无线电爱好者丛书

无线电遥控

徐烨 编著



无线电爱好者丛书

无线电遥控

徐　烨　编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

制作无线电遥控模型设备是无线电爱好者喜爱的活动之一。本书比较详尽地介绍了频分制遥控设备和时分制遥控设备各部分电路（发射电路、接收电路和其它单元电路）及执行机构的工作原理、元器件选择和组装调试方法，并给出了便于爱好者仿制的一些整机电路及应用实例，文图并茂，通俗实用。

本书可供广大无线电爱好者阅读，也可供少年宫等单位作为培训教材。

无线电爱好者丛书

无 线 电 遥 控

Wuxiandian Yaokong

徐 烨 编著

责任编辑：高坦弟

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32　　1984年12月第一版

印张：9 20/32 页数：154　　1984年12月北京第一次印刷

字数：219 千字　插页：2　　印数：1—71,000 册

统一书号：15045·总2941—无6301

定价：1.05元

中国电子学会

中国电子学会科学普及读物编委会

顾　问　杜连耀　毕德显　吴朔平　任　朗
　　顾德仁　张恩虬　陈芳允　秦怡纯
主　编　孟昭英
副主编　吴鸿适　王守觉　李三立　凌肇元
编　委　叶培大　童志鹏　陶　栻　甘本祓
　　何国伟　周炯槃　邱绪环　王玉珠
　　周锡龄　周明德　刘　诚　俞锡良
　　王明臣
本书责任编委　陶　栻

1985.6
图书馆藏

8510382

丛书前言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。电子技术水准是现代化的重要标志。为了尽快地普及电子科学技术知识，中国电子学会和出版部门约请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套有不同特点的、较系统的普及丛书。

本丛书是《无线电爱好者丛书》，由人民邮电出版社出版。其余两套是：《电子应用技术丛书》，由科学普及出版社出版；《电子学基础知识丛书》，由科学出版社出版。

本丛书密切结合实际讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理及应用；介绍各种家用电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、小型电子计算器及常用测试仪器等）的原理、制作、使用和修理；提供无线电爱好者所需的资料、手册等。每本书介绍一项实用无线电技术，使读者可以通过自己动手逐步掌握电子技术的一些基本知识。本丛书的读者对象是广大青少年和各行各业的无线电爱好者。

我们希望广大电子科学技术工作者和无线电爱好者对这套丛书的编写和出版工作提出意见，给以帮助，以便共同努力，为普及电子科学技术知识，为实现我国四个现代化作出贡献。

目　录

第一章　概述…… 1
第一节　神通广大的遥控技术——无线电遥控的应用…… 1
第二节　无人驾驶飞机的奥秘——无线电遥控的基本原理…… 3
第三节　频分制与时分制——无线电遥控设备的分类…… 9
第二章　发射电路…… 22
第一节　要求及电路组成…… 22
第二节　主振级…… 25
第三节　高频功率放大器…… 36
第四节　鞭状天线…… 48
第五节　调制电路…… 54
第六节　元器件选择及组装要点…… 65
第三章　接收电路…… 68
第一节　要求及电路组成…… 68
第二节　超再生接收电路…… 72
第三节　超外差接收电路…… 77
第四章　频分遥控设备主要单元电路及部件…… 89
第一节　音频振荡器…… 89
第二节　选频放大器…… 102
第三节　谐振继电器…… 109

第五章　时分遥控设备单元电路…… 114
第一节　分立元件单元电路…… 114
第二节　CMOS 集成电路的特点及使用注意事项 …… 122
第三节　CMOS 门电路组成的单元电路…… 125
第四节　逻辑部件…… 135
第五节　同步电路…… 148
第六章　执行机构…… 155
第一节　执行机构的组成、要求及种类…… 155
第二节　主要部件…… 158
第三节　常用的执行机构…… 173
第七章　频分制遥控设备…… 179
第一节　单通道遥控设备…… 179
第二节　谐振继电器式十通道遥控设备…… 191
第八章　时分制遥控设备…… 203
第一节　40 MHz调频比例遥控设备 …… 203
第二节　28 MHz比例遥控设备 …… 233
第三节　CMOS 七路遥控设备 …… 252
第九章　应用实例…… 263
第一节　遥控汽车模型…… 263
第二节　单通道遥控模型飞机…… 269
第三节　遥控起倒靶…… 277

第一章 概 述

第一节 神通广大的遥控技术
——无线电遥控的应用

你看过航模表演吗？模型飞机在跑道上加速滑跑，离开地面，飞向蓝天。只见它在平飞中突然垂直上升，升到一定高度又急转 180 度垂直向下俯冲；它时而翻斤斗，时而又有节奏地横滚……真象有个技艺高超的飞行员在驾驶它，使它作出许多准确优美的动作。当然，模型飞机上不会有飞行员，是地面的运动员通过无线电遥控方式"驾驶"它凌空翱翔的。

无线电爱好者们一定对无线电遥控很感兴趣。什么是无线电遥控呢？通俗地说，利用无线电传送控制信号，对物体或各种过程进行远距离的控制，就是无线电遥控。例如：通过无线电传送控制信号，操纵模型飞机作出各种动作，控制导弹飞向目标，对难以驾设线路的高山微波站、输油管道等无人管理设备工作或生产过程的控制，都叫无线电遥控。

无线电遥控有着与无线电广播一样悠久的历史，但却只是在最近几十年才得到迅速发展，显示出它神通广大的作用。现在，在国防、工业、甚至在人们的生活中，都广泛应用着无线电遥控技术。

无线电遥控的出现，首先是应用在军事上。二次大战中，由于战争的需要，出现了无线电遥控的坦克、鱼雷快艇、无人

8510382

驾驶飞机和导弹。战后，随着计算机的应用和大规模集成电路的出现，不只无人驾驶飞机、火箭、导弹、人造卫星、宇宙飞船等离不开无线电遥控，在军事训练中也广泛应用着无线电遥控设备。例如：利用遥控的靶机和靶船可以提高训练效率，在训练场地上对各种战术背景实行遥控，更使得训练演习富有真实感。由此可见，无线电遥控对于现代国防建设起着重要的作用。

在工业生产方面，无线电遥控技术也是大有用武之地的。炼油厂、发电厂等大型联合企业，工艺流程复杂，牵涉的范围又广，人工操作管理难以及时准确地掌握远处或设备内部的有关情况，容易产生误差和造成生产的不稳定。采用遥控和其他相应的控制装置后，设备可以按照预定的工作程序一环扣一环地准确运转，提高运转效率和产品质量。在化工厂、煤矿等一些有毒或某种危险的生产环节使用遥控设备，进行无人操纵，还可以起到改善劳动条件，保护工人健康的作用。由于采用遥控技术有上述的优越性，近年来在工业及国民经济的许多部门中，遥控技术应用越来越广泛了。例如：油田各油井的监控，输油管线的无人加压加温站，高山无人电台，无人微波中继站以及采煤机、大型吊车、天车，挖土机的无线电遥控等。

随着无线电遥控技术的发展，神通广大的遥控技术也日益深入到我们生活领域中来。由无线电遥控设备及其他控制设备组成的地铁机车自动驾驶设备，提高了车辆的运转效率，使你很快而且舒适地乘车到达目的地；煤气，自来水管线的自动检测和控制装置把煤气和自来水送到你房间中；用无线电遥控的开关控制电视机、收音机等家用电器，会使你的生活更为方便；无线电遥控的玩具为幼儿教育增添色彩，深受儿童喜爱……

无线电遥控技术的应用当然远不止上述一些例子。下面我们着重介绍一下无线电遥控技术在体育运动方面的应用——无线电遥控模型运动。

以制作无线电遥控飞机、舰船、汽车等模型为主要内容的无线电遥控模型运动吸引着广大的青少年，既丰富了他们的课余生活，又使他们获得学习无线电、舰船、飞机、汽车等方面知识的机会。

在晶体管出现以前，遥控模型的设备都是由电子管组装而成的，由于受到模型的容积及载重的限制，通常在模型上使用的是由三或四只电子管组成的超再生式接收机 。这种接收机易受外界干扰而发生误控及失控事故，因此在普及与提高方面均受到限制。晶体管的问世给无线电遥控模型设备的发展创造了条件，六十年代初就有了全部用晶体管组装的单通道遥控设备，其接收机仅有火柴盒大小，地面控制距离在200米左右。六十年代中期又出现了多通道晶体管化遥控设备。这种设备对遥控模型运动的发展起到了较大的推动作用。随着集成电路的发展，尤其是低功耗集成电路的应用，七十年代中期有了由集成电路组装的时分制遥控模型设备。其中，比例操纵设备是很具有代表性的设备。用比例操纵设备控制模型，可使模型的动作准确优美，深受遥控模型爱好者的欢迎。

第二节　无人驾驶飞机的奥秘
——无线电遥控的基本原理

遥控技术为什么能这样神通广大呢？这就需要了解它的原理了。让我们通过无线电遥控模型飞机和无人驾驶飞机的飞行过程，看看无线电遥控是怎样实现的。

一、模型飞机的遥控过程

生活中随时会遇到这样的事情：在用收音机听广播时，如果声音太大，就要把音量关小些，反之就把音量开大些；在淋浴时如果水太热，就要把热水开关关小些，反之就要开大。这些调节过程实质就是控制系统的控制过程。在这里，音量或水温是被控对象；耳朵或皮肤起到测量的作用，它们将测量的结果通知大脑；大脑相当于控制命令装置，它根据测量的结果发出控制命令；手则是执行大脑命令的执行机构。其控制过程可用图 1.1 表示。从图中可看出，构成一个控制系统，除被控目标外，还要有测量设备、控制装置及执行机构。控制系统的控制过程，就是不断消除被控目标实际状态与预定状态之间的偏差的过程。

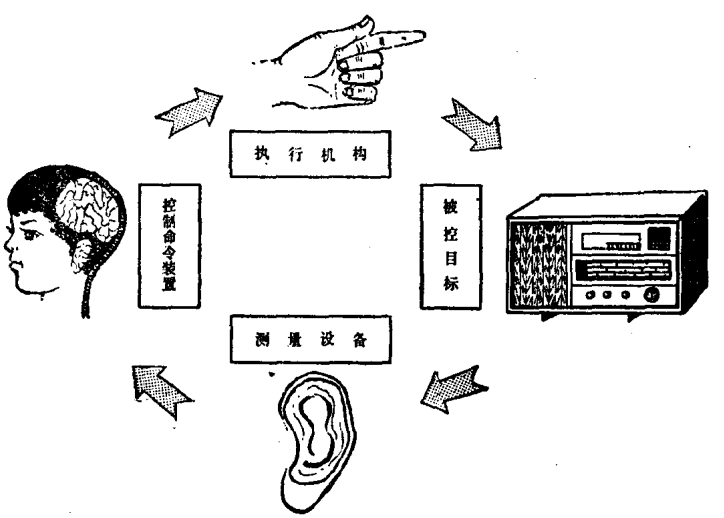


图 1.1 控制系统示意图

遥控模型飞机的过程与上述的控制过程是相同的。图 1.2 是遥控模型飞机的示意图。图中的模型飞机是被控目标。在模型飞机上安装有接收机与执行机构，并有产生拉力的发动机和控制飞行姿态的方向舵、升降舵等机构。在地面，运动员手持发射机对模型进行操纵。运动员的眼睛相当于测量设备。当发现模型飞机的飞行姿态发生偏差后，就通过发射机发出相应的控制命令，经无线电波传送到接收机，由接收机将控制命令送到相应的执行机构。执行机构带动相应的舵面动作，修正模型飞机出现的偏差。例如：飞机偏高了，就发出“推杆”的命令，反之则发出“拉杆”的命令；飞机偏右了就发出“左舵”的命令，反之发出“右舵”的命令。

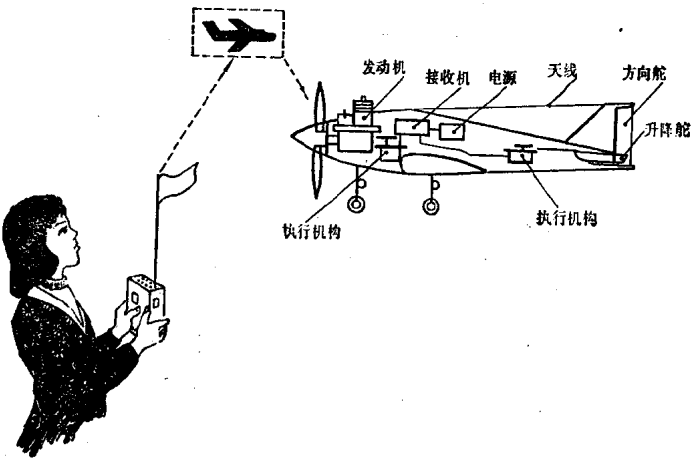


图 1.2　遥控模型飞机示意图

在这里，我们把发射机、接收机及执行机构统称为无线电遥控设备，把运动员通过遥控设备发出的控制命令叫控制指令或遥控指令。

二、无人驾驶飞机的奥秘

一架无线电遥控的模型飞机可以说是最简单的无人驾驶飞机。对真的无人驾驶飞机的遥控比模型飞机当然要复杂得多，对无人驾驶飞机的无线电遥控是怎样实现的呢？

图 1.3 是无线电遥控无人驾驶飞机的示意图。为了执行打靶、侦察等任务，无人驾驶飞机可能飞到很远的地方，用眼睛就观察不到它的飞行姿态和空中的位置了。因此，在无人驾驶飞机上除了有遥控设备外，还有无线电遥测设备。无线电遥测设备就是前面所说的控制系统的测量设备，只不过它是借助无

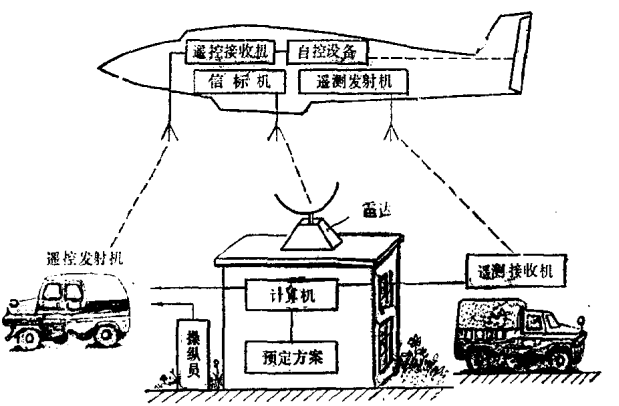


图 1.3　无人驾驶飞机遥控示意图

线电信号对远方目标的参数及状态进行测量。安装在无人驾驶飞机上的遥测发射机把飞机的高度、速度、发动机转速，飞行姿态等参数通过发射天线不断发送出来，地面的遥测接收机及显示设备接收并显示这些参数。遥测设备就像“千里眼”一样，

使人们“看”到飞行在远方天空上的飞机。

在无人驾驶飞机上还有自动控制设备。飞机在飞行时，除了可以通过无线电遥控设备控制舵面及其他机构外，还可以用自动控制设备自动驾驶飞行。自动驾驶飞行与遥控飞行的基本原理是一样的。安装在飞机上的各种传感器直接感受飞机飞行姿态的各种参数，并将其变为电信号，这些电信号通过运算放大器直接加到舵机等执行电路，对无人驾驶飞机的飞行姿态进行控制。

为了识别被控飞机，并确定飞机在空间的位置，在无人驾驶飞机上还有应答机或信标机，在地面有跟踪雷达。地面控制站根据雷达及遥测设备提供的参数，通过计算机计算，对照预定的方案确定当前的控制方案，由操纵员或计算机通过遥控发射机向无人驾驶飞机发出控制指令。飞机上的遥控接收机收到控制指令后，把各种不同的指令区分开，加到自动控制设备中的转换电路或舵机等执行电路上，实现对舵面或其他调节机构的控制，使飞机执行预定的任务。

从上面介绍可知，无论是对模型飞机还是对无人驾驶飞机的无线电遥控，都是通过无线电遥控设备发出控制指令实现的。这种遥控方式称为无线电指令遥控。指令遥控是无线电遥控的一种方式，无线电遥控还有雷达制导等方式。因为控制指令是在了解被控目标的状态后才产生的，所以指令遥控与遥测总是结合在一起，是在遥测的基础上实施的。通常把遥控及遥测设备统称为“双遥”设备。前面介绍的在国防及工业中应用的遥控设备大多是双遥设备。对于各种模型的遥控，一般都在视线距离之内，操纵者用眼睛就能观察到模型的姿态和位置，所以没有专用的遥测设备。本书下面介绍的遥控设备，主要是应用于遥控各种模型，在视距范围之内的无线电指令遥控设备。

其中有些遥控设备也可用于工业生产及军事训练中，如对大型吊车、天车、挖土机和战术背景等的遥控。

三、无线电遥控设备的工作原理

图 1.4 是无线电遥控设备方框图，由发射机、接收机及执行机构三部分组成。发射机主要包括编码电路和发射电路。编码电路由操纵器(操纵开关或电位器等)控制，操纵者通过操纵器，使编码电路产生所需要的控制指令。这些控制指令是具有某些特征的、相互间易于区分的电信号，例如：用频率为 270 Hz 的正弦信号作为控制左舵的指令，用频率为 350 Hz 的正弦信号作为控制右舵的指令，即不同频率的正弦信号代表不同的控制指令。除了可利用频率特征外，还可用正弦信号的幅度及相位特征、脉冲信号的幅度、宽度及相位特征以及码组特

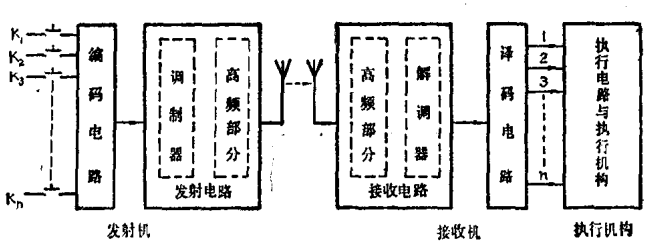


图 1.4 无线电遥控设备方框图

征等表示各种指令。

编码电路产生的指令信号都是频率较低的电信号，无法直接传送到遥控目标上去，还要将指令信号送到发射电路，使它载在高频信号(载波)上，才能由发射天线发送出去。就如同用火车、飞机等运载工具运送货物一样，指令信号相当于货物，

载波相当于运载工具。我们把指令信号载到载波上去的过程叫调制，调制作用由发射电路的调制器完成。发射电路的主要作用是产生载波，并由调制器将指令信号调制在载波上，经天线将已调载波发送出去。

接收机由接收电路及译码电路组成。接收电路又包括高频部分及解调器部分。由接收天线送来的微弱信号经接收机高频部分的选择和放大后，送到解调器。就象火车、飞机等运载工具到站后，把货物卸下来的情况一样，解调器的作用是从载波上"卸"下指令信号。由于"卸"下来的各种指令信号是混杂在一起的、还要送到译码电路译码。译码电路的工作就象把卸下来的货物鉴别分类，再分别送到使用场地一样，它对各种指令信号进行鉴别，送到相应的执行放大电路。执行放大电路把指令信号放大到具有一定的功率，用以驱动执行机构。执行机构将电能转变为机械动作，例如电机的转动、电磁铁的吸动等，带动被控的调节机构(例如舵面)，从而实现对被控目标的控制。

第三节　频分制与时分制
——无线电遥控设备的分类

无线电遥控设备的种类与分类方法很多。例如，以产生和区分指令信号的方法不同，可分为频分制与时分制两种类型的设备；按通道数目的不同，可分为单通道与多通道设备；以控制指令性质的不同，可分为开关型与比例型设备；以接收电路的程式不同，可分为超再生式、超外差式等类型。另外，还可以从操纵方式的不同、发射机调制方式的不同等方面分类。下面介绍几种主要的分类方法。

一、单通道与多通道

遥控一架模型飞机，要操纵它的方向舵、升降舵等几个舵面，需要好几个控制指令。这些指令信号在接收机的译码电路中区分出来，并送到相应执行放大电路。每个指令信号都有自己的"通道"(我们把通行指令信号的"道路"叫通道)。只有一个通道的无线电遥控设备叫单通道设备，有两个或两个以上通道的无线电遥控设备叫多通道设备。

图 1.5 是单通道设备方框图，从图中可以看出，单通道只有一个操纵器，通常只能控制一个执行机构，例如控制一个电磁铁的吸动或一个电机的转动。图 1.4 实际是多通道遥控设备方框图，有多个操纵器，能控制多个执行机构。

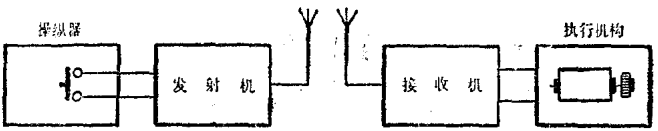


图 1.5 单通道设备方框图

多通道设备还可以分为单路多通道和多路多通道两种类型。在同一时间内只能传送一个控制指令，不同指令只能一个接一个地传送的多通道设备叫单路多通道设备；同一时间内能传送多个控制指令的多通道设备叫多路多通道设备。由于单路多通道设备在同一时间内只能传送一个控制指令，执行机构只能一个一个地动作。多路多通道设备可以在同一时间内传送多个控制指令，有几路则可同时发几个控制指令，使几个执行机构同时动作；这个道理可以用火车来比喻：如果只是一条铁路，各车次的火车只能一辆开出后再开出一辆；若有好几条铁

路的话，就可从车站同时发出许多列火车了。很明显，多路多通道设备复杂一些，但给操纵带来方便，尤其是某些被控对象，需要几个执行机构同时配合动作，就必须用多路的遥控设备。

二、开关型与比例型

按控制指令性质的不同，遥控设备可分为开关型和比例型两种。开关型设备的操纵器是操纵开关，其控制指令的电信号只有两种状态，例如信号的有与无、频率的高与低、脉冲的宽与窄等。因此，被控的执行机构也只有两种状态。图 1.6 是开关型遥控设备示意图，图中的灯泡只有亮与不亮两种状态。

比例型遥控设备的操纵器通常是电位器，其控制指令的电信号是连续变化的(例如信号频率或脉冲宽度的连续变化)，被控执行机构的状态也与操纵器的状态成某种比例地变化。如在图 1.7 所示的比例遥控设备示意图中，随着电阻器滑臂向右移

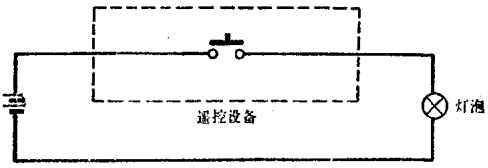


图 1.6 开关型遥控设备示意图

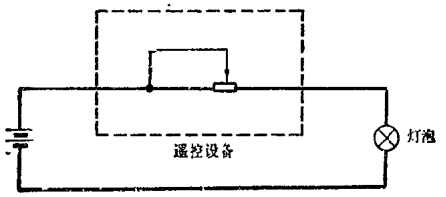


图 1.7 比例型遥控设备示意图

动，被控的灯泡由暗逐渐变亮。由于比例遥控设备有这种特点，可以使被控模型动作准确优美。

三、频分制遥控设备

转动电视机频道开关旋钮，就可以收看到不同的节目。这是因为各电视台的频率不同，在电视机的频道开关内有选频电路，只能通过与其谐振的电视台信号，而把其他电视台的信号滤掉。频分制遥控设备区分通道的原理与电视机选台的原理是一样的。

1. 频分制单路遥控设备

图 1.8 是频分制单路遥控设备方框图。图中发射机的音频振荡器就是前面介绍的编码电路，K_1、$K_2\cdots K_n$ 是操纵开关，C_1、$C_2\cdots C_n$ 是容量互不相等的电容，通过操纵开关，可把任意一个电容接入振荡器的振荡回路。由于接入振荡器振荡回路

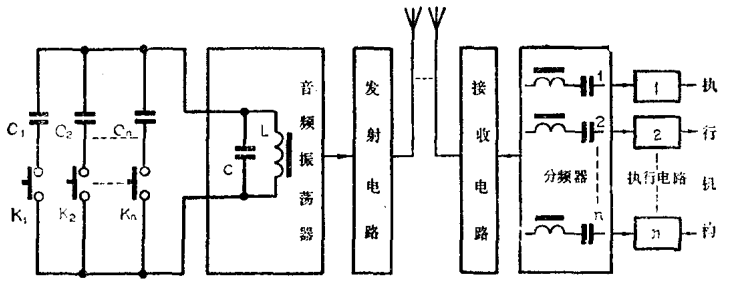


图 1.8　频分制单路遥控设备方框图

中不同容量的电容，振荡器会产生相应的不同频率的电信号。因此，按动不同的操纵开关，就会产生代表各种控制指令的不

同频率的电信号，再经发射电路，调制在载频上，由天线发送出去。

接收机由接收电路及起到译码电路作用的分频器组成。与电视机的频道转换器作用相同，分频器能把不同频率的指令信号区分开，送到相应的执行放大器，控制执行机构动作。

音频振荡器在同一时间内只能产生一个频率的信号，用以代表一个控制指令，只有前一个操纵开关断开后，才能接通第二个操纵开关。产生第二个频率的信号，代表另一个控制指令。因此，这种遥控设备是单路多通道设备，由于这种遥控设备电路简单，易于组装调试，是初学遥控技术的无线电爱好者最爱采用的设备。图 1.8 中所示的振荡器及分频器都是 LC 型的，除此以外，常用的还有 RC 型及机械振荡器与机械分频器。振荡器的频率通常在几百赫到几千赫之间。

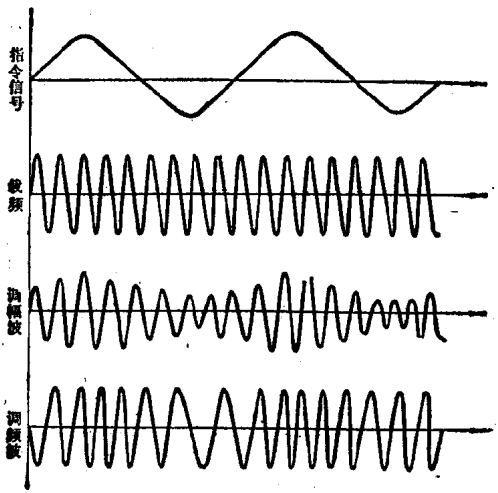


图 1.9 调幅波与调频波

在这种设备中，指令信号对载频的调制常用调幅（AM）或调频(FM)制。调幅是使载频的幅度按指令信号的规律变化，调频是使载频的频率按指令信号的规律变化，如图 1.9 所示。由于调频制具有抗干扰能力强的优点，要求抗干扰性能强的遥控设备大多采用调频制。

2. 频分制多路遥控设备

图 1.10 是频分制多路遥控设备方框图。发射电路、接收电路与单路频分制设备相同，不同之处是编码电路由指令产生器、副载频振荡器、调制器及相加器等电路组成，译码电路由带通滤波器、解调器等电路组成。

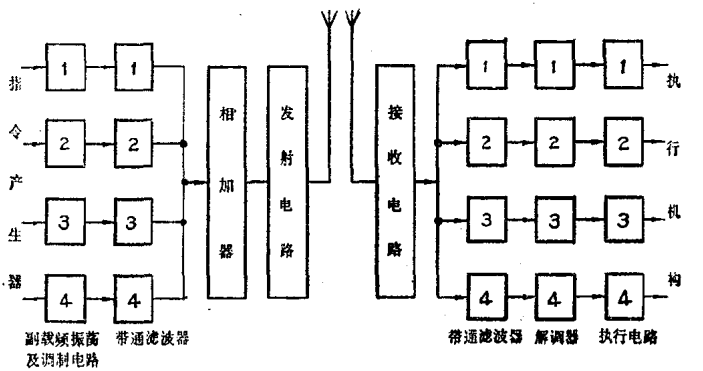


图 1.10　频分多路遥控设备方框图

指令产生器通常是操纵开关、电位器及由它们控制的振荡器。为了把这种电路产生的指令信号变为相互间易于区分的电信号，要把这些指令信号调制在不同频率的信号上。这些不同频率的信号叫副载频。副载频由副载频振荡器产生。图 1.10 中四个副载频振荡器产生四个频率互不相同的副载频，频率范围

由音频到几十千赫。被指令信号调制的副载频经相应的带通滤波器"过滤"，使其相互间不干扰，再由相加电路混在一起，对载频进行调制。最后经高频电路放大，由天线发送出去。

接收机收到载频并放大、解调后，恢复了混杂在一起的各路副载频，并把它们送到带通滤波器。各个带通滤波器仅允许频率在相应规定范围内的信号通过，而把其他频率的信号滤掉。这样，混杂在一起的副载频就由带通滤波器分开了。再由解调器对副载频解调，取出副载频上载有的指令信号，送到相应的执行放大电路，控制执行机构动作。

多路频分制遥控设备适于传送连续的指令信号，并能同时对各执行机构进行控制，但这种设备的路数不能太多，最多为十几路，否则会产生串路干扰。带通滤波器体积和重量都较大，路数多了也不易调试，所以在遥控模型中很少使用两路以上的频分制设备。尤其近年来低功耗数字集成电路广泛应用，为时分制遥控设备的发展创造了有利条件，在遥控模型中使用的多路频分制设备已逐渐为时分制遥控设备所取代了。

四、时分制遥控设备

1. 原理

大家知道，在一条铁路上同时行驶有许多列火车。因为它们运行时间错开了，各列火车都按火车时刻表的时间正点运行，所以虽都在一条铁路上行驶却是有条不紊，不会发生堵塞、撞车等事故。时分制遥控设备的原理与上述的道理很相似，其实质就是用一套发射电路与接收电路，按着一定的时间顺序传送各种控制指令。

图 1.11 是时分制遥控设备示意图。除了发射电路与接收电路外，发射机的编码电路主要由指令产生器、编码分路器及同步信号产生器等电路组成。接收机译码电路主要由译码分路器、同步分离器等电路组成。

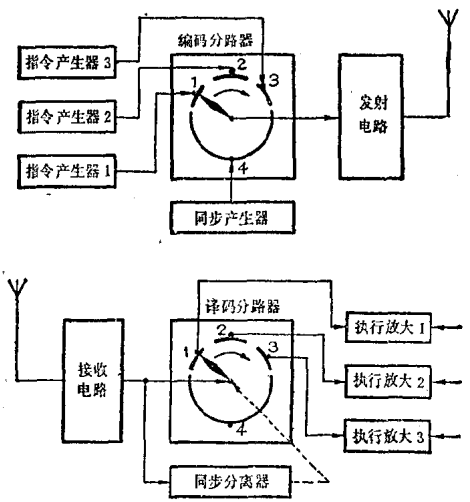


图 1.11 时分制遥控设备示意图

指令产生器通常是操纵开关、电位器及由其控制的振荡电路。各指令产生器产生的指令信号是相互间不易区分的电信号。显然，只要把这些信号有规律地分配在不同的时间间隔内，接收机就能把它们鉴别出来，把指令信号分配在不同时间间隔内的工作由编码分路器完成。编码分路器象是有多个触点的旋转开关。当它以一定速度顺时针旋转时，就会产生按一定时间顺序排列的时序脉冲。这些脉冲被相应的指令信号所调制，变为载有指令信号特征的指令脉冲。图 1.11 中，编码分路器在 t_1 时刻接通第一个触点，输出被第一路指令信号所调制的指令

脉冲 s_1；在接通第二个触点的 t_2 时刻，输出被第二路指令信号所调制的指令脉冲 s_2；接通第三触点的 t_3 时刻，输出指令脉冲 s_3。最后，在接通第四个触点的 t_4 时刻，输出由同步电路产生的同步脉冲。分配器转完一周后，又开始第二周的循环，在 t_5 时刻输出 s_1、t_6 时刻输出 s_2…这样旋转下去，即可周期性地按顺序传送各路指令信号，从编码分路器的输出得到如图 1.12 所示的脉冲序列(图中所示为脉宽调制方式，脉冲宽度随指令信号而变，详见后文)。脉冲序列送到发射电路，对载频进行调制。经常使用的调制方式是脉冲对载频调幅或调频，与频分制遥控设备中指令信号对载频的调制方式相同。

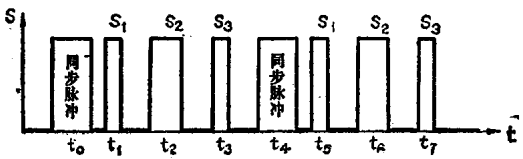


图 1.12 脉冲序列图

接收机的接收电路将载频放大和解调后，使脉冲序列还原，并送到译码分路器。译码分路器与编码分路器一样，也相当于一个多触点的旋转开关，但它的转动规律受同步分离电路输出的同步脉冲控制，与编码分路器同步转动。这样，从译码分路器就依次输出 s_1、s_2、s_3 指令脉冲。各指令脉冲被送到相应的执行放大电路，控制执行机构运动。

从上述的时分制遥控设备的工作原理可以看出，译码分路器必须与编码分路器同步工作，否则就会出现把指令脉冲 s_1 当作 s_2 等“张冠李戴”的错误。完成同步工作的电路叫同步电路，同步电路是时分制遥控设备所特有的电路，其实质就是为发射机编码电路与接收机译码电路提供一个共同的时间基准和

时间程序，就象火车时刻表所起的作用一样（使各列火车有条不紊地运行）。为使译码电路把同步信号从脉冲序列中鉴别出来，同步信号的特征要与各指令信号有所区别。图 1.12 中，同步脉冲是以宽度特征区别于各指令脉冲的。

在实际电路中，编码与译码分路器都是由脉冲分配器或移位寄存器等电子线路构成的，"旋转"的速度很快。以常用的比例遥控设备为例，每"旋转"一周的时间是 20 毫秒，即图 1.12 中，各指令脉冲 s_1、s_2、s_3 及同步脉冲均隔 20 毫秒重复发送一次。因为各种模型的运动不会有毫秒级的突变，所以每隔几十毫秒发一个指令信号就能很好地完成对模型的控制。如同对一个周期为十分之一秒的正弦变化量，除用一条连续的曲线表示外，还可用不连续的点来表示，若每隔百分之一秒一个点，有十个点就可大致看出正弦变化的规律。另外，不同的指令信号虽然是按一定的时间间隔先后发出，但相对于模型运动，这种间隔很暂短，s_1、s_2 及 s_3 之间的间隔最多十几个毫秒，可看作是同时发出的，所以这种时分制遥控设备是多路遥控设备。

图 1.11 所画的只是三路时分制遥控设备方框图，实际上时分制遥控设备能传送的路数是很多的，可达几百路，并且还不易产生各路之间的干扰。时分制遥控设备还适于使用数字集成电路。近年来使用低功耗的集成电路，使时分制遥控设备的体积减小，重量减轻，可靠性增强，因此在遥控模型中得到越来越广泛的应用。大家都喜爱使用的比例遥控设备就属于这一类型的设备。

2. 时分制遥控设备的种类

从时分制原理中我们知道，指令信号对编码分路器产生的时序脉冲进行调制后，才产生指令脉冲。按指令信号对时序脉

冲调制方式的不同，时分制遥控设备分为脉幅调制、脉宽调制、脉位调制及脉码调制等类型。

脉幅调制就是脉冲幅度调制(PAM)，图 1.13 是调制波形图。在这种调制中，脉冲序列的幅度按指令信号规律变化。脉

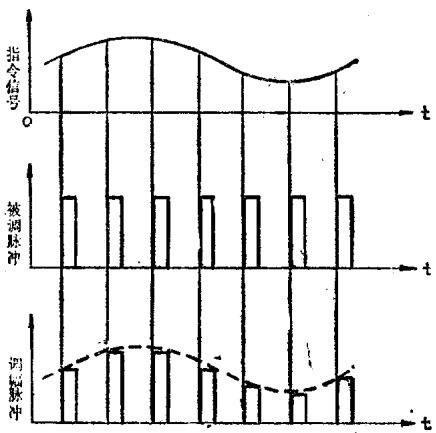


图 1.13 脉冲调幅波形图

宽调制就是脉冲宽度调制(PDM)，在这种调制中，脉冲序列的脉冲宽度随指令信号规律变化，见图 1.14。脉位调制就是脉冲相位调制(PPM)，图 1.15 是其调制波形图，图中被调脉冲序列的形状不变，只是脉冲出现的时间随指令信号的规律而前后移动。脉码调制就是脉冲编码调制，在这种调制中，脉冲的幅度、宽度、相位均不变，但脉冲的数目及其组合随指令信号的规律变化，见图 1.16。

在上述的几种时分制遥控设备中，脉冲幅度调制设备抗干扰性能较差，脉冲编码调制设备抗干扰性能最好，但设备较复杂。因此，经常应用的是脉宽调制及脉位调制设备。

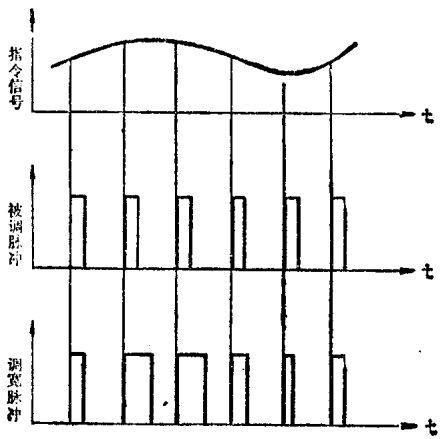


图 1.14　脉宽调制波形图

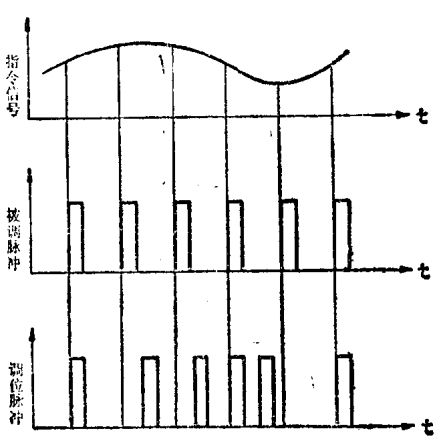


图 1.15　脉位调制波形图

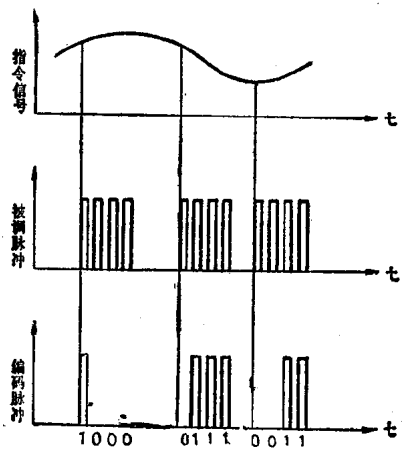


图 1.16 脉码调制波形图

五、小结

从前面的介绍可知，无论频分制遥控设备还是时分制遥控设备，都是通过发射电路与接收电路传送各种指令信号。对于操纵模型的时分制或频分制遥控设备，其发射电路和接收电路是基本相同的。两种设备的不同之处在于产生与区分指令信号的编码电路与译码电路。频分制遥控设备的编码电路与译码电路主要由音频振荡器以及各种选频器等组成，时分制遥控设备编码电路与译码电路主要由触发器、计数器、寄存器及脉冲分配器等逻辑电路组成 。下面我们将结合这一特点介绍具体电路和各种遥控设备。

第二章 发射电路

这一章介绍无线电遥控设备的发射电路部分。如果我们把控制信号看成是被运送的货物，那末，发射电路就象是运送货物的车辆。发射电路产生运送控制信号的载波、并使控制信号依附在载波上，发送到空间去。

如同每个广播电台都有自己的工作频率一样，遥控设备也有其工作频率。遥控设备工作频率的选择要严格控制在国家规定的业余无线电波段范围，以免影响广播、通信等部门的工作。目前，各种遥控模型比赛常用的业余频段有：27MHz 频段，其频率范围由 27 MHz 至 38 MHz；40 MHz频段，其频率范围由 40 MHz 至 48.5 MHz；72 MHz 频段，其频率范围由 72.55 MHz 至 74.5 MHz。由于 27 MHz 频率较低，制作方便，现在应用最为广泛。另外，还有 150 MHz 频段（150.05 MHz 至 167 MHz），因频率高，使用较少。

第一节 要求及电路组成

一、主要要求

参加过航模比赛的爱好者一定还会记起来这样的场面：由于遥控设备失灵，使精制的模型摔坏，甚至摔得粉碎。其中，载波频率不稳是造成失灵的主要原因之一。近年来，由于采用晶体稳频电路，频率稳定度达 10^{-5}～10^{-6}，满足了使用要求，

载频的频率稳定度就不再引人注意了。其实，对发射电路来说，频率稳定度仍然是重要的指标。

输出功率也是对发射电路的主要要求之一。根据控制距离的不同，发射电路要输出相应的功率。功率过小，达不到要求的控制距离；功率过大，会造成浪费。遥控发射电路的输出功率一般由十几毫瓦到一瓦不等。

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。如较小的发射机只能用积层电池或5号电池，一般的发射机常用0.45安时至0.8安时的镉镍电池。因此，提高效率，减小直流功耗，也是对发射电路的主要要求。

除了上述电气性能方面的要求外，遥控设备在结构上及使用维护方面也有相应的要求，如结构牢固、维护及调试方便、便于散热等。

二、电路组成

图2.1是常用的发射电路方框图。图中主振级、中间放大级、输出级属高频电路，调制电路属低频电路。主振级是一个高频振荡器，用来产生最初的载波信号。中间放大级把载波放大，去推动输出级。通常这两级都是高频功率放大器，把载波放大到具有一定的功率，再由天线发送到空间。调制电路把控制信号放大，送到中间放大级对载波进行调制。根据调制方法的不同，调制也可在主振级或输出级实现。

这里所说的中间放大级不一定只有一级，为简单起见，我们把主振级与输出级之间的各级统称为中间放大级。例如，以起缓冲作用为主的缓冲级，起频率倍增作用的倍频级，以及为推动输出级而主要起功率放大作用的激励级等，均称为中间

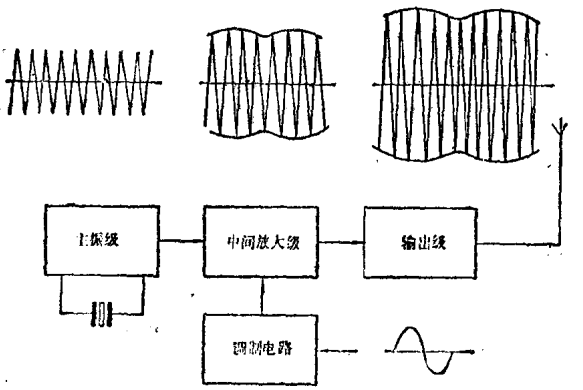


图 2.1 发射电路方框图

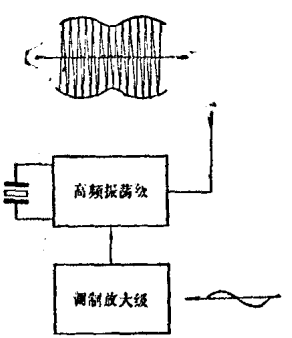


图 2.2 简单的发射电路方框图

级。

用于不同场合的遥控设备，发射电路的组成是不同的。如控制一个小玩具或家用电器，距离最多为几十米，发射电路输出 10 到 20 毫瓦就够了，没有必要有中间级和输出级，发射电路只要有图 2.2 所示的一个高频振荡器及一个调制器就可以了。控制一个活动半径 300 米～500米的舰船模型或飞机模型，发射电路的高频部分一般由两级组成，即在主振级之后就是输出级，这种电路的输出功率在 100 毫瓦左右。如果被控目标与操纵者相距 1 公里左右，就要用图 2.1 所示的电路了，其输出功率在 1 瓦左右。另外，有的调频遥控设备为得到较大频偏，加有倍频级；有的发射电路中为了进一步稳定载频频率，

在主振级之后加有缓冲级。总之，发射电路的组成要视具体需要而定。

第二节 主 振 级

主振级可比喻为发射机的心脏，发射机的载波由它产生。如果主振级频率不稳或停振，发射机就不能正常工作。

我们知道，一个具有选频电路，又有足够正反馈量的放大器，就可以成为产生正弦波的振荡器。若按频率划分，振荡器可分为高频振荡器及低频振荡器，主振级的振荡器属于高频振荡器。高频振荡器又可分为 LC 自激振荡器与晶体稳频振荡器。对于 LC 自激型振荡器，尽管我们采取各种稳频措施，但在实际制作中频率稳定度很难作到 10^{-4}。用晶体稳频的振荡器，频率稳定度容易作到 10^{-5} 以上，因此，近年来遥控设备的主振级大都用晶体稳频振荡器。下面介绍由晶体稳频振荡器组成的主振级。

一、晶体

晶体稳频振荡器是利用晶体代替一般 LC 谐振回路的振荡器。用于主振级的晶体结构及尺寸如图 2.3 所示。石英晶体放置在支架上，支架又起到引出线的作用，将敷银电极引出。整个晶体用金属外壳密封。

晶体最重要的特性是具有压电效应。若在晶片上加交变电压。晶片会产生周期性机械振动；反之，晶片的机械变形又会导致交变电场产生。晶体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

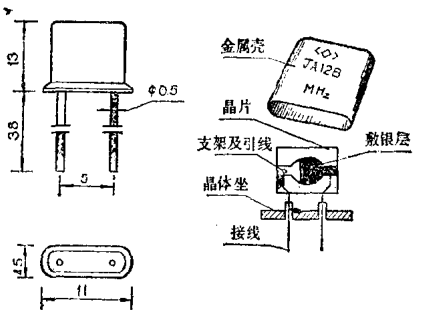


图 2.3 晶体结构及尺寸

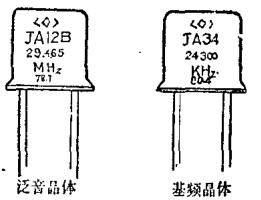


图 2.4 泛音晶体与基频晶体

率接近或相等时，由机械变形引起的交变电场最强，流过晶片的电流骤增，出现谐振现象。这种谐振特性非常尖锐，稳定振荡器频率就是利用这一特性。

晶体分为基频晶体与泛音晶体。基频晶体的振动频率是晶片的基频，而泛音晶体的振动频率是晶片振动频率的谐波，基频晶体的频率通常不高于 25 MHz，泛音晶体的频率可在 25 MHz 以上。一般遥控设备的主振级大都使用泛音晶体。使用泛音晶体的振荡器都有相应的选频电路，用以抑制基频和其他谐波成分。基频晶体多用于调频制的遥控设备。在使用时要注意晶体产品标记的频率单位不同（见图 2.4），如常用的 JA 12 B 是泛音晶体，其频率单位是 MHz，JA 34 是基频晶体，频率单位是 kHz。

晶体的等效电路及阻抗特性如图 2.5 所示。

图中 L_g 是晶体的等效电感，C_g 是等效动态电容，R_g 为等效串联电阻，C_0 为静电容。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

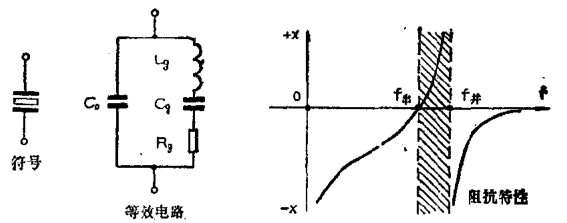


图 2.5 晶体的符号等效电路及特性阻抗

最小，$f_{串}=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_gC_g}}$；如果把 C_0 也考虑进去，就是一个并联谐振电路，$f_{并}=\frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{C_0\cdot C_g}{C_0+C_g}L_g}}$。因为 $C_0\gg C_g$，所以 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 非常接近。我们所见到的晶体外壳上的标称频率，既不是 $f_{串}$ 也不是 $f_{并}$，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。对于一般模型遥控设备来说，频率的精度要求不十分高，晶体的标称频率就可以认为是振荡器的工作频率。

从图 2.5 还可看出，当频率在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间时，晶体等效阻抗为感性，也就是晶体在此频率范围内等效为一个电感；在低于 $f_{串}$ 与高于 $f_{并}$ 的两个区域，晶体呈容性，相当于一个电容。在遥控发射电路的主振级，晶体大多应用于感性区。

二、晶体振荡的原理

晶体等效一个电感，怎样使振荡器工作呢？下面我们通过两个常用于主振级的典型电路来说明。

1. 电容三点式振荡器

图 2.6 是工作于 27 MHz 频段的主振级电路，输出功率为

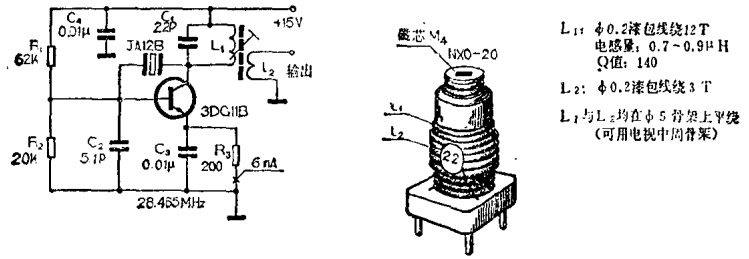


图 2.6 电容三点式振荡器电路图

20 毫瓦左右。R_1、R_2、R_3 为偏置电阻。C_3、C_4 是旁路电容。晶体在电路中呈并联谐振，相当于电感 L_J。集电极的 L_1C_1 回路调到略低于晶体频率，L_1C_1 回路则呈容性，可用电容 C_e 来表示。这样，该电路的交流等效电路就如图 2.7 所示。从等效电路可看出，集电极与基极分别接到振荡回路两端，发射极与两个分压电容相接，反馈电压取自 C_2' 两端(C_2' 由 C_2 及晶体的结电容、电路的分布电容组成)，因此这个电路是电容反馈三点式振荡器。因为晶体只在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间才是感性，所以振荡频率主要决定于晶体，晶体尖锐的谐振特性使振荡器具有稳定的工作频率。

L_1C_1 回路与振荡器工作状态的关系如图 2.8 所示。当 L_1 的电感量较小时，L_1C_1 回路的频率高于晶体频率，回路呈感性，不满足振荡条件。随着 L_1 电感量的加大，回路的谐振频率下降。当 L_1 的电感量等于 L_A 时，回路的频率略低于晶体频率，成为容性电路，满足振荡条件，电路起振。继续增大

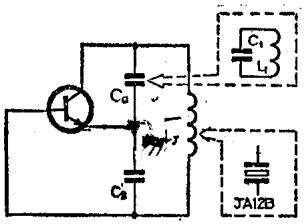


图 2.7 等效电路图

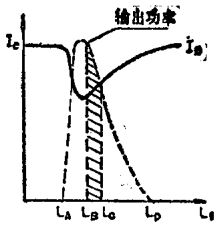


图 2.8 工作状态曲线图

L_1 电感量，I_e 很快下降到最小值，此时振荡最强，输出功率最大。再继续增大 L_1 电感量，回路频率与晶体频率失谐逐渐严重，回路阻抗降低，振荡强度逐渐减弱，到 L_1 电感量等于 L_D 时，电路停振。为使振荡器稳定可靠的工作，又能输出较大功率，通常将 L_1 电感量调在 L_B 与 L_C 之间。从上述过程可以看出，L_1C_1 回路主要决定振荡强度，与振荡频率无关。

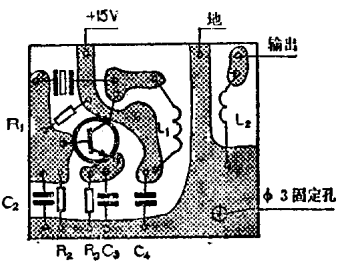


图 2.9 印刷板图

图 2.9 是该电路的印刷板图。

2. 电感三点式振荡器

图 2.10 振荡器工作在 27 MHz 频段，与图 2.6 的电路相比，输出功率较大，但频率稳定度较差。此电路不但可作主振级使用，也可作图 2.2 所示的简单发射机的高频电路。

图中 R_1、R_2、R_3 是偏置电阻。C_6 为旁路电容。C_1 与 C_2、

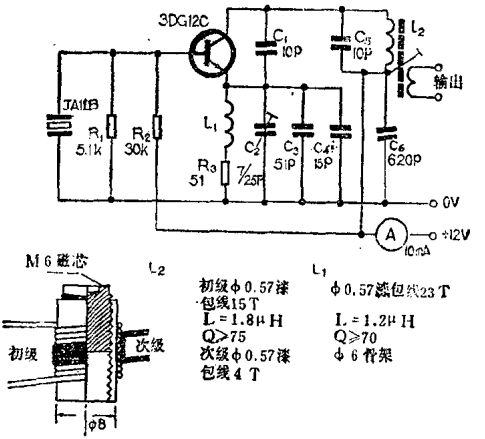


图 2.10 电感三点式振荡器电路图

C_3、C_4 组成电容分压电路，用以控制振荡器的振荡强度。高扼圈 L_1 起滤波作用。

晶体在电路中呈并联谐振，等效电感 L_J，L_2C_5 回路的谐振频率略高于晶体频率，相当于电感 L_a。这样，该电路的交流等效电路可用图 2.11 表示，图中的 C_{bc} 是晶体管集电极与

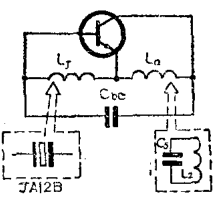


图 2.11 等效电路图

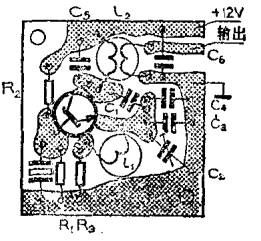


图 2.12 印刷板图

基极间的结电容及分布电容。从等效电路可看出，集电极与基极分别接振荡回路两端，发射极与两电感相接，反馈靠电感分

压实现，因此，电路是电感三点式振荡器。振荡器的工作频率主要决定于晶体，在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间。L_2C_5 回路的作用与图 2.6 中的 C_1L_1 回路作用相同，主要决定振荡强度。

图 2.12 是本电路的印刷板图。

三、调 试

初次装发射电路，很可能要反复几次才能搞好。造成反复除了元器件和组装方面的原因外，调试方法的不当也是主要原因之一。主振级元器件选择和组装方法将在本章第六节介绍，这里以图 2.6 为例，介绍调试主振级的方法。

1. 自制场强计及无感螺刀

场强计是用来测量高频辐射场强的装置。调试主振级前，最好自制一个简易场强计，这样可使调试工作收到事半功倍的效果。

图 2.13 是自制场强计的电路及外形。在使用时，通过调节电容 C 把 LC 回路的频率调到等于或接近被测信号频率，使回路两端能有较高的被测信号电压。此信号经二级管检波送到微安表，指示被测信号的强度。按图示的 LC 数据，左图工作于 27 MHz 频段，右图工作于 150 MHz 频段。若用于其他频段，要相应改变 LC 回路数值。另外，调高频线圈的磁芯时，用一般螺丝刀很难调准，最好用无感的螺丝刀。无感螺丝刀可用一小铜片镶入有机玻璃棒内制成。

2. 调试方法

调试晶体稳频的主振级，要以较大的功率输出为主要目

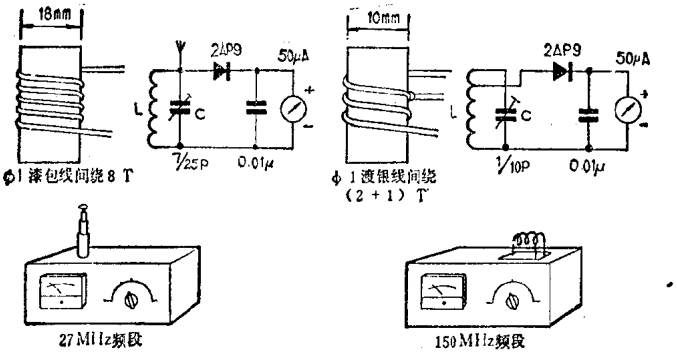


图 2.13 自制场强计

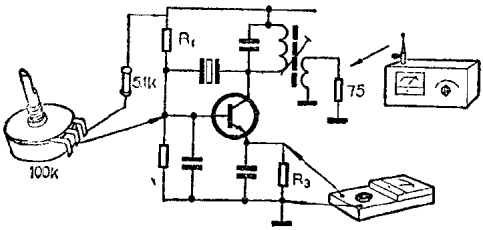


图 2.14 振荡器的调试

的。此外，要使波形尽量接近正弦波，振荡器的工作频率要稳定。

通电前，按图 2.14 所示，用 100 千欧左右的电位器代替 R_1，并把电位器调到最大阻值；把万用表放在 2.5 伏直流电压档，接于 R_3 两端；把 75 欧左右的电阻接于 L_2 两端；场强计放置靠近 L_2 位置，靠近的程度由观察效果而定（如表针偏转很小，可把场强计的天线直接靠在 L_2 上）。作好以上工作即可接电调试。

接电后首先判断电路是否起振。如场强计表针无偏转，或者短路 L_1 两端，万用表电压值也无变化，则说明电路没有振荡。不起振的原因除了焊接错误或元器件有问题外，还可能是工作点过低，或不满足振荡的相位条件，例如图 2.10 电路的 L_2C_5 回路没呈感性，图 2.6 电路的 L_1C_1 没呈容性。在排除了错焊及元器件等方面问题后，调 R_1 及电感的磁芯，电路即能起振。

起振以后，对振荡器还应作如下的调试：调 L_1 的磁芯，用场强计观察，找到振荡最强时磁芯的位置。为了使振荡器工作稳定，磁芯不能调在振荡最强的位置，应在振荡最强点的位置上再向里拧半周。反馈电容的范围一般是几微微法至十几微微法，可在这个范围换几个不同容量的电容，把振荡最强的电容留在印制板上。电阻 R_1 的大小与振荡器工作稳定性、输出功率和波形有密切关系。在满足输出功率的情况下，R_1 的阻值偏大些好，这样有利于频率的稳定，波形失真也较小。在无仪器的条件下，输出功率是否达到要求，要靠实验来判断。比如，利用场强计与比较标准的振荡器进行比较；或利用超再生式接收机作距离实验，用在一定的距离内对超噪声的压制是否纯净估计振荡器输出功率是否够用。当然，这些方法只能凭个人的感觉和经验，误差往往是较大的。

如果能用示波器(SBM-14)、频率计 (E 312)、小功率计(GLX-6)或高频电压表(DYC-5)等仪器调试振荡器，就不会有上面方法所带来的较大误差了。调试时把仪器的输入端接到 L_2 两端，观察调试效果。调 L_2 磁芯、R_1 及反馈电容与上述方法相同，在用小功率计测输出功率时，要将并于 L_2 两端的 75 欧电阻去掉(用其他仪器测时不要求去掉该电阻)。用示波器观察振荡强弱效果的同时，还可看到波形失真情况及有无

