多路设备, 图中以 CP_8 输出为例。前已介绍, CP_7 和 CP_8 输出的是双稳态电平, 每当编码器 K_8 被按动一次, CP_8 端电平状态就改变一次。当 CP_8 为高电平时, T_1 导通, T_2 饱和, 12V 电压加到了继电器 J 的线包上, 继电器 J 吸合; 反之当 CP_8 为低电平时, T_1 、 T_2 均截止, 继电器释放。因此只要按动编码器的 K_8 就可以操纵 J 的吸和放, 继电器的触点又可以用于控制其他的用电设备。

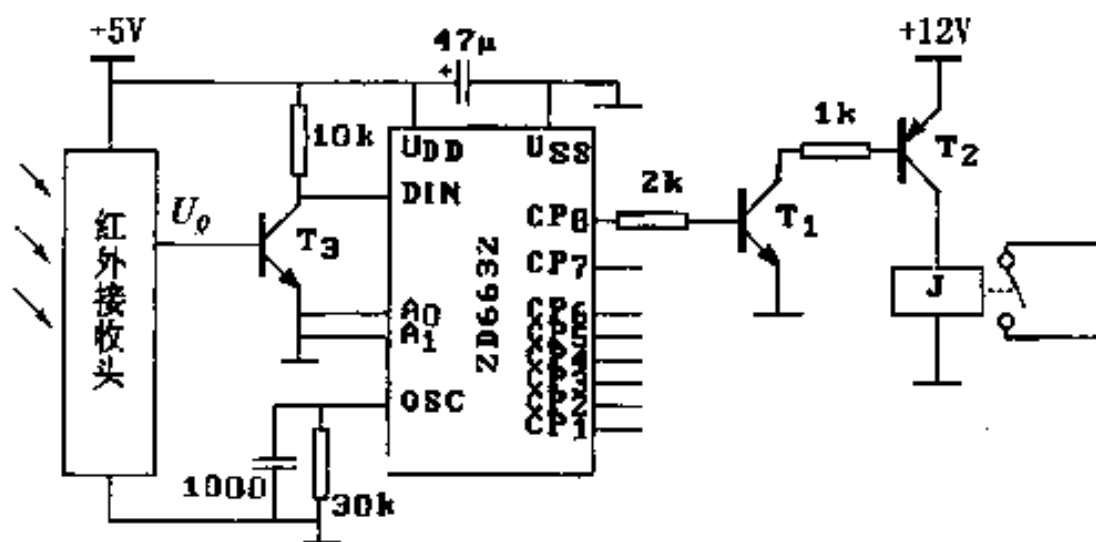


图 3-68 解码器 ZD6632 基本应用

ZD6632 的编码输入信号从 DIN 端输入。红外接收头收到编码调制红外脉冲光后进行放大、解调等处理, 输出编码信号 U_0 。送到三极管 T_3 倒相后再送入 ZD6632, 目的是使该编码信号的极性与 ZD6631 输出的相同。

第四章 超声遥控原理与实验

超声波遥控是近距离遥控中的一种实用的方法。人耳能够听到的声音频率大约为 $20\text{Hz}\sim 20\text{kHz}$ 。低于 20Hz 和高于 20kHz 的声音，人耳一般都听不到，人们把高于 20kHz 的声波称为超声波。超声波是一种机械振动波，可以在气体、液体和固体中传播，在空气中的传播速度为 340m/s ，与光波、电磁波相比是非常缓慢的。超声波具有方向性，即传播的能量比较集中，这一点与可听见的声波不同。另外超声波在传播途中若遇到不同的媒介，大部分能量会被反射。

超声遥控的基本原理和组成与红外遥控大体相似，仅是遥控命令的载体不同以及由此而引发的某些部分的电路不同。在超声遥控中，以超声波为载体，发射和接收器件是超声波发生器和超声波接收器，其各个组成部分一般可以归纳为框图4-1和框图4-2所示意的两种结构方式。图4-1是一个最简单的超声波遥控装置的示意框图，超声频率振荡器输出电脉冲信号，经过驱动电路进行功率放大后，驱动超声波发生器生成超声波向前方传播。超声波接收器收到超声波，将之转换为微弱的电信号，再经过放大、检波形成一个直流电平信号，由状态锁存（记忆）电路锁存并驱动执行机构以实施对受控对象的操纵。在这个组成方案中，没有使用编解码电路，不能输出多路控制信号，而且抗干扰能力也较差，其他声源发出的与该装置所使用的频率相近的声波信号，有可能使受控对象引起误动作。

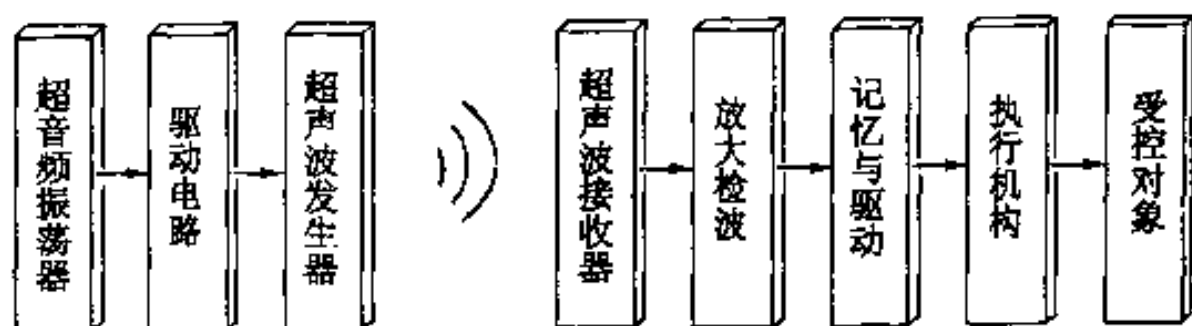


图 4-1 简单的超声遥控构成框图

图 4-2 是一个使用了编解码技术的超声遥控装置的示意框图，可以实现多路遥控。与图 4-1 的结构比较，该装置在发射电路中对超音频信号进行了编码调制，在接收电路中相应地增加了解码环节。

下面介绍各组成部分的基本原理和电路。

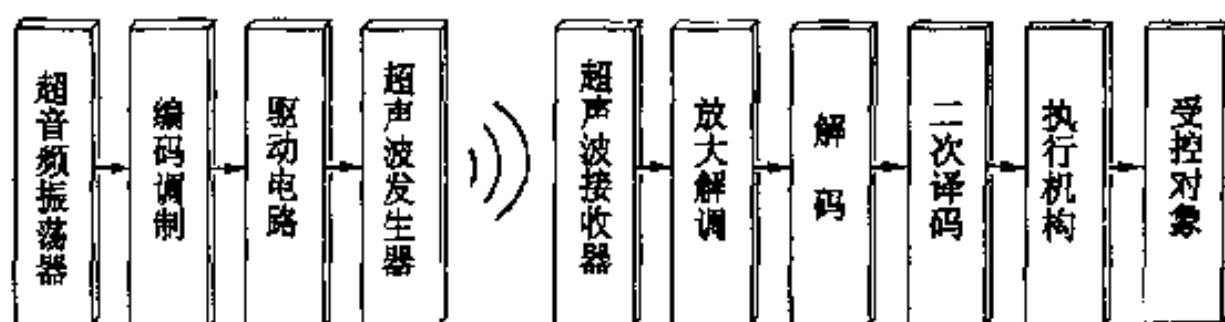


图 4-2 带编解码器的多路超声遥控系统框图

一、超声波传感器的原理与结构

(一) 超声波传感器的基本原理

超声遥控中的超声波发生器和超声波接收器统称为超声波传感器，是超声遥控中的重要部件。超声波发射器可以将加在它上面的电信号转变为超声机械振动波，而超声波接收器则能将机械

振动波转换为电信号。两者是一个互逆的转换过程，因此也称它们为换能器。

超声波传感器主要有电致伸缩和磁致伸缩两类。电致伸缩类采用双压电陶瓷晶片制成，具有上述可逆特性，这种超声传感器需用的压电材料较少，价格较低。

压电陶瓷片具有如下特性：当在其两边加上大小和方向不断变化的交流电压时，就会产生“压电效应”，使压电陶瓷也产生机械变形，这种机械形变的大小及方向与外加电压的大小和方向成正比。也就是说，若在压电晶片两边施加以频率为 f_0 的交流电压时，它就会产生同频率的机械振动，这种机械振动推动了空气的张弛，当 f_0 落在音频范围内时便会发出声音。反之，如果有超声机械波（空气的张弛振动）作用于陶瓷片使其发生微小的形变（振动），那么压电晶片也会产生与振动频率相同的微弱的交流电信号。

图 4-3 是双压电陶瓷晶片的结构示意图。在 A、B 间施加一个交流电压，若上片的电场方向与极化方向相同，则下片的方向相反，因此上下一伸一缩便形成了机械振动。双压电晶片可以用图 4-4 的等效电路模拟，它相当于一个 LC 串联谐振电路。其中 C_0 为静态电容， R 为材料的介电损耗并联电阻， R_m 为损耗串联电阻，而 C_m 和 L_m 分别为共振回路的电容和电感。压电陶瓷晶片是一种机械体，它也有一个固有谐振频率，通常把该频率记作 f_0 。当把压电陶瓷晶片作为电→声转换器，即超声波发射器时，施加给它的激励交流电的频率必须与谐振频率 f_0 相同；当把压电晶片作为声→电转换器，即超声波接收器时，施加给它的声波（机械张弛压迫）频率也必须与其固有振荡频率相同，这样才能得到最高的能量转换效率，即具有最高的灵敏度。

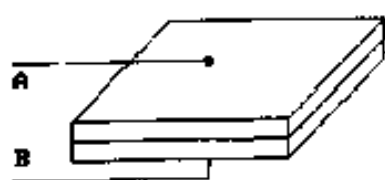


图 4-3 双压电晶片示意图

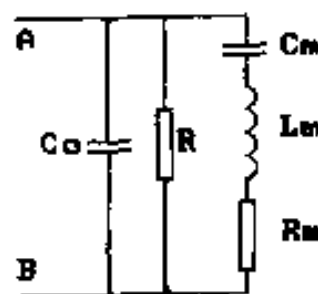


图 4-4 双压电晶片等效电路

我们知道，机械体的几何形状尺寸不同、质量大小不同，其固有谐振频率就会不同。对于同一种材料，改变其几何尺寸也就能改变其谐振频率 f_0 。利用这一特性我们能够很方便地制作出各种频率的超声波传感器，超声波遥控中使用的传感器频率一般为 40kHz。据实验，40kHz 的超声波具有较好的方向性，因此能量辐射比较集中，有利增加遥控距离。

(二) 超声波传感器的基本结构

超声波传感器的内部基本结构如图 4-5 示意，由金属网、外壳、锥形喇叭、压电晶片、底座、引脚等部分构成。其中压电陶瓷晶片是传感器的核心，锥形辐射喇叭能使发射和接收的超声波能量集中，并使传感器具有一定的指向角。金属外壳主要是为防止外力对内部构件的损坏，并防止超声波向其他方向的散射。金属网也起保护作用，但不影响超声波的发射和接收。超声波传感器的典型外形和表示符号如图 4-6 (a)、(b) 所示。

通常超声波传感器有发射器和接收器之分，其内部结构大致相同，仅略有差别。但也有的是两者兼用，既作发射，亦作接收。常用的超声波传感器有 T/R40-16、T/R40-12 等，其中 T 表示用于发射，R 表示用于接收，40 表示中心频率为 40kHz，16 或 12 表示外形尺寸的毫米数。另有一种密封式超声波传感器，如 MA40 型，它的特点是具有防水作用（但不能浸泡在水中），性能也较好，

常常被作为料位及接近开关等。附录 3 中列出了若干超声波传感器型号及主要特性。

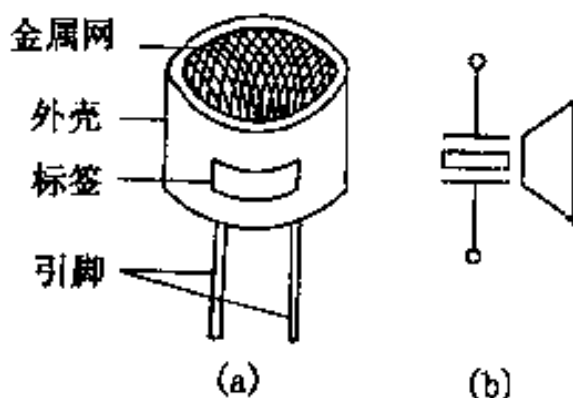
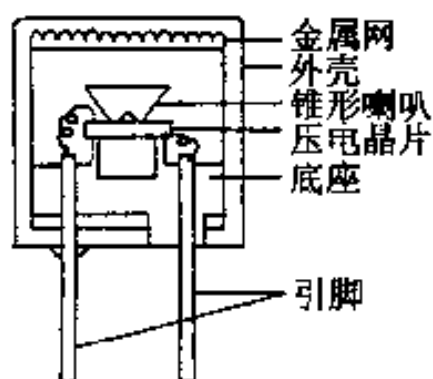


图 4-5 超声波传感器内部结构 图 4-6 超声波传感器的外形及符号

(三) 超声波传感器的基本特性

超声波传感器的基本特性主要指频率特性和指向特性。

1. 频率特性

某超声波发射器的频率特性曲线如图 4-7 所示。 f_0 为发射器的中心频率，在该频率处，发射器所产生的超声波最强，也就是超声声压能级最高；而在 f_0 两侧，

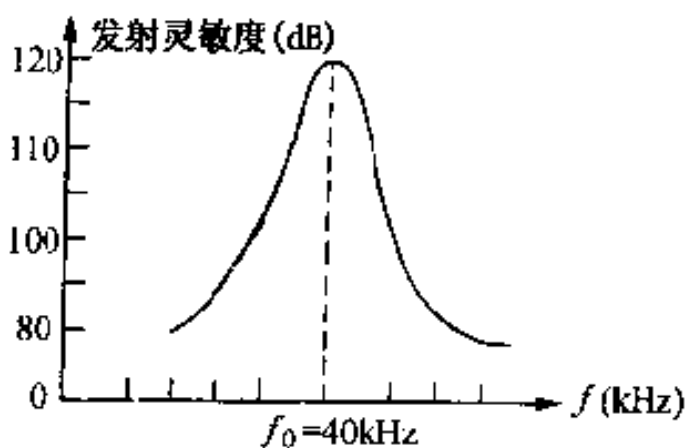


图 4-7 超声波发射器的频率特性

声压能级迅速衰减。因此在使用当中，一定要用频率接近 f_0 的交流电压来驱动（激励）超声波发射器。某超声波接收器的频率特性如图 4-8 所示，其中 f_0 亦为中心频率。由图知，当并联电阻 R 较大时，曲线在 f_0 处最尖锐，接收灵敏度最高，可见超声波接收器本身具有较好的选频特性，但该选频特性的优劣与并联电阻 R 有关。图中以 $R=100k\Omega$ 为例，具有较尖锐的共振特性，对于偏离

f_0 的其他超声波，其响应灵敏度显著减小，表明具有较好的选频作用。而当并联电阻 R 较小时，曲线变得较平坦，表明选频作用变差，同时最大灵敏度也较前者小。另外，随着 R 值的减小，最大灵敏度处的频率（曲线顶峰）也逐渐向小的方向偏移。这些是我们在具体使用中所不希望的。因此在设计具体放大电路时，以选择输入阻抗大的放大器为好。

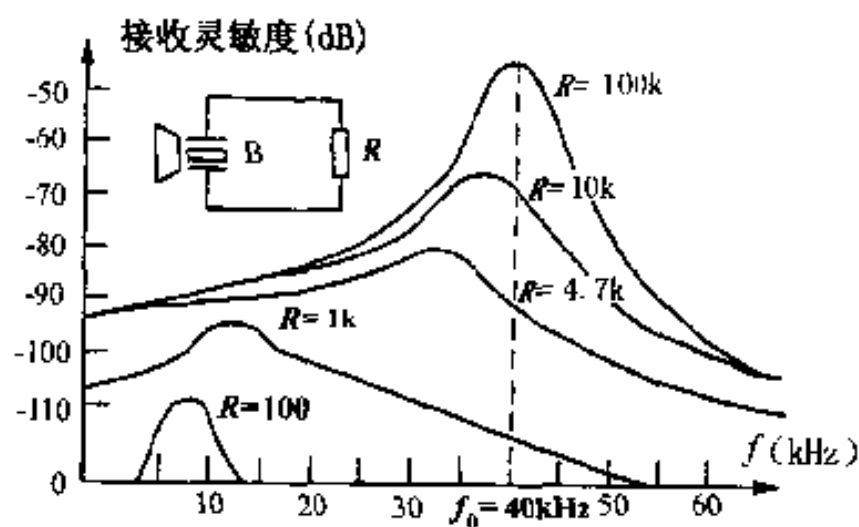


图 4-8 超声波接收器的频率特性

2. 指向特性

实际的超声波传感器中的压电晶片是一个圆形片，可以把其表面划分为许许多多的小点，把每个点都看做为一个振荡元，辐

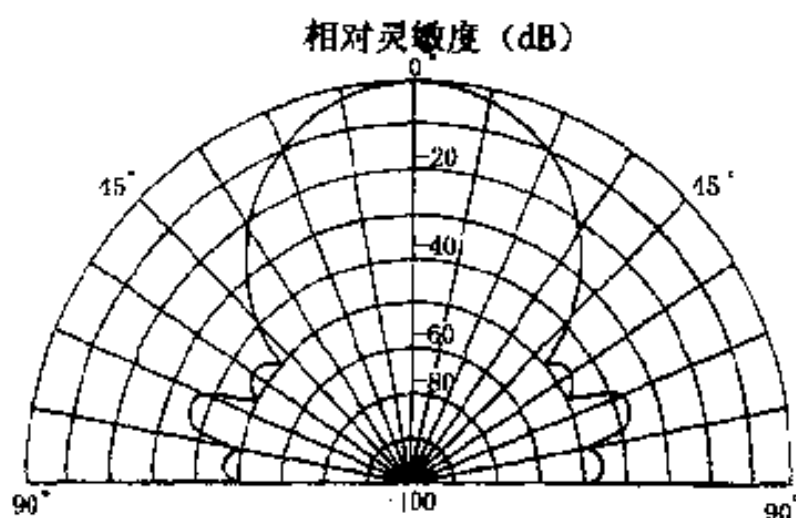


图 4-9 超声波传感器的指向特性

射出一个半球面波（子波）。这些子波没有指向性，但离开传感器的空间某一点的声压是这些子波叠加的结果，却具有指向性，指向性可以用图 4-9 所示的指向图来表示，它由一个主瓣和几个副瓣构成。当 $\theta=0^\circ$ 时声压最大，角度逐渐增大或减小时，声压减小，超声波传感器的指向角一般为 40° 至 80° 。

二、超声波发射电路

超声波发射电路至少应包括超声波发射器、40kHz 超音频振荡器、驱动（激励）电路 3 个部分，要求性能较高时，还需要有编码调制电路。设计超声波发射电路时应注意以下两点：

①普通小功率超声波发射器所需要的激励电流较小，通常只需几毫安到十几毫安，这与红外遥控不同。在红外遥控中，驱动红外发射二极管的电流必须在几十毫安以上。但超声波发射器要求有较高的激励电压，至少应该在 4V 以上。另外，超声发射器自身阻抗较大，因此可以不加限流电阻，这也与红外遥控不同。

②激励交流电压的频率务必调整在传感器的中心频率上，才能得到较高的发射功率和效率，调试时需认真调整振荡器频率。最好使用晶体（陶瓷）振荡器，可免去调试之麻烦。

（一）分立元件组成的超声波发射电路

图 4-10 是由两只普通低频小功率三极管 C9013 组成的振荡、驱动电路。三极管 T_1 和 T_2 构成两级放大器，但由于超声发射器 ST 的正反馈作用，这个原本是放大器的电路变成了振荡器。又由图 4-4 的等效电路知，超声发射器的压电晶片可等效于 1 个串联 LC 谐振电路，具有选频作用，因此该振荡器只能振荡在超声波发射器的谐振频率 f_0 。在这里，超声波发射器 ST 既是振荡电路的正

反馈元件，又是选频元件，还是把电振荡信号转化为机械振动的换能元件（即发射器），因此其电路结构简化，装置容易，无需调整频率。在（a）图中， T_2 的集电极负载由 R_3 担任；而（b）图中，以电感 L 来代替 R_3 ，这样可以增大激励电压，使超声波发射器 ST 能发射较大的功率，同时也有改善其谐振特性作用。

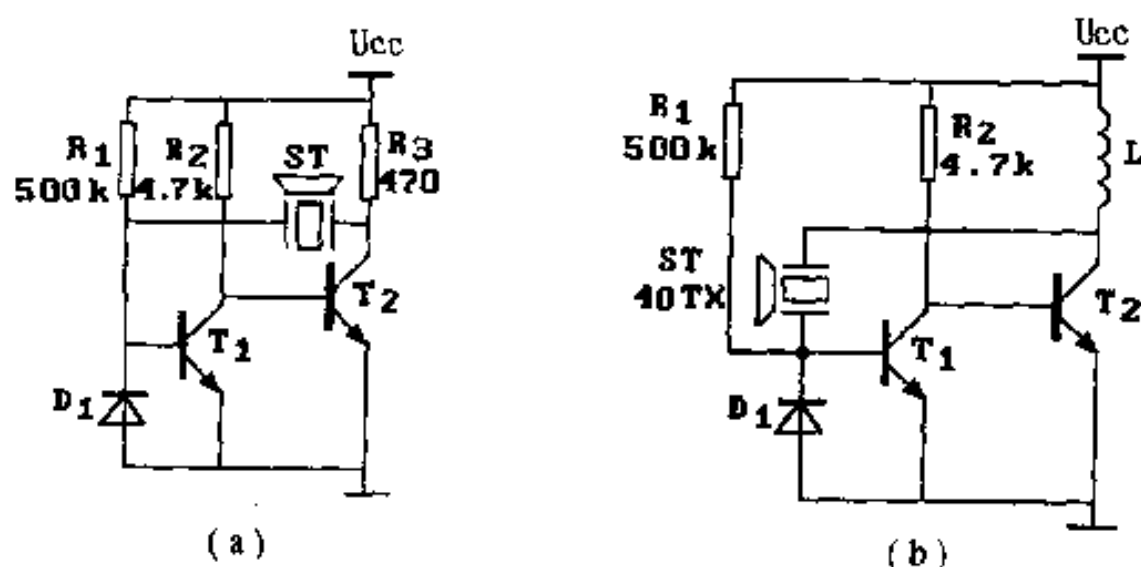


图 4-10 分立元件构成的超声波发射电路

（二）由集成门电路组成的超声波发射电路

图 4-11 是由门电路构成的超声波振荡、调制、激励电路。就振荡、激励电路而言，可以使用非门电路构成，但考虑到便于加入脉冲编码调制信号，因此用一块与非门集成电路构成，其中仅一个保留与非门的作用，其余均把两输入端接在一起构成非门。通常一块集成门电路芯片内部包含 4 个与非门，所以按照图 4-11 所示的构成方法，只需一块芯片即可同时完成振荡、调制、激励等任务。当采用 CMOS 门电路时，电阻 R_5 的作用是减小第一个门电路 G_1 输入端阻抗对振荡频率的影响以及电源电压的变化对振荡频率的影响。 R_5 的取值应使 $R_5 \gg R$ ，但当使用 TTL 门电路时， R_5 应小于 $1k\Omega$ 或直接短接。该电路的振荡频率由 R 、 C 乘积确定，据

理论推算，振荡频率 f_0 大致为

$$f_0 = 1/T \approx 1/(2.2RC)$$

电阻 R 的单位取欧姆，电容 C 的单位取法拉，则 f_0 的单位为赫兹。

例如取 $R = 12k\Omega$ ， $C = 1000pF$ ，则

$$T \approx 2.2 \times 12 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12} s$$

$$f_0 = 1/T \approx 37879 Hz \approx 38 kHz$$

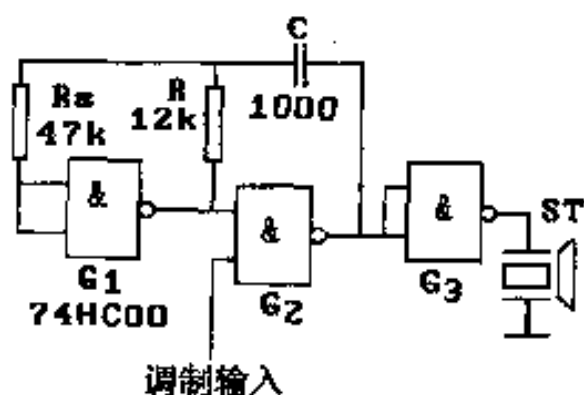


图 4-11 与非门构成的
超声波发射电路

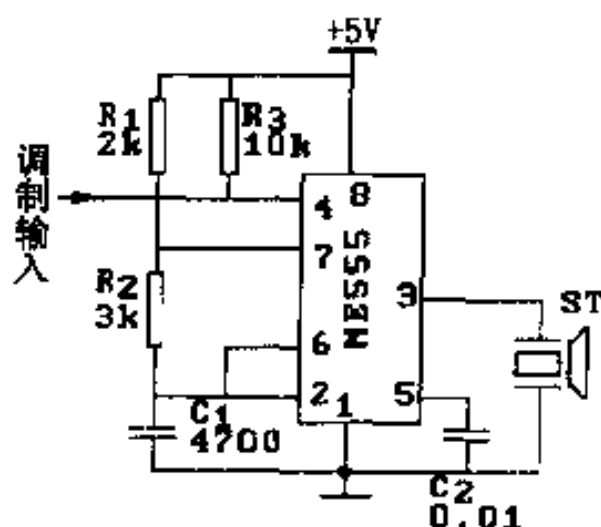


图 4-12 555 定时器构成的
超声波发射电路

(三) 由 555 定时芯片组成的超声波发射电路

图 4-12 是用定时器 555 集成芯片构成的振荡、调制、激励电路。需注意的是，该电路应使用双极型 555（内部电路由普通三极管构成），而不宜使用单极型 7555（内部电路由 CMOS 器件构成，外部引脚与 555 相同），其原因是 7555 的带负载能力很小。

(四) 具有晶体稳频的超声波发射电路

图 4-13 是使用了晶体稳频的超声波振荡、调制、激励电路。振荡频率由晶体（或陶瓷振子）确定，无需调节 RC 元件来调节频率，因此适合业余制作。

图 4-11 和图 4-13, 由与非门直接驱动超声波发射器, 必须使用 TTL 门电路。若使用 CMOS 电路, 则因其驱动能力小, 必须用两个门电路并联共同激励, 如图 4-14 所示。

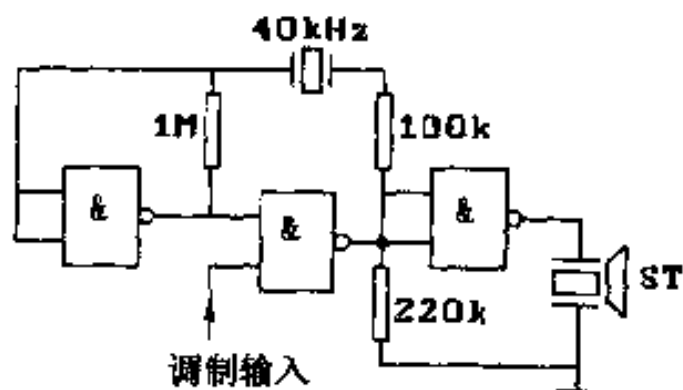


图 4-13 晶体稳频的超声波发射电路

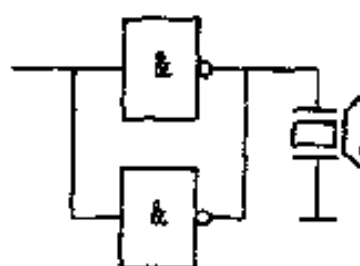


图 4-14 门电路并联输出

三、超声波接收电路

超声波接收电路至少应包含超声接收器、若干级放大电路、载频解调电路、状态锁存(记忆)等部分, 当性能要求较高时, 还必须要有与发射部分相匹配的解码电路。对于超声波前置放大器(与超声波传感器相连的第一级放大器), 要求应具有较高的输入电阻。因为由图 4-8 的超声波接收器的频率特性知, 如果与接收器并联的电阻较小, 会使接收器的接收灵敏度降低, 同时选频特性也变劣。下面列出几种常使用到的基本超声接收放大电路。

(一) 分立元件组成的超声波放大电路

图 4-15 为由三极管 T_1 、 T_2 和若干电阻电容组成的两级阻容耦合交流放大电路。第一级中, R_3 为集电极负载电阻; R_2 为偏流电阻, 同时引入了交、直流并联电压负反馈, 可以较有效地稳定静态工作点, 改善非线性失真以及增益的稳定性; R_4 是发射极负反馈电阻, 引入直、交流串联电流负反馈, 具有稳定工作点、稳

定增益、改善失真、提高输入阻抗等作用，但该电阻对增益的影响显著（使增益减小），因此需酌情选择其大小，不可偏重一面而忽略了另一面。第二级是分压式偏置的反相放大器，静态工作点由上偏 R_5 、下偏 R_6 、射极直流负反馈电阻 R_7 共同确定。在实际应用中， T_1 和 T_2 的集-射电压调整在 $1/2$ 的电源电压值上为佳，第一级可以通过调整 R_2 或 R_3 达到这一要求，第二级一般调整上偏 R_5 来满足这一要求。

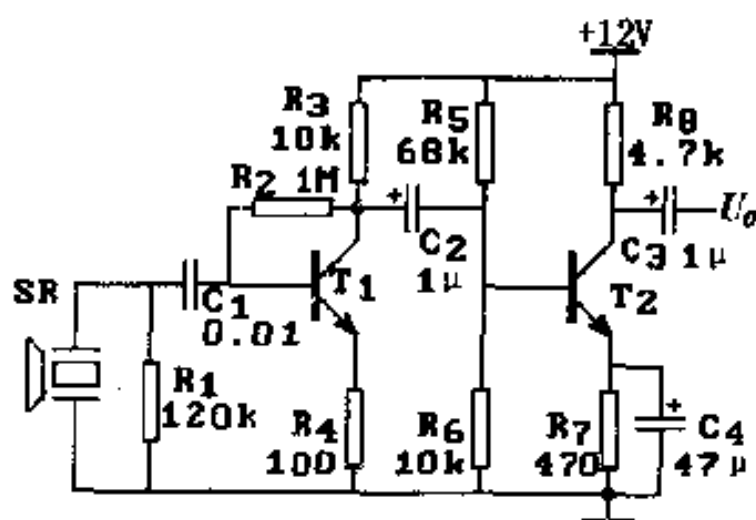


图 4-15 分立元件构成的超声波放大器

(二) 带有选频回路的超声波放大电路

图 4-16 中，第一级与图 4-15 中的第一级完全相同，第二级 T_2 的集电极接入一个并联的 LC 回路取代了图 4-15 中的 T_2 集电极电阻 R_8 。我们知道，LC 并联回路具有选频作用，也就是当加在 LC 并联回路两端的信号频率等于回路固有谐振频率 f_0 时，LC 并联回路发生谐振，回路两端阻抗呈纯电阻性并达到最大。而由 T_2 所构成的放大器其集电极所接的电阻（或等效电阻）的大小与放大器的电压增益（电压放大倍数，注意不是三极管的电流放大系数 β ）成正比，因此当 LC 回路发生并联谐振时该级增益最大。而当偏离谐振频率 f_0 时，LC 回路阻抗下降，放大器放大倍数也随着下

降。当偏离谐振频率 f_0 较远时，放大器可以做到基本上没有多少放大倍数。这样，放大器所能放大的信号频率只限于 LC 并联谐振回路的谐振频率附近，从而能选择出所需要的频率进行放大，故称之为选频放大器，它具有较强的抗干扰能力，并且增益也较高。该级的静态工作点可选择为集电极静态电流 $I_C = 3 \sim 5\text{mA}$ ，实际工作中，可以通过测量发射极电压来换算。以 $I_C = 3 \sim 5\text{mA}$ 为例，则发射极电压约为 $1.4 \sim 2.4\text{V}$ ，这里是以电源电压为 12V 为例的选择。当采用较小电源电压时，应适当减小发射极电阻 R_7 ，使三极管集-射间电压 U_{CE} 至少为电源电压的一半。

LC 回路谐振频率 f_0 由下式确定

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

式中电感 L 取亨利为单位，电容量 C 取法拉为单位，则频率 f 单位为赫兹。实际应用中 L 的电感量应能够调节，通常做成带有微调磁心的结构形式。

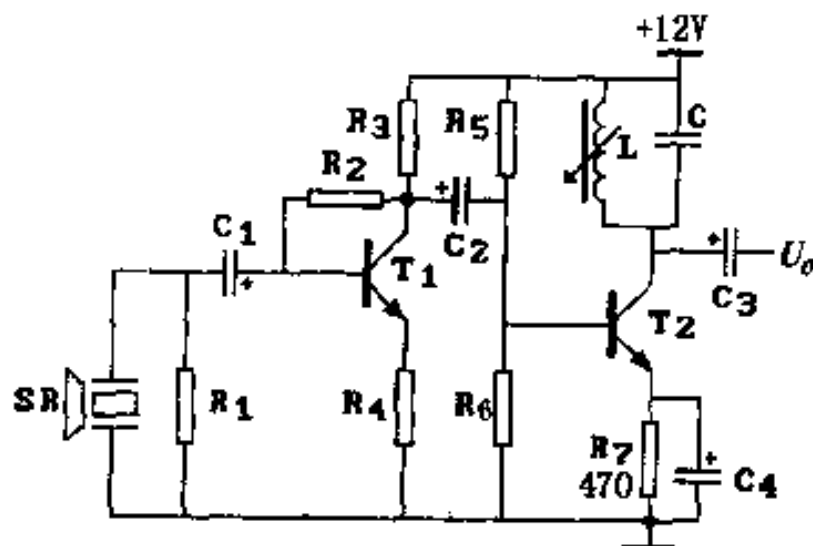


图 4-16 具有 LC 选频电路的超声波放大器

(三) 使用场效应管的超声波放大电路

图 4-17 为以两个结型场效应管组成的两级交流放大电路。场

效应管的显著特点之一是输入阻抗高，以图 4-17 为例，由超声接收传感器两端往放大电路方向看进去的输入电阻接近 $1\text{M}\Omega$ ，这非常有利于充分发挥超声传感器的接收灵敏度和它本身的选频作用。第一级放大器的漏极又接入 LC 并联谐振回路，使该放大器更具有较好的选频能力，后一级放大器除漏极不接 LC 回路而以电阻 R_5 为漏极负载电阻以外，其余均与第一级相同，它们工作于负偏压（栅极 G 与源极 S 间的电压为负值）状态下。负偏压的大小就相当于三极管放大器的基极电流 I_B ，对其工作点有举足轻重的作用。负偏压大小由源极电阻 R_2 和 R_4 调整，一般可调整负偏压等于夹断电压 U_{off} （根据产品说明）的一半。这里的负偏压是“自给”的而不是外加的，称“自给负偏压”。

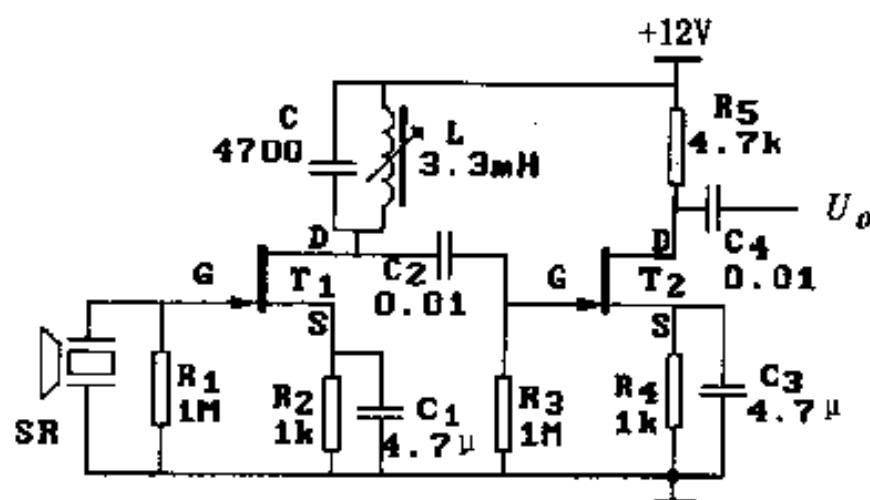


图 4-17 由场效应管构成的超声波放大器

（四）由运算放大器组成的超声波放大电路

图 4-18 是用运算放大器组成的超声波放大电路，该电路的形式在其他应用中可以经常遇到，具体应用特点如下：

①一般运算放大器都要求对称的正负电源供电，这里以单电源供电，输出端的静态电位须设置为 $1/2$ 电源电压，这由同相输入端的电位来确定。 R_1 和 R_2 分压取得 $1/2$ 的电源电压加到运算

放大器的同相输入端，使其电位为 $1/2$ 电源电压。

②采用同相端输入方式其输入阻抗高，超声接收传感器的输出信号接到放大器的同相端，有利于超声传感器充分发挥接收灵敏度和自身的选频作用。

③反相端对地不提供直流通路，因此通过隔直电容 C_2 提供交流通路。

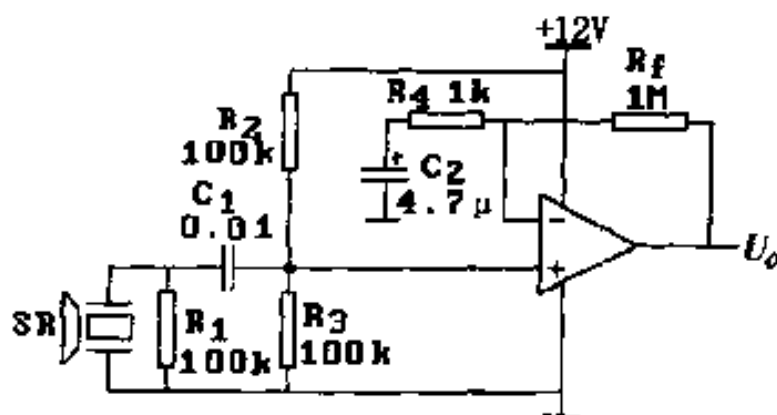


图 4-18 由运算放大器构成的超声波放大器

(五) 由 CMOS 非门组成的超声波放大电路

CMOS 非门电路一般都应用于数字电路，其输出信号只取高电平或低电平两个值。其实，在输入电压的某个小范围内，CMOS 非门有一个小范围的线性区，电路可以作为模拟信号放大电路使用，即输出电压能随输入电压成比例地变化。这个“小范围”是处在 $1/2$ 电源电压的地方。只要设法使非门电路的输入端静态电压（无输入信号时）为 $1/2$ 电源电压，那么它就可以作为模拟信号放大器使用，此时其输出端的静态电压也为 $1/2$ 电源电压。当输入端加以交流信号（其大小一般在 $200\sim 300\text{mV}$ 以内）时，输出电压就在 $1/2$ 电源电压的基点上变大或变小。图 4-19 是 CMOS 非门构成超声波放大器的几种接法。

1. 反馈偏置的线性应用

图 4-19 (a) 中, 在非门的输入与输出端之间跨接一个负反馈电阻 R_f , 可以使其输入端的静态电位等于输出端的静态电位并大致等于电源电压的 $1/2$, 这时该门电路成为一个小信号放大电路。负反馈电阻一般取值在几百 $k\Omega$ 至 $1M\Omega$, 若取值过大, 静态工作点会受温度影响较大, 有可能偏离线性区; R_f 也不能太小, 否则会增加门电路的负担。

2. 分压偏置的线性应用

上面的反馈偏压电路简单, 但一般难以准确地将输出静态电压偏置成 $1/2$ 电源电压, 往往不是略高就是略低, 在要求动态范围不大的情况下勉强可用。为了能准确地将输出端静态电压偏置成 $1/2$ 电源电压, 以便得到最大的动态范围, 可采用图 4-19 (b) 或 (c) 的分压偏置方法。采用反馈偏压后, 如果输出电压高于 $1/2$ 电源电压, 则在输入端接入一个上拉电阻 R_1 , 如图 (b) 所示。调整 R_1 , 可使输出电压降低为 $1/2$ 电源电压。采用负反馈偏置后, 若输出电压低于 $1/2$ 电源电压, 可在输入端接入一个下拉电阻, 如图 (c) 中所示 R_2 。调整 R_1 可使输出电压满足要求。

3. 多级非门构成超声放大电路

单级 CMOS 非门构成的放大电路其电压增益较小, 实际应用中不能满足要求, 可以用 3 个非门电路, 按照图 4-19 (d) 的电路, 构成具有较高增益的放大电路。将 3 个非门串联后, 仍当作 1 个非门使用, 所以偏置方法仍按照上面介绍的方法。

用 CMOS 非门构成超声前置放大电路具有输入阻抗高、功耗低、成本低、电路简单等优点, 但这种放大器动态范围有限, 输出驱动能力差, 在实际应用中往往需在其后面再跟一级晶体管放大电路或其他的放大电路。图中 C_f 是为防止高频自激而设的, 容量约取 $1000pF$ 以内, 视调试时的具体情况而定。

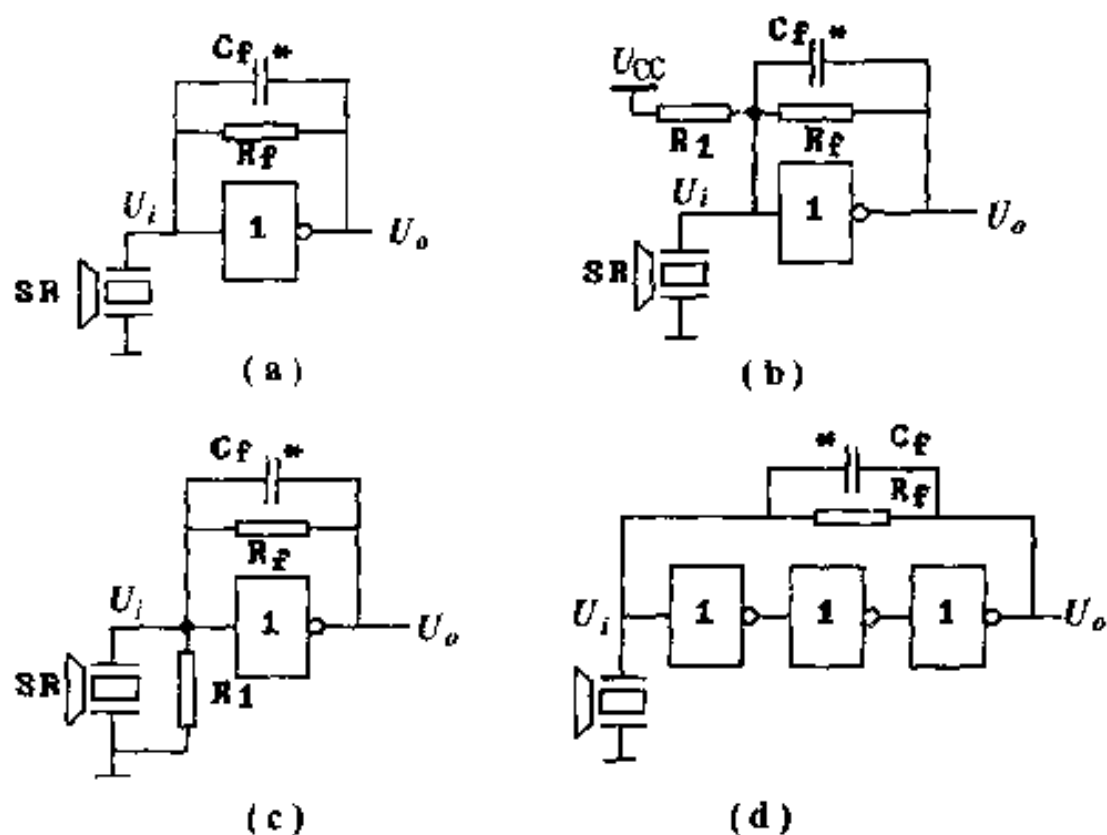


图 4-19 CMOS 非门电路构成的超声波放大器

四、专用超声波收发集成电路 LM1812

(一) 引脚功能

LM1812 是一种专用于超声波收发的集成电路，它既可作为发射电路，又可用于接收放大电路，靠一根控制线（③脚）来控制。该器件为 18 脚 DIP 封装，各引脚功能简介如下：