寄生振荡。波形失真可通过调 R_1 及 C_2 改善，寄生振荡的观察与消除可参照本章第三节中的介绍。

无论用自制的场强计调试，还是用仪器调试，调完后都应关断几次电源，看电路性能有无变化。如有变化，说明电路工作不稳定，还要继续调试；如无变化，可把电位器换为固定电阻，把 L_1 的磁芯用蜡封固，调试工作即告结束。调好后，电路的工作电流为6毫安，用万用表测 R_3 端电压为 1.2 伏，在75欧负载上的输出功率为 20 毫瓦。

四、参考电路

1. 40 MHz 频段振荡器

为得到较高的工作频率，发射电路的主振级可采用倍频振荡器。倍频振荡器的工作频率是晶体频率的整倍数。常用的有二倍频及三倍频振荡器。图 2.15 是二倍频振荡器，用 22 MHz 的晶体，得到 44 MHz 的工作频率。只要换用相应频率的晶体，该电路适用于 40 MHz 频段。

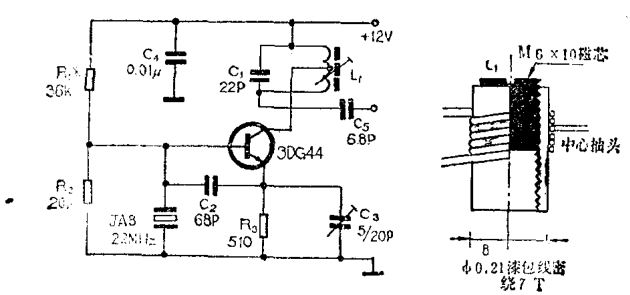


图 2.15 40 MHz 频段振荡器

电路中 L_1C_1 调谐于 44 MHz，对基波 22 MHz 失谐，可近似看作短路。晶体在电路中呈感性，分压电容是 C_2 与 C_3。因此，对基波而言，电路是集电极接地的电容三点式振荡器，从发射极可得到 22 MHz 信号。由于集电极负载 L_1C_1 调谐于 44 MHz，22 MHz 的基波及其他谐波均被滤掉，从集电极电路即得到 44 MHz 的信号。

调试时，除了调 R_1 及 C_3 处，还要调 L_1 的磁芯，使 L_1C_1 回路谐振于 44 MHz，以得到 44 MHz 的最大输出。

在倍频振荡器中，集电极选频回路的 Q 值要高，否则会使输出信号的幅度有明显变化，其包络按基波的规律变化；倍频数越大，这种现象越明显。图 2.16 是将该电路改为三倍频(66 MHz)时的实测波形。从图中可以看出，三倍频中含有基波的成分。为改善这种情况，就要提高集电极回路的 Q 值，以加强对基波的抑制能力。本电路为提高 L_1C_1 回路的 Q 值，把晶体管集电极接在 L_1 的抽头上。

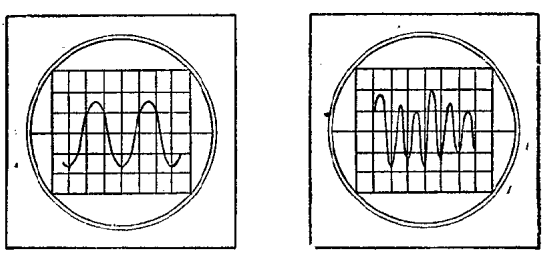


图 2.16 倍频波形图

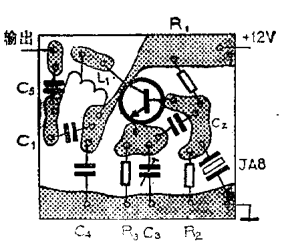


图 2.17 40 MHz 振荡器印刷板图

图 2.17 是该电路的印刷板图。调好后，电路的电流是 5 毫安左右。

2. 150 MHz 振荡器

图 2.18 的二倍频振荡器电路原理与图 2.15 电路相同，电路使用 75 MHz晶体，产生频率为 150 MHz 的信号。工作电流 3.5 毫安时，从 L 次级可得到 4 毫瓦的输出。

电路的印刷板图见图 2.19。

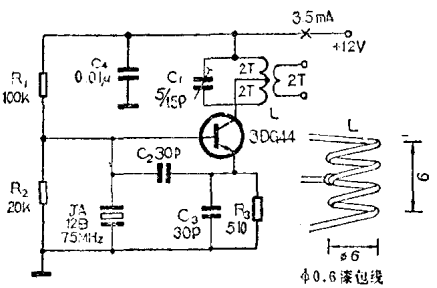


图 2.18 150 MHz 振荡器电路图

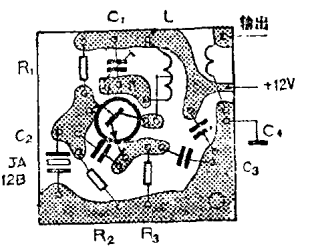


图 2.19 150 MHz 振荡器印刷板图

第三节 高频功率放大器

发射电路中，主振、缓冲级以后到天线之前各级，均属高频功率发大器。主振级产生的载波经高频功率放大器放大，才能具有较大的功率，使遥控设备控制较远的距离。本节介绍用于遥控发射电路的高频功率放大器原理及调试方法。

一、高频功率放大器原理

1. 三类功率放大器

扩音机中的低频功率放大器一般工作于甲类或甲乙类状态，而高频功率放大器大多工作于丙类。为此，我们有必要先了解丙类放大器的特点。

甲、乙、丙三类放大器，是根据晶体管直流工作点位置的不同而区分的。图 2.20 是三类放大器的工作状态图。放大器工作于甲类时，工作点选在晶体管转移特性直线部分的中间位置，如图 2.20(a)所示，不管有无输入信号，始终有集电极电流。这种放大器效率低，但失真很小，输入正弦波，输出是放大了的完好的正弦波。乙类放大器的工作点在截止点，如图2.20(b)所示，仅在信号正半周时有集电极电流。这种放大器的效率比甲类放大器高，但失真比较严重。如果放大器的工作点比乙类放大器还低，即低于管子的截止点，这种放大器就是丙类放大器。图 2.20(c)所示的为丙类放大器工作状态图，从图中可看到，丙类放大器集电极电流流通时间比乙类还短，因此效率比乙类高，但失真更为严重。

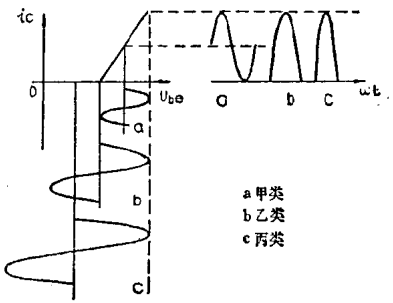


图 2.20 放大器的三种工作状态

2. 高频功率放大器原理

也许你有这样的疑问：丙类放大器的集电极电流是脉冲形状的电流，产生严重的失真，怎么能用来放大信号呢？对于高频功率放大器来说，这种担心是没有必要的，下面我们结合具体电路来说明。

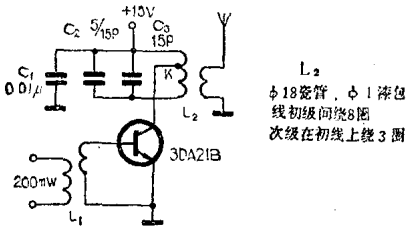


图 2.21　1.3 瓦高频功率放大器电路图

图 2.21 是一个实用发射机的输出级电路，工作于 27 MHz 频段，输入 200 毫瓦时，能有 1.3 瓦的输出。

电路中，功放管 3 DA 21 的基极通过线圈 L_1的次级接地，发射极也接地，所以功放管偏压为零。一般硅管的截止偏压在 0.6 伏左右，该电路管子的偏压低于截止偏压，因此是丙类放大器。另外，电路功放管集电极负载是由 L_2、C_2、C_3 组成的调谐回路，谐振于工作频率。这样，虽然功放管 3 DA 21 的集电极是脉冲状电流，但由于 LC 回路的作用，把谐波滤掉了，从集电极电路输出的仍然是放大了的完好的正弦波。正因为负载是 LC 选频回路，而工作于丙类状态的功率放大器能放大单一频率（或窄频带）的高频信号，并且有较高的效率，所以发射电路的中间级，尤其是输出级，一般都采用丙类放大器。另外，丙类放大器适于放大等幅信号。近年来遥控设备大多用调频制，调频信号是等幅信号，这也是丙类放大器在发射电路中应用广泛的一个原因。根据电路的不同要求，甲类及乙类放大器在发射电路也要应用。一般来说甲类放大器虽然效率低，但功率增益比乙、丙类高，所需输入功率小，适于缓冲级

应用；乙类放大器适合放大调幅信号，在调幅制的发射电路中应用较多。

上面介绍的高频功率放大器是零偏压的丙类放大器。为使功放级效率更高些，有的放大器还加上负偏压。常用的负偏置电路如图 2.22 所示。图 2.22(a)是利用基极电流的直流分量在R_b上的压降作为负偏置电压，图 2.22(b)是利用发射极电流

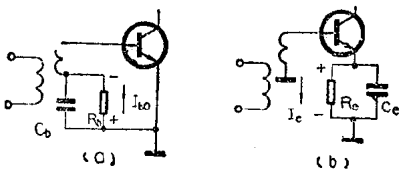


图 2.22　负偏置电路图

的直流分量在 R_e 上的压降作为负偏置电压。这两种偏置电路都是在有输入信号时才能产生偏压，是自偏置电路。对工作频率较高的高频功率放大器，功放管的发射极直接接地有利于电路稳定工作，因此图 2.22(a)电路使用较多。

二、高频功率放大器的调试

调试高频功率放大器的目的，是要放大器在效率较高的状态下给出较大的功率。虽然发射电路的中间级与输出级都属功率放大器，都需调试，但输出级的调试工作更为重要。这一方面是因为输出级的功率较中间级大，效率的高低对整个发射机的效率有较大影响，另一方面则因功放管的功率较大，在电路调试不当时，会使功放管过热或烧毁。下面我们以图 2.21 所示的输出级为例，介绍高频功率放大器的调试原理和方法。

1. 调试原理

高频功率放大器的调试分调谐与调整两个步骤。首先应该使 LC 回路对工作频率谐振，使回路呈纯电阻性，这个工作称为调谐。调谐后，LC 回路所呈现的电阻并不一定等于晶体管输出负载电阻，输出功率不一定最大，还要使阻抗匹配，以输出最大功率。这个过程叫调整。

怎样判断放大器的调谐与调整已处于完好状态呢？这就需要我们先了解放大器的调谐特性和负载特性。

调谐特性是指放大器调谐过程中电流、功率的变化规律，如图 2.23 所示。图中的 C_0 是 LC 回路谐振时的电容量。从图 2.23(a)可看出，回路谐振时，集电极电流 I_{c0} 最小，基极电流 I_{b0} 最大，发射极电流 I_{e0} 也最小，只是 I_{e0} 的变化没有 I_{c0} 明显。调谐过程中功率变化如图 2.23(b)所示。直流输入功率 P_0 变化的规律与 I_{c0} 相同；输出功率 P_1 在调谐点时最大；集电极损耗功率 $P_c=P_0-P$，故调谐时 P_c 最小，失谐后 P_c 增大。根据上述的电流或功率变化特性，均可看出放大器是否调谐了。

放大器的负载特性说明了放大器的电流、电压、功率及效率随负载电阻变化的情况，如图 2.24 所示。

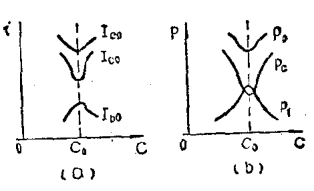


图 2.23 调谐特性

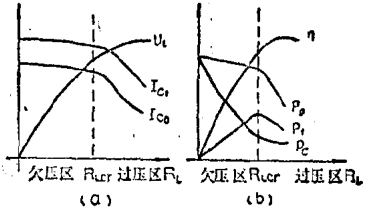


图 2.24 负载特性

图中的 R_L 是 LC 回路两端的等效负载电阻，即当带有负载时回路的谐振电阻。当 R_L 为 R_{Lcr} 值时，放大管的集电极最大电流值刚好处于放大区与饱和区的交点，是放大器最好的工作状态。这种工作状态称为临界状态，负载电阻 R_{Lcr} 称为临界电阻。临界状态的左方，称为欠压状态区，右边称为过压状态区。从图 2.24(a)可看出欠压状态时，调谐回路电流 I_{c1} 及集电极电流 I_{c0} 随 R_L 变化不大，具有恒流特性。在过压状态时，调谐回路电压 U_L 随 R_L 变化不大，具有恒压特性。从图 2.24(b)可看出，临界状态时，输出功率 P_1 最大，效率 η 也接近最高，直流输入功率 P_0 及功放管的损耗功率 P_c 较小。为了在较高的效率下输出足够的功率，输出级应调整到这种状态。过压状态具有恒压特性，效率也比较高，中间级一般调到这种状态，以便向后级提供稳定的激励电压。

2. 调试方法

从上述的调试原理可以看出，通过测量电压、电流或功率等办法都可判断高频功率放大器的调试结果。其中有的办法虽然在道理上可行，但在实际应用中并不理想。例如，用高频电压表测量 LC 回路的端电压 U_L，判断回路是否调谐时(调谐后 U_L 最高)，因测量仪器的输入电容会改变回路的谐振频率，误差很大。因此，测量仪器最好不直接加在电路的高频电位点。有的办法，例如用高频示波器及功率计测量，效果虽好，但业余爱好者又不易办到。下面介绍一较为实际的调试方法。

调试前，把电流表(500 毫安)接入电源与回路之间，L_2 次级接入 50 Ω 左右 3 瓦以上的金属膜电阻，并将高频电压表(如 DYC−5)接到 L_2 次级两端，场强计放置在靠近线圈 L_2 的位置，如图 2.25 所示。

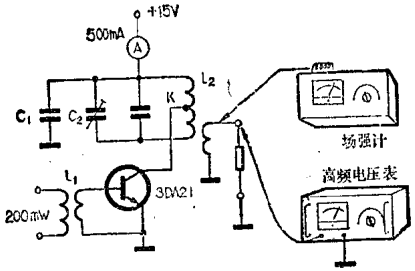


图 2.25 高频功率放大器的调试

为了保证功放管的安全，预先把电源电压降为10V。另外，从负载特性可知，放大器处于过压状态时，电流 I_{c0} 变化大，调谐特性陡峭、明显，集电极的损耗功率 P_c 也小，因此调试前应使L_2的初级与次级间的耦合减弱。具体做法是将次级从骨架向外拉出，加大与初级的距离、这样回路的等效阻抗 R_L 加大，放大器处于过压状态了。

作好上述的工作后，即可加上电源，并加入激励信号(200毫瓦)。激励信号一般由前面的激励放大器提供。首先调 C_2，在电流表上能看出 I_{c0} 出现最小值，同时场强计与高频电压表出现峰点，C_2 的这个位置即是谐振点。谐振后，还应进行调整工作。先把电源电压加至15V，再调 L_2 初次级耦合程度，以得到最大的功率输出。当耦合加大时，L_2C_2 回路等效电阻 R_L 随之减小，放大器即向临界状态过渡，此时电流表、高频电压表、场强计的指示均变大，并会出现指示最大的一点。这一点即是放大器的临界状态。到临界状态后如还继续加深耦合，电流表指示的 I_{c0} 仍加大，但高频电压表及场强计读数开始下降。图2.26表示改变 L_2 初次级耦合程度时，I_{c0} 及输出功率 P_1 变化的情况。图中的 M_{cr} 对应于放大器处于临界状态

时的耦合点。有时还需调线圈 L_2 初级的抽头位置才能达到临界状态，抽头位置的调整也用场强计与高频电压表观察，调至输出功率最大。

上述的调谐与调整应反复几次，即在调谐后进行调整，调整后再重新调谐。最后，可用高频电压表的指示计算输出功率。本级调好后，在 50 欧电阻上测得电压为 8 伏，则 $P_1=\frac{8^2}{50}\approx 1.3$ 瓦。

图 2.25 的电路是用来调试输出级的。实际发射电路中，在它前面还有中间级。调试中间级时，一般应断开后级，接入 75 欧左右的假负载，调试方法同前。

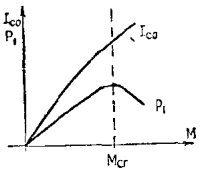


图 2.26 耦合程度与输出功率之间的关系

调试功率较大的输出级，应注意以下两点：① 调试过程中不要把 LC 回路及负载短路，从图 2.24 (b) 可看出，R_L 为零时集电极损耗 P_c 最大，功放管有可能烧毁。② 从图 2.23 (b) 可看出，失谐时 P_c 大，因此在调谐时电源电压要低一些，一般取正常工作电压的 1/2～2/3，激励功率也可减小一点，调谐的动作应该快些。这些措施都是为保护功放管的安全而采取的。

三、寄生振荡及消除办法

当放大器或振荡器出现工作信号以外的频率成分时，放大器或振荡器就有了寄生振荡。寄生振荡是发射电路常见的毛病。较弱的寄生振荡，会使输出波形畸变，有用的输出功率下降，效率变低。强的寄生振荡会使放大器变为自激振荡器；振

荡幅度足够大时，超出晶体管的极限参数，会使管子损坏，而且这一过程非常快，往往来不及切断电源。

怎样知道有寄生振荡呢？可以用示波器观察波形。如波形的边缘轮廓不清晰，有毛刺，镶边等现象，放大器即有寄生振荡产生（见图 2.27），另外，在调试放大器过程中，如果 I_{c0} 或场强计变化反常，出现电流或场强的跳变，往往是有寄生振荡的反映。常遇到的寄生振荡在没有激励信号下也仍然存在，（也有的在外加激励信号下才产生寄生振荡），因此，去掉输入的激励信号后，放大器如仍有输出，则说明放大器有寄生振荡。

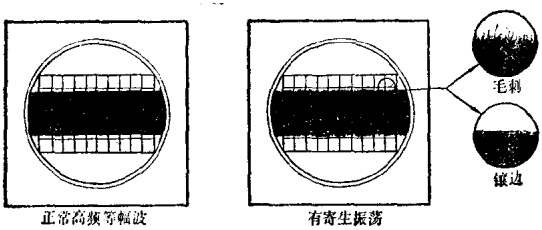


图 2.27 寄生振荡波形图

寄生振荡产生的原因多种多样，如输入、输出回路之间的耦合，多级放大器的级间反馈，公共电源内电阻构成的耦合，电路的分布参数（分布电容，引线电感等）及晶体管的极间电容引起的振荡等。随着形成振荡的原因不同，寄生振荡的频率也不同，在调试遥控发射电路中，较常见的是与工作频率相近的寄生振荡。

消除寄生振荡可从电路及组装两方面着手。在电路方面，可以采取如下措施：① 适当减小同一频率信号的放大级数（可使用倍频电路），输出级的增益不宜过大。② 引入适当

的负反馈和防振电阻。以图 2.21 电路为例，可在发射极串入 1～5 欧的负反馈电阻，或在基极加入 1～5 欧的防振电阻，如图 2.28 所示。加入这两个电阻都会使功率增益下降，尤其是 R_e 对输出功率影响较大，因此一般只是在其他办法都不能消除寄生振荡时才采用这一措施。③ 采用电源去耦电路，消除放大器各级通过公共电源内阻形成的正反馈。遥控发射机所使用的电源容量有限，工作一段时间后，电压不足，内阻变大，更易引起振荡。针对这个问题，可按图 2.29 在每级加入电源去耦电路。图中的 GZL 是高扼圈，放大器工作在 27 MHz 频段时，电感量为 30 微亨左右；工作在 150 MHz 时，电感量 10 微亨左右即可。去耦电容 C 的数值原则上大些好，常用 0.01～0.047 微法的电容。

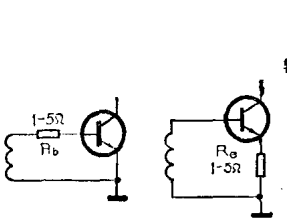


图 2.28 消除寄生振荡的电阻

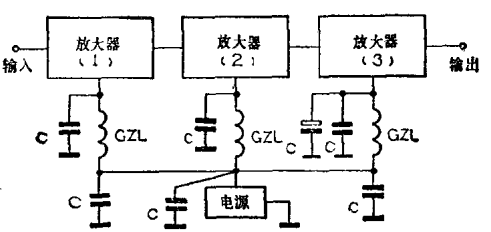


图 2.29 电源退耦电路图

从组装方面消除寄生振荡的措施。在本章“发射电路元器件选择为组装要点”中有所介绍，这里从略。

四、参考电路

1. 27 MHz 频段放大器

图 2.30 是一个实用的 27 MHz 频段放大器电路图，印刷

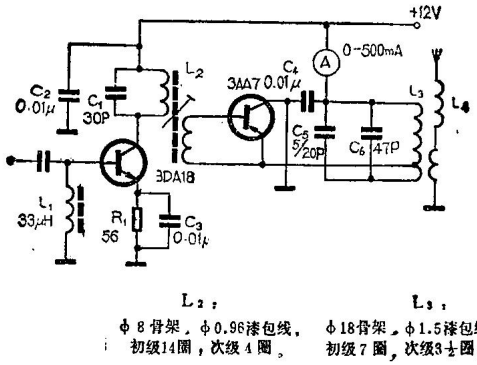


图 2.30　27 MHz 频段放大器电路图

板如图 2.31 所示。当输入 20 毫瓦 左右 功率时，输出 1 瓦左右。该电路与图 2.6 或图 2.10 的振荡器组合在一起，就是一个完整的发射机的高频电路。

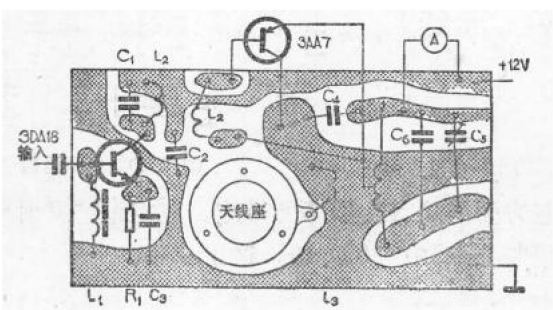


图 2.31　印刷板图

图中的 3 DA 18 是激励级，它的作用是把输入信号放大，推动输出级。激励管工作于丙类共发射极状态，由 L_1(GZL)、R_1、C_3 构成自偏压电路。C_1L_2 回路是集电极负载，谐振于工

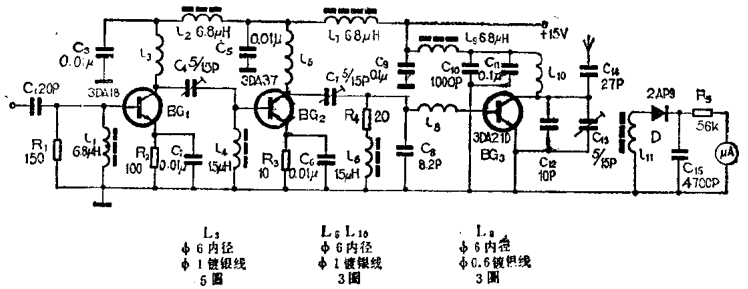


图 2.32　150 MHz 放大器电路图

作频率，经 L_2 的次级将推动信号加到输出管的基极。

输出级晶体管也工作于丙类共发射极状态，由 $L_3C_5C_6$ 组成的调谐回路接在发射极，管子的集电极处于地电位。由于 3 AA 7 的外壳是集电极，管子可直接固定在散热片或金属机壳上，有利于散热。串接在输出极电源回路的电流表指示本级的工作状态，正常工作时电流在 200 毫安左右。

2. 150 MHz 频段放大器

图 2.32 是工作于 150 MHz 频段的放大器电路图，其印刷板图如图 2.33 所示。该放大器在输入 100 毫瓦左右的功率时，输出 2 至 3 瓦。

电路共由三级组成，三极放大器均工作在丙类共发射极状态。各级间的耦合均用电容分压实现，C_4、C_7 既是耦合电容，也是谐振回路电容的一部分。以 C_4 为例，C_4、BG_2 的发射结电容（包括电路的分布电容）串联，与 L_3 组成谐振回路，调谐于 150 MHz 频段。同时，C_4 与 BG_2 的发射结电容（包括电路分布电容）分压，将信号耦合到 BG_2 基极。高扼图 L_1、L_4、

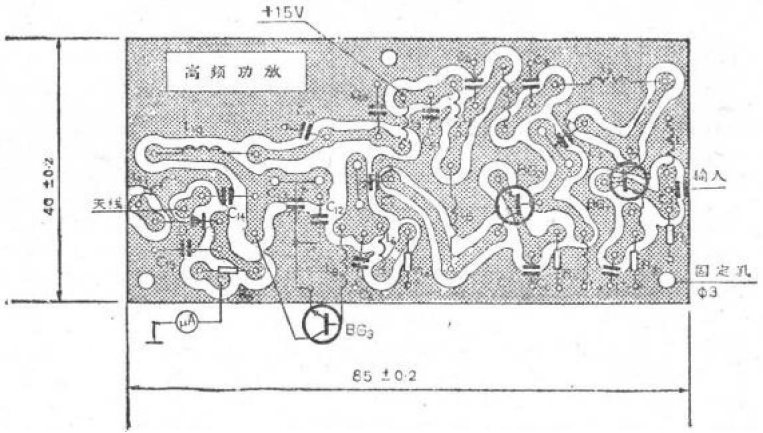


图 2.33 印刷板图

L_6 构成相应各级自偏压回路，L_2、L_7、L_9 与电容 C_3、C_5、C_9、C_{10}、C_{11} 相配合，起电源去耦作用。由 L_{11}、D、R_5、C_{15} 及微安表组成的电路指示出放大器的工作是否正常。

功率管 3 DA 21 D 直接固定在散热片或发射机机壳上，有利于散热。电路正常工作时，在输出 2 瓦情况下，输出级电流为 280 毫安左右。

第四节 鞭状天线

众所周知，扬声器是扩音机的负载。发射电路输出级的负载则是天线；载频经天线形成电磁波，辐射到空间去。

天线的种类很多，遥控设备使用最广泛的是鞭状天线。一根长度合适的铝管或铜管就可成为鞭状天线；为了安装和使用的方便，一般都采用可伸缩的拉杆天线（见图 2.34 a）。实

践证明，拉杆天线的故障率较高。为提高可靠性，有的遥控设备使用钢卷尺式的鞭状天线（见图 2.34 b），还有的设备使用导电橡胶鞭状天线（见图 2.34 c），这两种鞭状天线携带及使用都很方便。

除了鞭状天线外，个别的遥控设备还使用对称的水平天线（见图 2.35）。这种天线对空中辐射强，飞行高度很高的航模

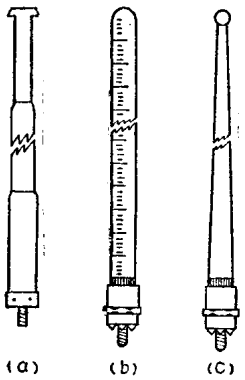


图 2.34 鞭状天线

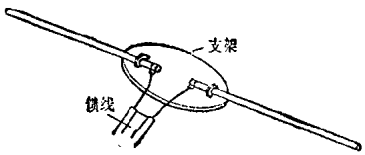


图 2.35 对称水平天线

设备，例如创飞行高度记录的模型，最好用这种天线。另外多匝环天线在遥控设备中也是很有发展前景的（见图 3.36）。与鞭状天线相比，多匝环天线尺寸小，效率较高，对邻近物体的敏感性也比鞭状天线小。

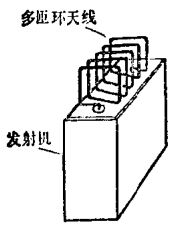


图 2.36 多匝环天线

下面我们介绍应用最多的鞭状天线的一般原理及调试方法。

一、一般原理

图 2.37 是鞭状天线的等效电路图，从等效电路可看出，天线实际是 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每一部分，而一般的 LC 回路电感及电容都是集中的，因此，天线也叫开路的 LC 回路。当高频电压接入天线后，天线内即有高频电流通过，在天线的周围就产生交变的电场与磁场，由于天线是开路的 LC 回路、电磁场的变化暴露在辽阔的空间，电场及磁场就由近到远的同时向外传播，形成我们所说的电磁波。

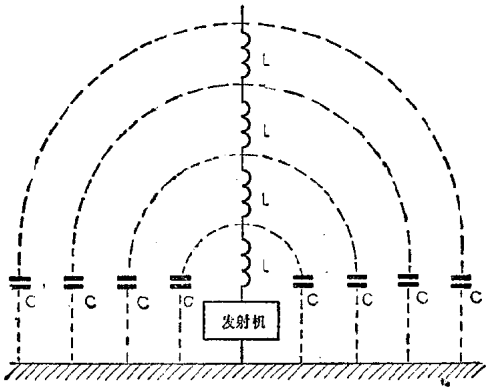


图 2.37　鞭状天线等效电路图

如同一般的 LC 谐振回路一样，天线也有其自然谐振频率和波长。鞭状天线的谐振波长(λ_0)等于 4 倍的天线长度(L)，即 $\lambda_0 = 4L$。在实际使用时，要使天线的 λ_0 等于发射机载频的波长，天线才能从输出级得最大的功率，同时也起到较好的滤波作用。按上述的公式计算，工作于 27 MHz 的遥控设备要使用

近 2.8 米长的鞭状天线。这样长的天线在使用中不太方便，实际应用时都采用加感的办法，在不改变天线谐振波长的前提下，把天线的尺寸缩短。天线加感有两种办法，一是把电感线圈加在天线底部，称为底部加感。另一种办法是将电感线圈放于天线中部，称为中部加感。图 2.38 所示是工作于 27 MHz 频段的中部加感鞭状天线。在同样高度情况下，中部加感比底部加感天线的效率高，这是由于中部加感后，天线的主要辐射部分电流辐度较大，分布较均匀（见图 2.39）据实验，在同等

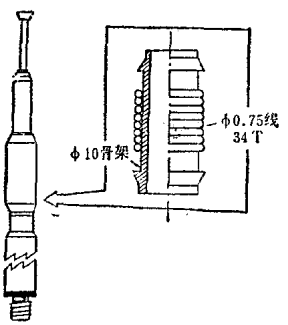


图 2.38 中部加感天线(27 MHz)

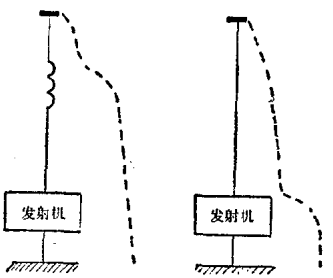


图 2.39 加感天线的电流分布

距离用接收机记录信号强度，中部加感天线比底部加感天线的增益提高 14 分贝。但在制作时，中部加感天线比较复杂，而底部加感天线要容易得多，只要把加感线圈安装在印刷板上就可以了。因此一些简易的小遥控设备大多用底部加感天线。

以天线为中心，表示天线在各方向辐射强弱的图形称为天线的辐射图。与地面垂直的鞭状天线水平辐射图是圆型，垂直辐射图如图 2.40 所示。从垂直辐射图可看出，天线的指向方向是辐射的“盲区”，使用时应避免被控目标在这个区域中。尤其被控目标距离较远时，不应将天线的指向方向对着目标。



图 2.40 鞭状天线（λ/4）垂直辐射图

如果你在海面、湖面、机场草地、干燥的沙地等不同环境中都操纵过遥控模型，可能会发现同一遥控设备在不同的环境中控制距离不一样。这是由于天线效率不同所引起的。天线的效率取决于天线辐射电阻和损耗电阻，辐射电阻上的功率是真正辐射出去的功率，损耗电阻上的功率是白损耗掉的。在辐射电阻不变的情况下，损耗电阻越大，天线的效率越低。鞭状天线的损耗电阻与发射机接地状态及地面导电情况有关。若发射机有良好的地线，地面导电又良好，损耗电阻就小，天线效率高；反之则低。海面的导电性能比一般地面好，因此在海面的操纵距离比一般地面远。

二、调试方法

为了使天线从输出级得到最大的功率，同时也起到较好的滤波作用，对天线要进行调试。天线的调试分为调谐与调整，调谐就是使天线回路谐振于发射机的工作频率；调整就是通过调节输出级 LC 回路与天线回路之间的耦合，实现天线阻抗与输出级临界电阻之间的匹配。

实践说明：便携式遥控发射机使用的鞭状天线对于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（将发射机由桌面放到地面或操纵者由站立改为坐、卧等）；天线邻近物体的变化(天线附近有人与没有人或靠近墙壁、仪器等导体)，都将引起天线输入阻抗的变

化，从而使天线失谐，造成发射功率的减弱。因此，调试天线时最好将发射机置于实际使用的环境中，不要在实验室内调试。

调试天线的方法见图2.41。图中的输出级是图2.25的电路，该电路的L_2、C_2、C_3回路调谐后，在L_2的次级接入天线；并将L_2的初次级线圈间隔加大，使耦合较弱；按图示测试点接入电流表。在距天线几米远放置场强计，将场强计的天线拉出。有高频电流表时，还可以把高频电流表接入天线回路。

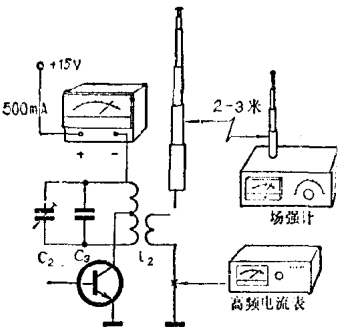


图 2.41 天线的调试

以上工作完成后，就可以调试天线了。首先将天线调谐：对于没有加感线圈的天线，是调天线的长度；有加感线圈的天线，则应将天线全拉出，调线圈的电感。天线是串联谐振回路，调谐后阻抗最小，天线回路的电流最大，输出管集电极电流也随之增大，天线辐射的场强最强。根据上述的变化，通过天线回路的高频电流表或集电极电路的电流表及场强计的指示，即可将天线调谐。调谐后还应作天线的调整工作：把L_2初级与次级的间隔变小，使耦合增大，同时还要再调谐天线及L_2C_2回路。随着耦合的加大，输出级由过压状态向临界状态过渡，集电极电流I_{c0}、天线电流及场强计的指示上升。直至天线电流及场强计的指示不再增加，放大器即调到了临界状态，天线辐射的功率最大。至此，天线的调试就完成了。如果再继续加大耦合，天线电流及场强计指示开始下降。

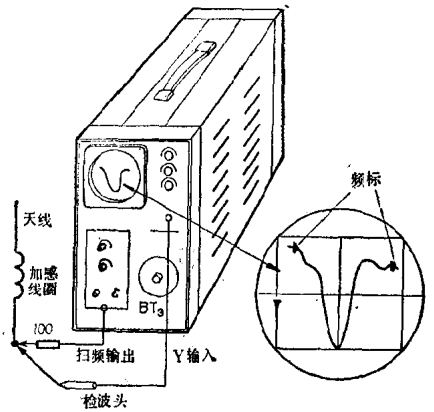


图 2.42 调加感线圈

加感的天线接入发射电路调试之前，还可用扫频仪(如BT-3型扫频仪）粗调加感线圈，其方法如图2.42所示扫频仪的输出（经100欧左右小电阻）及输入(经检波探头)均接天线根部，根据频标的读数，调加感线圈，使天线谐振于所需的工作频率。

第五节 调制电路

运送货物时，除了要有运输车辆外，还需把货物搬运到车上去。类似地，调制电路就是把控制信号“搬运”到载频上以便由天线发射出去的电路。把控制信号“搬运”到载波上去的过程叫调制。控制信号就是调制信号。调制分为调幅、调频与调相方式，遥控发射电路中常用的是调幅及调频方式。下面我们介绍这两种调制电路。

一、调 幅

调幅方式是让载波的振幅随调制信号而变化（见图1.11)。遥控发射电路中常用基极调幅，集电极调幅及振幅键控电路。

1. 基极调幅电路

基极调幅是把调制信号加到晶体管基极，实现用调制信号控制载频的幅度。图 2.43 是一个基极调幅电路实例。它的工

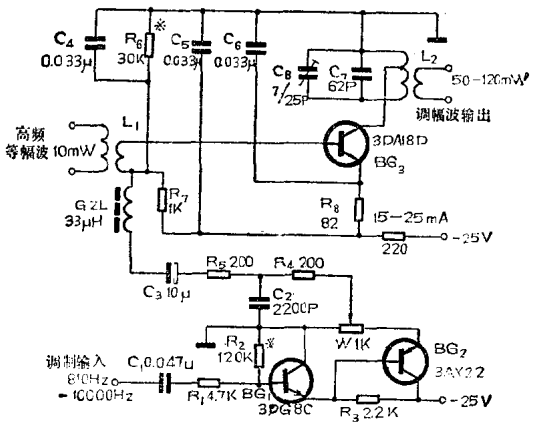


图 2.43 基极调幅电路图

作原理是这样的：编码器产生的控制信号经 C_1 加到调制放大器。调制放大器是由 BG_1、BG_2 组成的互补射随器，射随器虽然没有电压增益，但输入阻抗高，在这里主要起隔离编码电路与高频电路的作用。为能改变调制信号的强度，输出信号经电位器 W_1 送出。为防止高频信号混入调制放大器和改善调制信号的频率特性，调制放大器与高频电路之间，有 R_5、R_4、C_2 组成的低通滤波器和 GZL_1、C_3 组成的带通滤波器。经过以上的电路，调制信号加到功放管 BG_3 的基极。如果不加调制信号，BG_3 及 L_1、L_2 等组成的电路就是一般的高频功率放大器。由高频振荡器来的高频信号经 L_1 加到管子的基极，R_6、R_7、

R_3组成的偏置电路给 BG_3 的基极加一直流偏压。加入调制信号后，基极除了高频电压及直流偏压外，又叠加了调制电压，基极电压及电流就按调制电压的规律变化，集电极脉冲状高频电流的幅度也按这一规律变化，从而 L_2、C_7、C_8 回路高频电压的幅度即随调制电压而变化，实现调幅。图 2.44 是上述基极调制的波形图。

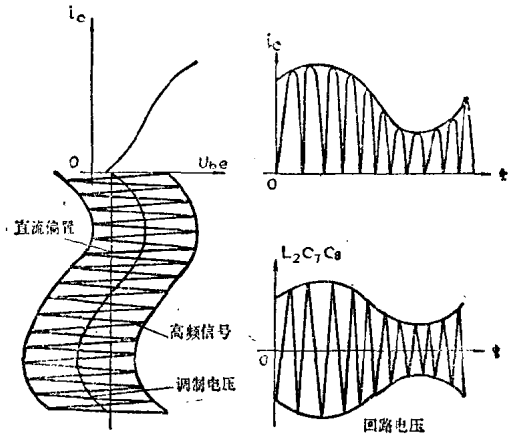


图 2.44　基极调幅波形图

基极调制电路只需较小的调制功率就能实现调制，但不宜深调制，一般最大调制度为 80%。如调制度过大，不仅高频输出功率减小，调制后的波形也会有较大失真。这种电路适用于简单的近距离发射机。

2. 集电极调幅电路

集电极调幅是把调制电压加到高频放大器或振荡器的集电极的调制电路。图 2.45 是集电极调制电路实例。下面结合此

电路简介集电极调制电路的组成和原理。

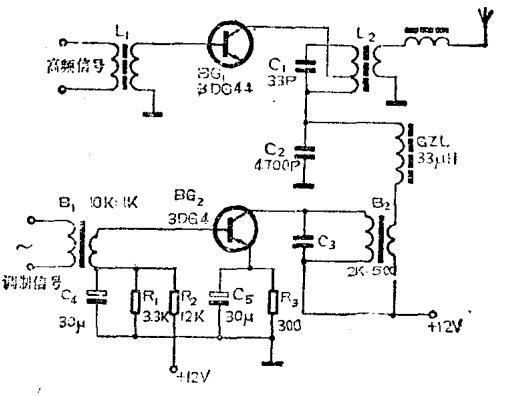


图 2.45 集电极调幅电路图

调制信号加在由 3 DG 4 组成的调制放大器，CZL 与 C_2 组成去耦电路，防止高频信号进入调制放大器。调制信号经调制变压器 B_2 的次级加在 3 DG 44 的集电极，使集电极除电源电压外，又叠加一调制电压，集电极电压随调制电压的规律变化。由 L_1 输入的等幅高频信号经 3 DG 44 放大，形成脉冲状的集电极电流，电流的幅度随调制电压规律变化，因而 L_2 输出的高频电压也随调制电压幅度而改变，输出的是已被调幅的载波。

与基极调制相比，集电极调制所需的调制功率要大得多，输出的调幅波功率也大。在一般的遥控设备中大多采用这种调制方式。

3. 调制振荡器电路

上面介绍的两种电路均是对高频放大器进行调制的。在如图 2.2 所示的简单遥控设备中，高频部分仅有一级高频振荡

器，要进行调制时，就只得对振荡器进行调制。图 2.46 是调制振荡器电路的实例。图中 3 DG 11 与 L_1、C_1 等组成晶体稳频的高频振荡器。3 DG 4 与变压器 B 等组成互感式音频振荡器。音频振荡器所产生的音频信号就是调制信号。调制信号经

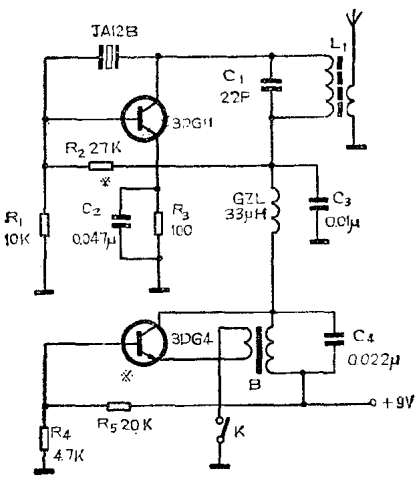


图 2.46 调制振荡器电路图

变压器 B 的初级与电源电压串联，实现对 3 DG 11 集电极与基极的调制。这种把调制信号同时加在基极与集电极的电路，容易得到较深的调制度。

实际上，图 2.46 电路就是单通道发射机电路，电路中的 L_1 可参考图 2.6 电路中高频线圈的数据。变压器 B 可用晶体管收音机中的输出变压器。如电路不起振，可将变压器 B 的次级(8 欧)圈数增加一点。K 是操纵开关，当 K 接通时，电路发出控制信号。

4. 幅度键控电路

上面介绍的调制电路大多用于频分制遥控设备，而在时分制遥控设备中，多用幅度键控的调制方式。

时分制遥控设备的控制信号是用“0”、“1”表示的数字信号，通常“1”表示高电平，“0”表示低电平。这种控制信号的调制可采用类似等幅电极的通信方法，用按键代表“1”，在“1”时接通发射电路的电源，有等幅的高频信号输出；抬起按键相当于“0”，电路中断，没有输出。这种方法称为幅度键控。图2.47是幅度键控的示意图。在遥控发射电路中，一般是用开关管控制高频放大器的直流电路实现幅度键控。

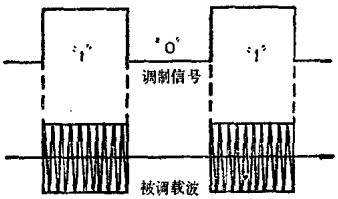


图 2.47 幅度键控示意图

图2.48是幅度键控的电路实例。其中3DG12C是发射电路的高频中间级，其集电极供电受开关管3DK4的控制。3DK4与3DK3组成开关放大电路。当3DK3的基极是高电平时(数码“1”)，3DK3导通3DK4截止，3DG12C不工作，无载波输出。3DK3的基极是低电平时(数码“0”)，3DK3截止3DK4导通，3DG12C工作，有载波输出。这样就实现了幅度键控。图中的C_3是旁路电容，构成高频通路。C_1及C_2的容抗对载频来说可看成是短路，防止载频干扰开关放大器。

从图2.48中的键控输出波形可看出，被键控调制的载频包迹前沿有圆角，与调制信号前沿相比有些失真。因为接收机中有相应的整形电路，这种前沿的圆角不影响正常工作。

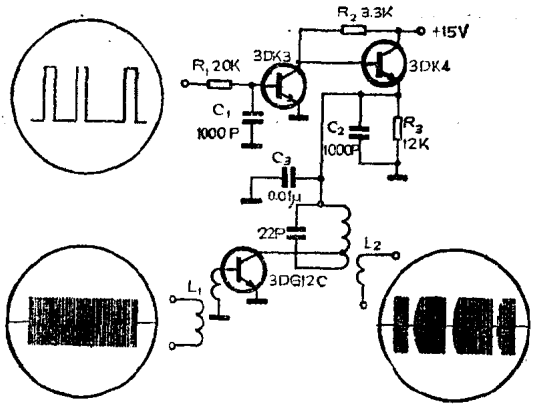


图 2.48 幅度键控电路及波形图

二、调频

调频方式是使载波的频率随调制信号而变化，其振幅是不变的(见图 1.11)。因为调频设备抗干扰能力要比调幅设备强，所以性能较好的遥控设备大多采用调频方式。

调频设备的抗干扰能力与频偏的大小有关，同一调制频率，频偏越大，抗干扰能力越强，这一性能可用调制指数 m_f 来表示$\left(m_f=\frac{\text{最大频偏}}{\text{最高调制频率}}\right)$，$m_f$ 越大，相应的抗干扰能力越强。但 m_f 增大后，控制距离要受到影响，一般遥控发射机的 m_f 为 1～2。

因为遥控发射机的频率稳定度要求较高，频偏又不大，所以一般用晶体调频振荡器产生调频波。除此以外，也有的设备采用频率键控方式产生调频波。

1. 晶体调频振荡器

前面介绍过，晶体振荡器具有频率稳定度高的优点。怎样使这种振荡器产生频率偏移而得到调频波呢？下面我们通过电路实例来说明。

图 2.49 是一个实用的晶体稳频调频振荡器，工作在 27

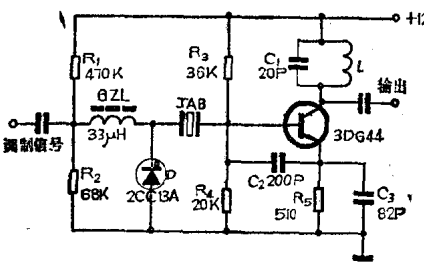


图 2.49 晶体调频振荡器电路图

MHz 频段。振荡器部分是二倍频电路，因此晶体的频率应是振荡器工作频率的一半。稳频的晶体要用基频晶体，本电路采用 JA 8 型基频晶体。当调制电压幅度由 0.7 伏变到 8 伏时，可得到 4KHz 频偏的调频波。

电路中晶体呈感性，LC_1 回路的频率是晶体频率的两倍；对基波来讲，LC_1 回路可看成短路。GZL 对高频信号有很大的阻抗，而调制信号却可通过它加到变容管 D 上。R_1、R_2 组成变容管的偏置电路，R_3、R_4、R_5 是晶体管的偏置电阻。这样，电路的基频交流等效电路就如图 2.50 所示。从等效电路可看出，这是一种改进的电容三点式振荡器，通常称为克拉普振荡器。它的特点是晶体的等效电感 L_J 与变容管的等效电容 C_D 串联，再接到振荡电路中，C_2 与 C_3 仍然是形成反馈的分压电容。在前面说过，当晶体在振荡电路中呈感性

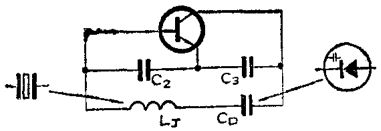


图 2.50　图 2.49 的等效电路图

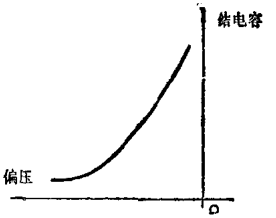


图 2.51　变容二极管的变容特性

时，振荡器的频率在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间，具体数值与晶体的负载电容有关。电路中晶体的负载电容改变时，振荡频率也在 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 之间相应变化。从图 2.50 可看出，晶体的负载电容是 C_D、C_2、C_3 的串联值，其中 C_D 的大小是随调制电压变化的，因此振荡器的频率也就随调制电压改变，实现了调频。

变容二极管的结电容能灵敏地随反向偏压而改变。图 2.51 是变容管的结电容随偏压而改变的关系曲线。可以看出，反向偏压小时，C_D 大；随着反向偏压加大，C_D 变小。以本电路使用的 2 CC 13 A为例，当变容管两端电压由零偏置变化到 10 伏的负偏置时，结电容相应由 125 微微法减小到 30 微微法。

在介绍晶体时我们说明过，晶体的 $f_{串}$ 与 $f_{并}$ 非常接近，两者之差。$f_{并}-f_{串}\approx\frac{1}{2}\frac{C_1}{C_0}f_{串}$。一般 $\frac{C_1}{C_0}$ 为 $10^{-3}\sim10^{-4}$，因此，晶体调频振荡器的最大频偏超不过晶体频率的 10^{-3}，而且频偏过大与频率稳定度有矛盾，所以这种电路的频偏都很小。为了加大频偏，通常用倍频的方法将频偏扩展。可在振荡器倍频，也可在放大器倍频；为使遥控发射电路简化，通常在振荡器倍频。

2．频率键控

频率键控的方法与幅度键控的方法相似，在高电平时，发出频率为 f_1 的等幅信号；低电平时，发出频率为 f_2 的等幅信号，如图 2.52 所示。通常这种调制方式用来传送时分制的数字信号。

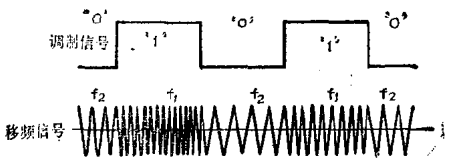


图 2.52　频率键控示意图

实际上，当调制信号是数字信号时，图 2.49 的调频电路就是频率键控电路。有的遥控设备为得到高的频率稳定度和较大的频偏，还采用图 2.53 的方法实现频率键控。图中频率分

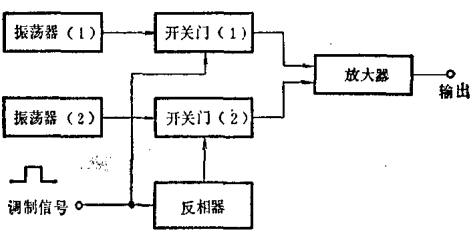


图 2.53　频率键控方框图

别是 f_1 与 f_2 的两个信号，通过相应的开关门与放大器相接，开关门的状态受调制电压的控制。当调制信号是“1”时，开关门“1”导通，频率为 f_1 的信号输送到放大器；调制信号为“0”

时，开关门 2 导通，频率为 f_2 的信号输送到放大器。这样，从放大器的输出头得到键控调频信号。开关门 1 与开关门 2 的电路完全相同。图 2.54 是一个用于 27 MHz 频段的开关门电路。其中 D_1 与 D_2 是开关二极管，高扼圈 GZL 起到防止高

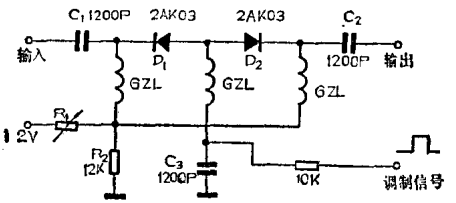


图 2.54 开关门电路图

频信号短路，构成直流通路的作用，C_1、C_2、C_3 为隔直电容，R_1R_2 构成 D_1 与 D_2 的反向偏置。当调制电压为“1”时，D_1 与 D_2 导通，开关处于接通状态，调制电压为“0”时，D_1 与 D_2 截止，开关处于关断状态。

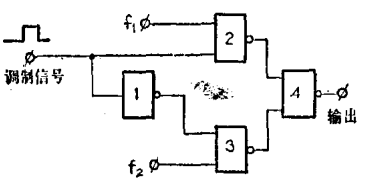


图 2.55 频率键控电路图

对频率较低的信号键控调频，可采用图 2.55 所示的集成电路实现。图中门 1 为反相器（非门），门 2～4 为与非门。当调制信号为“1”时，门 2 输出 f_1，调制信号为“0”时，门 3 输出 f_2，从门 4 的输出端即可得到图 2.52 所示的调频信号。这种电路简单，也无需调整。

第六节　元器件选择及组装要点

高频振荡器及功率放大器属发射机高频部分。除前面介绍的调试方法外，元器件的选择及组装也是很重要的。如果元器件选择或组装不当，不仅很难调试出理想的结果，甚至会不能工作。本节结合前面的电路，简单介绍一下发射机高频部分在元器件选择及组装方面的要求。

一、元器件选择

无论是高频振荡器还是高频功率放大器，在晶体管的选择上，首先应该注意晶体管的频率特性，一般来说特征频率 f_T 应大于或等于(3～10)倍的工作频率。对于放大倍数的选择，振荡器晶体管的 β 值以 60～80 为宜；功率放大器晶体管的 β 值不要过大，一般 20 左右就可以，β 值过大可能导致放大器性能不稳定。对用于功率放大器的晶体管而言，还应注意集电极损耗功率 P_{cm}，功率放大器一般都工作在丙类，应使管子的 P_{cm} 大于或等于输出功率的一半，为安全起见，实用中都把 P_{cm} 选大些。例如图 2.21 输出级电路，最大输出可达 3 瓦，选用的晶体管 3 DA 21 D 的 P_{cm} 是 8 瓦。常用于遥控发射机输出级的管子除了 3 DA 21 外，还有3DA37，3 DA 18、3 AA 7 等，主振级与中间级常用的管子有 3 DG 11、3 DG 44、3 DG 12C 等。

调谐回路的电感一般都要自制。自制时最好用镀银线或多股漆包线绕制，以使回路有较高的 Q 值。如图 2.21 电路中的 L_2 是用镀银线绕制的，Q 值达到 200。通常主振级或中间级调

谐回路线圈绕在有磁芯的骨架上，输出级的线圈是空心的。调谐回路的电容容量都较小，要用容量稳定、损耗小的电容，如云母电容(CY 型)、高频瓷介电容 (CCX 型)或陶瓷半调电容。

对旁路电容的稳定性和损耗要求不高，如图 2.21 中的 C_1 和图 2.26 中的 C_3 与 C_4 等，均可用圆片型的低频瓷介电容(CT1 型)，独石电容(CCSD 型)。电路中的高扼圈(GZL)，起接通低频电路、阻止高频信号通过的作用，如图 2.43 和图 2.49 的 GZL；有的还与电容组成电源去耦电路，如图 2.32 中的 L_2、L_7。这些高扼圈可自制，也可用 LGI 型固定电感器。LG1 型固定电感器体积小，结构牢固，适合在遥控设备中应用。在有些电路中应注意 GZL 的 Q 值不要太高，否则有可能引起寄生振荡。为降低 Q 值，可在固定电感器的两端并一个 100～200 欧的电阻。自制高扼圈一般是用漆包线绕在 100～200 的电阻上，以使 Q 值降低。

二、组装要点

一般扩音机等低频电路在组装方面要求不太严格，但发射机高频部分的组装却是很重要的。组装不合理不仅不好调试，还有可能产生很难排除的寄生振荡，有时不得不拆掉重新组装。因此，在制作时要正确处理元器件的排列、接地、屏蔽等问题。

发射机高频部分元器件一般安装在环氧树脂印刷电路板上。为便于散热，有的机器把输出管安装在散热片上，用引线与印刷板相联接。元器件在印刷板上的排列，应符合下述要求：① 高频电路的走线要尽量短，切忌为追求美观把线弯曲、绞合、甚至扎在一起，以减小分布电容和接线电感。以图 2.21

为例，在实际制作时，就不应像电路图画的那样走线与焊接，而应像图 2.56 中虚线所示走线与焊接。② 每一级的排列，应以大元件为中心，小元件安置在大元件的周围。元器件接地点应尽量集中于一个公共点，或尽量将接地点靠近。③ 各级元件的排列，要按电路前后的顺序，尽量减小前后级间的耦合（见图 2.33）。

在设计印刷电路板时，每级元器件的排列一般是围绕在晶体管的周围：振荡线圈或输出线圈靠近晶体管的集电极一侧；回路电容及旁路电容的体积都很小，可安置在晶体管或线圈附近走线最近的位置。印刷板上的接地点虽不能焊于一点，但也应尽量靠近，印刷板的地线也不要留得太窄。

除了上述措施外，还可用屏蔽的办法将高频各级隔离开，如图 2.57 所示。金属屏蔽板放于晶体管的基极与集电极之间，把本级的输出与输入电路隔开，同时也把各级之间隔离。金属屏蔽板要用导电性能良好的金属板，例如铜或铝板。另外，在安置线圈时，要尽量将输入与输出线圈互相垂直，以减小因电磁耦合产生寄生振荡的可能性。例如图 2.32 的电路中，三级放大器的三个线圈 L_3、L_5、L_{10} 互成直角。

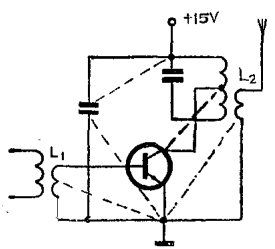


图 2.56 焊接走线示意图

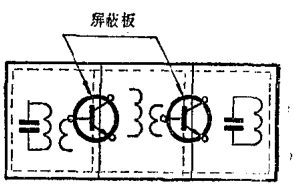


图 2.57 高频电路的屏蔽

第三章　接收电路

接收电路的作用，是将接收天线上感应到的载波信号放大，并还原为控制信号。具体地说，接收电路要完成以下三项任务：(1) 选择信号。由于空间除了有遥控发射机发出的电磁波外，还有许多其他电磁波，接收电路就要具有选择信号的作用，把我们所需要的信号选进来。(2) 放大信号。电磁波经空间传播，到达接收天线时就很弱了，接收电路必须把微弱的信号放大，输出的信号才能具有足够的幅度，推动译码电路工作。(3) 解调信号。在接收电路中，必须将控制信号从载波上"卸"下来，还原为控制信号，这个过程叫作解调。本章主要介绍完成上述作用的各单元电路。

第一节　要求及电路组成

一、主要要求

为使遥控设备正常工作，接收电路应具有一定性能，下面是在性能方面的主要要求。

1. 要有较高的灵敏度：

灵敏度表示接收微弱信号的能力；接收电路的灵敏度越高，能接收的信号越弱，遥控的距离也就越远。

遥控接收电路的灵敏度是指接收机的终端正常工作时（例如终端的继电器正常吸动），天线上所需要的最小感应电动势。对于一般的遥控设备，这个数值是1.5微伏至5微伏。要想得到高的灵敏度，接收电路的放大量就要大，但随着放大量的增大，接收机内部产生的噪声也就大了；在外来信号很弱的情况下，噪声可能把信号埋没掉，使接收机不能正常工作。因此，接收电路输出的信号电压必须比噪声电压大一定的倍数，这就是通常所说的信号噪声比 S_0/N_0。在常用的频分制遥控设备中，其 $S_0/N_0 \geqslant 3$；时分制遥控设的 S_0/N_0 比频分制还要大些。

2. 选择性要好

选择性表示接收电路选择工作信号，抑制其他信号干扰的能力。

我们知道，收音机如果选择性不好，就会出现串台的现象。而遥控接收电路选择性不好，就会串入其他的信号干扰，产生错误动作，甚至造成事故。在前面介绍过，遥控设备的工作频率必须在业余频段，在这个频段内，要容纳许多业余爱好者的遥控设备。如果选择性不好，就有可能被他人的设备干扰。现在常用的比例遥控设备(超外差式)选择性为60分贝/±10 kHz；超再生式接收电路选择性差，偏离中心频率500 kHz的信号，也可进入接收机造成干扰。

3. 工作要稳定

遥控设备在使用过程中，接收电路的性能（灵敏度、选择性等）会因环境温度、电源电压等因素的改变而变化，但不应变化到正常使用允许范围之外，否则就被认为是工作不稳定

了。

用于室外的遥控设备，对环境温度的变化要特别引起注意。炎夏时设备内的温度可达到 50～60℃，冬天变为零下十几度。为了能在温度变化范围很宽的环境工作，电路应有温度稳定措施。

除了上述电气性能要求外，接收机还应体积小（通常是火柴盒至香烟盒大小），重量轻，结构要坚固可靠，使用维修要简便等。

二、电路组成

用于遥控设备的接收电路有超再生式及超外差式两种。图 3.1 是超再生接收电路方框图，这种电路仅由一级超再生检波

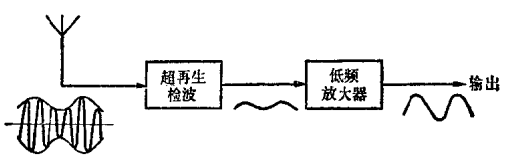


图 3.1　超再生接收电路方框图

电路，就能完成选择信号、放大信号及解调功能。为使信号达到一定的幅度，推动译码电路，通常在超再生检波级后还加有低放级。超再生电路简单，使用零件少，能有较高的灵敏度。其缺点是选择性太差，噪声大。常用于简易遥控装置。

现在使用最为普遍的是超外差接收电路。典型的超外差电路由高放、混频、本振、中放、检波(解调)、低放及自动增益控制电路组成，其方框图见图 3.2。图中还画出了接收单路调幅信号的波形，从这些波形可看出接收电路的工作过程。经高

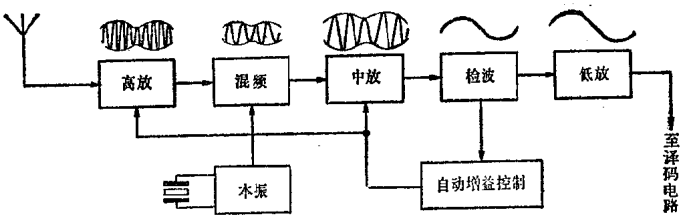


图 3.2 超外差接收电路方框图

放级选择和放大的载频信号，送到混频级。在混频级还加有从本振级送来的本振信号。由于混频级的非线性作用，得到载频与本振信号的差频信号，这个差频常称为中频信号。中频的频率虽比载频低许多，但其包络与载频的包络一样。中放级将中频信号放大，送到检波级。检波级是解调电路，将控制信号从载频中解调出来。解调出的信号再经低频放大后，输出给译码电路。

上面介绍的是调幅式超外差电路。对抗干扰性能要求较强的遥控设备，最好采用调频式超外差接收电路。图 3.3 是调频式超外差接收电路方框图。调频式电路与调幅式电路主要不同之处，在于对载频的解调不是用幅度检波电路，而是用鉴频

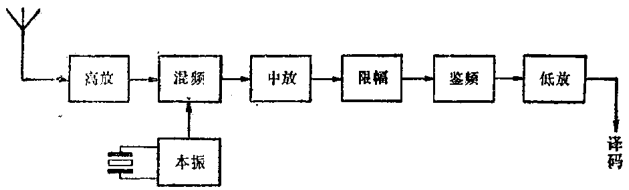


图 3.3 调频式超外差电路方框图

器。为消除幅度干扰，一般在鉴频器前还加有限幅电路。由于调频波是靠频率变化传送信号，在调频接收电路中就没有必要

用自动增益控制电路。

由上述可以看出，遥控接收电路与一般收音机电路的组成基本相同，但由于用途的不同，也有其相应的特点。下面主要介绍有特点的部分，对于收音机中常用的检波，低放等电路，就不再赘叙了。

第二节　超再生接收电路

一、工作原理

调试过再生式收音机的无线爱好者都知道，这种收音机的再生不能调得太强，否则就会产生振荡，收不到广播，而只能听到刺耳的叫声。对于超再生电路，就不存在这个问题。因为超再生电路正常工作的条件之一，就是电路要产生高频振荡。但是这种电路的高频振荡不是连续的，而是处于间歇状态。因此，电路必须具有使高频振荡处于间歇状态的控制电压，这个电压通常叫熄灭电压，频率在 20 KHz 到 60 KHz 之间。处于间歇状态的高频振荡对电路中的电压波动非常敏感，当有外来载波信号时，高频振荡的振幅受载波强度的控制；无外来信号时，其振幅受电路中无规律的杂乱噪音电压的控制（见图 3.4）。超再生检波级工作于非线性状态，具有检波功能。图 3.4 (a) 所检波的是受载波信号控制的高频振荡电压，可以看出，检波后得到的波形与载波的包络是一致的。图 3.4 (b) 所检波的是受电路内部噪音控制的高频振荡电压，检波后得到的是超再生电路特有的"沙沙"噪音。

细心的读者不难发现。超再生电路检波的并不是天线所收

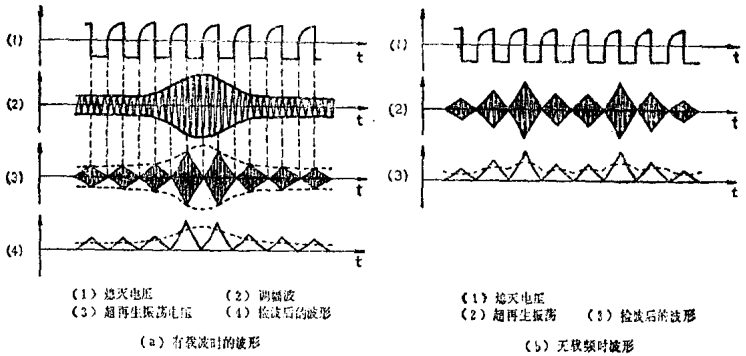


图 3.4 超再生电路波形图

到的载波信号，而是受载波控制的，由电路自身的振荡回路产生的振荡电压，这个电压的幅度很大，因而超再生检波电路能有较高的灵敏度。

按熄灭电压来源的不同，超再生电路分他熄式与自熄式两种。图 3.5 所示为他熄式电路。电路中由 C_2 反馈，使 BG_2 产

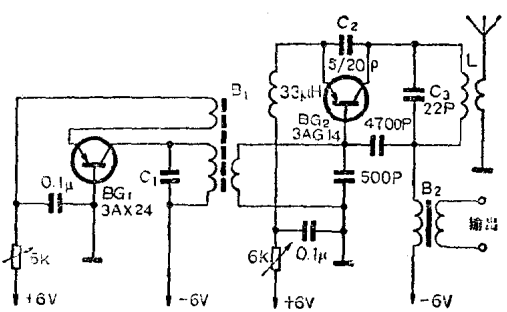


图 3.5 他熄式超再生电路图

生高频振荡。熄灭电压由 BG_1 及 B_1 组成的互感反馈振荡器产生，经 B_1 次级加到 BG_2 的基极，使高频振荡受其控制而处于

间歇状态。对高频电压的检波由 BG_2 实现，从 B_2 输出检波后的信号。图 3.6 是自熄式电路，高频振荡由 C_1 的反馈形成。由于输入电路的电容 C_5 的数值大，使高频振荡处于间歇状态，检波后的信号由 B 输出。这种电路没有专用以产生熄灭电压的振荡器，较图 3.5 的电路简单，遥控设备中一般都使用这种电路。

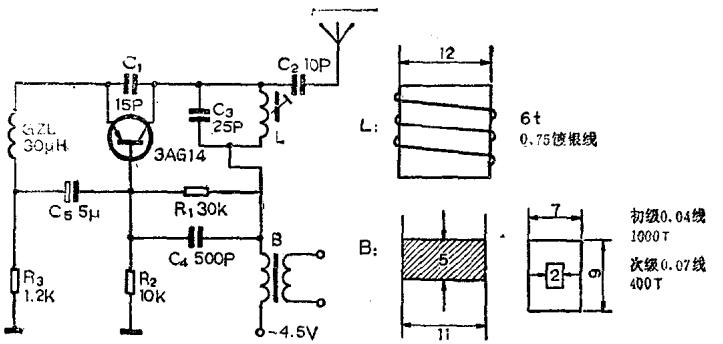


图 3.6 自熄式超再生电路图

二、元器件选择与调试

下面我们以常用的图 3.6 电路为例，介绍超再生电路元器件的选择及调试。C_3 与 L 是决定高频振荡频率的谐振回路，当外来载波频率与其谐振或接近谐振时，在回路两端能产生较高电压，高频振荡的幅度便受这个电压的控制，因此 C_3 L 的谐振频率便是超再生电路的接收频率。按图 3.6 所示数据，接收频率在 27 MHz 频段。所用晶体管除了 3 AG 14 外，还可用 3 AG 43、3 AK 20 等小功率锗高频管，要求 I_{ceo} 在 20 微安以下，β 值在 60 左右。变压器 B 可按图 3.6 数据绕制，绕好后

缠上坡莫合金带作为铁心，也可用市售的小型半导体收音机输入变压器代替。接收天线一般用1米左右的多股软线。

超再生电路效果好坏，与调试经验很有关系。调试几次以后，取得实践经验，是容易调到较满意状态的。

调试前在B的次级接上高阻耳塞机，接通电源后应能听到"沙沙"的噪音。噪音的强度应以手握天线时，噪音即变小为标准。如达不到要求，可调R_1及C_1。在噪音正常后，可用高频信号发生器产生27 MHz等幅高频信号，将接收电路的软天线靠近信号发生器的输出探头，调L的磁芯，调到谐振后，噪音就被压制，耳塞机内听不到任何声音。如果耳塞机内还有轻微的噪音，可以微调C_1、R_3，使噪音消失。调试时，也可以用较可靠的同频率发射机代替信号发生器，发射机要放置在较远的地方。对于只发出高频等幅波的发射机，耳塞机内应以完全没有声音为最好，如果是有音频调制的发射机，耳塞机内听到的声音越大，且信噪比越大为好。

三、参考电路

1．28 MHz超再生接收电路

图3.7是工作于28 MHz的超再生接收电路。电路中用R_4作为集电极负载，省去了低频变压器，晶体管是较通用的3DG4C，器材容易解决，体积也可较小。因此比图3.6的电路具有更大的实用性。在C_6后面加二级低放，即可组成单通道或多通道接收机。调试时，R_2、C_3的数值对接收效果影响很大，这两个元件最好采用图示数值，而只调R_3及C_2。

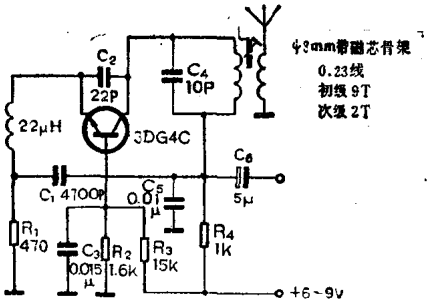


图 3.7　28 MHz 超再生电路图

2. 150 MHz 超再生接收电路

图 3.8 的超再生检波电路工作于 150 MHz。在 C_6 与地之间接入 800 欧的高阻耳塞机，调整 C_1 与 R_3，能听到轻微的“沙沙”声。调好后电流 1 毫安左右。由于工作频率较高，使用了超高频管 3 DG 51 A。

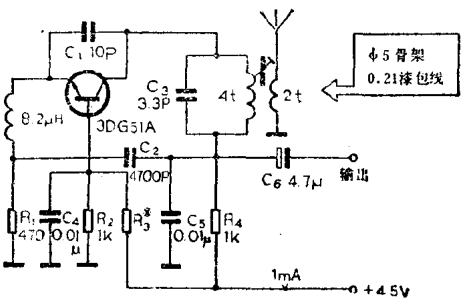


图 3.8　150 MHz 超再生电路图

第三节　超外差接收电路

超外差式电路是遥控设备中使用最多的接收电路。下面我们介绍组成超外差接收电路的主要单元电路。

一、高放电路

高放电路的作用是提高接收机的灵敏度，抑制中频干扰和镜频干扰。与收音机中的高放电路相比，这种高放电路仅放大单一的载频信号，调谐回路的调试比较简单。另外，遥控接收机安装在运动模型上，当模型与发射机相距很近时，输入信号可达几十毫伏至上百毫伏。高放级易进入限幅区而造成堵塞。所谓堵塞是指输入信号过强时接收机反而不能工作，这是由于晶体管进入限幅区，对调幅信号出现去调制现象，造成严重失真，甚至没有输出了。在与发射机相距很近的情况下调试接收机，有时用长天线效果不如用短天线，其原因也在于此。为解决这一问题，在调幅式遥控接收机的高放级，一般都有自动增益控制及防止堵塞的措施。

下面我们举两个较为常见的高放电路。

图 3.9 是用于调幅式遥控设备的高放级，工作频率为 40 MHz。放大电路是共基极形式，稳定性好，可在较高的频率下工作。放大器的输入回路由 L_1、L_2、C_1、C_2、C_3 组成，由于共基极放大电路的输入阻抗低，输入回路用 C_2 与 C_3 组成电容分压器，以实现阻抗匹配。由 C_6、L_3 组成的并联谐振回路是放大器输出回路，被放大的信号经 C_7 输出到混频极。为使放大器工作稳定和防止大信号堵塞，放大管的基极经 R_3 实现

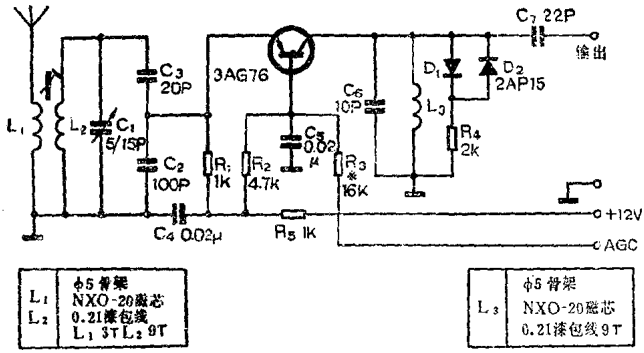


图 3.9 40 MHz 高放电路图

自动增益控制。另外，在输出回路两端并有二极管 D_1 和 D_2，在小信号时，二极管对回路的影响不大；大信号时，回路的 Q 值下降，高放级增益降低，起到防止大信号堵塞的作用。

图 3.10 电路与图 3.9 相似，放大器也工作在共基极状态，

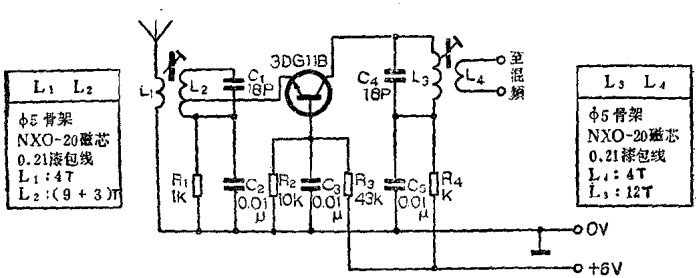


图 3.10 28 MHz 高放电路图

输入回路与晶体管的匹配是用 L_2 抽头办法实现的。输出回路由 C_4、L_3 组成，经 L_4 将放大了的载频加到混频级。这个电路用于调频式的遥控接收机，因此没有自动增益控制及防堵塞电路。按图示的线圈数据，电路工作频率为 28 MHz。

以上两个高放电路在工作时，输入及输出回路均要调谐在

载频的频率上，工作电流都在1毫安左右。

二、混频与本振电路

超外差电路的特点是把接收的载频经变频电路变为中频信号，再进行放大。遥控接收机的变频工作由混频及本振两个电路完成。本振电路产生等幅的本振信号，其频率一般较接收的载频低 465 kHz 左右。本振信号与载频信号均加在混频级，经混频管的非线性作用及中频变压器的选择，得到 465 kHz 左右的中频。这个频率选得与收音机的中频相近，原因主要是为使用现成的 465 kHz 中频变压器产品，减少自制件的工作量。也有的遥控接收机，为得到较宽的通频带，把中频选得高于 465 KHz。由于本振信号是固定的单一频率，并且稳定度要求很高，都用晶体稳频振荡器。这与收音机的本振电路有所不同。

下面我们介绍两个较为常用的混频本振电路。

图 3.11 是工作在 28 MHz 频率的变频器。本振电路用 JA 12 B 型晶体稳频，产生低于接收频率 465 kHz 的等幅信号，电路原理与第二章主振级介绍的图 2.6 完全相同，只不过用于本振时对功率输出要求不大，只要加在混频管发射极的本振电压有 150 毫伏左右即可。混频管的射极与基极间除加有本振信号外，还有从高放级送来的载频信号，利用混频管 b-e 结的非线性特性，得到包含有载频与本振频率之和及之差的各种信号。这些信号经混频管放大，由集电极负载 L_2 C_3 回路选出两个频率之差的中频信号，L_2 C_3 回路用 704 型中周（即中频变压器），调试时，混频管的电流为 0.2～0.3 毫安，本振级电流为 1 毫安。

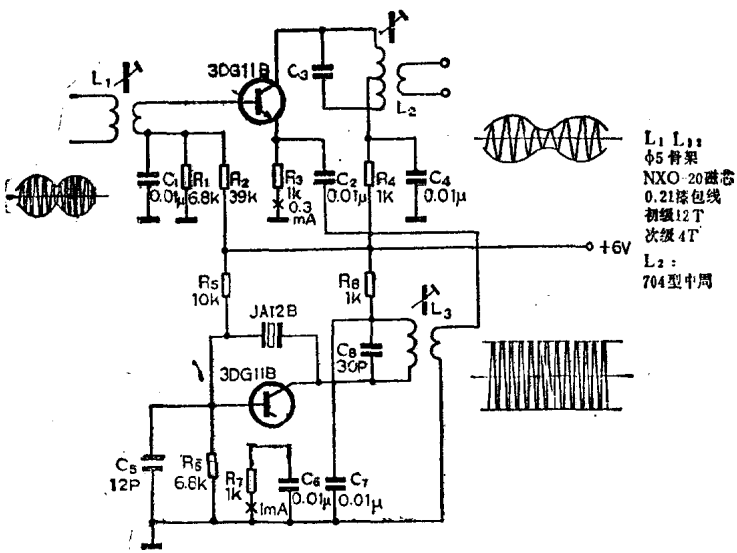


图 3.11　28 MHz 变频器电路图

图 3.12 是工作于 40 MHz频段的变频器，与图 3.11 电路主要不同之处是本振信号加在基极，本振级输出功率可以很小。调试时应注意 C_2 的值不要过大，过大时有可能损坏混频管。

三、中放电路

中放电路是遥控接收机的重要组成部分，

接收机的灵敏度，通频带、选择性及工作稳定性等技术指标主要取决于中放电路

虽然在电路原理、调试方法、中频频率等方面，遥控中放电路与收音机中放电路基本相同。但一些主要性能方面的要

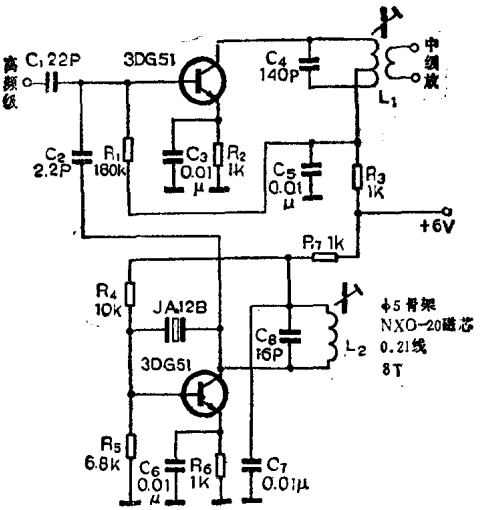


图 3.12　40 MHz 变频器电路图

求，是有差异的。例如：遥控接收机的灵敏度一般都比较高，这就要求中放电路的增益要高，通常为 70 分贝左右（收音机中放电路通常是 60 分贝）。为抗邻频干扰，在选择性上要求也比收音机高，较好的遥控接收机的选择性是 60 分贝/±10 KHz，而特级收音机的选择性仅为 46 分贝/±10 KHz。因遥控接收机在波形失真方面要求不高，通频带可比收音机的窄些。

我们知道，高增益与稳定性是矛盾的，遥控中放电路的增益较高，只要有很小的输出电压正反馈到输入端，就可能引起自激。或者，当电路元器件及工作条件有变化时，放大器的增益、通频带等主要性能会有较大的变化，这些不稳定因素直接影响到接收机工作的可靠性。因此，我们在制作遥控接收机时，对中放电路的稳定性要充分重视。有的爱好者在制作遥控

接收机时，只注意选择一个灵敏度高的电路，忽视了电路的稳定性，使放大器产生自激，达不到放大效果。下面我们介绍用于遥控设备的中放电路原理及组装要点。

图 3.13 是一个由两级放大器组成的中放电路。第一级放大器采用共发共基电路，工作电流为 0.5 毫安。这种电路具有共发射极电路增益高及共基极电路工作稳定的优点，工作时可不加中和电容，其增益较单管放大器提高 10 分贝。第二级放大器是常见的共发射极电路，工作电流为 1 毫安。两级电路的总增益为 70 分贝左右。电路中使用的元器件均为一般元器件。L_1、L_2、L_3 用 TTF 型中周，配 180 微微法云母电容器，中频频率是 526 KHz；如果中频用 465 KHz，电容要改为 200 微微

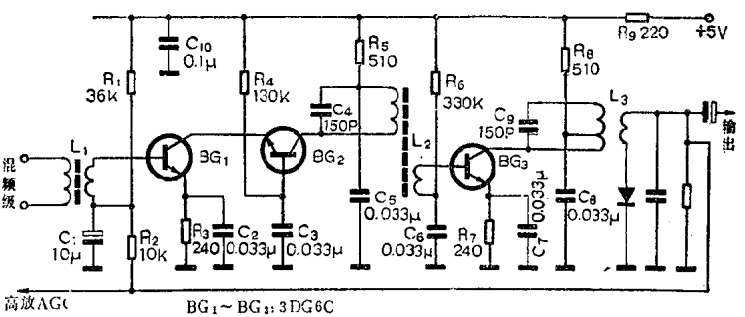


图 3.13 中放电路图

法。自动增益电压加在 BG_1 基极；随着输入信号增强，AGC 电压降低，使 BG_1 放大倍数降低。为保证中放级工作稳定性，在电路方面不只采用共发共基电路，还加有 R_5、C_5，R_8、C_8，R_9、C_{10} 等组成的电源去耦电路，防止经公共电源产生正反馈。除了电路措施外，还要防止元器件及引线内的杂散电磁耦合，以及电路各级通过地线产生反馈耦合。这些耦合都会使

电路的工作不稳定。因此，在组装时应特别注意以下两点：(1) 中放级元器件的排列切忌排成 T 型或 π 型，应按电路的顺序排成一直线，防止产生反馈自激。在体积要求不严时，可尽量排长点。(2) 印刷板的地线要尽可能宽些，最好用镀银板，以减小地线电阻。焊接时，元器件引线要尽量短。L_1～L_3 的屏蔽罩一定要通地。

四、自动增益控制电路

调幅式接收机当输入信号过强时，会出现限幅问题，使波形失真，严重时甚至堵塞。为解决这一问题，接收机中均有自动增益控制电路（简称 AGC），其原理与收音机中的 AGC 电路相同。

一般接收机的 AGC 都是控制高放级或中放的前级，其方法通常有二种：一是改变被控管的直流工作点，使管子 β 改变，放大器的增益随之改变；另一种方法是利用晶体二极管的变阻特性，将二级管并在被控管的负载回路，或构成各种衰减器，实现对电路增益的控制。

图 3.13 电路的 AGC 是通过改变一中放管工作点来实现的，这是在收音机电路中常用的电路，遥控接收机的 AGC 也常用这种方法。图 3.14 (a) 利用二极管的变阻特性实现控制。混频级到中放级之间加入二极管 D，并由 R 接到 AGC 电压。随 AGC 电压的改变，D 的阻值变化，使加到中放管基极的信号强度随之改变。图 3.14(b) 应用了两种 AGC 电路。由 R_3 将 AGC 电压加到中放管基极，是第一种自动增益控制电路；D、R_1、R_2、C 组成了第二种 AGC 电路，利用二极管的变阻特性，改变混频级 LC 回路的 Q 值，实现对增益的控制 图

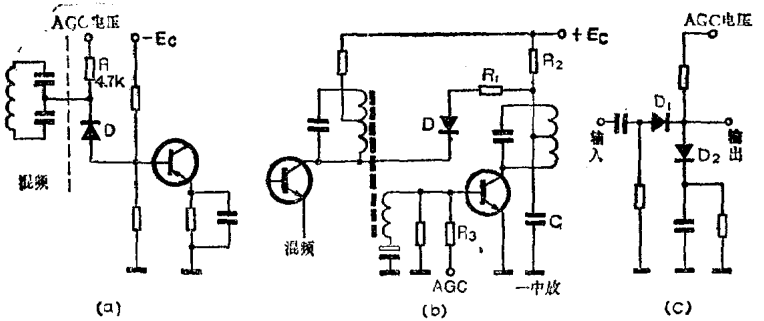


图 3.14 自动增益控制电路图

3.14(c) 是用于级间耦合的 AGC 电路，随着 AGC 电压的变化，D_1 与 D_2 的等效电阻值改变，对信号的衰减程度随之变化。

上述电路的 AGC 电压，通常都是从检波后取得，如图 3.13 所示。也有像图 3.15 中示出的那样，在检波后又加一级直流放大，得到 AGC 电压，控制效果更为理想。这个电路输出的 AGC电压，可接到图 3.14(a) 或图 3.14(c) 的 AGC 电压输入端，组成完整的增益控制电路。

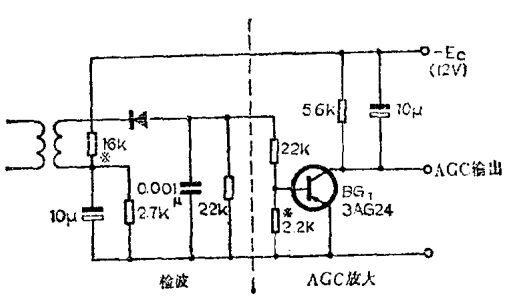


图 3.15 AGC电压放大器电路图

五、限幅电路

我们知道，调频制是以载频频率变化传送信号的。由于调频发射机的寄生调幅、外来干扰及内部噪音的影响，调频波的幅度也发生变化。只有抑制调频波的幅度变化，才能去掉干扰信号，发挥调频制抗干扰性能良好的优点。限幅电路就是完成这种作用的电路（见图 3.16）。

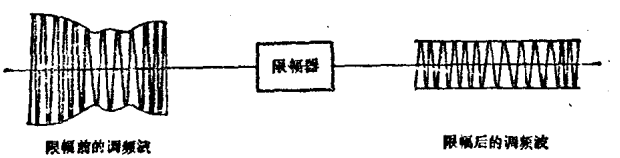


图 3.16 限幅器的作用

在遥控接收机中，限幅电路通常加在鉴频级前面，由二极管或三极管完成限幅作用。

图 3.17 是用于遥控接收机的末级中放兼限幅电路，输出的信号送到鉴频级。在该电路中使用二极管 D_1 与 D_2 限幅，

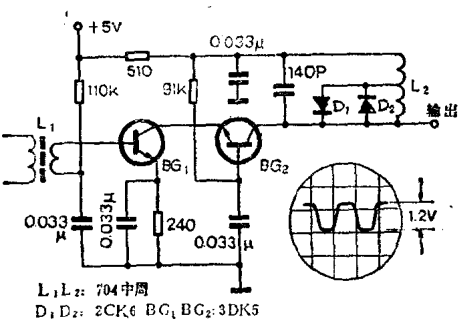


图 3.17 限幅电路图（二极管限幅）

D_1 与 D_2 接在 BG_2 集电极与中周的抽头之间。当这两端电压高于二极管导通电压时，二极管导通，电压即被限定在二极管的导通电压值。一般硅二极管的导通电压为 0.5～0.6 伏。电路中使用双向限幅，其输出电压被限定在 1.2 伏（峰-峰值）以内。这种限幅方法电路简单，限幅效果也较好。用示波器从 BG_2 集电极观察，只要由前级来的信号到一定强度，就会出现 3.17 图所示的被限幅的中频波形。限幅二极管 D_1 与 D_2 的质量对输出波形影响较大，制作时要选用正向电阻小、反向电阻大、结电容小的二极管。

我们知道，一般的三极管放大器，当输入信号较大时，会产生饱和及截止失真，使输出幅度不能随输入信号变化。这种状态是放大器不允许的，而限幅器所需要的正是这种状态。因此，从电路来看三极管限幅器与一般的中放电路没有区别。不同的是限幅器必须在输入电平较低时就能产生限幅，其动态范围要比放大器小，通常把发射极电阻取得较大，放大器的 R_e 一般在 1 千欧以内，而限幅器的 R_e 常在 3 千欧以上。

六、鉴频电路

鉴频电路是调频接收机的解调器。只有经过鉴频电路，调制信号才能从调频波中恢复出来。

因为遥控发射机频偏不大，以常用的时分制比例遥控设备为例，频偏为 3～5 kHz，所以遥控设备中鉴频器的通频带（指鉴频特性上两峰点之间的频率范围）有 10 kHz 左右就够了。另外还要求鉴频器有较大的鉴频系数，以便在频偏较小的情况下，能有较大的输出电压。

图 3.18 是常用于遥控设备中的陶瓷鉴频器。电路中，二

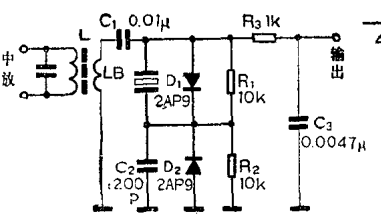


图 3.18 陶瓷鉴频器

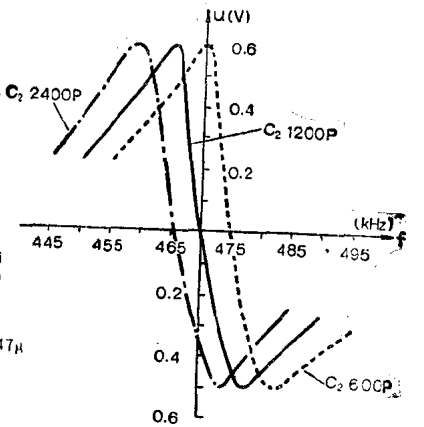


图 3.19 3.18 电路的鉴频特性

端陶瓷滤波器等效于一个电感，与 C_2 构成谐振回路。当外来信号与其谐振时，LB 与 C_2 两端电压相互抵消；外来信号频率变高时，LB 两端电压升高，频率变低时 C_2 两端电压升高，经 D_1 与 D_2 检波后得到解调信号。这种鉴频器使用元件少，调整简单，工作也较为稳定，适于在遥控设备中应用。电路中的陶瓷滤波器用半导体收音机常用的 465 kHz 两端陶瓷滤波器，C_2 用 1200 微微法云母电容，中心频率为 470 kHz，通频带 12 kHz（见图 3.19）。如果要改变鉴频器的中心频率，可调换 C_2 或陶瓷滤波器。从图 3.19 所示的鉴频特性可看出，改变 C_2 时，鉴频器中心频率随之改变的情况。

除陶瓷鉴频器外，遥控设备也使用 LC 回路组成的鉴频器。图 3.20 所示是遥控接收机实用的电容耦合式相位鉴频器，中心频率为 485 kHz，通频带为 16 kHz。为得到较大的鉴频系数，就要减轻鉴频负载，为此，鉴频器后的低放电路用射极跟随器，当频率在 485 kHz ± 3 kHz 范围内变化时，输出电压

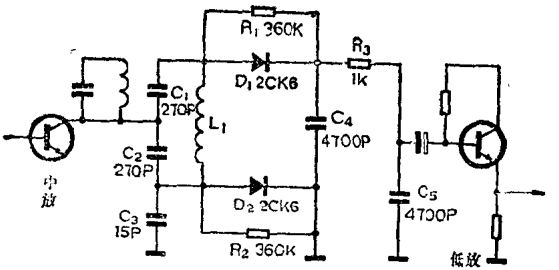


图 3.20　相位鉴频器电路图

为±4伏。若改用场效应管低放电路，输出电压达±10伏。

电路中的 L_1 用 704 中周初级。C_1、C_2 用云母电容。704中周工作频率为 465 kHz时，配用 140 微微法电容，现配 135 微微法电容（270 微微法串联），工作在 485 kHz。调试时通过调 L_1 的磁芯改变鉴频器的中心频率，调 C_3 改变通频带

第四章　频分遥控设备主要单元电路及部件

频分制遥控设备是操纵模型使用最早的遥控设备，与时分制设备相比，电路比较简单，使用的器材也容易解决。许多爱好者搞遥控设备时，一般都先制作频分制遥控设备。在第一章中我们已介绍了频分制设备的原理、电路组成及种类。本章介绍用于模型的频分遥控设备的主要单元电路和部件，包括音频振荡器、选频放大器及谐振继电器等。

第一节　音频振荡器

我们知道，遥控发射机由编码电路与发射电路两部分组成，其中编码电路是产生代表人们操纵旨意的各种电码的电路。频分遥控设备用不同频率的电信号代表不同的遥控指令，这些不同频率的电信号是由音频振荡器产生的。因此，音频振荡器是遥控发射机的编码电路。

音频振荡器产生的音频个数，由遥控设备的通道数目决定，最少的只产生一个频率的信号(单通道)，较多的要产生十几个频率的信号，频率范围通常在音频范围。例如：常用的十通道遥控设备，频率范围为 250～500 Hz。不难看出，在这个频率范围内要分布十个频率，相邻频率之间的间隔仅为 20 几赫，要求振荡器的频率很稳定。在使用条件下，频率变化不能

超过±2 Hz，否则会使遥控设备失控或误控。

音频振荡器的原理与主振级的高频振荡器相同，但高频振荡器大多用晶体稳频，而音频振荡器因频率太低，还要产生不同的频率，从技术和经济方面都不宜用晶体稳频。通常是在电路中采用其他的稳频措施。遥控设备中常用的音频振荡器有两种——*LC* 型振荡器与 *RC* 型振荡器；前者一般用于多通道遥控设备，后者用于通道数目较少(1～2 个)的简易遥控设备。

一、*LC* 型音频振荡器

LC 型振荡器又分为互感振荡器及自感振荡器，这两种振荡器均可作为遥控设备的音频振荡器。图 4.1 是遥控设备中常用的互感音频振荡器，配合操纵开关电路，可在 250～500 Hz 范围内产生 10 个单音频控制信号。下面我们以图 4.1 电路为

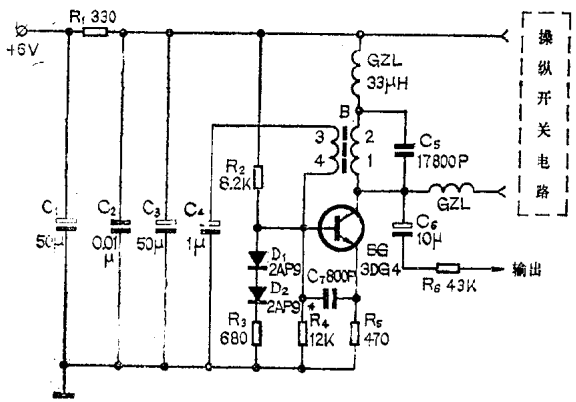


图 4.1　互感型音频振荡器电路图

例，说明 *LC* 音频振荡器的工作原理、使用方法、元器件选择及调试要点。

1．电路原理简介

从前面介绍的高频振荡器的工作原理，我们知道，具有选频回路，有足够量正反馈的放大器，才能成为产生正弦波信号的振荡器。LC 型音频振荡器也必须要满足这种条件。图 4.1 振荡器的正反馈是通过变压器 B 的初级电感 L_{12} 与次级电感 L_{34} 互感耦合实现的。选频回路是 L_{12} 与 C_5，振荡器的频率主要取决于 L_{12} 与 C_5，$f\approx\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{12}C_5}}$。偏置电路由 R_2、R_3、R_4、R_5 及 D_1、D_2 组成，其中 D_1、D_2 是为稳定振荡频率而加入的温度补偿二极管。当温度升高时，反向饱和电流 I_{cbo} 增加，集电极电流随之增加。但 D_1、D_2 的阻值随温度升高而下降，从而使基极电流减小，集电极电流也即减小，起到温度补偿作用。R_5 在电路中还起到交流负反馈的作用，用以改善波形和稳定振荡器的工作状态。R_1、C_1、C_2、C_3 为电源去耦电路。

2．使用方法

怎样使图 4.1 的振荡器产生不同的频率，用来代表各种指令呢？我们知道，振荡器的频率主要决定于 L_{12} 与 C_5，当改变电感或电容数值时，振荡频率就随之改变。因电感量不易调节，在遥控设备中一般是用改变电容的方法来控制频率。具体做法是把图 4.1 的 L_{12}，C_5 回路接到操纵开关电路上。操纵开关电路如图 4.2 所示，由开关、电容及电位器组成。K_1～K_{10} 中，每个开关所控制的电容容量均不相同，十个开关就能使图 4.1 振荡器产生十个频率，用以代表十个指令。

图中 C_1～C_{10} 为通道电容，每个通道的频率主要由它决

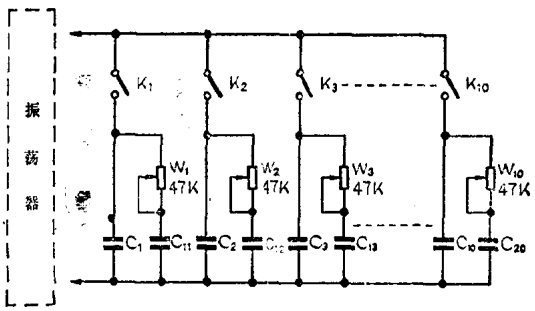


图 4.2 操纵开关电路图

定。电位器 W_1～W_{10} 分别与电容 C_{11}～C_{20} 串联，并且与相应的通道电容并联，起频率微调的作用。它们称为微调电位器及微调电容。当由于某些原因(如温度变化)使振荡器的频率产生漂移，或者接收机的选频器谐振频率改变时，可以通过调微调电位器，把频率调到所需数值。

3．元器件选择及调试

元器件的选择要从稳定频率的角度考虑，主要应注意晶体管、调谐回路电感及电容的质量。晶体管要用 I_{cbo} 小的管子，减小因温度变化引起的工作点变动，以便尽量消除晶体管参数改变对振荡器频率的影响。变压器 B 用 GU-18×11，MXD-800 罐型磁芯绕制，L_{12} 用 ϕ 0.06 漆包线绕 2000 圈，L_{34} 用同一直径漆包线绕 100 圈。绕好后线圈应用蜡封，并在调试正常后，将罐型磁芯的接合面外围用 914 胶或环氧树脂封固。电容 C_5 及 C_1～C_{20} 均用 CB 14 孪生式精密聚苯乙烯电容。C_1～C_{20} 容量的选择及所对应的各通道频率可参考表 4.1。

表 4.1

通　道	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频　率 (Hz)	246	270	294	318	342	366	390	414	438	462
通道电容 (pF)	C_1 95000	C_2 75000	C_3 58000	C_4 35000	C_5 30000	C_6 22874	C_7 16000	C_8 11000	C_9 6500	C_{10} 3400
微调电容 (pF)	C_{11} 25000	C_{12} 18000	C_{13} 15000	C_{14} 13000	C_{15} 10000	C_{16} 8100	C_{17} 7000	C_{18} 6000	C_{19} 5600	C_{20} 4500

调试互感振荡器时，应注意互感线圈的方向不要接反，接反后产生的反馈不能形成振荡。因此，电路如果不起振时，可把 L_{34} 的两个线头调换。频率的测试最好用数字频率计，这样可以很方便地读出频率数。也可以用示波器及音频信号发生器观测，如图 4.3 所示。测试时，把被测振荡器的输出接到示波器的 y 输入端，音频信号发生器的输出接到示波器的 x 输入端。调音频信号发生器的频率，当示波器的屏面出现圆形、椭圆形或一条斜线时，信号发生器的频率即与振荡器的频率相等。我们把示波器所显示的这种波形称为李沙育图形。通过李沙育图形，就可以知道被测振荡器的频率。（见图 4.3）。如果不用仪器，可将高阻可塞机接到振荡器的输出端，与标准频率的声音相比较，例如报时台报时前几个“嘟”“嘟”声频率是 440 Hz，最后一个“嘟”声是 880 Hz。这种用耳朵来判断频率的办法，只适用于通道数很少（1～2）的简易遥控设备的振荡器。

电位器 W 可以改变微调电容 C_{11}～C_{20} 的等效电容量，电位器的阻值增大时，等效电容变小，频率升高；阻值减小时，等效电容变大，频率降低。调整时，改变电位器阻值，应能使各通道频率有± 10～±16 Hz 的变化量。如达不到要求，就要适

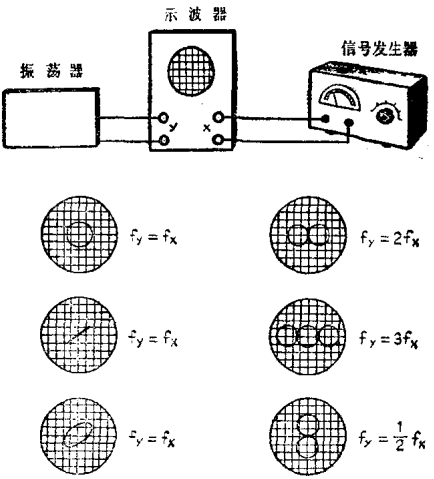


图 4.3 振荡器频率的测试

当改变 $C_1 \sim C_{10}$、$C_{11} \sim C_{20}$ 的数值。

为使振荡器有较好的波形及稳定的工作频率，振荡管应工作在甲类状态，工作电流以偏小些为好，调试正常后，振荡器的电流为 0.3 毫安。

4。参考电路

图 4.4 是自感反馈的振荡器，较图 4.1 的电路简单，但频率稳定性能不如图 4.1 电路。电路的工作频率为 600 Hz 左右，如果加上图 4.2 的操纵开关电路，也可以产生多个频率。

变压器 B 可用市售的半导体收音机输入或输出变压器的铁心，初级用 0.07 线径的漆包线，绕 2000 圈(中心抽头)，次级用同样线径漆包线绕 400 圈。元器件选择及调试可参照图 4.1 的介绍。

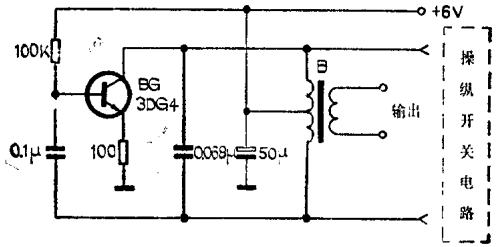


图 4.4 自感型 LC 振荡器电路图

二、RC 振荡器

用前面介绍的 LC 振荡器制作遥控设备时，振荡器中的电感大多都需自制，比较麻烦。另外，电感的安装、调整也不方便，并且体积较大。如果用 RC 振荡器，就不存在这些问题。RC 振荡器的原理与 LC 振荡器一样，也必须有足够量正反馈的放大器，其区别仅在于用 RC 选频回路代替 LC 选频回路。RC 振荡器的缺点，是频率稳定度不如 LC 振荡器。因此只适用于简易遥控设备或通道数目少的遥控设备。按振荡器输出的波形区分，RC 振荡器可分为正弦振荡器与非正弦振荡器。常用的产生正弦波的 RC 振荡器有双 T 振荡器、相移振荡器；常用的产生非正弦波(例如方波)的 RC 振荡器有多谐振荡器。

1. 双 T 振荡器

双 T 振荡器是 RC 振荡器中频率稳定度最高的一种振荡器，除在简易的遥控设备中使用外，在通道数目不多、可靠性要求较高的遥控设备中，也常用这种振荡器。双 T 振荡器由双

T电路与放大器所组成，为了说明双T振荡器的原理，我们先对双T电路有所了解。

图4.5是双T电路，可以看出，双T电路是由两个T型滤波电路构成的，R_1、R_2、C_3组成低通滤波器，C_1、C_2、R_3组成高通滤波器。频率低的与频率高的信号可分别通过这两个滤波器。而某个频率适中(f_0)的信号，通过两个T型桥路时电流大小相等，方向相反，输出端的电压u_0为零。可见双T桥电路是带阻滤波器，阻止频率为f_0的信号通过，图4.6画出了双T电路的这一特性。

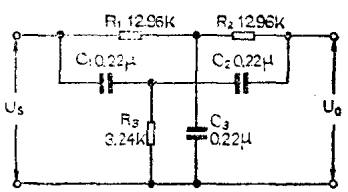


图 4.5　双T电路图

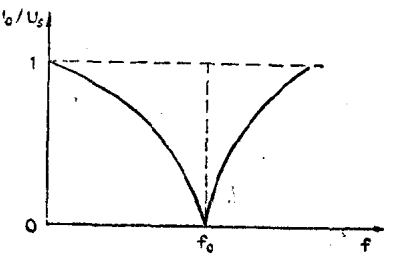


图 4.6　双T电路的传输特性

在实际使用时，双T电路要调到平衡，才能有较好的滤波性能。双T电路的平衡条件是：$n=\dfrac{C_1+C_2}{C_3}=\dfrac{R_1R_2}{(R_1+R_2)\cdot R_3}$。为了制作与调试的方便，通常取$n=1$、$C_1=C_2=C$，$R_1=R_2=R$，就得出$C_3=2C$，$R_3=\dfrac{R}{2}$。因调电容不方便，一般是微调$R_3$，使其达到平衡条件。具体调试方法如图4.7所示。由音频信号发生器将正弦信号送到双T电路输入端，把选频微伏表及示波器接到双T电路输出端。调信号发生器的频率，找到在输出端

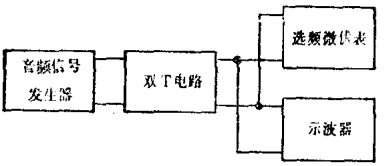


图 4.7 调试双T电路

信号最弱的一点，这一点的频率即是双T电路的谐振频率f_0。在这个基础上，再调R_3，使输出指示为最小，双T电路即达到平衡状态(在实际电路中，双T平衡后，输出端也不会是零，只是信号越弱越好)。以图4.5中所示的数值为例，$C_1=C_2=C_3=0.22$微法，$R_1=R_2=4R_3=12960$欧，f_0为77 Hz。当输入端电压为1伏时，调平衡后输出端电压为100微伏，对频率为f_0的信号衰减80分贝。

了解了双T电路的作用后，我们再来看图4.8所示的双T

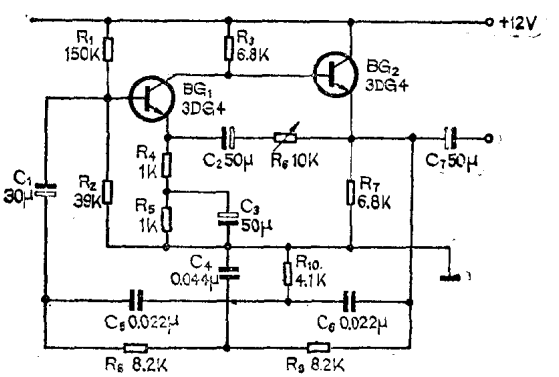


图 4.8 双T振荡器(880 Hz)电路图

振荡器。电路中，由R_4与R_6构成正反馈电路，反馈的强度可用R_6调整。由R_8、R_9、C_4以及C_5、C_6、R_{10}组成的双T

电路构成负反馈。由于双T电路是带阻滤波器，使电路在谐振频率 f_0 时负反馈的信号最弱，电路能够产生振荡。在偏离 f_0 的频率上，负反馈变强，虽有 R_4、R_6 构成的正反馈，也形不成振荡。因此，电路就在双T电路的谐振频率 f_0 产生振荡。

图 4.8 的双T电路中，$R_8=R_9=2\ R_{10}=R$，$C_5=C_6=\frac{1}{2}C_4=C$，其谐振频率 $f_0=\frac{1}{2\pi RC}$。按图示数值，f_0 为 880 Hz。这种双T电路在选择元件时较为方便。在调试时，应按前面介绍的方法调整 R_{10}，使双T电路平衡，然后再调 R_6。R_6 过大时，正反馈弱，可能不起振；R_6 过小时，正反馈太强，会造成波形失真。因此，R_6 要调到适当的数值。

2. *BC* 相移振荡器

图 4.9 是在单通道遥控设备中应用的 RC 相移振荡器，产生频率为 33.5 Hz、幅度为 4 伏(峰-峰值)的正弦波。

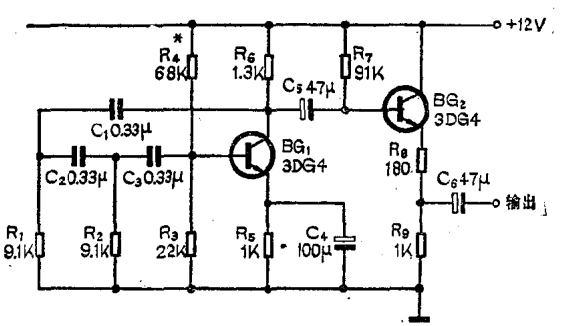


图 4.9 相移振荡器(33.5 Hz)电路图

振荡器主要由 BG_1 及 R_1、C_1，R_2、C_2，R_3、C_3 三节 RC 电路组成。BG_2 是为了稳定频率而设的起缓冲作用的射极

跟随器。为了满足振荡的相位条件，从 BG_1 集电极反馈到基极的电压必须移相 180°，三节 RC 电路起移相作用；当 RC 数值一定后，就只有一个频率的信号能满足移相 180° 的条件，振荡器就在这个频率上振荡。

这种振荡器要求 BG_1 要有较大的 β 值；要选 $\beta>150$ 的管子，否则电路起振较慢或不起振。

3．多谐振荡器

前面的双T及相移振荡器产生的是正弦信号，多谐振荡器则是产生方波或矩形脉冲的振荡器。多谐振荡器较前两种振荡器容易起振，改变频率方便，但频率稳定度差。一般用于单通道遥控设备或简易的比例遥控设备。另外，一些对时钟脉冲周期要求不严的时分制设备，也可以用它来产生时钟脉冲。

图 4.10 是在单通道设备中常用的多谐振荡器，产生频率为 1 KHz 左右的信号，去调制发射极的载频。电路产生振荡是由于在 BG_1 与 BG_2 之间接有电容 C_1、C_2，C_1、C_2 交替充

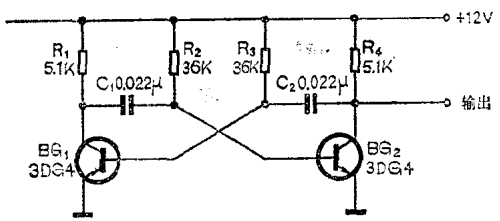


图 4.10　多谐振荡器(1 KHz)电路图

放电，两只管子交替饱和与截止，从集电极就得到方波。当 $C_1=C_2$、$R_2=R_3$ 时，这种振荡器的频率 $f=\dfrac{1}{1.4RC}$。

图 4.11 所示为在图 4.10 电路基础上改进的多谐振荡器。

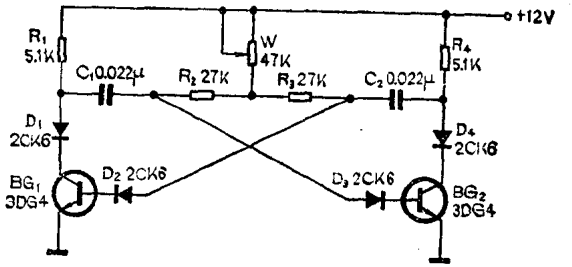


图 4.11　图 4.10 的改进电路

在 BG_1 及 BG_2 的集电极、基极分别接入 $D_1 \sim D_4$，可减小晶体管参数变化对 RC 充放电电路的影响，有利于频率稳定。另外，振荡频率可通过 W 来调整，便于与接收机的选频电路调谐。

4. 参考电路

图 4.12 是由 BG_1 与双 T 电路组成的双 T 振荡器，产生频率为 1 kHz、幅度为 1.5 伏（峰-峰值）的信号。射极跟随器 BG_2 把振荡器与负载隔离，减小了负载对振荡器的影响。组装

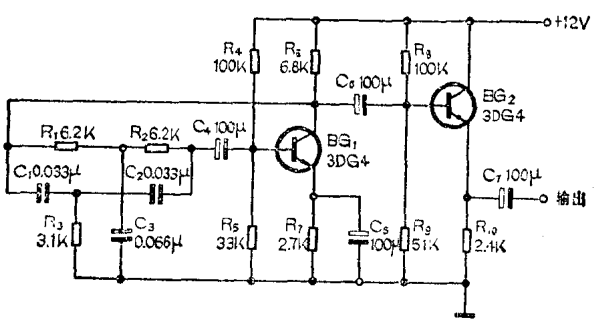


图 4.12　1 KHz 双 T 振荡器电路图

时 BG_1 要选用 β 较大的晶体管，R_3 可用 2 只 6.2 千欧电阻并联，C_3 可用两只 0.033 微法电容并联。

图 4.13 电路是在遥控设备中实际应用的相移振荡器，产生频率为 3.4 kHz、幅度为 6 伏(峰-峰值)的信号。该振荡器的波形很好，失真小于 1%。射极跟随器 BG_2 起到缓冲隔离作用，有利于频率的稳定。

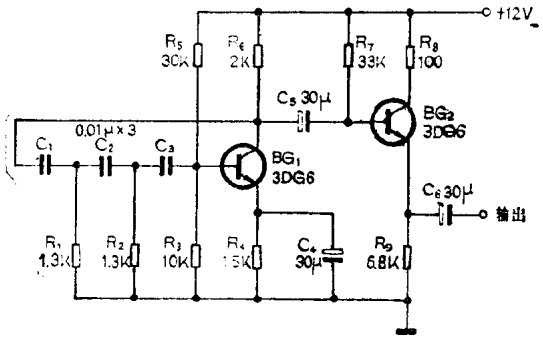


图 4.13 3400 Hz 相移振荡器电路图

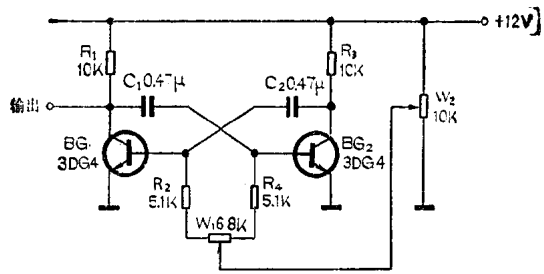


图 4.14 频率与占空比可变的多谐振荡器电路图

图 4.14 的多谐振荡器可以通过 W_2 改变基极电位，使频率在 20 Hz 至 50 Hz 之间变化。同时还可以调 W_1，改变方波的占空比。只要 BG_1 与 BG_2 两只管子对称，频率变化与占空比的

变化相互间影响很小。在接收机部分通过相应鉴频与鉴宽电路，把两种状态的变化鉴别出来，可以操纵两个动作。

除上述几种振荡器外，文氏桥振荡器、机械稳频振荡器、压电陶瓷振荡器等也可以作为频分遥控设备产生音频信号的振荡器。由于实际使用者较少，这里不作介绍了。

第二节　选频放大器

选频放大器是频分遥控设备的译码器，它将发射机送来的代表各种指令的不同频率信号的含意"翻译"出来，送到相应的执行电路，完成该指令应作的动作。

选频放大器工作的频率范围一般是 20 kHz 以下的音频，其通频带与选择性，要视发射机音频振荡器的频率稳定度与通道数目的多少而定。例如：用 RC 振荡器作发射机的音频振荡器，频率稳定一般为 1%，选频放大器的通频带就要远大于 1%，以防止由于振荡器或选频放大器工作频率的变化，导致控制信号漂移出放大器的通频带。而用 LC 振荡器时，因其频率稳定度较 RC 振荡器高，选频放大器的通频带就可窄些。对于通道数目较多的遥控设备，各通道的频率间隔较近，选频放大器就要有较高的选择性，否则甲通道的信号可能串入乙通道，引起误控。通道数目较少的设备，选频放大器的选择性可以低些。

常用的选频放大器有 LC 型及 RC 型两种。LC 型选频放大器易得到较好的选频性能，在遥控设备中使用较多，但是这种选频放大器的体积与重量都不如 RC 型理想，并且电感往往要自制。

一、*LC* 选频放大器

我们知道，高频功率放大器靠 *LC* 回路实现对单一频率(或窄频带)信号的放大。*LC* 选频放大器的选频原理与高频功率放大器一样，也是靠 *LC* 回路实现，只不过频率比高频功率放大器低得多。下面我们介绍在遥控设备中常用的 *LC* 选频放大器和选频开关电路。

1．选频放大器

图 4.15 是实用的选放电路，电压增益为 100 倍，只要有近百毫伏的信号加在输入端，就会有 5 伏以上(峰-峰值)的输出。电路的工作频率为 6.5 kHz，通频带为 6.5 kHz±0.1 kHz (3 分贝)。

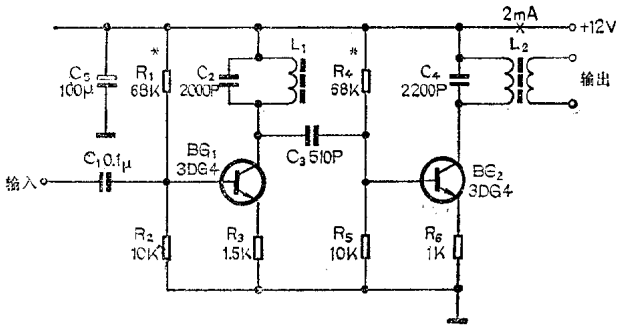


图 4.15 6.5 kHz 选频放大器电路图

选放电路由二级相同的放大电路组成，BG_1与 BG_2的集电极负载都是 *LC* 回路。当外信号的频率等于 *LC* 回路的谐振频率时，回路呈纯阻性，并且阻值最大，就可得到很大的输出信

号。对偏离谐振频率的信号，LC 回路呈现的阻抗变小。在集电极所得到的信号幅度也随之减小，从而实现选频放大。在 BG_1与 BG_2的发射极还分别加有交流负反馈电阻 R_3与 R_6。电路谐振放大时，因 LC 回路呈现高阻抗，R_3与 R_6 的负反馈作用相对变小；失谐时，LC 回路呈现的阻抗变低，R_3 与 R_6 的负反馈作用相对加大。因此，这两个电阻不仅起到稳定放大器工作状态的作用，还使放大器的选频性能得到提高。