引脚①——当作为接收器使用时，该引脚是第二级放大器的输出端，也是 LC 选频回路的连接点（参见图 4-20 和图 4-21）。

引脚②——作为接收器使用时的第二级放大器的输入（参见图 4-21）。

引脚③——作为接收器使用时的第一级放大器的输出，该端可以接一个可变电阻来分压，取其一部分电压用一个电容耦合到第二级（②脚）放大，调节可变电阻，就可以改变总体放大倍数

(参见图 4-21)。

引脚④——作为接收器使用时第一级放大器的输入，接受由超声接收传感器输出的微弱信号（参见图 4-21）。

引脚⑤、⑩、⑮——接地端。

引脚⑥——经放大后的载频脉冲功率输出端，为集电极开路形式，吸收的脉冲电流峰值不超过 1A（参见图 4-20）。

引脚⑦——载频脉冲的电压输出端（参见图 4-20）。

引脚⑧——功能切换控制端，该端内部接向一个三极管的 BE 结。向该端注入 1~10mA 电流（高电平导通），器件就切换到振荡、发射模式；该端为低电平时器件作接收器使用。加高电平时应串一个限流电阻（参见图 4-20）。

引脚⑨——接延时电容，当器件从振荡停振切换到接收模式时，放大电路并不马上投入工作，经延时片刻才投入工作。该端所接电容确定了延时时间，大致上电容为 0.1 μ F 时延时 1ms；电容为 1 μ F 时延时 10ms（参见图 4-23）。

引脚⑪——作接收器时使用。该端接一个 0.2~2 μ F 的电容，对接收、检波后输出的脉冲占空比有限制作用，如将其接地，则该功能失效（参见图 4-23）。

引脚⑫——电源正端，12~18V。

引脚⑬——该端内部经过一个较小的电阻接到电源正端（参见图 4-20）。

引脚⑭——检波、积分、放大并经功率放大的输出端，为集电极开路方式，吸收电流可达 1A 左右，作接收器时使用（参见图 4-21）。

引脚⑯——基本作用与⑭脚同，但该端为电压输出，驱动能力小（参见图 4-21）。

引脚⑰——外接 R、C，起噪声抑制作用（参见图 4-23）。

引脚⑬——外接一个电容到地，控制积分器的复位时间（参见图 4-23）。

（二）作发射使用的等效电路

LM1812 作发射使用时的简化等效电路如图 4-20 示，当其⑧脚向 T_1 注入足够基极电流时， T_1 导通，振荡器启动，振荡频率由 L_1 、 C_1 并联谐振回路确定。振荡器输出的脉冲又去触发 1 个单脉冲发生器，每触发一下就输出一个约 $1\mu\text{s}$ 的脉冲，因此其输出的是频率与振荡器频率相同、但正脉冲宽度为 $1\mu\text{s}$ 的信号。该信号经过 T_2 预放大，推动 T_3 、 T_4 (T_3 、 T_4 组成复合管)，以集电极开路方式从其集电极（⑥脚）输出。这种占空比小的脉冲信号使 T_3 、 T_4 导通时间小于截止时间，能减小输出功率管的功耗。超声脉冲信号也可从 T_2 集电极（⑦脚）输出，但驱动能力小。 T_4 的集电极（⑥脚）接一个输出变压器推动超声发射器 ST，以取得较大的发射功率， C_3 的选取应与 L_3 构成谐振，变压器 L_3 与 L_2 的匝数比大约取 2:1。不要求较大功率时，超声发射器可直接接在⑥、⑬脚间，不必使用变压器。

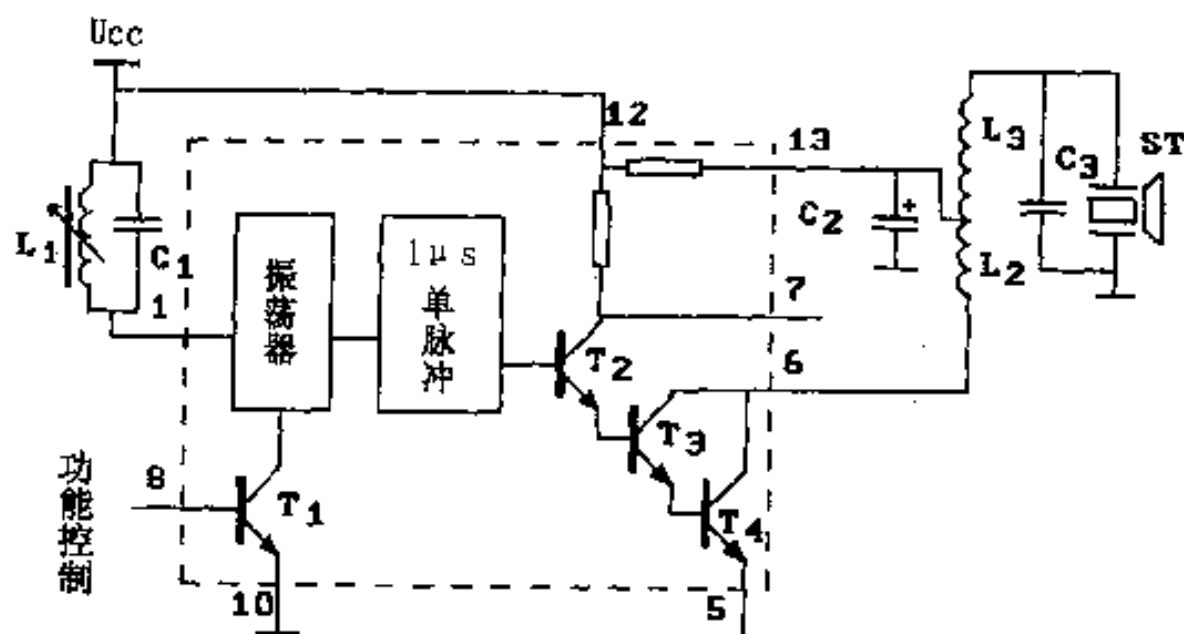


图 4-20 LM1812 作发射器使用等效电路

(三) 作接收使用的等效电路

LM1812 作接收使用时的简化等效图如图 4-21 所示。超声接收传感器 SR 收到超声波，输出微弱的电信号经由 C_2 耦合至 LM1812 的④脚，送入内部放大器。该信号经第一级放大后从③脚输出，再经一个可变电阻 R_w 分压、电容 C_3 耦合，进入第二级进一步放大。调节可变电阻 R_w 可以改变第二级输入信号的大小，从而得到不同的总体增益。第二级输出端（①脚）接 LC 并联谐振槽路作为负载，构成了选频放大器，提高选频能力并增大了增益。放大后的载频信号经过检波、积分得到解调信号，一路从⑩脚输出，另一路经功率放大后以集电极开路方式输出。功率放大的最后一级是一对 NPN 三极管组成的复合管，能吸收约 1A 的电流。

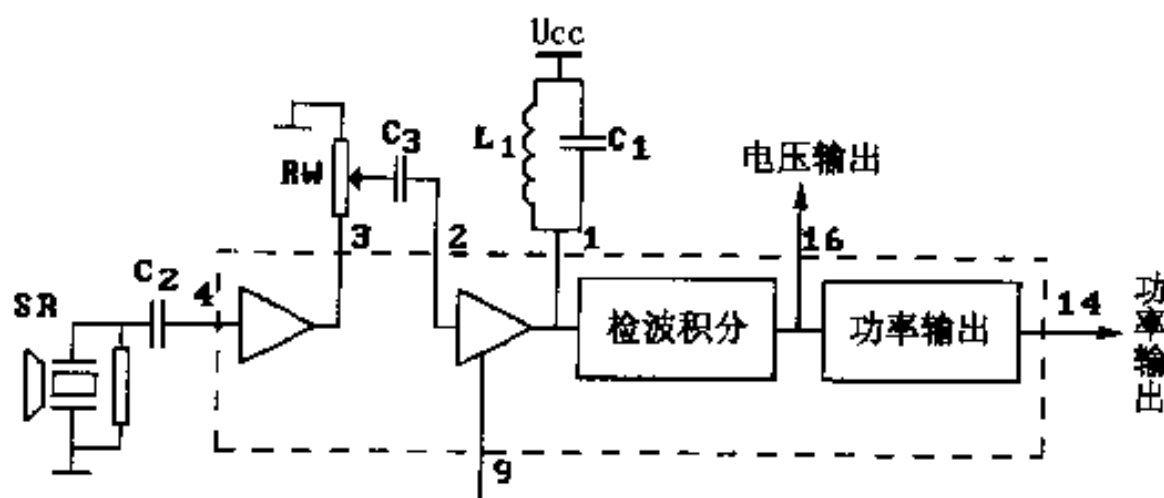


图 4-21 LM1812 作接收器使用等效电路

(四) 基本应用举例

1. 作发射应用参考电路

图 4-22 是 LM1812 作发射使用时的一种参考电路。模式控制端⑧脚由电阻 R_1 接向电源，使芯片工作于发射模式。①脚接 L_1 、 C_1 并联谐振槽路以确定振荡器频率。输出变压器接在⑥、⑬脚间。电容 C_2 起退耦、滤波、信号旁路作用。 C_3 应与变压器副边绕组谐

振于发射载频，变压器变比大致为 $N_1 : N_2 = 1 : 2$ 。超声发射器 ST 也可以直接接在⑥、⑬脚间，省去变压器和 C_2 ，但发射功率较小。

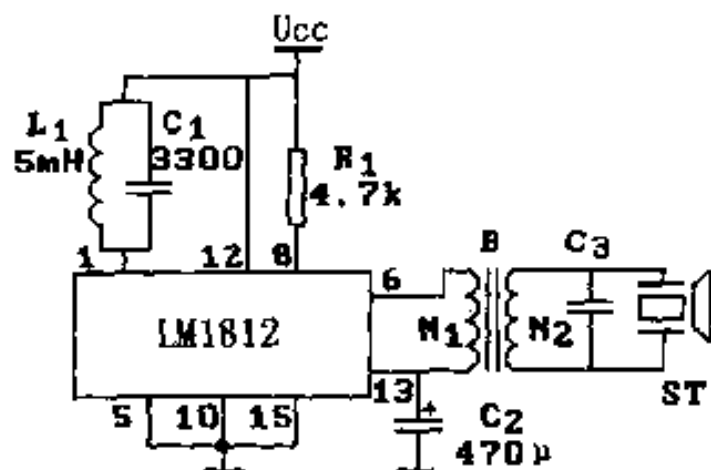


图 4-22 LM1812 作发射使用参考电路

2. 作接收应用参考电路

图 4-23 是 LM1812 作接收应用的参考电路。⑧脚接地，使芯片工作于接收模式。输出信号可以从⑬脚输出或从⑭脚输出，注意从⑭脚输出是集电极开路形式，其结构形式与发射电路的功率输出级相同。其余各引脚上的元件作用已在引脚功能介绍中介绍过，这里不再重复。

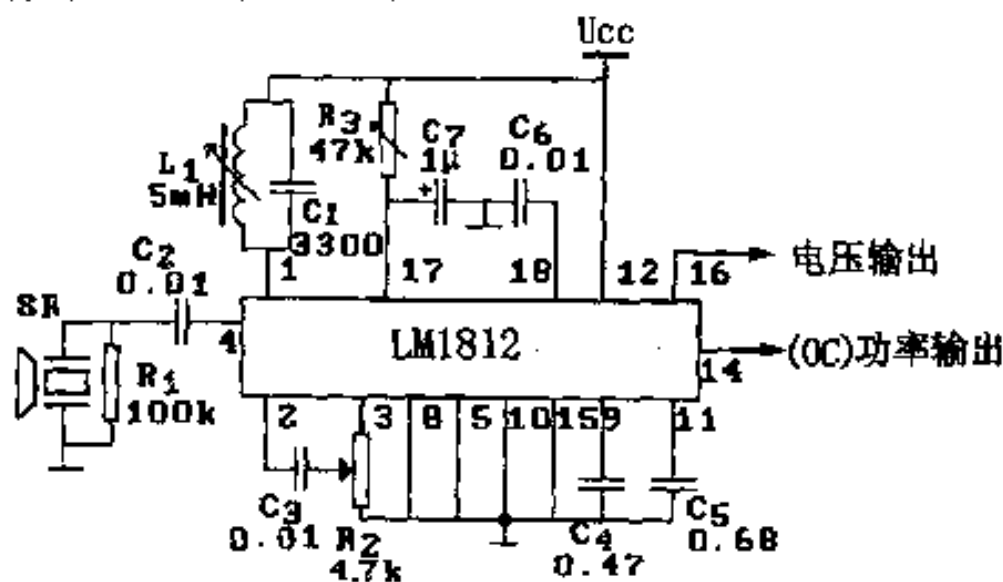


图 4-23 LM1812 作接收使用参考电路

五、超声波遥控电路分析与实验

(一) 亚超声波遥控开关

1. 发射装置

该装置使用超声波汽笛作为超声波发生器产生遥控命令。超

声汽笛发出的声波频率大约为 18kHz，称为亚超声波。图 4-24 是超声汽笛的结构示意图，由超声笛和气囊两部分构成。当用手挤压橡胶气囊时，产生了一定压力的气流通过气口送入超声笛，在流经狭缝时流速增大冲出汽笛，冲击刀口产生空腔谐振，于是从楔形刀口中辐射出频率约为 18kHz 的超声波。利用这种装置作为遥控发射器，非常简单且不用电池。

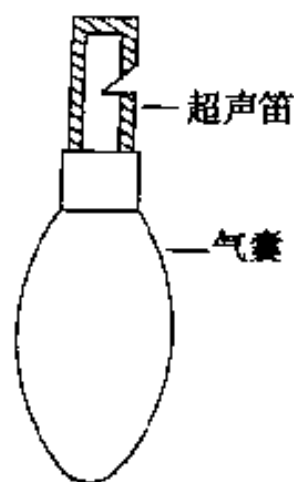


图 4-24 超声汽笛示意图

2. 接收装置

接收电路如图 4-25 示，接收器 SR 是一压电陶瓷片也可以用小型高音喇叭替代，其谐振频率大致为 20kHz，与超声汽笛发出的亚超声波频率很接近。场效应管 T_1 与 L 、 C_1 谐振槽路等构成 18kHz 选频放大器，以提高抗干扰能力，由 T_1 放大后的约 18kHz 亚超音频信号再经 T_2 进一步放大后，由二极管 D_1 和 D_2 检波切去负半周，剩余的正半周对电容 C_6 充电。若干周期后， C_6 被充电至大于 0.6V，使 T_3 进入导通状态。因 T_3 集电极电阻 R_6 的取值较大， T_3 很容易进入饱和，于是集电极电位变低， T_4 迅速进入截止，其集电极电位上跳为高电平。当发射器气囊松开时，停止了亚超声波的发射，接收器没能继续收到信号，因此 T_3 恢复到原来的截止状态，其集电极电位回高， T_4 集电极电位回低。概括地说，就是每当发射气囊被挤压一次， T_4 的集电极电位就一低一高地变化一次，该电平从低变高的上跳变触发了 D 触发器 74LS74 翻转，其输出端 Q 的状态就改变一次。该状态（高电平或低电平）能使 T_5 导通或截止，因而继电器就吸合或释放，继电器的触点就可以控制某用电器的得电或失电，达到了遥控目的。电阻 R_8 和稳压管 DZ

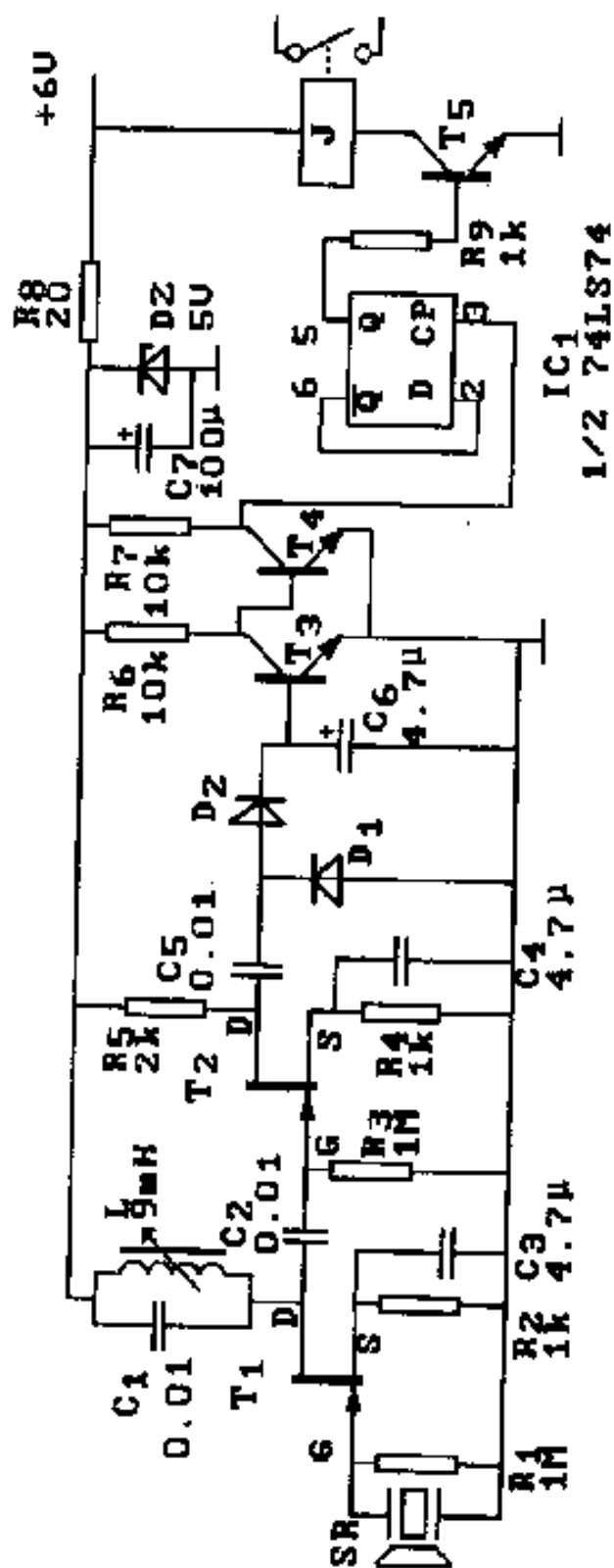


图 4-25 亚超声遥控接收电路

构成稳压电路，主要是为取得 5V 电压供 IC₁ 使用。

3. 元件选取

T₁、T₂——结型场效应管 3DJ6 或 3DJ7；

T₃、T₄——NPN 三极管 C9013，要求 $\beta > 80$ ；

D₁、D₂——锗二极管 2AP 型或 2AK 型；

IC₁——集成电路 D 触发器 74LS74；

继电器 J——小型 DC 6V 单 Z 继电器，触点容量根据实际要求选定；

DZ——5~5.2V 稳压管；

L——9mH 电感，带可调节磁心，可使用黑白电视行振荡电感，其有较大的调节范围。

(二) 电风扇变速超声波遥控电路

1. 发射装置

(1) 电路原理

发射装置电原理图如图 4-26 示。三极管 T₁、T₂ 组成两级的直接耦合放大器，T₂ 的输出（集电极）接一个反馈元件到 T₁ 的基极，形成了较强的正反馈，因而形成一个振荡器。反馈元件 ST 就是超声波发射器，其本身已具有谐振选频作用，因此该振荡器能准确

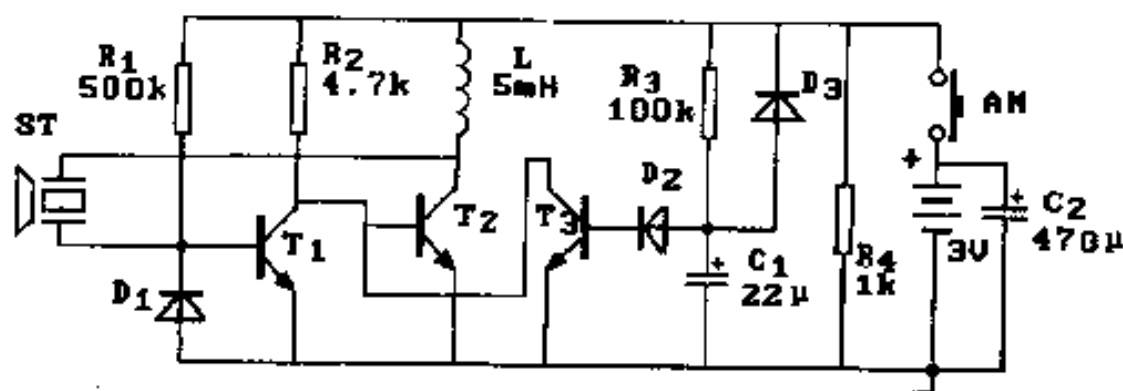


图 4-26 超声遥控电扇变速发射装置

振荡在超声发射器的谐振频率上。其中 T_1 基极所接二极管 D_1 起保护 T_1 发射结的作用。

三极管 T_3 及其右边元件所构成的电路是“定时”控制电路。其作用是使发射电路发射超声波的时间能自动控制在某一定长度内，不会因为按钮 AN 按住时间太长而影响发射时间。其作用原理如下：平常状态下，按钮 AN 处于断开状态，整个电路失电均不工作，电容 C_2 充电至 3V。当按下按钮 AN 时，二极管 D_3 不导通，电阻 R_3 向电容 C_1 提供充电通路。但在最初的那段时间里，电容 C_1 上的电压还来不及上升到足以使二极管 D_2 及三极管 T_3 导通，所以 T_3 在电路中不影响 T_2 状态， T_1 、 T_2 组成的振荡器发生振荡，ST 发射出超声波。但稍过片刻，电容 C_1 充电至大约 1.3V，便使 D_2 及 T_3 进入导通。 T_3 的导通就会影响 T_2 工作状态， T_3 集电极把 T_2 的基极电位拉低使 T_2 进入截止，于是振荡器就停止了振荡。可见，振荡器振荡最长时间受 C_1 充电时间限制。 D_3 、 R_4 是为 C_1 放电提供回路的。当按钮松开时， C_1 上的电荷能通过 D_3 、 R_4 迅速放电，以利于第二次发射操作。电容 C_2 的作用是这样的，当电池比较旧的时候，它向外供电的能力已显著下降，内阻明显增加，可能导致电路不能正常工作或发射功率减小，但电容上的电压总能接近 3V（AN 断开状态）。按下 AN 的短时间内， C_2 向外放电，可以协助电池向外提供较大的功率，起到弥补电池供电能力不足的作用。

(2) 元件选取

T_1 、 T_2 、 T_3 ——NPN 三极管 C9013；

ST——PKMJ-40S 超声发射器；

D_1 、 D_2 ——硅二极管 1N4148；

D_3 ——锗二极管 2AP 或 2AK 型。

(3) 制作与调试

印刷电路板图见图 4-27 示, 图 (a) 为 1:1 透视图, 按图焊接完毕, 经认真外观检查, 即可着手通电实验。实验过程可先使用可调稳压电源提供 3V 电压, 完全成功后改用电池供电。调试工作按下面步骤进行:

① 振荡电路工作情况的检验。先焊开 T_3 基极的二极管 D_2 , 接通电源按住按钮, 振荡器应进入振荡状态。有条件的读者, 可使用示波器观察 T_1 或 T_2 集电极波形, 容易判断振荡器是否起振, 并且还可以测量出振荡的频率。大多数业余爱好者缺乏条件, 无法判定振荡频率, 但该发射电路频率由超声发射器确定, 不必调整。用万用表测量 T_1 或 T_2 的集电极电位, 同时用 1 只 $10\sim 47\mu\text{F}$ 的电容器接入 T_1 基极和地之间, 这时万用表指示应有变化, 可基本判定振荡器起振。

② “定时”电路的检验。把前面拔除的二极管 D_2 接上, 按下按钮 AN 不放, 用万用表检测 T_2 集电极电压, 万用表指示应小于电源电压, 约停留 1s 随即回到电源电压。

2. 接收装置

(1) 电路原理

接收装置的电原理图如图 4-28 示, 该电路可以看做由 6 个部分组成 (图中用虚线分隔)。

第一部分: 超声波接收传感器 SR 和 3 个非门 G_1 、 G_2 、 G_3 等构成超声波的接收放大电路。

第二部分: 锁相环集成电路 NE567 及外围阻容构成脉冲形成电路, 相当于解调、整形。放大后的超音频信号由电容 C_4 耦合送入 NE567 的③脚。当该信号频率落在锁相环电路的识别频带以内时, NE567 的⑧脚就输出低电平, 发射器间断地发射超声波 (按钮每按一下就发射一次), 接收器就间断地收到超声波信号, 因此 NE567 的⑧脚就能输出一个一个的负脉冲, 每一个负脉冲对应于

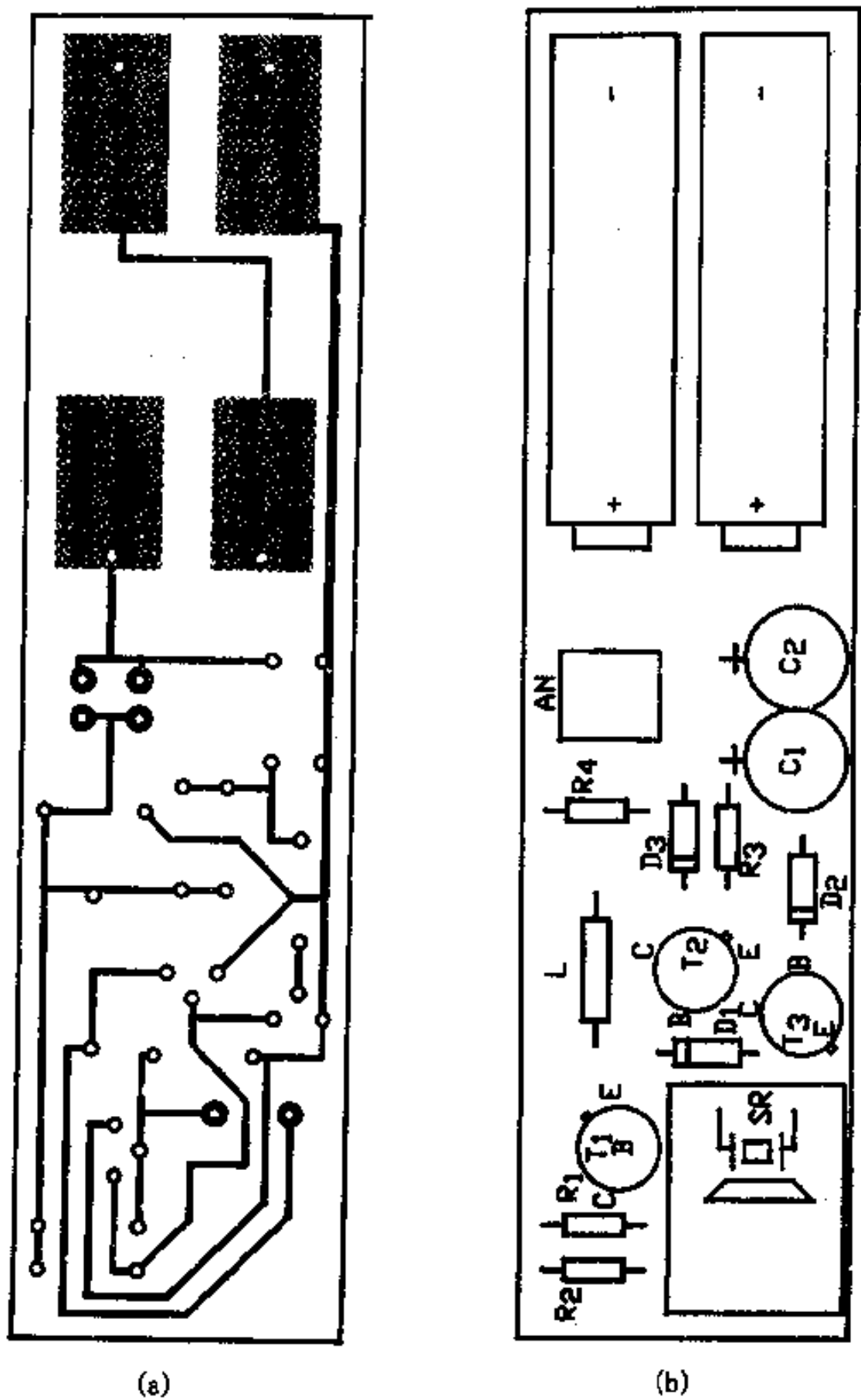


图 4-27 超声遥控电扇变速发射器印刷电路板

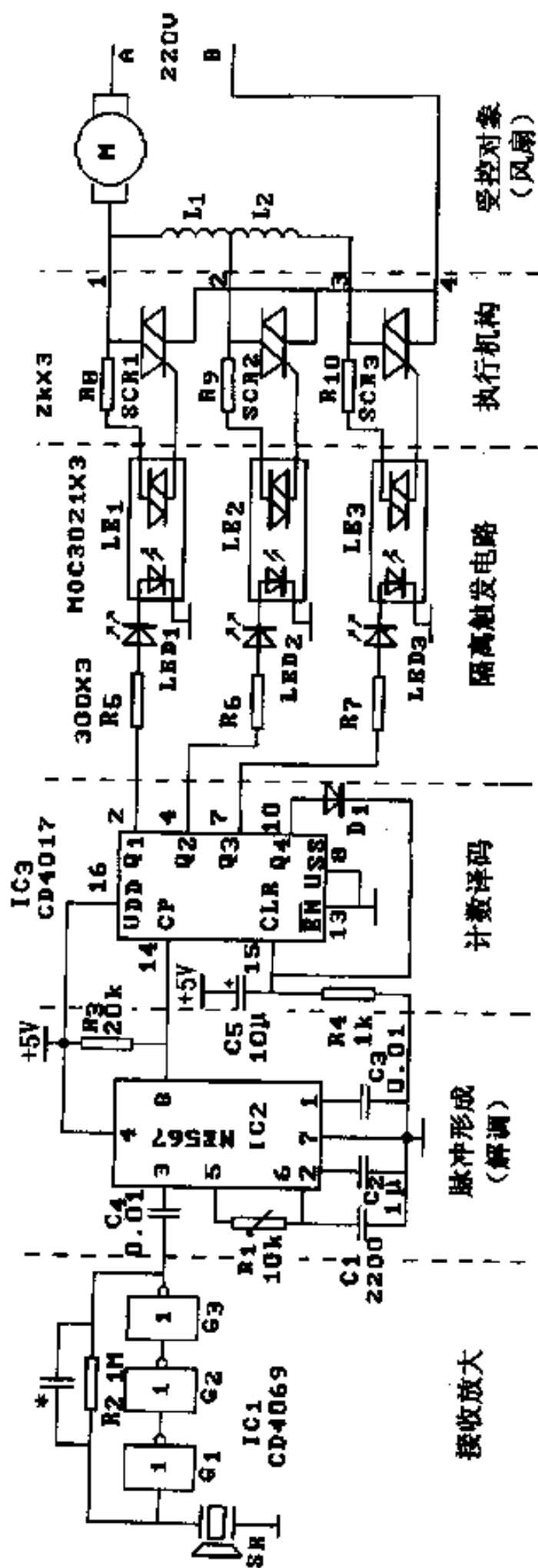


图 4-28 超声遥控电扇变速接收装置

发射器按动一次按钮。可见 NE567 同时兼具选频作用，其中心频率由 R_1 、 C_1 确定。

第三部分：CMOS 计数译码电路 CD4017，计数脉冲由 CP 端 (⑭脚) 输入，输出信号从 $Q_0 \sim Q_9$ 这 10 个输出端轮流出现 (图 4-28 中只画出 $Q_1 \sim Q_4$)。复零状态时， Q_0 为高电平， $Q_1 \sim Q_9$ 全为低电平。在输入端加一个触发信号，也就是送入一个计数脉冲，输出端的高电平就从 Q_0 移到了 Q_1 端；再送入一个计数脉冲，输出端的高电平又从 Q_1 移到 Q_2 端。每送入一个计数脉冲，输出的高电平就移过一根线，并且任何时刻只在一根线上出现。图中把 Q_4 经过二极管 D_1 接到 CLR (⑮脚) 端，这是计数器的清零端。当该端为高电平时，计数器复零，输出高电平只出现在 Q_0 端。按图中接法，当输入端送入第四个计数脉冲时， Q_4 端为高电平，通过二极管 D_1 加给 CLR 端使计数器回零，根据上面分析得到结论：不断按动发射器按钮，CD4017 输出端的高电平就在 Q_0 、 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 四根线引脚间循环出现。

CLR 端还接了一个电容 C_5 到电源端，一个电阻 R_4 到地，起上电复位作用。当电路上电时，由于电容的特性，能把瞬间的高电平耦合到 CLR 端，于是计数器复零。稍后，电容充电过渡过程结束，CLR 端由 $1k\Omega$ 电阻拉向低电平，计数器进入正常计数状态。 \overline{EN} 端是“计数允许”端，又常称为“使能”端。该端为低电平时，芯片工作，为高电平时，芯片不工作。CD4017 的引脚排列见附录 5。

第四部分：由 3 个光耦双向晶闸管 $LE_1 \sim LE_3$ 组成隔离触发电路。例如，当 CD4017 的 Q_1 端为高电平时，通过电阻 R_5 向发光二极管 LED_1 及光耦 LE_1 的一次侧注入电流，于是光耦 LE_1 的二次侧双向晶闸管就导通，同时这一状态由 LED_1 指示灯点亮而指示。其他两个光耦 LE_2 、 LE_3 的情况相同。结论：不断按动发射器按钮，光耦晶闸管二次侧的状态以下面的次序循环：全断— LE_1 通

— LE_2 通— LE_3 通—全断……

第五部分：执行机构。由双向晶闸管 SCR_1 、 SCR_2 、 SCR_3 组成无触点开关，其导通与否受光耦晶闸管的控制。例如，当只有光耦晶闸管 LE_1 的二次侧导通时，所对应的晶闸管 SCR_1 就导通，220V 电源的回路为 A—电机 M— SCR_1 —B；当只有 SCR_2 导通时，220V 电源回路为 A—电机 M— L_1 — SCR_2 —B；当只有 SCR_3 导通时，220V 电源回路为 A—电机 M— L_1 — L_2 — SCR_3 —B。

第六部分：受控对象——风扇电机。电感 L_1 和 L_2 是原电扇的变速电感线圈，当电机 M 的回路串入电感不同时，电机转速就不同。该电扇调速电路有 3 挡，当 SCR_1 导通时，由上一步骤的分析可知，电机回路里没有串入电感，转速最高；当 SCR_2 导通时，电机回路中串入了电感 L_1 ，转速降 1 挡；当 SCR_3 导通时，电机回路里串入电感 L_1 和 L_2 ，转速又降 1 挡。

根据以上 6 个组成部分的分析，可以得到结论：不断按动发射器的按钮 AN，电风扇的转速能在以下几挡中循环变化：0 挡—1 挡—2 挡—0 挡……

(2) 元件选取

集成芯片—— IC_1 取 CMOS 六非门 CD4069， IC_2 锁相环取 NE/LM567， IC_3 取 CMOS 计数译码器 CD4017；

光耦双向晶闸管—— $LE_1 \sim LE_3$ 取 MOC3021；

双向晶闸管—— $SCR_1 \sim SCR_3$ 取 1A/600V；

发光二极管—— $LED_1 \sim LED_3$ 取 $\varnothing 3$ 绿色发光二极管；

二极管—— D_1 取 1N4148 或其他；

超声接收传感器——PKMJ-40R。

(3) 制作调试

接收装置的电路板 1:1 透视图如图 4-29 所示。 L_1 、 L_2 是原电扇上的调速电感元件，且体积较大，所以电路板上没有安排位

置，仅留有接线点，分别标以“1、2、3、4”，与电路图 4-28 中标注对应；所有集成元件包括光耦 $LE_1 \sim LE_3$ 全部使用 IC 插座。焊接完毕，经认真检查确认无误后，按下面步骤调试。

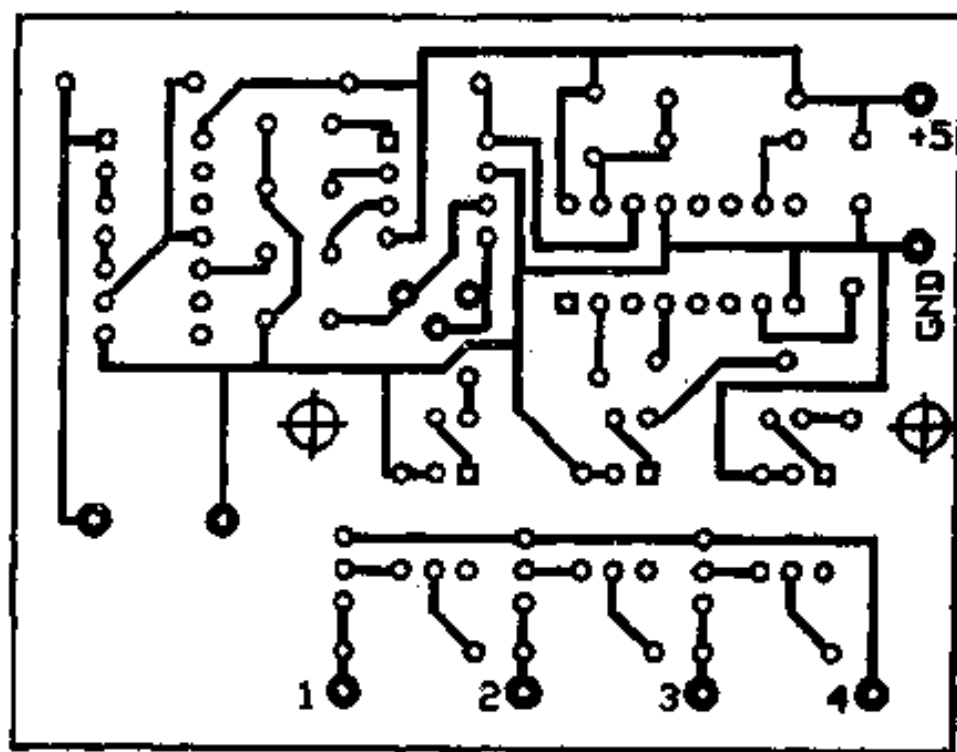
①先不插集成芯片，接通 5V 电源（注意，实验电路板先不要与电扇连接），测量 IC_1 、 IC_2 、 IC_3 集成电路插座上的电源引脚间电压，注意要直接在 IC 座的电源正负两引脚间测量。

②检验发光二极管 $LED_1 \sim LED_3$ 及其回路：用一根硬导线，一端插入 IC_3 插座的⑩脚（电源正端），另一端分别接触 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 （②、④、⑦脚），指示灯 LED_1 、 LED_2 、 LED_3 应轮流点亮。

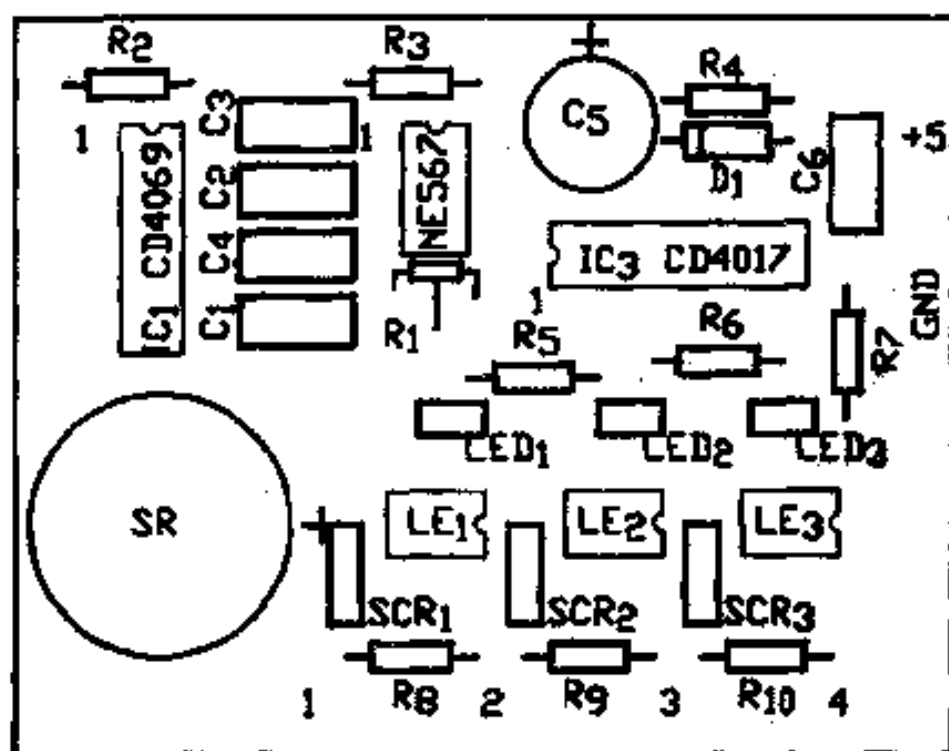
③插上 IC_3 ，检验 CD4017 的计数译码功能。在通电的最初时刻，3 个 LED 指示灯均不应点亮，否则要加大 C_5 容量。然后用一根硬导线，一端插入 IC_2 NE567 的⑧脚（输出端，也是计数器的触发端），另一端碰触地线，碰触动作力求干脆利落，不要有抖动现象。每碰触一下，LED 指示灯应轮换一个点亮。注意在用导线对地碰触的过程中，可能有不为人所感觉地抖动了若干下，因此所看见的 LED 指示灯轮流点亮的情况并不很有规律，不应判为电路故障。

④插上 IC_1 和 IC_2 ，用发射器发射超声波，用万用表监视 NE567 的输出端（⑧脚），该端常态为高电位。移近发射器，并把发射器中的 T_3 基极与发射极短路，目的是让 T_3 截止，这样按住按钮 AN，发射器就会一直发射超声波。如果接收器收到信号，并且其频率落在锁相环电路 NE567 的频带内，那么 NE567 的输出端就应该为低电平。调试中应调整锁相环电路中的可调电阻 R_1 ，使其⑧脚输出的低电平稳定，不应有跳摆，逐渐拉大发射距离并且一边调整 R_1 直至距离最远。

⑤恢复发射器的正常工作状态（把刚才 T_3 基极对地的短路线去掉），由发射器的按钮 AN 来操纵 LED 指示灯，每按动一下，指



(a)



(b)

图 4-29 超声遥控电扇变速接收印刷电路板

示灯轮换一个点亮。

⑥对于有经验的读者，可以将图中的晶闸管控制输出端“1、2、3、4”接到电风扇中相应的地方实现对实际对象的遥控操作，而对于初学者，应免于该步骤实验，因为引入220V强电存在触电的危险。

本例接收装置的供电使用小变压器将220V降压为7.5V再经整流、滤波、稳压后提供。

(三) 多路超声波遥控装置

上面的几种电路，都只能实现单路控制，并且抗干扰能力也较差，只能适用于要求不高的单路控制场合。当要求能输出多路控制信号时必须使用编解码技术。带有编解码功能的多路超声遥控装置的构成方法，设计思想与红外遥控中基本相同，主要区别仅是使用的载体不同，一个是用红外线为载体，一个是用超声波为载体，以及由此而引发的发射和接收装置中的若干差异，读者可以依照红外遥控电路来设计超声遥控装置。下面是一个多路超声遥控装置的例子。

1. 专用编解码集成电路 VD5026/VD5027

VD5026和VD5027是一种问世不久的CMOS低功耗专门用于遥控的编解码集成电路，目前被广泛采用于各类遥控装置中。其中VD5026是编码电路，VD5027是解码电路，它们的引脚排列图见附录5。VD5026各引脚意义及功能如下：

$A_1 \sim A_7$ ——7根编码线（或称地址线），每根线可以有4种状态：“1”、“0”、“开路”和第四态（记为TH）；

A_0 ——不作为地址线，而作为地址的第四态设置（例如要将地址线的 A_3 设置为第四态，那么就把 A_3 这根线接到 A_0 ）。设置为“1”时可接到电源正端，设置为“0”时接地，设置为“开路”时将其