电路中的 L_1与 L_2均用罐型磁心自制，罐型磁心的型号为 GU-14×8，材料为 MXD-2000。L_1与 L_2的初级用直径为 0.1 的高强度聚酯漆包线（即 QZ 型线）绕 360 圈，L_2次级用同样漆包线绕 90 圈。电容 C_2 与 C_4 最好用 CB-14 型聚苯乙烯电容或涤纶电容。电容 C_3的容量不要过大，否则使选择性变坏。

在使用时，这个电路的输入端可直接接到接收机的解调输出端，由 L_2次级输出被选频放大的信号。

2．选频开关电路

选频开关电路是与选频放大电路相似的电路，它具有选频放大电路的功能，同时还将所选出的音频信号转换为直流电压变化，带动继电器工作。

图 4.16 是一个简单实用的选频开关电路，工作频率为 2 kHz。电路的选频作用由接在基极的 LC_2回路实现。当输入的信号频率与 LC_2并联回路谐振时，在 LC_2回路两端产生的电压最大，此电压经晶体管放大，又由 C_3反馈到基极电路。二极管 D对反馈信号进行检波，使基极电位提高到晶体管的导通电压，继电器 J 吸合，再由继电器的触点去控制电机或电磁铁等执行机构。

与图 4.15 的选频放大电路相比，图 4.16 的选频开关电路

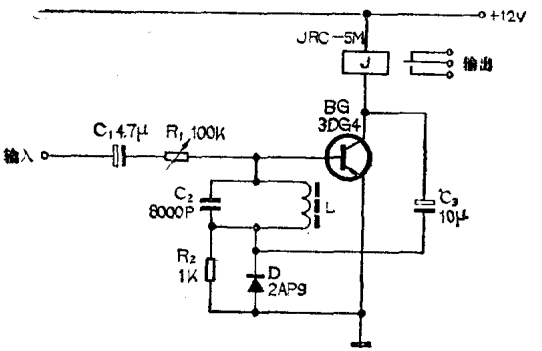


图 4.16　2 kHz 选频开关电路图

需要有较强的信号时才能工作，输入信号的幅度不应低于 1.5 伏(峰-峰值)。一般接收机解调输出的信号较弱(百毫伏左右)，因此需要放大后才能推动选频开关电路工作。

在调试时电阻 R_1 的数值要调整。当输入的信号较强，又要求选放开关电路有较好的选择性时，可把 R_1 调大些，反之则要减小。电感 L 是绕在罐型磁心内的线圈，磁心型号为 GU-14×8，MXD-2000，用 0.1 QZ 线绕 670 圈。晶体管集电极的负载用 JRC-5 M 型继电器，其线圈电阻为 750 欧，导通时的集电极电流为 20 毫安左右。

3. 参考电路

图 4.17 是工作于 1 kHz 且可靠性高的选频开关电路。在遥控设备中，这个电路是起保险作用的导频开关。电路的特点是选频放大管 BG_1 工作在丙类，只有输入信号达到一定幅度时，BG_1 才工作，BG_2 也才有可能导通，使继电器吸动。因此，没有达到一定幅度的 1 kHz 信号、噪音或其他频率的信号不能使

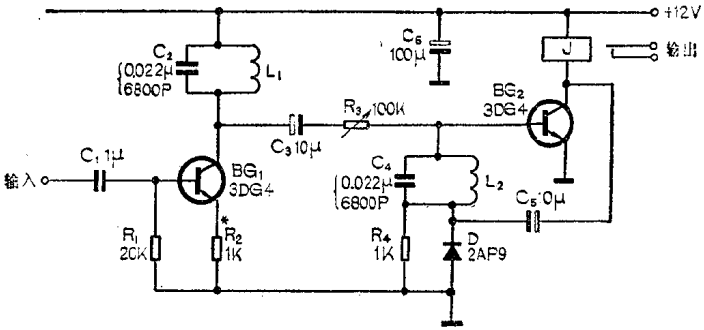


图 4.17　可靠性较高的选频开关电路图

继电器接通。继电器的接点用来控制译码电路与执行机构的电源；只有收到 1 kHz 的导频信号，同时又有指令信号时，才能使译码电路工作。这种措施提高了遥控设备的可靠性。

电路中的 L_1 与 L_2 的数据与图 2.16 的 L 相同。调试时，应根据接收机输出端的信噪比，确定 R_2 的数值，使得在最大

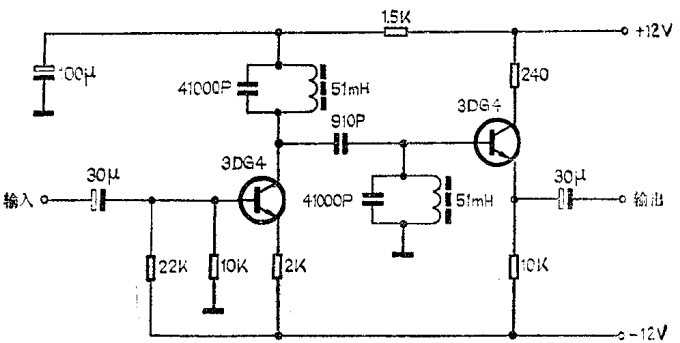


图 4.18　3.4 kHz 选放电路图

噪音电压时，BG_1仍截止。例如：本电路所用接收机输出的噪音电压最大为 1 伏(峰-峰值)，调 R_2到 1 千欧，可保证输入电

压大于等于 1.3 伏(峰-峰值)时 BG_1才工作。

图 4.18 是与图 4.13 振荡器相对应的 3400 Hz 选频放大器,通频带为 3400 Hz±50 Hz(3 分贝),电压增益为 6。

二、*RC* 选频放大器

由于 *LC* 型选频放大器自制电感麻烦，体积和重量也较大较重，有些遥控设备用 *RC* 选频放大器。*RC* 选频放大器的种类很多，在遥控设备中常用的是双 T *RC* 选频放大器。

双 T 选频放大器是由晶体管放大器和双 T 电路组成。如图 4.19 所示。

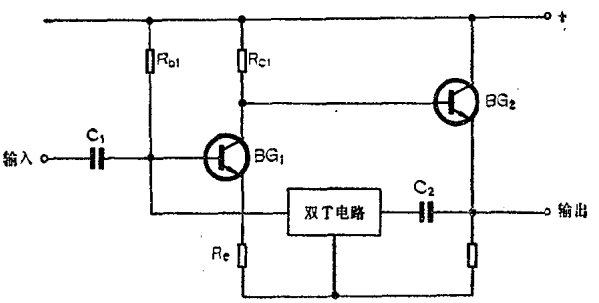


图 4.19 双 T 选频放大器原理图

我们知道双 T 电路是带阻滤波器，其传输特性如图 4.6 所示，当把双 T 电路调平衡后，谐振频率 f_0 的信号输出为零。图 4.19 电路中，双 T 电路的输入端接在射极跟随器 BG_2 的发射极，输出接在 BG_1的基极，使放大器的输出信号经双 T 电路反馈到输入端。由于 BG_1 的基极与集电极的相位差 180°，而 BG_2是射极跟随器，无反相作用，放大器对双 T 电路的反馈信

号就有反相作用：频率为 f_0 的信号被放大，偏离 f_0 的信号则因负反馈而被抑制，放大器具有与双T传输特性正好相反的选频性能。

图 4.20 所示的双T选频放大器电路，中心频率是 2 kHz，通频带为 2 kHz±40 Hz。由 R_7、R_8、C_5 和 C_3、C_4、R_9 组成的双T电路，接在 BG_2 基极与 BG_3 发射极之间，使 BG_2、BG_3 组成的放大器成为选频放大器。电路的工作原理与图 4.19 电路相同。为提高选频放大器的灵敏度，在它前面有 BG_1 组成的

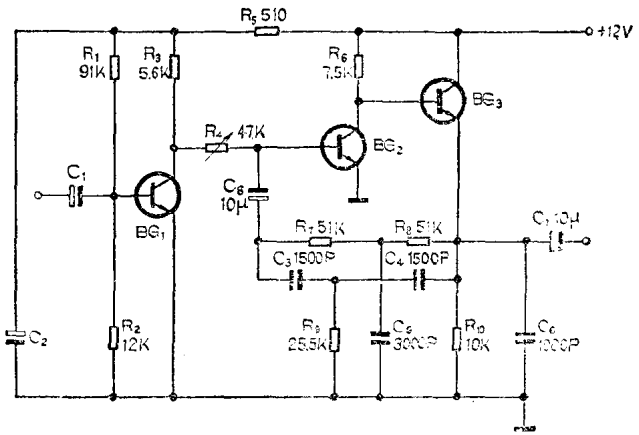


图 4.20　2 kHz 选频放大器电路图

前置放大级。由于双T放大器容易在几十千赫频率上产生自激振荡。在双T电路的输入端加电容 C_6，用以防止这种振荡。如果要进一步提高电路的选频性能，可在 BG_2 的发射极加交流负反馈电阻，以提高 BG_2 基极的阻抗，使之与双T电路的输出端阻抗相匹配。

双T电路在接入放大器前应先粗调，使电路平衡并调到所

需的谐振频率，调试方法可参照本章第一节所述。另外，放大器在未接入双T电路时应先调到预定的放大倍数，接上双T电路后，放大倍数会稍有减小，这是正常的；如若减小的太多，则说明双T电路没有平衡；如接入双T电路后放大器的增益变大，说明有正反馈。遇到后两种情况，都要调 R_9。为了调试方便，R_9可用一电位器串个固定电阻（10～20千欧）代替，待电路调好后，再换同阻值电阻。

第三节　谐振继电器

除了前节介绍的选频放大器以外，谐振继电器也可以鉴别音频信号的频率，在频分遥控设备中起到译码电路的作用。谐振继电器选频是一种机械选频，与电路选频相比，具有选择性好、耗电省、抗干扰能力强和体积小等优点。因此，使用很广泛。谐振继电器是用簧片与触点的断续接触来接通电路的，有时会在触点与簧片之间产生火花，使触点接触电阻变大或将触点烧损；这时簧片虽然振动，被控的电路也不能接通，造成失控。另外，这种火花还可能造成对接收机的干扰。因此，可靠性要求高的遥控设备不宜采用谐振继电器。

一、工作原理

图 4.21 是谐振继电器的示意图。谐振继电器的簧片由钢片或其他导磁性能较好、具有弹性的金属片制成，放在靠近线圈的极靴位置。线圈接入音频信号后，在簧片周围就产生随音频信号变化的磁场。当磁场变化的频率等于或接近簧片的自然频率时，产生共振，簧片开始振动。簧片振动过程中，断续地

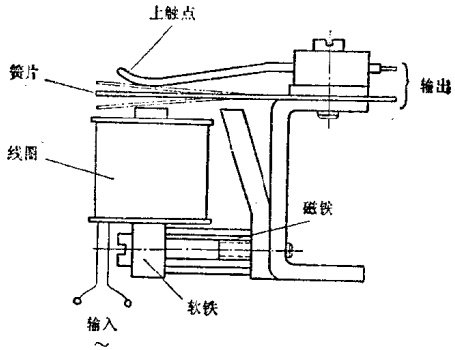


图 4.21 谐振继电器示意图

与上触点接通，作为开关，去控制相应的执行电路。簧片的自然频率与其长度、宽度、厚度及所用材料等有关，在其他条件相同时，用不同长度的簧片，就可以鉴别出不同频率的音频信号，完成频分遥控设备译码的工作。

实用的多通道谐振继电器的结构见图4.22，共有十个簧片，簧片的谐振频率如表 4.1 所示。它可作为十通道遥控接收机的译码器，将表 4.1 示出的十个频率鉴别出来，控制相应的动作。

图 4.23 是单通道谐振继电器结构示意图。它仅有一个簧片，用于单通道遥控设备。无论是单通道还是多通道的谐振继电器上都有永久磁铁，使簧片周围有一恒稳的磁场，这样可让簧片振动的频率与音频信号的频率一致，并提高谐振继电器的灵敏度。

谐振继电器有很好的选频性能，以常用的 6 伏电源接收机的谐振继电器为例，加在继电器线圈上的音频电压为 1.5 伏时，只要偏离中心频率 $f_0 \pm 2$ Hz，继电器即不工作。如果减小线圈上的电压频率范围还要变窄，加大电压时，频率范围变宽。工作频率范围与推动电压的关系如图 4.24 所示。

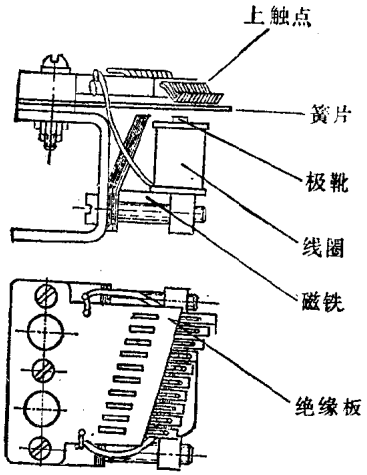


图 4.22 十通道谐振继电器

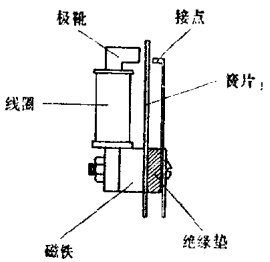


图 4.23 单通道谐振继电器

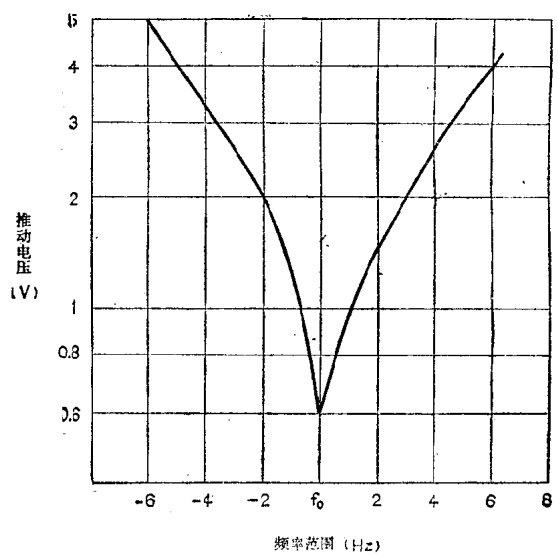


图 4.24 谐振继电器的频率特性

二、谐振继电器的调整

无论是商品还是自制的谐振继电器，在装入接收机电路以前，都要用音频信号发生器调整。如果装入以后再调整就不方便了。谐振继电器的调整分为灵敏度的调整与谐振频率的调整两项内容。

图 4.25 是调整灵敏度的示意图。谐振继电器的灵敏度指在谐振时簧片振动接触到上触点，线圈上所需最小的推动电

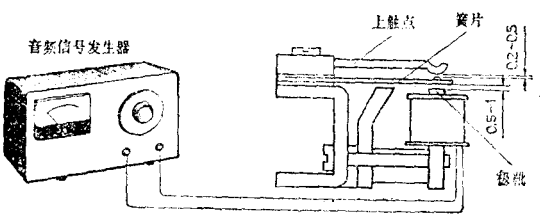


图 4.25 调整谐振继电器

压。常用于 6 伏接收机的谐振继电器，灵敏度在 0.6～1 伏之间。灵敏度的调整主要是调簧片与极靴及上触点的间距。簧片与极靴的间距越小，灵敏度越高。但若间距太小，又会使簧片吸死在极靴上而不能振动。一般把间距调在 0.5～1 毫米之间。簧片与上触点之间的关系，也是间距越小，继电器的灵敏度越高，但间距过小会带来“跳片”的毛病，造成误控，一般调在 0.2～0.5 毫米。较长的簧片，因振幅较大，与上触点的间距可调大点；较短的簧片，因振幅较小，间距要调小些。间距调好后，用信号发生器输出 0.8～1 伏的信号测试，谐振时簧片的振幅应能使其与上触点接通。

按图 4.25 的方法，利用音频信号发生器，也很容易测出每个簧片的谐振频率。如果簧片的频率偏离规定的频率±3 Hz以上时，应将其调到规定数值，以便能与发射机音频振荡器的频率相配合。当簧片比规定的频率低时，可将簧片的尖端剪去一点；簧片频率偏高时，可在其尖端焊点焊锡。调完后再用音频信号发生器测量直到频率准确为止。

在调整时还应注意到，簧片与上触点的间距不同时，簧片的谐振频率会有些改变；间距大时，频率偏低，反之偏高。因此要在间距调好后，再测簧片的谐振频率。

第五章　时分遥控设备单元电路

操纵特技模型飞机的爱好者知道，有些飞行动作需同时操纵油门、副翼、升降舵面等才能完成，其他较复杂的模型有时也需要同时发出几个指令进行操纵。这就要用多路遥控设备了。频分制多路遥控设备调试较为困难，效果也不易理想，因此，象图1.10所示的多路频分设备现在很少有人使用了。但是，时分制遥控设备却很容易实现多路化，并且时分制遥控设备还适用于集成电路组装。用低功耗集成电路组装的时分制遥控设备具有简单可靠、体积小、功耗小、调试简便的优点。所以用集成电路组成的时分制遥控设备近年来逐渐取代了多路频分制遥控设备。

在第一章中，我们介绍了时分制遥控设备的原理、种类与组成。为便于了解和制作时分制遥控设备，本章介绍在时分制遥控设备中常用的单元电路。如时钟振荡器、单稳电路、触发器、寄存器、脉冲分配器等。这些单元电路分为分立元件单元电路、集成电路门电路组成的单元电路以及在遥控设备中常用的集成电路逻辑部件。

第一节　分立元件单元电路

虽然用分立元件组成的时分制遥控设备在性能上不如用低功耗集成电路组成的设备，但目前分立元件较集成电路成本低、适合业余爱好者的条件。本节介绍在比例遥控设备中常用

的分立元件单元电路。

一、时钟振荡器

时钟振荡器用来产生编码电路的时钟脉冲，作为时分遥控设备的时间基准。对时钟脉冲周期要求不太严格的设备，常用多谐振荡器作为时钟振荡器。

图 5.1 是用于比例遥控设备中产生时钟脉冲的多谐振荡器，产生时钟脉冲的周期为 20 毫秒。

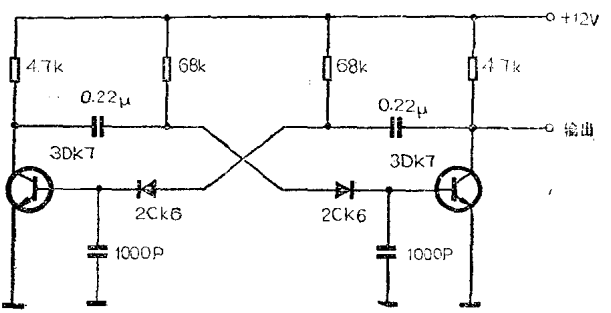


图 5.1　20 毫秒时钟振荡器电路图

二、单稳态电路

单稳态电路又叫单稳态触发器，常用作产生定宽脉冲的电路，以及延时、整形等电路。

图 5.2 是发射机编码电路中产生定宽脉冲的单稳态触发器。稳态时，BG_1 导通，BG_2 截止，当 BG_1 基极来负脉冲后，变为 BG_1 截止 BG_2 导通，电路进入暂稳态。由于电容 C_2 经电

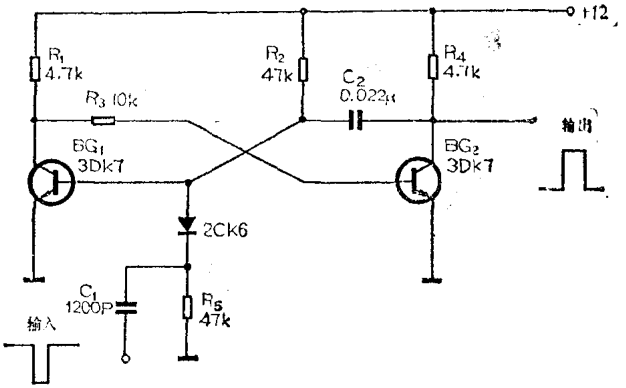


图 5.2 定宽单稳态电路图

阻 R_2 的放电，BG_1 基极电位逐渐升高，达到 0.5 伏左右时，BG_1 开始导通，BG_2 变为截止，单稳电路又由暂稳态恢复为稳态。通过上述的过程，从 BG_2 集电极输出正脉冲，脉冲宽度 $T=0.7\ R_2C_2$，按图中元件数值，BG_2 集电极输出 0.7 毫秒的正脉冲，脉冲幅度接近电源电压。

三、半单稳电路

半单稳电路主要用来产生指令脉冲，电路如图 5.3 所示。与前面的单稳电路比较，这种电路仅用一只晶体管，就具有一种稳态与暂稳态特性，所以常叫半单稳电路。图 5.3 电路中，选适当的电阻 R_b，使晶体管在初始状态下饱和，这就是电路的稳态。当输入端有电压跳变时，经电容 C_b，电压加到晶体管基极，使管子截止，电路变为暂稳态。由于电容 C_b 经电阻 R_b 放电，基极电位逐渐变化，晶体管由截止逐渐变为饱和，

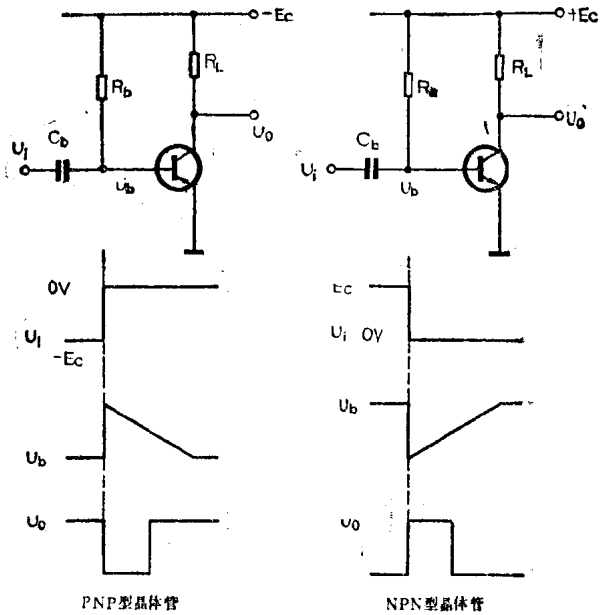


图 5.3 半单稳电路及波形图

电路就又会恢复到稳态。这样，我们从晶体管的集电极可得到一定宽度的脉冲，脉冲宽度 $t=\dfrac{R_bC_b\ln(U_i+E_c)}{E_c}$。图 5.3 分别划出了由 PNP 管及 NPN 管所组成的半单稳电路及工作波形。从图中可看出，如果触发脉冲是负向脉冲时，要用 NPN 管；正向脉冲触发，要用 PNP 管。

在遥控发射机中，怎样用半单稳产生指令脉冲呢？从上式可看出，半单稳输出脉冲的宽度与 R、C 及触发电压 U_i 有关。通过改变 R、C 或 U_i 就可以得到一定宽度的脉冲，用以代表某种指令。我们知道，比例设备的指令脉冲是宽度连续变化的脉冲。比例遥控发射机中常用的产生指令脉冲的电路如图 5.4

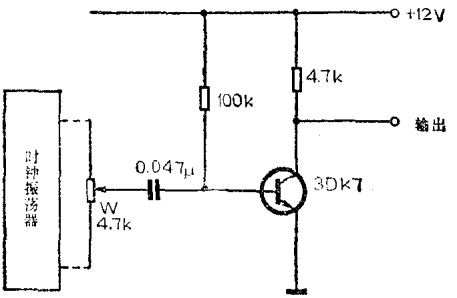


图 5.4 比例遥控设备指令产生电路图

所示。电路中的时钟脉冲经电位器W触发半单稳电路，调整电位器可使触发信号的幅度连续改变，从而得到宽度连续变化的脉冲。除了得到比例型指令信号外，也可以用半单稳得到开关型指令信号。例如图 5.5 是通过开关改变电容量，使输出脉冲的宽度改变。开关K没接通时，输出窄脉冲；按下开关K以后，电容C_b变大，输出脉冲变宽。我们可以用这种宽脉冲代

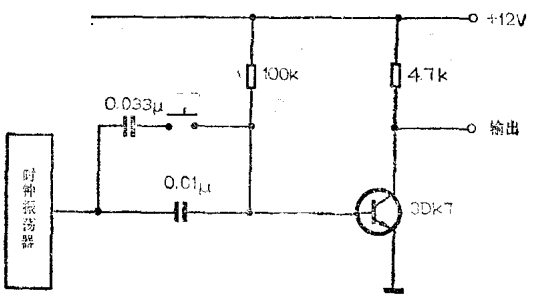


图 5.5 开关型指令脉冲产生电路图

表某个指令。电阻R_b，一般仅作为微调宽度使用。如果用改变R_b获得较大的脉冲宽度变化，则因R_b阻值变化过大，使晶体管的工作不稳定，甚至在没来触发信号时，管子就退出饱

和状态了。

四、双稳电路

双稳态电路又叫双稳触发器，是时分遥控设备应用很广泛的电路，各种计数器和寄存器等电路都可由它来组成

双稳态电路在外加触发电压作用下，具有两个稳定状态，所以叫双稳态电路。遥控设备中常用的双稳态电路如图 5.6 所示，是由 NPN 与 PNP 管组成的互补双稳态电路。电路的工

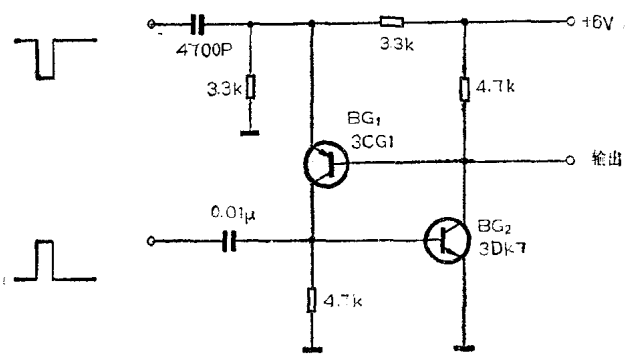


图 5.6 互补双稳态电路图

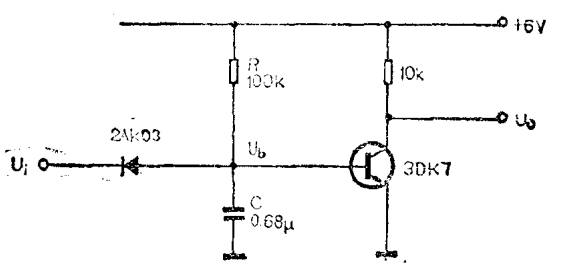
作过程如下：假设 BG_1 与 BG_2 处于饱和状态，当负脉冲加在 BG_1 的发射极时，BG_1 向截止转变，同时促使 BG_2 基极电位降低，BG_2 也趋向截止，BG_2 的集电极电位升高。BG_2 的这种变化更加快 BG_1 向截止转变。这种互补的正反馈过程可表示为 $U_{c1}\downarrow\rightarrow i_1\downarrow\rightarrow U_{c1}\downarrow\rightarrow U_{b2}\downarrow\rightarrow i_2\downarrow\rightarrow U_{c2}\uparrow\rightarrow U_{b1}\uparrow\rightarrow i_1\downarrow$（正反馈），因此两只管子很快截止。当正脉冲经电容加到 BG_2 基极时，BG_2 向饱和转变，同时 BG_1 也因基极电位的降低，向饱和转变，这一

正反馈过程可表示为 $\underbrace{\text{—}U_{b2}\uparrow\rightarrow i_2\uparrow\rightarrow U_{c2}\downarrow\rightarrow U_{b1}\downarrow\rightarrow i_1\uparrow\rightarrow U_{c1}\uparrow\rightarrow U_{b2}\uparrow\text{—}}_{\text{正 反 馈}}$，这种正反馈使两只管子很快饱和。可以看出，在外触发电压的作用下，电路具有双稳态工作的性能。在遥控设备中，常将几组这样的电路串接起来，组成耗电很小的移位寄存器，用于接收机的译码电路。

五、脉宽鉴别电路

许多时分制遥控设备都采用宽脉冲的同步方式，即同步脉冲的宽度远大于指令脉冲的宽度。在接收机译码电路中，利用脉宽鉴别电路把同步脉冲检测出来。另外，有些二进制编码的时分遥控设备，用宽窄不同的脉冲分别代表"1"与"0"，在译码电路中也是用脉宽鉴别电路把"1"鉴别出来。脉宽鉴别电路还可用于抗干扰，把窄的干扰脉冲去掉。脉宽鉴别电路由 RC 积分电路及晶体管组成。

图 5.7 是正脉冲鉴宽电路及波形。在电路输入端加有 2 毫秒及 7 毫秒两种宽度的脉冲，通过该电路将 7 毫秒的脉冲鉴别出来。电路的工作过程如下：在无输入信号时，3 DK 7 处于



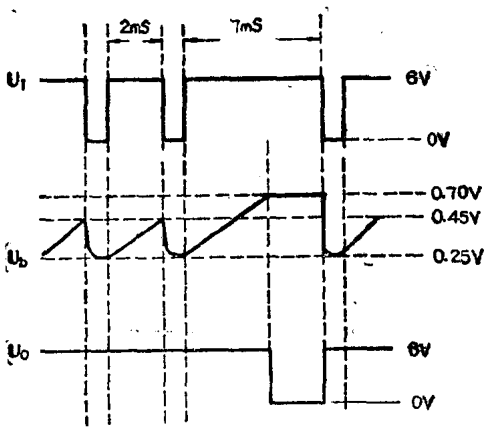
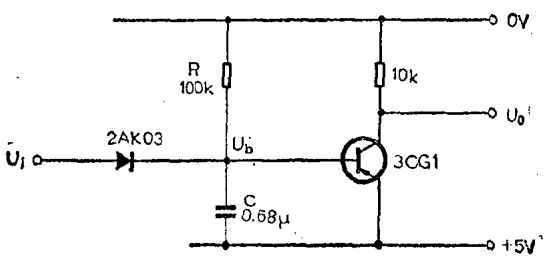


图 5.7 正脉冲宽度鉴别电路及波形图

饱和状态。当输入端有图 5.7 所示的输入脉冲后，其负向脉冲使 C 经过二极管放电，U_b 很快下降；负向脉冲消失后，经电阻 R 向 C 充电，U_b 点电位又逐渐升高，升高的速度由 RC 时间常数决定。选择适当的 RC 数值，使在 2 毫秒时间内 U_b 达不到晶体管 3 DK 7 的导通电压（0.5 伏以下），而在大于 2 毫秒、小于 7 毫秒的时间内，U_b 达到 3 DK 7 导通电压（0.7 伏）。这时，集电极输出一个负向脉冲，就将 7 毫秒的宽脉冲鉴别出来了。



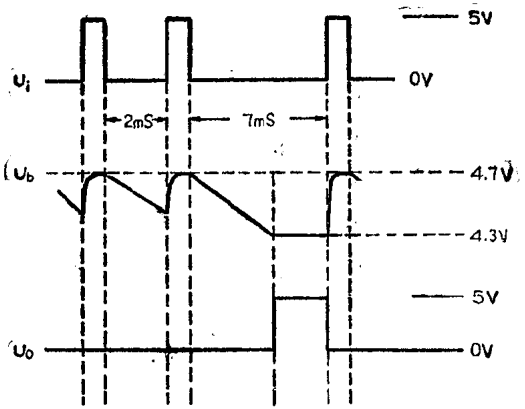


图 5.8 负脉冲宽度鉴别电路及波形图

图 5.8 是负向脉冲宽度鉴别电路，工作过程与图 5.7 相同。

第二节 CMOS 集成电路的特点及使用注意事项

集成电路有 TTL、HTL、PMOS、CMOS等许多种，其中最适合在操纵模型的遥控设备中应用的是 CMOS 集成电路。

CMOS集成电路是在卫星、导弹、遥控、遥测；等方面应用很广的集成电路，近年来国外比例遥控设备绝大部分都使用 CMOS 集成电路。为制作后面将要介绍的时分制遥控设备，要对 CMOS 集成电路有所了解。

一、CMOS 集成电路的特点

为什么 CMOS 集成电路适合在遥控设备中应用呢？这是

由 CMOS 集成电路的特点决定的。CMOS 集成电路是互补金属氧化物半导体数字电路的简称，它由 P 沟道 MOS 管和N 沟道MOS管组合而成，与其他集成电路相比，具有以下的特点：

1．**微功耗**：CMOS 集成电路的功耗比普通 TTL 集成电路低三个数量级，其静态功耗仅为微瓦级，动态功耗与工作频率及负载电容有关，一般为百微瓦级。用 CMOS 集成电路组成的比例遥控设备编码电路，耗电不到 1 毫安。如果用 TTL 集成电路组成，耗电不小于 40 毫安。这种微功耗的特点可以减轻遥控设备电源的重量。由于操纵模型的遥控设备大多是便携式的，用电瓶或电池供电，微功耗的特点对操纵模型的遥控设备更为可贵。

2．**抗干扰能力强**：CMOS集成电路可抗电源电压 45% 的噪音干扰，而普通的 TTL 集成电路抗干扰能力仅为电源电压的 16%。所以用 CMOS 集成电路组装遥控设备的编码与译码电路，具有较强的抗噪音电压干扰的能力。

3．**电源电压允许变动范围宽**：TTL 和 PMOS 集成电路均要求电源电压基本稳定，变化最多不超过额定值的±10%。CMOS 集成电路可在 7～15 伏范围的电压下正常工作，还有的产品可在 3～18 伏范围内正常工作。这一特点不仅降低了遥控设备对电源性能的要求，也提高了设备的可靠性。

除了上述特点外，CMOS电路的稳定性也较好，它的电参数对温度变化不敏感，一般可在－55℃ 至＋125℃ 范围内正常工作。另外，还具有输出幅度大、扇出能力强、开关速度较高等优点。

二、使用注意事项

CMOS 电路在使用不当时很容易损坏。使用时应注意以下几点：

1．CMOS集成电路的输入阻抗很高，约10^{12}～10^{15}欧，为防止输入端被静电击穿，造成电路的损坏，存放 CMOS 集成电路时应用导电材料屏蔽，或将所有引出头插入导电泡沫塑料内。焊接时要将电烙铁的外壳接上地线，测试时使用的仪器也必须要有良好的地线。

2．发射机的编码电路通常是与发射电路共用一组电源，并且这两种电路板都装在发射机盒内，相距很近。为防止强的高频电场损坏 CMOS 集成电路或造成对编码电路的干扰，对高频功率 1 瓦以上的发射机，最好将编码电路放置在屏蔽盒内，电源回路加高频退耦电路，如图 5.9 所示。在调试发射机时，不要把编码电路暴露在天线附近，最好用假负载取代天

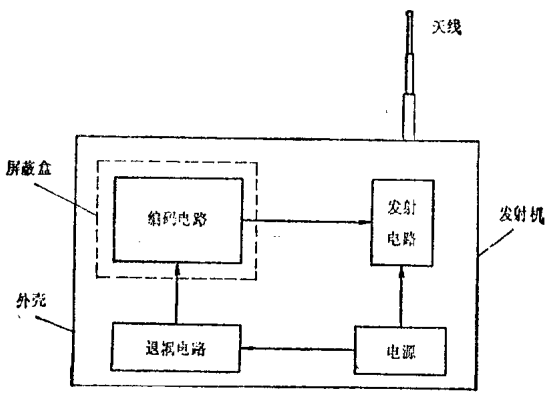


图 5.9 编码电路屏蔽和退耦

线，待编码电路放入屏蔽盒后，再换真天线。

3．如果信号源与CMOS电路用两组电源供电，应先接通CMOS电路的电源，再开信号源电源，关机时要先关信号源，再关CMOS的电源，信号源的信号不要超过CMOS集成电路的电源电压范围，如果超出CMOS电源电压范围，应在CMOS电路输入端加一个限流电阻，使输入电流不超过5毫安。

4．使用CMOS集成电路，常遇到处理多余输入端的问题。例如，电路中需要3输入端与门，而实际只有4输入端与门，多余了一个输入端。注意多余的输入端不能悬空，应根据电路功能的要求，将多余端接V_{DD}（电源正极）或V_{SS}（电源负极），或与其他输入端接在一起。

5．同一种CMOS集成电路，电源电压范围分为8～12伏、7～15伏、3～18伏三种系列。例如：C 001、C 031、C 061，均是4输入端双与门，C 001电压范围是8～12伏、C 031为7～15伏，C 061为3～18伏。使用哪一种，要根据发射机与接收机的电源电压而定。CMOS电路的封装分为扁平封装与双列直插型封装二种，选用哪一种封装要根据排列印制板的方便而定。

第三节　CMOS门电路组成的单元电路

用CMOS与门、或门、非门等门电路可以组成许多简便实用的单元电路，如多谐振荡器、单稳触发器、鉴宽电路、延时电路等。这些单元电路在时分制遥控设备中应用很普遍。

一、时钟振荡器

用 CMOS 门电路可组成自激多谐振荡器或晶体稳频振荡器，为发射机的编码电路提供时钟脉冲。自激多谐振荡器可用于对时钟脉冲周期要求不严格的设备，晶体稳频振荡器用于对时钟脉冲周期要求严格的设备。

1. 自激多谐振荡器

图 5.10 是由两个 CMOS 非门（反相器）与 R、C 电路组成的多谐振荡器及波形。电路的振荡是靠 R、C 充放电形成

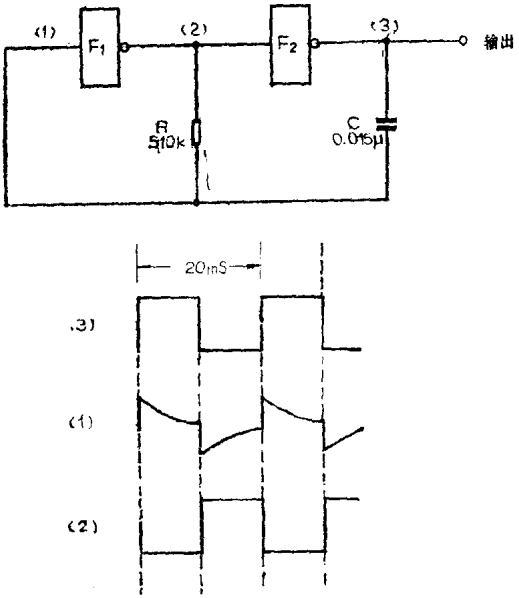


图 5.10　20 毫秒时钟振荡器及波形图

的：当 F_2 输出端为“1”时（“1”代表高电平），通过 C 使 F_1 的输入端也为“1”，而输出端（即②端）为“0”（“0”代表低电平）。此时，C 经 R 放电，①点电位下降；待降到 F_1 的转换电压时，立即出现瞬变，使 F_1 输出“1”，F_2 输出“0”。这时②点的高电位经 R 向 C 充电，①点电位逐渐提高，当高到 F_1 的转换电压时，电路又发生瞬变，使 F_1 输出变为“0”，F_2 输出变为“1”，于是形成周期性的多谐振荡。电路的振荡频率可由下式估算：$f \approx \frac{1}{2.2RC}$。

由于 CMOS 电路输入阻抗高，电阻 R 可用大阻值，而 C 的容量可适当减小，有利于选用质量好的电容及减小电路的体积。当 $R=510$ 千欧，$C=0.015$ 微法时，产生方波的周期为 20 毫秒左右，与常用的比例遥控设备时钟脉冲的周期相同，可直接作为比例遥控设备的时钟振荡器。

在 CMOS 电路的输入端均加有保护二极管。由于保护二极管对振荡电压会产生钳位作用，振荡频率要受电源电压变化的影响。为了消除这种影响，提高频率的稳定性，可以在图 5.10 的电路上加入电阻 R_s（R_s 一般为几十千欧），改进后的电路如图 5.11 所示，其振荡频率较图 5.10 电路稍有降低。

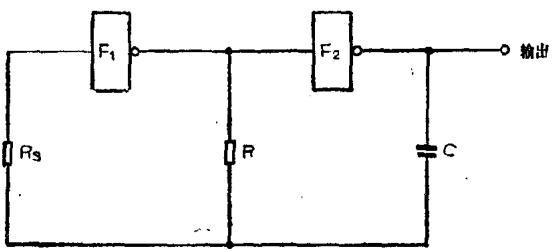


图 5.11 改进的时钟振荡器电路图

图 5.10 电路与图 5.11 电路均用 12 伏电源。F_1 与 F_2 用六非门 C003（8～12 伏）、C033（7～15 伏）、C063（3～18 伏）均可，与之相应的国外产品为 CD 4069。

2. 晶体稳频时钟振荡器

图 5.12 所示是用晶体稳频的 8 kHz 时钟振荡器，由反相器、晶体及 RC 电路组成。晶体在电路中呈感性，通过输入电容 C_2 及输出电容 C_1 形成正反馈，构成电容分压三点式振荡器。根据振荡频率的不同，C_1 与 C_2 可在几十至几千微微法之间调整。电阻 R_f 与反相器构成放大器，R_f 值由几到几十兆欧均可。

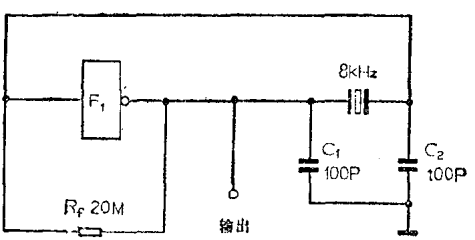


图 5.12 晶体稳频时钟振荡器电路图

一般的低频晶体体积较大，组装时不方便。为解决这一问题，有的遥控设备用电子手表中的晶体作为稳频晶体，在使用环境温度不低于－10°C 时，具有很好的效果。

图 5.13 是在遥控设备中实用的时钟振荡器电路图，使用电子手表的 32.768 kHz 晶体，晶体的体积与一个小电解电容相似，组装时很方便。

图 5.12 及图 5.13 电路的电源均用 12 伏，F_1 与 F_2 用六非门 C 033、通常，晶体稳频时钟振荡器所产生的脉冲不直接

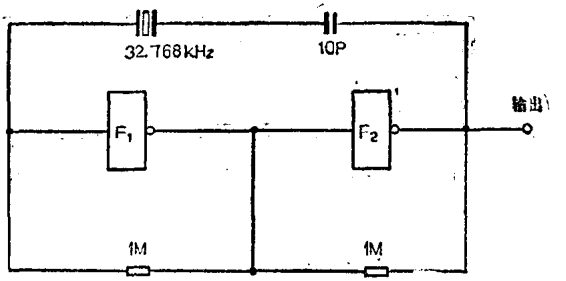


图 5.13 用手表晶体的时钟振荡器电路图

作为时钟脉冲，而是经分频电路将频率降低后再作为时钟脉冲。这样既可以得到合适的时钟频率，又使时钟的频率更加稳定。

二、鉴宽电路

RC 积分电路与CMOS门电路配合，可组成简单实用的脉冲宽度鉴别电路。利用这种电路，可从脉冲序列中鉴别出所需要的宽脉冲，例如同步脉冲或其他宽脉冲。图 5.14 是鉴宽电路及波形图。当输入端为“1”时，V_{DD} 经 R 向 C 充电，电容两端电压 U_c 按指数规律上升。U_c 达到 CMOS 门的转换电压 Vt_r 时，CMOS 门的输出端为“0”。当输入端为“0”时，C 通过二极管 D 放电，放电途径的电阻很小，放电时间可忽略不计，输出端立即变为“1”。可以看出，图中前两个正脉冲较窄，U_c 达不到 Vt_r 值，只有第三个宽脉冲使 U_c 达到 V_{tr} 值，CMOS 门输出端变为“0”，从而把宽脉冲从脉冲序列中鉴别出来。

从图 5.14 可看出，只有宽度大于 t_0 的正脉冲才能鉴别出来，t_0 可用下式估算：$t_0 \approx 0.7\,RC$。电路用 6 伏电源供电，F

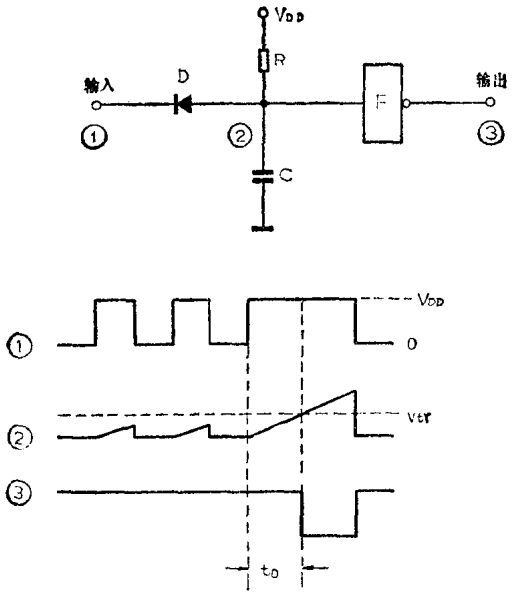


图 5.14　鉴宽电路及波形图

用 C033，$R=91$ 千欧、$C=0.068$ 微法时，实测 $t_0=3.9$ 毫秒。

三、延时电路

延时电路由 RC 积分电路与 CMOS 门电路构成。图 5.14 的鉴宽电路也是一种延时电路，延时的时间为 t_0，但这种延时电路只是把脉冲的前沿延时，后沿的时间没有变化，实际上把脉冲的宽度变窄了。有些电路需要把脉冲延时，但又不允许脉冲的宽度有较大的变化，这时用 5.14 的电路就不成了，要用图 5.15 所示的电路。电路延时的道理与图 5.14 电路相同，延

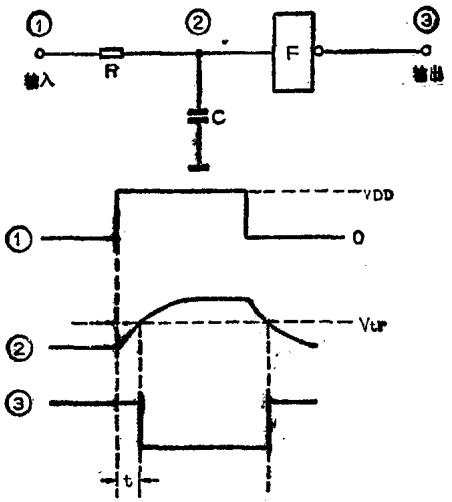


图 5.15 延时电路及波形图

时时间 t 可用下式估算：$t \approx 0.7\ RC$。

电路用 6 伏供电，F 用 C 033，$R=51$ 千欧、$C=0.15$ 微法时，实测 $t=5$ 毫秒。

四、微分电路

这里所说的微分电路，是用 RC 微分电路与 CMOS 门电路配合组成的波形变换电路。用这种简单的电路可以得到不同宽度的脉冲。

图 5.16 (a) 是用输入脉冲的下跳沿形成正脉冲，图 5.16 (b) 是用输入脉冲的上跳沿得到负脉冲。这两种电路输出脉冲的宽度均可按公式 $t \approx 0.7\ RC$ 估算。

电路用 10 伏供电，F 用 C 033，当 $R=1$ 兆欧，$C=0.15$

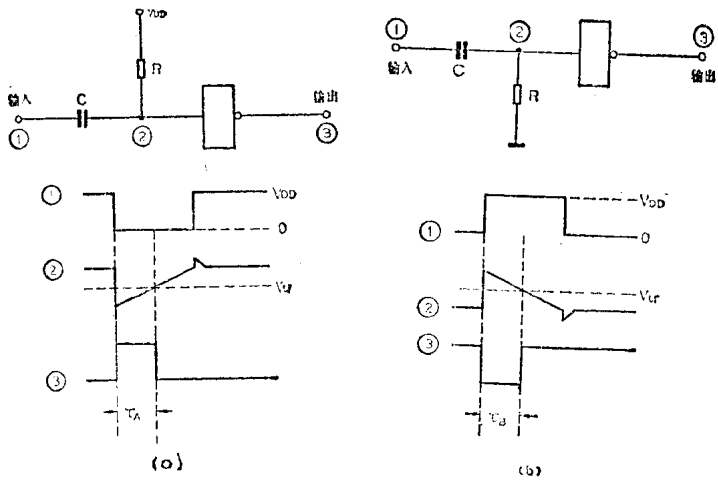


图 5.16 微分电路及波形图

微法时，实测 t_A 为 105 毫秒，t_B 为 115 毫秒。

五、整形电路

整形电路是遥控设备中经常应用的电路。例如接收电路输出的信号要经整形电路，使前后沿变化缓慢的脉冲变为迅速突变的脉冲，再送到译码电路。最常用的整形电路是施密特触发器。图 5.17 是其电路与波形。电路是由二级反相器接成正反馈构成的。

施密特触发器的开门电平 $V_{开}$，关门电平 $U_{关}$，可用下式估算：$V_{开}\approx\frac{R_f+R_s}{R_f}\cdot\frac{V_{DD}}{2}$，$V_{关}\approx\frac{R_f-R_s}{R_f}\cdot\frac{V_{DD}}{2}$。电路用 10 伏供电，$F_1$ 与 F_2 均用 C 033，$R_s=180$ 千欧，$R_f=1$ 兆欧时，实测 $V_{开}=5.7$ 伏，$V_{关}=3.8$ 伏。

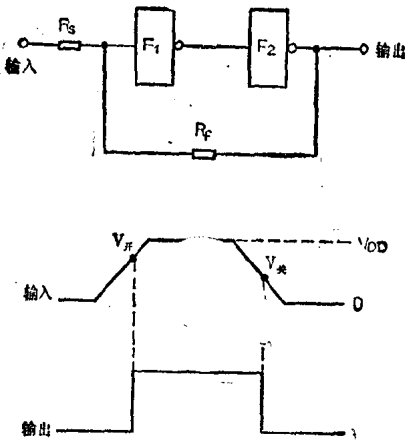


图 5.17 整形电路及波形图

六、单稳态电路

用 RC 定时电路与两个 CMOS 门电路组成的单稳态电路，可用于产生定宽脉冲。在脉宽调制(PDM)的遥控设备中，通过改变单稳态的定时电路，能实现脉冲宽度调制；比例设备舵机电路中也可使用这种单稳态电路。单稳态电路及其波形如图 5.18 所示是用输入脉冲的下跳沿触发，输出负脉冲，输出脉冲宽度可按 $t\approx 0.7\,RC$ 估算。图中的 yF 用二输入端四与非门 C 036 (与之相应的国外产品有 CD4011)，F 用 C 033。当 $R=1$ 兆欧，$C=0.15$ 微法时，实测 $t=105$ 毫秒。

对脉冲宽度要求较严格的电路，可使用图 5.19 所示的改进的单稳电路。电路由下跳沿触发，输出正脉冲。由于输出正脉冲的宽度与二个门的转换电平有关 (V_{tr1} 是 F_1 的转换电压，V_{tr2} 是 F_2 的转换电压)，当 F_1 与 F_2 用同一片的非门，并且

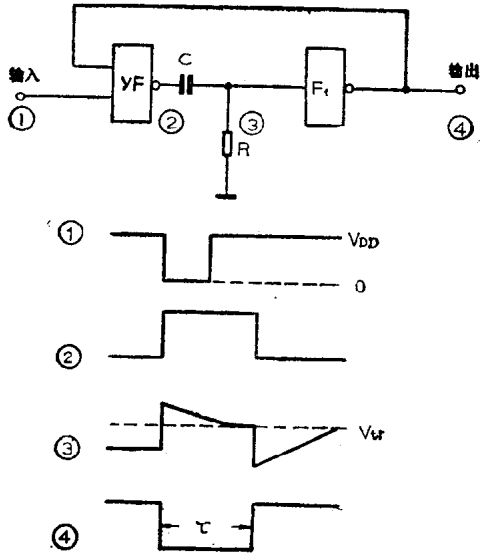


图 5.18 单稳态电路及波形图

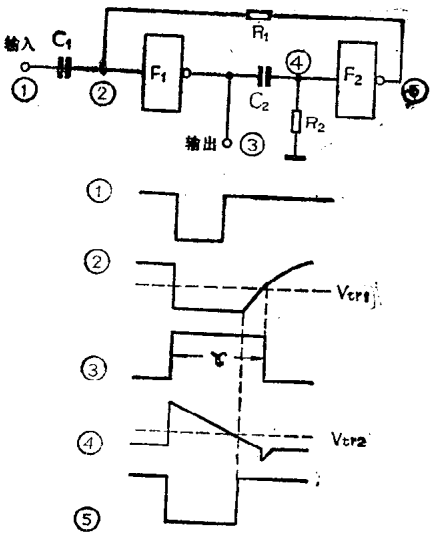


图 5.19 改进的单稳态电路图

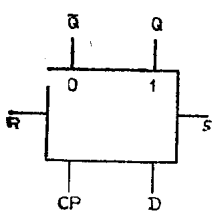
$R_1C_1=R_2C_2$ 时，F_1 与 F_2 转换电压变化的影响可被有效地对消，得到宽度稳定的脉冲。输出脉冲的宽度 $t\approx1.4\,RC$。

第四节　逻辑部件

除了前面介绍的由分立元件及门电路组成的单元电路外，时分制遥控设备中还有集成电路逻辑部件。常用的逻辑部件有触发器、寄存器、计数器、脉冲分配器、编码器及译码器等。

一、D 触发器

集成电路触发器的原理与分立元件双稳触发器基本相同，也具有“1”与“0”两个稳定状态。在外来信号触发下，电路可以从一个稳定状态转换到另一个稳定状态；没有触发信号时，电



CP	D	$\overline{R}$	S	Q	$\overline{Q}$
↑	0	0	0	0	1
↑	1	0	0	1	0
↓	×	0	0	不变	
×	×	1	0	0	1
×	×	0	1	1	0
×	×	1	1	不允许	

图 5.20　D 触发器符号及真值表

路保持原来的稳定状态。用集成电路触发器可以组成寄存器、计数器、脉冲分配器等逻辑部件。集成电路触发器有 $R-S$ 触发

器、JK 触发器、D触发器等。其中使用最广泛的是D触发器。

D触发器的符号及真值表如图 5.20 所示，由D端输入数码，CP 端输入时钟脉冲。S 为置位端，R 为复位端，Q及$\overline{Q}$为输出端。

从真值表中可以看出，D触发器由时钟脉冲的上跳沿触发，R端加“1”时复位，S端加“1”时置位，R与S的复位与置位作用和时钟状态无关。

D触发器的系列产品有双D触发器 C043 或 C 013、C 073 等，对应的国外产品为 CD 4013。

二、寄存器

寄存器分为数码寄存器与移位寄存器。数码寄存器用来寄存数码；移位寄存器除了寄存数码外，还能把数码移位。在遥控设备的编码电路与译码电路中，寄存器可把并行数码变换为串行数码或将串行数码变换成并行数码，也可用于产生节拍脉冲或作为计数器使用。由于用D触发器构成的寄存器电路最简单，遥控设备中的寄存器常用D触发器构成。

1. 数码寄存器

图 5.21 是由D触发器构成的三位数码寄存器。三位待存入的数码分别加在三个触发器的D端，在写入脉冲的上跳沿到来时，D端的数据存入触发器，如D端为“1”，触发器也变为“1”，从触发器的Q端即可输出存入的数码。这种电路不需清“0”，使用时将R及S端接V_{cc}。

2. 移位寄存器

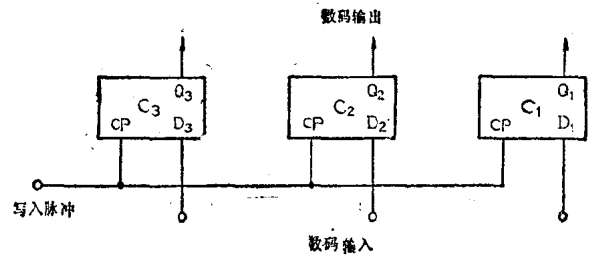


图 5.21 数码寄存器

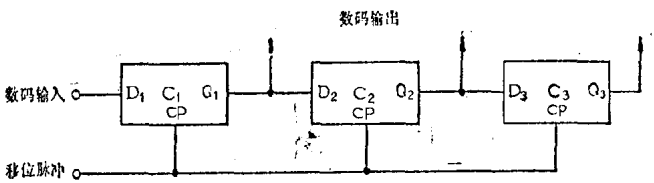


图 5.22 移位寄存器

图 5.22 是常用的由 D 触发器组成的移位寄存器。图中仅以三级为例，三个 D 触发器按顺序联接起来，Q_1 接 D_2，Q_2 接 D_3。移位脉冲加到所有触发器的 CP 端，输入的数码加在 D_1 端。每加入一个移位脉冲，移位寄存器寄存的数码同时向右移 1 位，例如，若加在 D_1 的三位二进制数码为“101”，第一个移位脉冲到来时，因 D_1 已为“1”，使触发器 C_1 为“1”，Q_1 即为“1”。第二个移位脉冲来到时，因为 D_1 为“0”状态（数码 101 的第二位为“0”），D_2 为“1”状态（由于 Q_1 为“1”）所以触发器 C_1 变为“0”状态，触发器 C_2 变为“1”状态。第三个移位脉冲到来时因 D_1 为“1”状态（数码 101 的最低位为“1”），D_2 为“0”（由于 Q_1 为“0”），D_3 为“1”（由于 Q_2 为“1”），触发器 C_1 变为“1”，C_2 变为“0”，C_3 变为“1”。不难看出，经过 3 个移位脉冲，101 三位二进制数码均存入寄存器，Q_1、Q_2、Q_3 分别变为“1”、

"0"、"1"状态，得到并行码输出。从上述的过程还可以看出，移位寄存器在移位脉冲作用下的状态，与移位寄存器的原始状态无关，可以不清"0"，使用时将R与S端均接V_{ss}即可。移位寄存器在移位脉冲到来时的状态见表5.1。

表 5.1

移位脉冲	输入数据	寄存器状态		
		Q_1	Q_2	Q_3
1	1	1	×	×
2	0	0	1	×
3	1	1	0	1

除了用D触发器组成移位寄存器外，还可用CMOS系列产品的移位寄存器，这样可使电路的组装工作变得更为简单，体积也更小巧。移位寄存器的系列产品较多。常用的有C 423，对应的国外产品为CD 4015。C 423是双4位串入/并出移位寄存器，将2组4位移位寄存器串接，可成为8位移位寄存器。以一块C 423为主，即可组成7路比例遥控设备的译码电路，电路简单可靠。这种电路在时分制遥控设备一章中有具体介绍。

三、计数器

计数器能计算输入脉冲的数目，在遥控设备中主要用来分频或与译码器配合，组成节拍脉冲产生器。计数器可分为二进制非同步计数器、二进制同步计数器、十进制和任意进制计数器等，其中使用较多的是二进制非同步计数器。