悬空（即什么也不要接），如果不使用第四态则把 A_0 接地；

$D_0 \sim D_3$ ——数据线，需要送往解码电路的信息（“0”或“1”的状态）从这4根线加入；

OSC_1 、 OSC_2 ——振荡器外接电阻连接端，推荐电阻取值 $75 \sim 470k\Omega$ ；

U_{DD} ——电源正端， $2 \sim 6V$ ；

U_{SS} ——电源负端，接地；

DOUT——串行数据输出端，编码信息等由此端一位一位地依次串行送出；

\overline{TE} ——使能端，低电平有效。

VD5027 各脚意义及功能，除下述管脚外其余引脚功能与 VD5026 相同；

DIN——串行数据输入端，接收信号由此输入；

VT——“数据有效”信号输出端。

VD5026 通过对其地址线 $A_1 \sim A_7$ 分别置“1”、“0”、“开路”或“TH”态，可编出 $4^7 = 16\ 384$ 种地址编码。当“使能端 \overline{TE} ”为低电平时，地址编码信息以及数据线 $D_0 \sim D_3$ 上的信息等能从 DOUT 端串行输出，输出信号的格式是以脉冲的不同占空比来代表“1”和“0”的。将这一信号送入解码器 VD5027 的 DIN 端，若 VD5027 与 VD5026 的 $A_0 \sim A_7$ 的接法完全相同，则 VD5027 可正确解码，在 VT 端输出一个高电平（停止接收时回到低电平）。同时 VD5026 的 $D_0 \sim D_3$ 线上的状态出现在 VD5027 的 $D_0 \sim D_3$ 线上，犹如把 VD5026 的 $D_0 \sim D_3$ 状态“拷贝”到了 VD5027 的 $D_0 \sim D_3$ 上。在 VD5027 收到新的信息之前，该状态将一直保持下去，称之为“锁存”。

2. 发射电路

(1) 工作原理

发射电路如图 4-30 所示。约 40kHz 的载频振荡器由定时集成电路 555，电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 ，电容 C_1 、 C_2 等组成，振荡频率可由 R_1 、 R_2 或 C_1 调整。振荡信号从 555 的③脚输出，推动超声波发生器 ST 发射超声波。

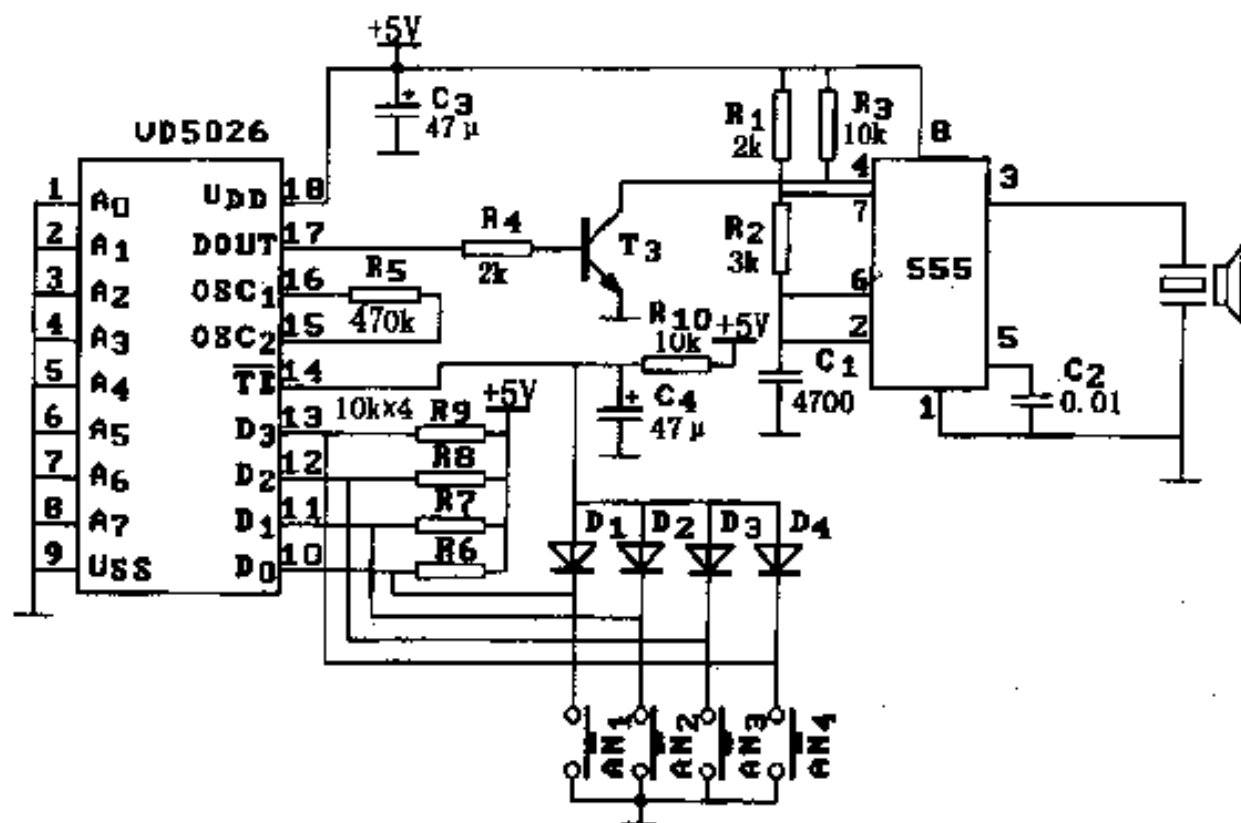


图 4-30 多路超声遥控发射电路

遥控命令编码电路由 VD5026 担任，其所有地址线均接地，数据线 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 各通过一个电阻接电源正极，同时又各连到一个按钮开关。为分析方便及清晰起见，现分解出其中的一路 (D_3) 重画于图 4-31 中。从该图可以清楚地看出，当按钮 AN_4 未被按下时，VD5026 数据线 D_3

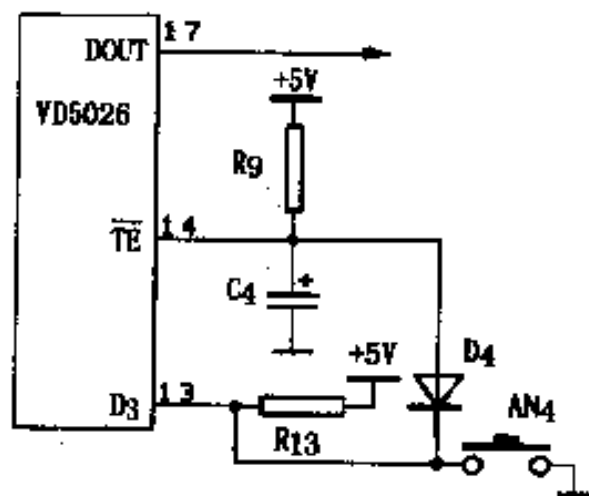


图 4-31 图 4-30 的一条支路

上为高电平，同时 $\overline{\text{TE}}$ 端也为高电平。当按下 AN_4 时，数据线 D_3 被置为低电平，并通过二极管 D_4 把 $\overline{\text{TE}}$ 端也拉为低电平。由 VD5026 特性知， $\overline{\text{TE}}$ 端为低电平，编码信号即从 DOUT 端输出。该编码信号中携带了“数据线 $\text{D}_3=0$ ”这一信息。当松开按钮 AN_4 时， D_3 线立即由电阻 R_{13} 拉向高电平，二极管 D_4 截止， $\overline{\text{TE}}$ 端因接有电容 C_4 ，不能立即回到高电平，需经过一定时间， C_4 才会被充电至高电平（电源 U_{DD} 通过电阻 R_9 对其充电）。在这一小段时间里， VD5026 继续输出编码，但此时编码中所包含的数据线 D_3 的信息不再是“ $\text{D}_3=0$ ”，而是“ $\text{D}_3=1$ ”。综上所述，可归纳成结论如下：每按动一次按钮 AN_4 （按住又松开），数据线 D_3 先低后高的两种信息就依次地从 DOUT 端输出。记住这一结论，以便于分析接收电路。其余3根数据线的情况与此同理，不再一一分析。二极管 $\text{D}_1\sim\text{D}_4$ 的作用一是起隔离作用，使某按钮按下时不会影响其他根数据线的电平情况；此外还有一个作用，以图4-31中的 AN_4 为例，当它从按住到松开时， VD5026 ⑬脚立即回到高电平，而⑭脚却需稍待片刻（因 C_4 的作用）才回到高电平，若没有二极管 D_4 ，那么⑬脚和⑭脚就连到了同一根线上，得不到上述的一前一后的变化效果。

VD5026 ⑰脚输出的编码经过三极管 T 倒相后去调制振荡器555。555的④脚是“直接置0”端，低电平有效，即该脚为低电平时振荡停止。其③脚输出为0、④脚为高电平时起振，③脚输出载频脉冲。 VD5026 的⑰脚特性是：无编码信号输出时为常高（即静态为高电平），为使在静态时555不工作， VD5026 输出端高电平经过三极管 T 倒相后加给555的④脚；另一个作用是使接收电路中解码器 VD5027 的输入信号能与该发射电路编码器 VD5026 的输出信号保持同相位关系。

(2) 主要元器件选取

ST——PKMJ-40S 或其他超声波发生器；

IC₁——VD5026，配合使用 DIP18 插座；

IC₂——NE555，配合使用 DIP8 插座；

D₁~D₄——2AP 型或 2AK 型锗二极管；

T——NPN 型小功率低频三极管 C9013 或其他型号；

AN₁~AN₄——微动按钮开关。

(3) 调试方法

①振荡器调试。先不要插上 VD5026，此时三极管 T 因基极开路而处于截止状态，其集电极（即 555 的④脚）电位约等于电源 U_{DD} 电压，555 应处于振荡状态，输出端③脚电压大致在 $1/2$ 电源电压以上。用一根硬导线将 555 的④脚对地短接，555 的③脚应约为 0V。若上述检测无误，可初步判断 555 已起振，仔细调整振荡频率（微调电阻 R_2 ），使振荡频率较准确地迎合超声波发生器的谐振频率，有条件的读者可以用示波器或频率计测量频率，否则只能使用前面已调试好的超声波接收装置来校对。另一种办法是用电流表串入 555 的电源供电回路中测量 555 的工作电流，调整电阻 R_2 使电流表指示最大。

②调制作用的检验。用一根硬导线，一端接电源正极，另一端去碰触 VD5026 管座的⑰脚（VD5026 未插上），同时用电压表监测 555 的③脚。当 VD5026⑰脚接向高电平时，555 的③脚输出约为 0V，否则输出约在 $1/2$ 电源电压以上。

③编码器 VD5026 及按钮功能的检验。插上 IC₁ VD5026，测量输出端⑰脚的电位，常态时⑰脚应为高电平。按下 AN₁~AN₄ 中的任一个按钮，这时 VD5026 的⑰脚电位应下降约 $1/3$ 左右，表明该脚有波形输出，有条件的读者可使用示波器观察该脚的波形。松开按钮，⑰脚电位应略微延迟片刻后回到高电平（此时波形消失），延迟时间至少在 0.2s 以上。若延时时间太短，应适当增大

VD5026⑭脚所接的电容 C_4 。依照此方法，逐个检验图 4-30 的 $AN_1 \sim AN_4$ 的功能。

3. 接收电路

(1) 工作原理

①接收头。超声波接收头如图 4-32 所示，超声波接收器 SR 收到发射器发出的经编码信号调制的超声波，转换成微弱的电压信号进入放大器 $\mu A741$ 放大，放大后输出的仍是编码信号调制的 40kHz 的载波，然后再进入锁相环电路 NE567 的③脚。当输入的信号频率落在锁相环电路的中心频率时，NE567 的⑧脚能立即变为低电平。锁相环电路的中心频率由 RW 和 C_4 共同确定，调整为符合所接收超声波的频率(约 40kHz)，这样 NE567 起了解调作用，从其⑧脚输出的波形与发射电路中编码器 VD5026⑰脚输出的波形相同。 $\mu A741$ 和 NE567 的引脚排列见附录 5。

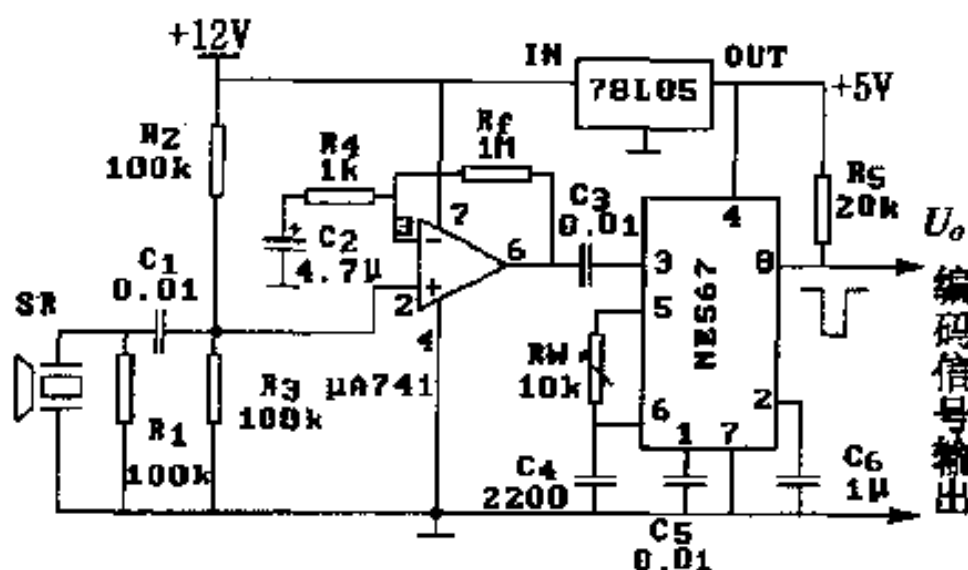


图 4-32 多路超声遥控接收头

②解码电路。遥控命令的解码工作由专用解码集成电路 VD5027 担任，解码器 5027 的地址设置 ($A_0 \sim A_7$ 接法) 与编码器 VD5026 完全相同，如图 4-33 所示。两者的振荡电阻(图 4-33 中 R_9)也相同，因此由接收头输出的编码信号送入解码器 VD5027 的⑭脚后，能被 VD5027 正确解码。解码后除了在 VT 端(⑰脚)出

现一个正脉冲外,编码器的 $D_0 \sim D_3$ 的状态还同时出现在解码器的 $D_0 \sim D_3$ 端并被锁存。让我们回顾一下本章稍前一些曾提请读者记住的一个结论——每按动一次按钮 AN_4 , 编码器数据线 D_3 先低后高两种状态这一信息就会依次先后从其 DOUT 端输出。现在, 解码器收到了这一信息, 其数据线 D_3 就会重现编码器数据线 D_3 的状态——先低后高, 该电平值由低到高的上跳变可用于触发记忆电路——D 触发器 F_4 。

③记忆电路。图 4-33 所示, 4 个 D 触发器 $F_1 \sim F_4$ 构成记忆电路, 它们是由两片 CMOS 双 D 集成电路 CD4013 组成的, 每片 CD4013 内部包含有 2 个独立的相同的 D 触发器, 引脚排列见附录 5, 各引脚功能如下:

RD——直接置“0”端, 高电平有效, 即该端施以高电平(包括悬空)时 $Q=1, \bar{Q}=1$, 而与 D 端及 CP 端状态无关;

SD——直接置“1”端, 高电平有效, 即该端施以高电平(包括悬空)时 $Q=1, \bar{Q}=0$, 与 D 端及 CP 端状态无关。RD 和 SD 不允许同时施以高电平;

D——控制端;

CP——时钟脉冲输入端或称触发端, 上跳沿有效, 当 $RD=SD=0$ 时, 该端施以一个电平上跳变信号(由低电平变为高电平的那一瞬间), 能使 $Q=D$ 。

图 4-33 中, 各 D 触发器的 D 端与 \bar{Q} 端相连, CP 端每触发一次(加给一个正跳变信号), Q 端的电平状态就变换一次, 称为翻转一次。由图知, $F_1 \sim F_4$ 分别接受 VD5027 的 $D_0 \sim D_3$ 的触发, 以 F_4 为例, 每按动一次发射电路中的按钮 AN_4 , VD5027 的 D_3 线的电平就会出现一次上跳变, 于是触发 F_4 翻转一次。 $F_1 \sim F_4$ 的 RD 端接一个电容到电源, 目的是开机上电时, 立刻给 RD 端加一个高电平使各触发器置“0”。稍后, 电容充满电, 各 RD 端恢复为低电

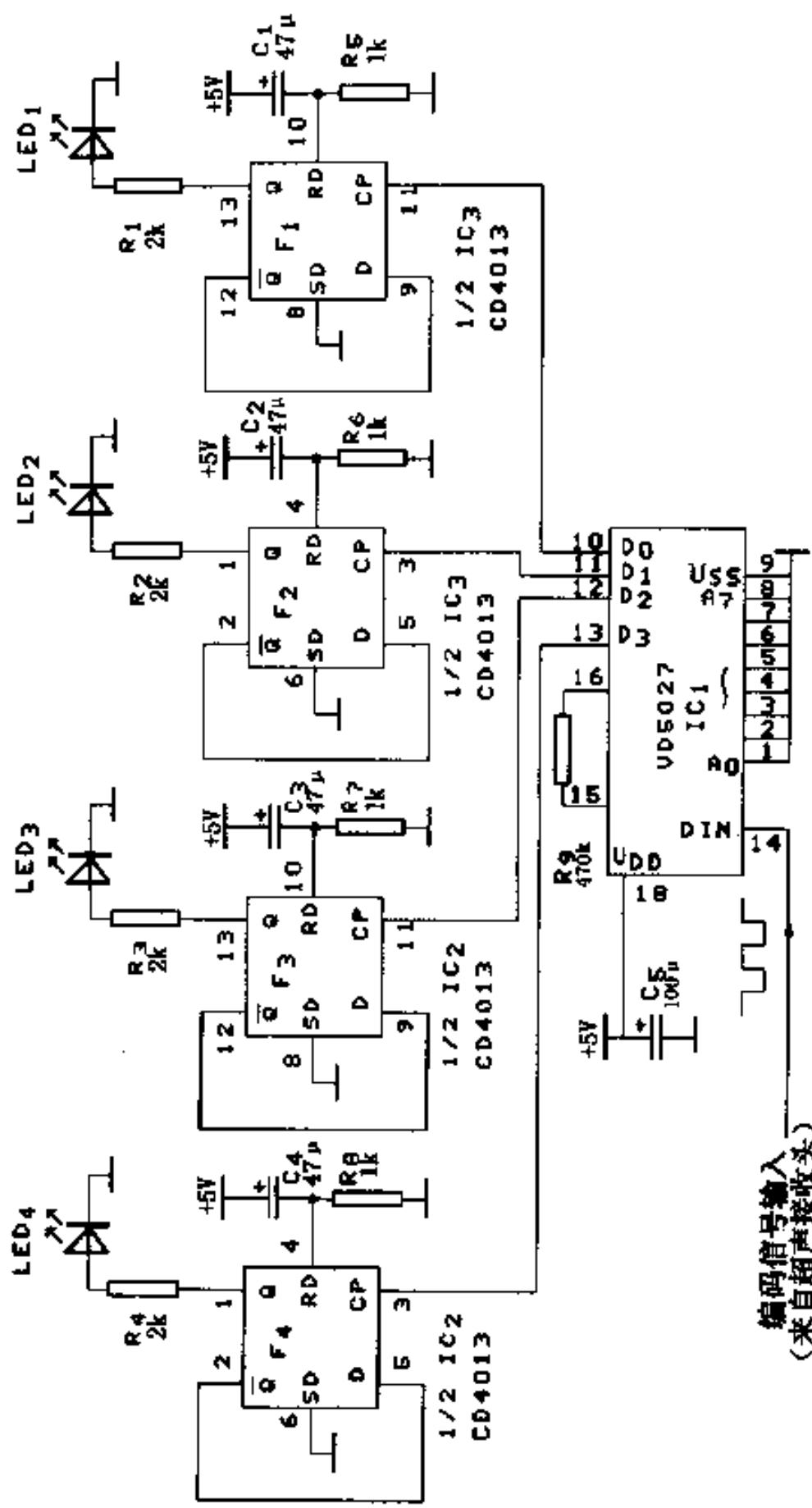


图 4 33 多路超声遥控记忆电路

平，使 D 触发器进入正常工作状态。

④受控对象。图 4-33 中，以 4 个 LED 指示灯模拟受控对象。以 LED₄ 为例，当 D 触发器 F₄ 的 Q 端为高电平时，LED₄ 被点亮，当 Q 端为低电平时 LED₄ 灭。因发射器的 AN₄ 每按动一次，该端即翻转一次，因而 AN₄ 能控制 LED₄ 的亮与灭。其余 3 个 LED 灯的受控原理和过程与之类同。实际应用中，F₁~F₄ 的 Q 端可用以控制其他的实际受控对象及执行机构，例如用于驱动一个 NPN 型三极管以控制一个继电器的吸合或释放，这样就形成了一个 4 路的遥控装置。

(2) 主要元器件选取

SR——PKMJ-40R 超声波接收器或与发射器相匹配的其他超声波接收器；

78L05——小功率三端稳压器。

各个集成电路均使 IC 插座以便于调试，其余元件参数见图标注。

(3) 基本调试方法

①记忆电路调试。先不插入 VD5027，接通电源，各个 LED 灯均不应点亮，如不能符合，应适当增大对应 D 触发器 RD 端所接的电容。然后取一根硬导线，一端插入 VD5027 的⑩脚 (D₃ 端)，另一端轮流地碰触一下电源和地 (碰触动作应干脆利落)，应能改变 LED₄ 的点亮或熄灭状态，这表明 D 触发器 F₄ 能够被触发翻转。类似地检查 F₁~F₃ 是否能够被触发翻转。

②解码器 VD5027 的调试。把发射电路中编码器 VD5026 的输出端⑰脚直接连接到解码器 VD5027 的输入端⑭脚 (该脚与接收头 NE567 的⑧脚连线应脱开，或不插入 NE567)，两个电路的地线相连，按动 AN₄，VD5027 的 D₃ 线电平值应有从低到高跳变一次的过程。在此过程之先，可能有先从高变到低的一次下跳变过程，可不必介意，只要含有一次正跳变即可，这时应看到 LED₄

灯的亮灭状态改变一次。类似地按动 $AN_1 \sim AN_3$, $LED_1 \sim LED_3$ 应有与 LED_4 相同的变化情况。

③接收头的调试。发射电路中拔去编码器 VD5026, 接通电源。这时 555 总处于振荡状态, 超声波发射器发出连续的约 40kHz 的超声波, 把图 4-32 的接收头移近发射器 (大致 1m 左右), 并将超声波发射器的发射方向对准接收器的接收方向。仔细调整锁相环 NE567 的识别频率 (调 RW), 直到输出端⑧脚出现低电平为止, 停止发射器工作 (或用手遮住发射器 ST 或接收器 SR), NE567 的⑧脚应立即回到高电平。

④总调试。插好所有的集成电路, 把图 4-32 的接收头输出端接入图 4-33 中 VD5027 的输入端⑭脚, 两电路地线相连。用图 4-30 的发射器上的按钮 $AN_1 \sim AN_4$ 来操纵接收器上的 $LED_1 \sim LED_4$, 并逐渐拉大收、发两个装置的距离, 直至操纵失灵。改变接收电路中的放大器 $\mu A741$ 的放大倍数能改变接收距离, 其放大倍数约等于 $(1 + R_f/R_4)$, 最后应细调发射器的振荡频率以及锁相环的中心频率使收、发距离最远, 此过程应反复进行若干次。

使用编解码技术的超声波遥控装置除了可实现多路遥控之外, 另一个显著优点是抗干扰能力很强。在可靠性要求较高的场合应该采用这种方案。

第五章 射频遥控原理与实验

射频遥控是使用无线电射频为载体来载送遥控命令信息。所谓射频，就是具有较强辐射能力的无线电频率，一般在几百 kHz 以上，通常也称为“高频”。使用无线电射频传送遥控命令与红外或超声遥控有所不同，后二者遥控距离较近，而且具有方向性，特别是红外线的方向性强，不能跨越墙壁的阻挡，因此只能在小范围内、同一个房间内实现遥控操作，多用于家用电器的遥控。而射频遥控距离远，根据发射功率不同，可以到达几十米到几十千米以外甚至更远。无线电射频可以向四周辐射，难以被墙壁等遮挡物遮挡，因此容易引起互相干扰。为避免互相干扰引起误操作，也为避免其他众多的各种无线电发射设备所发射的无线电波对遥控装置干扰，实用中的射频遥控装置都必须采用编码技术。当然，作为初学者的一种学习步骤暂时可以不求实用，则也可以只采用无编码的简单发射接收电路来实现一些简单的遥控制作练习。此外，射频遥控发射装置所发射的无线电射频也会对其他设备诸如收音机、电视机等等无线电设备造成干扰，因此无线电管理委员会专门划拨出一些频率供业余无线电使用，读者在业余制作时要严格控制在国家规定的业余频段上，以免影响广播、通讯等部门的工作。常用的业余频段有：27MHz 频段，频率范围 27~38MHz；40MHz 频段，频率范围 40~48.5MHz；72MHz 频段，频率范围 72.55~74.5MHz；150MHz 频段，频率范围 150.05~167MHz 等等。对于业余制作，因缺乏设备条件，频率高时制作调试困难，因此一般采用较低频率，例如 27MHz 频段。

一、射频遥控命令的发送

(一) 发送装置的要求

红外遥控和超声遥控中,使用约 38kHz 的载波来传送遥控命令,要求载波频率具有一定的稳定性,偏离接收装置的选频频带较多时,将使遥控失灵。与此相类似,射频遥控中发射机的载频频率要求具有较高的稳定性,这一要求大大超过前面两者,其原因大致有二:

①如前所述,空中充满了各种各样的无线电信号,因此各种无线电接收机的接收频带不能设计得太宽,否则易受相邻频道信号的干扰,这与红外或超声遥控仅限定在局部范围的封闭型收、发有很大区别。

②射频遥控操纵距离大,因此常用于遥控某些移动型设备,例如常见的遥控航模等。一旦遥控失灵,这类移动设备的运动轨迹就无法操纵,将导致设备的碰撞损坏。因此射频遥控对无线电载频频率有较苛刻的要求,另外对发射机的发射功率也有要求;发射功率不足时上述的移动型受控设备就容易脱离控制范围。同时由于无线电信号的传播受周围地理环境等影响较大,因此要求要有一定的功率余量,但功率过大又会造成浪费,并使电路复杂,故必须合理设计。通常遥控发射机是便携式的,重量和体积均有所限制,电池的容量也是有限的,因此提高频率,减少直流功耗,也是对发射电路的主要要求。

(二) 发送装置的一般组成

图 5-1 是常用的射频遥控发射电路的组成方框图,由主振电

路、中间放大、射频功放输出、编码、调制等部分组成。主振电路是一个高频正弦振荡器，

用来生成载波信号。中间放大是对载波进行放大，然后去推动高频功率放大器。中间放大不一定就是一级，根据对发射功率的要求不同，

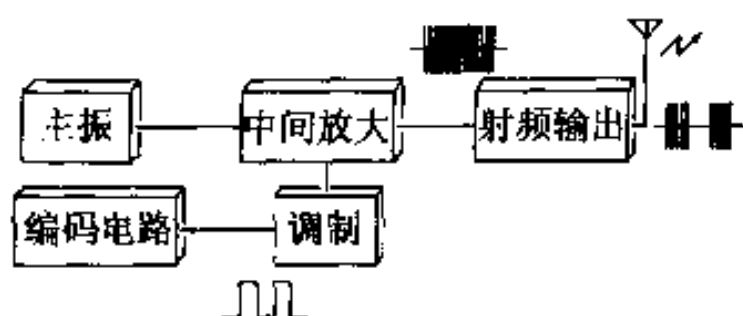


图 5-1 射频遥控发射电路框图

中间级可以由一级以上的电路组成。我们把高频功放输出与主振级之间的电路统称为中间级。功放输出是对载波信号进行功率放大，并用 LC 槽路滤除谐波成分，尽量保持载波信号为完美的正弦波送到天线发射。注意这与红外遥控或超声遥控不同，在红外或超声遥控中不要求载波信号为正弦波，特别是红外遥控恰恰相反，它希望以脉冲红外载波发射，以获取较大的发射光功率。调制电路是把编码信号调制到高频载波上去，以便传输多种遥控命令信息内容，根据调制方法不同，可以在中间级、主振级或功放输出级实现。

用于不同目的遥控装置的发射电路的组成也有所不同。例如控制一个小玩具或家用电器，距离仅十几米左右，发射功率 10~20mW 就够了，没有必要使用中间级以及功放级；而控制一个活动半径为 300~500m 的航模，发射功率在 100mW 左右，发射电路一般需要主振和功放。总之，发射电路的具体组成要视具体需求而定。

（三）主振电路

主振电路用以生成载波信号，红外和超声遥控中采用多谐振荡器，而这里必须采用正弦波振荡器。正弦波振荡器由放大电路、正反馈电路、选频电路三部分组成。高频振荡器必须用 LC 回路为

选频元件,但 LC 正弦振荡器稳定性不能满足要求,使用石英晶体稳频,稳定度容易做到 10^{-5} 以上,而且不易受人体感应及分布电容等影响,因此在实用射频遥控装置中必须使用晶体振荡器。

1. 晶体

石英晶体的外形如图 5-2 示,内部晶片用 2 根引脚引出,外部以金属壳体密封。晶片本身有一固有的机械振荡频率,它与晶片的几何尺寸有关,当外加高频电压的频率与晶片的固有频率接近或相等时,流过晶片的电流骤增,出现谐振现象,这种谐振特性曲线非常尖锐,稳定振荡器的频率就是利用这一特性。

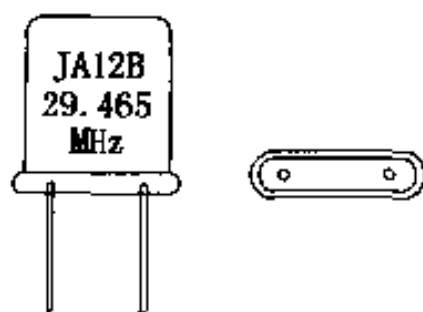


图 5-2 石英晶体外形

晶体分为基频晶体和泛音晶体,基频晶体的频率是晶片的基频,一般不高于 25MHz;而泛音晶体的振动频率是晶片振动频率的谐波,可在 25MHz 以上。一般射频遥控装置的主振级大都使用泛音晶体,使用泛音晶体的振荡器都需要另加 LC 选频电路,其作用是抑制基频和谐波成分。

石英晶体的等效电路及阻抗特性如图 5-3 示。图中 L_g 是晶体的等效电感, R_g 是等效串联电阻, C_g 是等效动态电容。从图中可以看出晶体具有两个谐振频率:当 L_g 、 C_g 、 R_g 支路谐振时是串联谐振,等效电路的阻抗最小;

$$f_{\text{串}} \approx 1 / (2\pi \sqrt{L_g C_g})$$

如果把 C_0 也考虑进去,就是一个并联谐振电路,

$$f_{\text{并}} \approx 1 / [2\pi \sqrt{L_g \cdot C_0 \cdot C_g / (C_0 + C_g)}]$$

因为 $C_0 \gg C_g$,所以 $f_{\text{串}}$ 非常接近 $f_{\text{并}}$ 。晶体外壳上标注的频率既不是 $f_{\text{串}}$ 也不是 $f_{\text{并}}$,而是在外接规定电容时测定的频率,数值

在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间。对频率精度要求不是十分高的场合，一般就把标称频率认为是振荡器的工作频率。

从图 5-3 还可以看出，当频率在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间时，晶体等效阻抗为感性，也就是在此范围内晶体可等效为一个电感，在低于 $f_{串}$ 以及高于 $f_{并}$ 的两个区域，晶体呈容性，相当于一个电容，在发射电路的主振级里，晶体大多应用于感性区。

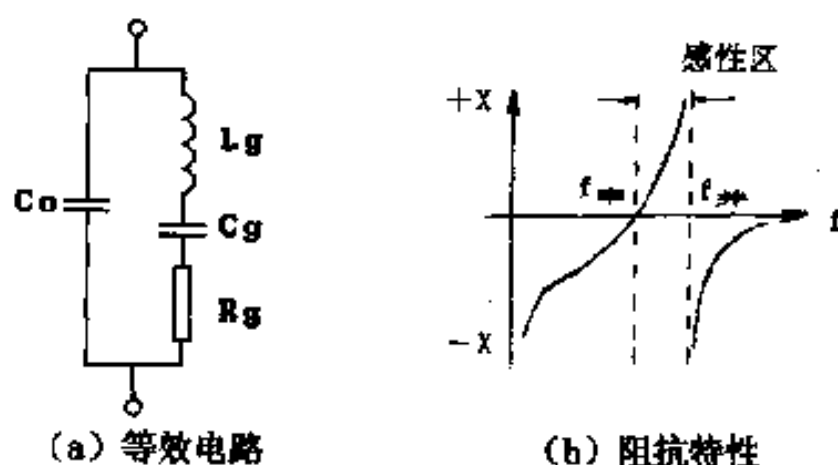


图 5-3 晶体的等效电路及阻抗特性

2. 晶体振荡器的工作原理

(1) 电容三点式振荡器

图 5-4 是工作在 27MHz 频段的振荡电路，输出功率可达 20mW 左右。 R_1 、 R_2 分别为上下偏置电阻，与 R_3 共同确定三极管的工作点； C_3 、 C_4 为旁路电容；晶体的作用相当于一个电感；将 L_1 、 C_1 并联谐振回路调整为谐振频率略低于晶体频率，呈容性，相当于一个电容的作用。因此该电路简化的交流等效图可以表示为图 5-5 所示，其中 C_2 等效于 L_1 、 C_1 回路， C_2' 是 C_2 及三极管结电容等的综合组成， L_j 等效于晶体。由图 5-5 知，该电路是一个电容三点式振荡器，反馈电压取自于 C_2' 。

L_1 、 C_1 的调谐状态对电路工作状态影响很大，当 L_1 、 C_1 调谐为谐振频率略高于晶体频率时，呈感性，电路不能振荡。逐渐增大 L_1 ，使其谐振频率略低于晶体频率，此时呈容性，相当于 C_2 ，电

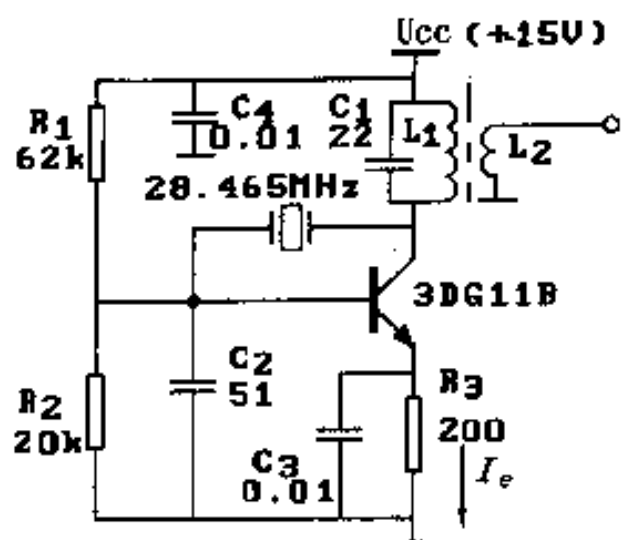


图 5-4 晶体电容三点式振荡器

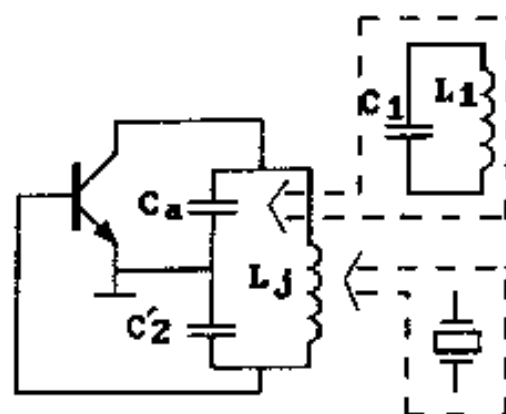


图 5-5 等效电路

路起振。继续增大 L_1 ，三极管的发射极电流 I_e 会有一个下降至最小值的状态，此时振荡最强，输出功率最大。再继续增大 L_1 ，振荡强度又逐渐减弱，直至停振。可见 L_1 、 C_1 回路主要决定振荡强度，而与振荡频率无关。

L_1 、 L_2 为在 $\varnothing 5\text{mm}$ 带磁心骨架上分别平绕 12 匝和 3 匝制成，线径 $\varnothing 0.12\text{mm}$ 。 L_2 绕在 L_1 外层。

(2) 电感三点式振荡器

图 5-6 是一种电感三点式晶体稳频振荡器 (27MHz 频段)，与前一个电路相比，其输出功率较大，但频率稳定度稍差。该电路不但可做主振级，而且可作为简单发射机中的高频输出电路。图中 R_1 、 R_2 分别为上下偏电阻，与 R_3 共同确定工作点； C_1 、 C_2 、 C_3 组成电容分压电路，用以调整谐振强度； L_1 是高频扼流圈；该电路中晶体相当于电感 L_j ； L_2 、 C_4 回路谐振频率调整为略高于晶体，相当于电感 L_a 。电路简化的交流通路可等效于图 5-7，是一个电感三点式振荡器，其中 C_{bc} 是三极管基极-集电极之间的结电容及分布电容。

L_1 为在 $\varnothing 6\text{mm}$ 骨架上，用 $\varnothing 0.5\text{mm}$ 漆包线绕 23 匝而成。 L_2

为在 $\varnothing 8\text{mm}$ 带磁心骨架上，用 $\varnothing 0.5\text{mm}$ 漆包线绕15匝而成。 L_3 为在 L_2 外层上用同样漆包线绕4匝而成。

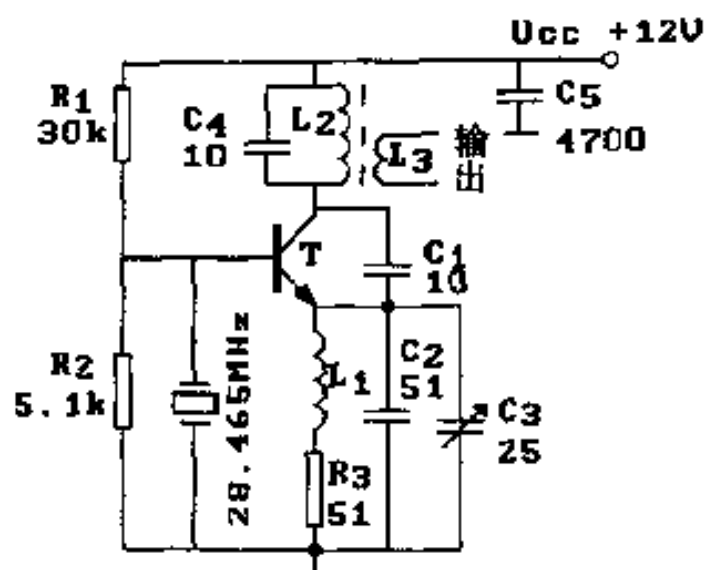


图 5-6 晶体电感三点式振荡器

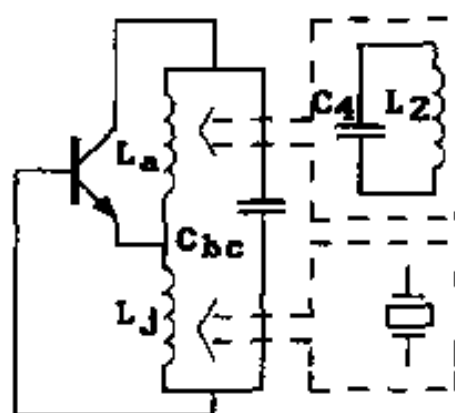


图 5-7 等效电路

3. 主振电路的调试方法

(1) 基本工具

除万用表以外，场强计和无感螺丝刀是调试主振级的基本工具。有条件的读者，使用示波器、频率计、高频功率计或高频电压表等仪器来调试，可以得到较满意的效果，但对于业余读者，一般均不可能有这种条件。一种简单有效的方法是自制一个场强计来测量高频辐射场强。在调整高频电路中的电感线圈磁心时，均不能使用普通的金属螺丝刀，必须用有机玻璃制作专用无感螺丝刀，或用环氧树脂板（印刷电路板剥去铜皮即可）锯成一条形制成。

简易自制场强计可按照图 5-8 的电路制作，(a)图工作于 27MHz 频段，L 为在 $\varnothing 18\text{mm}$ 空心骨架上用 $\varnothing 1\text{mm}$ 漆包线间绕 8 匝而成。(b)图工作于 150MHz 频，L 为在 $\varnothing 10\text{mm}$ 空心骨架上用 $\varnothing 1\text{mm}$ 镀银线间绕 (2+1) 匝而成。其他频段需要根据具体要求调整 LC 参数。但不管是哪一种，在实际制作后都要以实际调整为

准。如有高频信号发生器，用高频信号发生器发射相应的等幅波，自制场强计接收，调整 LC 参数，直至自制场强计表针摆幅最大；若无高频信号发生器，也需要用已知的其他高频发射装置（如已经制作成功的振荡电路等）来校准。

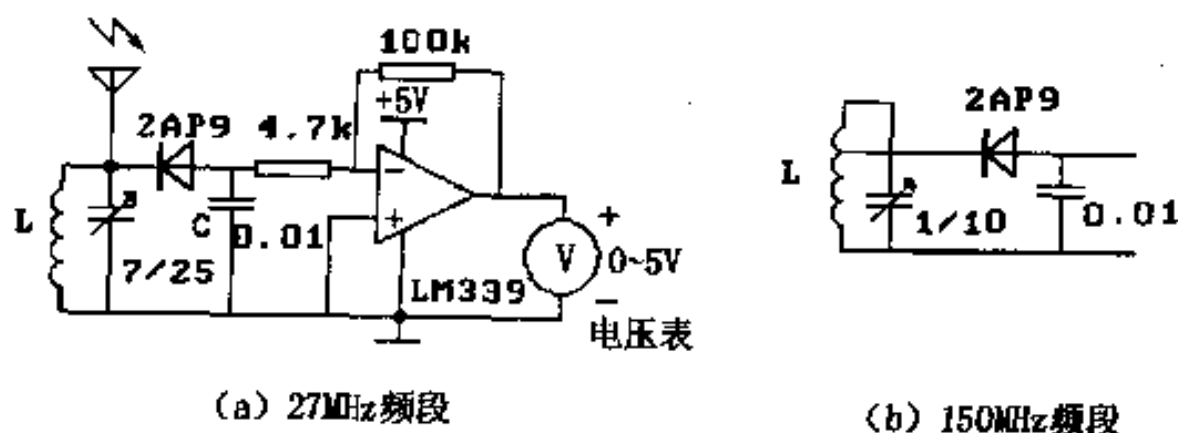


图 5-8 自制场强计

(2) 调试方法和步骤

对于晶体稳频的主振电路，因振荡频率取决于晶体，因此调试的主要目的是使其输出功率较大，波形尽量接近正弦波，工作稳定。一般步骤如下：

①静态工作点的初步调整。初步调整 $I_e \approx 10\text{mA}$ ，用万用表测量发射极电位 U_e ， $U_e \approx I_e \times R_e$ 。以图 5-4 为例，已知 $R_e = 200\Omega$ ，故 U_e 应为 2V 左右，把谐振回路 L_1 两端短接，调整上偏电阻 R_1 ，使 $U_e \approx 2\text{V}$ 。

②是否起振的判别与调整。去除 L_1 两端的短路线，若万用表的指示有所减小（即 I_e 减小），或用场强计（场强计接收频率已调准在相应频率）靠近 L_1 时表针有偏摆，表明振荡器已起振。否则振荡器没有起振，应调整 L_1 的磁心以改变 L_1 、 C_1 的谐振频率，直至起振。若 L_1 的调整量有限，则应先粗调 C_1 （更换）再细调 L_1 ，电容 C_2 的改变也会影响振荡， C_2 值减小会使分压所得反馈量增

大，有利于振荡，但反馈量太大又会使波形失真度增大。

③振荡强度的调整。在输出端 L_2 上接一个 75Ω 电阻作为假负载，调整 L_1 磁心使万用表指示最小，或场强计指示最大（场强计的指示若超过 $3V$ ，应拉大场强计的距离）。这时的磁心位置是振荡最强的位置，但这会使工作欠稳定，需把磁心再往电感量增大的方向拧半周。反馈电容 C_2 的取值一般在几微法至几十微法之间，可在这个范围内调整容量使振荡最强。 R_1 的调整也会影响振荡强度，在满足振荡强度需求的前提下， R_1 偏大些有利于稳定性及波形的失真度，但在业余条件下，难以测量振荡输出功率及波形失真情况，只能凭经验或用已知的振荡器作比较，当然这种方法是比较粗糙的。该电路正常工作时 I_e 推荐调整为 $6mA$ ，相当于 $U_e=1.2V$ 。

调整 R_1 时，振荡强弱的变化情况不能以万用表对 U_e 的绝对指示值来判断（振荡最强时， I_e 下降为最低，即 U_e 为最低值），因为 R_1 本身对 I_e 有影响，应比较在振荡和不振荡两种情况下 U_e 的变化量来比较振荡强弱，这在实际操作中不那么方便，还是以场强计的指示来判别为佳。

若使用高频小功率计来测量振荡器输出功率，把功率计的输入线接至 L_2 线圈，此时不应接 75Ω 假负载。而用示波器等仪器测量时要接假负载。

调整结束应反复通断电源几次，看电路工作有无变化，如有变化，说明电路工作尚欠稳定，应继续适量调整。

4. 参考电路

(1) 40MHz 频段振荡器

图 5-9 是工作于 $40MHz$ 频段的一个参考振荡电路。为了得到较高的发射频率，发射电路的主振级常常采用倍频振荡器，它们的输出载频是晶体频率的整倍数，常用的有 2 倍频和 3 倍频。该

电路是 2 倍频振荡器，使用 22MHz 晶体，由 C_5 输出的载频为 44MHz。电路中 L_1 为在 $\varnothing 8\text{mm}$ 带磁心骨架上用 $\varnothing 0.21\text{mm}$ 漆包线密绕 (4+3) 匝而成。 R_1 、 R_2 分别为上下偏置电阻，与发射极电阻 R_3 共同确定三极管的工作点。本电路推荐工作点为 $I_c \approx 5\text{mA}$ (正常振荡时)，可以将电流表串入电源回路测量 (把电流表串接在图中打有“X”处)。 C_4 是退耦旁路电容， C_5 是输出耦合电容， L_1 、 C_1 并联谐振回路的谐振频率调整为晶振的 2 倍 (44MHz)，因此对基波 (22MHz) 来说是严重失谐的，其等效阻抗极小，可近似看为短路。

晶体相当于电感 L_j ， C_2 、 C_3 是振荡谐振回路的谐振电容也是分压电容。对于振荡而言，根据以上分析可以得到图 5-10 的简化的等效电路，其中 C_2' 是 C_2 和三极管 BE 结电容及分布电容的综合，其两端的电压就是正反馈电压，可见这是一个电容三点式振荡器。

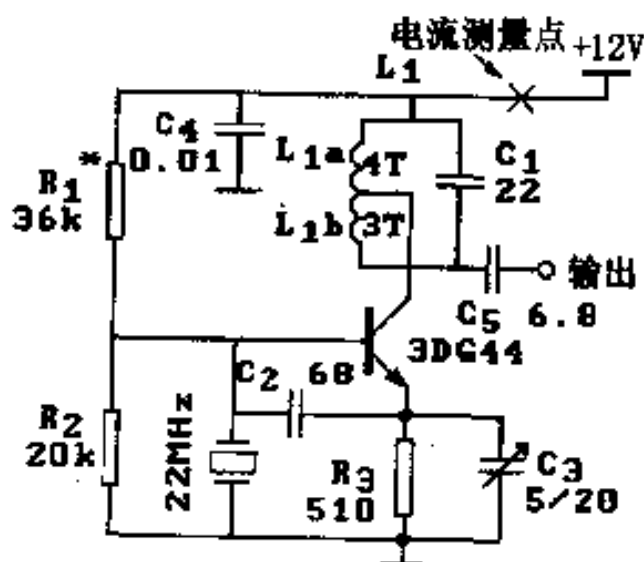


图 5-9 44MHz 振荡器

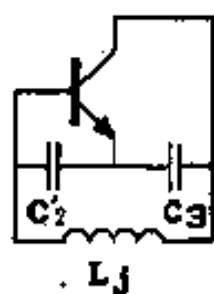


图 5-10 等效电路

接在集电极的 L_1 、 C_1 谐振回路由于尖锐地谐振于 44MHz，有较好的选频作用，因此它滤除了 22MHz 基波及其他谐波，保留 2 倍频信号为最大并由 C_5 耦合输出。此类倍频振荡器要求倍频谐振

LC回路具有比较高的 Q 值(Q 值越高,选频作用越好),为此线圈 L_1 留有抽头,把三极管集电极接到抽头上,如图5-9所示。若把 L_1 记作 L_{1a} 和 L_{1b} 两部分, $L_{1a} : L_{1b}$ 的比值越小,则回路 Q 值越高,反之则 Q 值越小。

(2) 150MHz 频段振荡器

图5-11是150MHz的振荡电路。该电路与前一个电路具有相同的结构,也是电容三点式振荡器,其工作原理及各元件作用也与之相同,但线圈 L_1 不能带有磁心,用 $\varnothing 0.6\text{mm}$ 漆包线绕成(2+2)匝的空心线圈而成,线圈直径为 $\varnothing 6\text{mm}$ 。该电路振荡时的工作电流推荐为3.5mA左右,可使用万用表串入电源回路测量(图中打“X”记号处),注意该图及图5-9电路不应在发射极上测量射极电位来换算 I_e ,因为万用表及引线的分布电容将破坏振荡器原来的工作状态。

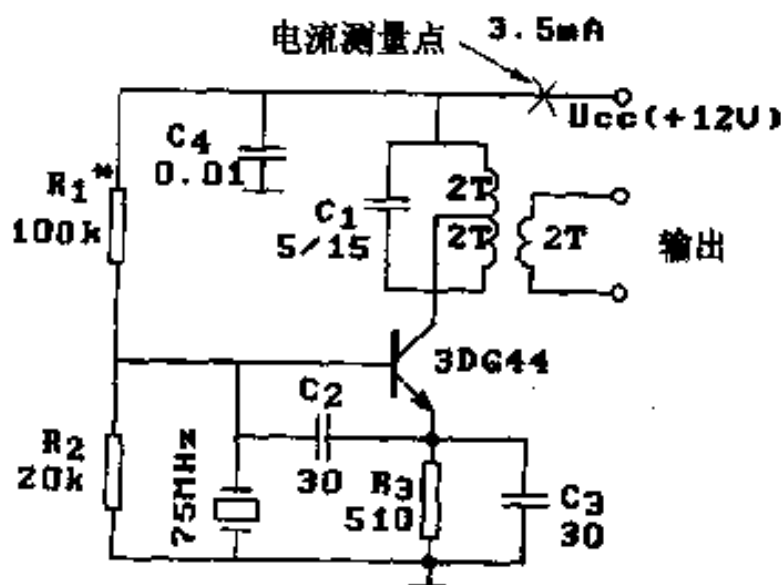


图5-11 150MHz 振荡器

(四) 高频功率放大电路

由主振级输出的高频载波功率很小,一般均不能满足遥控距离的要求,需要进行功率放大后从天线送出,才能发射较远的距

高。高频功率放大器的工作原理及调试方法与低频功率放大器差异较大，如果设计、调试不当，会使工作效率很低，难以输出有效功率，甚至完全不能工作并可能烧坏功率输出三极管。

1. 高频功率放大器的工作原理

(1) 放大器的工作状态

我们比较熟悉的音响电路的低频功率放大器一般工作于甲类（早期应用电路）和乙类（实际是甲乙类）状态，而高频功率放大器工作于丙类状态。

图 5-12 画出三极管的 3 种工作状态图。它是在纵坐标为 i_c 、横坐标为 u_{BE} 的坐标平面上所画的 i_c-u_{BE} 曲线，称为三极管的转移特性曲线。在这条曲线上画出 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 三个工作点，分别为甲类、乙类、丙类三种工作状态。另一个坐标系 $u_i-\omega t$ 中的三条正弦曲线 a、b、c 表示放大器在三种不同情况下的输入信号 u_i 。有 u_i 输入时， u_{BE} 值将跟随 u_i 或大或小变化。当工作于甲类状态时， u_{BE} 是

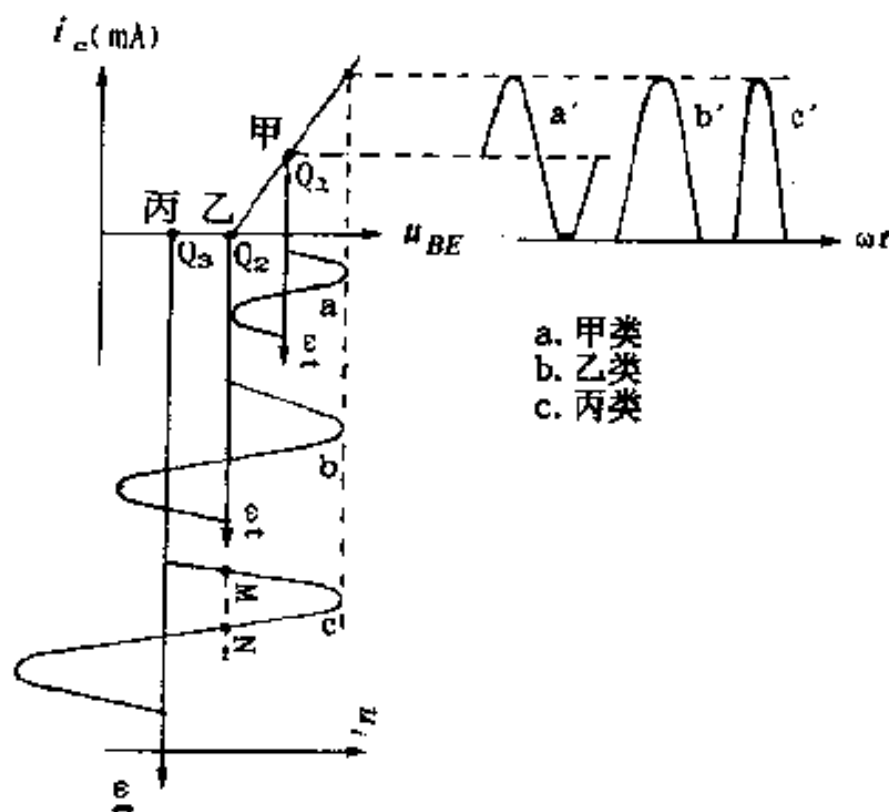


图 5-12 放大器的三种工作状态

在 Q_1 (Q_1 所对应的横坐标) 的基础上随输入波形 a 变大或变小的, 因此 Q_1 所对应的纵坐标 i_c 也在 Q_1 的基础上变大或变小, 于是得出了在 $i_c-\omega t$ 坐标系中的正弦曲线 a' (集电极电流波形)。同理工作于点 Q_2 时, 若输入波形为 b , 可得到输出波形 b' ; 当工作于点 Q_3 时, 若输入波形为 c , 可得到输出波形 c' 。这 3 组曲线的根本区别在于: 工作点为 Q_1 时, 输入信号的一个周期内三极管都会导通, 得到完整的正弦 a' ; 而工作点为 Q_2 时, 只有在输入信号的正半周三极管才会导通, 负半周三极管截止 (Q_2 点的左边三极管截止, 右边导通), 所以得到的输出波形 b' 只有半周; 而当工作点为 Q_3 时, 只有当输入信号正半周中高于 M (N) 点以上时三极管才会导通, 因此得到的输出波形 c' 小于半周。从 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 三点的设置状态特点来看, Q_1 是在转移特性直线部分的中部, Q_2 是在截止点 (NPN 三极管的截止电压约为 $0.6V$), Q_3 在截止点以下 (小于 $0.6V$), 这三种状态的特点分别用甲、乙、丙类来区别。

上述三种工作状态, 甲类效率低, 波形好; 乙类效率较高, 但波形有失真; 丙类效率最高, 但失真也最严重。

(2) 高频功率放大器的结构和原理

图 5-13 是一个实用的高频功率放大电路, 功放管 3DA21 的基极通过线圈 L_1 的次级接地, 发射极也接地, 所以功放管为零偏压。一般硅管的截止电压约为 $0.6V$, 该管的偏压低于 $0.6V$, 所以是丙类放大器。电容 C_1 是退耦旁路电容。 L_2 及 C_2 、 C_3 组成并联谐振回路, 谐振频率调在

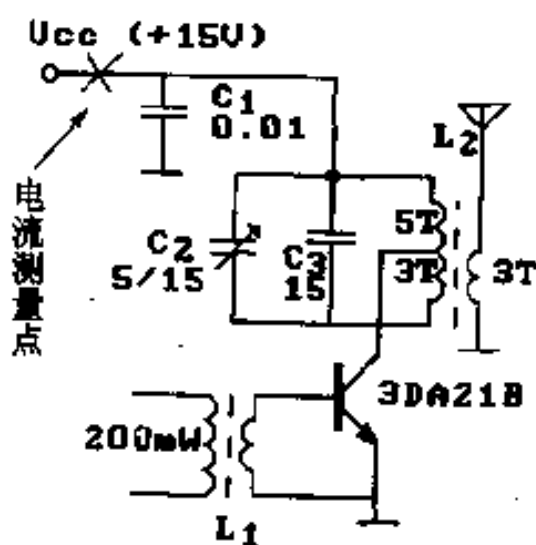


图 5-13 27MHz 高频功率放大器

27MHz, 其设计 Q 值较高, 有较好的选频作用。虽然功放管集电

极的电流如图 5-12 中的 c' 所示是脉冲形状，但在谐振回路中的环流（实际上是 L、C 两种储能元件能量相互传递的过程）却与集电极电流不同。由于 LC 回路的谐振作用，把谐波成分都滤除掉了，在 LC 并联电路两端所得到的是完好的被放大的正弦电压波形，从 L_2 次级得到亦是完好的正弦波。综上所述，功放管虽然工作于丙类状态，但其以 LC 回路为集电极负载，属“调谐放大器”，依然能对单一频率（或窄频带）的高频信号实现有效放大，并且有较高效率。发射电路的中间级，尤其是输出级，一般都采用丙类放大器。此外，丙类调谐放大器适于放大等幅信号，在一般的射频遥控装置中，以幅度键控的调制方式使用得很普遍，所放大的是断续的等幅载频信号，因此大多采用丙类放大器。为了使效率进一步提高，有时还给放大器加上负偏压，常用的负偏压电路如图 5-14 所示，图中 C_b 、 C_e 为旁路电容，这是一种自给负偏压电路。(a) 图中，利用基极电流 i_b 的直流分量在 R_b 上所产生的压降为负偏压；(b) 图是利用发射极电流 i_e 的直流分量在 R_e 上的压降为负偏压。它们都是在有输入信号时才能产生，并不由另外的负电源供给，故称自给负偏压。(a)、(b) 两图中，(a) 图使用得较多，因为功放管发射极直接接地更有利于工作稳定性。

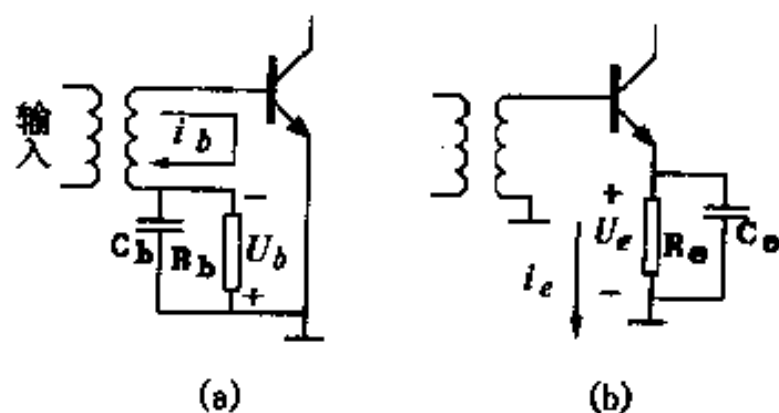


图 5-14 自给负偏压电路

2. 高频功率放大器的调试

使放大器在效率较高的状态下输出尽量大的功率，是高频功放级调试的目的。业余条件下因缺乏必要的仪表，无法观察输出波形、输出功率等参数，以及在高频电路中各种参数的离散性，使调试工作难度加大，但高频功放级的调试情况却对整个发射电路的工作效率、输出功率有着至关重要的影响，调试不当时甚至会使用功放管迅速发热而被烧毁（高频功放管一般较贵）。业余初学者必须具备足够的耐心，反复调整取得经验，方可取得较好的调试效果。

(1) 调试原理

高频功放级调试的主要内容包括“调谐”和“调整”两个内容。“调谐”指的是使 LC 回路对工作频率发生谐振，回路呈纯电阻性，主要是通过调节谐振电容或电感来达到。对于频率较低（例如 27MHz 频段）的高频功放电路，谐振回路的电感常带有可调高频磁心，可以比较方便地调节其电感量达到谐振；对于频率较高的高频电路，谐振电感通常制成空心线圈，甚至连骨架也不使用；需要通过调节匝数或匝间距离来改变电感量，因而给调试工作又增加了难度。

当 LC 回路调谐准确后，虽然它已呈纯电阻性，但要使输出功率最大，必须使该谐振电阻等于晶体管的输出电阻，称为“阻抗匹配”，“调整”就是指为使“阻抗匹配”所进行的工作。

为了能正确进行“调谐”和“调整”，判别“调谐”和“调整”的状态，必须了解高频功放的调谐特性和负载特性。

调谐特性是指在调谐 LC 回路的过程中，三极管集电极电流（均指直流分量） I_{c0} 、发射极电流 I_{e0} 、基极电流 I_{b0} 以及输入功率 P_i 、输出功率 P_o 、集电极耗散功率 P_c 等的变化规律。图 5-15 (a) 所示曲线，是在调节谐振回路的谐振电容过程中各个电流的变化情

况, C_0 表示处于谐振状态时的电容值。可以看出, 在谐振点上, 基极电流 I_{b0} 最大, 集电极电流 I_{c0} 和发射极电流 I_{e0} 均处于最小值 (不过 I_{e0} 变化没有 I_{c0} 明显)。图 5-15

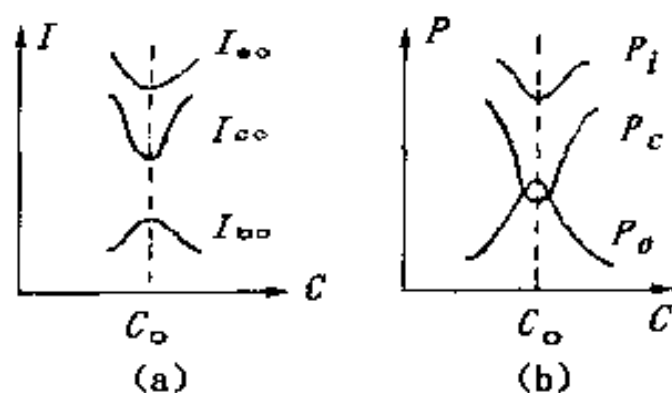


图 5-15 调谐特性

(b) 表示了调谐过程中功率变化的情况, 在谐振点上, 输出

功率 P_o 达到最大, 直流输入功率 P_i 最小, 集电极损耗功率 $P_c = P_i - P_o$ 也最小。因此根据电流和功率的变化情况就可以判断放大器是否已经调谐了。

负载特性说明放大器的电流、电压、功率及效率伴随负载变化的情况, 如图 5-16 所示。图中 R_L 表示谐振回路的等效负载电阻, 应包含谐振线圈次级所接的负载 (天线等) 折算到初级的等效电阻, R_{LCr} 称为临界电阻。当 $R_L = R_{LCr}$ 时, 集电极的电流 (瞬时值) 的最大值会刚好使三极管进入饱和区边缘, 这是放大器最好的工作状态, 称为临界状态。临界状态的左边称为欠压区, 右边称为过压区。图 5-16 (a) 中, U_L 表示谐振回路两端的电压, I_{c0} 表示集电极电流的直流分量, I_{c1} 表示基波分量 (也就是谐振电流)。由图可以看出, I_{c0} 和 I_{c1} 曲线的特点是在欠压区较为平坦, 具有恒流特性, 而到了过压区则迅速下降; U_L 曲线的特点是在欠压区上升较快, 到了过压区则较为平坦, 具有恒压特性。图 5-16 (b) 所示是 3 条功率曲线和 1 条效率曲线, P_i 表示输入直流功率 (即电源消耗的功率), P_o 表示放大器输出功率, P_c 表示集电结损耗功率, η 表示效率。由图可以看出, 在临界状态 ($R_L = R_{LCr}$ 时), 效率接近最高, 输出功率 P_o 最大, 管耗 P_c 和直流输入功率都较小。为了能在较高的效率下输出最大功率, 输出级应调整在这种

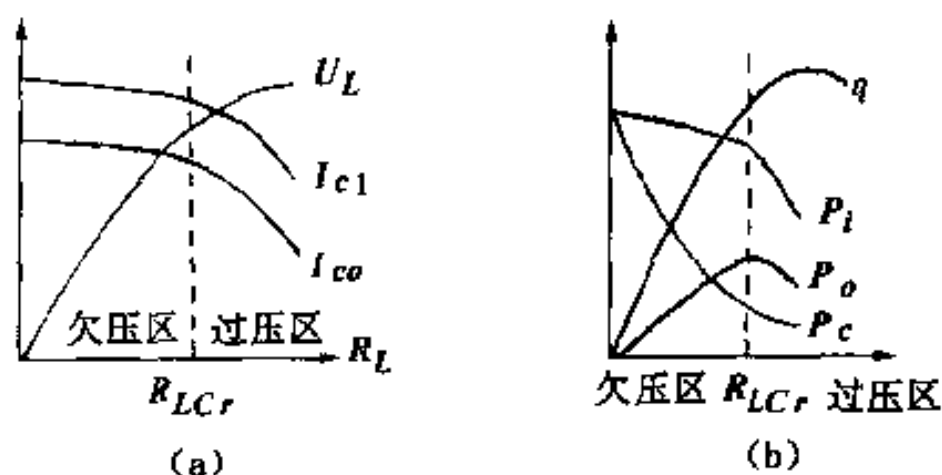


图 5-16 负载特性

状态——临界状态；而中间级调整在过压状态，因其具有恒压特性，以便向后级提供较稳定的电压。

(2) 调试方法

根据以上调试原理分析可知，通过测量高频电压、集电极电流、发射功率可以判断高频功放的调试效果。

下面介绍一种较为实用的调试方法（以图 5-13 为例）：

①在电源回路中串入一个电流表， L_2 次级接上一个 50Ω 、 $2\sim 3W$ 的电阻，把场强计放置在靠近 L_2 的位置，如有高频电压表，把高频电压表接在 L_2 的次级。

②把电源电压降低约 $1/3$ ，这样功放管较安全。另外先减小 L_2 初级与次级的耦合，具体办法是将次级和初级的相对距离拉大（制作线圈时应使 L_2 次级可以在骨架上移动），这样会使功放工作在过压状态，管子功耗 P_c 较小， I_{c0} 变化也较明显，便于调谐。

送入激励信号（图 5-13，由 L_1 输入），调节微调电容 C_2 ，使电流表读数最小，同时场强计或高频电压表指示出现峰点， C_2 的这个位置即为谐振点。

③恢复电源为正常值，逐渐加大 L_2 初级与次级的耦合程度（把 L_2 的次级与初级逐渐靠拢），这时等效 R_L 减小，放大器从过

压状态向临界状态过渡，电流表、场强计、高频毫伏表（如果有的话）的指示均增大，场强计或高频电压表指示出现最大的那点，即是临界状态，也就是放大器工作最好的状态。如果这时继续加大耦合，电流表指示会继续增大，但输出功率却减小，因此场强计或高频电压表指示反而减小。

3. 寄生振荡及消除方法

当放大器或振荡器出现工作信号以外的频率成分时，就有了寄生振荡。寄生振荡是发射电路常见的毛病，轻则使输出波形发生畸变、功率下降、效率变低，重则会使放大器变成振荡器，甚至会使管子损坏，而且这一过程往往很快，以至来不及切断电源。有没有发生寄生振荡，需要使用示波器观察波形来判断。如果波形边缘轮廓不清楚，有毛刺、镶边等现象，即表明有寄生振荡存在。另外在调试过程中，若发现 I_{c0} 或场强计变化规律反常，出现电流或场强的跳变，往往是寄生振荡的反映。一般情况下，放大器若发生寄生振荡，在去除输入信号时仍会有输出，但有时候却只有当输入信号激励下才产生寄生振荡，无输入信号激励却不产生寄生振荡。寄生振荡产生的原因很多，如输入、输出回路之间的耦合，多级放大器的级间反馈、公共电源内阻构成的耦合、电路分布参数（分布电容、电感等）以及晶体管的极间电容引起的振荡等等。寄生振荡的频率也有各种各样，在高频发射电路中，常见的是与工作频率相近的寄生振荡。

消除寄生振荡大致从电路结构和组装工艺两个方面入手。从电路方面，可以采取以下的措施：

①输出级的增益不宜过大，有多级放大时采用倍频电路。

②引入适量的负反馈和防振电阻。如图 5-17 所示，在基极或发射极串入一个小电阻，可以有效防止寄生振荡，但它们的接入会使增益下降，应控制其阻值，特别是发射极电阻 R_e 。对放大倍数

影响很严重，因此只在不得已的时候才使用。

③各级供电均加入退耦电路，如图 5-18 所示，以防止各级通过共电源的内阻引入正反馈。特别是使用电池供电时，使用一段时间后电源内阻增大，容易引起寄生振荡。图中 L 是高频扼流圈，工作于 27MHz 频段时推荐使用的电感量大于 $30\mu\text{H}$ ；工作于 150MHz 时推荐使用的电感量大于 $10\mu\text{H}$ ；电容 C 可取 $0.01\sim 0.17\mu\text{F}$ 左右。

组装工艺方面，见本章后述“(七)元件的选择与制作工艺”。

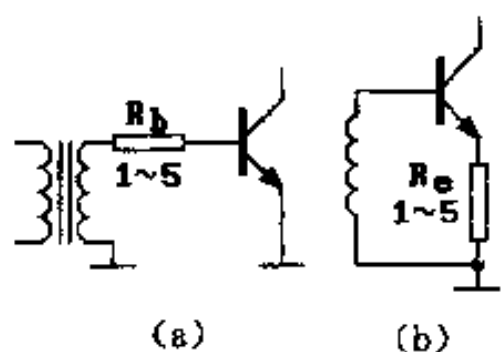


图 5-17 防振电阻和负反馈电阻

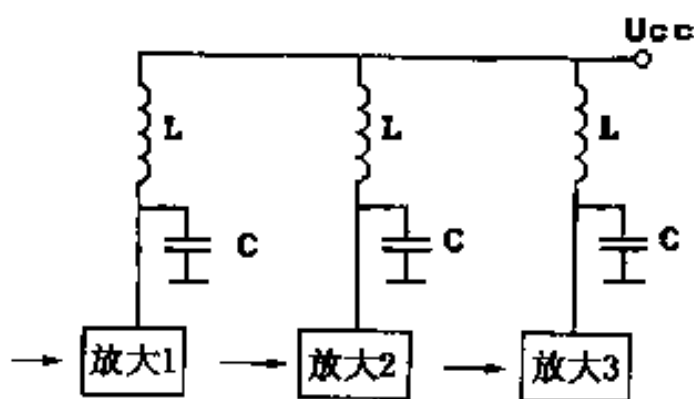


图 5-18 电源退耦电路

4. 实用电路举例

(1) 27MHz 频段射频放大电路

图 5-19 是一个实用的 27MHz 频段射频功放电路。推动级（激励级）由 3DA18 等组成，管子工作于丙类共发射极组态。 L_1 、 R_1 、 C_3 组成了自给负偏压电路， L_2 的初级与 C_2 构成谐振回路，谐振于工作频率。从本振电路来的载频信号经 C_1 输入，从 L_2 的次级输出去推动输出级 3AA7。输出级 3AA7 是 PNP 管，根据 PNP 管的工作条件，将 3AA7 的集电极接地，该管的外壳就是集电极，所以管子可直接固定在散热片或金属机壳上，而其发射极经过线圈 L_3 接到电源正极。该管也工作于丙类状态，但为零偏压。输出级的谐振回路由 L_3 、 C_5 、 C_6 组成，对信号而言，是接在 3AA7 的集电

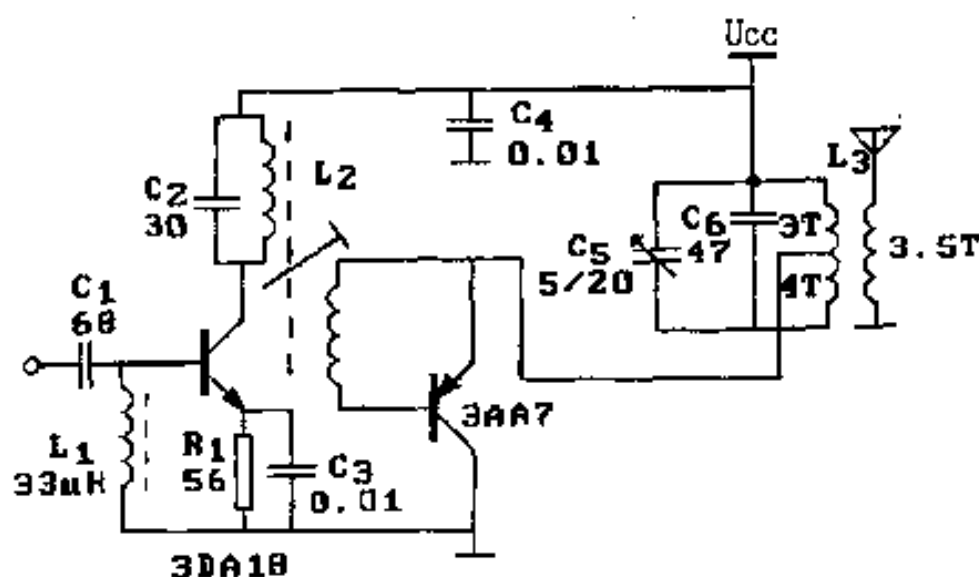


图 5-19 27MHz 频段射频放大电路

极与发射极之间。通过调节微调电容 C_5 使回路谐振于工作频率，发射信号经 L_3 次级耦合到天线，电容 C_4 是电源退耦电容。该电路正常工作电流约 200mA 左右，当输入 20mW 功率时，输出功率可达到 1W 左右。 L_2 为在 $\varnothing 8\text{mm}$ 带磁心骨架上用 $\varnothing 1\text{mm}$ 漆包线初级绕 14 匝、次级绕 4 匝而成； L_3 为在 $\varnothing 18\text{mm}$ 空心骨架上用 $\varnothing 1.5\text{mm}$ 漆包线初级绕 7 匝、次级绕 3.5 匝而成。

(2) 150MHz 频段射频放大电路

图 5-20 是 150MHz 频段射频放大电路的一个例子。两级均工作于丙类共发射极组态，级间耦合用电容分压实现。 C_3 与 C_4 串联后，与 L_2 构成并联谐振回路，谐振于工作频率。而 C_3 又与 C_1 构成分压电路，从 C_4 上取出部分电压送往后级，该级的谐振频率通过微调电容 C_3 调节。输出级并联谐振回路由 L_5 、 C_9 、 C_{10} 构成，通过微调电容 C_{10} 来调节谐振频率。 C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_8 均为高频退耦电容。其中 C_7 与 C_8 并联， C_8 容量较小，有利于改善高频旁路效果。 L_6 、 L_7 均为高频扼流圈，可阻止高频信号流经电源内阻，起到退耦合作用。 L_2 、 L_5 为在 $\varnothing 6\text{mm}$ 骨架上用 $\varnothing 1\text{mm}$ 镀银线绕 3 匝而成； L_4 为在 $\varnothing 6\text{mm}$ 空心骨架上用 $\varnothing 0.6\text{mm}$ 镀银线绕 3 匝而成。

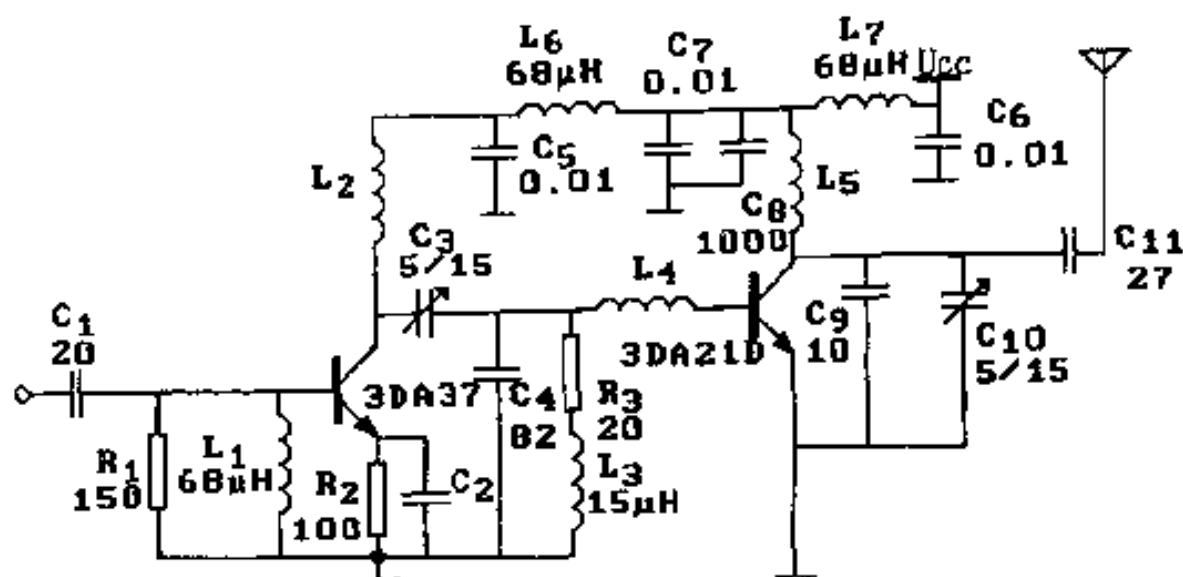


图 5-20 150MHz 频段射频放大电路

(五) 鞭状天线

天线是发射电路的很重要的一个组成部分，它是功率放大输出级的负载，功放级输出的载频信号必须经由天线形成电磁波向空中辐射出去。天线设置正确与否，将直接关系到功放电路的工作状态和输出功率，因此对遥控距离具有举足轻重的影响。

天线的种类很多，遥控设备中广泛使用的是鞭状天线。一根长度合适的铝管和铜管就可以成为鞭状天线。为了安装和使用方便，一般都采用可伸缩的拉杆天线（与通常所见的收音机拉杆天线相同）。但拉杆天线长久使用，经多次伸缩后，故障率较高，为提高可靠性，在比较讲究的场合，多采用导电橡胶鞭状天线。对于业余制作者，有时用多匝环天线（用直径 $\varnothing 1\text{mm}$ 以上的漆包线间绕成空心线圈）。下面介绍应用较多的鞭状天线的基本原理和调试方法。

1. 基本原理

鞭状天线的等效图可用图 5-21 表示。由等效图可以看出，天

线实际上是 LC 回路。与一般的 LC 回路不同的是，天线的电感与电容是分布在天线的各个部分，而一般的 LC 回路电感和电容都是集中的，因此也把天线称为开路的 LC 回路。当高频电压接入天线后，天线内即有高频

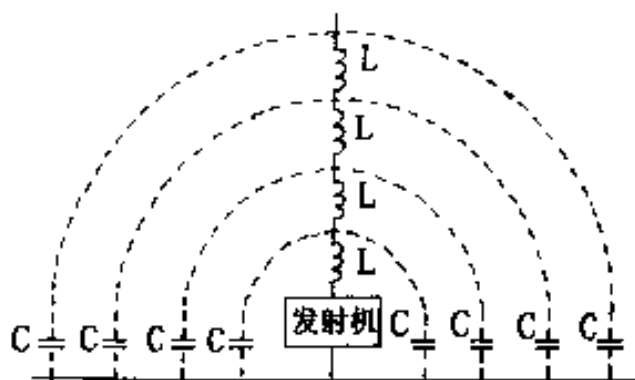


图 5-21 鞭状天线等效图

电流流过，在天线的周围就会产生交变的电场与磁场，由于天线是开路的 LC 回路，使电磁场的变化暴露在空间，电场与磁场的交替变化就会由近而远地向外传播，形成电磁波。

与一般的 LC 谐振回路一样，天线也有它的自然谐振频率。鞭状天线的谐振频率波长 λ_0 等于 4 倍的天线长度 L ，即 $\lambda_0 = 4L$ 。实际使用时，天线长度必须等于发射频率波长的 $1/4$ ，才能从输出级得到最大的功率，同时也起到较好的滤波作用。

$$\lambda = v/f = 3 \times 10^8 / f$$

式中， λ 为波长； v 为波速，电磁波波速为 30 万千米/秒； f 为频率。对于 27MHz 的发射电路， $\lambda = 11.1\text{m}$ ，故天线长度 $L = \lambda/4 \approx 2.8\text{m}$ 。这样长的天线在使用中是很不方便的，因此采用加感的办法，即在天线中串入一段电感，称为加感天线，加感后的天线在维持谐振频率不变的情况下能使天线长度缩短。加感的部位有两种，一种是加在天线的底部，另一种是加在天线的中部。加在中部在制作上有一定困难，但发射效率较底部加感要高；而底部加感则制作容易，只要把电感线圈安装在印刷电路板上即可，因此在很多小型遥控中常采用这种办法。

鞭状天线在天线指向的方向上是电磁波辐射的“盲区”，使用时不应将天线指向受控目标。

2. 调试方法

为了使天线能从输出级取得最大的功率，同时具有较好的滤波效果，必须对天线进行调试。调试工作与功放输出级相类似，分为“调谐”和“调整”。“调谐”是使天线回路谐振在发射频率上，其手段是调节天线的长度或加感线圈来达到目的。“调整”指调节输出级 LC 回路与天线回路的耦合程度，使天线的等效谐振电阻与输出级的临界负载电阻 R_{LCr} 相匹配。

鞭状天线对周围环境的变化很敏感，例如操纵者手持发射机的姿态不同、发射机距地面的高度不同、天线邻近物体的不同（例如有人或没人）等等，都将引起天线等效阻抗的变化，从而引起天线回路的失谐，使发射功率降低。因此调试天线时，最好尽量接近使用环境，以求得接近实际的效果。调试时，至少应监测两个指标以观察调试效果，如图

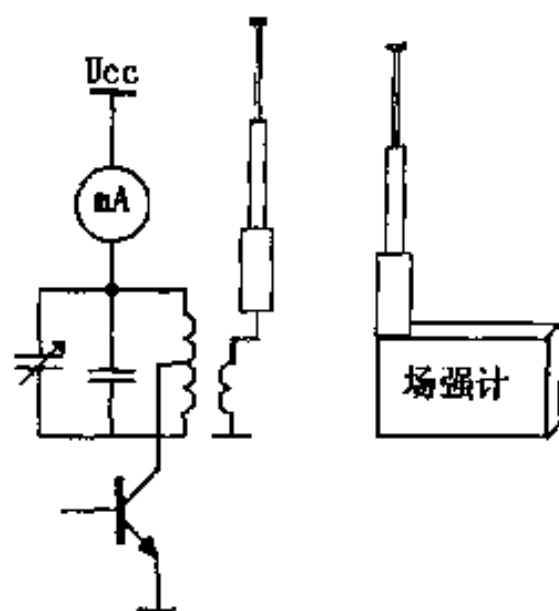


图 5-22 天线调试

5-22 示，其一是在电源回路中串入一个电流表用以观察发射管的集电极电流，其二是在天线附近放置一个场强计用以观察发射的强度（只能作相对比较）。具体调试步骤如下：

(1) 先减小天线与输出级 LC 回路的耦合，具体办法是（图 5-22）把 LC 回路的初级与次级距离拉大。

(2) 调天线的长度（若有加感则把天线拉出最长，调电感），观察场强计及电流表指示的变化。随着天线的谐振，电流表指示应增大，场强计指示出现峰点，这时即认为天线长度（或加感线圈的电感量）已合适。

(3) 加大天线与功放级输出 LC 回路的耦合 (将 LC 回路的初次级距离移近), 随着耦合的逐渐加大, 功放级从过压状态移向临界状态, 电流表及场强计指示再度增大, 直至场强计指示出现峰点。这时若再继续加大耦合, 辐射功率将减小, 场强计指示不增反减。

加感天线在接入电路调试前, 如有条件的话可先用扫频仪进行初步调试, 如图 5-23 所示。扫频仪的输出信号经过一个 100Ω 左右的电阻接到天线底部, 扫频仪的 Y 轴输入端经过检波探头也接到天线底部, 根据扫频仪的频标指示, 粗调电感的电感量, 使天线谐振于发射机工作频率。从扫频仪的显示屏上观察, 曲线凹陷最深的地方就是天线谐振的频率。

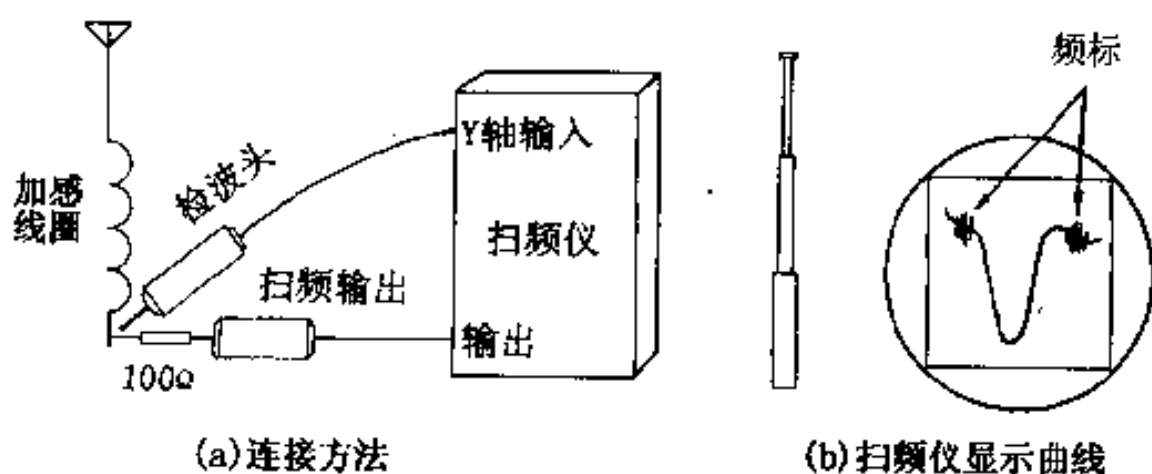


图 5-23 加感线圈调试

(六) 调制电路

1. “幅度键控”调制原理

我们已经知道, 遥控命令可以由音频信号或数字脉冲信号来组成, 要用射频传送方式把这些遥控命令传送到受控端, 需以无线电射频为载体, 把由音频或数字脉冲信号所组成的遥控命令信号调制在载体上才能传送出去。音频信号的调制电路比较复杂, 因

为有失真问题，所以在设计、制作工艺、调试各方面都比较讲究，但现代遥控一般使用数字脉冲信号来组成遥控命令，常用的一种很简单的调制电路称为“幅度键控”调制方式。这种调制方式的最终效果体现为高频载波等幅信号的“有”或“无”。例如在调制信号的高电平期间（由“0”、“1”组合而成的遥控命令为“1”的期间），发射电路有高频载波发出，所发出的载波每周期幅度相等，称为等幅波；而在调制信号为低电平期间，则没有高频载波发出。能达到上述目标的一种简单做法是使用开关管对发射电路的供电回路实行开关控制，可以只对发射电路中的功放输出级实行控制或只对本振级实行控制，控制信号即为调制信号，取自于组成遥控命令的数字编码脉冲信号。