图5.23是在遥控设备中用于8分频的二进制非同步计数

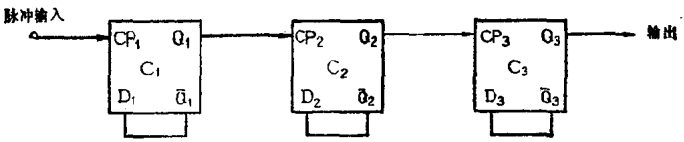


图 5.23 计数器(8 分频电路)

器。由三位D触发器串接而成。如图中所示，低位触发器的Q端接到高位触发器的CP端，使低位触发器Q的状态变化为高位触发器的时钟脉冲，而每位触发器的$\bar{Q}$端均接到D端。这种电路的工作过程如下：假设计数器的初始状态为“101”，即Q_1为“1”，Q_2为“0”，Q_3为“1”。由于Q_1为“1”，$\bar{Q}_1$与D_1均为“0”，第一个时钟脉冲的上升沿到来时，Q_1就变为“0”。Q_1由“1”变为“0”时产生一个负跳变，但这个负跳变并不影响Q_2及Q_3的状态，于是整个计数器的状态由“101”变为“001”。当第二个时钟脉冲的上升沿到来时，Q_1由“0”变为“1”，同时产生一个正跳变；由于D_2为“1”，这个正跳变使Q_2由“0”变为“1”。Q_2的这种变化也产生一个正跳变；由于D_3为“0”，这个正跳变使Q_3也由“1”变为“0”。于是第二个时钟脉冲使计数器由“001”变为“110”。随着时钟脉冲的到来，计数器即按上述规律变化，直到第八个时钟脉冲到来时，计数器的状态又回到“101”(见表5.2)。这样，每输入8个时钟脉冲，计数器的状态就循环一次，因此，可以实现8分频，从CP_1输入8 KHz方波时，Q_3端得到1 KHz输出。这种计数器分频数与触发器的级数有如下关系，分频数$=2^n$，n为触发器级数。由于电路的分频数与计数器的起始状态无关，不需要清“0”，使用时将R及S均接V_{ss}即可。

除了用D触发器构成计数器外，还经常用CMOS系列的

表 5.2

时钟脉冲		0	1	2	3	4	5	6	7	8
计数状态	Q_1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Q_2	0	0	1	1	0	0	1	1	0
	Q_3	1	1	0	0	0	0	1	1	1

计数器产品。例如 C 186 就是经常使用的产品。用一块 C 186 可实现 2～16 范围内的任意分频。

四、脉冲分配器

脉冲分配器又叫作节拍脉冲产生器，它能产生按时间顺序出现的节拍脉冲。在遥控设备的编码与译码电路中，只有在节拍脉冲的作用下，才能形成多路的编码与译码。脉冲分配器可由计数器加译码器组成，也可由移位寄存器组成。

图 5.24 是由计数器加译码器组成的脉冲分配器。计数器电路与图 5.23 相同，在时钟脉冲作用下，它顺序出现 000、

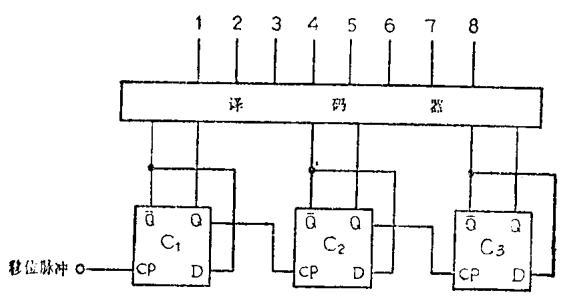


图 5.24 计数式脉冲分配器

001···111 这八个状态，再通过八个三输入端与非门译码，得到八个节拍脉冲(见图 5.25)。这种电路不需清“0”，就能进行

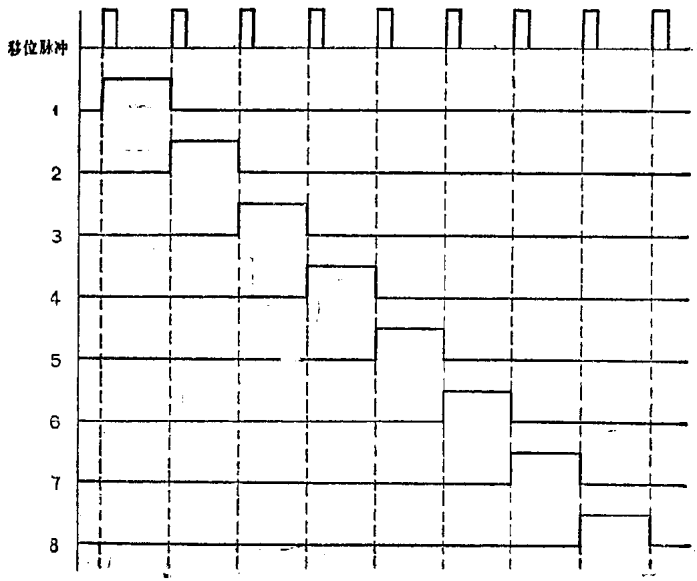


图 5.25 八位脉冲分配器的波形

8 个状态的循环计数，其缺点是输出脉冲具有尖峰干扰，有时造成错误的输出。

图 5.26 是由移位寄存器组成的脉冲分配器电路图。各触发器的 Q 端均接或非门的输入端，或非门的输出端接到 D_1。电路的工作过程如下：移位寄存器为任意初始状态时，只要 $C_1 \sim C_n$ 中任一触发器为“1”，D_1 即始终为“0”；最多经 n 个节拍后，各触发器均变为“0”，此时 D_1 变为“1”。在移位脉冲的作用下，“1”在寄存器内右移，从各触发器的 Q 端就可得到节拍脉冲。这种脉冲分配器产生的节拍脉冲波形较图 5.24 电路

好。

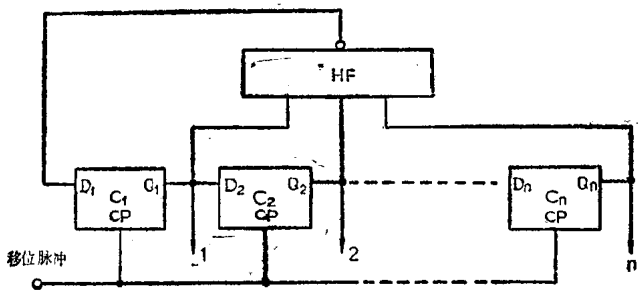


图 5.26　移位寄存器组成的脉冲分配器

五、编码器

时分制脉冲编码遥控设备中，通常用“1”表示高电位、有脉冲或宽脉冲。用“0”表示低电位、无脉冲或窄脉冲。我们可用“1”与“0”不同的排列组成不同的数码，用来代表不同的控制指令。例如，四位二进制编码从 0000 到 1111 共可组成 16 个电码，除去一个作为常态，还有 15 个数码，可以代表 15 个控制指令。如用 0101 代表左舵指令，0110 代表右舵指令等。编码器的任务就是产生上述的代表控制指令的数码，它可以用二极管矩阵组成，也可以用 CMOS 门电路或系列产品的编码器。

1．二极管编码器

图 5.27 是用二极管组成的三位二进制编码器。二极管的正端接水平输入线，负端接垂直输出线；要求该位码为“1”时，则接二极管，为“0”则不接。这样，当我们按下 $K_1 \sim K_7$ 中任一个开关时，在输出端即有相应的三位二进制数码输出。例

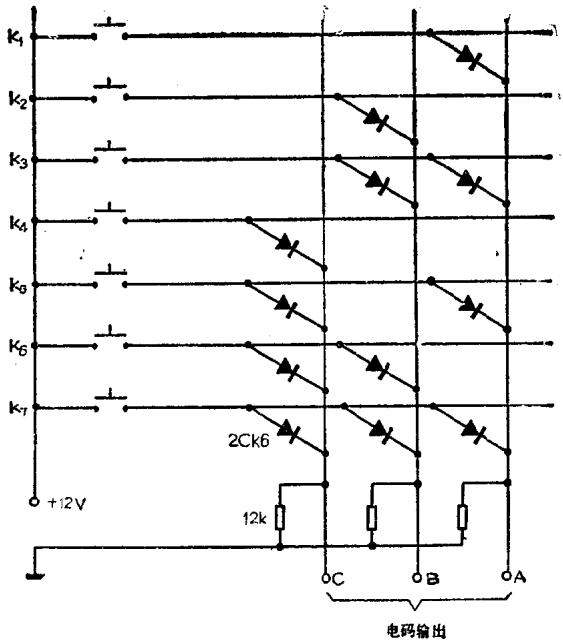


图 5.27　七通道二极管编码器电路图

如，按 K_5 垂直输出线为“101”，按下 K_4 则输出为“100”，除去不按开关时的常态“000”外，共有七个状态，可产生如表 5.3

表 5.3

开关 / 数码	1	2	3	4	5	6	7
C	0	0	0	1	1	1	1
B	0	1	1	0	0	1	1
A	1	0	1	0	1	0	1

所示的代表 7 个控制指令的数码，因此是七通道编码器。

2. CMOS 电路编码器

用 CMOS 门电路构成的编码器如图 5.28 所示，是由与非门、或非门和非门构成的。按下任一个开关，就有相应的四位二

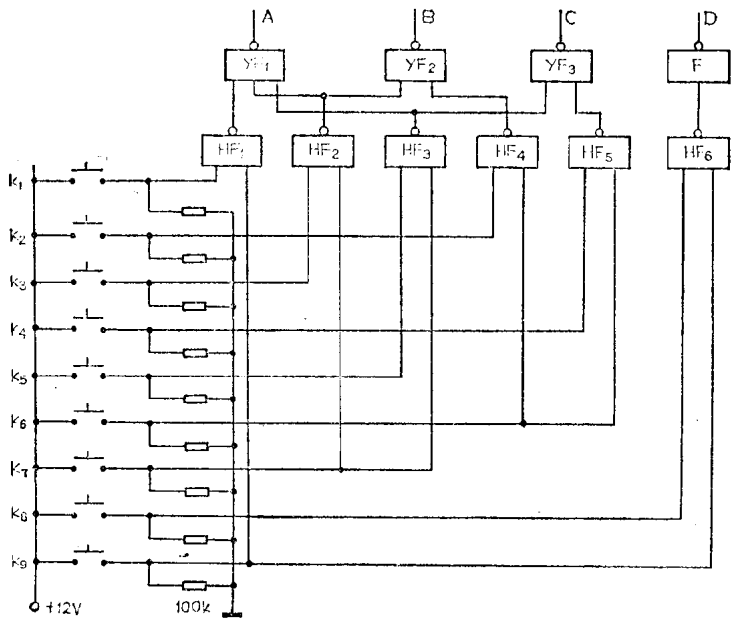


图 5.28 门电路编码器(九通道)

进制数码产生。例如按下 K_3、HF_2 输出为“0”，YF_1 与 YF_2 输出为“1”，YF_3 与 YF_4 不变，即得到 0011 的数码。各开关所对应的数码如表 5.4 所示，分别按下 K_1～K_9 共可得到 9 种数码输出，用来代表 9 个控制指令。

二输入端或非门 HF_1～HF_4 可用CO 39，二输入端与非门

表 5.4

数码 \ 开关	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	0	0	0	0	0	0	0	1	1
C	0	0	0	1	1	1	1	0	0
B	0	1	1	0	0	1	1	0	0
A	1	0	1	0	1	0	1	0	1

YF_2、YF_3 用 CO 36，三输入端与非门 YF_1 用CO 35，非门 F 用 CO 33。用上述门电路构成的这种编码器耗电极小，静态电流仅 0.1 毫安左右。

如果有条件，可用 CMOS 集成电路系列产品编码器 C 304。一块C 304 即可实现图 5.28 电路的功能。

六、译码器

译码器可以把控制指令从数码中“翻译”出来，并送到相应的控制电路。译码器与计数器配合还可以组成脉冲分配器。在时分制遥控设备中，译码器是经常用到的电路。译码器可以由二极管组成，也可由集成电路的门电路组成，还可使用集成电路系列产品。

1. 二极管译码器

图 5.29 是由二极管组成的三位二进 制码译码器，这个译码器可对图 5.27 电路的三位二进制电 码译码，得到七个控制指令，是七通道译码器。电路中二极管的正端接水平输出线，负端接垂直输入线，数码由寄存器输出到译码器的输入线。如

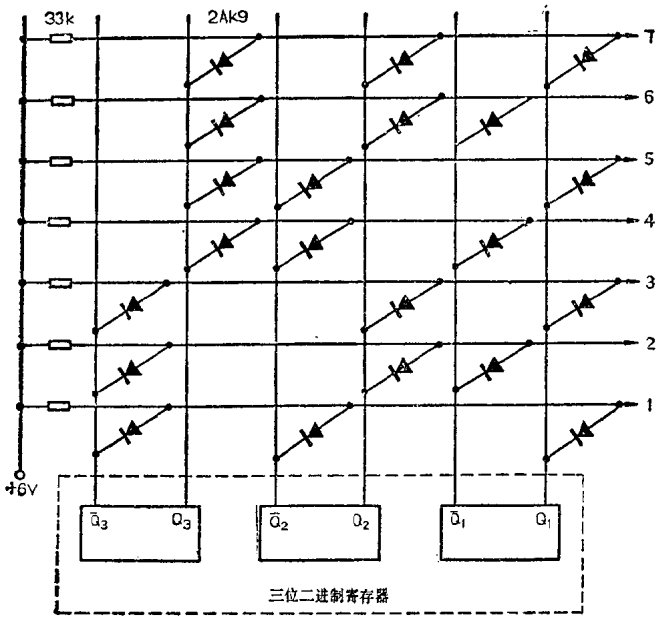


图 5.29 七通道译码器

果输入到寄存器的数码是“001”，那么寄存器的三个触发器中，Q_1为“1”，Q_2与Q_3均为“0”(相应地$\bar{Q}_1$为“0”，$\bar{Q}_2$、$\bar{Q}_3$为“1”)。这时只有一号输出线的三个二极管的负极均接到“1”，而其他6条输出线上的三个二极管至少有一个负极接“0”，所以只有1号输出线有高电位输出，其他线仍为“0”。再按数码001的指令含意，将1号线接到相应的执行电路，即可控制某个动作。

2. CMOS电路译码器

用CMOS门电路组成的译码器如图5.30所示，其功能与

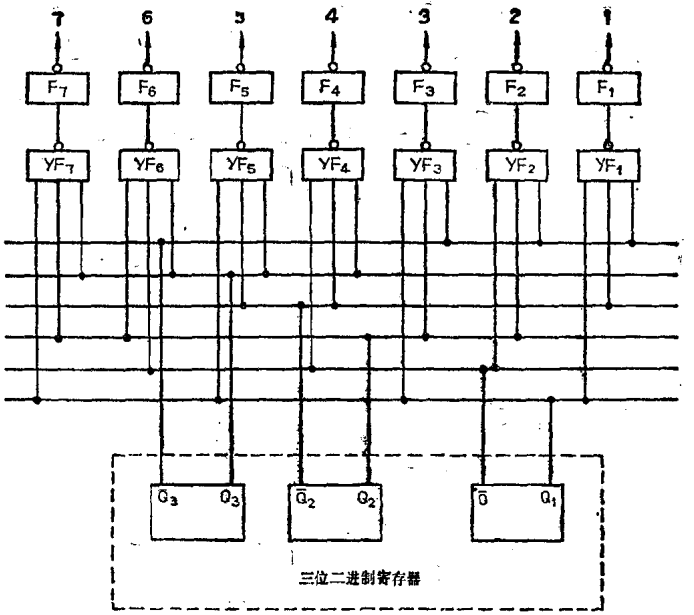


图 5.30 门电路译码器

图 5.29 相同，是七通道译码器。电路主要由三输入端与非门组成，按所译数码的不同，YF_1～YF_7 的输入端接到寄存器的触发器不同输出端。我们知道与非门的特点是所有输入端都为“1”时，输出为“0”，否则输出就为“1”。假设寄存器中的数码是“001”，那么只有 YF_1 的三个输入端为“1”，其输出为“0”，经 F_1 反相，在 1 号输出线得到高电位输出，其他 6 个输出线均为“0”，从而实现译码。电路中的 YF_1～YF_7 用三输入端与非门 C 035，F_1～F_7 用 C 033。

如果使用 CMOS 系列产品译码器，可用 C 301(C 301 对应的国外产品是 CD 4208)。这种译码器可作为九通道译码器

使用。

第五节　同步电路

调试过电视机的爱好者都知道，如果电视机的同步电路有问题，在屏幕上就不会出现正常的图象。对于时分制遥控设备来说，如果译码电路与编码电路工作不同步，就会出现误控与失控。可以说同步是时分制遥控设备正常工作的前提。为了实现同步，编码及译码电路中都需有相应的同步电路。在编码电路中，同步电路的作用是产生具有某种特征的同步信号；在译码电路中，同步电路的作用是将同步信号鉴别出来，并用同步信号控制译码电路分路器的工作，使其与编码电路的分路器同步。

从第一章的图 1.11 可以看出，分路器循环一周，各指令信号就依次发送一遍。我们把分路器循环一周叫作一"帧"。在每帧的特定位置都发送出同步信号，这种同步叫帧同步。帧同步的作用是使多路信号能够正确地分配到相应的通道。在时分制脉冲调幅，脉冲调宽，脉冲调位设备中，都必须要有帧同步电路。

除了帧同步外，在脉冲编码制的遥控设备中还有"位同步"、"句同步"等同步电路，用来保证每个码位及每个"字"的同步。因为它们在模型遥控设备中很少使用，这里就不一一介绍了。下面仅介绍帧同步电路。

一、对同步信号的要求

同步信号一般是用不同形状的脉冲来代表的。对同步脉冲有以下的要求：同步脉冲要比指令脉冲的抗干扰能力强，这样

可以提高遥控设备的抗干扰能力；同步脉冲应具有不同于指令脉冲的特征，以便译码电路能将它鉴别出来；同步脉冲的产生电路及鉴别电路应尽量简单可靠。

图 5.31 示出几种常用的帧同步脉冲。图中(a)是高电平同步脉冲，即同步脉冲的幅度比指令脉冲高。这种同步方式电路简单，但抗干扰性能差。图中(b)是宽脉冲同步方式，即同步脉冲的宽度比指令脉冲大。由于同步脉冲较宽，可用积分电路将其鉴别出来。一些瞬时干扰对积分电路输出电压影响较小，

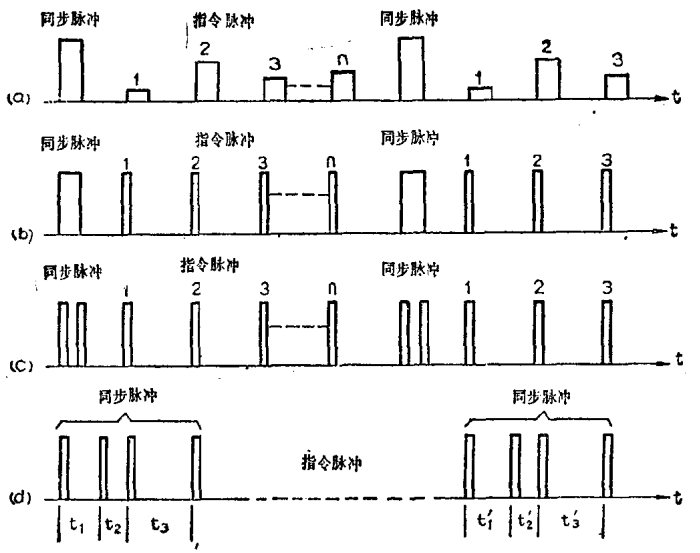


图 5.31 帧同步脉冲波形图

因而这种同步方式抗干扰性较强，同时同步电路也较为简单，是经常在遥控设备上应用的同步方式。图中(c)是脉冲对同步方式。即用一对间隔固定的脉冲作为同步信号，脉冲的宽度与指令脉冲相等，但两个脉冲的间隔较任何两路相邻的指令脉冲

间隔都要小，以便于在译码电路中将其鉴别出来。图中(d)是脉位同步方式，是将三个或三个以上的脉冲排成等间距或不等间距的编码组，以脉冲的相互位置为特征作为同步信号，图中画出的是四位脉位码。这种同步方式抗干扰能力较强，保密性好，在一些军用设备中应用较多。

二、同步电路

同步方式不同，同步电路也不一样。下面介绍在实际设备上常用的几种同步电路。

1．宽脉冲同步电路

在常用的脉冲调宽或脉冲调位遥控设备中，不需专用的同步电路就可得到宽同步脉冲，其方法如图 5.32 所示。图中的指令脉冲产生器由串接的单稳态电路组成。在时钟脉冲的触发

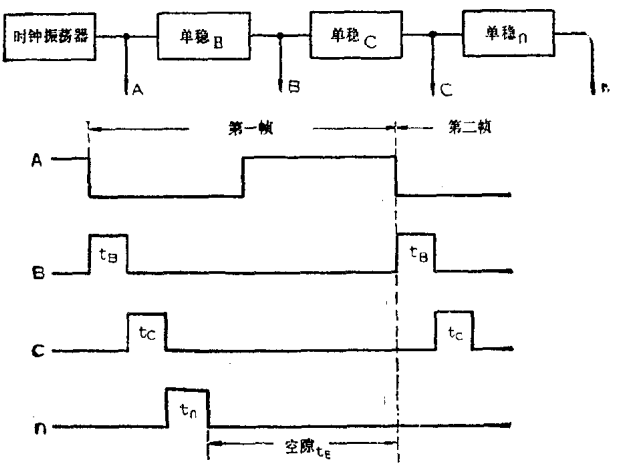


图 5.32　宽同步脉冲产生电路及波形图

下，单稳态电路依次产生 t_B、$t_C\cdots t_n$ 路指令脉冲。每来一个时钟脉冲，t_B、$t_C\cdots t_n$ 就循环产生一次，称为一帧。由于时钟脉冲的周期 T 较长，帧与帧之间形成较宽的空隙，空隙的宽度 $t_{空}$ 大于指令脉冲宽度的三倍以上，在接收机的译码电路中，用前面介绍的鉴宽电路将这个宽空隙鉴别出来，就成为帧同步脉冲。由于这种同步电路简单，并且较为可靠，目前使用的比例遥控设备大多采用这种同步电路。

2．脉冲对同步电路

图 5.33 是脉冲对形成电路及波形。从图中可见，由 A 点输入的脉冲 t_A，经延时单稳电路延时后产生脉冲 t_B。t_B 的后沿触发定宽单稳电路，产生脉冲 t_C，脉冲 t_C 与 t_A 的间隔取决于 t_B 的宽度。t_A 与 t_C 经或门相加电路，即得到同步脉冲对。指令脉冲也从或门输入端依次输入，从或门的输出端 D 得到含有同步脉冲对的编码脉冲序列。

鉴别脉冲对可用延时重合的方法，如图 5.34 所示。经接收电路恢复了的脉冲序列，加到与门的输入端，同时送到延时单稳电路，由延时单稳电路再去触发定宽单稳电路，从而得到延时脉冲。延时脉冲也送到与门的输入端。通过调整延时电路的时间常数，可以使延时脉冲与同步脉冲对中第二个脉冲同时出现，由于这两个正脉冲同时加在与门输入端，与门就输出一个脉冲。不是脉冲对的指令脉冲，没有与延时脉冲重合的机会，与门也就没有输出。因此，只有在同步脉冲对到来时，与门才有一个脉冲输出，这个脉冲就是要提取的同步脉冲。

3．脉位同步电路

脉冲位置同步电路与脉冲对电路基本相同。图 5.35 中示

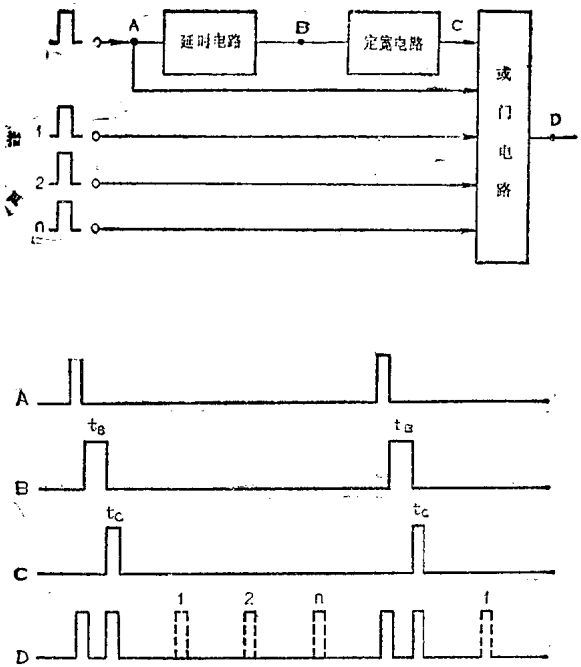


图 5.33　同步脉冲对产生电路及波形图

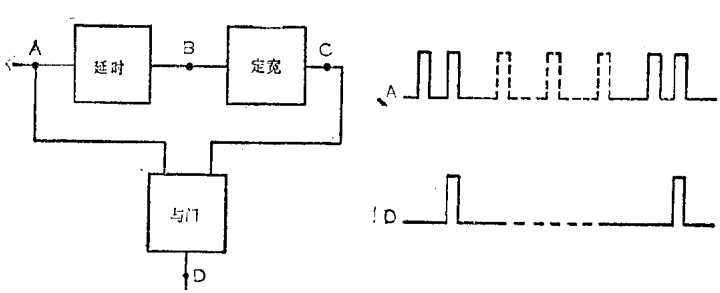


图 5.34　脉冲对鉴别电路及波形图

出了脉位同步产生电路及波形。如图所示，脉冲A加到延时定宽电路B与C的输入端，延时定宽电路B延时为t_1，延时定宽电路C延时为t_1+t_2。将脉冲A及两个延时定宽电路的输出均加到或门电路时，就得到间隔为t_1与t_2的三位脉冲位置同步码。

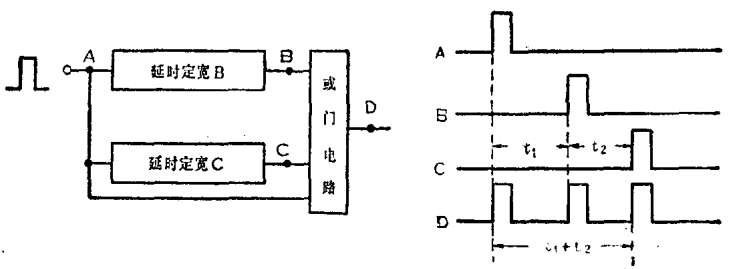


图 5.35 脉位同步电路及波形图

图5.36是三位脉位码的鉴别电路，由两个延时定宽电路及与门电路组成，延时定宽电路B延时t_1，延时定宽C延时t_1+t_2。脉位码及两个延时定宽电路的输出均加到与门电路。

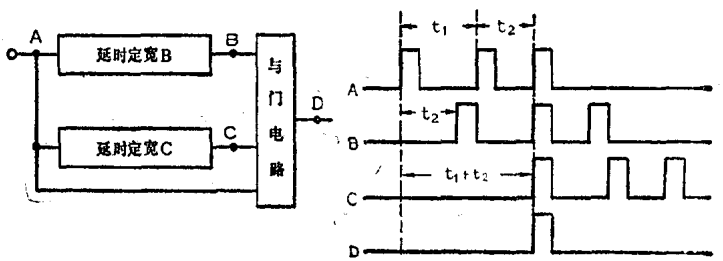


图 5.36 脉位同步鉴别电路及波形图

当脉位码的最后一个脉冲出现在A端时，脉位码的第二个脉冲正好出现在B端，脉位码的第三个脉冲正好出现在C端，与门

的输出端D有输出，鉴别出了具有特定脉冲间隔的脉位码。指令脉冲或其他干扰脉冲很难满足t_1及t_2两个特定的间隔，与门的三个输入端不能同时出现脉冲，因而没有输出。

第六章　执行机构

遥控设备中，执行机构是根据控制指令产生机械动作的装置。例如操纵模型飞机时，只有经过舵机，才能将控制舵面的指令，变为舵面的转动，因此，舵机即为执行机构。

第一节　执行机构的组成、要求及种类

一、组　成

常用的执行机构由执行电路、驱动部件及传动装置组成，

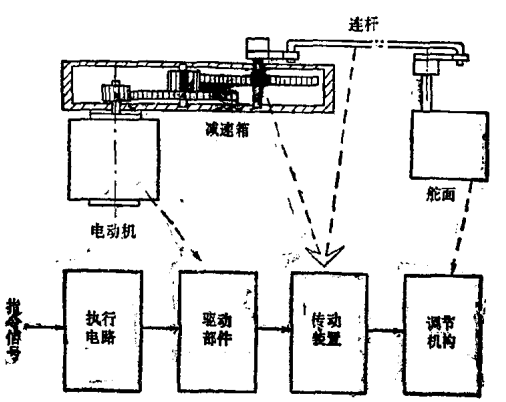


图 6.1　执行机构方框图

如图 6.1 所示。图中是以操纵模型飞机作为例子；执行机构产生的机械运动通过连杆作用到模型的舵面，再由舵面的转动调节模型飞机的运动姿态。在这里舵面称为调节机构。

执行电路一般包括放大电路，比较电路及继电器等部分。它的主要作用是将指令信号放大，用以控制驱动部件。在执行电路的控制下，驱动部件(图 6.1 中的电动机)把电能变为机械运动。传动装置(图 6.1 的齿轮及连杆)把驱动部件的运动状态变为调节机构所需要的状态。例如把电动机的连续转动，经齿轮等机构变为往复的摆动。这种摆动再由连杆传到调节机构(舵面)，实现对模型的控制。

二、要　求

控制指令经发射机及接收机送到执行机构，如果执行机构不能正常地将控制指令变为相应的机械动作，就实现不了对被控目标的正常控制。因此对执行机构要有一定的要求。

对执行机构的要求是多方面的，主要的要求有以下几点：

反应速度：反应速度标志着执行机构在控制信号的作用下，从一个稳态过渡到另一个稳态所需时间的长短，一般是由调节机构的动作速度来测量。例如一架特技模型飞机的方向舵满舵时为 40°。由中立舵到左满舵或右满舵的时间为 0.25 秒，这个方向舵舵机的反应速度即为 40°/0.25 秒。对于运动速度较慢的汽车或舰船模型，执行机构的反应速度就可以慢一些。

负载能力：执行机构要有一定的负载能力，才能带动调节机构动作。对负载能力的要求取决于调节机构阻力的大小，一般模型飞机舵机的负载能力为 2 公斤/厘米，指舵机的输出力臂为 1 厘米时，具有 2 公斤的负载能力。

精度：执行机构精度的高低影响到操纵的准确性。精度是指把执行机构整定在新的平衡状态时，所产生的最大误差。例如：常用的模型飞机的舵机中立精度在1°以内，表示舵面由其他位置回到中立位置时与初始的中立舵面的误差小于1°。

除了上述的要求外，执行机构的工作必须可靠，还应有较高的效率，以减小电源的消耗，在体积及重量方面也应小而轻，安装与维护要方便。

三、种　类

按能源的不同，常用的执行机构可分为电动、气动及电动-气动复合式。其中电动式执行机构又分为电磁式及电动机式两种类型，气动执行机构又分为活塞式及薄膜式。

从动作方式区分，执行机构可分为直行式及旋转式，在旋转式执行机构中，又可分为小于360°的往复摆动式及大于360°的连续转动式。

操纵较简单的模型常用电磁式执行机构，这种机构以电磁铁作为驱动部件，利用拍合式电磁铁及转动式电磁铁分别产生直行式动作及小于360°的往复摆动式动作，其中用的较多的是直行式电磁铁。操纵较高级的模型常用如图6.1所示的电动机式执行机构。这种机构还可以带有反馈装置，其动能与控制信号成比例地变化，是比例遥控设备的重要组成部分。另外，电动-气动复合式执行机构在遥控模型上应用也较普遍。这种执行机构主要由电磁气阀及作动筒组成，由电磁气阀实现"电-气"控制的转换，再由作动筒产生直行式动作。

第二节　主要部件

一、电磁铁

电磁铁在遥控设备上应用普遍。一个电磁铁就可以成为一个最简单的执行机构。将电磁铁与橡筋结合在一起还可以成为摇纵器式的执行机构。常用的继电器及电磁气阀也是采用电磁铁磁性原理构成。

1. 拍合式电磁铁

拍合式电磁铁的构造很简单，如图 6.2 所示。这种电磁铁，主要由U形软铁芯、线圈、衔铁、复位弹簧组成。线圈套在U

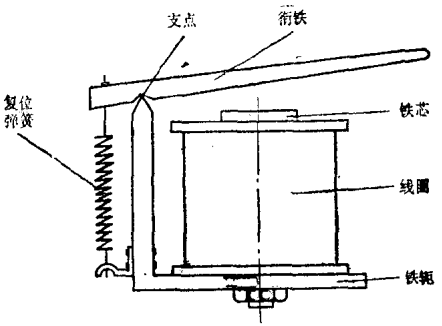


图 6.2　拍合式电磁铁的构造

形软铁芯的一端，衔铁能以U形铁芯的另一端为支点而转动。在衔铁与U形铁芯之间有空气隙。当线圈中通过电流时，衔铁被U形软铁芯吸合；电源断开后，磁力线消失，衔铁被弹簧拉回原位。如果我们把衔铁用连杆接到舵面的舵柄，把线圈接到

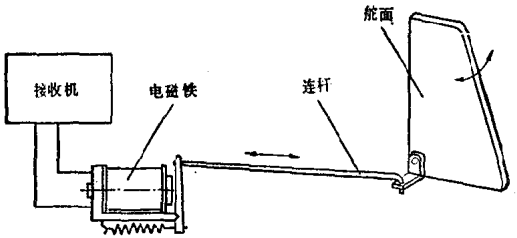


图 6.3 最简单的执行机构

接收机的输出端，就可构成图 6.3 所示的简单的执行机构。接收机收到指令信号后，输出控制电压，使电磁铁吸合，衔铁通过连杆带动调节机构(舵面)，达到控制的目的。

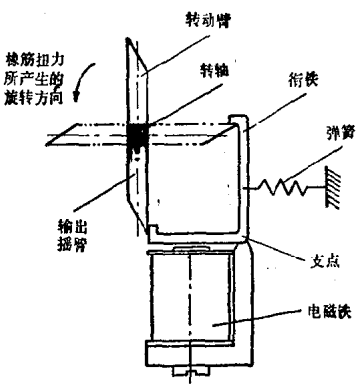


图 6.4 擒纵器构造示意图

2. 擒纵器

擒纵器的构造如图 6.4 所示，由电磁铁、转动臂、衔铁、以及产生转矩的橡筋等组成。它的特点是利用电磁铁有效地控制橡筋及其他弹簧所储存的能量，只有较小的电能供给电磁铁，就可输出大得多的驱动力量。

图 6.5 是擒纵器动作示意图。转动臂的中心轴上有一个钩，与扭紧的橡筋相连，在橡筋扭力作用下，转动臂具有逆时针旋转的力量。但这种转动为 L 形的衔铁所阻止，使之保持在图示的中立状态。当电磁铁线圈有电流通过时，L 形衔铁被吸合，转动臂能产生 90° 的转动，臂上的输出轴通过连杆带动舵

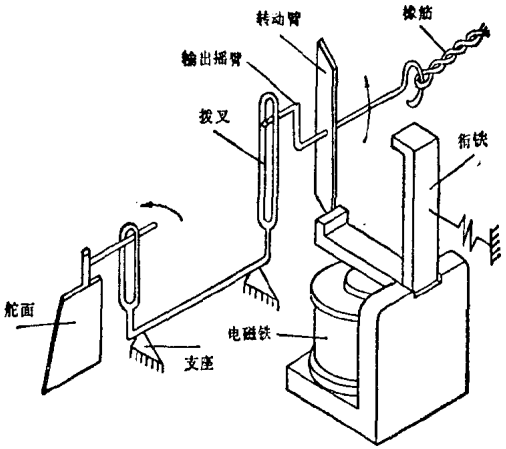


图 6.5 操纵器动作示意图

面，使舵面由中立变为右舵；电流中断后，衔铁复位，转动臂又作 90° 转动，回到中立位置，舵面也就随之回中。可以看出，只要断续地接通电磁铁的电源，转动臂就能依次作 90° 的转动，连动的舵面即能依中立→右舵→中立→左舵→中立的顺序动作。因此用接收机输出的指令信号控制操纵器的电源，只用一个通道就能完成对舵面的左、中、右动作的控制。

因为各动作要按次序进行，所以操纵麻烦，这是操纵器的不足之处。

3. 旋转式电磁铁

图 6.6 是旋转式电磁铁结构示意图。这种电磁铁由线圈、软铁芯及可旋转的磁钢等所组成。在没有电流时磁钢停在图 6.7 (a)所示的位置。线圈通电后，软铁芯磁化，产生磁极，由于同性磁极相排斥，使旋转磁钢转动 60°～80° 左右，如图

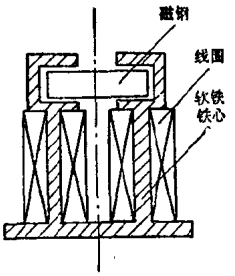


图 6.6 旋转式电磁铁构造示意图

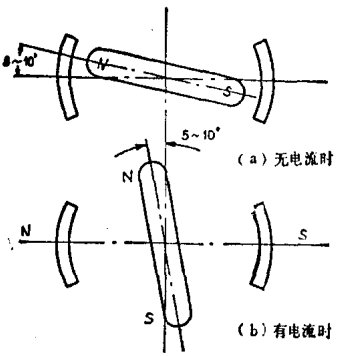


图 6.7 旋转电磁铁动作示意图

6.7(b)所示。这种转动即可控制舵面或其他调节机构。

磁钢和软铁磁极的间隙为 0.5 毫米左右。磁钢要有一定强度的磁性。断电后磁钢的复位可靠调节机构的回中弹簧。旋转电磁铁的动作较拍合式电磁铁柔和，但制作较为困难。

二、继电器

执行电路中，通常都离不开继电器。接收机输出的信号往往是较弱的，不足以使驱动部件工作。经继电器的转换，把控制信号变强，驱动部件就能可靠地工作了。另外，在执行电路中用继电器还可组成具有一定逻辑功能的电路，以满足控制的需要。

1. 构造、原理及种类

继电器主要由电磁铁和接触开关组成，构造及符号如图 6.8 所示。接触开关的活动触点安装在衔铁上，上触点及下触

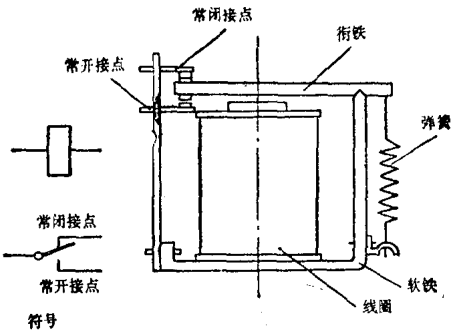


图 6.8 继电器的构造及符号

点安装在绝缘板上。在图 6.8 中，当继电器线圈没电流时处于接通状态的上触点称为常闭触点；处于断开状态的下触点称为常开触点。继电器触点的组数由一组到多组不等，图 6.8 是仅有一组接点的继电器。触点的材料通常用铜、银、金、铂及其合金，其中以铂、金或其合金为最好，接触电阻小，并且不易氧化。

当继电器线圈有电流后，衔铁被吸合，这时原来接通的上触点断开，下触点接通。断电后，由于复位弹簧的作用，衔铁又回原位，使下触点断开，上触点接通，从而达到开关或转换电路的目的。

继电器的种类及分类方法很多，例如以输入到线圈的电源性质分类：分为交流继电器及直流继电器。在直流继电器中又分为非极化继电器及极化继电器。图 6.8 所示的是非极化继电器，在它的磁回路中没有永久磁体。

图 6.9 是极化继电器构造示意图。这种继电器的磁回路中有永久磁体。按触点负荷能力分类，可分为小功率及较大功率

的继电器，按继电器的体积可分为超小型、小型及一般继电器；按防护特征可分为密封式、封闭式及无防护继电器等。在遥控设备中经常使用的是直流、小功率、超小型密封式继电器。

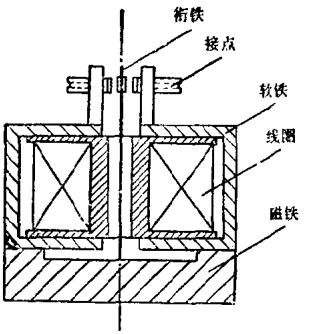


图 6.9 极化继电器结构示意图

2. 主要参数

吸合电流（电压）和释放电流（电压）：触点从释放状态到工作状态所需最小的电流(电压)值称为吸合电流(电压)，触点由吸合恢复到释放状态时的最大电流(电压)值为释放电流（电压）。

吸合时间及释放时间：由继电器的线圈接入电流到触点动作(吸合或释放)所需的时间，分别称为吸合时间或释放时间。

额定电流(电压)：指继电器可靠工作时的电流(电压)值。

触点负荷：指触点所能控制的功率。

在上述的几项参数中，要特别注意吸合电流、释放电流及触点负荷。吸合电流与释放电值越接近，继电器就越灵敏，但可靠性差，容易产生误动作。因此，两电流的差值不要太小。触点负荷一般是指电阻性负荷。如果是阻抗性负荷（例如由触点控制电磁铁或电动机），负荷能力要减小。以常用的超小型小功率密封继电器 JRC-5 M 为例，其主要参数如下：工作电压为 12 伏时，吸合电压(DC)≤9 伏，释放电压≥1 伏。吸合时间≤6 毫秒，释放时间≤4 毫秒。触点负载：27 V(DC)×1 安。除了工作于 12 伏以外，这种继电器还有 24 伏、6 伏、3 伏的规格。

图 6.10 是 JRC-5 M 继电器外形、尺寸及接线圈。

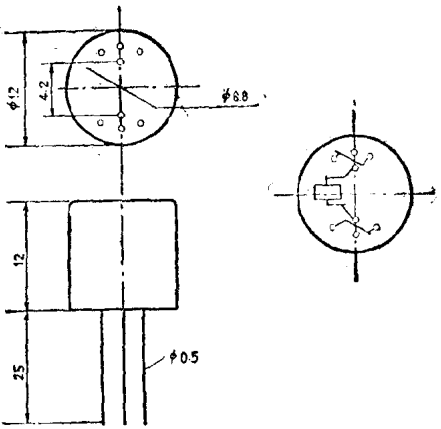


图 6.10 JRC-5 M 继电器尺寸及接线

3. 调试及使用

(1) 调试 继电器组装在电路上之前，应进行测试和调整。一般继电器的吸动与释放时间最多几十毫秒，均能满足执行电路的要求，无需调试。因此，主要测试与调整的参数是吸动电流与释放电流。

测试与调整继电器电路见图 6.11。调试时，将稳压电源的电压由低向高调，直至继电器衔铁吸合（吸合时能听到声音）。这时电压表及电流表的指示即为吸动电压与吸动电流。再将稳压电源电压降低，直至继电器衔铁释放（释放时也能听到声音），电压表及电流表的指示即为释放电压与释放电流。如果测试的数值不符合要求，可适当改变回中弹簧的拉力及衔铁与极靴的距离。

(2) 使用要点 实践说明，遥控设备所出现的事故中，因继电器触点有问题而导致设备失控是较多的。继电器的触点就

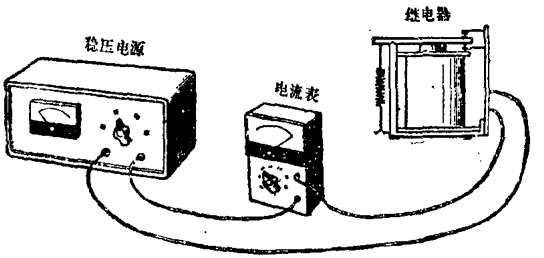


图 6.11　继电器的调试

是接触开关，接通时应几乎无电阻。但在实际使用中，常因灰尘或其他脏东西附在触点上使触点接触不良。另外，负荷太大或负荷呈阻抗性也会导致触点打火烧毁。针对产生接触不良的原因，要分别情况处理，对于第一种原因引起的接触不良，可用清洁的细砂纸打磨接触部分，非密封式的继电器，最好加保护罩，使继电器封闭。对于因火花引起的接触不良，可采用图 6.12 熄火花电路，图中的R一般为几十欧姆，C用 0.5～2 微法的。

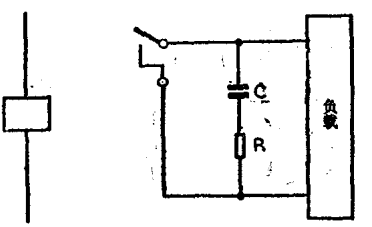


图 6.12　消除触点火花电路图

三、直流电动机

电动机是利用电与磁的作用，把电能转换成机械能的设备。按供电电源性质的不同，分为交流电动机与直流电动机。用直流供电的电动机叫直流电动机；在遥控设备的执行机构中，广泛使用直流电动机作为驱动部件。

1. 构造原理与种类

直流电动机主要由磁极、电枢、换向器及电刷组成，如图6.13所示。在圆形机壳内，安装有产生磁场的永久磁铁，这是

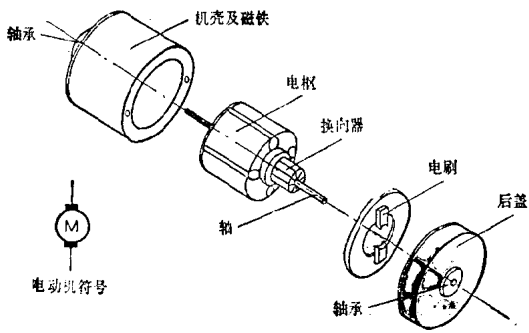


图 6.13　直流电动机的构造与符号

电动机的固定部分。电动机的运转部分叫电枢，电枢由铁心及线圈组成。铁心部分是表在电动机轴上的叠落的硅钢片，在铁心的纵槽内装有漆包线线圈，线圈的端点焊在换向器上。当电刷两端加电后，电流经换向器到电枢线圈，使电枢产生磁场，这个磁场与永久磁铁的磁场相互作用，使电枢转动。

上述电动机是永磁式直流电动机。除此之外，还有电磁式直流电动机。电磁式直流电动机是用电磁铁代替永久磁铁，在电动机内形成固定磁场的。按电磁铁的激磁方式不同，电磁式直流电机分为他激式与自激式两种。自激式电动机的激磁电流与电枢线圈用同一电源供给。根据激磁线圈与电枢线圈连接方法的不同，自激式直流电动机又可分为以下三种（见图6.14）：(1) 并激电动机——这种电动机的激磁线圈与电枢线圈并联。其特点是负荷变化时，转速变化不大，常称作定速电动机。(2)

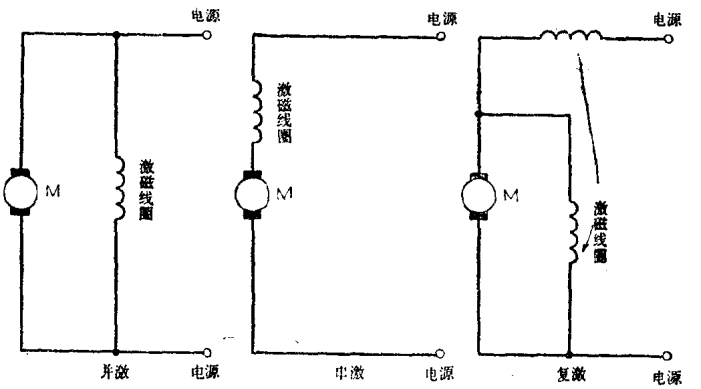


图 6.14 自激式直流电机的种类

串激电动机——它的激磁线圈串联接入电枢电路，特点是当负荷增加时，转速急剧下降，变化非常明显。(3) 复激电动机——这种电机有两个激磁线圈，分别与电枢线圈串联与并联，其特性介于上述两种电机之间。

在遥控模型设备中，由电动机作为驱动部件组成的执行机构分为舵机与主机。舵机是功率较小的执行机构，主要用来控制模型运动的姿态；主机是功率较大的执行机构，用以产生模型运动的动力。根据模型大小与运动速度的不同，电动机功率由十几瓦至上百瓦不等。通常舵机中的电动机用永磁直流电机，主机中的电动机用自激式电动机。

2. 主要要求

永磁直流电机的转矩较大，调速与换向简单，在输出同样功率的条件下，比其他电机重量轻，体积小。但由于靠电刷与换向器接触转动，可靠性差，换向器产生的火花还有无线电干

扰。为使舵机正常工作，对电动机有如下的要求：① 工作要可靠，无死点，对接收机及其他无线电设备干扰要小。② 转矩/惯量的比值要尽量大。转矩是电动机通电后产生以轴为支点的扭转力量，惯量表示电动机转子惯性的大小，惯量越小，越适用于快速动作。③ 顺、逆两个方向运转时，性能应相近。④ 起动电压及工作电压要低。⑤ 体积小，重量轻。

对于主机中的电动机，也应按上述的几项要求选择，但起动电压与工作电压一般可偏高些。

3．换向与调速

执行机构中的电动机要能换向与调速。换向就是改变电动机的转动方向，调速指改变转速。

永磁直流电机或自激式直流电机的换向，只要改变电枢电流或激磁电流中任一电流方向即可实现。

例如图 6.15(a) 所示的是永磁直流电机的换向电路。当继电器 P_1 工作时，P_1 的触点 P_{11} 及 P_{12} 的状态改变，P_{11} 变为接通，P_{12} 由通变断，经 P_{11} 及 P_{22}，将电源接通，电动机转动。

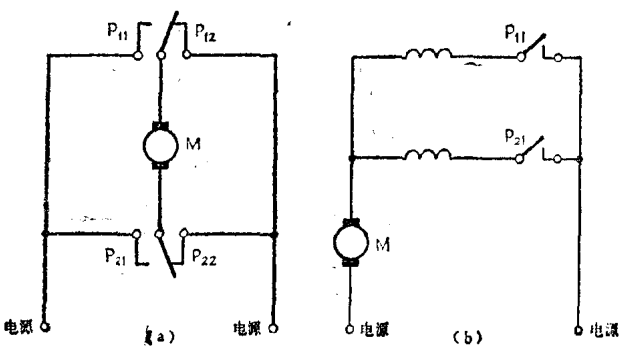


图 6.15 直流电机的换向

当继电器 P_2工作时，P_{21}接通， P_{22}断开，电动机向另一方向转动。

图 6.15(b)是串激电机控制电路，两激磁线圈所生磁场方向相反。通过接通 P_{11}或 P_{21}可使电机换向。

直流电动机的转速主要由电枢电压和磁场的强度决定，控制转速的方法较多，常用的有下述几种(见图 6.16)：(1) 电枢电阻法——在电枢电路中串接一个可变电阻 R，如图(a)所示。

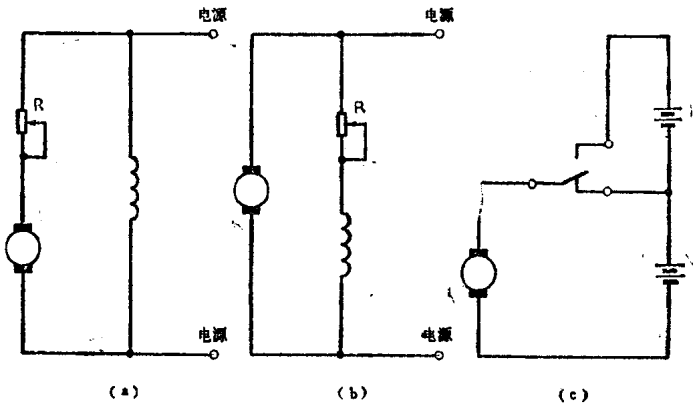


图 6.16 直流电机的调速

电阻大时，电流变小，电动机转速变慢。这种控制方法的缺点是在电阻上消耗了功率，使电动机的效率降低，一般用于串激电动机中。(2) 磁场控制法——通过在激磁线圈中串一个可变电阻从而改变磁场的强度的方法，实现对转速的控制，如图(b)所示。当电阻大时，转速加快，反之转速减慢。这种方法一般用于并激电机中。(3) 电源电压控制法——通过控制电路改变加在电枢或激磁线圈的端电压。如图(c)所示。这种方法与上面两种方法的控制道理相同，但去掉了可变电阻，是执行电路

中常用的方法。

4．抑制电动机火花干扰的措施

由于模型的体积所限，接收机与执行机构相距很近，并且往往共用一组电源。当执行机构中的电动机质量不好或功率较大时，电动机产生的火花会对接收机造成干扰。较严重的干扰使遥控设备的控制距离大为缩短，甚至还会产生失控和误控。因此，抑制这种干扰对遥控设备是很重要的。

电动机产生的干扰，主要是电刷与换向器之间接触不良形成的火花放电引起的。这种火花干扰具有以下的特点：① 幅度很高，能将有用的信号完全淹没。② 火花干扰的频率从中波段连续延伸到甚高频段，使遥控设备的工作频率难以避开。③ 干扰途径广，既可以经公用线送出，也可以用无线电方式辐射出去。

由于上述特点，解决这种火花干扰的方法，最好是从干扰源处消除干扰：①要保持电刷和换向器工作面的清洁，调节合适的电刷压力，以减弱火花强度，延长电刷使用寿命。②采用

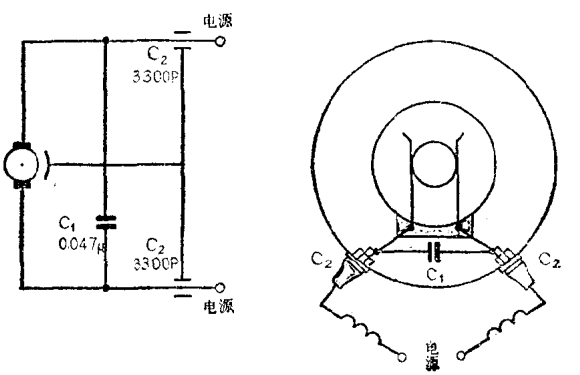


图 6.17　抑制火花电路图

图 6.17 所示的火花抑制电路，图中的 C_1 为无感电容，C_2 为穿心电容。实际安装时，随着 C_2 安装方法的不同，抑制干扰的效果有很大差别，应该使穿心电容 C_2 的接地外壳与电机的金属外壳连线最短，最好将电容直接固定在电机的金属外壳上，使电容的输入端伸入电机内部，作为电机电源的入线，并将电容 C_1 焊在穿心电容的输入端。穿心电容的输出端到控制电路之间的连线要屏蔽接地。除了上面的办法，还可以加些辅助措施。例如：把接收机屏蔽、隔离；接收机与电动机不用同一电源；适当降低接收机的灵敏度及加大发射机功率等。

四、电磁气阀与作动筒

气动式执行机构是目前在遥控模型中常用的执行机构，电磁气阀与作动筒是气动执行机构中两个重要的部件。电磁气阀是由电信号控制气动阀门的装置。作动筒的作用是将气动压力转变为机械动作。

电磁气阀由电磁铁及气路阀门组成，常用的电磁气阀构造如图 6.18 所示。在密封的阀体内，有线圈、软铁、衔铁及 1、2、3 号管嘴等零件，衔铁的上端有橡皮堵头。在没有通电时，由于弹簧的作用，衔铁上的橡皮堵头牢固地堵住 1 号嘴，这时 2 号嘴与 3 号嘴呈开通状态，有电流通过线圈时，衔铁被吸合，离开 1 号嘴的位置，将 2 号嘴牢固的堵住，使 2 号嘴与 3 号嘴由开通变为关闭，而 1 号嘴与 3 号嘴由关闭变为开通。从而改变了气路状态，达到控制的目的。

图 6.19 是另一种电磁气阀的示意图。线圈无电流时，阀门在弹簧的作用下，处于关闭状态，当有控制电流时，线圈产生吸力，将铁心吸入，阀门开通。

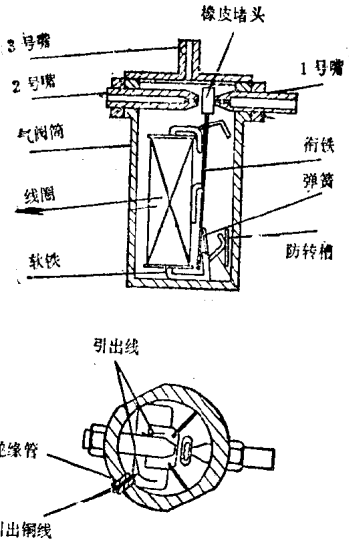


图 6.18 电磁气阀构造示意图

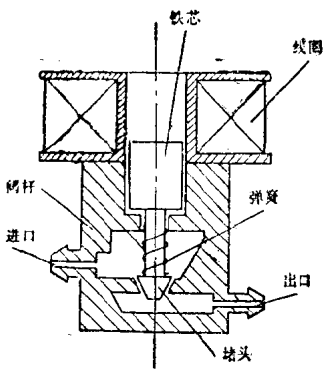


图 6.19 电磁阀门构造示意图

常用的作动筒的构造见图 6.20。这是一种活塞式结构的作动筒。由壳体、回中弹簧、活塞推拉杆、气嘴等组成。当活塞

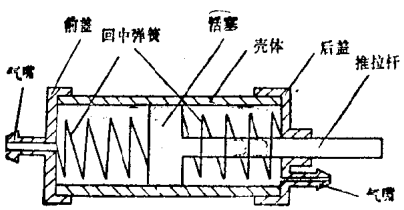


图 6.20 作动筒的构造示意图

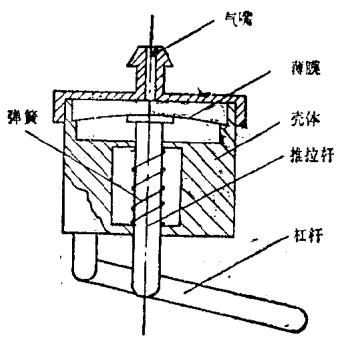


图 6.21 薄膜作动筒构造示意图

两端产生气压差时，在气动力的作用下，活塞向压力低的方向运动，进而去控制调节机构。

图 6.21 是薄膜式作动筒，其行程较活塞式的短，但构造简单。当有气压信号时，薄膜受压力变形，使弹簧压缩，推杆向下运动，并通过杠杆机构，将推杆的运动变为角度的转动，进而去控制调节机构。杠杆转动角度的大小随输入气压的大小变化。

第三节　常用的执行机构

一、电动式主机

汽车或舰船模型常用电动式主机（见图 6.22）作为模型的动力装置，推动车轮或螺旋桨转动，使模型运动。电动式主机

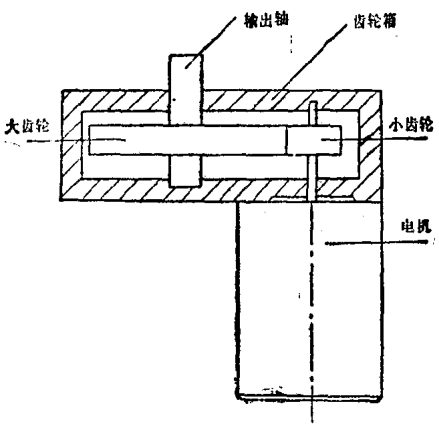


图 6.22　主机构造示意图

的驱动部件是直流电机，所用电机的种类及功率大小视不同的模型而定。传动装置是用齿轮减速，减速比视模型的速度等因素而定。与车轮或螺旋桨的连接方法，可根据其相互位置、运动特性等条件确定。尽管电动机或传动装置会有些不同，但控制电路基本是相同的。下面介绍控制电路的原理。

主机控制电路应使主机具有停车、倒车、进车和加速的功能，图 6.23 的电路就是具有这种功能的电路。图中 K_1～K_4 四个开关分别为指令信号所控制，这四个指令信号是：加速指

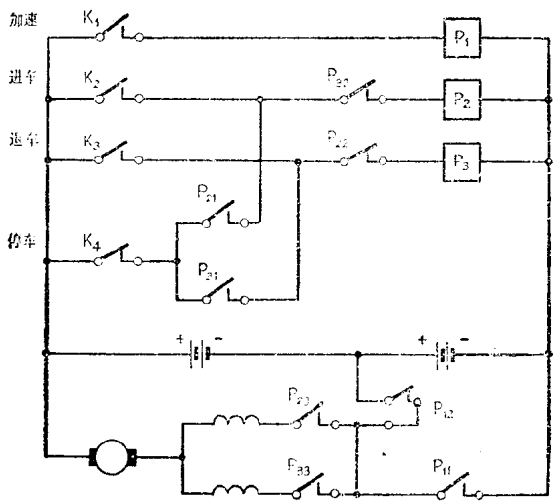


图 6.23　主机控制电路图

令(K_1 闭合)、进车指令(K_2 闭合)、退车指令(K_3 闭合)、停车指令 (K_4 断开)。P_1～P_3 为继电器，P_1 有 2 组触点 (P_{11} 与 P_{12})，P_2 有三组触点(P_{21}、P_{22}、P_{23})，P_3 有三组触点(P_{31}、P_{32}、P_{33})，并且 P_2 与 P_3 通过自身的接点可实现自锁。电路的工作过程如下：收到进车指令后，K_2 闭合，P_2 得电工作，

P_{21} 闭合，P_{22} 断开，P_{23} 闭合。P_{12} 及 P_{23} 接通电机电源，实现进车。同时 P_{21} 使 P_2 自锁，只有发出停车指令，K_4 断开后，P_2 才能退锁，实现停车。倒车的工作过程与进车相同，加速是通过 P_1 动作改变电动机的电源电压实现的。

可以看出，这个电路的特点是进车与倒车均能自锁，停车指令在任何状态下均能执行，加速指令只有在进车或倒车的基础上才能执行。

二、自动回中舵机

在汽车或舰船模型中，常用图 6.24 所示的自动回中舵机，

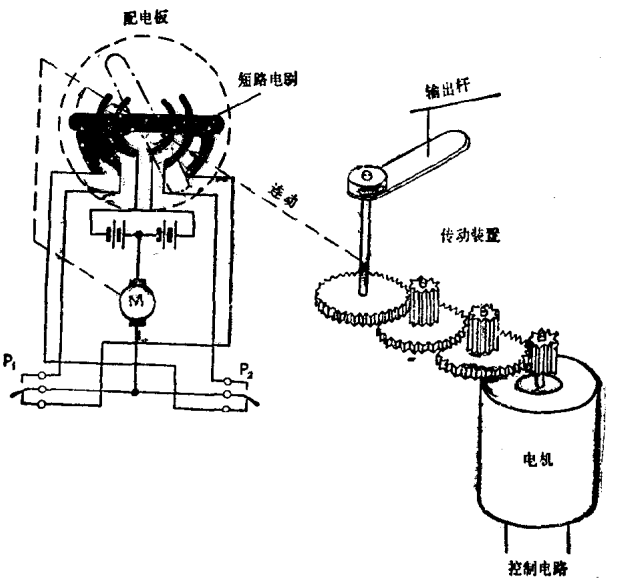


图 6.24　舵机的结构及控制电路图

控制模型运动的方向。这种舵机由电动机、控制电路及传动装置组成。其中，控制电路主要由配电板、短路电刷及开关 P_1 与 P_2 组成。短路电刷通过传动装置与舵面同步转动。配电板可用印刷电路板制成。

舵机的工作过程如下：开关 P_1 与 P_2 是继电器的触点，由接收机所控制。当输出左舵指令时，P_1 工作，其常开触点闭合，短路电刷随舵面按图示的方向转动，转到极限位置时，电路中断，舵机便停在左满舵的位置，左舵指令去掉后，P_1 恢复常态，通过 P_1 的常闭触点，舵机又向反方向转动，转到中立位置时，电路中断，舵机便停在中立位置。右舵工作情况与左舵相同。

可以看出，这种舵机具有自动回中的特点只有两个指令，便可对舵机进行左、中、右的控制，使用起来比较方便。

三、比例舵机

这种舵机与前面的自动回中舵机不同，它可产生与指令信号（宽度）成比例的机械位移（直行程或转角），操纵灵活方便，是目前较好的执行机构。

图 6.25 是比例舵机的原理方框图。从图中可见，比例遥控舵机主要由控制电路（即执行电路）、直流电机、传动机构（减速器）及反馈机构（电位器）组成。其中控制电路包括单稳态电路、脉冲宽度比较电路、双向直流放大器等部分。比例舵机的工作原理如下：

加到控制电路的指令信号是宽度可变的正脉冲 T_+。T_+ 的前沿又是单稳态电路的时基。单稳态电路输出的负脉冲 T_- 与 T_+ 同送到宽度比较电路，当 $T_+ > T_-$ 时，比较电路得到正向

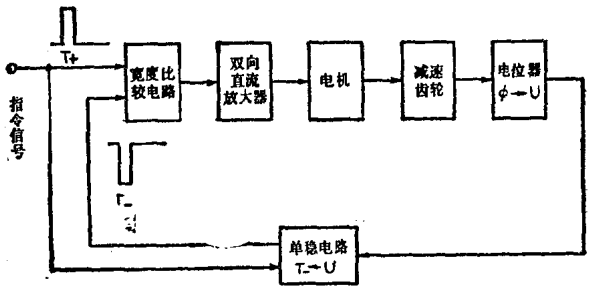


图 6.25 比例舵机原理图

差值；反之，得到负向差值(见图 6.26)。此差值经双向直流放大器扩展并放大，驱动电机转动。电机的转动经减速机构带动

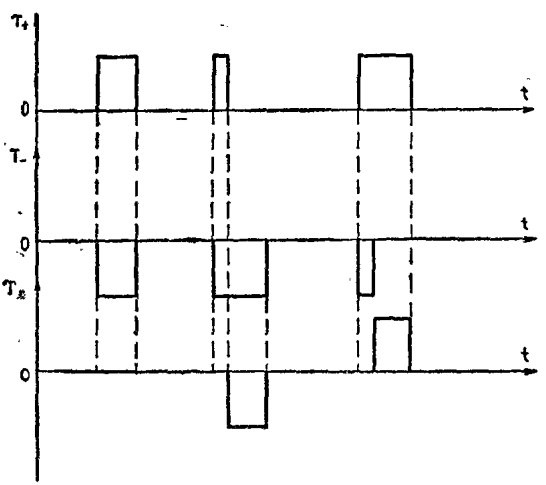


图 6.26 脉冲宽度比较

舵面等调节机构。同时，它还带动反馈电位器，把舵机的角位移 ϕ 转换成直流电平 U，用来控制单稳态电路，使 T_- 随之改变。当转到 $T_-=T_+$ 时差值信号为零，电动机停止转动。这样

就实现了舵面的角度与指令信号（宽度）成比例的动作。

比例遥控设备的执行机构大多用比例舵机，在后面的比例遥控设备中将介绍比例舵机的具体电路。

四、气动执行机构

气动执行机构重量较轻，动作柔和，在遥控模型（尤其是飞机模型）中也经常使用。气动执行机构的组成如图 6.27 所示，主要由抽气泵、单向阀门、储气柜，作动筒及管路组成。

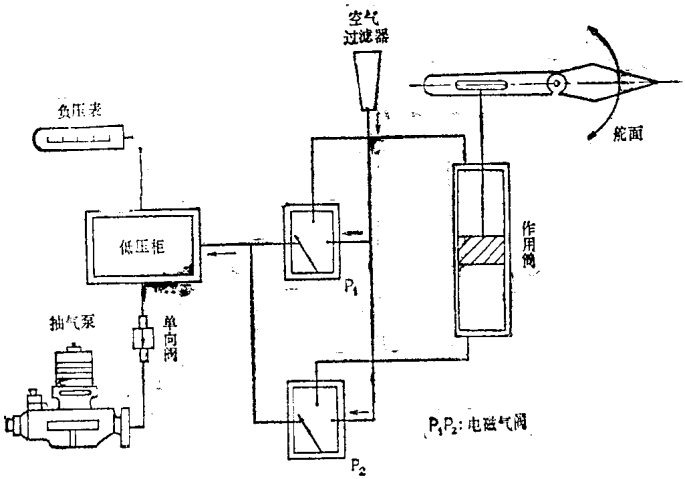


图 6.27　气动执行机构示意图

抽气泵由模型上的发动机带动，将储气柜内的气压抽到 0.2～0.3 个大气压。当某个电磁气阀被控制信号接通时，即打开相应的气路，使作动筒动作，再由作动筒的连杆带动舵面等调节机构完成相应动作。

第七章　频分制遥控设备

第一节　单通道遥控设备

单通道遥控设备的电路简单，使用元器件少，最适于初学者制作。这种设备体积小，重量轻，除用于操纵各种模型外，还具有一定的实用性，例如可遥控照相机快门、电灯、电风扇等家用电器。

随着用途的不同，单通道设备的电路结构也有差异。下面介绍两种常见的单通道遥控设备。

一、自激振荡器式单通道设备

这套设备的发射机是一个产生高频等幅波的自激振荡器，工作频率为 28 MHz 电路简单，体积小，用电省，地面控制距离不小于 200 公尺，可用于操纵各种模型和家用电器。

1．发射机部分

(1) 电路简介　发射机是一个单管自激振荡器组成的电路，如图 7.1 所示。本机采用 ZK 317 高频功率管接成共基极自感回授式振荡电路。共基极电路的优点是工作频率较高，稳定性也较好。晶体管的集电极和基极通过电容器 C_3 接在振荡槽路 L_1、C_2 的两端，发射极通过 C_1 接到 L_1 的抽头点 K 处，这样

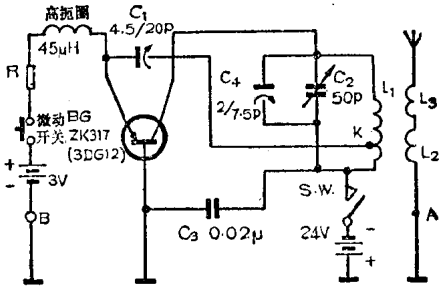


图 7.1 发射机电路图

就构成一个自感回授式振荡电路。C_1 和 C_3 作为高频的通路。并起着隔直流的作用。发射极上串联的高扼圈防止高频电流旁路。集电极和发射极分别采用两组电池供电，比共用一组电池更有利于晶体管工作点的稳定，R为调整晶体管工作点的电阻。

振荡器产生的高频信号经耦合线圈 L_2 传输到天线辐射出去。天线采用 1/4 波长的垂直天线。为了缩短天线的尺寸以便于操纵，在天线根部有调感线圈 L_3，L_3 的大小根据天线长度决定。发射机的工作由接在晶体管输入电路中的微动开关来控制。

(2) 元器件的选择与安装　为了提高振荡器的输出功率和频率稳定度，晶体管宜选用截止频率较高，输出功率较大和 I_{ceo} 较小的管子。ZK_{317} 已属老型号管子，可用 3 DG 12C、3 DA 18 等 NPN 管子代替。改用 NPN 型管子后，要将两组电源的极性调换。

C_1的容量要求不太严格，但对于不同的晶体管 C_1 的数值将有些差异，可以通过实验来确定最佳数值。这里 C_1 是用一个 4.5/20 微微法的陶瓷半调整电容，将它固定在最大容量的

位置。C_1容量过大，会产生间歇振荡；容量过小，又会使振荡器的效率降低，并且造成频率的不稳定。一般应在保证不产生间歇振荡的情况下将C_1的容量尽量调整得大一些。

振荡回路中L_1用16号镀银铜线间绕6圈，线圈直径30毫米；C_2用一个最大电容量为50微微法的空气可变电容器，为了便于调谐频率还并联了一个2/7.5微微法陶瓷半调电容C_4，线圈抽头K是在距地端1圈处。天线耦合线圈L_2用同号线绕2圈，装在L_1内。本机用2米长的天线。调感线圈L_3用16号镀银铜线绕5圈，直径25毫米。电阻R最好用线绕电阻，以便于精确调整。供电电池组用5号电池串联。

发射机所有元件均装在一个有机玻璃制成的底座上，如图7.2所示。机器和电源合装在一只60×80×120毫米的铝盒内，上部装机器，下部装电池。由于盒子体积较小，又是金属做的，线圈L_1应尽量装置在中间，不要靠盒壁太近，其他元件则排列在L_1的周围。全机总重约600克，使用时可以拿在一只手中，操纵很方便。

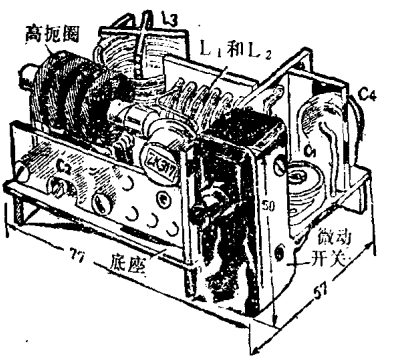


图 7.2 发射机的安装

(3) 调试 发射机需要调试的主要元件是C_1、R、抽头K和天线调感线圈L_3。调试可按下述顺序进行：先在电路中“B”处串一电流表，在发射机附近一米左右放置一个场强针，调整R使晶体管的输入电流(即发射机电流I_c)先固定在一个较小的数值(例如5毫安)。然后调整C_1和抽头K，使场强计得到

最大的读数。此时 C_1 和抽头 K 即可大致固定下来。接着再调整 L_3，方法是在电路中“A”处串一高频电流表，在天线长度固定后调 L_3 的圈数，调到电流读数最大时将 L_3 固定下来。如果没有高频电流表，也可通过场强计观察。再根据对控制距离的不同要求调电阻 R：R 变小时 I_e 增大，集电极电流也随着增大，振荡器的输出功率就大了。高频输出功率增大或减小的情况，可以从场强计和高频电流表上看出。最后还要微调一下 C_1，使达到最佳值。本机 R 用 280 欧，电流表为 15 毫安的，发射机总直流输入功率不大于 410 毫伏。从使用的情况来看，这种用晶体管制成的发射机效率较高，消耗的电源功率很小。

发射机在使用时不宜放在温度过高的地方，尤其是夏季不要让阳光直射。本机使用的最高温度是 45°C，温度过高将使晶体管结温升高，集电极所允许的最大损耗功率就相应地降低，并且输出功率也会降低。在晶体管集电极损耗功率接近于最大值的情况下，很可能烧坏管子。

2．接收机部分

(1) 电路简介　接收机是超再生式，共用三只晶体管，电路见图 7.3。图中 BG_1 组成自淬式超再生检波级，L 和 C_3 组成接收机的调谐回路，依靠调节线圈内的磁芯来调谐频率。由回授电容 C_1 所形成的高频振荡处于间歇状态，当没有外来信号输入时，间歇振荡经检波后会产生噪声；当收到外来信号时，噪声被抑制下去。BG_2 和 BG_3 是放大级，第一级检波后所得到的噪声信号经 B_1 加到 BG_2 的输入电路。放大后经 B_2 加到 BG_3 输入端，利用放大后的噪声信号来控制 BG_3 的输出电流。当发射机工作时，噪声被抑制，BG_3 没有噪声信号输入，这时通过 R_7 和 R_8 分压在 BG_3 基极加有一个较大的固定偏压，基

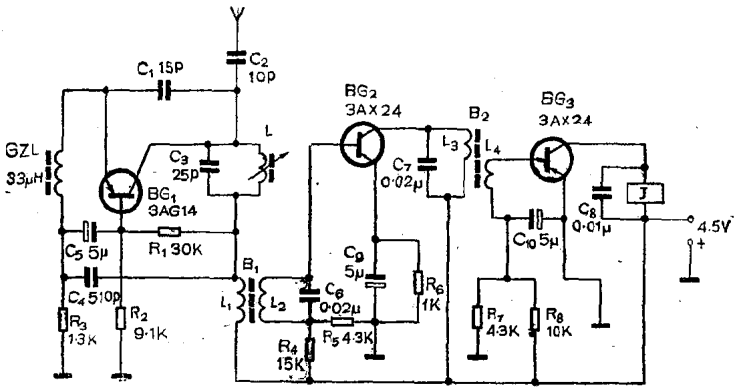


图 7.3 接收机电路图

极偏流较大，因此集电极电流也较大，能使继电器 J 吸动。发射极关闭时，噪声信号经 BG_2 放大后加到 BG_3 的输入端。因为 BG_3 的发射结有检波的作用，检波后的直流电流在 R_7 上形成一个压降。它的极性与原来的偏压方向相反，抵消掉一部分偏压，使基极偏流减小，集电极电流也随之减小。这时继电器便释放。

第二级的 C_6、C_7 分别和电感 L_2 和 L_3 配合，使这级对噪声的增益最大。BG_2 的工作点由 R_4 调整，R_6 是作温度补偿电阻。BG_3 的工作点由 R_8 调整。

(2) 元件的选择与安装　晶体管 BG_1 可用ZK 308 或 π403、3 AG 24、3 AG 14。BG_2 和 BG_3 可用 $\pi_6\Gamma$ 或 2 G 101、3 AG 1、3 AX 24 等。要选择 I_{CEO} 小的管子。

电路中的回授电容 C_1 在使用不同的晶体管时，选用的数值会有些差异。L_1 电感量的大小和 R_1、R_3、C_5 的数值对高频振荡的间歇频率有较大的影响。在 L_1 与 C_5 都已固定的情况

下，R_1、R_3是调整的对象。

接收机的元件用小型的，电阻用1/8瓦炭膜电阻，C_1、C_3用高频瓷片电容，C_6、C_7、C_8等用涤纶电容。其它自制的元件数据如下：高频线圈用直径0.75毫米镀银铜线在直径12毫米的胶管上间绕6圈，内装磁芯，可以调谐。耦合变压器B_1、B_2是绕在如图7.4所示的线圈架上，绕好后缠上坡莫合金带作为铁芯。L_1与L_3都用ϕ0.04漆包线，绕1000圈，L_2与L_4都用ϕ0.07漆包线绕400圈，或用半导体收音机的小型变压器铁芯改制，L_1、L_3用ϕ0.04漆包线绕2000圈。L_2、L_4用0.04绕700圈，其阻抗比为10:1。继电器J是用常州继电器厂出品的小型灵敏继电器将线圈改绕制成的，用ϕ0.12漆包线绕1430圈，改绕后线圈直流电阻是60欧。直接用小型继电器JRC-5M也可。接收机元器件装在30×40毫米的有机玻璃板上，安装前要仔细考虑零件的排列，力求接线短。主要零件位置的排列如图7.5所示。焊接时不宜使用过多的焊锡，焊接时间不要过长，并且要用夹钳散热。

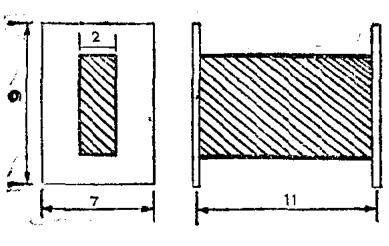


图 7.4 B_1、B_2骨架

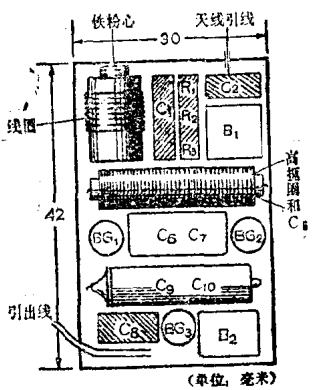


图 7.5 接收机安装示意图

接收机放在 18×32×44 毫米的盒内，重 30 克。电源由外接的三节 5 号电池串联供给。

(3) 调试　接收机调试工作从第一和第二级开始，先把第三级的基极及电源断开。在 L_4 两端接入真空管电压表，调整前述的主要元件(第一级主要是 C_1、R_1 和 R_3，第二级主要是 R_4、C_6 和 C_7)。这两级调试的目的是使接收机有足够的灵敏度。并从真空管电压表上能看出有较大的电压变化。这个电压变化越大，第三级的输出电流变化也就会越大。本机在有前面提到的那种噪声时，L_4 两端电压达 1 伏，噪声被抑制后，电压接近零伏。然后接上第三级的基极及电源。这时随着电压表读数的变化，流过继电器 J 线圈的电流也变化。这个电流变化值越大，继电器的工作就越可靠。本接收机收到发射机的等幅信号后，通过继电器的电流是 50 毫安，发射机关闭时降低到 5 毫安。改变 R_8 的数值，可以控制输出电流的大小，R_8 增大时，输出电流上下值都偏低，反之，偏高。

接收机使用时，不要放在潮湿和温度过高的地方，夏季也应避免阳光直射。本机使用的最高温度是 45°C。在环境温度达到 60°C 时，接收机的灵敏度将明显降低，输出电流的变化值变小。

二、晶体稳频式单通道设备

这套设备的发射机采用晶体稳频振荡器，具有易于调试的优点。设备的工作频率 28 MHz，用 0.5 米多股软线作为发射天线，控制距离不小于 50 米。可用于控制汽车、舰船模型或照相机快门、电灯、电风扇的遥控开关。

1. 发射机

(1) 原理简介　发射机是晶体稳频调幅方式，电路见图7.6。

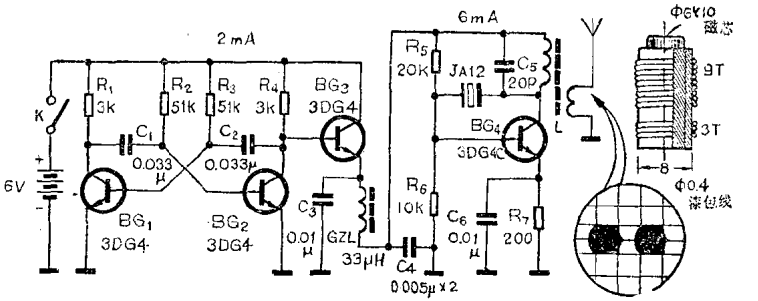


图 7.6　发射机电路图

发射机的高频信号由晶体、BG_4等组成的电容三点式振荡器产生。调制器是处于开关工作状态的BG_3。由 BG_1、BG_2 组成的多谐振荡器产生 500 Hz 左右的控制信号。控制信号加在BG_3的基极，经 BG_3使高频振荡器间断工作，实现对高频信号的调制。调制的高频信号再经天线发送。为防止高频电路与低频电路之间的影响，在调制器与高频振荡器之间有起退耦作的高扼圈 GZL。

(2) 元器件选择与安装　发射机所用的晶体管均为 3 DG 4 C，β 值在 60～80 之间，其中 BG_1与 BG_2的β值要相同。换用其它型号的小功率硅管时要保证 BG_4 的 $f_T \geqslant 100$ MHz。电感 L的参数如 7.6 图中所示。电容 C_5 用云母或高频瓷介电容。其他电容可用圆片型的低频瓷介电容或涤纶电容。晶体用JA_{11}、JA_{12} 等超小型金属壳密封式晶体。

发射机的印制板见图 7.7。安装时印制板固定在机壳的下

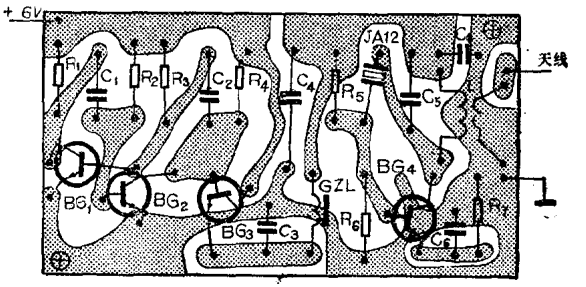


图 7.7 发射机印制板图

部，软天线由下部垂出。机壳的上部安装 6 伏积层电池。操纵开关可用微动开关或自制。发射机最好用金属机壳，并将电路的接地端与机壳相接。外壳的尺寸及部件的安装见图 7.8。

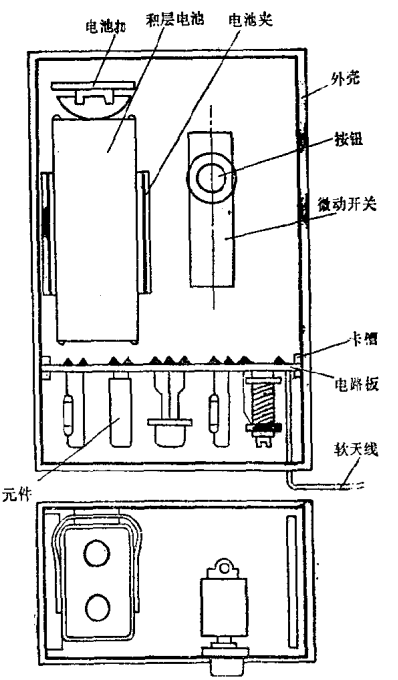


图 7.8 发射机安装示意图

(3) 调试 对于多谐振荡器的频率精度无严格的要求，只要焊接无错误，按图示数值选择元器件，基本上不用调试。在调试高频振荡器时，应先把软天线接上(软天线的长度在0.5

米～1 米之间)。需要调试的元件是 L 的磁芯与 R_5。可在天线附近放一自制的场强计，调 L 与 R_5，使场强最大。具体调试方法可参照第二章的主振级一节。全机调完后，总电流为 6～8 毫安。用高频示波器接在 L 的次级时应能看到图 7.6 中示出的波形。

2. 接收机

(1) 原理简介　接收机由超再生检波、音频放大、整流及直流放大电路组成，电路见图 7.9。BG_1 是超再生检波级，C_5 L 是检波级的调谐电路，决定接收机的工作频率。C_1 是高频反馈电容，使电路产生间歇的高频振荡。高频振荡的间歇频率可通过调 C_2、R_2 改变。检波得到的微弱音频信号经 C_6 送到音频放大级。二级音频放大电路分别由 BG_2、BG_3 组成。为了滤去不需要的超音频及噪音，在两只管子的集电极接有滤波电容 C_7、C_{10}。放大后的音频信号经 D_1、D_2 整流，成为直流电压加在 BG_4 基极，使 BG_4 导通，继电器 J 吸动。

(2) 元器件选择与安装　BG_1 用 3 AG 24 或 3 AG 14、3 AK 20 C等高频管，β 值在 50～100 之间，BG_2、BG_3 用 3 DG 4、3 DK 5 等NPN硅管，β 值 30～60。图中的 BG_4 用 3 DG 4，用来带动直流电阻为 100 欧左右的气阀或灵敏继电器。当收到发射机信号时，本级电流为 35 毫安。如果用 BG_4 带动较重的负载(直接带动小电磁铁)，要将 3 DG 4 改为 3 DK 4。线圈 L 数据如图 7.9 所示。C_1 及 C_5 用云母或瓷片电容，C_2、C_3、C_7 C_{10} 用涤纶或独石电容。由于印制板的面积较小，电解电容最好用钽电解的。接收机印刷板如图 7.10 所示。

(3) 调试　先将接收机加 4.5 伏电源（可用三节 5 号电池)，用万用表测各点电压。电压值应如图 7.9 所示。如有不

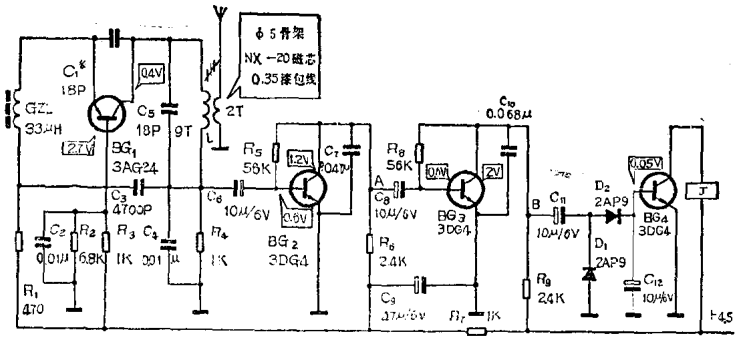


图 7.9 接收机电路图

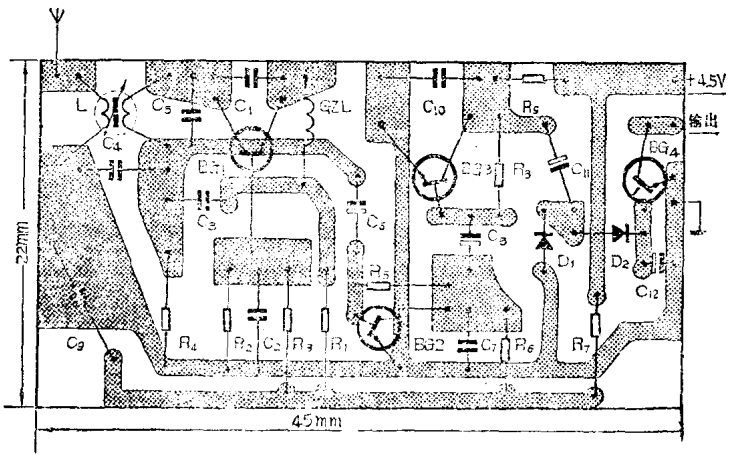


图 7.10 接收机印刷板图

同，要调相应的电阻 R_2、R_5、R_7、R_8。例如 BG_3集电极电压大于 2V，则应减小电阻 R_8。

各点电压正常后，用耳塞机(800 欧)串接 0.047 微法电容，接 C_{10}两端，调 C_1、R_2及 L 的磁芯，应能听到超再生的沙沙

声。再打开发射机，调L磁芯，应能听到500 Hz的音频声。然后再将发射机与接收机拉开一段距离，(十几公尺以上)，重调上述几个元件，直到音频声音最大为止。

上述调试正常后，把万用表接于BG_4基极监测基极电压，调电容C_{10}，在没收到发射机信号时BG_4的基极电压应越小越好，一般不应大于0.1伏。收到信号后应立即升为导通电压0.75伏。如果无信号时基极电压过高，应将C_{10}值加大，但C_{10}过大后会使有信号的电压也随之减小。因此C_{10}的数值要视BG_4基极电压的变化值而定，可在0.01～0.1微法的范围内调整。BG_4基极电压变化正常后，再将万用表串在BG_4的集电极回路，测试通过继电器J线圈的电流。没收到发射机信号时，电流应小于2毫安，收到信号后电流应升为35毫安。随着电流的变化继电器能正常吸动或释放，调试即可结束。

如果有示波器，接于接收机的A点及B点，波形应如图7.11所示。

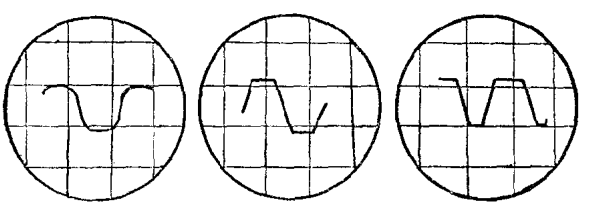


图 7.11 接收机波形图

第二节　谐振继电器式十通道遥控设备

谐振继电器分频的多通道遥控设备，是在遥控模型中应用很广泛的设备。尤其在六十年代的模型比赛中，大多使用这种设备。

这种设备一般是单路多通道，利用谐振继电器的选频作用，完成译码功能，把代表各种指令的不同频率区分开。用谐振继电器选频的设备与用 LC 或 RC 选频的设备相比，具有体积小、重量轻、选择性好、容易制作的优点。不足之处是受到较大振动时易产生"跳片"，造成误动作；簧片触点产生的火花，可能干扰接收机；簧片的触点要保持很干净，不然易引起接触不良。但是，只要较好地掌握谐振继电器的性能，这种设备是可以很好地用来操纵各种模型的。

本节介绍一种谐振继电器式十通道遥控设备。设备的工作频率是 28.450 MHz，发射机采用调幅方式，接收机是超再生式，地面控制距离不小于 500 米。

一、十通道发射机

1. 原理简介

发射机的高频电路由主振、激励、功放输出级以及调制放大器组成，编码电路由操纵开关电路及音频振荡器组成。发射机的方框图见 7.12、电路图见 7.13。

BG_6 及变压器 B 等组成的互感反馈音频振荡器产生 240

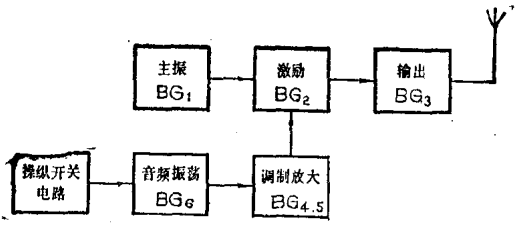


图 7.12 发射机方框图

Hz～500 Hz 的音频信号。图中 R_8、R_9、R_{10}、R_{11}、D_1 为直流偏置，用以建立振荡器的直流工作点。L_6 为反馈线圈。振荡器的振荡频率主要由 L_7、C_{19} 决定。

操纵开关电路的作用是控制音频振荡器，使其产生十个不同频率的信号。该电路共有十组操纵开关。每组开关有两个同步的常开触点，一个常开触点接通 BG_6 的电源，另一个触点将通道电容及微调电位器等接到 L_7、C_{19} 回路，用以改变振荡器回路的参数，控制振荡频率。图中 C_{24}、$C_{25}\cdots C_{33}$ 是通道电容，C_{34}、$C_{35}\cdots C_{43}$ 是微调电容，W_1、$W_2\cdots W_{10}$ 是微调电位器。每个开关的通道电容与微调电容的容量均不相同。因而接通不同的开关，就可从振荡器输出不同频率的音频信号。电位器 W_1～W_{10} 可以改变微调电容的等效电容量，使音频频率在通道的中心频率附近作小范围的变动。谐振继电器或音频振荡器的频率受外界影响而漂移时，可以通过调微调电位器，将频率调谐。通常微调电位器所调整的频率覆盖要大于 $f_0\pm 10$ Hz(f_0 为该通道的标准频率，例如第一通道的 f_0 是 295 Hz)，而小于 $f_0\pm 16$ Hz。

如前所述，谐振继电器的选择性能很好，当偏离簧片的标准频率 ± 2 Hz 时，就很难使簧片起振。为保证遥控设备正常

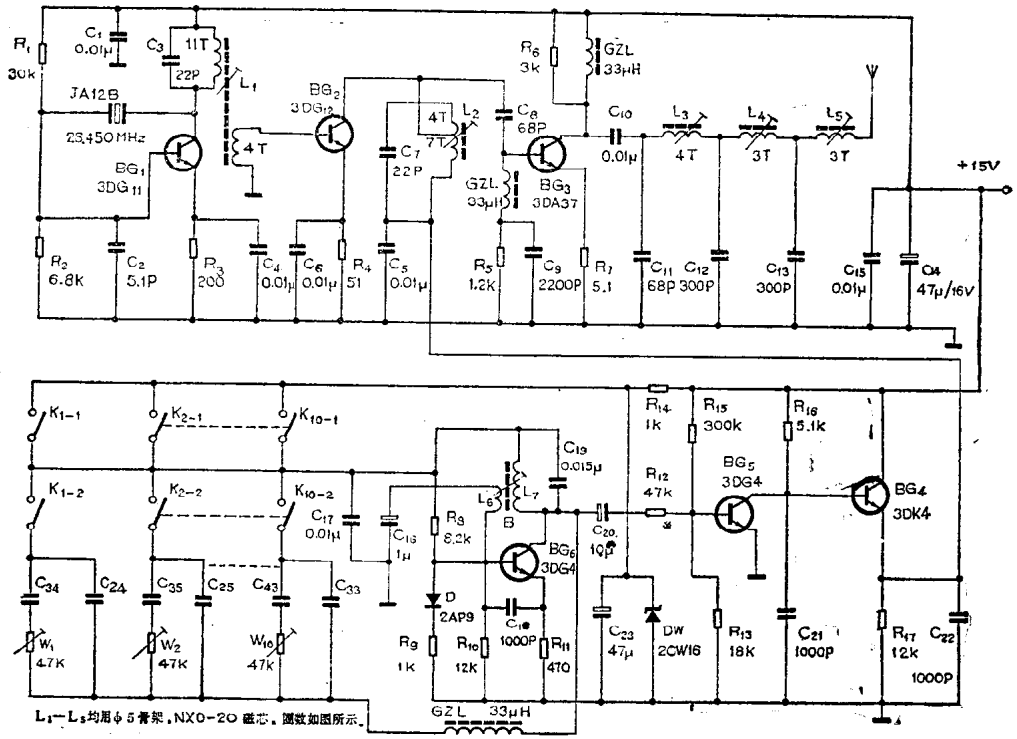

R1 30k
C1 0.01μ
C3 22P
11T
L1
4T
JA12B
23.450MHz
BG1 3DG11
BG2 3DG12
4T
7T
L2
C7 22P
C8 68P
R6 3k
GZL 33μH
C10 0.01μ
L3 4T
L4 3T
L5 3T
GZL 33μH
BG3 3DA37
+15V
R2 6.8k
C2 5.1P
R3 200
C4 0.01μ
C6 0.01μ
R4 51
C5 0.01μ
R5 1.2K
C9 2200P
R7 5.1
C11 68P
C12 300P
C13 300P
C15 0.01μ
C14 47μ/16V
K1-1
K2-1
K10-1
K1-2
K2-2
K10-2
C17 0.01μ
C16 1μ
R8 8.2k
L6
L7
B
C19 0.015μ
C20 10P
BG6 3DG4
D 2AP9
C18 1000P
R9 1K
R10 12K
R11 470
R14 1K
R12 47k
R15 300k
R16 5.1k
BG5 3DG4
BG4 3DK4
C23 47μ
DW 2CW16
R13 18K
C21 1000P
R17 12k
C22 1000P
C34
C24
C35
C25
C43
C33
W1 47K
W2 47K
W10 47K
GZL 33μH
L1—L5均用φ5骨架，NX0-20磁芯，圈数如图所示。

图 7.13 发射机电路图

工作，这种设备的音频振荡器要有较高的频率稳定度。为此，在本发射机的电路中采取了以下主要的稳频措施：① 音频振荡器采用稳压电源供电，稳压电路由 DW、R_{14} 组成。② 在直流偏置电路中有二极管 D 构成的温度补偿，当温度升高时 BG_6 集电极电流加大，但二极管 D 的阻值随温度的升高而下降，使 BG_6 基极电位下降，集电极电流减少，达到温度补偿的目的。③ 发射极加入交流负反馈电阻 R_{11}。除上述措施外，对 B_1、C_{19}、通道电容，微调电容的选择上也要注意温度性能。

调制放大器由 BG_5、BG_4 组成。没有音频信号时，BG_5 截止，BG_4 导通，高频激励级 BG_2 工作，高频信号有输出。音频信号正半周时，BG_5 导通，BG_4 截止，使激励级 BG_2 断电，高频信号无输出。这样，通过 BG_5 及 BG_4，实现了音频信号对载频的幅度调制。

高频主振级由 BG_1 组成，是晶体稳频的电容三点式振荡器，产生 28.450 MHz 的高频振荡。激励级与功放输出级均工作在丙类。调制信号加在激励级，被调制的载频经功放输出级放大。再经 C_{11}、L_3、C_{12}、L_4、C_{13}、L_5 组成的 π 型滤波电路送到天线发送出去。π 型滤波电路在这里有两个作用，一是滤去载频中的谐波成份，另一作用是使 BG_3 输出阻抗与天线阻抗匹配。

2. 元器件选择与安装

发射机的高频线圈 L_1～L_5 均绕在 10 K 型电视中周骨架上，骨架外径为 5 毫米，骨架中均有 NXD-20 磁芯调整电感量。各线圈的数据见电路图 7.13。天线用 1.5 米的中部加感天线，加感线圈用 ϕ_1 漆包线，在 ϕ_{10} 管上绕 27 圈。晶体管的

选择上，注意 BG_2、BG_3的β值不要过高，20～30即可。其余管子可选用60～80。

变压器B、C_{19}、C_{24}～C_{43}的质量对音频振荡器的频率稳定度有很大影响。B_1用MX-800，GU-18×11罐形磁芯绕制L_7为2000圈，L_6绕100圈，二线圈均用ϕ0.06漆包线。罐形磁芯的中间柱之间应磨有0.01毫米左右的气隙，以减少因温度变化而引起的电感量的改变，使振荡器的频率更加稳定，电容C_{19}、C_{24}～C_{43}最好选用CB_{14}型孪生式聚苯乙烯电容，或用涤纶电容代替。通道电容及微调电容的数值可参考表4.1。

K_1～K_{10}操纵开关是自复位的双刀开关，其构造如图7.14所示，可自制或用小型电话板键开关。

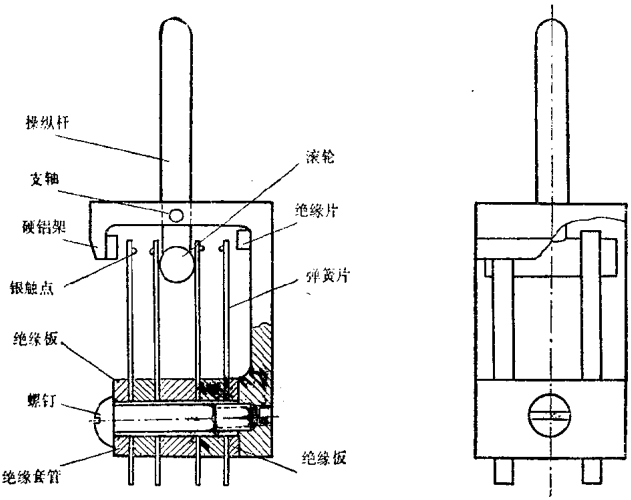


图 7.14　操纵开关结构示意图

发射机的元器件分三块印刷板安装。高频主振、激励、输出级的印刷板如图7.15所示。音频振荡调制放大器的印刷板

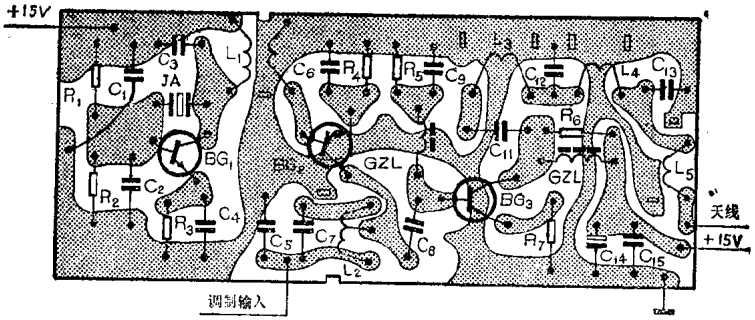


图 7.15　发射机高频电路印刷板图

如图 7.16 所示。操纵开关电路部分的 W_1～W_{10}、C_{24}～C_{43} 均安装在一块印刷板上。其中电位器 W_1～W_{10} 的安装位置要便于调整，由于电容 C_{24}～C_{43} 的体积较大，最好用双面板，将电位器与电容各放在板的一面。

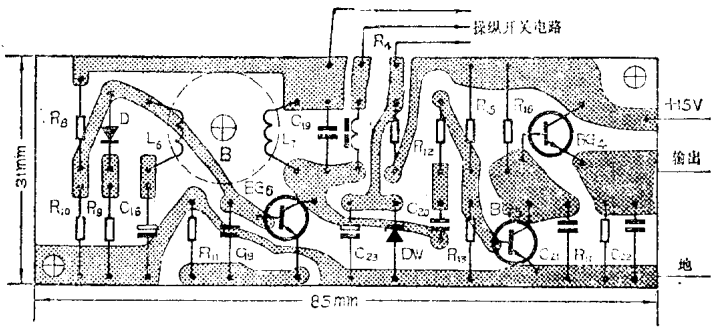


图 7.16　发射机音频调制电路印制板图

发射机用金属机壳，高频印刷板放置在机盒上部，音频印刷板及操纵开关电路板在盒中部，操纵开关电路板要尽量靠近操纵开关 K_1～K_{10}。发射机使用 0.45 AH 的镉镍电池，电池

安装在机盒的下部。

3. 调试

发射机的调试先从音频振荡器开始。在通道电容、微调电容均不接入的条件下，音频振荡器产生 500 Hz 左右的音频信号。可用 800 欧耳塞机串连 0.01 微法的电容，接在 BG_6 集电极与地之间试听。接通 BG_6 电源后，正常情况下应能听到音频声；如无声音，可将 L_6 两线头对换。振荡频率的高低只能凭经验大致判断。由于下一步还要与接收机联试各通道频率，这里初步调试对频率的准确性要求不高。音频振荡器调好后，BG_6 的集电极电流为 0.5 毫安左右。

无调制信号时(即音频信号)，调制放大器的 BG_5 截止，BG_4 导通，高频激励管 BG_2 工作。电阻 R_{15} 给 BG_5 加上一个小偏置，但并不改变 BG_5、BG_4 上述的工作状态，只是使 BG_5 的转换电平降低。在调制信号正半周时 BG_5 能立即导通，负半周时截止，使得截止与导通的时间相等。BG_4 输出调制信号的正负半周对称。

高频部分的调试最好有自制的场强计。调试方法可参照第二章"发射电路"中的介绍。调试时不要送入调制信号，使发射机在产生等幅波状态下工作。另外，要特别注意 BG_3 的管温，如果 BG_3 过热，要将 R_7 适当加大。对于输出级 π 型滤波器应

表 7.1

	BG_1	BG_2	BG_3
电流(mA)	5	45	110
功率(mW)	20	230	700

调 L_3、L_4、L_5 的磁芯；调磁芯时加上天线，并在距天线 2～3 米处放置场强计，使场强最大。调试正常后，各级的电流及输出功率如表 7.1 所示。加入调制信号后，BG_2 及 BG_3 的电流及功率下降 1/3 左右。

二、十通道接收机

1. 原理简介

接收机是超再生式，电路见图 7.17。超再生检波由 BG_1 担任。L_1、C_2 是本级的谐振回路，决定接收机的接收频率。检波后的信号经变压器 B_1 送到 BG_2 与 BG_3 进行放大，放大后

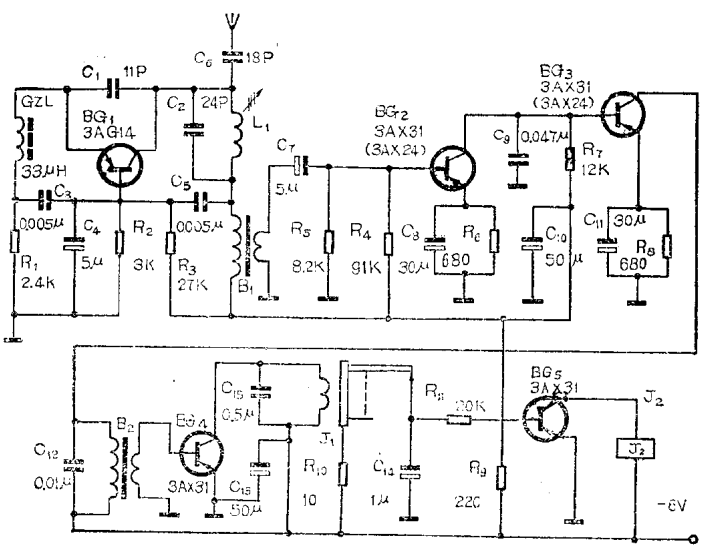


图 7.17 接收机电路图

经 B_2 送到输出级 BG_4。BG_4 的负载 J_1 是谐振继电器，当通过 J_1 线圈的信号频率与某一簧片的固有频率相等时，该簧片共振，振动的幅度足以使触点接通。由于簧片的触点是断续接通，用它直接带动中间继电器不可靠，而且触点电流过大时产生的火花对超再生检波会造成干扰，因此，在簧片触点与中间继电器之间加入一级直流放大器，图 7.17 中仅画了一个直流放大器(BG_5)实际每个簧片的后面均有一个，共有十个直流放大器。在 BG_5 的基极接有电阻 R_{11} 及电容 C_{14}，起到限流作用并减小基极电压的波动。

2. 元器件选择与安装

BG_1～BG_5 要选用 I_{ceo} 小的管子，β 值要在 40～80 之间。B_1 与 B_2 均用小型的晶体管收音机输入变压器，只是次级线圈用原变压器上两组次级线圈中的一组。线圈 L_1 是在 ϕ_5 骨架上用 ϕ 0.2 漆包线平绕 12 圈，(骨架中有 NXD-20 高频磁

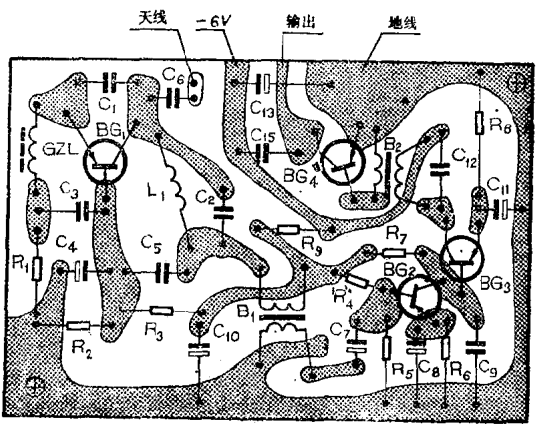


图 7.18 接收机印制板图

芯)。绕好后线圈的电感量为0.7微亨，Q值为140。谐振继电器J_1具有十个簧片，十个簧片的频率分别为246、270、294、318、342、366、390、414、438、462。J_1线圈的直流电阻为80欧。如果谐振继电器是高阻的，可将其线圈拆下，换用ϕ 0.12漆包线，绕1300圈。继电器J_2绕组的直流电阻100欧，触点组数根据需要自选。

为了使用与维护方便，接收机分为两块板安装，其中BG_1～BG_4安装在一块印制板上，元器件的排列见图7.18。J_1、十组直流放大器和中间继电器安在另一块板上。有些气动式的设备则不用中间继电器J_2，而是将电磁气阀与直流放大器、谐振继电器安在一块板上。

3. 调试

接收机的调试从第一级BG_1开始，逐级后调，最后再与发射机联调。

用一只800欧耳塞机串0.01微法电容，接到BG_3的集电极与地之间、调R_3与C_1，使超再生的"沙——"噪音最大，并且不夹杂其它声音(如尖叫声)。至此，前三级基本工作正常。再打开发射机，发射机天线拉出半米左右，发出任一个音频讯号，在耳塞机中即可听到音频声，调L_1的磁芯及R_5使声音最大。再将发射机的距离移远，(10米以上)，细调L_1磁芯，并微调C_1、R_3、R_5，调到声音最响、噪音最小的位置。BG_1～BG_3各级电流分别为：BG_1 0.5毫安，BG_2 0.5毫安，BG_3 1毫安。输出级BG_4的电流在有音频信号时为15毫安。

三、发射机和接收机的联调

在没有仪器的条件下调试谐振继电器分频的遥控设备，主要靠收、发机联合调试。调试的目的，是在发射机与接收机分别进行过初步调试的基础上，使发射机十个音频信号的频率与谐振继电器簧片的固有频率一一对应，保证每个簧片都能可靠振动，并通过簧片的振动控制直流放大器及中间继电器的工作。

通常，我们把谐振继电器最长的簧片称为1号簧片，最短的称为10号簧片。谐振继电器各簧片在出厂时已经校准，一般不要再作调整，只需调试发射机操纵开关电路的通道电容与微调电容，达到与簧片谐振的目的。其方法如下：将第10通道的 C_{43}、C_{33} 按表4.1数值接好，按下发射机的 K_{10} 开关，10号簧片应该振动。如果是比10号簧片长的簧片振动，说明振荡器的频率偏低，可将 C_{19} 适当减小；如果所有的簧片均无振动，说明振荡器的频率偏高，要将 C_{19} 加大。另外，借助 W_{10} 也可判断电容数值是否合适：当 W_1 的阻值旋到最大时10号簧片才起振，可适当减小 C_{19}；反之加大 C_{19}、C_{19} 的数值通过上述调试基本确定后，再微调 C_{33} 与 C_{43}，直到 W_{10} 旋到中间位置时，10号簧片振动最好即可。第十通道调好后，调其他通道时，就不要再调 C_{19} 了。仅调通道电容与微调电容，使微调电位器旋在中间位置时，簧片振动最好，各电容的数值可参考表4.1。

以上工作调好后，还要测试各通道的直流放大器；将电流表串在 BG_5 的集电极回路，按动发射机相应的操纵开关，使簧片正常振动，此时电流表应在50毫安～60毫安，如达不到

此值，可将 C_{14} 加大或减小 R_{11}。但 C_{14} 数值不要过大，否则会使 J_2 的吸动延时。

最后，还应用较快的速度间断的按各操纵开关，观察簧片的振动；如簧片不起振，要旋微调电位器。如果微调电位器偏离中间位置过多，还要调换通道电容，以使电位器恢复到中间位置。在调试中若出现长簧片振动好，短簧片振动不好时，可将接收机的 C_{13}，C_{12} 容量减小，反之，加大。

第八章　时分制遥控设备

与频分制遥控设备相比，小型时分制遥控设备程式简单，工作可靠，体积小，功耗小，还具有一定的抗干扰性能。本章介绍操纵模型中经常应用的脉宽调制及脉位调制小型时分制设备。这些设备除用于操纵模型外，还具有其他方面的实用性，例如，可以对塔吊、天车、机动车、机井等工农业生产中的设备进行遥控，并能实现对靶机、靶船和其他战术训练器材的控制。

第一节　40 MHz 调频比例遥控设备

一、概　况

这是具有四路比例通道、地面控制距离不小于 500 公尺的遥控设备。该设备可用于操纵汽车、舰船及飞机模型，在可靠性及操纵性能要求较高的场合使用时，还可配用进口的 JR 舵机。

这种设备采用脉位调制——调频方式，即指令信号对脉冲进行脉冲位置调制，脉冲对载频进行调频。发射机的输出管用超高频大功率管 3 DA 21，输出功率较大。由于具有上述特点，设备的抗干扰能力较强。发射机为便携式，采用铝制外壳，带有加感的鞭状天线及 0.45 AH 的镉镍电瓶，便于携带与使用。

接收机分为高频板及译码板组装，便于在模型上安装。

下面分别介绍发射机、接收机与舵机。

二、发射机

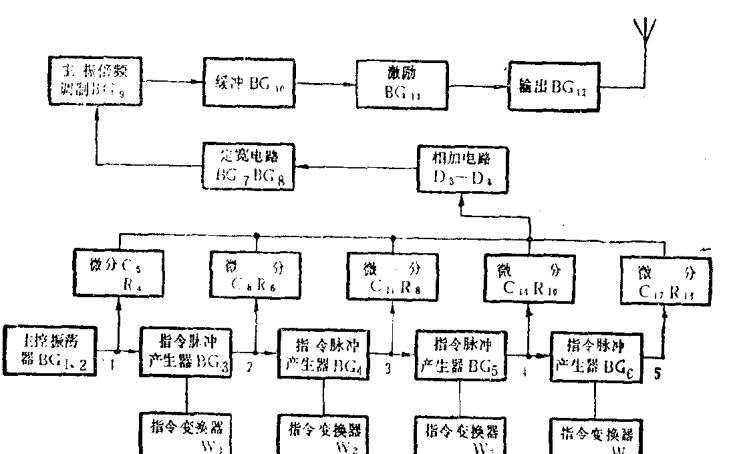
1. 组成和主要性能

发射机由高频电路及编码电路两部分组成。高频电路由主振兼倍频级、缓冲级、激励级、功放级和天线组成。编码电路由主控振荡器、指令变换器、指令脉冲产生器、微分电路。相加电路和定宽电路组成。方框图如 8.1 (a) 所示，图 8.1 (b) 是其外形图。

其主要性能如下：

频率 40.665 MHz　　输出功率 ≥1.3 瓦

频偏 4 kHz　　通道 4 路比例通道



(a)

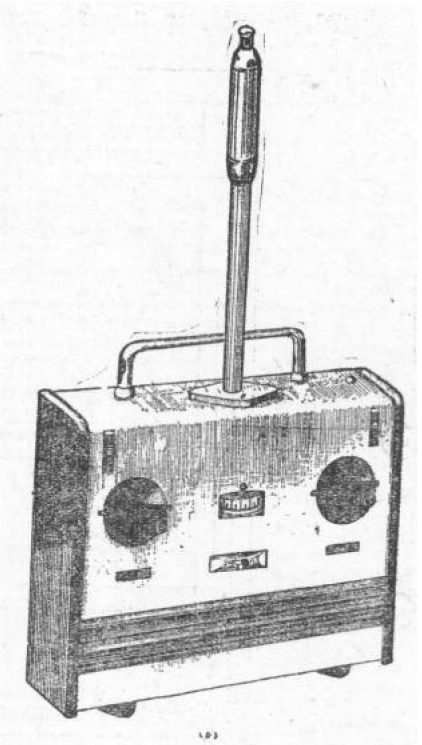


图 8.1　发射机方框图和外形图

电源电压 15 伏　　耗电 250 毫安

2. 电路原理

发射机工作过程大致是这样的：操作者通过安装于发射机面板上的操纵杆，改变电位器（指令变换器）的阻值，实现脉冲宽度调制（PDM）；再把脉冲宽度变化变为脉冲间隔变化，实现脉位调制(PPM)，得到编码的脉冲序列；最后由脉冲序列对高频进行调频，由天线把调频波发送出去。下面结合具体