进行“幅度键控”调制后的波形如图 5-24 所示。载波是正弦波，已调波是具有对称正负半周的双向（双极性）波形。

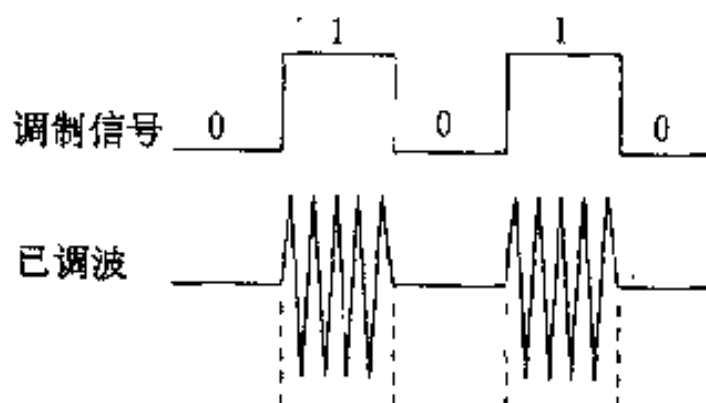


图 5-24 “幅度键控”调制波形示意图

2. “幅度键控”调制实用电路举例

图 5-25 和图 5-26 是两个“幅度键控”调制的实用电路，使用开关晶体三极管来控制发射输出级的电源通断，达到键控调制目的，也可以用于控制本振电源达到同样的目的。图 5-25 中，开关管使用 NPN 管，在输入调制信号为高电平期间，三极管 T_1 有足够的基极电流因而饱和，其集电极电位 U_{C1} 拉低至约 0.3V，使 T_2

没有基极电流,于是 T_2 截止不能向其发射电路 (T_3 等组成) 供电,发射电路不能发射载波。在输入调制信号为低电平期间, T_1 截止, T_2 通过电阻 R_3 得到足够的基极电流, T_2 导通, $+15V$ 电源就通过 T_2 向发射电路供电,于是发射电路发射载波。高频功放输出级的输入、输出载波波形如图 5-25 所示,输出波形 (L_2 次级) 的包迹前沿有圆弧角,与调制信号边沿相比较有失真,但因接收电路中有放大整形电路,因此发射波形的这种略微圆弧失真并无大碍。

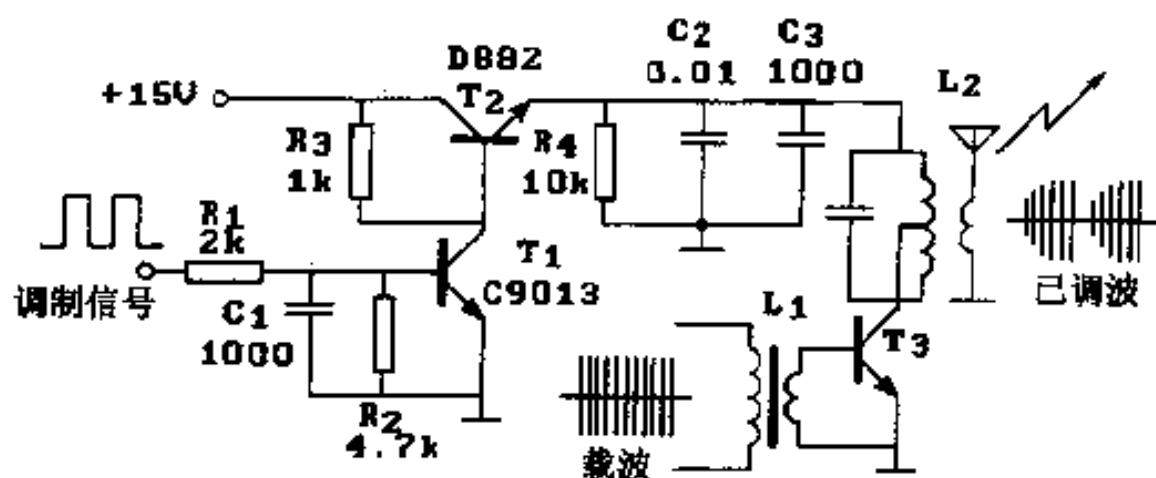


图 5-25 调制电路之一

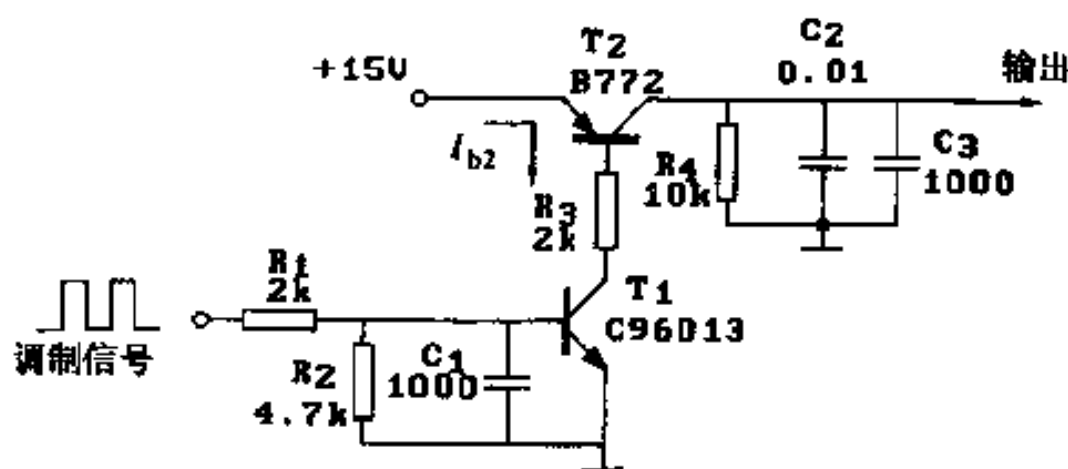


图 5-26 调制电路之二

图 5-25 中的 T_2 实际上是一个射极跟随电路,其发射极电位 (即输出的电压) 总比基极电位低约 $0.6V$,而基极最高电位为 $15V$,所以发射极电位至多为 $14.4V$,这不利于发射电路功率的发挥。同时由于 T_2 集-射结间的压降较大 (约 $0.6\sim 0.7V$),使无谓

的管耗化作热量，一方面造成浪费，另一方面又增加了管子 T_2 的负担，因此具有一定的不足之处。

此外应当注意的是，该电路是在调制信号的高电平期间不发射高频载波，而在低电平期间发射载波，具有倒相作用，因此所送入的调制信号应注意其极性的匹配。

图 5-26 使用 PNP 型三极管作为开关管，当输入调制信号为低电平时， T_1 截止； T_2 的基极没有通路，所以无基极电流，因此 T_2 也截止，发射电路不发射载波。而当输入调制信号为高电平时， T_1 导通， T_2 基极电流 I_{b2} 经过 R_3 、 T_1 流向地，使 T_1 饱和导通，+15V 电源通过 T_2 送给发射电路，于是发射电路就发射出载波。该电路 T_2 饱和时管压降约 0.3V，比前一个电路小，因而管耗减少。另外该电路不发射时 T_1 是截止的，不消耗电源能量，而前一个电路不发射时 T_1 必须是导通的，有电流流过 R_3 ，消耗了电源能量，这是所不希望的。

以上两个电路中 C_1 、 C_2 、 C_3 均是旁路电容，为高频信号提供旁路作用。

(七) 元件的选择与制作工艺

对高频电路的元件选择及制作工艺的要求比较苛刻，这与数字电路截然不同，如果元件选择不当或加工工艺不妥当，会给调试带来很大困难，甚至使电路无法工作。

1. 元件选择要点

①晶体三极管。对晶体管的最主要的要求是频率特性要好，一般要求特征频率 $f_T > (3 \sim 10)$ 倍的工作频率，特别是功放输出级的晶体管 f_T 要高，饱和压降 U_{ce} 要小。对于放大倍数，振荡管的放大倍数取 60~80 为宜，而功率放大管放大倍数不宜大，大约 $\beta = 20$ 就可以了。集电极耗散功率 P_{cm} 要求大于 2 倍的发射功率以

上。要特别强调功放输出管的性能，若其性能欠佳就不能发出所要求的功率，市场上有许多种类的专用发射管可供选择，在商家所提供的资料中有特别说明，选用时应根据说明选择。

②电感。调谐回路的电感一般都要自制，最好使用镀银线或多股漆包线绕制，这样会使 LC 回路的 Q 值较高。一般本振级和中间级的 LC 谐振回路可用带有磁心的骨架绕制（可使用电视机里的线圈骨架），而输出级以空心线圈为好。使用的骨架应采用高频塑料、有机玻璃或陶瓷材料制成，决不允许使用纸质骨架。有使用磁心的地方也应使用高频磁心，对于 72MHz 频段以上的发射电路，不能使用带磁心的骨架来制作 LC 回路。

③高频扼流圈。高频扼流圈的作用是阻碍高频信号的通过，可以根据电感量的要求购买相应电感量的成品固定电感，也可以自绕。高扼圈不要求高 Q 值，Q 值高有可能引起寄生振荡，有时为了降低 Q 值，还特地用一个 $500\Omega \sim 1k\Omega$ 左右的电阻与之并联。因此自行绕制时也可以用一个 $500\Omega \sim 1k\Omega$ 左右的电阻作为骨架绕制，两端线头就直接焊接在电阻的引脚上即可。

④电容。电容有两类。一类是旁路电容、耦合电容，对这类电容没有特别的要求，可采用普通电容，例如瓷介电容、独石电容、涤纶电容等。另一类是谐振电容，其质量对 LC 回路性能有重要影响，应选用容量稳定、损耗少的电容，例如云母电容、高频瓷片电容或半可调陶瓷电容等。

⑤印刷电路板。印刷电路板必须采用环氧树脂板。

2. 装置工艺要点

对发射机高频部分的电路组装工艺要求十分讲究，组装不好有可能产生难以排除的寄生振荡，导致电路效率低、功率发不出，常常不得不拆掉重新安装，因此务必给予足够的重视。

①元件排列必须以走线短为最高原则，这与数字电路、低频

电路有很大不同，决不要为了追求美观、整齐而使走线弯来弯去，有使用软导线连接的地方更不能把连线绞合、扎在一起。

②每一级的元件排列一般是围绕晶体管周围安排元件，先安排大元件，小元件安置在大元件周围，振荡线圈和输出线圈靠近晶体管集电极一侧。

③各级元件的排列，要按电路前后的顺序，尽量减少前后级之间的耦合。

④接地点的设计非常重要，每一级元件接地点最好能集中在一个公共点，至少也要十分靠近。

⑤印刷板上的地线应尽量加粗，以减少地线电阻。

⑥有个别元件、个别引线需要使用附加导线连接时，应采用多股软线，以增大导线的总表面积，不宜使用单股硬线（低频部分，例如调制电路、电源电路等没有要求）。

⑦元件插入印刷板，要尽可能往下插，使留在元件上的引脚尽量短；元件焊接完毕，多余的引脚要尽量贴近电路板剪去，不要留下长长的毛刺。

⑧各级输入输出线圈摆放位置宜成垂直排列，忌平行放置，但若有屏蔽罩则无此要求。

⑨用金属屏蔽罩把高频各级隔离开，如图 5-27 所示，图中虚线为金属屏蔽罩，金属屏蔽罩放于晶体管的基极与集电极之间，把本级的输入与输出隔开，同时也把各级之间隔离开，屏蔽罩要接地。

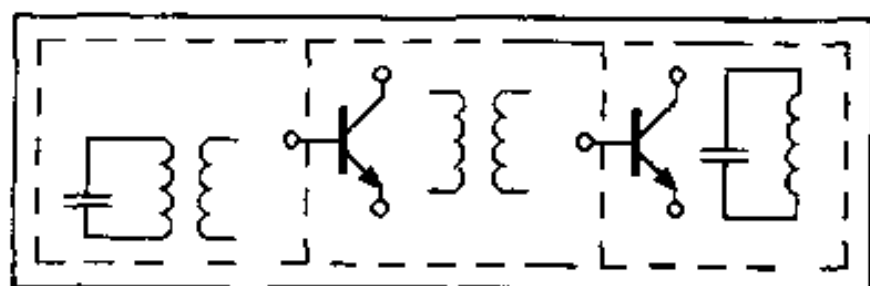


图 5-27 高频电路的屏蔽

二、射频遥控命令的接收

射频遥控接收装置的作用和任务，简单地说就是要将接收天线所感应到的微弱的载波信号放大后，恢复成遥控命令信号（即调制信号），并进行相应的译码得到控制信号然后去驱动执行机构。接收头部分至少应完成三个任务：首先要对从天线上感应的各种频率的信号进行选择，我们知道，空中充满了各种频率的电磁波，它们都能在天线上感应出微弱的电信号，接收电路应能选择出我们所需要的信号；其次，因从天线上得到的信号十分微弱（常常仅几微伏）所以要有足够的放大作用；第三必须将遥控命令信号（调制信号）从载体上“卸下来”，也就是要对调制的载波进行解调。

（一）接收电路的主要要求

1. 选择性要求

如前所述，接收机要从许许多多的高频信号中选出所需要的信号，就必须具有选择某工作频率的信号而抑制其他信号的能力。我们知道，如果收音机的选择性不好，就会出现窜台现象。与此类似，如果遥控接收机的选择性不好，就会有别的发射装置所发射的高频信号侵入，从而干扰接收装置的正常工作，甚至导致遥控失灵或误动作。

2. 接收灵敏度要求

灵敏度是接收微弱信号的能力，灵敏度高，遥控的距离就远。从天线上所得到的感应电动势，通常在几个微伏左右，这就要求接收电路应具备足够的放大倍数。但放大倍数大了，噪声很可能把有用信号埋没掉，使接收机不能正常工作，所以又要求接收机

有一定的信噪比，也就是输出的有用信号必须比噪声信号大一定的倍数。

3. 稳定性要求

环境条件的变化，例如气温、电源电压、空气湿度等的变化，可能影响接收机的灵敏度、选择性或其他性能。但这些影响只要不超过一定范围，接收机仍能正常工作，就可以认为接收机的工作性能是稳定的。在室外工作的接收机，夏季机壳内的温度可以高达 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，而冬季可能在 -10°C 以下，温度变化的范围是很宽的。我们知道，半导体元件的参数对温度比较敏感，例如集-基反向饱和电流 I_{cbo} ，温度每增加 10°C ， I_{cbo} 就增大一倍，因此在电路上要有一定的稳定措施。

(二) 超再生接收电路

用于射频遥控的接收电路通常有“超再生”和“超外差”两种结构形式。超再生接收电路结构很简单，仅用一级“超再生检波”即能完成选择信号、放大信号和解调功能，其方框图如图 5-28 所示。电路的主要特点在于解调（即检波）其之前的电路，而低频放大则与普通低频放大电路相同，整形、解码等对遥控命令的处理方法及有关电路均与红外或超声遥控中的电路相同。

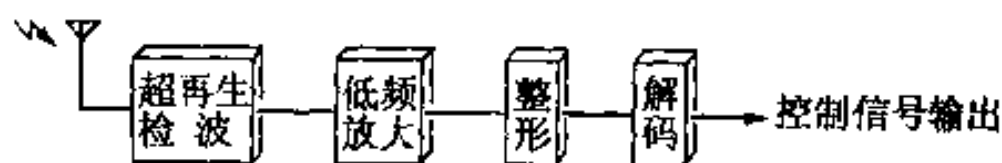


图 5-28 超再生接收框图

1. 工作原理

在超再生电路里，存在着两种频率的振荡。一种是高频振荡；另一种是频率较低的振荡，振荡频率约为 $20\sim 60\text{kHz}$ ，波形如图 5-

29 (a) 及 (b) 中的第一列。这一振荡信号称作熄灭电压，能影响高频振荡器的工作，使其振荡不是连续，而是间歇的，如图 5-29 (a) 中的第三列以及图 (b) 中的第二列。高频振荡的包络（包迹）成菱形，假如电路中除了熄灭电压外再无其他信号影响高频振荡器，那么这些菱形的高矮将是一致的。但图中所示菱形的高矮不相同，这是振荡器受到了外来所接收到的载频信号的影响或是电路内部自身的噪声电压的影响所导致的。这种间歇的振荡器振荡幅度受电路中的电压波动影响极为敏感，图 5-29 (a) 中的第三列波形是受所接收调幅载波的影响所致，菱形的外包迹（图中虚线所示，实际上菱形分布是很密集的，菱形的频率与第一列熄灭电压波形同频率，约为 $20\sim 60\text{kHz}$ ）与调幅波包迹相同。若用检波电路切去菱形的下半周，再经适当滤波电路去除高频分量，就可以得到图 (a) 中第四列虚线所示的包迹信号——即调制信号。而图 5-29 (b) 中的第二列波形受电路自身的噪声电压影响，菱形或高或低，其外包迹就是噪声电压的波形。经检波和滤波，得到的是杂乱无规律的噪声，如图 (b) 第三列波形中虚线所示意。

归纳地说，超再生电路在没有收到外来信号时，其输出是连续不断的“沙沙”的噪声电压。而当收到外来信号时，其输出是

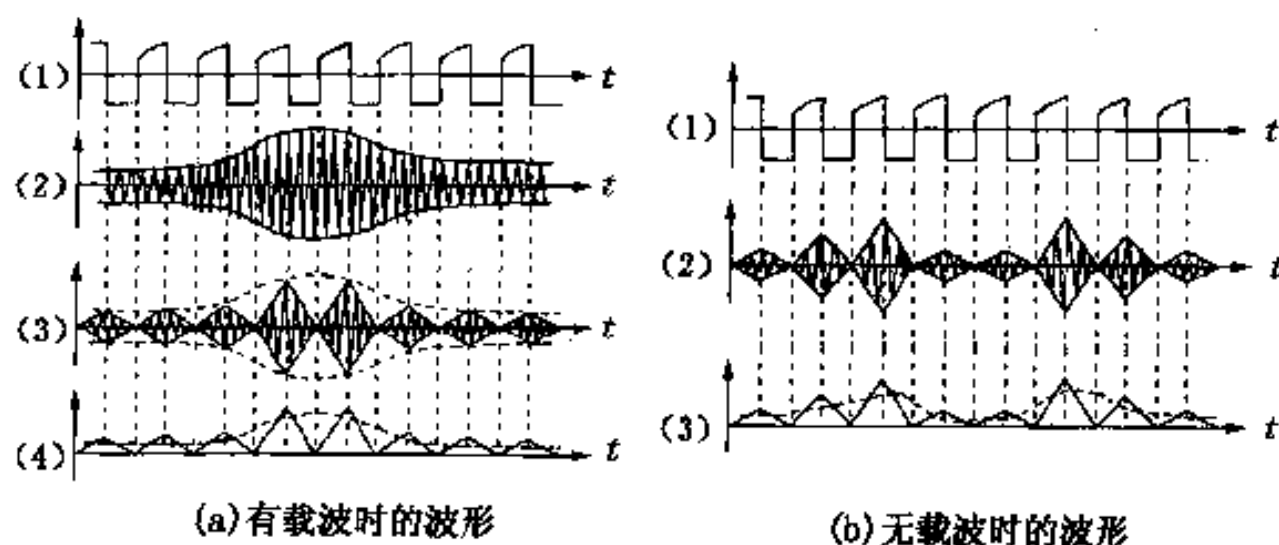


图 5-29 超再生接收原理

调幅信号的包络（即调制信号）。

特别值得说明的是，超再生电路所检波的不是所接收到的载波信号（例如图 5-29 (b) 中的第二列波形），而是由载波信号控制的、振荡电路自身产生的振荡电压，该电压幅度较大，因此超再生接收电路有较高的灵敏度。

2. 参考电路

超再生接收电路按照熄灭电压来源不同，可分为“他熄式”和“自熄式”两种。他熄式超再生接收电路由高频振荡和熄灭电压振荡两级组成。而在“自熄式”超再生接收电路中，高频振荡和熄灭电压振荡同由一个晶体管完成。图 5-30 是一个实用的自熄式超再生接收电路。高频振荡由 C_1 的正反馈形成，电路工作于间歇振荡形式。 C_3 、 L 是确定高频振荡频率的谐振回路，当从天线收到的外来载波与其谐振或接近谐振时，在回路两端能产生较高的电压，而高频振荡的幅度受这个电压控制，因此 C_3 、 L 的谐振频率便是超再生接收频率。 L 为在 $\varnothing 8\text{mm}$ 带磁心骨架上用 $\varnothing 0.5\text{mm}$ 漆包线绕制而成，初级 9 匝，次级 2 匝。其余元件如图示，电路工作于 28MHz。

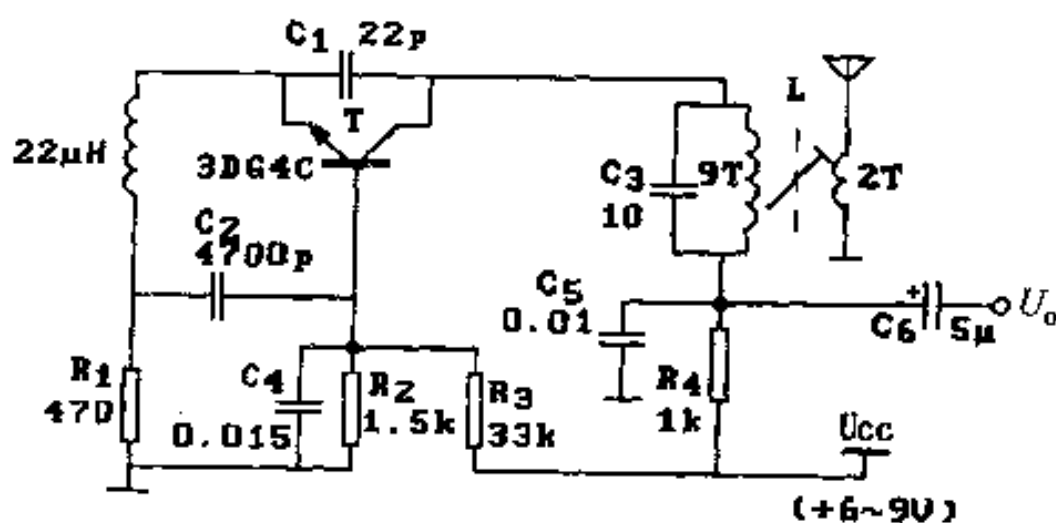


图 5-30 28MHz 超再生电路

超再生电路接收效果的好坏与调试经验很有关系，需调试多次以后，取得实践经验，才会调到较满意状态。

调试前在接收电路的输出端接上高阻耳机，或将输出端经过一个 $4.7\text{k}\Omega$ 左右的电阻接到普通收音机的音量电位器的中心头上。开大音量（收音机与试验电路两者间地线要相连），两机均接通电源，应能听到“沙沙”的噪声，噪声的强度当手握天线时应当变小。如达不到要求，可调整 C_1 和 R_3 。待噪声正常后，再调整 L 、 C_3 谐振回路的谐振频率。用高频信号发生器或者已知的发射装置为信号源，把超再生接收电路的天线（用软导线即可）靠近信号发生器的输出头，调整谐振回路的磁心，当谐振频率等于接收信号频率时，噪声被压抑。使用已知发射装置为信号源时，因其发射功率较大，应放在与接收电路相隔较远的地方。 R_3 、 C_4 取值对接收效果影响很大，调试时应仔细调整。 R_3 使用可变电阻，以便于调整。

图 5-31 电路工作于 150MHz 频段。 L 为 $\varnothing 5\text{mm}$ 空心线圈，用 $\varnothing 0.21\text{mm}$ 镀银线初级绕 4 匝、次级绕 2 匝而成。因其工作频率较高，应选用超高频三极管，调试好以后的工作电流大约为 1mA 左右。

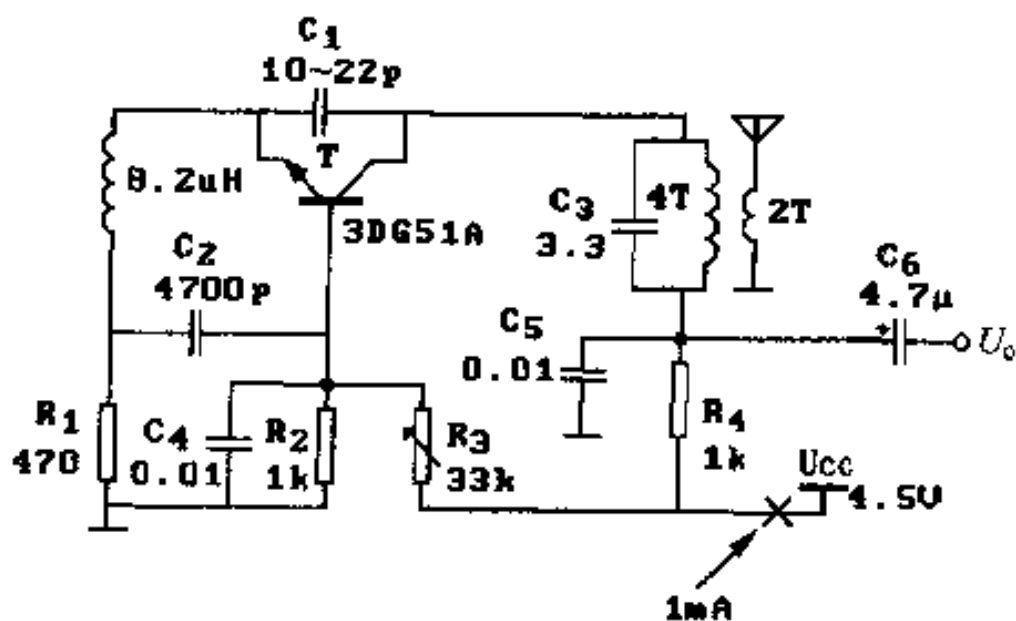


图 5-31 150MHz 超再生接收电路

(三) 超外差式遥控接收机

另一种典型的接收电路是“超外差”接收电路，其框图如图 5-32 示。可以看出，在检波、低放之前，其结构和功能与普通的收音机完全相同，只是调幅收音机一般没有高放级，而遥控电路为增加接收灵敏度因而增加了一级高频放大。另一个主要区别是普通收音机的输入谐振回路的谐振电容（或电感）设计成可变的，相应地本振电路的谐振回路的电容（或电感）也是可变，而且两者必须保持谐振频率上的同步变化（本振频率必须始终高于接收频率一个“中频”，例如为 465kHz），而遥控接收电路则无此要求，因而事实上更为简单。至于整形后面的各个环节，则与超声遥控中的方法及电路完全相同。另一种调频超外差接收机在无线遥控装置中也常被采用，其基本结构框图与图 5-32 类似，只是在中放后面增加了限幅放大，所采用的解调电路是鉴频电路而不检波电路，其余部分基本相同。

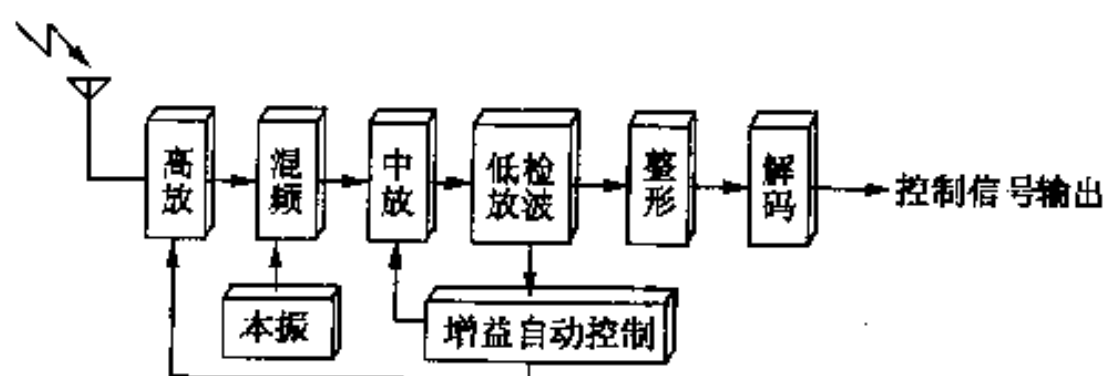


图 5-32 遥控超外差接收机框图

三、射频遥控电路分析与实验

(一) 28MHz 简易射频遥控装置

1. 发射电路

(1) 工作原理

发射电路如图 5-33 示，高频振荡器为由高频晶体管 T_2 、晶振、L 与 C_4 谐振回路等组成的电容三点式振荡器。调制器由工作于开关状态的 PNP 三极管 T_1 构成。非门 74HC04 (片内包含 6 个独立的相同的非门，引脚排列见附录 5) 组成多谐振荡器生成调制信号。该电路已在前一章里见过，不过这里振荡输出的矩形脉冲经 2 个并联的非门缓冲后去驱动调制管 T_1 。调制信号的频率约为 500Hz，当调制信号为高电平时，即 A 点电压 $U_A \approx 6V$ (见图 5-33 所注)。由图可知 T_1 不可能产生基极电流，因而 T_1 截止，高频振荡发射电路因无供电电源而停止工作，没有载频信号发射。当调制信号为低电平时，即 $U_A \approx 0V$ ，由图知 T_1 可以产生基极电流流

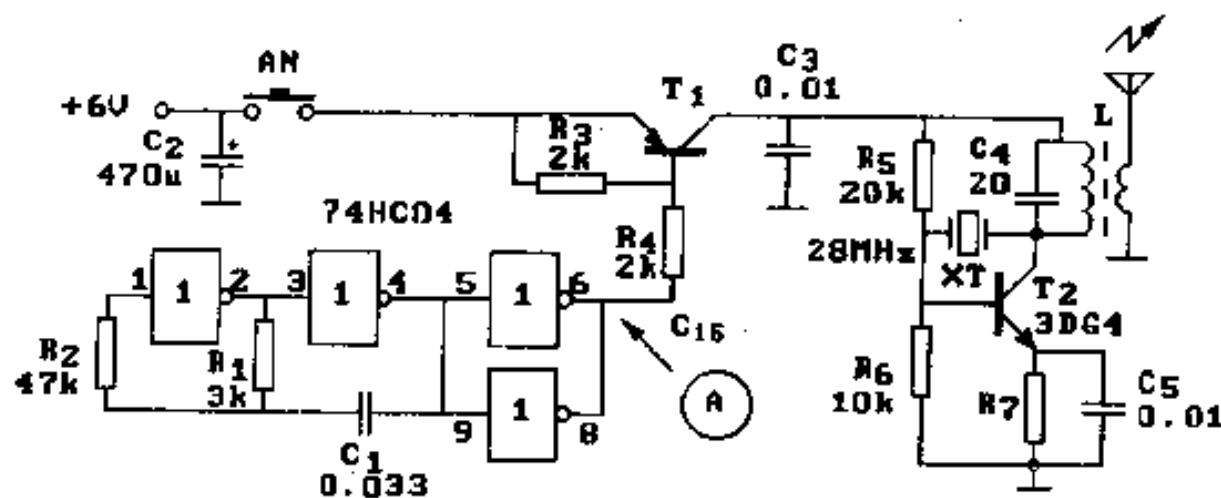


图 5-33 28MHz 简易射频遥控发射电路

过电阻 R_4 ，使 T_1 饱和导通，高频振荡发射电路得电工作，向外辐射载波信号，因此本电路所发射的是间断的等幅载波。

(2) 元件选用

高频振荡管须选用特征频率 $f_T > 100\text{MHz}$ 的中小功率高频管，例如使用 3DG4C，要求 β 在 60~80 左右。调制管 T_1 对 f_T 没有要求，可以使用普通任意 PNP 中小功率三极管，例如 3CG12、C9012 等常用管。非门电路使用 CMOS 型 (74HC04)，其工作电源范围较宽，且输出高电平值接近电源电压，利于与 6V 电源相适应以及与 T_1 的工作相匹配。电容 C_4 采用高频瓷片电容或云母电容，其他电容对频率特性没有要求，可任取普通电容。电感 L 为在 $\varnothing 8\text{mm}$ 带磁心（高频磁心）的骨架上，用 $\varnothing 0.4\sim 0.5\text{mm}$ 漆包线密绕初级 9 匝、次级 3 匝而成。天线可使用 0.5~1m 左右的多股软导线。

(3) 安装调试

实验印刷电路板如图 5-34 示，为 1:1 透视图。依图安装零件并焊接，注意高频电路的元件留腿宜短，组装完毕，如有外壳，最好使用金属外壳，或在壳体内层贴一层金属箔，并将电路的地线与金属箔相连。然后按下面的步骤调试：

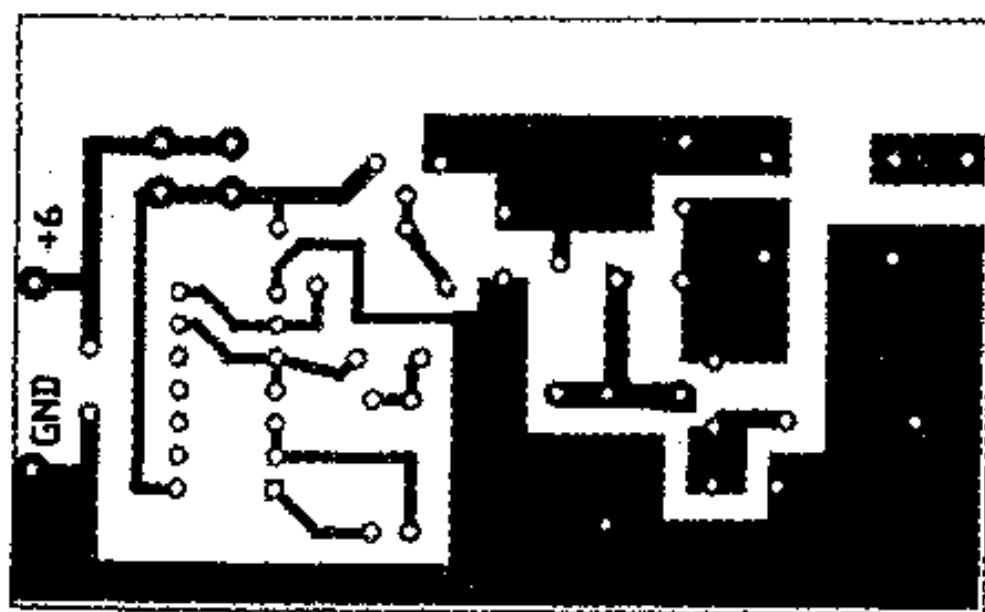
①接通电源后将非门 74HC04 的①脚接地，测得的 A 点电压应约等于电源电压 (6V)，再测量调制管 T_1 集电极电压应为 0V。

②将非门 74HC04 的③脚接地（短时间接地），测得的 T_1 集电极电压应约等于电源电压（略小 0.3V）。

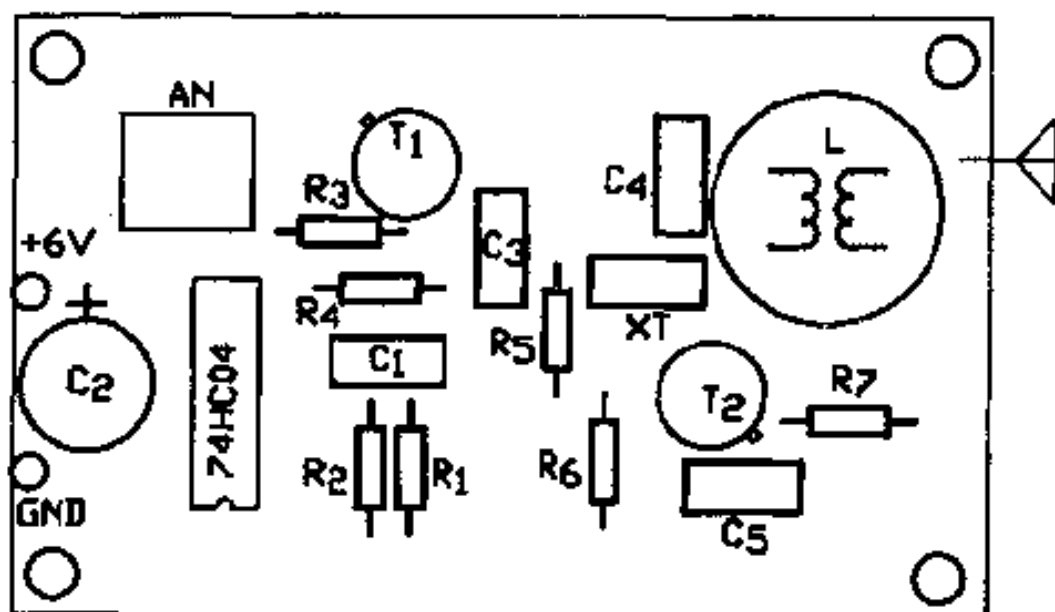
③正常情况下，74HC04 组成的多谐振荡器振荡， T_1 集电极电压应约在 2~4V 之间。对多谐振荡器的频率没有严格要求，一般无需调整。

④在发射电路边上放置场强计，对高频电路作调试。首先是调节谐振回路 L 的磁心使其起振。振荡频率由晶体确定，所以无

需测量和调节，主要是调节振荡强度、发射频率和功率。总的目的归结为使高频辐射最强，这可由场强计得到指示，详细调试方法参见本章前面的有关内容。注意上偏电阻 R_5 的取值也会影响辐射强度，可适当微调。调试工作宜耐心细致，反复调整，才能得到较好效果。



(a)



(b)

图 5-34 发射装置印刷电路板

2. 接收电路

(1) 工作原理

接收电路如图 5-35 所示，三极管 T_1 以及相关元件组成超再生接收电路，这一部分电路的工作原理已在前面介绍过，这里不再重复。

超再生接收的输出信号由耦合电容 C_6 输出。该信号有两种情况，一种是没有收到信号时，由 C_6 输出的是“沙沙”的噪声；另一种是收到发射机发送的信号时，由 C_6 输出的是频率约为 500Hz（即发射电路中多谐振荡器的振荡频率）的音频信号，这一信号送入由 T_2 、 T_3 及周边阻容元件所构成的两级低频交流放大电路放大。 T_2 、 T_3 集电极所接的电容 C_8 、 C_{10} 有助于进一步消除剩余噪声及频率较高的干扰信号。

由低频放大电路放大后的约 500Hz 的信号经 C_9 耦合至由二极管 D_1 和 D_2 进行整流，削去负半周，正半周对电容 C_{11} 充电。当 C_{11} 上电压被充至 0.6V 以上时，三极管 T_4 开始导通。因 T_4 集电极电阻较大，所以 T_3 很快进入饱和，其集电极电位下降至约 0.3V， T_3 很快进入截止，其集电极电位很快地上升。这一上跳变就触发了 D 触发器 CD4013 的翻转，使其输出端状态改变为与原来相反的状态（由高电平变为低电平或由低电平变为高电平）。相应地，驱动三极管 T_6 的导通或截止也改变一种状态，最终使继电器 J 动作（由吸合到释放，或由释放到吸合）。D 触发器的④脚所接的 C_{12} 和 R_{11} 起上电复位作用。

概括地说，每按动一次发射机按钮，D 触发器就改变一次状态，因此继电器也相应地改变一种状态。只要发射机不再发射信号，该状态就会由 D 触发器锁存（或称记忆），永不改变。故称 D 触发器为记忆电路或锁存电路。

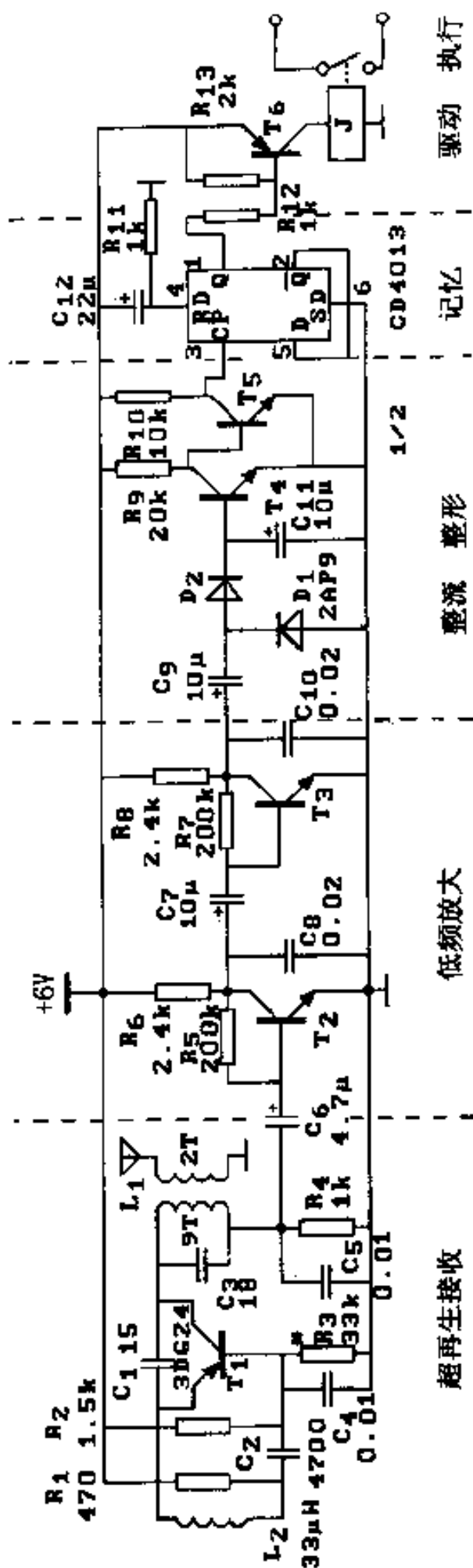


图 5-35 28MHz 简易射频频遥控接收电路

(2) 元件选取

超再生接收管 T_1 采用频率较高 PNP 的高频管, 例如 3AG14、3AG24 等, β 取 60~100 之间。其余三极管可用普通 NPN 管, 例如 C9013、C9014 等。超再生电路的高频反馈电容 C_1 、谐振电容 C_2 要用高频瓷片电容或云母电容。线圈 L_1 是在带有 NX-20 磁心的 $\varnothing 5\text{mm}$ 骨架上, 用 $\varnothing 0.35\text{mm}$ 漆包线绕制而成的, 初级 9 匝, 次级 2 匝。天线使用多股软导线。二极管 D_1 、 D_2 要使用锗管, 例如 2AP9、2AP10 等。D 触发器使用 CMOS 集电电路 CD4013 的一半, 另一半空着不用。继电器使用 DC 6V 单 Z 小型继电器。

(3) 制作与调试

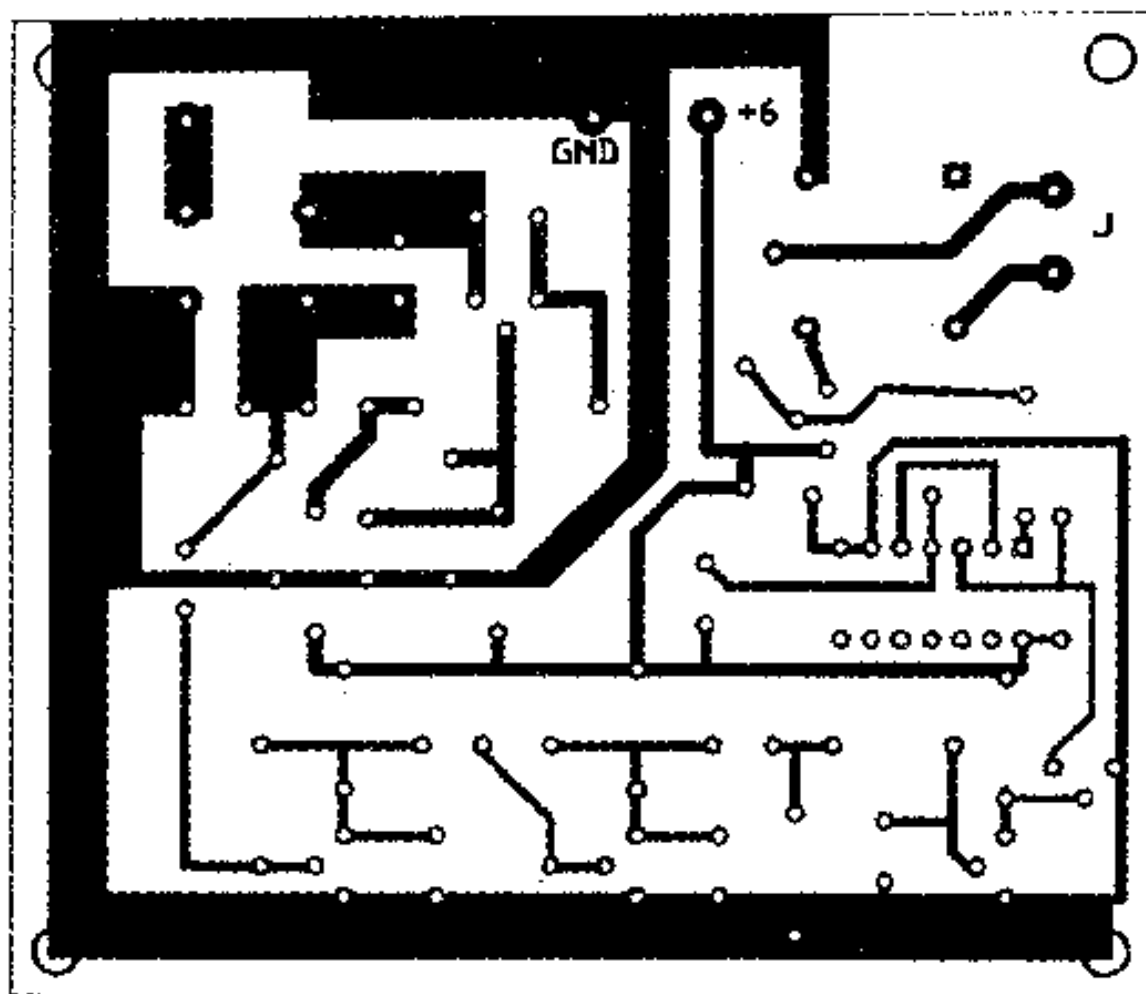
印刷电路板图如图 5-36 示, 亦为 1:1 透视图。依图焊接完毕, 接通电源, 按下列步骤进行调试:

①先检查各级直流状态。 T_1 集电极电流先初步调整在 1~2mA, 测量 T_1 集电极电位, 大致为 1~2V。若该值不符合, 可调整偏置电阻 R_2 使之满足。测量 T_2 、 T_3 集电极电位, 宜在 2~4V 范围内, 若不满足, 可调整偏置电阻 R_5 、 R_7 。 T_4 平常应处于截止状态, 其基极电位应为 0V, 集电极电位等于电源电压, T_5 集电极电位约为 0.3V。以上 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5 的这些电位参数是没有输入信号时的电路状况, 所以应拔除耦合电容 C_6 再进行测量。

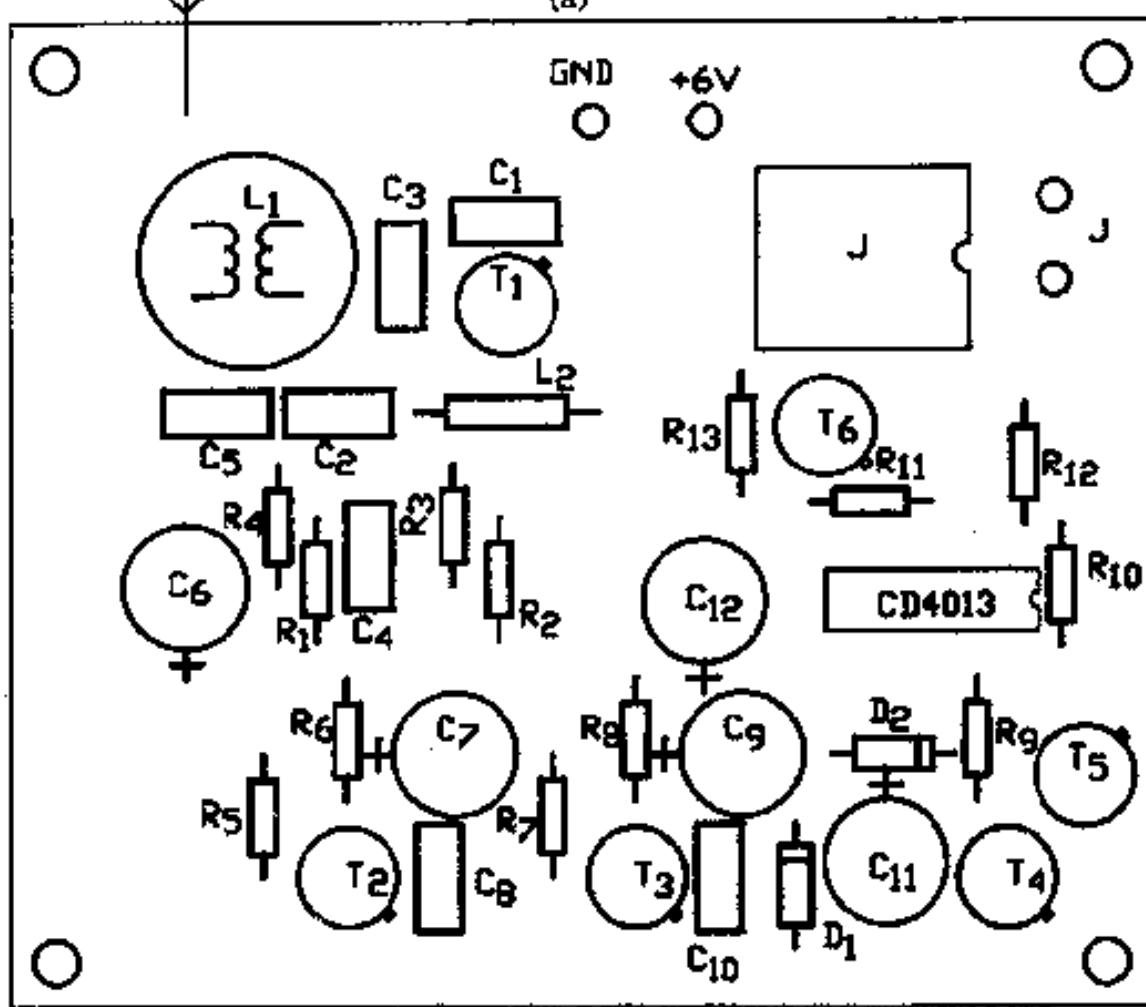
②用一个约 $1\text{k}\Omega$ 的电阻, 其一端接二极管 D_2 的正极, 另一端接触电源正极约 1s 后断开, 反复操作若干次, D 触发器应能翻转, 体现为继电器改变一种状态。若继电器不动作, 则应先用万用表测量 D 触发器的 Q 端观察其状态有无变化。

③调试超再生接收电路。调试方法在本章的“超再生接收电路”部分已介绍, 这里不再重复。

④联合调试。使用发射器的按钮来操纵受控继电器, 每按动



(a)



(b)

图 5-36 接收装置印刷电路板图

按钮一次，继电器应动作一次（即状态改变一次）。

调试过程如有示波器，可以观察各点波形帮助判断故障所在和调整的效果，因此能更准确地指导调整的方向，使调试工作更容易成功或取得较好的效果。

由于射频信号发送和接收的工作频率高、电路中的分布参数不可预测、高频工作的三极管有许多特殊性等等原因，其制作和调试比较困难。特别是业余制作一般缺乏仪器和经验，所以往往在试验中难以取得较好效果，甚至以失败告终。但目前已有很多专业厂家生产了各种频率、各种功率的遥控专用无线发射和接收模块，应用者只要购买这种射频收、发模块，配以适当的编解码电路以及其他相关电路，即可构成各种功能的遥控装置。采用这种模块化设计方案，无论是红外遥控、超声遥控还是射频遥控，除发射、接收（包括调制和解调电路）部分的电路不同以外，其他的电路均相同，一般可互相通用。下面介绍一种采用 250MHz 射频接收、发射成品模块构成的射频遥控报警装置的方法。

（二）250MHz 射频遥控报警装置

1. 发射装置

（1）电路原理

发射装置主要由电源供电控制电路、射频发射电路、编码电路三个部分构成，如图 5-37 示。

发射电路采用了成品 TW630 无线发射模块，发射频率在 250MHz 频段；发射作用距离（配 TW632 接收模块）50~100m；天线及全部电路密封在塑料外壳内，外形尺寸约半只火柴盒大小；其外部引脚只有 3 根：电源正极、地线（电源负极）、脉冲编码调制信号输入端；输入的调制信号电平规范要求高电平为 3~5V，低电平为 0~0.5V。

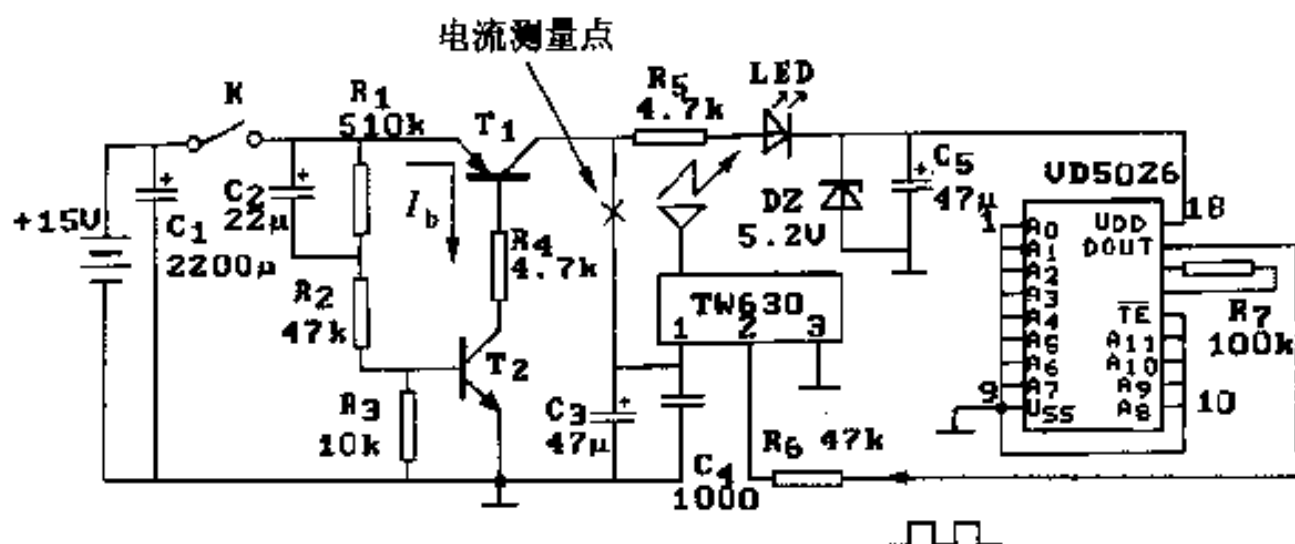


图 5-37 250MHz 地址加密射频遥控报警发射器

编码信号由专用编码集成电路 VD5026 产生，其原理及使用方法已在前面介绍过。本例编码情况为 $A_0 \sim A_7$ 全部接至地， $A_8 \sim A_{11}$ 这 4 根可作数据线使用，但这里也当作地址线使用，将它们全部接地（实际使用中应根据具体情况将各地址线分别接高电平或低电平，以设置成不同的编码），地址的编码使其具有加密作用，任何其他的发射电路可能发射与此相同编码的概率几乎为零。编码信号从 DOUT 端经过一个 $47k\Omega$ 左右的电阻送入 TW630 的调制输入端实现对载波的调制。

电源供电控制电路由三极管 T_1 、 T_2 及相关元件组成，其目的和作用是在电源开关 K 闭合后，只向编码、发射电路提供短暂的供电，之后即使开关闭合着，发射电路也得不到电源。因此本装置每次发射信号的时间是很短暂的（约 1s）。开关 K 是一个微动行程开关，安装在门框上隐蔽处，当门关闭时该开关受压迫处于断开状态，一旦门打开，开关 K 即闭合。由 $E=15V$ 的层叠电池及 $2200\mu F$ 电容 C_1 组成的电源经过 R_1 、 R_2 、 R_3 的分压作用，给三极管 T_2 加上了正向偏压 U_{be} ，这一偏压静态时只有约 0.3V 左右，不能使 T_2 导通。但由于电容 C_2 的瞬态特性，使得在开关 K 最初闭

合的瞬间，电阻 R_1 相当于被短路，因此 T_2 可以导通，于是 T_2 集电极电流构成了 T_1 的基极电流 I_b 。这一电流足够使 T_1 饱和，因此 +15V 电源就经过 T_1 的射-集极给编码及发射电路供电，发射电路发射出调制的载频信号。稍后，随着电容 C_2 的被充电， T_2 的偏流逐渐减小并终于恢复为截止状态，则 T_1 也进入截止。这时开关 K 虽仍闭合着，但电源已停止了供电，使发射电路只发射短时间的射频载波。这有两个好处，其一是所发射的载波虽然工作在业余频段，但因信道有限，总是以尽量少占用频道为好，不会对同频率的设备造成较严重干扰；其二是电路使用电池供电，容量有限，短时间发射可以节约电源消耗。本例是一个实用的报警装置，整个电路及电池安装在约肥皂盒大小的塑料壳体内，采用 15V 层叠电池供电，因其只能提供较小的电流且内阻较大，所以使用电容 C_1 储能，在短时间内可提供较大电流。而在稳态下，电池不提供电流，有效地维护了电池寿命（在 K 闭合后的稳定状态下，电池经过 R_1 、 R_2 、 R_3 后仍有约 0.03mA 的电流供出）。

图中 C_3 、 C_4 、 C_5 为旁路电容， R_5 和稳压管 DZ 组成 5V 的稳压电路为编码器 $VD5026$ 提供 5V 电源，发光二极管 LED 作为工作指示灯。

(2) 主要元件选取

射频接收头——TW632；

编码器——VD5026；

三极管 T_1 、 T_2 ——C9013；

DZ ——5V 稳压管。

(3) 制作与调试

印刷电路板如图 5-38 示，按图安装元件并焊接。VD5026 使用 IC 插座（双列 18 脚）。发射头 TW630 体积较小，可以同普通元件一样立式安装。开关 K 是安装在门上的，因此在发射器外壳

上安装一个耳机插孔，把电路上开关 K 的两个接点用导线连到耳机插孔，再通过插塞、导线连接到安装在门上的微动开关，这样便于拆卸和安装。

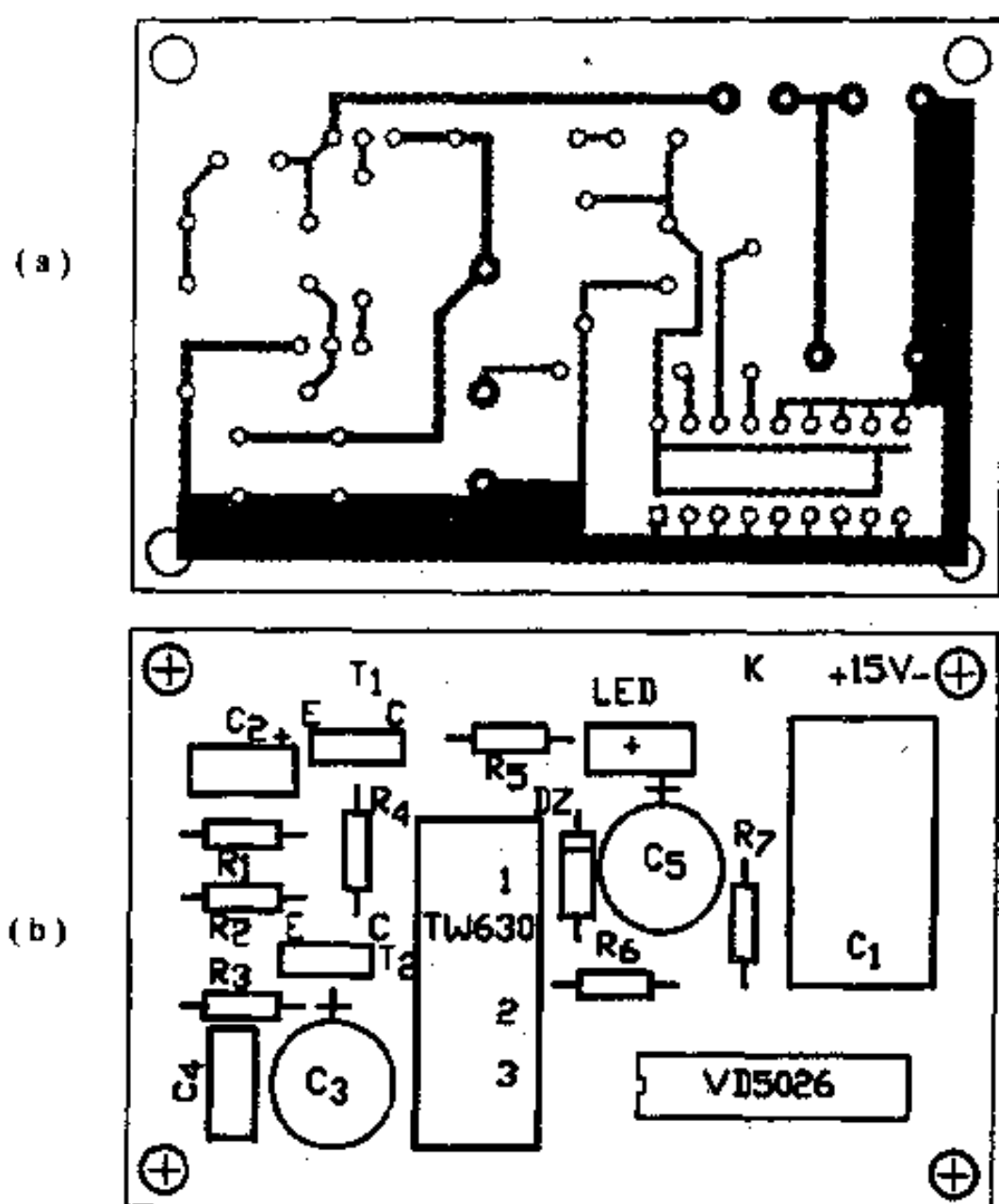


图 5-38 发射器印刷电路板

由于发射头是现成产品，所以调试工作很简单，可按以下步骤进行：

①先调试电源电路。用导线将电容 C_2 短接，接通开关 K，这时 T_2 应导通，测量其集电极电压应约等于 $0.3 \sim 0.5V$ ； T_1 应饱和，测量其集电极电压应约等于发射极电压。测量 C_5 两端电压，应

约为 5V，测量 VD5026⑩脚电压应约为 5V。

②检验 VD5026 有没有产生编码信号。先将 VD5026 的 $\overline{\text{TE}}$ 端 (⑭脚) 与地的连线用锋利刀片割断，测量 DOUT 端 (⑰脚) 电压应约等于电源电压 (5V)。恢复 $\overline{\text{TE}}$ 端接地，DOUT 端电压若减小 $1/2 \sim 1/3$ ，可判为编码输出正常。

③用万用表电流挡测量发射模块的供电电流 (串入电源回路测量，图中标有“X”处)。在无调制信号输入时 (拔除 R_6)，电流为零；当有调制信号输入时，电流约在 10~15mA 左右。

④去除 C_2 的短路线，测量 T_1 的集电极电压。当开关 K 未接通时，电压为零；接通 K，电压约在 14V 以上，但只能维持约 1s，随后很快下降并消失。若维持时间太短，应按类似的方法再测量 T_1 发射极电压，看其维持时间是否够长。若 T_1 发射极电压能维持足够时间而其集电极不能维持足够时间，应增大 C_2 值；若两者均不够，则应加大 C_1 。

2. 接收装置

(1) 工作原理

接收装置示于图 5-39，由电源电路、射频接收解调、解码电路、讯响电路 4 个部分组成。接收装置供电主要取自直流电源 $E=6\text{V}$ 电池组。接收装置的情况与发射装置不同，发射装置平时不工作，只当门打开时开关 K 闭合才工作短暂的一会儿，因此只需小容量电源。但接收装置却必须始终处于守候状态，守候电流在 6~10mA 左右。电池组容量有限，不能长时间供电，为此由小变压器提供 7.5V 交流 (峰值约为 10V)，经 D_1 整流得到半波脉动直流电压，再经三极管 T_1 、稳压管 DZ、二极管 D_2 组成的稳压环节，在 T_1 的发射极得到幅值约为 6.2V 的脉动电压。该电压不断地向电池组补充能量 (充电)，但一旦电池组电压升高至 6.2V，则 T_1 自动停止向 E 充电，只有当电池组下降为 6.2V 以下时才有充电作

用。DZ 和 D₂ 相串联，把 T₁ 基极电位稳在 6.9V，T₁ 的发射极电位等于基极电位减去 0.7V，故为 5.2V。

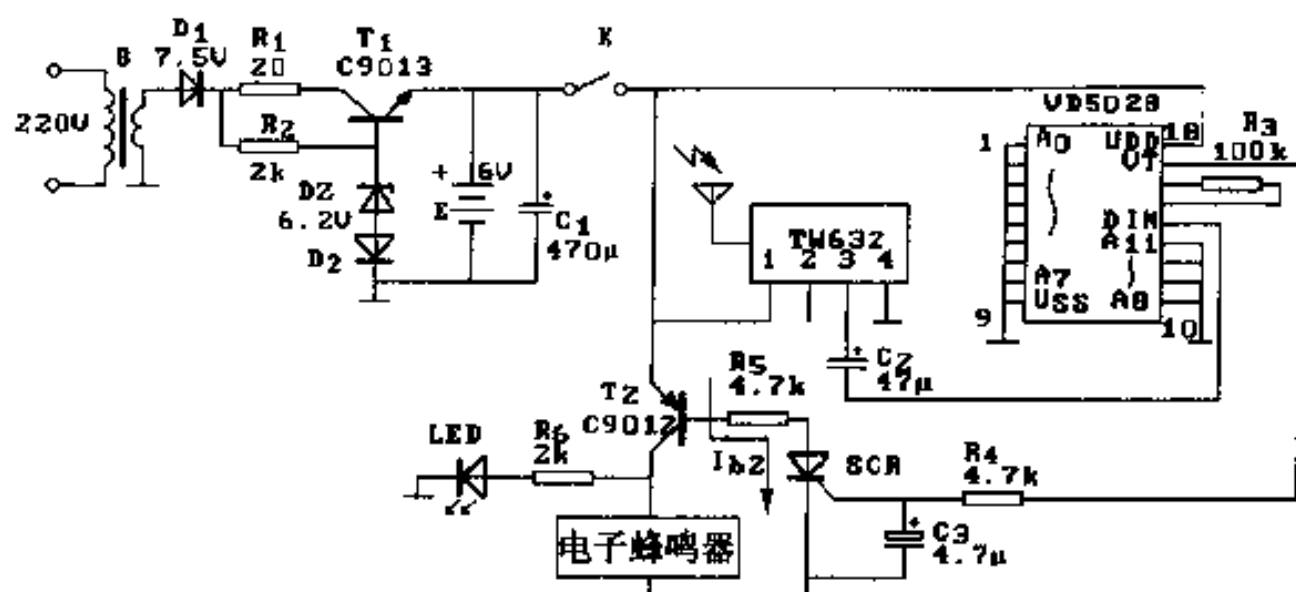


图 5-39 250MHz 地址加密射频遥控报警接收器

射频接收电路使用成品接收模块 TW632，整个接收电路密封在一个约火柴盒大小（稍扁）的塑料壳内，可以外引天线以增大接收距离，一共只有 4 根外引脚：电源正极、电源负极（地线）、信号输出、测试端。信号输出端所输出的是解调了的编码信号，它与发射装置中编码器 VD5026 输出的编码信号相同。

解码器使用了专用解码集成电路 VD5028，其引脚排列见附录 5。VD5028 与 VD5027 基本相同，只是其⑩~⑬脚亦为地址线，而 VD5027 的⑩~⑬脚为数据线。其地址线的设置情况与发射装置中的 VD5026 相同，接收模块解调后输出的编码信号经电容 C₂ 耦合送入解码器 VD5028 的 DIN 端（⑭脚）。当收到的信号是相匹配的发射装置所发射的信号时，因编码器与解码器的地址密码相同，所以 VD5028 能够正确解码并在 VT 端（⑰脚）送出一个正脉冲。对于任何其他发射装置所发射的任何信号，因地址密码不同，因此解码器拒不接受，VD5028 的地址加密可有数百万种编码，可

见该射频遥控报警装置有极高的抗干扰性能。

讯响电路由电子蜂鸣器及控制电路组成。当 VD5028 的 VT 端送出正脉冲时，正脉冲经过 R_4 向晶闸管 SCR 控制极注入触发电流，于是晶闸管导通。这就使三极管 T_2 的发射极-基极-电阻 R_5 有了通路，形成 T_2 的基极电流 I_{b2} （参见图 5-39 标注）， T_2 饱和，电子蜂鸣器得电发出讯响。触发脉冲过后，晶闸管却仍继续导通，所以讯响器会一直响下去，直到主人闻讯关断电源开关 K 为止。如果所采用的电子蜂鸣器工作电压小于 4.5V，可以省去三极管 T_1 ，直接由晶闸管 SCR 控制电子蜂鸣器的电源通路，具体作法是把鸣蜂器串联在 SCR 的阳极回路中即可。

(2) 主要元件选取

射频接收头——TW632；

解码器——VD5028；

蜂鸣器——DC 6V 短声电子蜂鸣器；

变压器——220V/7.5V、3~5W；

电池组——5号电池4节；

三极管—— T_1 选 C9013， T_2 选 C9012；

晶闸管——MCR100-6；

稳压管 DZ——6.2V；

二极管—— D_1 、 D_2 ，1N4004；

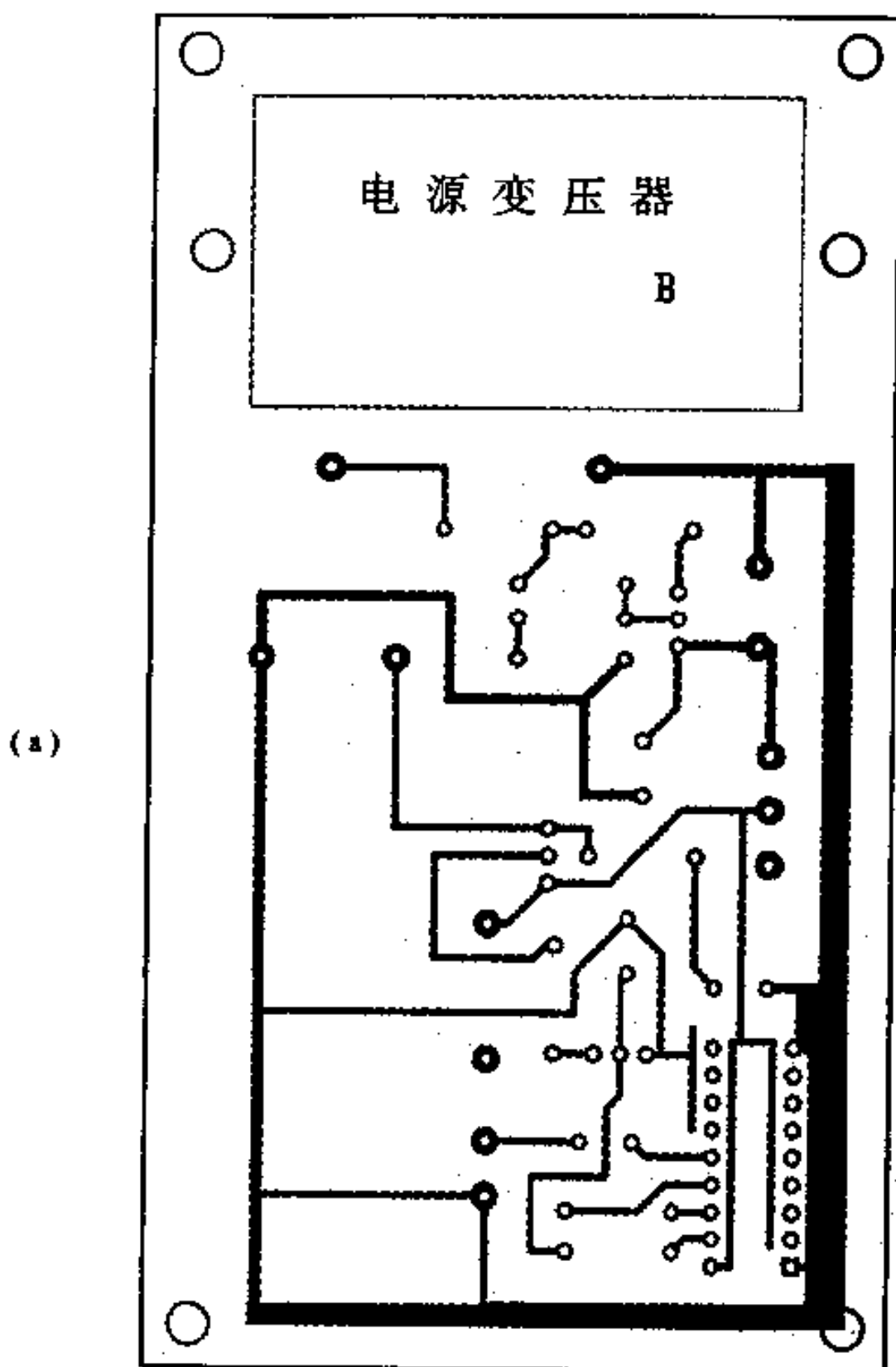
LED 指示灯—— $\varnothing 5\text{mm}$ 红色发光二极管。

(3) 制作与调试

印刷电路板图如图 5-40 所示，为 1:1 透视图。按图安装焊接，然后按下面步骤调试：

①电源调试。先不要接上电池组，也不要闭合开关 K，接通 220V 电源，测量变压器副边电压须在 7~8V 之间（用万用表交流电压挡测量），再测量 T_1 发射极直流电压，应为 6~6.4V 之间，否

则应更换 T_1 基极所接的稳压管 DZ 。购买稳压管时，同一型号的稳压管各稳压值也略有差异，应以实际测量为准。



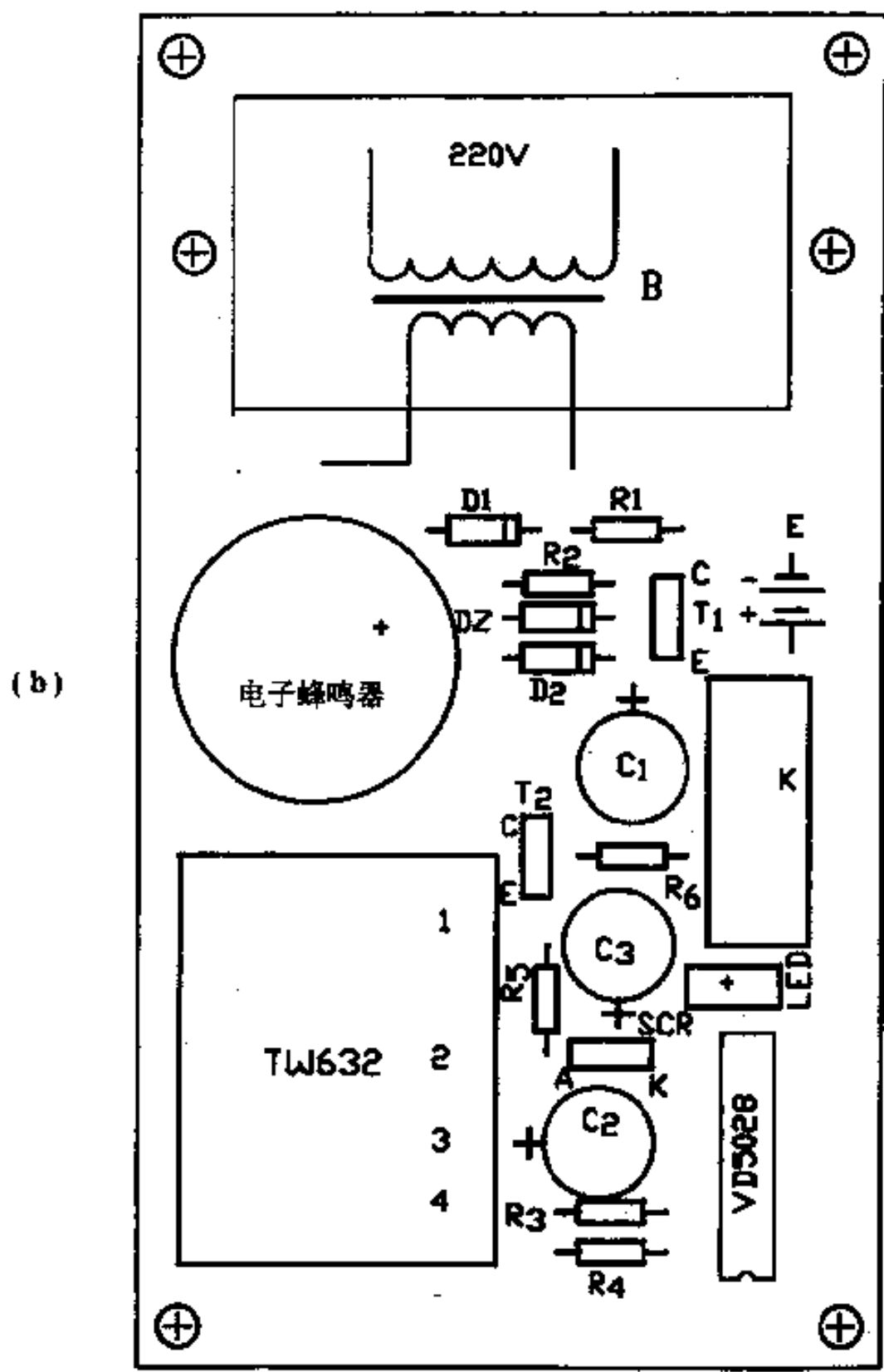


图 5-40 接收器印刷电路板

②讯响电路调试。试接上电池组，先不插上 VD5028。接通开关 K，用一根硬导线将 VD5028 集成电路插座的⑰脚对电源短接一下（碰触一下即可），蜂鸣器应鸣叫，这时测量晶闸管 SCR 的阳

极电位应在 1.5V 以下，三极管 T_2 的集电极电位应在 5V 以上。

(3) 接收与解码的检验。插上 VD5028，接通开关 K，用发射装置发射信号，蜂鸣器若能正确发讯，即表明接收解码均正常。收、发的距离先近后远，逐渐拉大距离，考察遥控报警的作用距离，注意有建筑物阻隔时作用距离要比开阔地小很多。如果你家的杂物间与住所的距离在此距离以内，那么该装置就可以成为你家的一个实用的杂物间夜间防撬门遥控报警装置。

第六章 实用遥控电路举例与分析

一、可变亮度灯光红外遥控装置

本装置由手持红外发射器和接收器两部分组成，使用时，按住发射器上的按钮 332ms 以上时，灯光会从暗渐渐变到亮，或者从亮渐渐变到暗。若一直接住按钮（即发射器一直发射红外信号），灯光的“暗—亮—暗……”渐变过程会一直循环下去。一旦松开按钮停止发射红外编码信号，调光过程马上结束，灯光的亮度稳定下来，下一次再发射红外信号进行调光时，灯光的变化方向与上一次相反。

（一）发射电路

发射电路如图 6-1 所示。由集成电路 555 产生约 38kHz 的脉

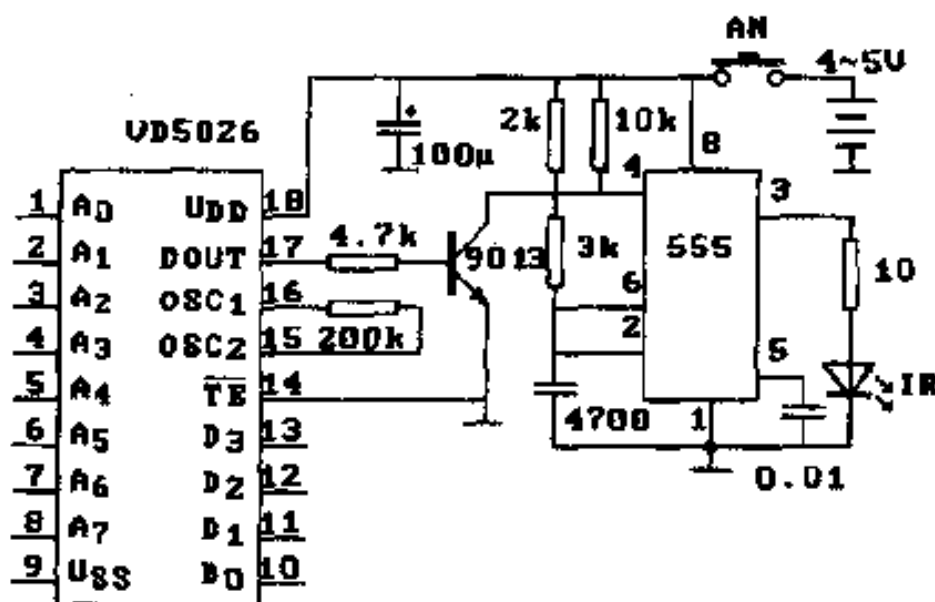


图 6-1 可变亮度灯光红外遥控发射装置

冲, 从其③脚输出驱动红外发射管 IR 发射的红外脉冲。编码器使用 VD5026, 所有地址线均悬空以求简便。编码信号从⑰脚送出, 经三极管 C9013 倒相后对 555 振荡器进行调制, 因此按住发射器按钮 AN 时, 发射出的是经编码信号调制的载频为 38kHz 的红外光脉冲。

(二) 接收电路

接收电路如图 6-2 所示, 由红外接收头、解码器 VD5027 (或 VD5028)、调光专用集成电路 LS7232、执行器件双向晶闸管 SCR 及受控对象电灯泡等部分组成。

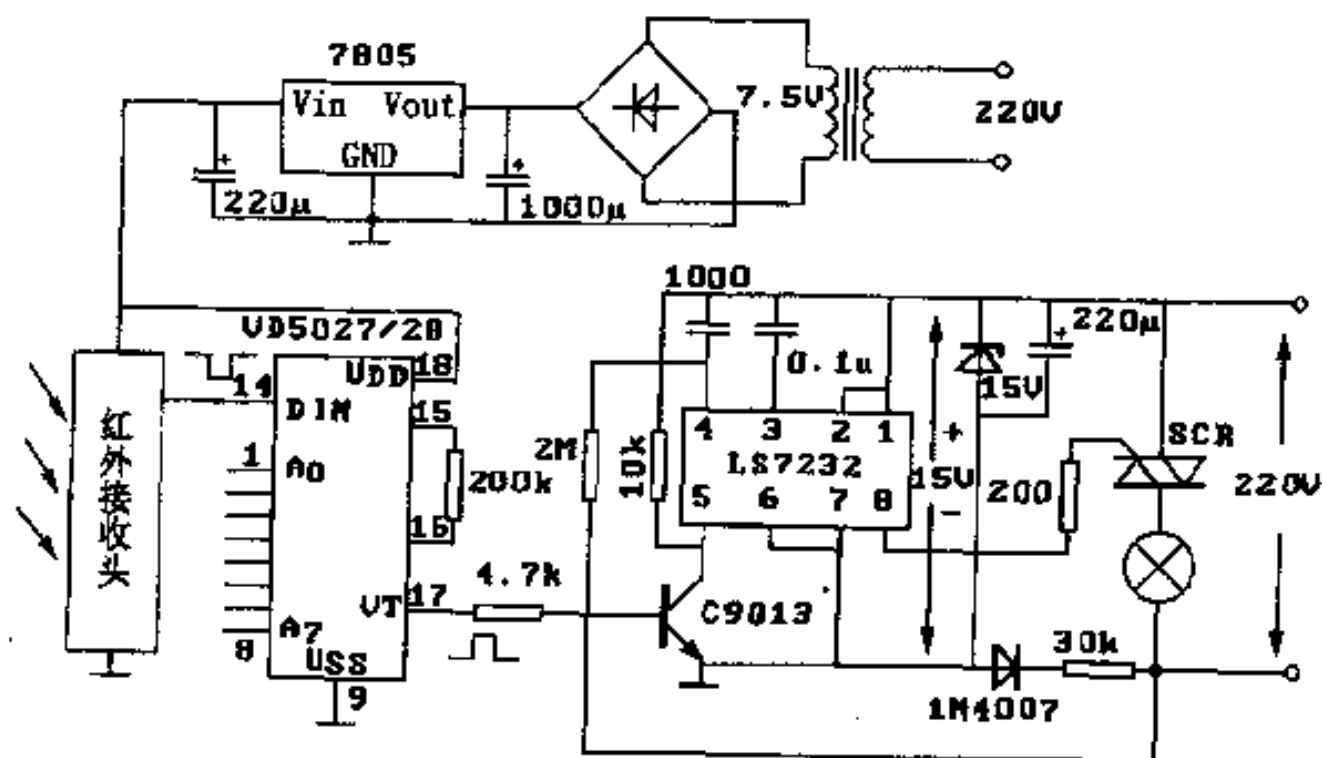


图 6-2 可变亮度灯光红外遥控接收装置

1. 调光集成芯片 LS7232

LS7232 是一种能为晶闸管提供触发脉冲的集成电路, 以 PMOS 工艺制成, 触发脉冲同步信号直接取自于市电 (不使用变压器), 触发脉冲移相角的改变是依靠加在 SEN 端⑤脚的低电平时间来控制的。LS7232 采用 8 脚双列直插塑封结构, 其引脚排列见附录 5, 各引脚功能如下:

引脚①—— U_{DD} ，电源正端，+12~+18V；

引脚②—— \overline{DOZE} ，该引脚为灯光亮度渐变控制端，在该引脚输入一个时钟信号，每个负脉冲都会使灯光变暗一些，灯光从最亮变到最暗需从该引脚输入 83 个负脉冲，平时将该引脚接 U_{DD} ；

引脚③——CAP，内部锁相环所需的外接电容输入端；

引脚④——SYNC，从市电取得的同步信号输入端；

引脚⑤—— \overline{SEN} ，触发脉冲控制端，低电平有效；

引脚⑥——SLAVE，该端与 \overline{SEN} 的功能相仿，但为高电平有效，一般将其接 U_{SS} 端；

引脚⑦—— U_{SS} ，电源负端；

引脚⑧——OUT，晶闸管的触发脉冲输出端。

LS7232 的典型应用如图 6-3。这是一个触摸式调光控制电

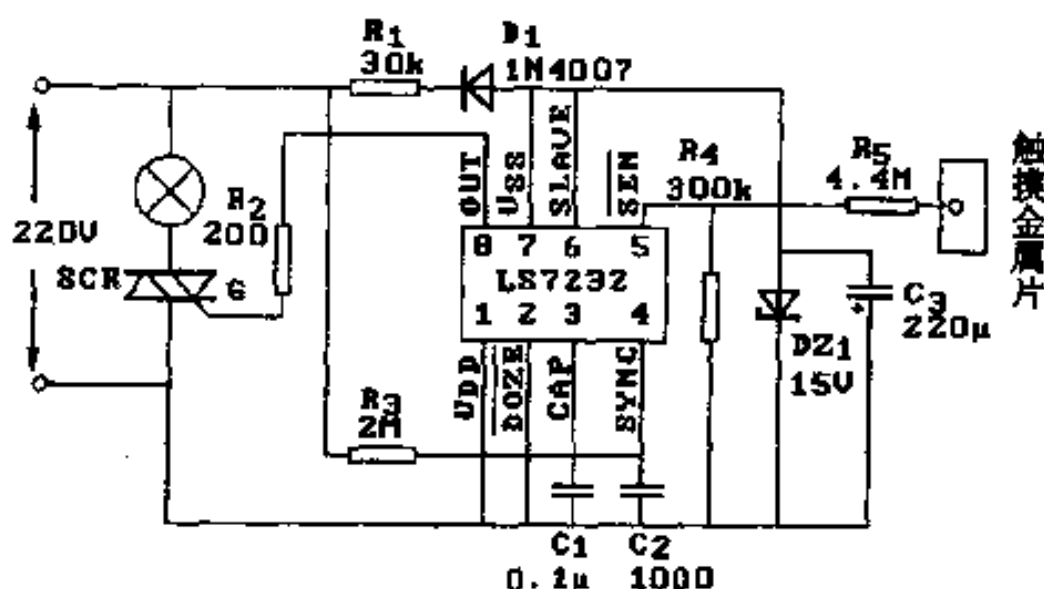


图 6-3 LS7232 的典型应用

路， R_1 、 D_1 、 DZ_1 、 C_3 构成整流、稳压、滤波电路，在 C_3 两端得到 15V 电源供芯片使用。2MΩ 的电阻 R_3 从市电引入内部锁相环电路所需的同步信号，以保证所产生的触发脉冲能与市电同步， \overline{SEN} 所需的低电平控制信号由人体触摸 R_5 的外引线端所得到的人体感应信号提供。 R_5 外引线端接一金属片，当人体触摸金属片时，能

够起到相当于给 $\overline{\text{SEN}}$ 端加一个低电平控制信号的作用。控制灵敏度与 R_4 大小有关, R_4 小则灵敏度低,反之则灵敏度高。限流电阻 R_5 不得小于 $4.4\text{M}\Omega$,否则人体触摸金属片时有触电危险。从OUT端输出的触发脉冲经过限流电阻 R_2 加到双向晶闸管SCR的控制极,晶闸管的导通角取决于市电每个半周内触发脉冲来到的时间的迟早,导通角增大则灯变亮,反之灯变暗。

2. 遥控调光原理

图6-2的接收、调光电路中,LS7232的接法与图6-3是一样的,仅 $\overline{\text{SEN}}$ 端不是由人体感应信号来触发,而是由三极管C9013来控制。当三极管导通时, $\overline{\text{SEN}}$ 被接向低电平,调光作用便开始。

当红外接收头收到发射器发出的红外光信号时,接收头解调后输出的编码信号进入解码器VD5027/VD5028的DIN端。由于编、解码器的地址线设置相同,所以VD5027/VD5028能正确解码并在VT端输出高电平,输出高电平的时间与发射器发射的时间相呼应,该高电平能使三极管C9013导通,因而触发了LS7232。可见,只要按住发射器发射按钮AN不放,那么LS7232的 $\overline{\text{SEN}}$ 端就会一直为低电平,被控灯光的亮度就会连续地渐渐改变。

本装置具有强抗干扰能力,任何其他遥控器的操作都不会对其产生作用。

二、窗帘红外遥控电路

窗帘启闭的动力是由直流电动机提供。电机转动时,通过齿轮变速、滑轮、引索等牵动窗帘的启闭,遥控电路的任务就是对直流电机实施正反转及启停遥控操作。

(一) 发射电路

发射电路如图 6-4 所示，它与图 6-1 的发射电路基本相同，不同之处是设有电源开关 K、按钮 AN₁ 和 AN₂。使用时先要打开电源开关，按住 AN₁，能遥控电机正转使窗帘开启，松开按钮则电机停止；同理，按住 AN₂，能遥控电机反转使窗帘闭合，松开按钮则电机停止。

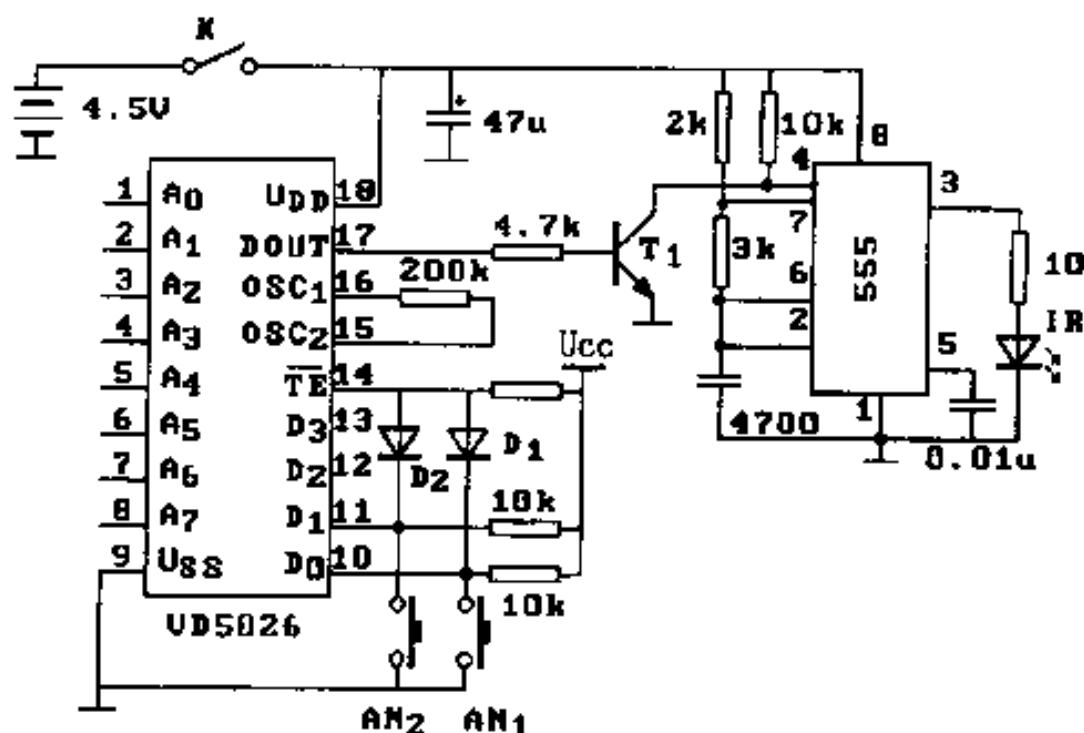


图 6-4 窗帘红外遥控发射电路

由图 6-4 可知，VD5026 的 D₀、D₁ 端平时为高电平。当 AN₁ 被按下时，VD5026 的“D₀”端（⑩脚）被接地，同时通过二极管 D₁ 把“TE”端（⑭脚）也接向低电平，此时能从⑦脚输出编码信号，通过三极管 T₁ 对 555 振荡器实行调制并使发射管 IR 发射出红外光脉冲，这时所发射的信息中携带的数据资料（即 VD5026 数据线的状态）为 D₁=1，D₀=0（D₃、D₂ 没有使用）；同理若按住 AN₂，所发送的数据资料为 D₁=0，D₀=1；若 AN₁ 和 AN₂ 都没被按住，则 VD5026 停止输出编码，其输出端（⑭脚）为高电平，经

三极管 T_1 倒相使 555 的④脚（直接复位端）为低电平，所以振荡器也不振荡，555 输出（③脚）为低电平，红外发射管 IR 不发射红外光。

（二）接收电路

接收电路如图 6-5 所示，为便于理解，我们先来看一看电机的正反转控制线路。

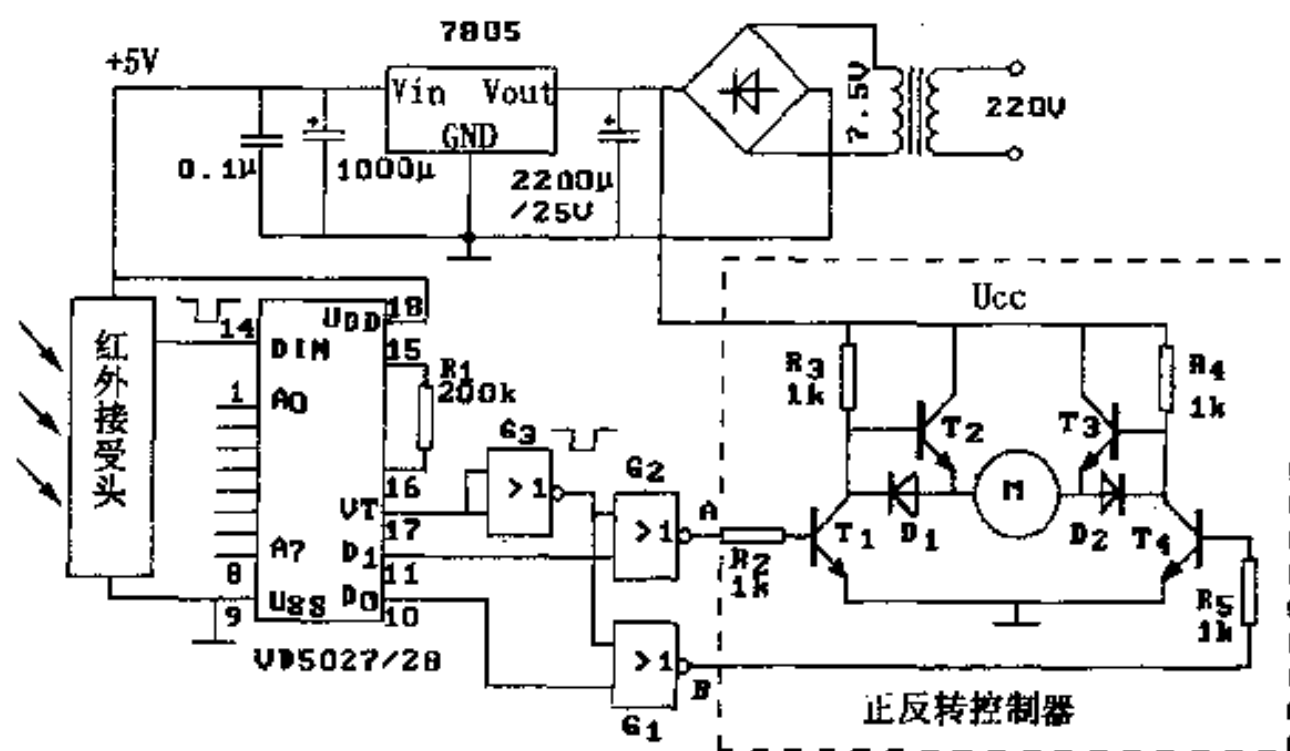


图 6-5 窗帘红外遥控接收电路

1. 正反转控制电路

图中虚线框内是控制直流电机正反转的电路，控制信号的输入点在图中分别标有 A 和 B，所要求的控制信号为 TTL 逻辑电平，即“0”或“1”。我们知道，要使直流电机反转，只要改变流过电机的直流电流的方向即可，图中电机为“M”，其电流情况有 3 种：一种是 $U_{CC} \rightarrow T_2 \rightarrow M \rightarrow D_2 \rightarrow T_4 \rightarrow \text{地}$ ，另一种是 $U_{CC} \rightarrow T_3 \rightarrow M \rightarrow D_1 \rightarrow T_1 \rightarrow \text{地}$ ，第三种是 M 上电流为零。下面针对输入控制端 A、B 的不同逻辑状态，分别分析电机 M 的电流情况。

① $A=1, B=0$: 因 A 为高电平, 所以 T_1 得到足够的基极电流而饱和导通, 把其集电极电位拉向约 $0.3V$, 这一电位也是三极管 T_2 的基极电位, 可知 T_2 截止; 又因 B 端为低电平, 所以 T_4 无基极电流而截止, 电源 U_{CC} 流经电阻 R_4 的电流别无去路只能流入 T_3 基极—电机 M —二极管 D_1 —三极管 T_1 到地, 于是使 T_3 饱和导通, 所以流经电机的电流路径为: $U_{CC}-T_3-M-D_1-T_1$ —地。

② $A=0, B=1$: 因为电路两边对称, 所以与①中的情况类似, 只是左右两边 (以电机 M 为中心) 的情况相反而已, 所以电流路径为 $U_{CC}-T_2-M-D_2-T_4$ —地。

③ $A=0, B=0$: A 、 B 两端均为低电平, 使 T_1 和 T_2 均不能导通, 截断了对地的通路, 没有任何电流流向地, 所以 M 无电流流过。

④ $A=1, B=1$: 因 A 、 B 两端均为高电位, 所以 T_1 和 T_2 均饱和导通, 同时把 T_2 和 T_3 的基极电位拉低, 使 T_2 和 T_3 都截止, 因此也没有电流流经电机 M 。

2. 正反转遥控原理及电路

当接收头收到发射电路发来的红外信号时, 解调后的编码信号输入解码器 $VD5027$ 。 $VD5027$ 的地址设置与编码器 $VD5026$ 完全相同, 所以它能正确解码, 在 D_1 、 D_0 端重现 $VD5026$ 的 D_1 、 D_0 端状态, 也就是按钮 AN_1 和 AN_2 的动作情况在此得到了体现。同时, 解码器 $VD5027$ 的 VT 端 (⑰脚) 送出高电平 (高电平时间与接收时间相同), 经过非门 G_3 倒相为低电平。该低电平同时加到或非门 G_2 和 G_1 的输入端, G_2 和 G_1 的另一个输入端分别接 $VD5027$ 的 D_1 和 D_0 , 这时 D_1 和 D_0 能以相反的逻辑状态出现在 G_2 、 G_1 输出端。概括地说: 当发射器 AN_1 被按住时, 会使接收器中的解码器 $VD5027$ 的 $D_1=1, D_0=0$, 而门电路 $G_2=0, G_1=1$, 也就是正反转电路的输入点 $A=0, B=1$ 。由前面对正反转电路的

分析可知,电机 M 有电流流过而转动;同理若 AN_2 被按住,则会使 $A=1, B=0$,电机 M 反方向转动;若 AN_1 和 AN_2 均不被按住,则接收电路没有接收到正确的红外编码信号,解码器 VD5027 的 VT 端为低电平,门电路 G_3 输出为高电平,使 $G_2、G_1$ 的输出总为低电平, T_1 和 T_4 总截止,电机 M 无电流流过。

三、射频遥控门铃

一般的门铃需要在墙上钻孔,以便把安装在门外的按钮开关信号用导线连到室内的门铃电路上。射频遥控门铃通过无线电波传送操纵信号,无线电具有穿透墙壁的能力,因此无需引线就可将门外的按钮操纵信号送到室内的门铃电路上,省去在墙上打孔的麻烦。该装置分为发射和接收两部分,微型发射装置安装在门外部,接收电路安装在门内部,为提高接收效果,尽可能把接收装置安装在靠近门的地方。

(一) 发射电路

1. 工作原理

发射电路见图 6-6 示。 $T_3、L_1、L_2、C_5、C_6、C_7$ 构成射频振荡发射电路,振荡频率主要由 C_7 和 L_2 确定,一般通过调整 C_7 来改变频率。该发射频率调整在 $250\sim 300\text{MHz}$ 范围时,外界干扰信号较少,有利于提高抗干扰性能。 $T_1、T_2、R_2\sim R_5$ 及 $C_1、C_2$ 组成多谐振荡器,产生约 2kHz 左右的低频方波从 T_2 集电极输出。振荡频率主要由 $R_3、R_4、C_1、C_2$ 调整, $R_2、R_5$ 对其亦有影响。一般取 $R_3=R_4、C_1=C_2, R_2=R_5$,这样可得到高低电平等宽的脉冲方波。从 T_2 集电极输出的方波经过 R_6 对振荡管兼发射管 T_3 进行幅度键控调制,使发射电路发射出间歇的等幅射频信号。该装置的

工作由按钮 AN 控制，使用 6V 电池供电。按下按钮时，电路发射信号，同时由发光二极管 LED 点亮以指示工作状态。

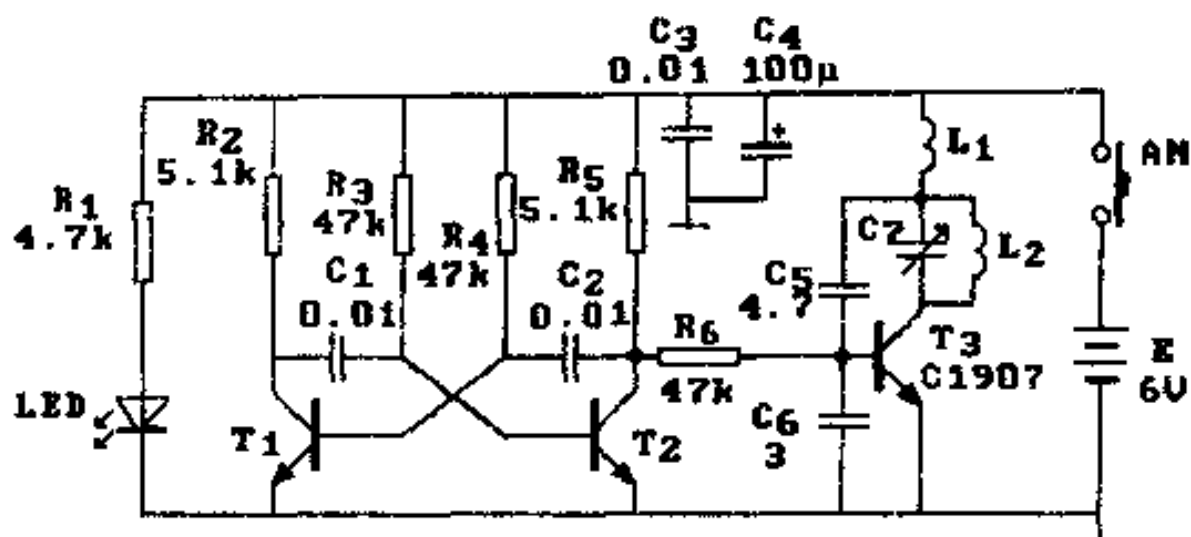


图 6-6 射频遥控门铃发射电路

2. 元器件选取

T₃——专用高频发射小功率三极管 C1907，该管特征频率高达 1.1GHz，或选其他专用射频三极管；

T₁、T₂——C9013、C9014、3DG6 等小功率 NPN 三极管；

L₁—— $\varnothing 0.51\text{mm}$ 漆包线绕 10 匝形成直径 $\varnothing 3\text{mm}$ 的空心线圈；

L₂——用 $\varnothing 1.0\text{mm}$ 漆包线 5cm，两头直角弯曲 0.8cm，竖立焊接在印刷板上形成一个矩形框，最好使用镀银线；

C₇——瓷介微调电容；

C₅、C₆——高频瓷片小电容。

(二) 接收电路

1. 工作原理

接收电路如图 6-7 所示。T₁、L₁、L₂、C₁、C₂ 等元件构成超再生接收检波电路，上偏置电阻 R₁ 对超再生接收的影响甚大，需仔细反复调整。接收频率由 L₁ 和 C₁ 确定，超再生检波后的微弱低

频信号（载波包络）经电阻 R_5 送入由 T_2 、 T_3 等组成的低频放大电路进行放大。 T_2 、 T_3 所构成的是两级阻容耦合的并联电压负反馈放大电路，偏流电阻分别是 R_6 和 R_8 ，其放大倍数除三极管本身的 β 值外，主要取决于集电极电阻 R_7 和 R_9 ，电容 C_7 和 C_{10} 、 C_{13} 用于抑制超再生电路所固有的噪声信号。信号经 T_3 放大后从其集电极输出一列低频脉冲，频率即为发射电路中多谐振荡器的频率。该脉冲经电容 C_9 耦合，二极管 D_1 、 D_2 倍压整流后，对电容 C_{11} 充电。当 C_{11} 上电压被充至 2V 左右时，通过电阻 R_{13} 即能触发音乐集成片发出音频信号，再经 T_4 推动扬声器 SP 发音。当发射器松开按钮停止发射后，接收器没有收到信号， T_3 集电极无低频脉冲输出， C_{11} 无充电源，所以稍过片刻， C_{11} 因放电使其两端电压下降到较小的数值，音乐片不能被触发而停止工作。电阻 R_{14} 为 C_{11} 提供一条放电通路，否则因音乐 IC 触发端输入阻抗很大， C_{11} 难以放电，音乐片会较长时间发音。 R_{11} 、 R_{12} 构成分压电路，使音乐 IC 供电电压不大于 5V。

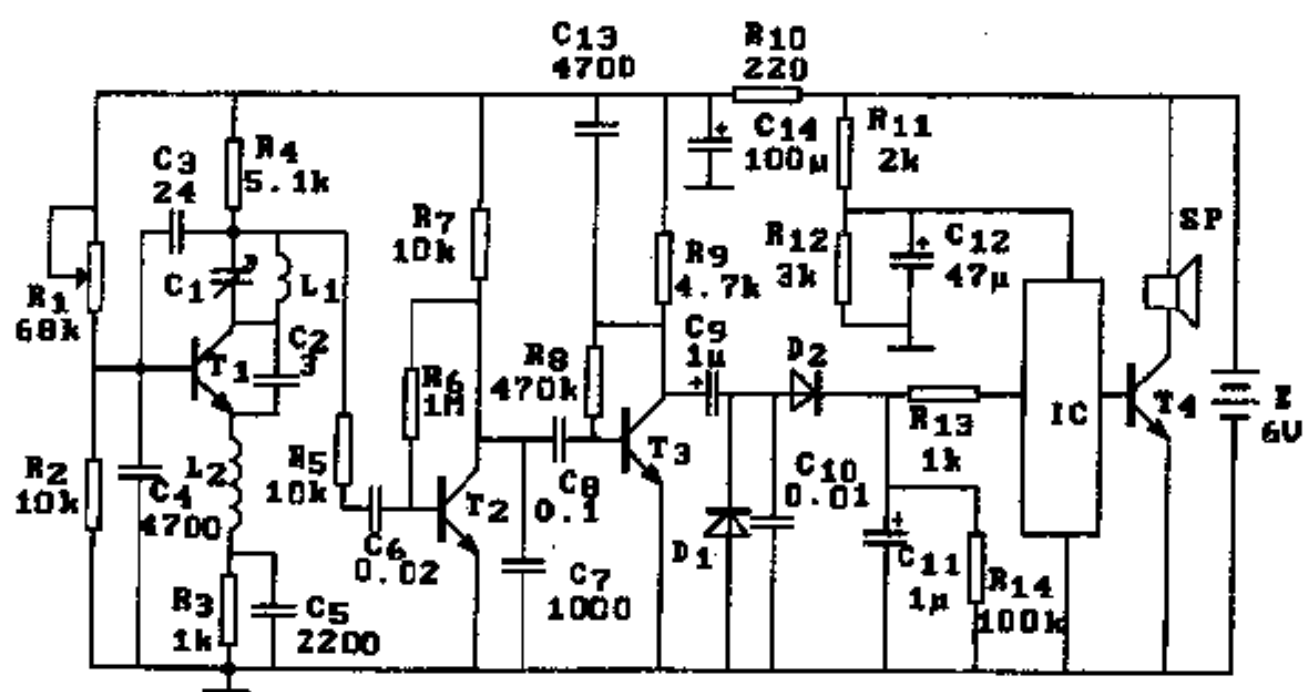


图 6-7 射频遥控门铃接收电路

2. 元件选取

T_1 ——高频小功率接收三极管 C9018 或其他，如 3DG56 等；

T_2 、 T_3 、 T_4 ——NPN 小功率低频三极管，如 C9013、C9014 等；

D_1 、 D_2 ——锗二极管 2AP 或 2AK 等；

音乐 IC——任取；

SP ——0.25W 小型普通动圈式扬声器；

L_1 ——直接在印刷板上制作一 $30\text{mm} \times 15\text{mm}$ 矩形框（即三角形），线条宽度 3.5mm，注意需使用高频性能好的印刷板；

L_2 ——用 $\varnothing 0.41\text{mm}$ 漆包线绕 15 匝形成 $\varnothing 3\text{mm}$ 的空心线圈；

C_1 ——瓷介微调小电容；

C_2 、 C_3 、 C_5 ——高频瓷片电容。

四、遥控电话线路锁

该装置能够有效控制电话的使用，节约话费。外部来话可照常使用，但若要向外打电话，必须使用一个射频遥控器打开“电子线路锁”方能通话，装置由发送器和接收器两大部分组成。

（一）发送电路

如图 6-8 示，这部分的电路基本与图 6-6 相同，三极管 T 及 L_1 、 L_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 等组成射频振荡发射电路，工作频率调整在 250~300MHz 之间；与图 6-6 不同的是多谐振荡器由 3 个非门电路（一片 74LS04）构成，振荡频率由 R_2 、 C_1 调整约为 2~3kHz，振荡输出的矩形脉冲通过电阻 R_3 对射频振荡发射管作幅度键控调制，发射器的工作由按钮 AN 操纵。

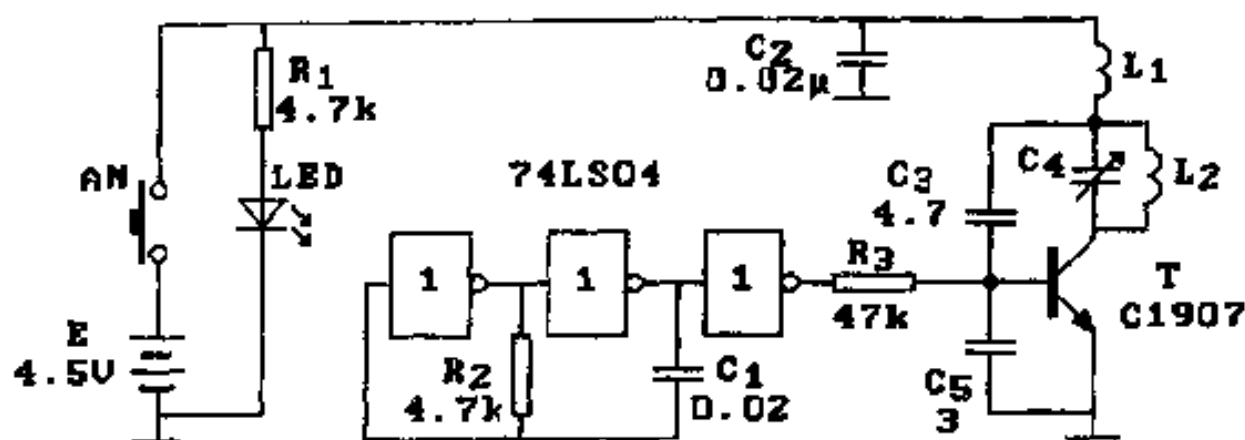


图 6-8 遥控电话线路锁发射电路

(二) 接收电路

1. 工作原理

接收电路如图 6-9 示，可以看做由超再生接收检波、低频放大、晶闸管触发电路、线路锁 4 个部分组成。

超再生接收检波电路由三极管 T_1 及相关元件组成，它与图 6-7 中的相应部分相同，此处不再重述。

集成电路 74HC04 内的 3 个非门电路以及 R_6 、 R_7 等构成小信号低频放大器，负责对超再生检波后所获得的微弱的调制信号进行放大。超再生检波恢复后的调制信号经电阻 R_5 送入第一级放大（由非门 G_1 等组成）后再送入 G_2 组成的放大器进一步放大，最后送入 G_3 整形，放大倍数由 R_5 、 R_7 调整， G_3 输出是一列矩形脉冲。

晶闸管触发电路由三极管 T_2 、 T_3 ，二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 等组成。当接收到遥控信号时，非门 G_3 输出的矩形波经 C_{13} 耦合，送入 D_1 、 D_2 倍压整流，然后对 C_{14} 充电。当 C_{14} 上的电压升高到约 0.7V 时， T_2 导通，为 T_3 (PNP 管) 的基极提供了基极电流通路，因而 T_3 具备导通条件。这时若提起电话机，就会有电流流经 T_3 的发射极—集电极—二极管 D_4 — R_{12} —晶闸管 SCR 的控制极，使

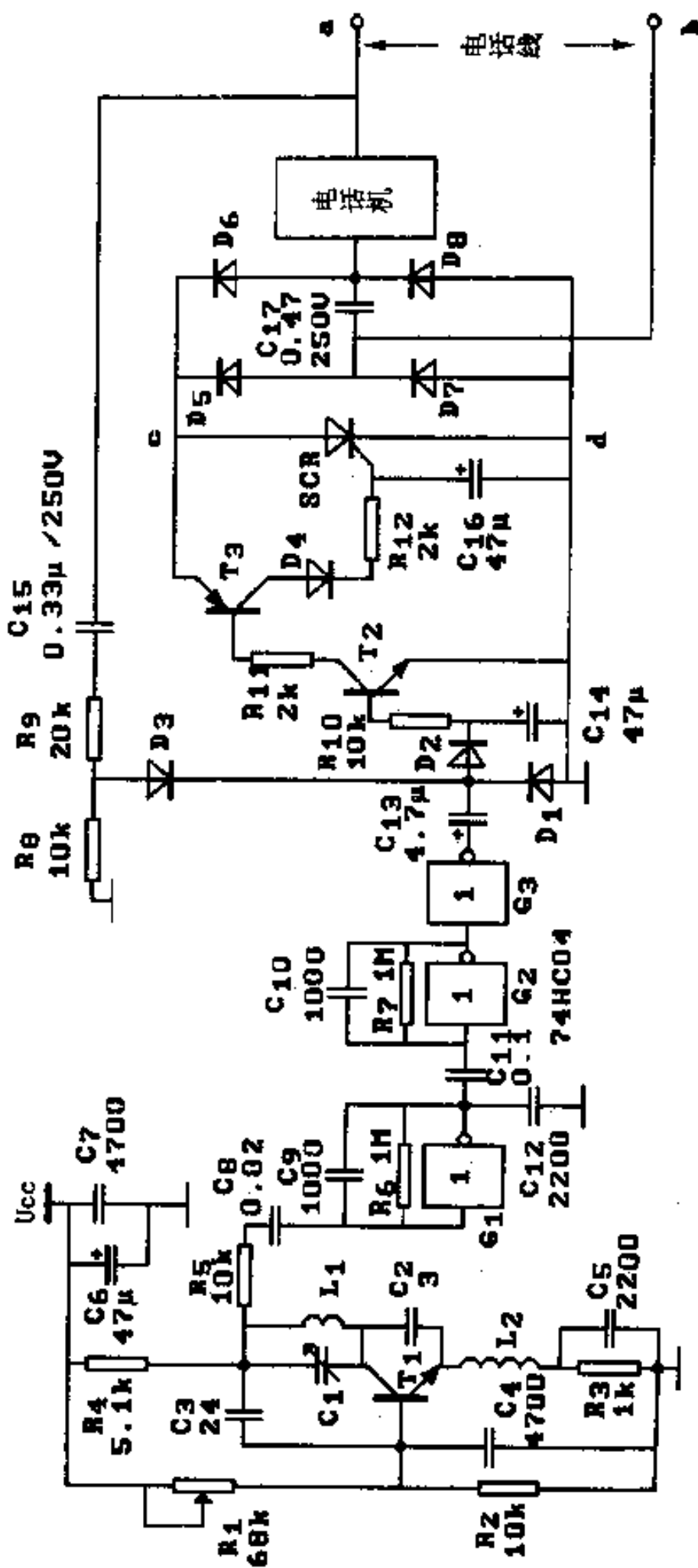


图 6-9 遥控电话线路锁接收电路

SCR 受触发而导通。

电话线路锁由晶闸管 SCR、二极管 $D_5 \sim D_8$ 等组成。 $D_5 \sim D_8$ 是一桥式整流电路,如果 SCR 处于导通状态,这时若提起电话机,那么电话线路 a~b 间形成通路。当 a 正 b 负时,电流路径为 a—电话机— D_6 —c 点—SCR—d 点— D_7 —b;当 b 正 a 负时,电流路径为 b— D_5 —SCR— D_8 —电话机—a。所以不论电话线路 a、b 两端正负情况如何,电话机均能与它们形成通路,这种情况下电话机可以向外拨号或通话。但若 SCR 没有导通(这时 T_2 、 T_3 也不会导通),则电话机就不可能与 a、b 两端形成回路,不能向外拨号或通话。可见只有使用遥控发射器发出遥控信号时,电容 C_{14} 才会被充电, T_2 、 T_3 才会导通,SCR 也才有可能导通,电话机才能向外拨号通话。电容 C_{14} 和 C_{16} 还兼有延时作用,当发射器停止发射后,短时间内因电容尚未充分放电,SCR 仍会有触发电流,在这小段时间(约 3s)内电话提机均可接通到线路上。

外部来电话时的工作情况如下:当电信局送来振铃信号时(振铃信号是 25Hz、有效值约为 75V 的正弦交流电压),这一电压出现在 a、b 两端,它可以通过电容 C_{17} 送达电话机,于是电话机响铃。另一方面,a 端为正 b 端为负的那半周可以经由电容 C_{15} —电阻 R_9 —二极管 D_3 — D_2 —电容 C_{14} — D_7 —b 构成回路,电容 C_{14} 被充电。当 C_{14} 上电压被充电至 0.7V 时, T_2 、 T_3 导通,向 SCR 注入触发电流,此时若提起话机,则话机即能与 a、b 构成回路而进入工作。电阻 R_8 起分压作用。

2. 元器件选取

超再生接收电路元件与图 6-7 相同。

$G_1 \sim G_3$ ——采用 CMOS 门电路,如 74HC04;

D_1 、 D_2 ——锗材料二极管 2AK 或 2AP;

SCR——小功率单向晶闸管;

$D_3 \sim D_8$ ——1N4004 或 1N4007 二极管；

C_{15} 、 C_{17} ——耐压须大于 250V。

五、小型无线传呼系统

本系统可作为学校、工厂、医院等中小型单位的无线传呼使用，发射机安装在单位总机值班室，由值班人员通过发射机上的编码开关设置编码来选择被呼对象，被呼对象各携带一个接收器，各个接收器的编码各不相同。

(一) 发射电路

发射电路如图 6-10 示。其中集成电路 HT-12E 是编码集成电路，它的基本功能与 VD5026 一样，所有引脚排列也一样，见附录 5。所不同的仅是地址线 $A_0 \sim A_{11}$ 只有两态，编码总数为 $2^{12} = 4096$ 组。编码的设置依靠机械式码盘开关来完成。码盘开关的基本结构是一个圆盘，圆盘上有许多触点，另有 4 根编码引出线，1 根公共线。旋转码盘于不同位置时，通过内部各触点的接触位置不同，可以使 4 根码线的某些根与公共线相通。图 6-10 中，各码盘的 4 根码线分别接电阻到电源，公共线接地。因此当某码线与公共线相通时该码线为“0”，其余为“1”，由此可使 4 根码线编出 4 位二进制的编码来，码盘圆周侧向标有“0~9”10 个数字，每个数字对应于圆盘的 1 种位置，也就是对应于 4 根码线的某种状态。每个码盘编出 10 个数码，图中 3 个码盘分别代表个、十、百位，可编数码为 000~999。首先，操作人员把码盘旋转到所需号码上，然后闭合开关 S，这时三极管 T 导通，触发了晶闸管 SCR 使其亦导通，于是射频发射头得电工作，同时编码集成电路 HT-12E 的 \overline{TE} 端被接地。HT-12E 能将 $A_0 \sim A_{11}$ 的状态形成一串特定的编码脉冲

从 DOUT 端串行输出, 经 R13 对射频电路进行幅度键控调制, 于是发射头向外发射间断的等幅波。电阻 R₉ 是 HT-12E 的振荡电阻, R₁₁ 和稳压管 DZ 构成 5V 的稳压电路, 向 HT-12E 提供 5V 的工作电压。电容 C₁~C₄ 均为退耦滤波电容, 与电解电容并联一个较小的电容是为了改善高频特性。

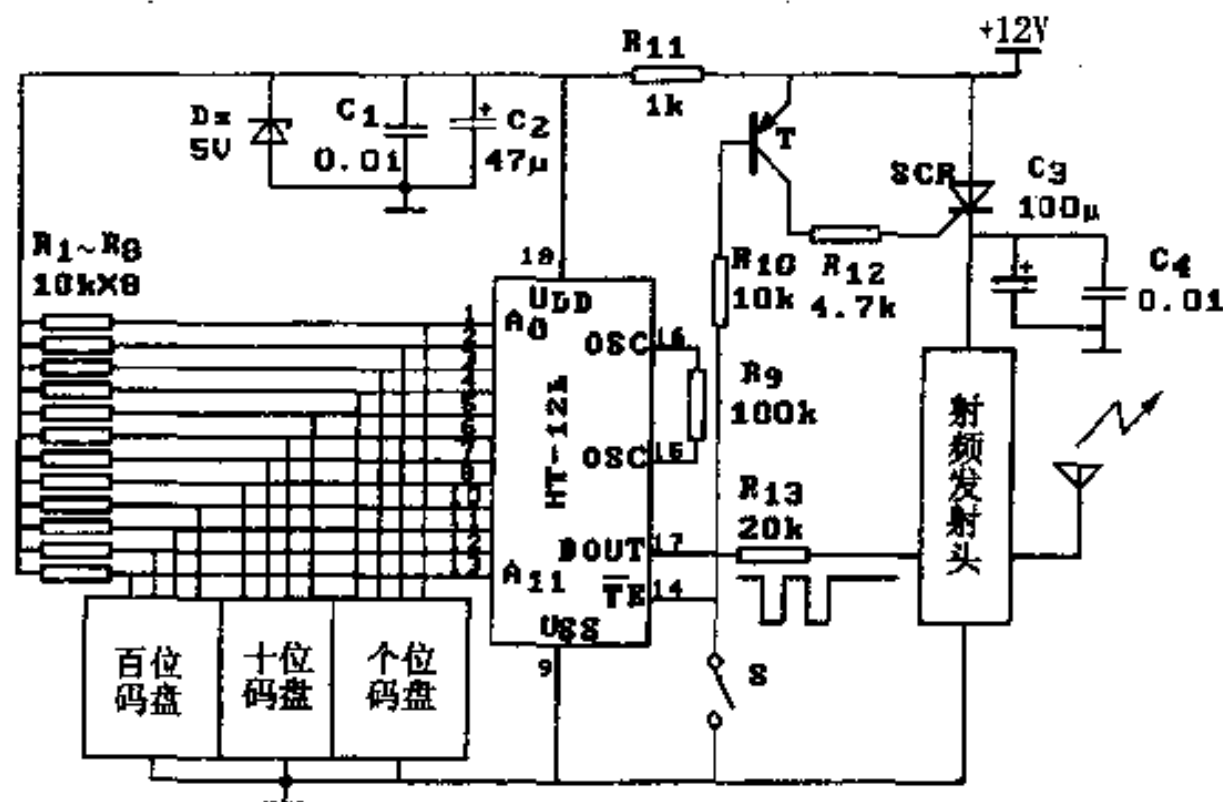


图 6-10 无线传呼系统发射电路

(二) 接收电路

接收电路如图 6-11 示, 所接收的射频信号在 L₁、C₁ 谐振回路两端产生最大的电压, 该电压进入高频放大器 IC₁ 进行适量放大然后经电容 C₄ 耦合到超再生接收电路。超再生接收电路的结构与图 6-7 及图 6-8 基本相同, 此处不再重述。接收频率由 L₃、C₈ 调整。检波后的调制信号 (即编码信号) 通过 R₆、C₁₃ 耦合至非门 G₁ 组成的小信号放大器放大。G₂ 及 G₃ 分别组成两级与 G₁ 相同的放大器, 对 G₁ 送出的信号进一步放大, 然后再经非门 G₄、G₅ 整形

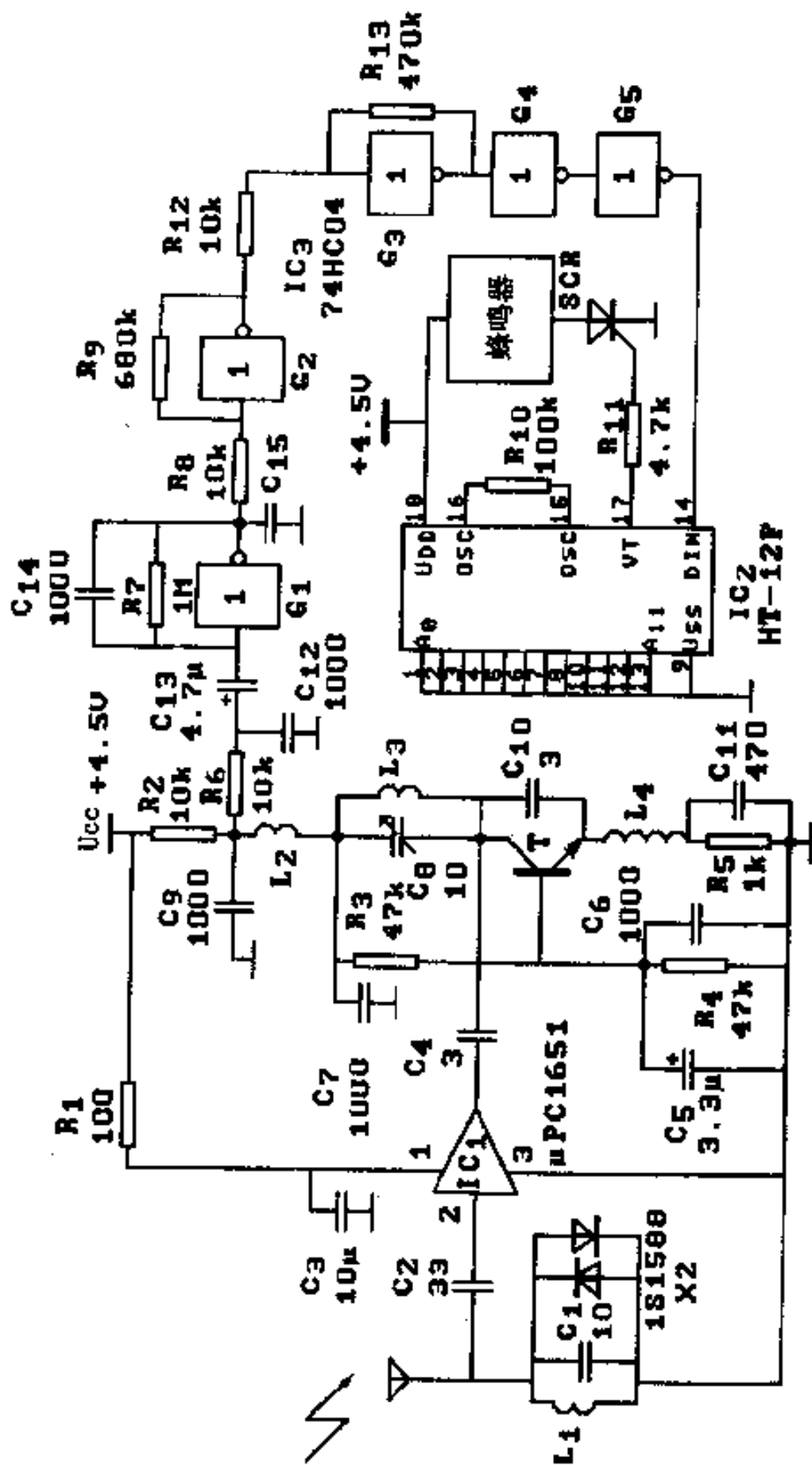


图 6-11 无线传呼系统接收电路

送入解码器 HT-12F 的 DIN 端。解码器 HT-12F 的功能与 VD5028 的基本相同，其引脚排列也与 VD5028 相同（见附录 5），所不同的仅是 $A_0 \sim A_{11}$ 全为地址线并且只有两态。通过对 $A_0 \sim A_{11}$ 各引脚的接高电平或接低电平进行编码，各个接收器均设置成不同的编码，并在值班室登记注册，图示例子为简单起见把 $A_0 \sim A_{11}$ 全部接地，编码为“000”。发射器所发射的射频信号虽然被所有的接收器收到，但惟有 $A_0 \sim A_{11}$ 的编码与发射器中 $A_0 \sim A_{11}$ 编码相一致的那一个，才能对于从 DIN 端送入的串行编码信号进行正确解码，于是从 VT 端送出一个正脉冲，去触发晶闸管 SCR 使之导通，则微型电子蜂鸣器得电而发出讯响。

六、16 路射频遥控报警系统

本系统是由一台接收主机和若干台（最多 16 台）无线发射分机组成的射频遥控报警群。发射机安装在各不同的报警点上，遇有非法入侵者，即发射出报警信号，接收机收到警讯后能在 LED 显示器上显示出报警点位置（以序号表示）。

（一）发射电路

发射机电路如图 6-12 所示。由热释电红外传感器、放大器、比较器、电源控制、编码电路、射频发射模块等部分组成。

1. 热释电红外传感器

热释电红外传感器是一种能以遥感的形式，感应出移动人体所发出的微量红外线，并将其转换为微弱的电信号输出的探测器件。图 6-12 中， T_1 为热电红外传感器及场效应管（制成一体）。热释电效应早在 18 世纪就已经被人们在电石中观察到了，但是直到近 20 年人们才开始利用这一效应制成热释电探测器并加以应用。