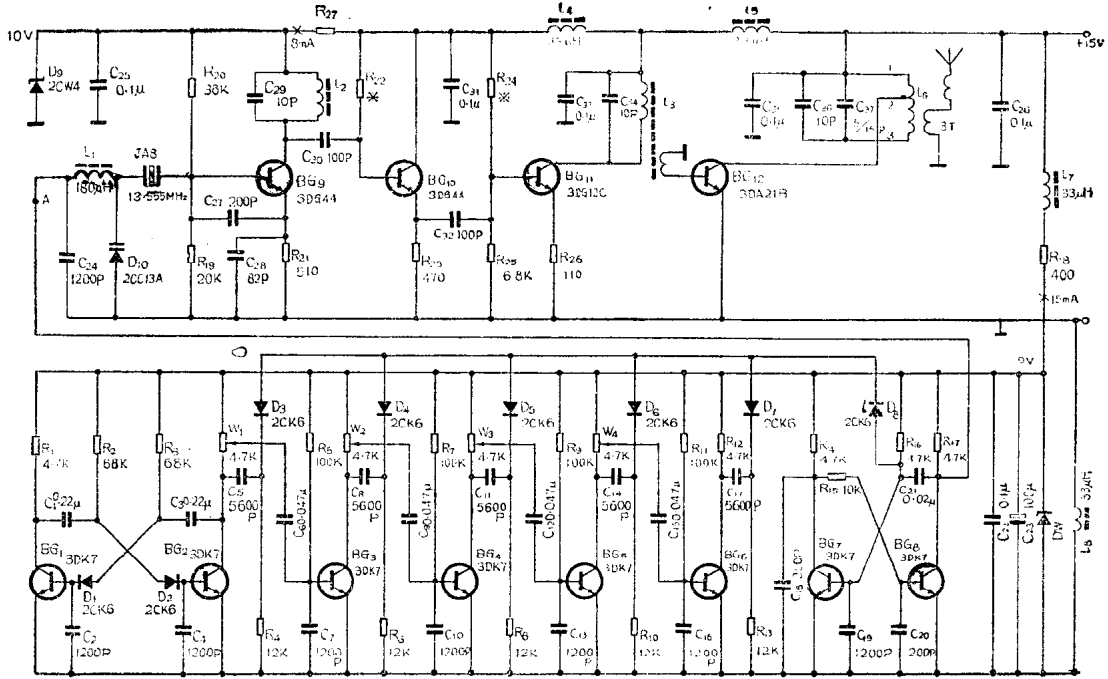

10V
15V
9V
8mA
15mA
A
JA3
13·555MHz
180μH
33μH
400
3T
BG9 3DG44
BG10 3DG44
BG11 3DG12C
BC12 3DA21B
BG1 3DK7
BG2 3DK7
BG3 3DK7
BG4 3DK7
BG5 3DK7
BG6 3DK7
BG7 3DK7
BG8 3DK7
D1 2CK6
D2 2CK6
D3 2CK6
D4 2CK6
D5 2CK6
D6 2CK6
D7 2CK6
D8 2CK6
D9 2CW4
D10 2CG13A
R1 4·7K
R2 68K
R3 68K
R4 12K
R5 100K
R6 12K
R7 100K
R8 12K
R9 100K
R10 12K
R11 100K
R12 4·7K
R13 10K
R14 4·7K
R15 4·7K
R16 4·7K
R17 4·7K
R18 400
R19 20K
R20 38K
R21 510
R22 *
R23 470
R24 *
R25 6·8K
R26 110
R27
W1 4·7K
W2 4·7K
W3 4·7K
W4 4·7K
C1 1200P
C2 1200P
C3 0·22μ
C4 0·22μ
C5 5600P
C6 0·047μ
C7 1200P
C8 5600P
C9 0·047μ
C10 1200P
C11 5600P
C12 0·047μ
C13 1200P
C14 5600P
C15 0·047μ
C16 1200P
C17 5600P
C18 0·047μ
C19 1200P
C20 200P
C21 0·02μ
C22 0·1μ
C23 0·1μ
C24 1200P
C25 0·1μ
C26 10P
C27 0·1μ
C28 82P
C29 10P
C30 100P
C31 0·1μ
C32 100P
C33 0·1μ
C34 10P
C35 0·1μ
C36 10P
C37 5/15P
C38 0·1μ
C39 0·1μ
C40 10μ
L1 180μH
L2
L3
L4
L5 33μH
L6
L7 33μH
DW

图 8.2　发射机电路图

电路介绍上述过程。发射机电路图见图 8.2。

(1) 主控振荡器　主控振荡器的作用是产生编码电路的时间基准。本电路对时间基准的稳定性要求不高，采用由 BG_1 及 BG_2 组成的多谐振荡器产生周期为 20 毫秒的方波，用这个方波去触发指令脉冲产生器，产生指令脉冲。

(2) 指令变换器和指令脉冲产生器　指令脉冲产生器是半单稳电路，四路指令脉冲产生器分别由 BG_3、BG_4、BG_5 及 BG_6 组成。常态时 BG_3～BG_6 均处饱和状态，集电极呈地电位。当负脉冲加到基极时，管子变为截止，集电极呈高电位。集电极高电位维持的时间长短，取决于加在基极的负脉冲的幅度；幅度大维持时间长，反之则短。加在 BG_3～BG_6 基极负脉冲幅度的大小，可由电位器 W_1～W_4 改变，这四个电位器就是指令变换器。通过操纵杆，改变电位器的阻值，即可改变半单稳态维持暂态的时间，得到不同宽度的正脉冲，实现脉宽调制。具体工作过程如下：20 毫秒方波的负跳沿触发第一路指令脉冲产生器 BG_3，使 BG_3 产生第一路指令脉冲，脉冲的宽度受 W_1 控制。BG_4 又被第一路指令脉冲的负跳沿触发，产生第二路指令脉冲，其宽度受 W_2 控制。这样依次产生第三、第四路指令脉冲。产生第四路指令脉冲后，电路进入静止状态，直到主控振荡器产生第二个方波，电路重复上述过程，产生第二帧指令脉冲。上述过程如图 8.3 中 1～5 波形所示。

(3) 微分、相加及定宽电路　由 R_4C_5、R_6C_8、R_8C_{11}、$R_{13}C_{17}$、$R_{10}C_{14}$ 组成五组微分电路，把 20 ms 的方波和四个指令脉冲微分，形成五对正负尖脉冲。再通过 D_3～D_8 组成的二极管或门（即相加电路）取出五个负尖脉冲，它们的位置与四路指令脉冲相对应，这样就把脉冲宽度调制转换为脉冲位置

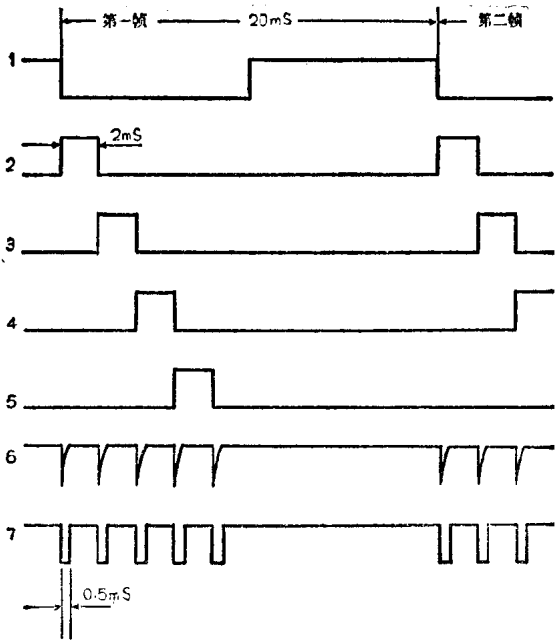


图 8.3 编码波形图

调制。定宽电路由 BG_7 和 BG_8 组成，这是一个单稳态电路，把负尖脉冲变为 0.5 毫秒的负脉冲(参看图 8.3 中6～7波形)。至此，编码电路的工作完成，比例脉冲序列由 BG_8 输出去调制高频。

(4) 高频主振、倍频及调制级　主振倍频及调制场由 BG_9 完成。主振由晶体稳频、采用 JA_8 型晶体，晶体频率为 13.555 MHz。本级的集电极调谐回路由 L_2C_{29} 组成，调谐在晶体的三次谐波频率，即 40.665 MHz。因 L_2C_{29} 回路对基频失谐，可近似看成短路，这样主振级可由图 8.4 所示的等效电路表

示。从图 8.4 可看出，主振级是电容（C_{27} 与 C_{28}）分压三点式振荡电路，晶体在电路中是一高 Q 值电感，与变容管串接在振荡回路，产生 13.555 MHz 的高频振荡。

由于变容管 D_{10} 的结电容随外加电压而变化，BG_8 输出的脉冲序列经 L_1 到变容管上，便使主振级振荡回路的参数随调制电压而改变，实现了对主振级的调频。从晶体的电抗频率特性知道，晶体在其串联谐振频率 f_s 与并联谐振频率 f_p 之间时才呈感性，而 f_p 与 f_s 相差很小，所以调频频偏不可能太大。为使主振级有较高的频率稳定度以及满足发射机应有的频偏，在本级采用了倍频电路。L_2C_{29} 调谐在三倍晶体频率上，只有三次谐波在 L_2 上有最大电压，基波及其他谐波被滤掉，从而得到载频为 40.665 MHz、频偏为 4 kHz 的调频信号。

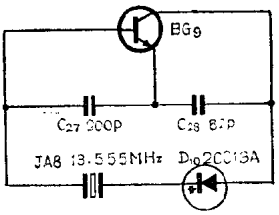


图 8.4 主振级等效电路

在本级还加了稳压电路，用以消除电源波动对主振级的影响。

(5) 缓冲级 缓冲级是由 BG_{10} 组成的射级跟随器。由于射极跟随器具有输入阻抗高的特点，本级在电路中有两个作用：其一是减弱后级变化对主振级的影响，稳定高频主振频率，其二是使 L_2C_{29} 回路具有高 Q 值，有较高的选择性，对基波和二次谐波的衰减大，输出的三次谐波电压高。

(6) 激励级 激励级由 BG_{11} 组成，其作用是把调频波放大，以便推动功放级。本级工作在甲乙类，与乙类或丙类放大器相比，效率较低，但功率增益高，所需的推动功率小。从发射机高频波形图 8.5 可以看出，主振级输出的三次谐波幅度不等，而从 BG_{11} 输出的是等幅调频信号。

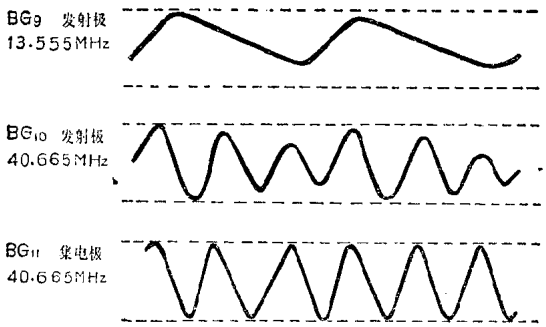


图 8.5 高频波形图

(7) 功放级 功放级由 BG_{12} 及调谐电路 L_6、C_{36}、C_{37} 组成，工作于丙类。本级的作用是把调频波进行功率放大，输送到天线，辐射到空间去。天线采用 1/4 波长的鞭状天线。为减小天线长度，在天线中部加感。

3. 电路调试

(1) 编码电路调试 BG_1 及 BG_2 组成的多谐振荡器应产生周期为 20 毫秒的方波；如果时间不准确，可调整 R_2 或 R_3。四个半单稳电路的调整方法相同，现以第一个半单稳 BG_3 为例说明。调试的目的，是要该级输出的指令脉冲宽度随电位器 W_1 的操纵杆转动而成比例变化。BG_3 输出的指令脉冲宽度主要决定于 C_6、R_5、电源电压及触发信号幅度。当前三个因素不变时，其宽度就随触发信号幅度的不同而变化，即是随 W_1 的操纵杆的角度而变化。调整时应先把 W_1 操纵杆放置于中立位置，调 R_5 的阻值，使 BG_3 输出的脉冲宽度为 1.5 毫秒，再使操纵杆作 $\pm 40^\circ$ 的转动，指令脉冲要相应地有 1.5±0.5 毫秒的宽度变化，如图 8.6 所示。如果达不到上述要求，要将 BG_3 换 β

值不同的管子，或者改变 C_6 的数值。

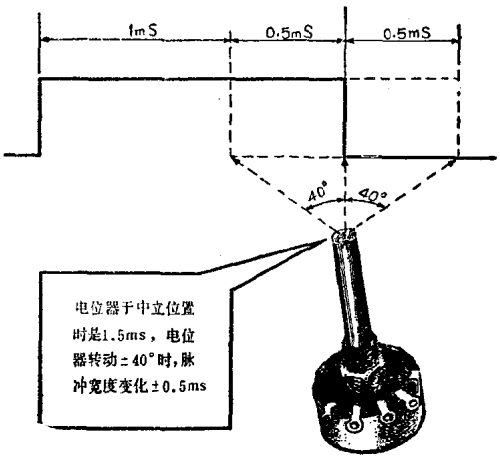


图 8.6 转动操纵杆改变脉冲宽度的示意图

由 D_3～D_8 组成的二极管或门电路输出的负尖脉冲幅度应相等；如果幅度不等，要调整相应的微分电路的电阻。定宽电路产生 0.5 ms 的脉冲；宽度有出入时，调定时电阻 R_{16}。

以上调试工作要借助示波器（如 SBT-5），调好后各点波形如图 8.3 所示，总耗电 15 毫安左右。

(2) 高频电路调试　主振、倍频、缓冲、激励以及功放级是本机的高频电路。对这部分电路的调试，可以按第二章中介绍的方法进行。调好后，相应各点的波形如图 8.5 所示，各级的电流及功率如表 8.1 所示。

高频电路是在无调制时调试的，要将电路的 A 点断开。

(3) 调制电路的调试　编码电路及高频电路工作正常后，即可把这两部分电路的接口 A 点接通，使编码电路输出的脉冲序列对主振级进行调制。这时主振级的频率在 13.555 MHz 附

表 8.1

	电流（mA）	功率(mW)	功 率 测 点
BG_9	3.5		
BG_{10}	10	16	BG_{10} 发射极
BG_{11}	30	200	L_3 次 级
BG_{12}	210	1300	L_6 次 级

注：用 GLX-6 功率计测试

近产生 1.3 kHz 左右的偏移，经三倍频，得到 4 kHz 频偏。频偏大小的测试可用外差电压表(DW_2)，将外差电压表的功能拨到测试频偏档，频率调到 40.665 MHz，探头放在发射机天线附近，测得的频偏应为 4 kHz 左右。频偏不符时，可以将 R_{17} 换成半调电阻，改变调制电压幅度，或者换变容管 D_{10}。

4. 元器件及组装

晶体管 BG_1～BG_8 均是 β 为 100 的 3 DK 7 型管子，也可用其他同类管子，但 β 值应相近。BG_9 及 BG_{10}(3 DG 44) β 值 60 左右。BG_{11}(3 DG 12 C)及 BG_{12}(3 DA_{21}B)的 β 值选在 20～30。电路中的电阻均为 1/8 瓦炭膜电阻，高频调谐电路电容用云母或高频瓷介电容，其他电容均可用涤纶或独石电容。电感件大部要自制，其数据见表 8.2，加感线圈 L_7 数据及在天线上的位置见图 8.7(a)。电位器 W_1～W_4 的型号为 WX 3-12-4.7K-X，这是直径为 23 毫米，使用较多的线绕电器位。

发射机中较难解决的是电位器 W_1～W_4 的操纵杆机构。如果该遥控设备用于操纵航模，一个操纵杆要能控制两个电位器作任意方向的转动，动作的角度一般在 40° 左右。在不操纵

表 8.2

	骨　架	线　径	圈　数
L_2	ϕ 5 骨架 NX-20 磁芯	ϕ0.5 漆包线	7 圈
L_3	同　上	同　上	初 级　7 圈 次 级　3 圈
L_c	ϕ_{12} 空心	ϕ0.8 镀银线	初级 (1—2) 2 圈 (2—3) 4 圈 次级　3 圈

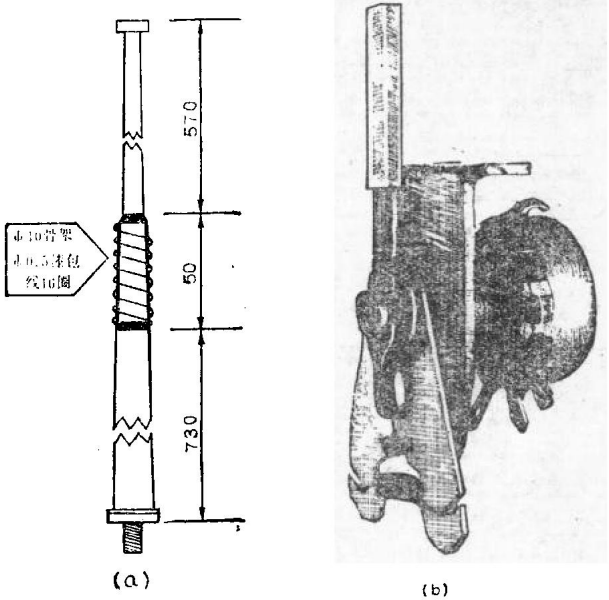


图 8.7　带加感线圈的天线(*a*)及操纵机构(*b*)

时，操纵杆受弹簧力的作用，具有自动回到中立位置的功能，以便使电位器的旋柄回到原位。如果用于操纵舰模或其他模型，使用控制一个电位器的操纵杆机构也可以，这种机构较易

自制。

由于发射机的功率较大，高频电路对编码电路可能造成干扰，为避免发生这种问题，高频电路与编码电路分别安装在两块印刷板上，印刷板见图 8.8 与图 8.9。

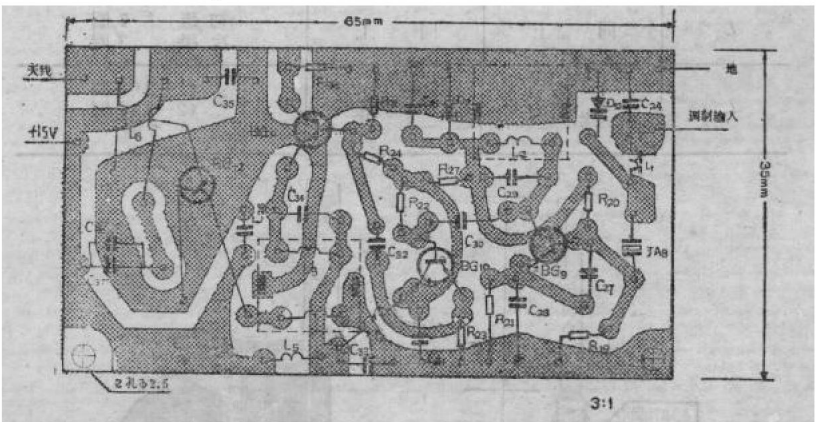


图 8.8　高频电路印刷板

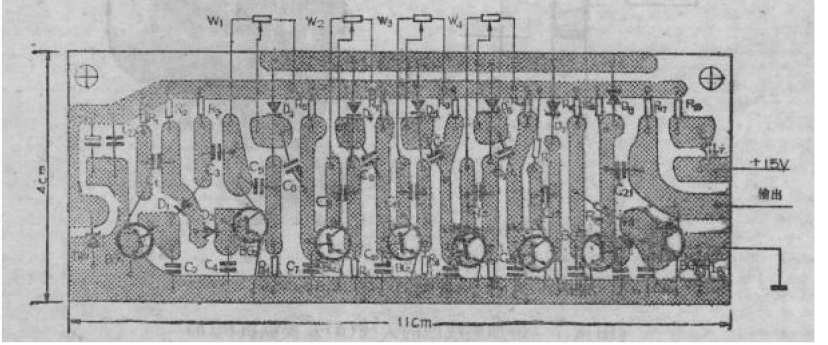


图 8.9　编码电路印刷板

发射机的外壳是 55×165×205 毫米的铝盒，电路板、操纵杆机构，镍镉电池均放置在盒内。两块电路板安装在上部，

操纵杆机构（及电位器）在中部，电池在盒下面。高频功放管 3 DA 21 B 固定在发射机的铝制外壳上，以便于散热。高频电路印刷板的位置要尽量靠近 3 DA 21 B，减小引线长度。

三、接收机

1. 组成和主要性能

遥控接收机分为高频电路及译码电路两部分。高频部分由高放、变频、中放、鉴频及隔离级组成。译码电路由鉴幅、放大、整形、同步分离、移位脉冲产生电路及移位寄存器组成。接收机方框图见图 8.10。

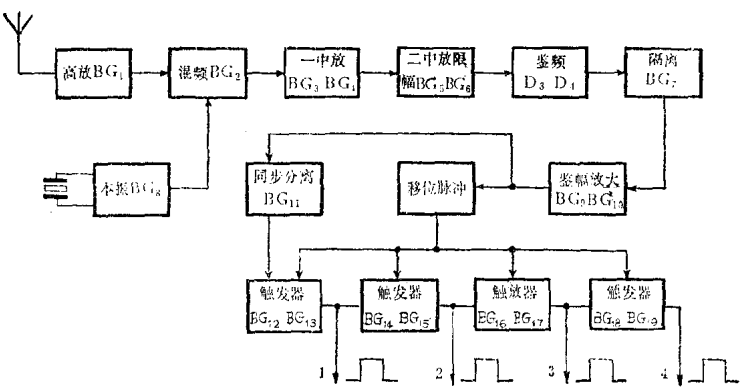


图 8.10　接收机方框图

接收机主要性能如下：

本振频率　40.200 MHz，中频　465 kHz

灵敏度　≤5 微伏（鉴频输出≥0.6 伏，信噪比≥20 分贝）

电源电压　4.8～6 伏，耗电　≤10 毫安

2. 电路原理

高频电路将天线收到的微弱信号选择、放大，并完成对调频波的解调。解调得到的信号再经放大整形后由译码电路恢复成各路指令脉冲，送到舵机，控制舵机转动。接收机的电路图见图 8.11，下面结合具体电路介绍上述过程。

(1) 高放变频电路　为提高灵敏度和抑制镜像干扰，变频前加入高放级。高放电路是共发射极调谐放大器，BG_1 的基极经分压电容 C_2 接入天线回路以使阻抗匹配。

变频电路由本振及混频两部分组成。BG_8 是本机振荡级，电路是晶体稳频的电容三点式振荡器，振荡频率是晶体频率 40.200 MHz。本振信号经 C_{28} 加到混频管 BG_2 的基级，高频信号放大后也加在混频管 BG_2 的基极，利用三极管 e-b 结的非线性，在 BG_2 的集电极得到 465 KHz 的差频信号和其他频率成份，经中频变压器 L_3 的选择，得到 465 KHz 的中频信号。

(2) 中放电路　中频放大级用来提高接收机的灵敏度和增强选择性。本机的中放电路是共发共基放大电路，由 BG_3、BG_4 组成一中放，BG_5、BG_6 组成二中放。两级电路原理相同。共发共基电路既具有共发电路增益高的优点，又兼有共基电路工作稳定的优点，可不加中和电容，电路的增益较单管共发电路提高约 10 分贝。

与调幅设备相比，调频设备的抗干扰能力较强，这是因为调频信号仅是高频频率的变化，在接收机中可用限幅电路把外来的幅度大的干扰或噪音抑制掉。本机采用二极管限幅器，电路简单，限幅效果明显。限幅二极管 D_1 与 D_2 接在 L_5 的抽头

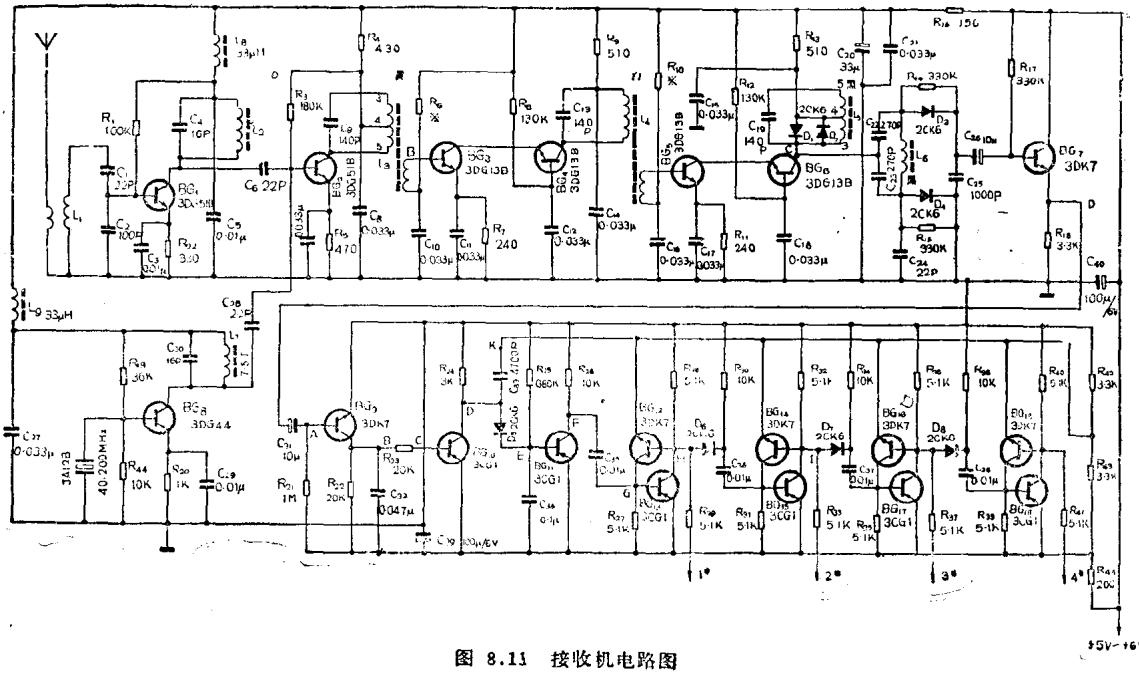


图 8.11 接收机电路图

上。当两极管端电压小于 0.5 伏时，管子不通导，对回路影响很小；电压大于 0.5 伏时，管子导通，信号被二极管短路，使输出电压峰峰值被限在 1.1 伏至 1.2 伏。

(3) 鉴频电路　鉴频器的作用是把调频波恢复成原调制信号。本机鉴频器是相位鉴频器，由 C_{22}、C_{23}、L_6 及 D_3、D_4 等组成。C_{22} 与 C_{23}、L_6 组成的谐振回路调谐于 465 KHz，电容 C_{22} 与 C_{23} 容量相等，以使频率特性对称。为使鉴频器工作稳定，在鉴频器后面有一级由 BG_7 组成的射极跟随器，将解调后的信号送到鉴幅、放大及整形电路。

(4) 鉴幅、放大及整形电路　BG_9 起鉴幅、放大作用。通过调 R_{21}，可以改变 BG_9 的门限电平，限制干扰和噪音，提高接收机的抗干扰能力。BG_9 输出的信号经 BG_{10} 的放大与整形，得到图 8.12 D 所示的比例脉冲序列，送到同步分离与移位脉冲产生电路。

(5) 同步分离与移位脉冲产生电路　同步分离电路的作用是产生帧同步脉冲，以保证译码电路能与编码电路同步工作。从译码电路波形图 8.12 可以看出，两帧脉冲之间的间隔，远大于同一帧中两相邻脉冲的间隔，同步分离电路就是利用这一特征提取出同步脉冲的。这种提取同步脉冲的方式称为空隙式同步。

同步分离电路由 BG_{11}、D_5、C_{34}、R_{25} 组成。常态时 BG_{11} 饱和。图 8.12 D 所示的脉冲序列到来后，E 点电位上升，BG_{11} 转为截止。由于 BG_{11} 基极有电容 C_{34}，使得在每帧的五个正向脉冲期间，E 点电位是锯齿形波动，波动的下值维持在 4.5 伏左右。BG_{11} 始终处于截止状态，集电极为低电压。在两帧脉冲之间，由于间隔长（其间隔一般要大于同一帧两相邻脉冲间隔的三倍以上），C_{34} 经 R_{26} 放电，E 点电位降低，BG_{11} 变为

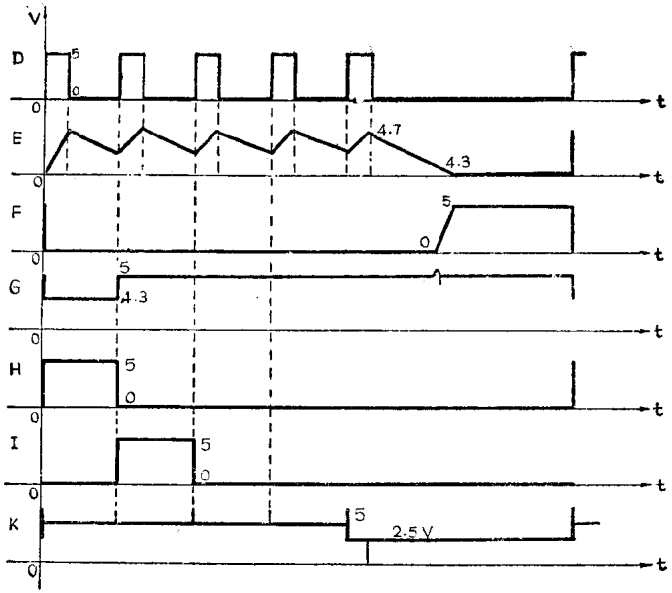


图 8.12　译码电路波形图

导通，集电极变高电位，一直维持到下帧脉冲到来之前。这样，在 BG_{11} 的集电极产生一个正脉冲，就是帧同步脉冲。帧同步脉冲经 C_{35} 加到移位寄存器。

移位脉冲产生电路是由 C_{33}、R_{43}、R_{42} 组成的微分电路，脉冲序列中的脉冲经该电路后，变为图 8.12 K 所示的窄的针状脉冲，就是移位脉冲。移位脉冲加到移位寄存器 NPN 管的发射极。

(6) 移位寄存器　移位寄存器是由四组串接的触发器组成。每组触发器均由 NPN 管与 PNP 管接成互补双稳态电路。在同步脉冲及移位脉冲的作用下，移位寄存器将串行输入的脉冲序列变为并行的脉冲输出。这种脉冲就是我们所需要的各路

指令脉冲。指令脉冲由各触发器的输出端(经 5.1 千欧电阻)送到舵机电路，控制舵机运转。

移位寄存器的工作过程见译码电路波形图 8.12。因为移位脉冲加在触发器 NPN 管的发射极，并且是正脉冲，所以第一个移位脉冲到来后，四个触发器均截止。随后，同步脉冲的后沿（负跳沿）经 C_{35} 使第一组触发器 BG_{12}、BG_{13} 饱和，第二个移位脉冲到来后，又使 BG_{12}、BG_{13} 变为截止。这样，在第一个移位脉冲与第二个移位脉冲的间隔内，从 BG_{13} 的集电极输出一个正脉冲，这个脉冲就是第一路指令脉冲。在 BG_{12}、BG_{13} 变为截止时，BG_{13} 集电极的负跳变经 D_6、C_{36} 又使第二组触发器 BG_{14}、BG_{15} 由截止变为饱和。到第三个移位脉冲到来，BG_{14}、BG_{15} 又变为截止，从 BG_{15} 集电极输出第二路指令脉冲。同理，第四及第五个移位脉冲分别使后两级触发器产生第三及第四路指令脉冲。

这种移位寄存器在工作时仅有一组触发器导通，其余各级均截止。具有耗电小的优点，适用于要求省电的模型遥控设备。

表 8.3

		BG_1	BG_2	BG_3	BG_4	BG_5	BG_6	BG_7
对地电压(V)	e	0.37	0.25	0.2	2.3	0.6	1.55	2.5
	b	1.07	0.7	0.85	2.7	1.25	1.75	3.2
	c	4	3.8	2.3	4.6	1.55	4	4
电流(mA)		0.7	0.35		0.5		2	2.2

3. 电路调试

高频电路中 BG_1～BG_8 工作点的调整请参考表 8.3，总耗电 6 mA 左右。高放级的调试应调 L_1 及 L_2，使两个调谐电路调谐于发射机频率。本振与混频级的调试应注意 C_{28} 容量不要过大，否则可能使 BG_2 损坏。高频电路自激时，可将 R_3 的阻值加大。调试中放电路时，同一级的两个决定工作点的电阻均应调整，才能得到较好的工作状态。限幅二极管加在第二级中放的调谐电路上，当发射机工作时，用示波器从 BG_6 的集电极应看到图 8.13 所示的波形。调试时，可以改变发射机与接收机之间的距离，或改变天线的长度，使接收机输入信号强度有较大变化。限幅电路正常时，BG_6 波形不变。如果波形改变，要换限幅二极管或检查接收机的灵敏度是否太低。

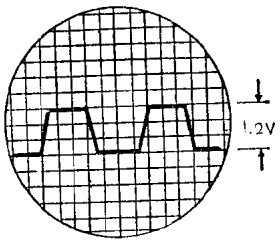


图 8.13 限幅波形图

鉴频电路的 L_6、C_{22}、C_{23} 要调谐于中频频率，鉴频器的输出幅度可通过调 C_{24} 改变。C_{24} 过小时输出幅度小；C_{24} 过于大时，输出幅度虽然增大，但噪音也随之加大。本机现用 22 微微法，也可增大到 68 微微法。高频电路调好后，从天线输入强度为 3 微伏、频偏为 4 kHz的 40.665 MHz 的调频信号，在 BG_7 发射极应有不小于 0.5 伏的输出。

译码电路需调 BG_9 及 BG_{11} 的工作点。调 R_{21}，使信号幅度大于 80 毫伏时，BG_9 才有输出。调 R_{25}、使 BG_{11} 处于饱和状态，其他各级工作点无需调整。移位脉冲应该是尖的针状脉冲，宽度要小于触发器各级之间耦合电路的时间常数，否则译

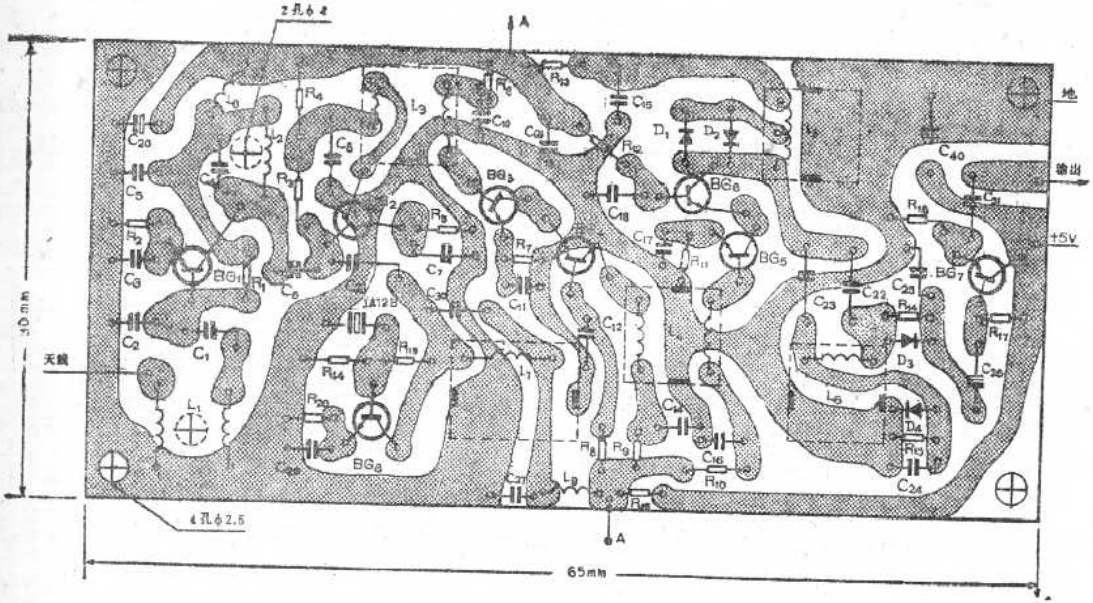


图 8.14　接收机高频电路印刷板图

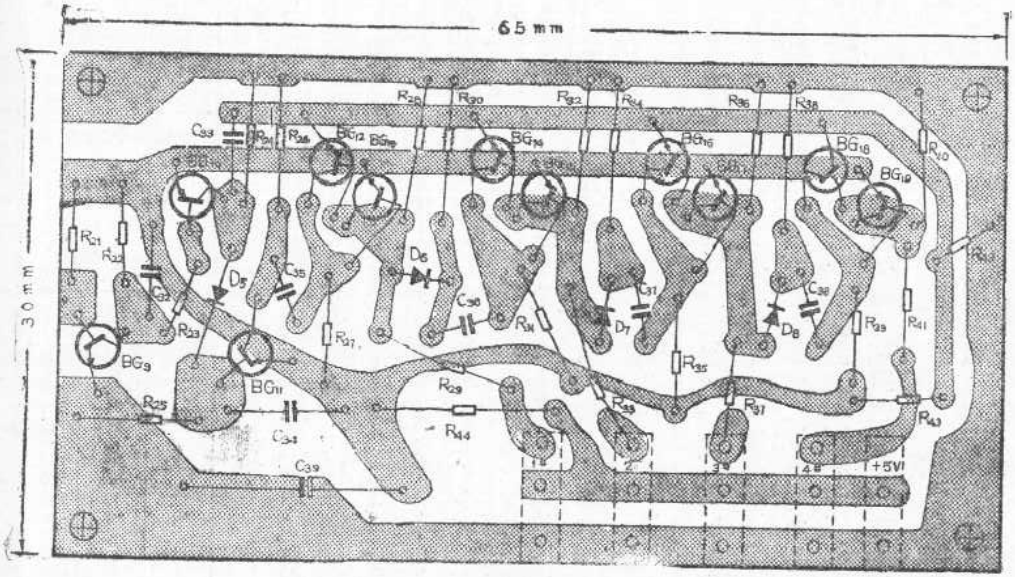


图 8.15　接收机译码电路印刷板图

码电路不能正常工作。移位脉冲的宽度可以通过调 C_{33} 来改变。译码电路正常工作电流为 2.5 毫安左右。

4. 元器件及组装

由于接收机安置在模型上，要求体积尽量小一些，以便于安装。本接收机由高频电路印制板与译码电路印制板组成，二块板之间用细软线联接。这种结构不仅使接收机的体积小巧，也便于改型（例如利用本机的高频电路板，配其他译码电路，组成新的接收机），适合在业余条件下制作。接收机的两块印制板平行固定在有机玻璃或薄层板制作的小盒内，其体积为 3.5×3×7 厘米，重 60 克。

高频电路及译码电路印刷板分别如图 8.14 及图 8.15 所示，所用的元器件在体积方面要尽量小，如果元器件较大，印制板要重排大些。

所用电阻均为 1/8 瓦炭膜电阻，旁路或低频交连电容用玻璃釉或独石电容，谐振电路的电容用高频瓷介或小型云母电容，线圈数据见表 8.4。限幅二极管 D_1、D_2 用正向电阻小而且反向电阻尽量大的管子，鉴频管的 D_3、D_4 性能要相同。高频电路中的 BG_1～BG_8 β 值为 40～60，译码电路的 BG_9～BG_{19} β

表 8.4

	L_1	L_2	L_7	L_3	L_4	L_5	L_6
骨　架	ϕ 5 骨架 NX-20磁芯			半导体收音机用 704 型中周			
线　径	ϕ0.21 漆包线						
圈　数	初级 3 次级 9	9	7.5	黄	白	黑	黑

值为 60。

四、舵机

1. 组成及主要性能

舵机由控制电路、电机及传动机构（减速机构）组成。译码器输出的指令脉冲送到舵机电路，控制舵机转动，实现对舵面等调节机构的控制。在第五章对舵机的原理已有介绍，这里从略。

舵机是比例遥控设备较难制作的部件；业余爱好者，由于条件所限，更不易制出性能良好的舵机。本文介绍的是业余爱好者可自制的舵机。该舵机不宜用在航空模型上，但用于一般的舰船、汽车等模型是可以的。舵机的主要性能如下：

控制方式　正脉冲宽度控制　1.5 毫秒±0.5 毫秒

动作角度　±35°　动作速度　0.45″/35°

最大转矩　1.5 千克/厘米　电源电压　3 伏/两组

静态电流　5毫安 带负荷电流 1千克/厘米时电流200毫安

重量　100 克　体积　55×60×25 毫米

2. 控制电路

(1) 原理　控制电路由反相器、反馈电位器、反馈脉冲产生电路、脉冲宽度鉴别电路及双向直流放大器组成。图 8.16 是舵机的控制电路图。

反相器 BG_1 将指令脉冲整形与反相，分为两路输出；一路经 C_3 送到单稳电路，用来产生反馈脉冲，另一路经 R_{11} 送到脉冲宽度鉴别电路。

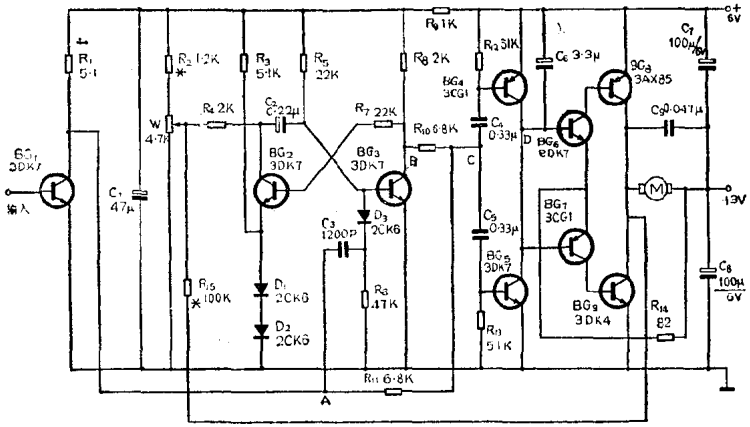


图 8.16 舵机电路图

反馈脉冲产生电路是由 BG_2 及 BG_3 组成的单稳态触发器。指令脉冲经 C_3R_6 微分电路后，其前沿将单稳态触发，输出正脉冲，即反馈脉冲，该单稳电路的特点是 BG_2 的集电极电阻 R_4 不直接接到电源，而是接到反馈电位器 W 的中点。当 W 的电刷位置改变时，BG_2 集电极电位随之改变，通过 C_2R_5 充放电的时间就变化：电刷向上移动，BG_2 集电极电位提高，产生的反馈脉冲变宽，反之就变窄。由于电位器 W 的轴与舵机输出轴是连动，单稳态产生的反馈脉冲的宽度就与舵机输出轴的位置相对应。从 BG_3 集电极输出的反馈脉冲经电阻 R_{10} 送到脉冲宽度鉴别电路。

脉冲宽度鉴别电路由 BG_4、BG_5 组成。当反馈脉冲与指令脉冲的宽度相等时，C 点无脉冲，BG_4、BG_5 均处截止状态，D 点电位不变；当反馈脉冲的宽度较指令脉冲窄时，在 C 点有一个负的差值脉冲，BG_4 工作，D 点电位上升；当反馈脉冲的宽度较指令脉冲宽时，C 点有一个正差值脉冲，BG_5 工作，D

点电位下降。由于在D点接有滤波电容C_6，上述的D点电位变化是平滑的直流电位变化。上述过程如图 8.17 所示。

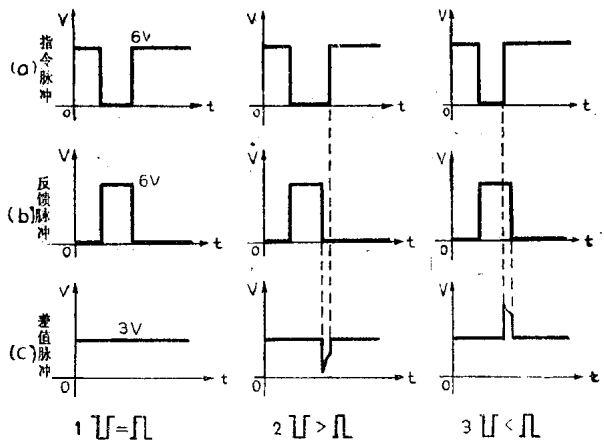


图 8.17　脉冲宽度鉴别电路波形图

双向直流放大器由BG_6～BG_9组成，其中BG_6、BG_8是负差值放大器，BG_7、BG_9是正差值放大器，D点电位上升时，BG_6及BG_8导通，电机转动，舵机的输出轴随之转动，并使电位器W的电刷向上移动，反馈脉冲的宽度变宽，直到与指令脉冲的宽度相等，C点的负差值脉冲消失为止。这时BG_6、BG_8截止，舵机停止转动。当D点电位下降时，BG_7、BG_9导通，舵机反转，并带动电位器使反馈脉冲变窄，直到与指令脉冲宽度相等。电路的上述工作过程保证了舵机输出轴对指令脉冲宽度的跟踪。因为指令脉冲的宽度决定于发射机操纵杆的角度，所以舵机输出轴实际上是跟踪操纵杆的角度而转动。

为提高单稳电路的抗干扰能力，在BG_2的发射极接入两个2 Ck型二极管，利用其正向结压降抬高发射极电位，提高触发

电压的幅度，避免电源波动或输入信号中的小毛刺引起误触发。

(2) 元器件及调试　舵机控制电路印刷板如图 8.18 所示。舵机体积较小，印刷板的排列也要紧凑些，应尽量选用较小的元器件。在元器件中，较关键的是反馈电位器 W，要用触点压力较紧、耐磨损的电位器，否则模型发动机的振动引起触点接

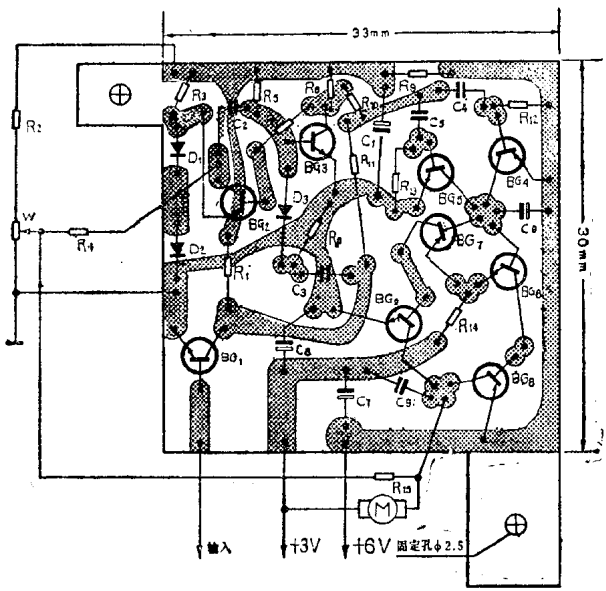


图 8.18　舵机电路印刷板图

触不良，会造成舵机乱转。本机使用的电位器是 WH5-1-1W-4.7 K-X。其他元器件规格见表 8.5。

调试控制电路时注意以下事项：电容 C_6 对于舵机的性能影响很大，如果 C_6 过小，放大器的灵敏度低，舵机对指令脉冲

表 8.5　　舵机元件明细表

代　号	规　　格	备　　注
C_1	CAP-2-16V-47μ	超小型钽电解
C_2	CA-5-63V-0.22μ	超小型钽电解
C_3	CLX-63V-1200P	
C_4	CT4D-1-40V-0.33μ	
C_5	CT4D-1-40V-0.33μ	
C_6	CA-5-10V-3.3μ	超小型钽电解
C_7	CA-6.3V-100μ	钽电解
C_8	CA-6.3V-100μ	钽电解
C_9	CLX-63V-0.047μ	
R_1	RTX-0.125W-5.1K	
R_2	RTX-0.125W-1.2K	由调整决定
R_3	RTX-0.125W-5.1K	
R_4	RTX-0.125W-2K	
R_5	RTX-0.125W-22K	由调整决定
R_6	RTX-0.125W-47K	
R_7	RTX-0.125W-22K	
R_8	RTX-0.125W-2K	
R_9	RTX-0.125W-1K	由调整决定
R_{10}	RTX-0.125W-6.8K	
R_{11}	RTX-0.125W-6.8K	
R_{12}	RTX-0.125W-51K	
R_{13}	RTX-0.125W-51K	
R_{14}	RTX-0.125W-82Ω	
R_{15}	RTX-0.125W-100K	由调整决定
DG 1.2.3.5.6	3DK7	超小型陶瓷封装 $\beta=100$
BG 4.7	3CG1	超小型陶瓷封装 $\beta=100$
$BG8$	3AX85	$P_{CM}\geqslant 800$mW $\beta=70$

续表

代　号	规　　格	备　　注
$BG9$	3DK4	$P_{CM}\geqslant 800$mW $\beta=70$
M	20ZYW-4	直流永磁伺服电机
W	WH5-1-1W-4.7K-X	
$D_{1,2}$ D_3	2CK6 2CK6	

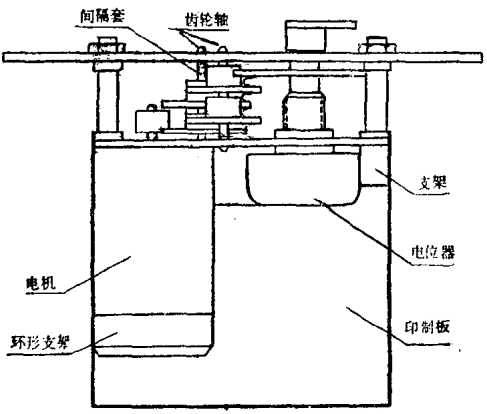
的宽度变化不敏感；C_6过大又会使D点不能迅速建立直流电位，舵机的动作延时，跟踪性能变坏。调整时要看舵机动作情况而定。另外，反馈电阻R_{15}可改善舵机的跟踪性能，舵机输出轴来回摆动应减小R_{15}阻值。电阻R_9与C_1组成的去耦电路，以及并在电源两端的C_7与C_8，都是为了减少舵机中电机的干扰而设置的。如果舵机抖动或乱转，可适当加大电容的数值。

3．电机及传动机构

舵机控制电路输出的电信号，经电机与传动机构（即减速机构）变为舵机输出轴的转动，实现对调节机构的控制。舵机输出轴的转动还带动与其相连接的反馈电位器，将舵轴的角位移转换成直流电平变化，控制单稳电路所产生的反馈脉冲的宽度，实现舵轴对操纵杆的跟踪。

舵机中所用的电机是永磁直流电机。这种电机效率高，转矩大，换相电路简单，本机所用电机型号是20 ZYW-4，额定工电压为6伏，额定电流0.27安，转速3500转/分，额定转

矩 10 克/厘米。减速机构的齿轮使用玩具车上的齿轮，传动减速比是 1:2.8×2.8×2.8×4.6，齿轮模数 0.5，小齿轮是 10 齿(铜牙)，大齿轮是 28 齿四个、46 齿一个(铁牙)。舵机的电机、减速机构装配图见图 8.19。



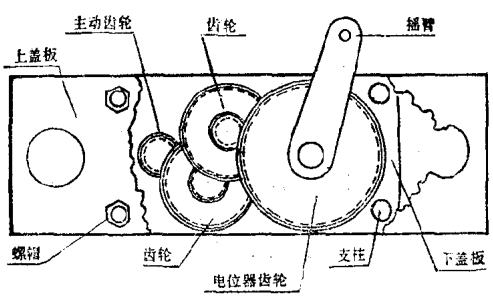


图 8.19 舵机装配示意图

自制舵机跟踪性能的好坏，与舵机的起动电压有很大关系；起动电压低，跟踪性能好。为此，将电机与减速机构按图

8.19 组装后，要测试起动电压。测试的方法是从零伏给电机加电。加至舵机输出轴开始转动时的电压，即为舵机的起动电压。本舵机的起动电压≤1 伏。如果起动电压较大，就要检查电机的起动电压或减速机构。电机的起动电压更应小于 1 伏。将电机取下来，加电至开始转动时的电压即为电机的起动电压。如果电压已近 1 伏就要更换或调整电机。一定要注意减速机构装配的准确，上下盖板划线打孔时要保证精度和上下孔的同柱度，以使阻力最小，降低舵机的起动电压。

舵机的起动电流是关系到遥控设备能否正常工作的重要指标。有些爱好者在调试舵机时用稳压电源或大容量电池，往往忽视这一指标。在实际应用时，模型上的电源受条件限制，容量都不大，常用的是 0.45 AH 镉镍电池或二号电池，并且接收机与舵机用同一电源。如果舵机起动电流大（例如用 20ZYW-4 电机组装的舵机起动电流 300 毫安左右），会引起下面的恶性循环：

舵机起动→电源波动→接收机及舵机电路不稳定→舵机抖动或乱转→（↑）

这种恶性循环，可以通过电路中加入滤波措施或适当加大电池容量等办法解决，但更主动的办法是尽量选用起动电流小的电机，减小减速机构的阻力，使舵机的起动电流较小。

如果没有 20ZYW-4 电机，也可用改制的玩具电机，改制的目的是提高电机的效率和减小起动电流。现以上海玩具磁钢厂生产的WZY-131 玩具电机为例说明改制方法：拆去原转子线圈→在转子轴上增加六片同规格的铁芯，使转子铁芯加厚→取三根 ϕ0.17 长 2.5 米的高强度漆包线，在转子上绕制三组线圈，每组约绕 93 圈→按原线圈的接线方法焊好→装入定子壳内（如放不下，可将原整流子截短）。改绕后的电机装上减

速机构，在3伏电压时，正转起动电流为380毫安，反转起动电流为400毫安。

4．配用"JR"舵机

由于条件所限，自制舵机难以达到理想性能。在要求可靠性较高的场合，本设备可配用JR舵机，JR舵机所需输入的脉冲宽度为1.5±0.50毫秒（其中±0.15为微调量），输入脉冲幅度为1.5伏～3伏之间。本机指令脉冲能够满足JR舵机的上述要求。除此以外，适当调整编码电路，也可配"Futaba"舵机。（编码电路产生的指令脉冲宽度应为1.31±0.69毫秒）。

第二节　28 MHz比例遥控设备

一、概　述

这套设备主要用来操纵各种模型，地面控制距离不小于500米，具有四路比例通道。遥控发射机采用频率键控方式实现信号对载频的调制，如图8.20所示。调制信号通过两个选

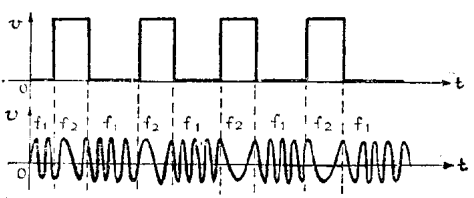


图 8.20　键控调频示意图

通门，控制振荡频率为f_1与f_2的两个振荡器的输出，有调制脉

冲时发送频率为 f_2 的高频信号，无调制脉冲时发送频率为 f_1 的高频信号。接收机把由 f_1 及 f_2 组成的调频信号进行鉴频，得到比例脉冲序列，经放大、译码后，送到舵机，实现对模型的控制。采用这种调制方式设备调试简便，频率稳定度高，发射机的频偏也容易选择，缺点是电路复杂一些。

二、发射机

1. 组成及主要性能

发射机由高频电路、调制部分及编码电路组成，方框图见图 8.21。

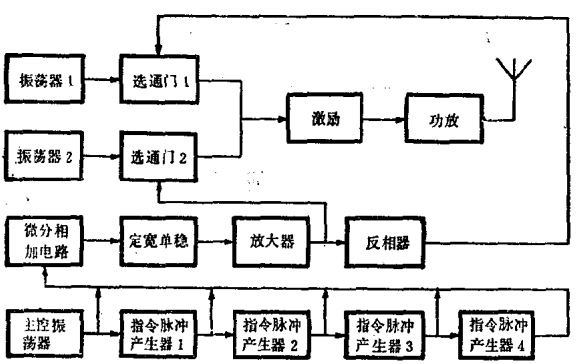


图 8.21 发射机方框图

高频电路由两个晶体稳频的振荡器、激励级及功放级组成。调制部分由选通门及调制放大器组成。编码电路由主控振荡器、指令脉冲产生器，微分及相加电路、定宽电路组成。发射机主要性能如下：

输出功率 1W　频率 f_1：28.000 MHz，f_2：27.990 MHz
通道数　4 路比例　电源电压 12 V(耗电 300 mA)

2. 原理简介

图 8.22 是发射机电路图。编码电路由 BG_8～BG_{15} 组成，各点波形如图 8.23 所示。编码电路的工作原理与“40 MHz 调

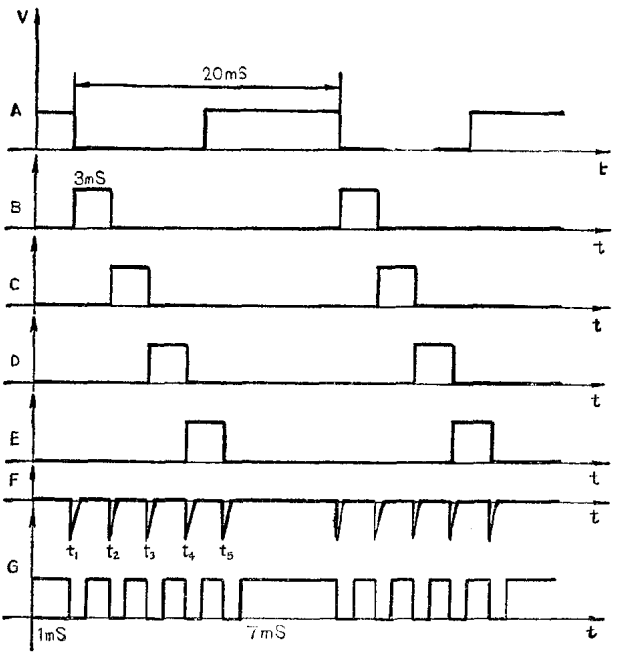


图 8.23　编码电路波形图

频比例设备”的编码电路相同，不再重述。从 BG_{15}输出的比例脉冲序列，经放大器与反相器：分别控制两个选通门，选通门 2 由 D_3、D_4 高扼圈 L_8～L_{10}及偏置电阻组成，选通门 1 由 D_1、

D_2高扼圈 L_5～L_7 及偏置电阻组成。无选通信号时，由于二极管 D_1～D_4 加有反向偏置，二个选通门均处于关断状态。由定宽电路输出的比例脉冲序列送到 BG_5。当 BG_5 的发射级为高电平时，D_3、D_4 由反偏置变为导通状态，选通门 2 开通，只有 BG_4产生的 27.990 MHz 的高频信号，能通过选通门 2 送到高频激励级及功放级，由天线发送出去。当BG_5发射极为低电平时，BG_7 输出高电平，选通门 2 关断，门 1 开通，BG_1 产生的 28.000 MHz 高频信号通过选通门 1 发送出去。这样从发射机输出的就是图 8.20 所示的调频信号。由 BG_1 组成的振荡器 1 与由 BG_4组成的振荡器 2 电路完全相同，是晶体稳频电容三点式振荡器，激励级与功放输出级分别由 BG_2 与 BG_3 担任，这两级均工作在丙类状态。

3．元器件选择与调试

发射机元器件列于表 8.6 中。

编码电路调试与“40 MHz 比例遥控设备”相同。下面介绍调制电路与高频电路的调试。

高频振荡器的 L_1与L_2是用 10 K 型电视中周改制，具有可调的磁芯；调节磁芯使回路频率略低于晶体频率，电路即起振。再通过调 L_1 与 L_2，使两振荡器幅度相等。两个振荡器的电流均为 5 mA。振荡器的稳频晶体频率分别为 27.990 MHz 及 28.000 MHz。用其他频率的晶体也可以，但两晶体的差值（即发射机的频偏）要在 5 kHz～10 kHz 之间，并且其中一块晶体要与接收机本振频率差 465 kHz 左右。