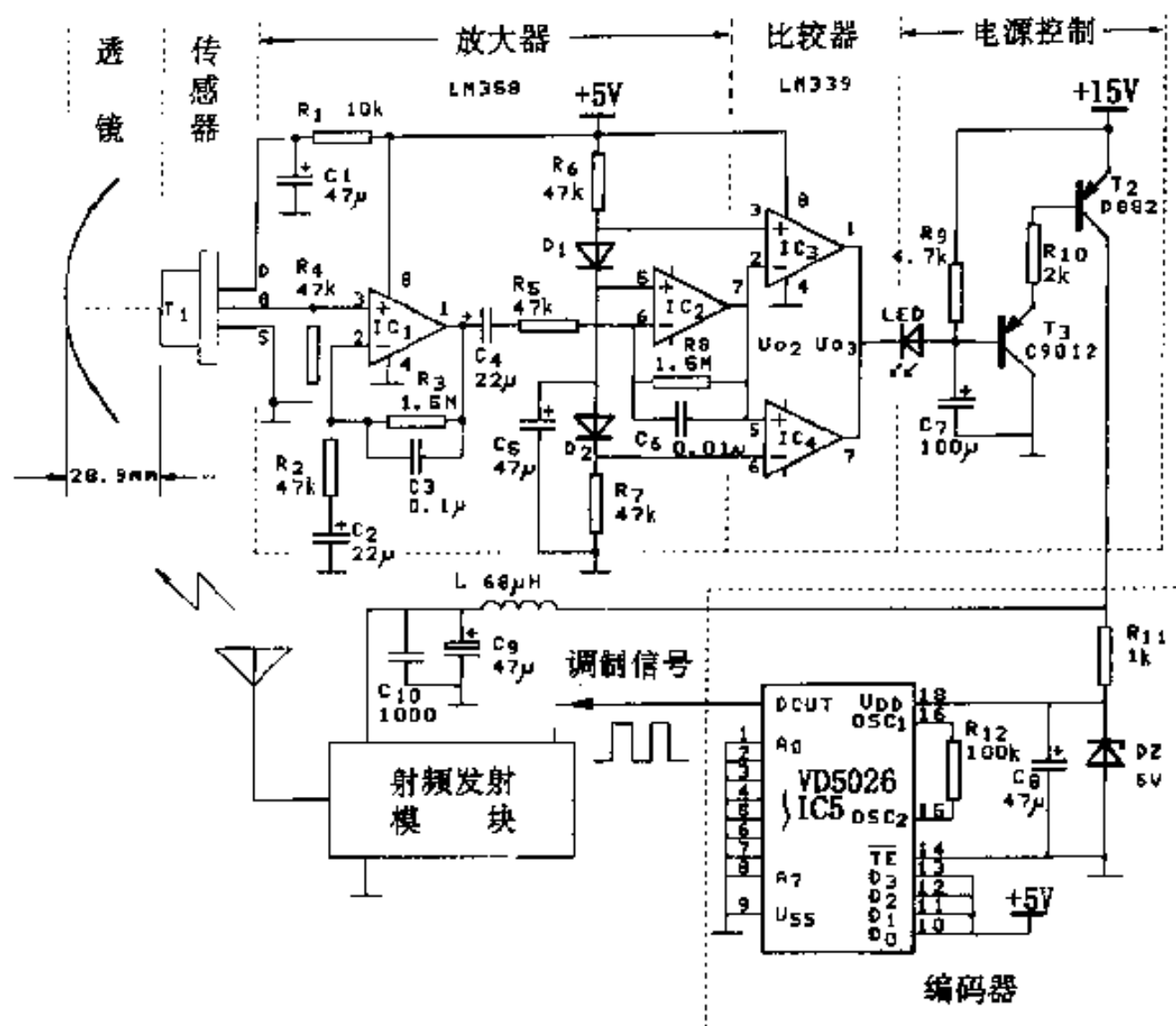


图 6-12 16 路射频遥控报警发射电路

与其他类型的热探测器相比,热释电探测器具有许多突出的优点:其工作频率较高,可达几百千赫以上;温度范围宽,受环境温度影响较小;从近红外($2\mu\text{m}$)到远红外(1mm)具有较均匀的吸收率,并容易制作成各种形状。热释电探测器实际是一种热伏器件,工作原理基于热电效应,热电材料表面吸收红外光线时温度发生变化,因而其表面电荷亦随之而变,由此得到电信号,它所探测的光谱响应主要由红外透光窗的材料(器件内部)来决定。热释电红外探测器有很广泛的用途,例如 X-Y 轴成像扫描器、线阵列热像系统、热释电摄像管、辐射计、高速光谱仪、激光探测仪等,更是人体红外报警和遥控应用中不可缺少的器件。

热释红外传感器外形封装有金属壳体和塑封两种。从其内部结构来区分有：单元件、双元件、四元件以及特殊结构等形式。从使用的波长来区分有：1~20 μm ，适用温度遥测；(4.35 \pm 0.15) μm ，适用于火焰检测；7~14 μm 适用于防盗报警、自动门、节能灯等。

热释红外传感器在实际使用中必须配菲涅耳透镜，否则监测距离只有2~3m，透镜的作用是起能量“聚焦”作用，配用优质菲涅耳透镜，监测距离可以达到10m以上。菲涅耳透镜是一种特殊设计的精密光学系统，它不同于玻璃透镜，是用聚乙烯材料注成的薄片，必须严实地安装在塑料壳体上，并与红外传感器保持规定的距离。透镜有各种不同的规格，具有不同的特点和几何尺寸，所以各种不同的透镜，只能和相应的外壳配套。

当镜面上接收到红外信号时，热释红外传感器能滤去高低端的无用信号，并进行聚焦，只允许7~14 μm 波长的光信号进入传感器。传感器内部有两组敏感芯片，极性相反，串联相接。当周围固定物体所发射的红外线进入时，两组芯片所产生的电压极性相反、大小相等而相互抵消，使输出为零。而当有移动红外信号进入时，两组芯片所感应的电压不等，有信号输出，经场效应管作阻抗变换后，送入放大电路，因此热释电红外传感器只能检测移动人体（或其他动物）的信号。

2. 放大器

放大器使用一片双运放LM358组成两级比例放大电路， IC_1 和 IC_2 分别为1/2 LM358。 IC_1 构成同相端输入的比例放大电路，信号从同相端（③脚）输入，放大倍数确定于 R_3 与 R_2 之比值， C_3 起抑制干扰和高频成分的作用。 IC_2 组成反相输入的比例放大电路，放大倍数取决于 R_8 和 R_5 之比值。该放大器同相端的电位由 R_6 、 R_7 及二极管 D_1 、 D_2 构成的分压电路固定为 $U_{\text{CC}}/2$ ，

所以其输出的信号（⑦脚）的中点电位是 $U_{CC}/2$ ，LM358 的引脚排列见附录 5。

3. 比较器

IC_3 、 IC_4 是电压比较器，它们分别是 1/4 LM339。LM339 是专用比较器，一片芯片内含有 4 个独立的电压比较器，这里使用了其中的两个构成窗口比较器。LM339 的输出为集电极开路形式，引脚见附录 5。由图 6-12 中可知， IC_3 的同相端电位（参考电压）为 $U_{CC}/2 + 0.7V$ ， IC_4 的反相端电位（参考电压）为 $U_{CC}/2 - 0.7V$ 。当 IC_2 的输出信号 $U_{O2} > U_{CC}/2 + 0.7V$ 时， IC_3 的反相端电位高于同相端，故输出管导通（集成电路内部），把输出端电位拉向低，而 IC_4 的同相端高于反相端，其输出管截止，对其他电路无影响。当 IC_2 输出 $U_{O2} < U_{CC}/2 - 0.7V$ 时， IC_3 的反相端低于同相端，故其输出管截止；而 IC_4 的同相端低于反相端，故其输出管导通，把输出端电位拉向低。由上分析可以得出结论：当 $U_{O2} > U_{CC}/2 + 0.7V$ 或 $U_{O2} < U_{CC}/2 - 0.7V$ 时， U_{O3} 为“0”，而 U_{O2} 落在 $U_{CC}/2 \pm 0.7V$ 范围内时， U_{O3} 为“1”。这 0.7V 即为比较器的阈值，它确定了比较器的灵敏度，也与整个探测器的灵敏度息息相关。

4. 电源控制电路

电源控制电路对编码及射频发射电路的电源供给实施控制，当比较器输出 U_{O3} 为“0”时，通过发光二极管 LED 把 PNP 管 T_3 的基极电位拉低，使其导通。 T_3 的导通又使 T_2 产生较大的基极电流，使 T_2 饱和，则 +15V 电源便经由 T_2 送给编码及发射电路使它们进入工作，发射出报警信号。 T_3 基极所接电容 C_7 起延时作用，使 T_2 的饱和能维持一会儿以保证发射信号有一定的时间。注意这里使用的比较器 IC_3 、 IC_4 输出级为集电极开路形式，非开路形式在此不能与后面的电路匹配。

5. 编码电路

编码电路由 VD5026 构成，整个报警系统的所有编码器地址均必须相同，本例全部接地。但数据线 $D_3 \sim D_0$ 的接法各不相同，它们共有 16 种组合状态。在图 6-12 中， $D_3 \sim D_0$ 全部接高电平，即 $(D_3 D_2 D_1 D_0) = 1111$ ，该信息被射频载波运载至接收机中，接收机即能根据这一信息判断发警地点。

6. 射频发射电路

射频发射电路采用成品发射模块，所需注意的是它所要求的调制信号的极性以及驱动功率，应根据有关产品说明使用。

概括地说，发射电路的工作过程可简述为：当有人进入红外探测器的探测范围内时，放大器 IC_2 的输出 U_{O2} 就会变高或变低，若变化范围超过 0.7V，则比较器输出 U_{O3} 为低电平，使发射电路得电发射出射频报警信号。

(二) 接收电路

接收电路如图 6-13 所示，由射频接收头、解码器 VD5027、智能部件 AT89C2051、LED 数码显示器和讯响电路等所组成。当接收到报警信号时，AT89C2051 能够识别出发警点的“序号”，并将其显示于 LED 显示器，同时使蜂鸣器发出讯响。若有一个以上的报警信号，显示器会轮流闪烁地显示各个报警点“序号”。

1. 射频接收头

射频接收使用了成品接收模块，模块解调后恢复出发射端的编码信号，必须注意该信号极性必须与发射端编码器 VD5026 输出编码信号相同。

2. 解码器

解码器使用 VD5027，其 $A_0 \sim A_7$ 的接法与编码器 VD5026 相同，解码输出的信号 $D_3 \sim D_0$ 是编码器 $D_3 \sim D_0$ 设置状态的重现，因

而能代表报警点的序号(即地点)。另一个输出信号是“VT”端的正脉冲,它告知解码已正确,可以对 $D_3 \sim D_0$ 的状态进行识别了。

3. 智能部件 AT89C2051

AT89C2051 是一种廉价的高性能通用型单片微型计算机,通称单片机,其双列直插 20 脚封装的引脚排列见附录 5,各引脚功能简介如下:

U_{DD} ——电源正端, 2.7~6V;

U_{SS} ——电源负端,地线;

X_1 、 X_2 ——外接晶体振荡器,提供时钟脉冲信号;

RST——复位端,该端加高电平时器件进入复位状态,正常工作时须为低电平;

P1.0~P1.7——输入/输出口线,既可作为输入也可以作为输出,相当于人的耳、眼及触觉,能够接受外部信息,同时又相当于人的手、脚、口等器官,能向外输出信号或力量,通常称为 P1 口;

P3.0~P3.5、P3.7——相似于 P1 口,称之为 P3 口,但除上述的输入/输出功能以外,另外还有一些特殊功能,此处不详述。

AT89C2051 神通广大,能做很多事情,被称为“智能”部件,是因为它具有类似人的思维、判断能力,需要它做什么事、实现什么样的逻辑功能或进行怎样的运算,必须由人事先给它安排好日程表,安排好做各种事件的次序、步骤。这些“安排”不是用文字写在纸上,而是用二进制的数码来表示,并将其写入到器件内部的存储器中去。这些二进制的代码称为机器码,而以那些代码所表示的从事各项活动的各种“安排”称为指令。可见 AT89C2051 要在什么时候、什么情况下完成哪些工作,完全由人的“安排”而定,也就是确定于指令集合,即常说的“程序”或“软件”,它是单片机的“灵魂”,而电路、器件本身是“驱体”,称

为“硬件”。

在这里 AT89C2051 仅承担较简单的工作，其主要任务如下：首先，P3.7 检测 VD5027 的 VT 端有没有正脉冲到来，如有，表明 VD5027 已正确解码，故立即由 P3.2~P3.5 读入 VD5027 的 $D_0 \sim D_3$ 状态；其次，把读入的信息（二进制码）翻译成适合于 7 段共阳 LED 显示器的“段码”，并输出；然后它必须设法把显示数的“十位”正确地显示在左边的数码管，把“个位”正确地显示在右边的数码管。解决问题的关键是对 LED 数码管的共阳端（COM 端）实施控制，这由 AT89C2051 的 P3.0 和 P3.1 再通过三极管 T_1 和 T_2 达到控制目的。由图可知，两个数码管的阴极 a、b、c、d、e、f、g 对应并联在 AT89C2051 的输出端 P1.0~P1.6 上。当 AT89C2051 的 P1.0~P1.6 送出的是“十位”的段码时，对应地由 P3.0 送出低电平，于是 PNP 型三极管 T_1 导通，+5V 电源经过 T_1 加给“十位”数码管的阳极，该管点亮；而 P3.1 送高电平，使 T_2 不能导通，因此“个位”数码管没有阳极电源而熄灭。同理可以使“个位”点亮，“十位”熄灭。上述两种情况交替出现，使十位和个位轮流显示。只要轮流的速度足够快，由于人眼的“视觉暂留”特性，看到的将是连贯的两位数字，这种方式称为扫描显示方式，它与电视屏幕的显像原理基于同一基本原理。

如果 AT89C2051 从 P3.2~P3.5 读到的数据码有变化，则表明另有报警点发射来报警信号，AT89C2051 能把不同报警点的“序号”闪烁地轮流显示。此外 AT89C2051 还从 P1.7 送出讯响信号。当输出为低电平时，三极管 T_3 导通，电子蜂鸣器即发讯，直到人工使用按钮 AN 使 AT89C2051 复位为止。电容 C_1 、电阻 R_1 构成上电复位电路，接通电源瞬间，由电容使 RST 端瞬间为高电位，AT89C2051 进入复位，稍后电容充电满，RST 端成为低电平，复位结束进入工作，按钮 AN 用于人工复位。

4. 显示与讯响

显示采用 2 只共阳 8 段 LED 显示器，其中小数点不使用。讯响采用 DC 6V 的电子蜂鸣器，其内部已包含压电蜂鸣片、振荡器和驱动器，只要加以电源电压就能发出讯响。

附录 1 常用红外发光二极管性能参数

HG410 系列红外发光二极管性能参数

型号	正向工作电流 I_F (mA)	反向漏电流 I_R (μ A)	反向耐压 U_R (V)	发射功率 P_o (mW)	正向压降 U_F (V)
HG411 (5GL)	30	≤ 50	≥ 5	1~1.5	≤ 1.5
HG412	30	≤ 50	≥ 5	1.5~2	≤ 1.5
HG413	30	≤ 50	≥ 5	2~2.5	≤ 1.5

HG500 系列红外发光二极管性能参数

型号	正向工作电流 I_F (mA)	发射功率 P_o (mW)	正向压降 U_F (V)	发光波长 λ_p (μ m)	带宽 $\Delta\lambda$ (μ m)
HG501	200	10~20	1.6~1.8	0.93	< 0.04
HG502	200	20~30	1.6~1.8	0.93	< 0.04
HG503	200	30~40	1.6~1.8	0.93	< 0.04
HG504	200	40~50	1.6~1.8	0.93	< 0.04
HG505	200	50~70	1.6~1.8	0.93	< 0.04
HG506	200	70~100	1.6~1.8	0.93	< 0.04

TLN 系列红外发光二极管性能参数

型号	正向工作电流 I_F (mA)	正向压降 U_F (V)	发射功率 P_o (mW)	发光波长 λ_p (μ m)	带宽 $\Delta\lambda$ (μ m)
TLN104	60	1.5	> 2.5	0.94	< 10
TLN107	50	1.5	> 1.5	0.94	< 10

HG520 系列红外发光二极管性能参数

型号	正向工作电流 I_F (A)	发射功率 P_o (mW)	正向压降 U_F (V)	发光波长 λ_p (μm)	带宽 $\Delta\lambda$ (μm)
HG521	3	100~150	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG522	3	150~200	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG523	3	200~250	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG524	3	250~300	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG525	3	300~400	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG526	3	400~500	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG527	3	500~550	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG528	3	550~600	≤ 2.0	0.93	< 0.04
HG529	3	600~650	≤ 2.0	0.93	< 0.04

HIR 系列红外发光二极管性能参数

型号	正向压降 U_F (V)	反向漏电流 I_R (μA)	发射功率 P_o (mW)	发光波长 λ_p (μm)	带度 $\Delta\lambda$ (μm)
HIR405B	≤ 1.5	≤ 10	≥ 6.0	0.94	0.05
HIR305B	≤ 1.5	≤ 10	≥ 9.0	0.88	0.08
HIR405C	≤ 1.5	≤ 10	≥ 6.0	0.94	0.05
HIR305C	≤ 1.5	≤ 10	≥ 9.0	0.88	0.08
HIR403B	≤ 1.5	≤ 10	≥ 3.0	0.94	0.05
HIR303B	≤ 1.5	≤ 10	≥ 5.0	0.88	0.08
HIR403C	≤ 1.5	≤ 10	≥ 3.0	0.94	0.05
HIR303C	≤ 1.5	≤ 10	≥ 5.0	0.88	0.08

LN 系列红外发光二极管性能参数

型号	正向工作电流 I_F (mA)	发射功率 P_o (mW)	正向压降 U_F (V)	发光波长 λ_p (μm)
LN51L	100	3	1.5	0.95
LN51F	100	3	1.5	0.95
LN52	100	3.5	1.6	0.95
LN55	50	1.8	1.5	0.95
LN57	50	3	1.5	0.95
LN58	50	1.8	1.5	0.95
LN61C	100	3	1.6	0.95
LN62S	50	1.5	1.5	0.95
LN65	100	4.3	1.6	0.95
LN66	100	3	1.6	0.95
LN70	75	0.6	1.5	0.91
LN71	75	0.3	1.5	0.91

附录 2 常用光敏二极管与光敏三极管性能参数

HPD 系列光敏二极管性能参数

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (nA)	光电流 I_L (μ A)	响应波长 λ_p (μ m)
HPD711	≥ 30	≤ 30	≥ 50	0.94
HPD712	≥ 30	≤ 30	≥ 50	0.94

2CU 系列光敏二极管性能参数

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (μ A)	光电流 I_L (μ A)	响应波长 λ_p (μ m)
2CU1A	10	≤ 0.2	≥ 80	0.88
2CU1B	20	≤ 0.2	≥ 80	0.88
2CU1C	30	≤ 0.2	≥ 80	0.88
2CU1D	40	≤ 0.2	≥ 80	0.88
2CU2A	10	≤ 0.1	≥ 30	0.88
2CU2B	20	≤ 0.1	≥ 30	0.88
2CU2C	30	≤ 0.1	≥ 30	0.88
2CU2D	40	≤ 0.1	≥ 30	0.88

HPT 系列光敏三极管

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (nA)	光电流 I_L (μ A)	响应波长 λ_p (μ m)
HPT605C	≥ 30	≤ 100	≥ 600	0.94
HPT665C	≥ 30	≤ 100	≥ 600	0.94

PH 系列光敏二极管

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (nA)	光电流 I_L (μ A)	响应波长 λ_p (μ m)
PH300	50	10	30	0.80
PH300F	50	10	5	0.80
PH302C	30	20	10	0.90
PH303	30	50	50	0.90
PH304	50	10	8	0.80
PH313	30	50	35	0.90

PN 系列光敏三极管

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (nA)	光电流 I_L (μ A)	饱和压降 U_{CES} (V)
PN101	30	300	1.5	0.4
PN107	20	2000	5	0.6
PN108CL	20	2000	3.5	0.6
PN110	20	2000	0.8	0.6
PN115	20	2000	2	0.6
PN150	20	1000	1	0.5
PN205	20	500	0.2	1.5
PN208	20	500	0.2	1.5

TPL 系列光敏三极管性能参数

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (μ A)	光电流 I_L (mA)	饱和压降 U_{CES} (V)
TPL104	>25	<10	150	<0.8
TPL107	>25	<10	100	<1

3DU 系列光敏三极管性能参数

型号	反向击穿电压 U_{BR} (V)	暗电流 I_D (μA)	光电流 I_L (mA)	响应波长 λ_p (μm)
3DU31	≥ 15	≤ 0.3	≥ 2	0.88
3DU32	≥ 45	≤ 0.3	≥ 2	0.88
3DU51	≥ 15	≤ 0.2	≥ 0.5	0.88
3DU52	≥ 45	≤ 0.2	≥ 0.5	0.88
3DU11	≥ 15	≤ 0.3	0.5-1	0.88
3DU21	≥ 15	≤ 0.3	1-2	0.88
3DU34	≥ 30	≤ 0.2	4-6	0.88
3DU5	≥ 30	≤ 0.2	0.5-1	0.88

附录3 常用超声波传感器性能参数

MA40LIR/S 型超声传感器

型号	用途	中心频率 (kHz)	灵敏度 (dB/V/Vb)	指向角 (°)
MA40LIR	接收	40	-65	60
MA40LIS	发射	40	96	60

UCM40R/T 超声传感器

型号	用途	灵敏度 (dB/V/Vb)	中心频率 (kHz)	电容量 (pF)	绝缘电阻 (MΩ)
UCM40R	接收	-65	40	1700	>100
UCM40T	发射	110	40	1700	>100

EFR-RSB40K 型超声波传感器

型号	用途	中心频率 (kHz)	灵敏度 (dB/V/Vb)	输出声压 (dB)	指向角 (°)
EFR-RSB40K2	发射或接收	40	-60	118	80
EFR-RSB40K3	发射或接收	40	-67	113	75

EAC-2M 型超声传感器

型号	用途	频率特性 (kHz)	灵敏度 (dB)	阻抗 (kΩ)	电容 (pF)
EAC-2M01A	发射	40-60	106	4	800
EAC-2M02A	接收	40-57	-70	18	180

T/R 系列超声波传感器

型号	用途	中心频率 (kHz)	灵敏度 (dB/V/Vb)	输出声压 (dB)	电容 (pF)
T/R40-24	T 为发射	40±1	-64	115	2400
T/R40-18	R 为接收	40±1	-64	115	2400
T/R40-16	末尾数字	40±1	-64	115	2400
T/R40-12	代表直径	40±1	-67	112	2500

SE05B 型超声波传感器

型号	用途	中心频率 (kHz)	灵敏度 (dB/V/Vb)	指向角 (°)	电容 (pF)
SE05B-40T	发射	40±1	17±6	40	1400±20%
SE05B-40R	接收	40±1	-56±6	40	1400±20%

MA 系列超声波传感器

型号	用途	中心频率 (kHz)	灵敏度 (dB/V/Vb)	频带宽度 (kHz)	方向性 (°)
MA40LIR	接收	40	-65	±2	50
MA40LIS	发射	40	>110	±2	50
MA40LIA	接收	40	-73	±2	40
MA23LS	接收	23	-70	±2	60

附录 4 常用小型继电器性能参数

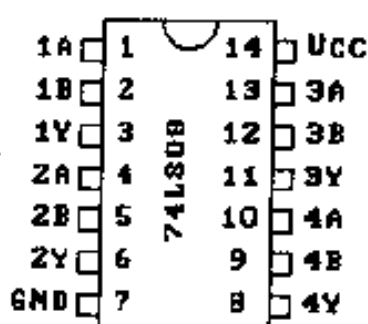
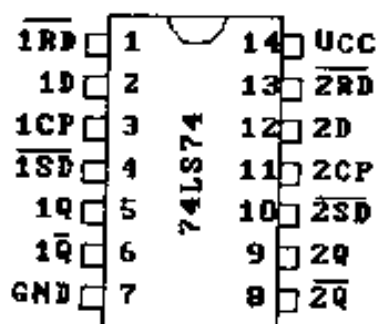
JRC 系列小型继电器

型号规格	线圈电阻 $\Omega \pm 10\%$	额定电压 V (DC)	吸合电压 V (DC)	释放电压 V (DC)	触点负荷	外形尺寸 mm ³
JRC-21F (HG4100)						
003	25	3	2.25	0.3	24V (DC)	15×10.2
006	100	6	4.5	0.6	1A	×10
009	220	9	6.75	0.9		
012	400	12	9	1.2		
024	1600	24	18	2.4		
JRC-22F (HG4102)						
003	20	3	2.1		24V (DC)	15.6×10.6
005	56	5	3.5		1A	×10.5
006	80	6	4.2		110V (AC)	
009	180	9	6.3		0.5A	
012	320	12	8.4			
024	1280	24	16.8			

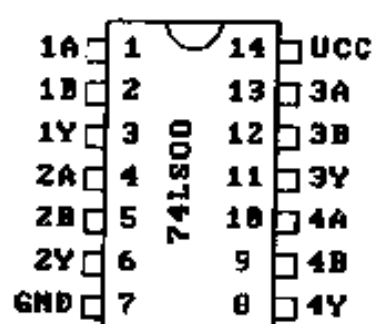
JZC 系列小型继电器

型号规格	线圈电阻 $\Omega \pm 10\%$	额定电压 V (DC)	吸合电压 V (DC)	释放电压 V (DC)	触点负荷	外形尺寸 mm^3
JZC-22FA (HG4123)						
005	70	5	4	0.5	28V (DC)	22.5×16.5
006	100	6	4.8	0.6	10A	×16.5
009	220	9	7.2	0.9	220V (AC)	
012	400	12	9.6	1.2	3A	
024	1600	24	19.2	2.4		
JZC-22FB (HG4130)						
003	25	3	2.5	0.36	28V (DC)	23×17
005	70	5	3.75	0.6	10A	×24.5
006	100	6	4.5	0.72	220V (AC)	
009	220	9	6.75	1.08	3A	
012	400	12	9	1.44		
024	1600	24	18	2.88		
048	6400	48	36	5.76		

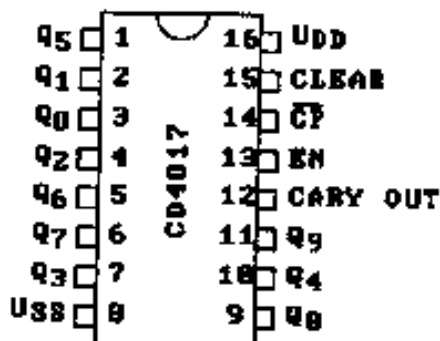
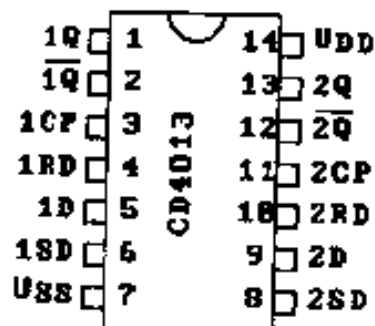
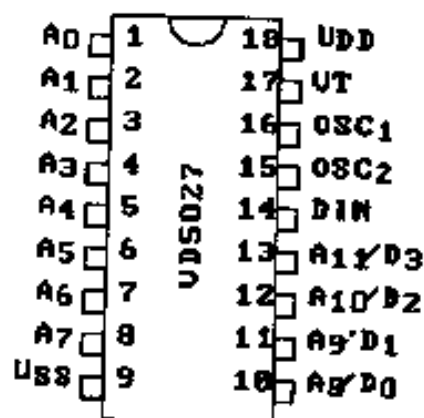
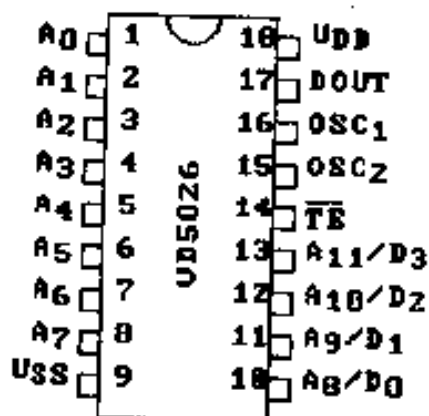
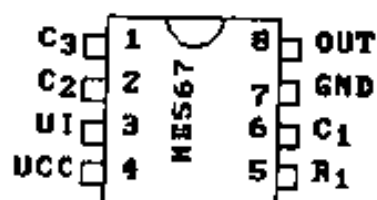
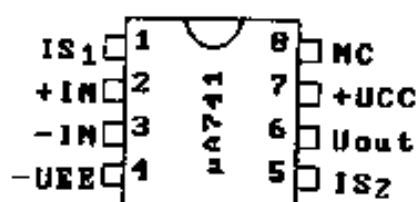
附录5 常用集成电路引脚功能

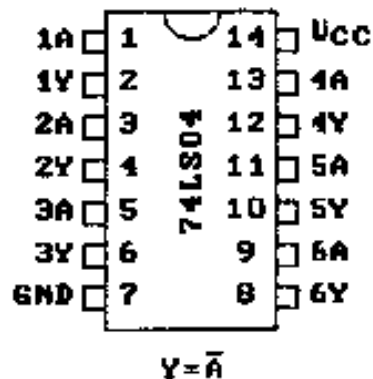
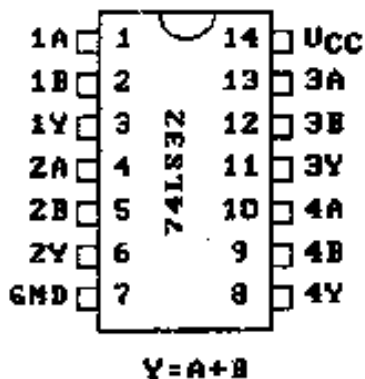
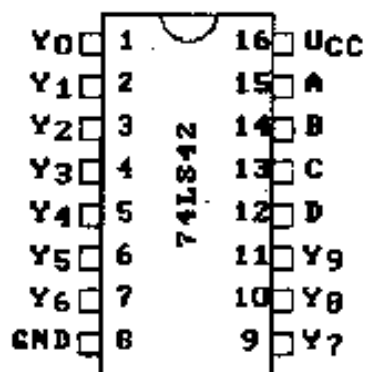
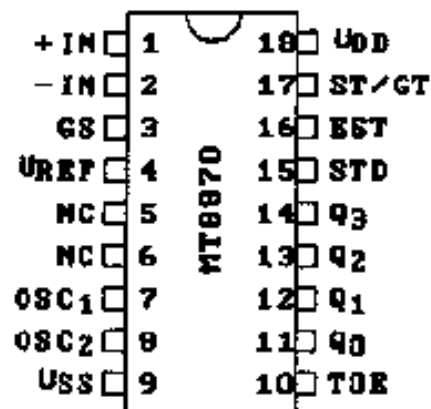
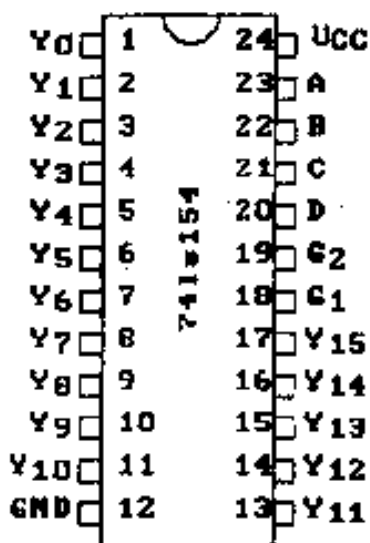
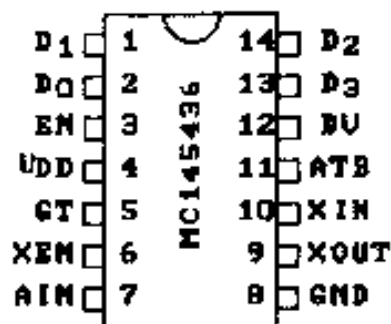
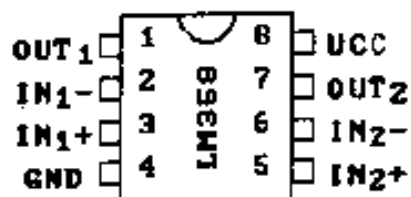
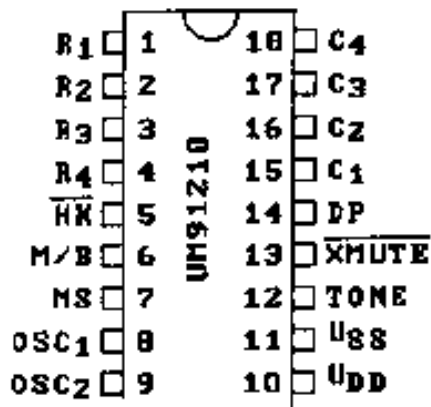
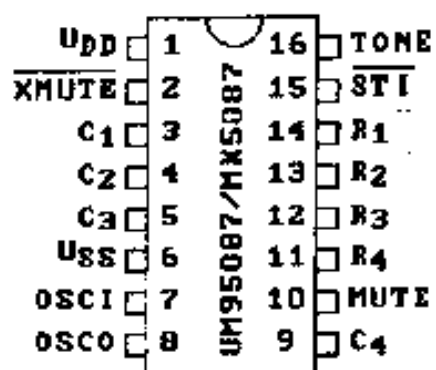


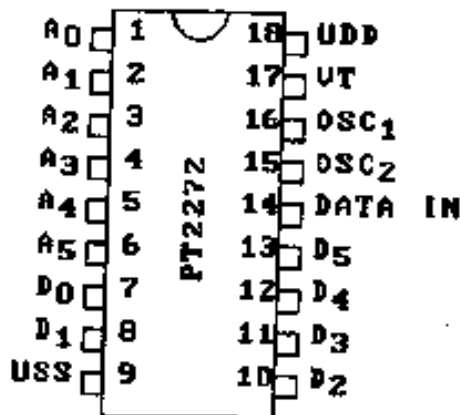
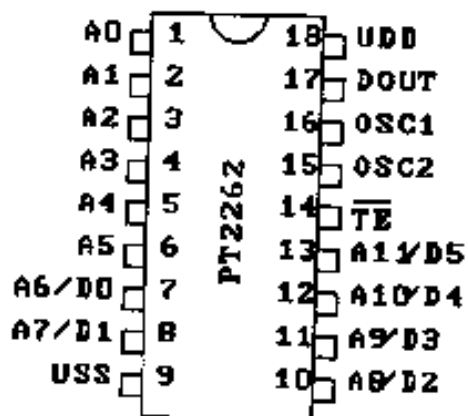
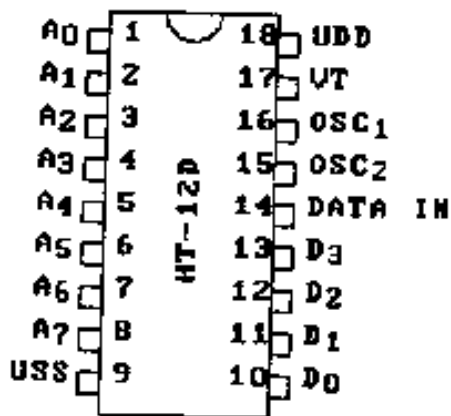
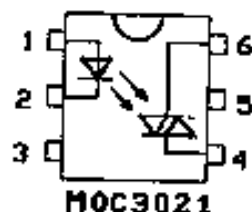
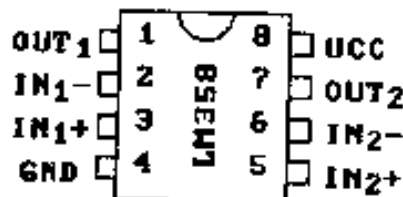
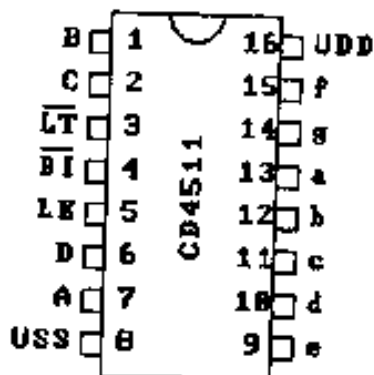
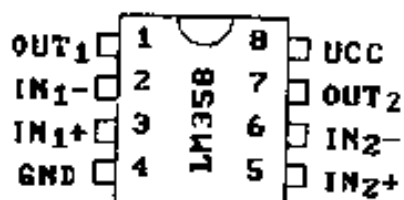
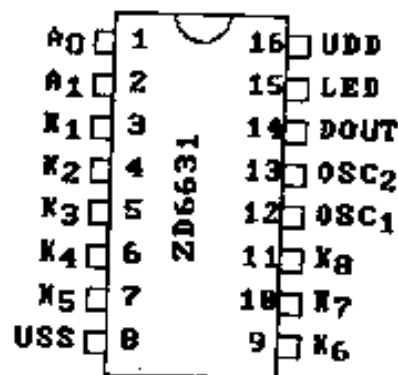
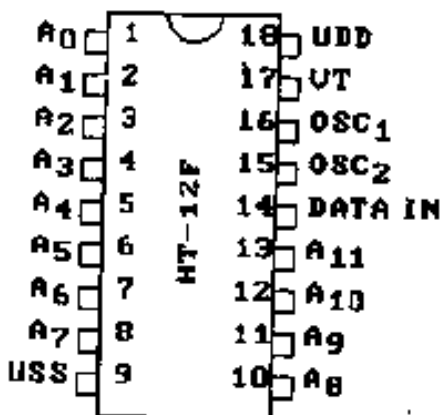
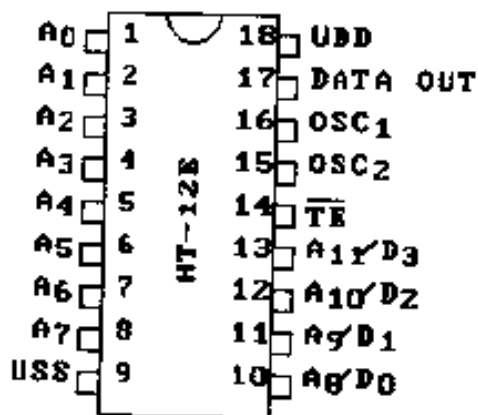
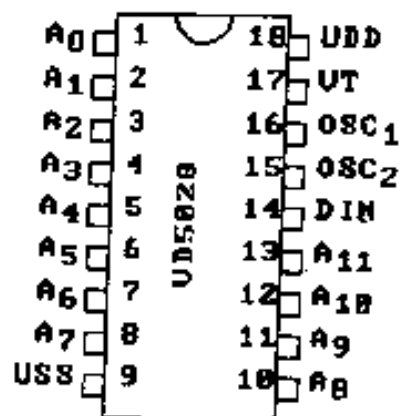
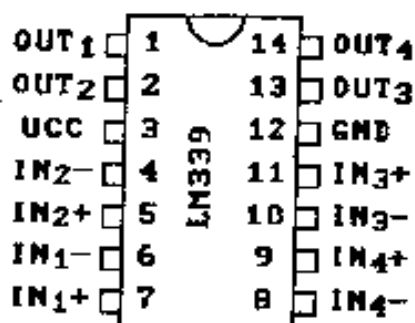
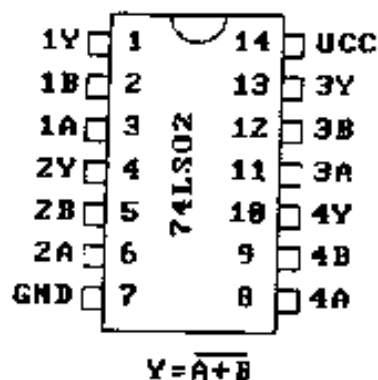
$Y=A \cdot B$

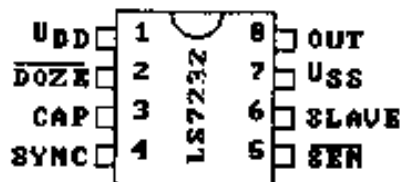
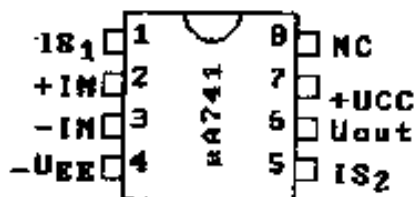
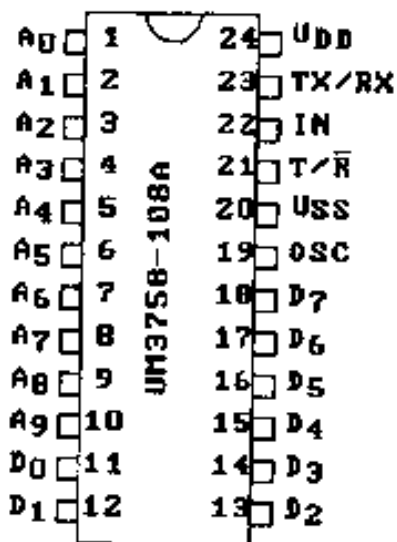
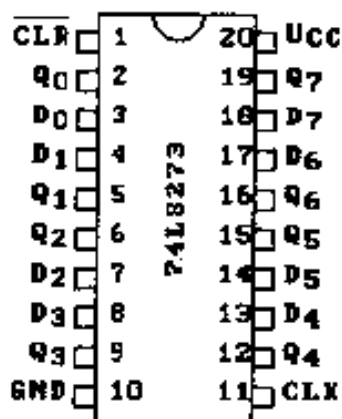
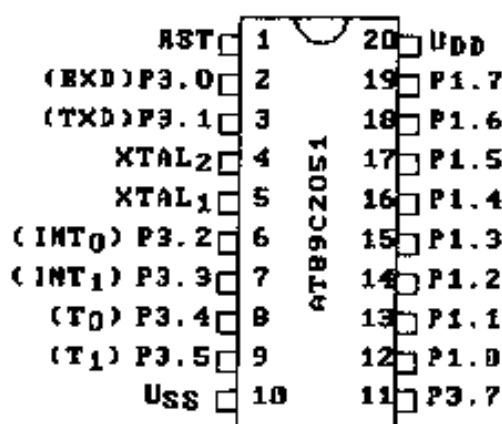
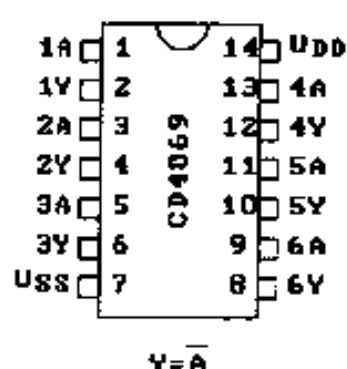
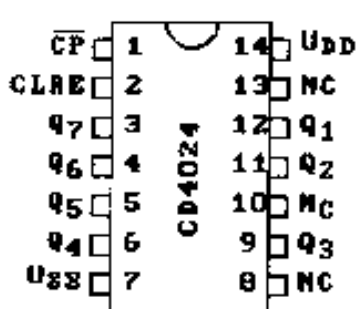
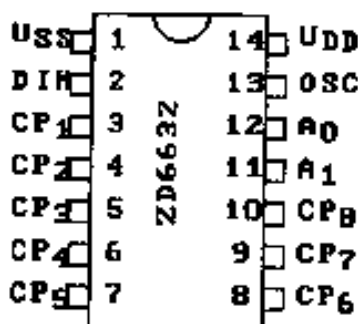
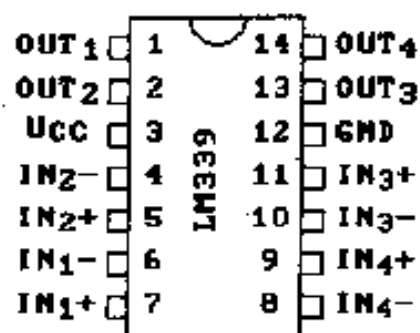
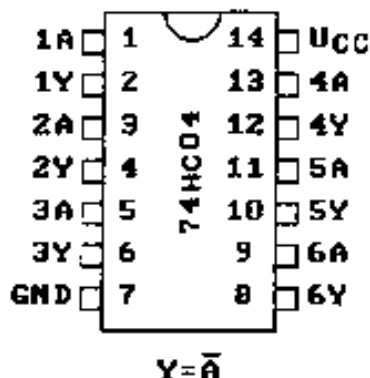
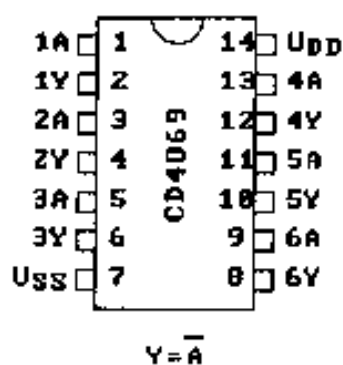


$Y=\overline{A \cdot B}$









[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 实用遥控电路原理与设计速成

作者 = B E X P

页数 = 3 2 3

下载位置 = <http://210.45.242.11/01/diskNBAE/NBAE43/15/!00001.pdg>