调试调制电路，要用示波器从BG_2的基极观看波形。当选通门的时间常数较大时，输出的载频包迹就不是理想的方波，会使f_1与f_2两个频率信号相交处出现圆角、间断或尖峰，如图

表 8.6

代　号	规　　格	备　　注
C_1	CLX -63-V-0.01 μ	
C_2	CC 12-1-63 V-5.1 P	
C_3	CC 12-1-63 V-30 P	
C_4	CLX-63 V-4700 P	
C_5	CLX-63 V-0.033 μ	
C_6	CLX-63 V-1200 P	
C_7	CLX-63 V-1200 P	
C_8	CLX-63 V-0.01 μ	
C_9	CC 12-1-63 V-39 P	
C_{10}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{11}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{12}	CCW 3-3-5/20 P	
C_{13}	CC 12-1-63 V-47 P	
C_{14}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{15}	CC 12-1-63 V-5.1 P	
C_{16}	CC 12-1-63 V-30 P	
C_{17}	CLX-63 V-4700 P	
C_{18}	CLX-63V-0.033μ	
C_{19}	CLX-63 V-1200 P	
C_{20}	CLX-63 V-1200 P	
C_{21}	CLX-63 V-1200 P	
C_{22}	CLX-63 V-1200 P	
C_{23}	CJ 11-160 V-0.22 μ	
C_{24}	CJ 11-160 V-0.22 μ	
C_{25}	CLX-63 V-1200 P	
C_{26}	CLX-63 V-1200 P	
C_{27}	CLX-63 V-5600 P	
C_{28}	CLX-63 V-0.047 μ	
C_{29}	CLX-63 V-1200 P	
C_{30}	CLX-63 V-5600 P	

续表

代 号	规 格	备 注
C_{31}	CLX-63 V-0.047 μ	
C_{32}	CLX-63 V-1200 P	
C_{33}	CLX-63 V-5600 P	
C_{34}	CLX-63 V-0.047 μ	
C_{35}	CLX-63 V-1200 P	
C_{36}	CLX-63 V-5600 P	
C_{37}	CLX-63 V-0.047 μ	
C_{38}	CLX-63 V-1200 P	
C_{39}	CLX-63 V-5600 P	
C_{40}	CC12-1-63 V-200 P	
C_{41}	CLX-63 V-1200 P	
C_{42}	CC12-1-63 V-200 P	
C_{43}	CLX-63 V-0.022 μ	
C_{44}	CD 11-16 V-100 μ	
C_{45}	CLX-63 V-0.047 μ	
C_{46}	CD 11-16 V-100 μ	
R_1	RTX-0.125 W-68 K	由调整决定
R_2	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_3	RTX-0.125 W-56 Ω	
R_4	RTX-0.125 W-56 Ω	由调整决定
R_5	RTX-0.125 W-68 K	由调整决定
R_6	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_7	RTX-0.125 W-56 Ω	
R_8	RTX-0.125 W-91 Ω	
R_9	RTX-0.125 W-1.2 K	
R_{10}	RTX-0.125 W-91 K	
R_{11}	RTX-0.125 W-12 K	
R_{12}	RTX-0.125 W-12 K	
R_{13}	RTX-0.125 W-1.2 K	
R_{14}	RTX-0.125 W-1.2 K	

续表

代 号	规 格	备 注
R_{15}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{16}	RTX-0.125 W-68 K	由调整决定
R_{17}	RTX-0.125 W-68 K	由调整决定
R_{18}	RTX-0.125 W-47 K	
R_{19}	RTX-0.125 W-100 K	由调整决定
R_{20}	RTX-0.125 W-47 K	
R_{21}	RTX-0.125 W-100 K	由调整决定
R_{22}	RTX-0.125 W-47 K	
R_{23}	RTX-0.125 W-100 K	由调整决定
R_{24}	RTX-0.125 W-47 K	
R_{25}	RTX-0.125 W-100 K	由调整决定
R_{26}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{27}	RTX-0.125 W-47 K	
R_{28}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{29}	RTX-0.125 W-10 K	
R_{30}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{31}	RTX-0.125 W-47 K	由调整决定
R_{32}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{33}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{34}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{35}	RTX-0.125 W-5.1 K	
$D_1 \sim D_4$	2 AK 03	
$D_6 \sim D_{12}$	2 CK 6	
$BG_{1,4}$	3 DG 9 F	$f_T \geqslant 500$ MHz $\beta = 60$
BG_2	3 DA 18 A	$f_T \geqslant 800$ MHz $\beta = 30$ $P_{CM} = 1$ W
BG_3	3 AA 7	$f_T \geqslant 140$ MHz $\beta = 30$ $P_{CM} = 5$ W
$BG_{5,7}$	3 DK 4	$P_{CM} = 800$ mW $\beta = 70$
$BG_{6,8,9}$ $BG_{10\sim15}$	3 DK 7	$\beta = 100$
$W_{1\sim4}$	WX 3-12-4.7 K-X	线绕电位器 ϕ 23

续表

代　号	规　　格	备　　注
JT_1	JA 12 B	28.000 MHz
JT_2	JA 12 B	27.990 MHz
天　线	1.5 米中部加感	ϕ10 骨架，ϕ1 漆包线 29 圈
A	99 C 10-500 mA	
L_1	10 K 型中周，线径 ϕ0.4 初级 10 T 次级 4 T	
L_2	同　　上	
L_3	10 K 型中周、线径 ϕ0.4 初级 11 T 次级 4 T	
L_4	ϕ18 mm 磁管、初级用 ϕ1.5 线绕 7 T、在 4 T 处抽头，次级用塑料线在初级外面绕 3 T	
$L_{6\sim13}$	33 μH 色码电感	

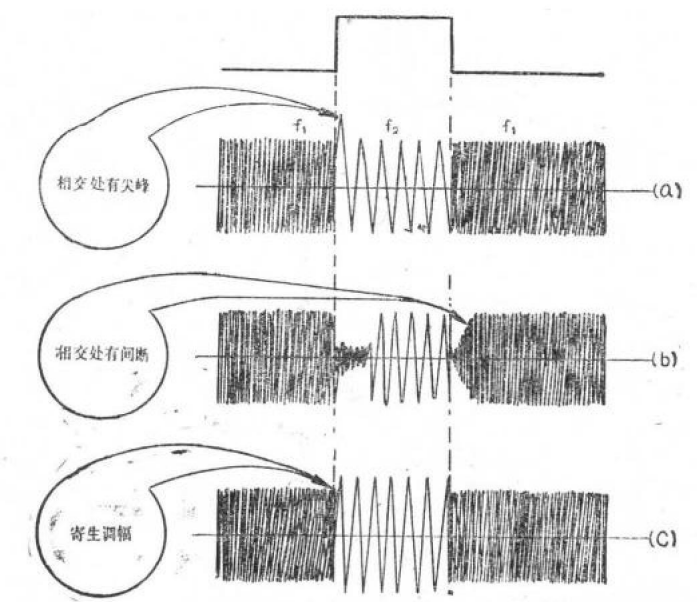


图 8.24　不正常的调制输出波形图

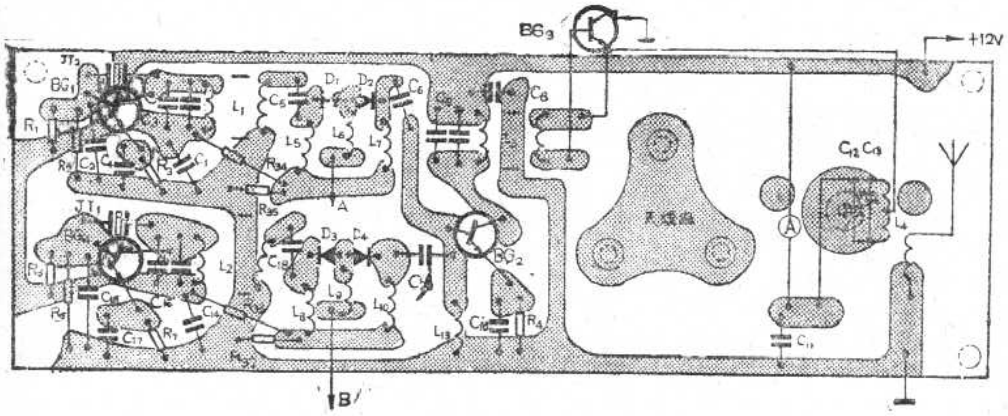


图 8.25　发射机高频电路印刷板图

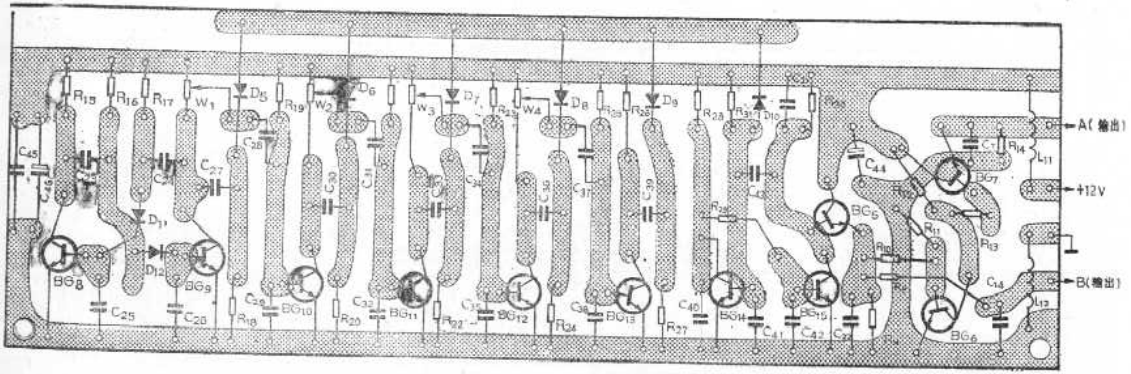


图 8.26　发射机编码、调制电路印刷板图

8.24(a)(b)所示。当两个振荡器的输出幅度或两个选通门的传输系数K不同时，还会出现如图8.24(c)所示的寄生调幅。出现上述情况时，可通过调选通门的偏置电阻，调换二极管得到改善。调换二极管时要选用正反向电阻差值大、结电容小、性能相同的管子。

激励管BG_2用3 DA 18或3 DA 37，功放管BG_3用3 AA7。这两级主要是调整谐振回路，使其调谐在$\frac{f_1+f_2}{2}$的频率上。激励级的调谐回路电感L_3用电视机中周改绕，调整磁芯可改变谐振频率，谐振后的电流40毫安左右。功放级的谐振电路调整C_{12}改变谐振频率，调好后电流200毫安左右。功放管BG_3的集电极处于地电位，为了保证良好的散热，把BG_3的集电极直接固定在发射机面板上。激励管BG_2的温升如果较高，也可加一小散热帽。发射机使用1/4波长中部加感鞭状天线。

图8.25与图8.26分别是高频电路与调制、编码电路印刷板图。组装时如发现高频电路对编码电路有干扰，可在两板之间加屏蔽。电路中的C_{40}、C_{42}等电容是为了防止这种干扰而加入的，也可作适当调整。

三、接收机

1. 组成及主要性能

接收机由高频电路、整形、放大及译码电路组成。方框图如8.27所示。其中高频电路包括高放、混频、本振、三级中放。限幅和鉴频电路。译码电路由同步分离、移位脉冲形成电路、移位寄存器所组成。接收机的主要性能如下：

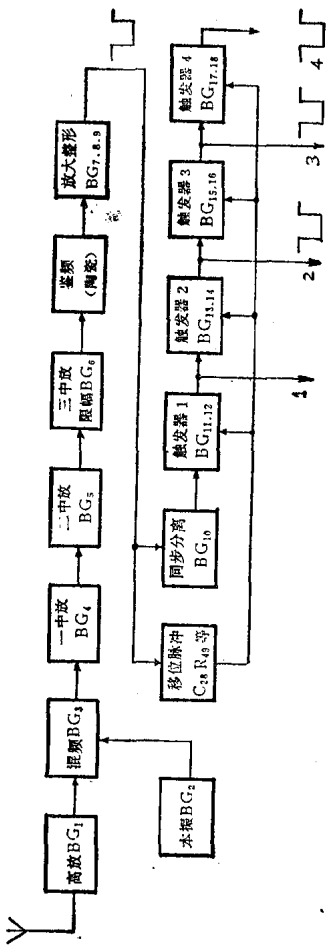


图 8.27 接收机方框图

接收频率 27.990MHz～28.000 MHz

本振频率 28.465 MHz

中频频率 470 kHz

灵敏度 ≤5微伏(译码电路正常工作)。

电源电压 6伏 耗电 10毫安 重量 60克

2. 原理简介

图 8.28 是接收机电路图。

由 BG_1组成的高频放大级用来放大天线送来的微弱信号，以提高接收机的灵敏度。本机采用共基高放电路，稳定性好。BG_2是本机振荡级产生 28.465 MHz 高频等幅信号；为使本振频率稳定，采用晶体稳频电容反馈三点式振荡器。高频信号与本振信号分别加到混频管BG_3的基极与发射极。

中频放大器对整机的灵敏度和选择性起决定性作用。本机的中放由BG_4～BG_6三级RC耦合放大器组成。第三中放兼限幅。为防止中放频率漂移，保证需要的宽带，除在中

放的输入及输出回路用 LC 选频外，又在第三中放发射极电阻上并联一只465 KHz 的陶瓷滤波器。第三中放是利用晶体三极管对较大的输入信号有饱和及截止切割的特性，使信号的输出幅度不能随输入信号的幅度线性增长，从而起到限幅作用。利用限幅器的特点，提高了调频接收机抗干扰的能力。

鉴频电路由陶瓷滤波器 LB_2、C_{16}、D_1、D_2等组成。这种鉴频器的灵敏度高，调试简便，其鉴频特性如图 8.29 所示。

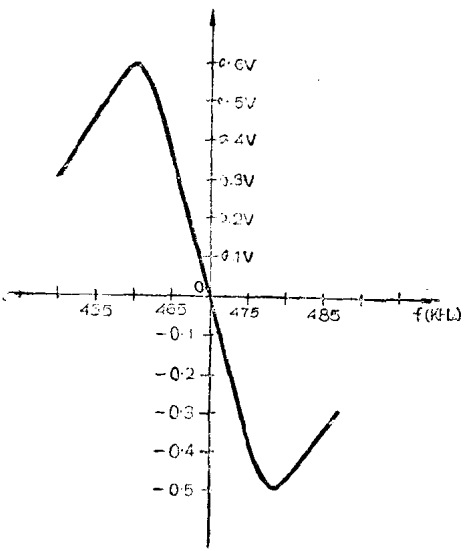


图 8.29　鉴频器特性

由 $BG_{7.8.9}$ 组成放大及整形电路。从 BG_9 集电极输出如图 8.30a 所示的比例脉冲序列，送到译码电路。

译码电码的帧同步分离由 BG_{10}、D_3、C_{29}等组成的鉴宽电路完成。移位脉冲形成电路由 C_{28}、R_{48}、R_{49} 组成。BG_{11}～BG_{18} 组成四位移位寄存器。译码电路的工作原理与“40 MHz 调频比例遥控设备”中的译码电路相同，但因输入及输出脉冲

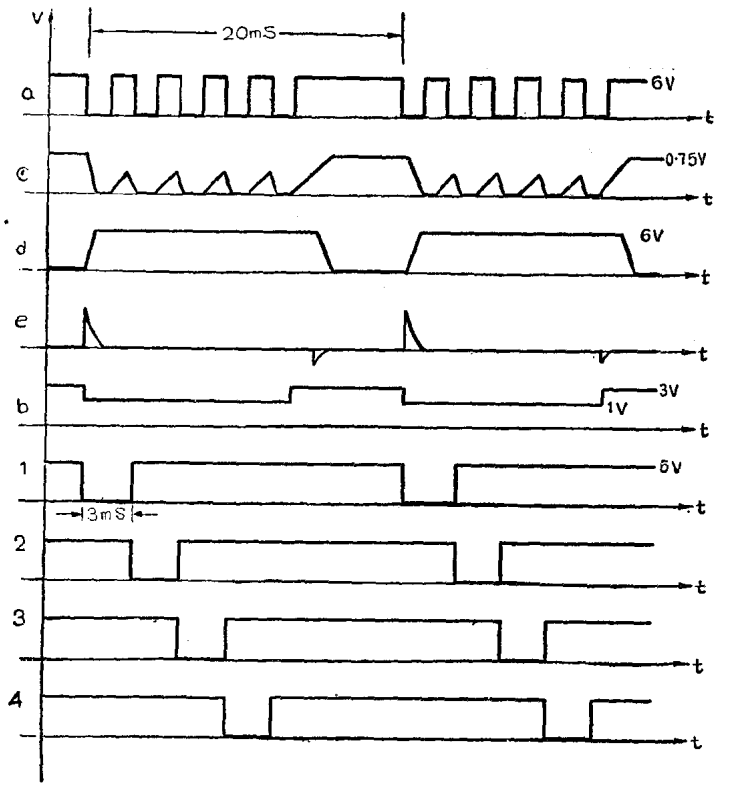


图 8.30 译码电路波形图

的极性不同，电路及各点波形也有所不同。“40 MHz 调频比例遥控设备”中的译码器是正脉冲译码器，本机是负脉冲译码器，输入及输出脉冲均是负脉冲。译码电路各点的波形示于图 8.30 中。

3. 元器件选择与调试

接收机元器件列于表 8.7 中。

表 8.7

代　号	规　　格	备　　注
C_1	CC 12-1-63 V-18 P	
C_2	CLX-63 V-0.01 μ	
C_3	CLX-63 V-0.01 μ	
C_4	CC 12-1-63 V-18 P	
C_5	CLX-63 V-0.01 μ	
C_6	CLX-63 V-0.01 μ	
C	CLX-63 V-0.01 μ	
C_8	CLX-63 V-0.033 μ	
C_9	CLX-63 V-0.033 μ	
C_{10}	CC 12-1-63 V-200 P	
C_{11}	CLX-63 V-0.033 μ	
C_{12}	CC 12-1-63 V-200 P	
C_{13}	CLX-63 V-0.033 μ	
C_{14}	CLX-63 V-0.033 μ	
C_{15}	CD 11-10 V-50 μ	
C_{16}	CLX-63 V-1200 P	
C_{17}	CLX-63 V-4700 P	
C_{18}	CC 12-1-63 V-12 P	
C_{19}	CC 12-1-63 V-30 P	
C_{20}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{21}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{22}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{23}	CD 11-10 V-4.7 μ	
C_{24}	CLX-63 V-0.033 μ	
C_{25}	CLX-63 V-0.033 μ	
C_{26}	CD 11-10 V-4.7 μ	
C_{27}	CD 11-6.3 V-100 μ	
C_{28}	CLX-63 V-5600 P	
C_{29}	CA 5-10 V-0.68 μ	微型钽电解电容
C_{30}	CLX-63 V-0.01 μ	

续表

代 号	规 格	备 注
C_{31}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{32}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{33}	CLX-63 V-0.01 μ	
C_{34}	CLX-63 V-0.033 μ	
R_1	RTX-0.125 W-6.8 K	
R_2	RTX-0.125 W-10 K	
R_3	RTX-0.125 W-43 K	由调整决定
R_4	RTX-0.125 W-1 K	
R_5	RTX-0.125 W-6.8 K	
R_6	RTX-0.125 W-39 K	由调整决定
R_7	RTX-0.125 W-1 K	
R_8	RTX-0.125 W-1 K	
R_9	RTX-0.125 W-6.8 K	
R_{10}	RTX-0.125 W-18 K	由调整决定
R_{11}	RTX-0.125 W-1.2 K	
R_{12}	RTX-0.125 W-330 Ω	
R_{13}	RTX-0.125 W-6.8 K	
R_{14}	RTX-0.125 W-24 K	由调整决定
R_{15}	RTX-0.125 W-330 Ω	
R_{16}	RTX-0.125 W-1.2 K	
R_{17}	RTX-0.125 W-3.3 K	
R_{18}	RTX-0.125 W-10 K	由调整决定
R_{19}	RTX-0.125 W-510 Ω	
R_{20}	RTX-0.125 W-430 Ω	
R_{21}	RTX-0.125 W-220 Ω	
R_{22}	RTX-0.125 W-10 K	
R_{23}	RTX-0.125 W-10 K	
R_{24}	RTX-0.125 W-1.2 K	
R_{25}	RTX-0.125 W-10 K	由调整决定
R_{26}	RTX-0.125 W-6.8 K	

续表

代 号	规 格	备 注
R_{27}	RTX-0.125 W-1.2 K	
R_{28}	RTX-0.125 W-430 Ω	
R_{29}	RTX-0.125 W-26 K	由调整决定
R_{30}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{31}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{32}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{33}	RTX-0.125 W-8.2 K	
R_{34}	RTX-0.125 W-5.1 K	
R_{35}	RTX-0.125 W-100 K	
R_{36}	RTX-0.125 W-10 K	
R_{37}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{38}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{39}	RTX-0.125 W-10 K	
R_{40}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{41}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{42}	RTX-0.125W-10K	
R_{43}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{44}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{45}	RTX-0.125 W-10 K	
R_{46}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{47}	RTX-0.125 W-4.7 K	
R_{48}	RTX-0.125 W-3.3 K	
R_{49}	RTX-0.125 W-3.3 K	
$D_{1,2}$	2 AP 9	
D_{3-6}	2 AK 03	
BG_{1-3}	3 DG 11 B	$f_T \geqslant 500$ MHz $\beta = 60$
BG_{4-6}	3 DG3 B	超小型陶瓷封装
BG_{7-9}	3 DK 7	超小型陶瓷封装 $\beta = 100$
$BG_{10,12}$ $BG_{14,16,18}$	3 DK 7	超小型陶瓷封装 $\beta = 70$

续表

代 号	规 格	备 注
$BG_{11,13}$ $BG_{15,17}$	3 CG 1	超小型陶瓷封装 $\beta=70$
L_1	10 K 型中周，线径 ϕ0.21 初级 12^T、9^T 抽头，次级 4^T	
L_2	10 K 型中周，线径 ϕ0.21 初级 12^T次级 4^T	
L_3	同 上	
L_4	广州704型中周	
L_5	同 上	
$LB_{1,2}$	2 L-465	陶瓷滤波器
JT	JA 12 B	28.465 MHz

高放级的调谐电感均用电视中周改绕，调谐振时，只要调电感磁芯即可。因共基极电路的输入阻抗低，在 L_1 的次级抽头，以实现阻抗匹配。调 R_3 使本级电流在 0.5 毫安左右。本机振荡器 BG_2的电流调到 1 毫安；调试方法与发射机主振级相同。本振信号经 L_3 次级和 C_{22} 加到混频管 BG_3 的发射极，信号电压 100 毫伏左右。混频级电流 0.3 毫安。

中放管 BG_4、BG_5 的电流应调到 1 毫安，BG_6 电流 2 毫安。调试时可用信号发生器(如XFG-7)从BG_4基极注入信号，在 L_5 的次级用示波器观察调试效果。调中周的磁芯，使 465 kHz 及 475 kHz 频率的信号有相同的增益和输出最大的幅度。为防止中放自激，信号发生器及示波器接到印制板上的引线要尽量短，或串接几十千欧的电阻。为减小第三中放管BG_6的动态范围，较好地起到限幅作用，发射极电阻 R_{19} 及退耦电阻 R_{20} 都选得较大。

鉴频器的中心频率应调在 470 kHz；如频率不准，可适当改变 C_{16}数值。放大及整形部分的调试，主要调 BG_7 的工作点

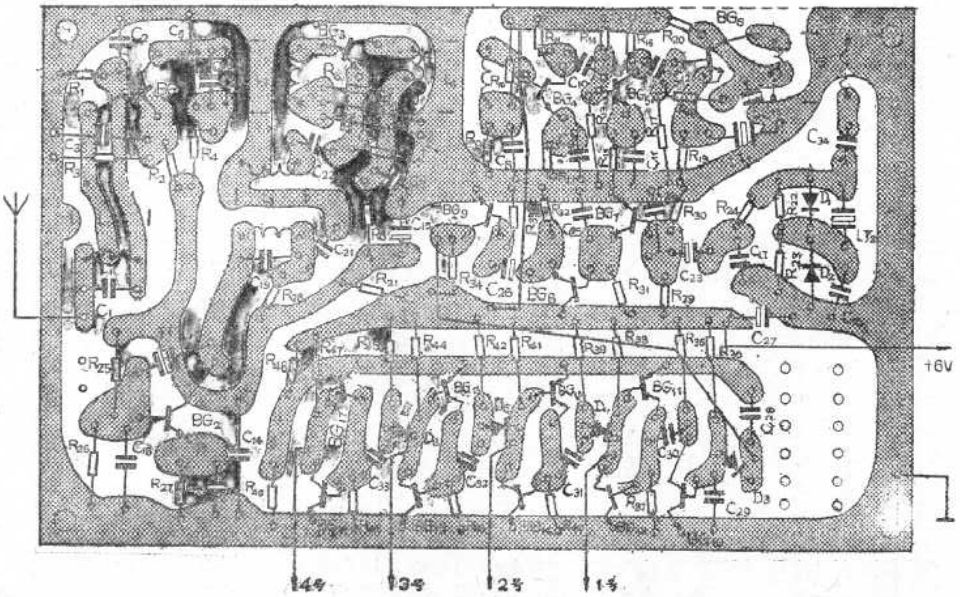


图 8.31 接收机印刷板图

R_{29}。要在输入信号较弱的情况下调 R_{29}，使放大器最后一级 BG_9 的输出如图 8.30a 所示。

帧同步分离级 BG_{10} 的基极和集电极波形应如图 8.30c、d 所示，如不符，可适当调整 C_{29} 或 R_{35}。译码电路的调试，可参照“40 MHz 调频比例遥控设备”调试方法进行。

接收机的印刷板图如图 8.31 所示。

四、舵　机

该设备所用舵机与“40 MHz 调频比例遥控设备”的舵机基本相同，只是译码电路输出的指令脉冲是负脉冲，不能直接送到舵机电路。将舵机电路输入端的倒相器改为射极输出器，其他电路不变，即可使用。

第三节　CMOS 七路遥控设备

一、概　况

前两节介绍的遥控设备，编码电路与译码电路均用分立件组成。本节遥控设备的编码电路与译码电路用 CMOS 集成电路组成，可靠性较高，并且功耗小，调试简便；其缺点是成本较高，所用器材的购置也不如分立件方便。

本设备是七路脉位调制遥控设备，不仅能实现七路开关型控制，也可以很方便地改为比例型控制，或者某几路是开关型，剩余几路为比例型。当作为开关型设备使用时，接收机是继电器接点输出，作为比例型设备使用时，接收机输出的指令

脉冲送到舵机，实现比例操纵。本文以开关型设备的电路进行介绍，附有改为比例型的办法。

设备采用了低功耗、抗干扰能力强的CMOS集成电路，在电路上采取了指令数目校核、指令积累、鉴幅等抗干扰电路，因此具有抗干扰能力强、功耗小的特点。这种设备除用于操纵模型外，也可以用来控制塔吊，天车等。

发射机与接收机的高频电路可用前两节中介绍过的任一种。下面介绍发射机的编码电路与接收机的译码电路。

二、发射机编码电路

编码电路的方框图、电路图和波形图分别如图8.32、图8.33、图8.34所示。

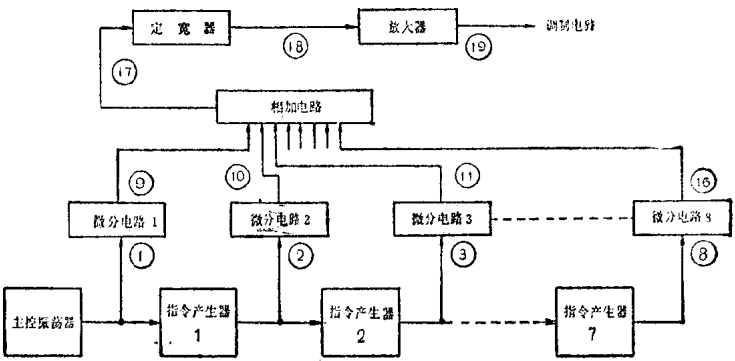


图 8.32 编码电路方框图

电路由三块C003及外配的阻容元件构成。电源电压10伏，电流0.3毫安。

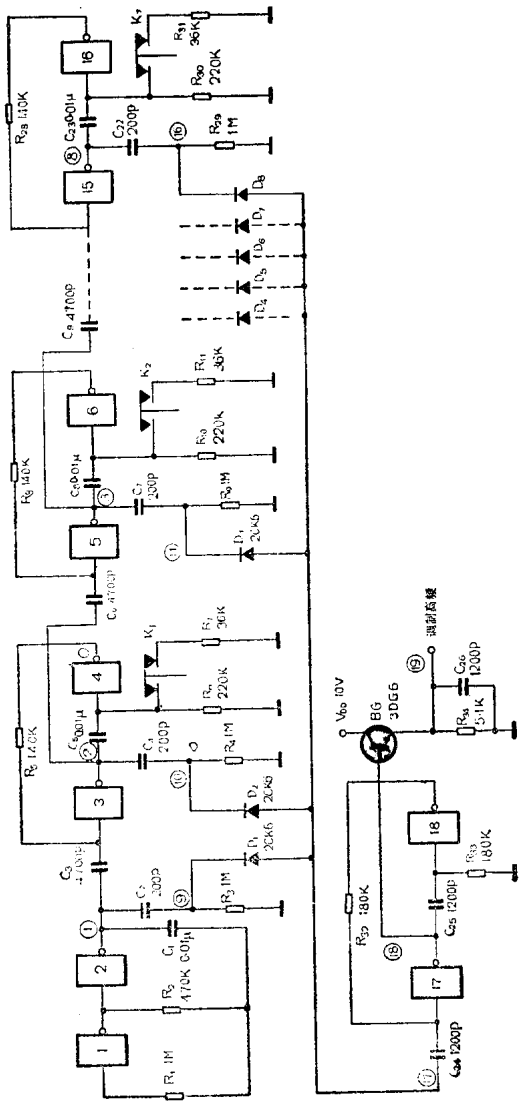


图 8.33 编码电路的电路图

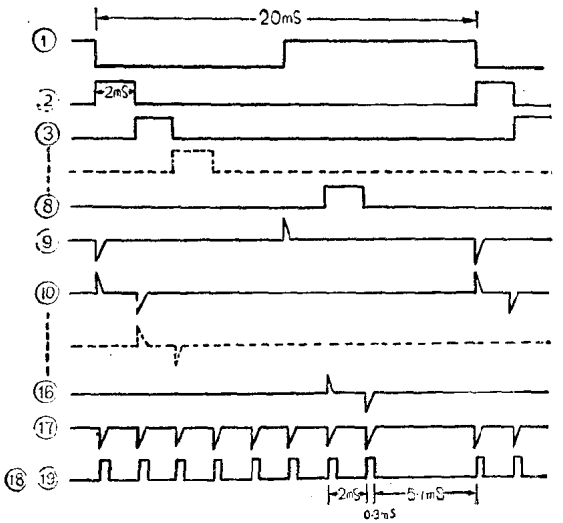


图 8.34 编码电路波形图

1. 主控振荡器

主控振荡器用来产生主控脉冲，是一个多谐振荡器，由二个门及 R_1、R_2、C_1 构成。振荡器产生 20 毫秒的方波，作为系统的时间基准。方波的周期可通过调整 R_2 达到要求。

2. 指令脉冲产生器

七路指令脉冲是七组串接的单稳态电路产生的。通过电容 C_3，第一组单稳态电路被主控脉冲的下跳沿触发，输出正脉冲，这个正脉冲就是第一路指令脉冲。该脉冲的下跳沿又去触发第二组单稳态电路，产生第二路指令脉冲。这样，依次产生后几路的指令脉冲。第七路指令脉冲产生后，电路进入静止状

态，直到主控脉冲下跳沿再到来时，又依次产生七个指令脉冲。

对脉冲的宽度调制，是靠改变单稳定时回路的电阻实现的。下面以第一组单稳为例说明：这组单稳由门$_3$及门$_4$组成。当操纵开关K_1未按下时，电阻值是R_6与R_7并联值，单稳电路产生0.6毫秒的脉冲，表示没有指令发出。操纵开关K_1按下时，定时电路电阻值即变为R_6，脉冲宽度也相应变为2毫秒，表示发出指令。图8.34波形中各路波形均为2毫秒，是有指令时的宽度。

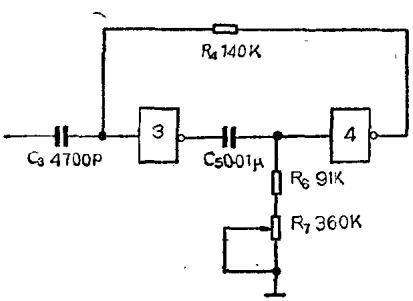


图 8.35 比例电路图

如果要得到比例操纵的连续指令，可把单稳改为图8.35电路，R_6与R_7串连，并把R_7改为电位器，电位器用360千欧的，旋转90°时阻值变化0～125千欧，脉冲宽度可由1毫秒连续变到2毫秒。这个宽度变化符合JR比例设备舵机的要求(±0.35±0.15毫秒)，可与JR舵机配套。

3．微分、相加电路

电路中有8组相同的微分电路，分别接到主控振荡器及各路单稳电路的输出端，取出脉冲的前后沿。相加电路是由D_1至D_8组成的或门，把主控脉冲和指令脉冲的负跳变选出来，成为图8.34⑰所示的尖脉冲序列，实现了脉冲位置调制。

4. 定宽、调制放大电路

定宽电路是由门 17、18 组成的单稳电路，其作用是把相加器送来的尖脉冲变为宽度均是 0.3 毫秒的正脉冲，形成所需要的脉冲序列。调制放大器是一个射极输出器，它把编码电路与高频通道隔离，并增加带负载的能力，其输出对发射机高频电路调制。

三、接收机译码及放大电路

译码及放大电路的方框图、电路图及波形图分别如图 8.36、图 8.37、图 8.38 所示。

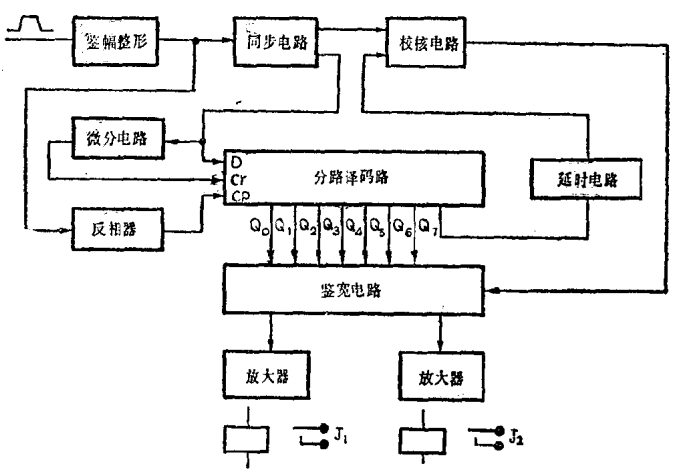


图 8.36 译码及放大电路方框图

由于模型的载重能力及容积所限，接收机均用低压供电，常用的是 4.8 伏或 6 伏，本机用 6 伏，无指令时，七组放大器

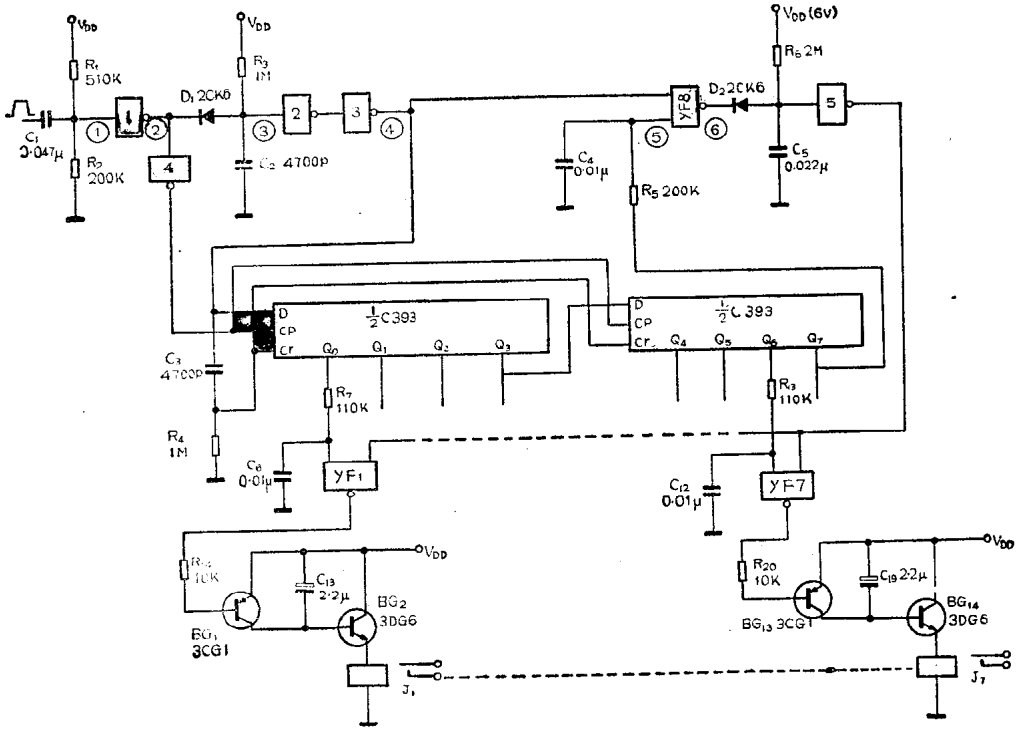


图 8.37 译码及放大电路图

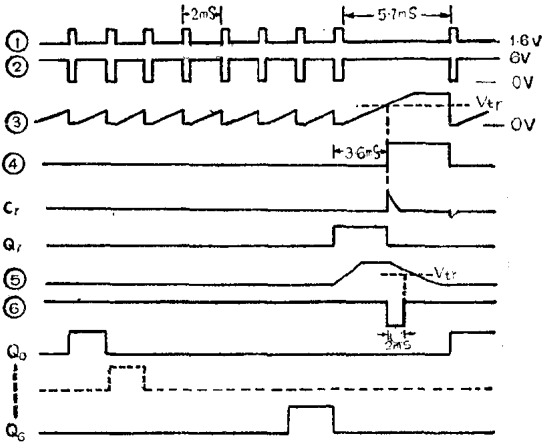


图 8.38 译码及放大电路波形图

均处截止状态，总耗电仅为 0.3 毫安，功耗极小。

本机使用一块 C003、一块 C393、二块 C006 共三种集成电路。按部标型号规定，这三种集成电路的电源电压范围是 8 伏至 12 伏，因此要经筛选（工作电压最低的可到 5.3伏）。若将上面三种集成电路改为 C033、C423、C036，电压性能将更理想。

1. 鉴幅、整形电路

电路由 R_1、R_2 及门$_1$组成。从接收机低放送来的信号带有噪音，波形也不会太好，通过调 R_1 可抑制噪音，输出有用的信号。R_1 偏大时抑制噪音的能力强，但接收机的灵敏度会受影响，要适当调整。门$_1$还起到整形的作用。

2. 同步电路

本机采用空隙式同步。从波形图可看出，两脉冲组之间的最小间隙为5.7毫秒，同组脉冲之间的最大间隙为1.7毫秒，两脉冲组之间的间隔，远大于同组脉冲中两相邻脉冲的间隔。利用这个特征可分离出同步信号，达到同步的目的。同步电路由门$_2$、门$_3$、D_1、R_3及C_2组成，是一个宽度鉴别电路，宽度大于3.6毫秒的正脉冲被鉴别出来，输出正的同步脉冲，这一过程如图8.38②～④所示。

3. 分路译码器

分路译码器的作用是把七路指令按顺序分开。从波形图可看出，分路译码器Q_0输出的脉冲宽度，是比例脉冲序列中第一与第二个脉冲之间的间隔，这个间隔就是第一路指令脉冲的宽度；Q_1输出的脉冲宽度是第二与第三个脉冲的间隔，是第二路指令脉冲的宽度；依此类推，Q_6输出第七路指令脉冲。分路译码器的功能由一块双四移位寄存器C393完成，C393的外引线图见图8.39。

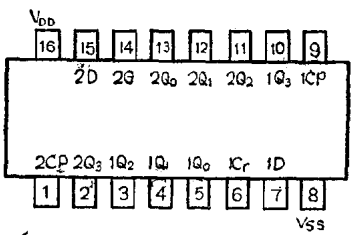


图 8.39 C 393 外引线图

同步脉冲经R_4、C_3微分电路加到寄存器的C_r端。同步脉冲还加到第一级寄存器的D端。Q_3接到第二级寄存器的D端。这样，从CP端每输入一个脉冲“1”向右移一位，从寄存器输出端就顺序输出各路指令。

4．指令数目校核电路

指令数目校核是本机采取的主要抗干扰措施。指令数目正确时，门$_5$输出高电平，使被控与非门 YF_1 至 YF_7 能有指令输出。当因干扰造成指令混乱，脉冲数目大于或小于 8 个时，门$_5$输出端变为“0”，使被控与非门 YF_1 至 YF_7 均不能输出指令，七组放大器均不工作。这样就能有效地消除干扰造成的误动作。

校核电路由移位寄存器的第八位，YF_8 及门$_5$等组成。脉冲序列中第八个脉冲到来后，Q_7 为“1”，经 R_5、C_4 延时加到 YF_8，YF_8 另一输入端加入同步脉冲。YF_8 输出一个 2 毫秒的校核脉冲。R_6、C_5、D_2 及门$_5$组成延时扩展电路。

5．鉴宽电路

鉴宽电路由二输入端与非门 YF_1 至 YF_7 及 RC 积分电路组成。它的作用有二：一是鉴别指令，二是作为控制门被校核电路控制。以第一路为例，当发射机的操纵开关 K_1 没有按下时，发出的是 0.6 毫秒的窄脉冲，经 R_7、C_6 积分电路，达不到与非门的转换电平 U_{tr}，YF_1 无输出；按下 K_1，发出 2 毫秒脉冲时，经 R_7，C_6 积分电路，电平达到 U_{tr}，YF_1 有输出。这样便实现了对宽窄脉冲的鉴别。YF_1 的另一输入端为校核电路控制。脉冲数目不对时，即便有 2 毫秒的宽脉冲输入，YF_1 也无输出，起到抗干扰作用。

6．执行放大器

共有七组电路完全相同的执行放大器。每组执行放大器均由一只 NPN 管和一只 PNP 管组成。

下面以 BG_1、BG_2 组成的第一组放大器说明：无指令脉冲时，两管均截止，耗电仅为管子的漏电流；有指令脉冲时，YF_1 输出负脉冲。使 BG_1 和 BG_2 均导通，有 20 毫安电流通过继电器 J_1 绕组。由 J_1 的触点去控制被控电路。电容 C_{13} 起到指令积累作用，只有连续收到几次指令，才能使 BG_2 导通，J_1 吸合，提高抗干扰能力。

如果该设备用于比例操纵，要由 C 393 的 Q_0～Q_6 端输出到舵机。

四、电路调试要点

调试发射机时，有可能出现高频电路对编码电路的干扰问题，尤其高频功率较大时更为明显。这一问题可用两种办法解决。一是把编码电路板放于屏蔽盒内，另一办法是电路中加入隔离措施，把编码电路的输出端接几十微亨的小电感，再去调制高频。高频电路与编码电路共用一组电源时，编码电路的电源应接高频退耦电路。

接收机的通道和译码电路相接时，要调整鉴幅电路的电阻 R_1，使噪音不进入译码电路。电容 C_{13} 至 C_{19} 用 CA_5 型钽电解电容，继电器 J_1 至 J_7 用 JRC-5 M 型继电器。

第九章　应 用 实 例

在工农业生产、国防建设以及人们的生活中，都离不开遥控技术，应用实例很多。本章介绍的三个实例中，前两个是较简单的操纵汽车及飞机模型的例子，可供爱好者参考制作；第三个例子是在军事训练及工农业生产中实用的遥控设备。

第一节　遥控汽车模型

一、概　述

遥控汽车模型是青少年所喜爱的遥控项目，爱好者自制以及商品的遥控汽车模型品种很多，各有特色，本节遥控汽车模型所使用的发射机与接收机，可配用前面介绍的比例设备的舵机，通过改变发射机高频电路的间隙时间，实现模型转向的比例操纵。关掉发射机后，模型即自动停车。这种设备只有一个通道，就完成了转向的比例操纵及进车与停车控制，比时分制比例遥控设备简单。

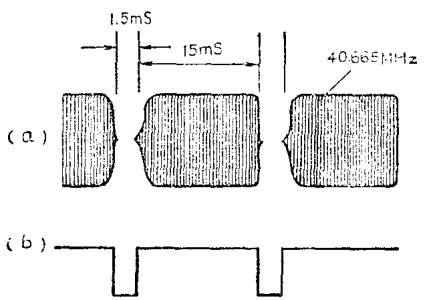


图 9.1　发射机发射高频信号波形图

遥控设备工作频率 40.665 MHz，控制距离 20 米左右。在发射机的顶盖及面板上分别装有电源开关及操纵杆，打开电源开关，发射机的高频电路工作，发出如图 9.1 (a) 所示的高频信号。接收机收到信号后，接通主机电源，模型向前行驶。改变操纵杆的角度，即相应改变了高频间隙工作的时间，使送到舵机电路中的脉冲宽度改变，舵机转动的角度随之变化，实现比例操纵。

遥控汽车由发射机、接收机、舵机、主机以及车体所组成。

二、发射机与接收机

1. 发射机

发射机由压控多谐振荡器、调制器及高频电路所组成，见方框图 9.2 及电路图 9.3。多谐振荡器由 BG_1 及 BG_2 组成。BG_2 的截止时间主要决定于 R_3、C_2，其值为 15 毫秒左右。BG_2 的导通时间主要决定于 WC_3，通过调 W，可使 BG_2 的导通时间在 1.5±0.5 毫秒范围内变化。这样，从 BG_2 的集电极得

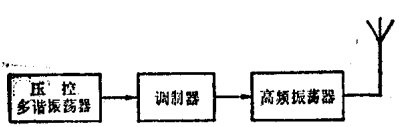


图 9.2 发射机方框图

到宽度为 15 毫秒、间隙为 1.5±0.5 毫秒的正脉冲，如图 9.1 (b)所示。调制器 BG_3 是射极跟随器，用来控制高频电路的工作。高频电路是由 BG_4、L、C_6 等组成的振荡器，由 40.665

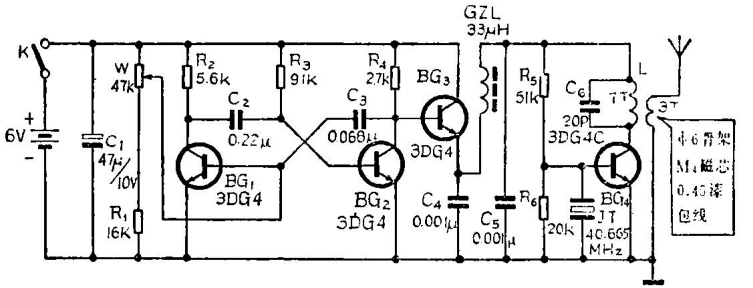


图 9.3　发射机电路图

MHz 的晶体稳频。当 BG_2 截止时，BG_4 工作，BG_2 导通时 BG_4 停振。从 L 的次级即得到图 9.1(a)的高频信号。

调试多谐振荡器时，若 BG_2 的导通时间不在 1.5 ± 0.5 毫秒范围内，可改变 C_3 或 W 数值。高频振荡器的调试可参照第二章介绍的方法进行。发射机由 6 伏积层电池供电，调试正常后电流 9 毫安。

电位器 W 要选用小型线性电位器，$BG_1\sim BG_4$ β 值均为 60 左右。发射机的印刷电路板见图 9.4，电位器 W、6 伏积层电

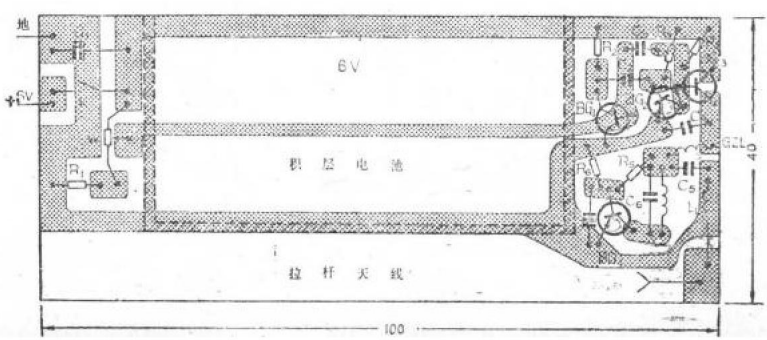


图 9.4　发射机印刷电路板图

池及天线（1 米长拉杆）均直接安装在印刷电路板上。印刷电路板固定在 106 × 46 × 25 毫米的有机玻璃盒内。

2. 接收机

接收机的方框图见图 9.5。图中的高频电路是用第八章图 8.11 电路，由 C_{31} 输出，将解调后的信号送到低频放大、整形及直流放大电路。低放、整形及直流放大电路见图 9.6，图中 BG_1 是低频放大级。放大后的信号经 R_3、C_2、C_3 组成的滤

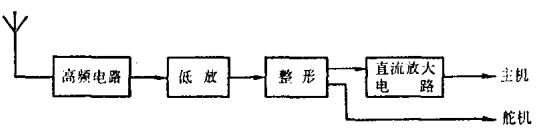


图 9.5 接收机方框图

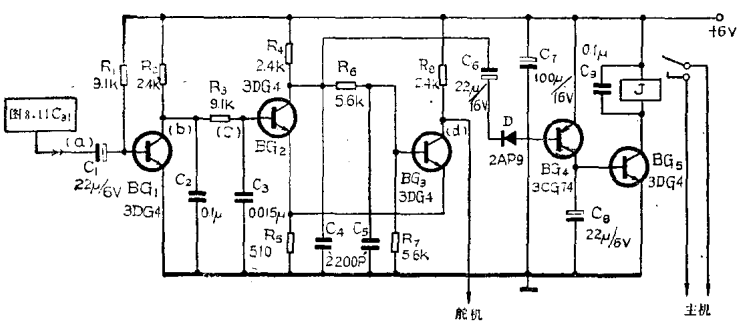


图 9.6 接收机电路图

波器送到整形电路。整形电路是由 BG_2 及 BG_3 组成的斯密特触发器，由 BG_3 输出正向脉冲送到舵机电路。BG_4 及 BG_5 是直流放大电路，收到发射机信号后，BG_5 导通，经继电器控制主机运转。图 9.7 是接收机电路中相应点的信号波形图。

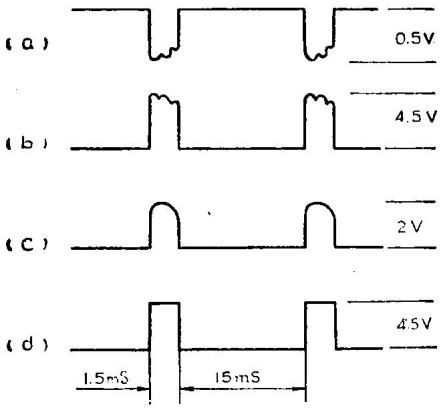


图 9.7　接收机中相应点信号波形图

接收机高频部分的电路调试第八章中已有介绍，所不同的是要通过调鉴频线圈使鉴频输出为图 9.7(a) 所示的负脉冲。斯密特整形电路中的 C_4 与 C_5 起到防止输出波形抖动的作用。电容 C_1 是为配用其他高频电路时而加入的，由于图 8.11 电路中已有交联电容 C_{31}，C_1 也可以不要。

图 9.8 是图 9.6 电路的印刷电路板图，尺寸与图 8.11 所示高频电路的印刷板相同，以便于两块板叠放在有机玻璃盒

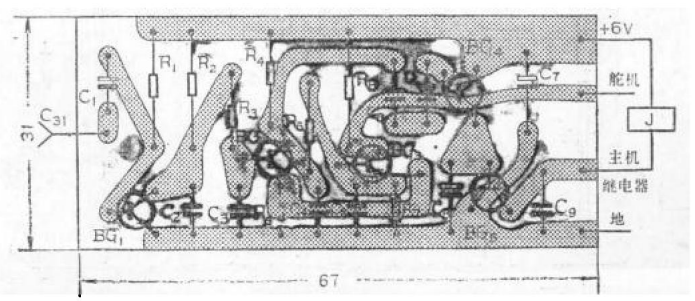


图 9.8　接收机印刷电路板图

内。继电器的型号是 JRC-5 M，不放置在图 9.8 的印刷板上，而放置在主机附近。

三、舵机与主机

本模型使用第八章第一节中所介绍的舵机，由 BG_3 输出的 1.5±0.5 毫秒正极性脉冲符合该舵机电路的要求，舵机电路、传动齿轮以及舵机的调试组装可参看第八章第一节。舵机与接收机共用一组电源，由四节五号电池供电。

主机用 131 型玩具电机，经一级 1:10 减速后，带动模型的后轮转动。减速齿轮可用钟表或玩具车上的齿轮。主机电源用 2 节一号电池，为减小主机对接收机的干扰，在主机电源进线端并接 0.1～0.68 微法电容。

四、车　体

车体由底盘及车壳组成。底盘用 1.5 毫米厚的铝板制成，

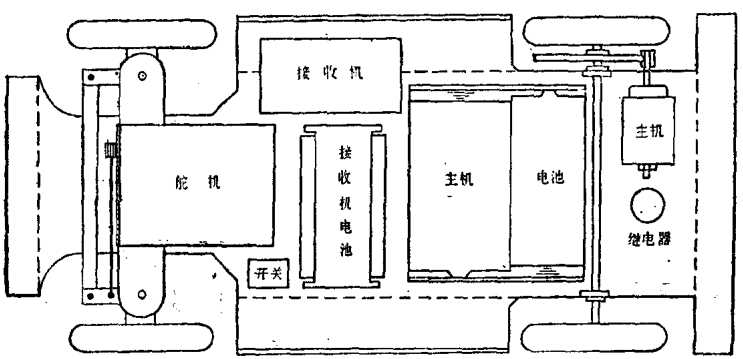


图 9.9　底盘及主要部件安装位置示意图

主机、舵机、接收机及电池等主要部件在底盘上的位置见图9.9。车壳用市售的玩具吉普车外壳。

第二节　单通道遥控模型飞机

一、概　述

遥控模型飞机的种类很多，以所用遥控设备的不同分类，可分为单通道、多通道及比例遥控模型飞机。遥控模型飞机在天上飞行，比操纵模型汽车或舰船在地面或水面上运动，技术上要困难一些。为使初学遥控的爱好者易于掌握，本节介绍一种最简单的遥控模型飞机——单通道遥控模型飞机。这架单通道遥控模型飞机由于采用气动式执行机构，成本较低，模型也可以较小，较轻，适合在业余条件下制作。

普通的模型飞机上可供操纵的有方向舵、升降舵、副翼及发动机油门等调节机构，如图9.10所示，由于单通道遥控模型飞机所用的是单通道遥控设备，仅有一个控制指令，通常用来操纵方向舵。在不发指令时，方向舵应停在偏离中立位置的某一角度；例如偏左，模型飞机向左飞行。发指令时，舵面变为偏右，模型飞机便向右转。间断的发出指令，模型飞机就可以近似

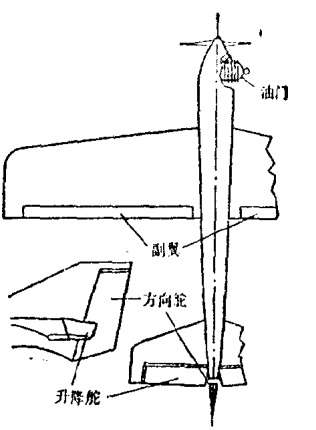


图 9.10　模型飞机的调节机构示意图

地作直线飞行。

一架遥控模型飞机主要由发动机、模型飞机机体及遥控设备三部分组成。本模型所用的发动机是1.5CC压燃式。模型飞机机体的主要数据及三面图见图9.11。有关发动机及机

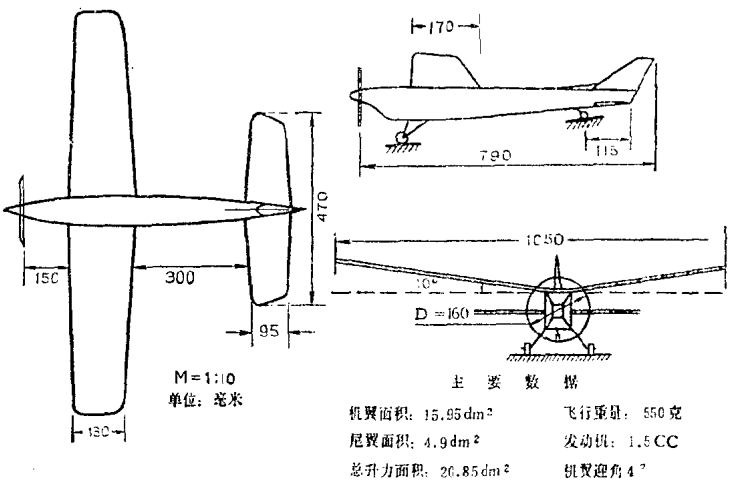


图 9.11 模型飞机三面图

体的原理、制作与调试不属本书范围，下面主要介绍本模型遥控设备的原理、制作及在模型上的安装与调试。

二、遥控设备的原理与制作

遥控设备由发射机、接收机及气动式执行机构组成，如图9.12所示。操纵者按下发射机的微动开关，控制指令便发送出来，经接收机接收与放大，送到气动执行机构。气动执行机构包括电磁气阀，储气柜、薄膜作动筒、单向阀及塑料管等部

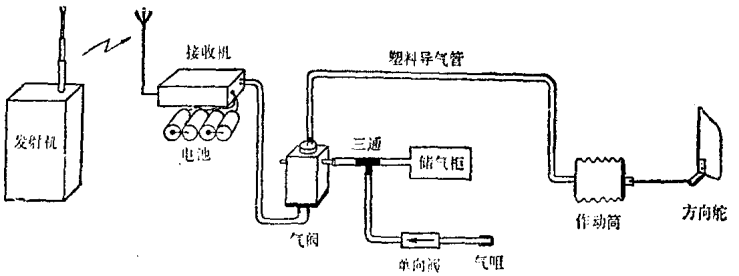


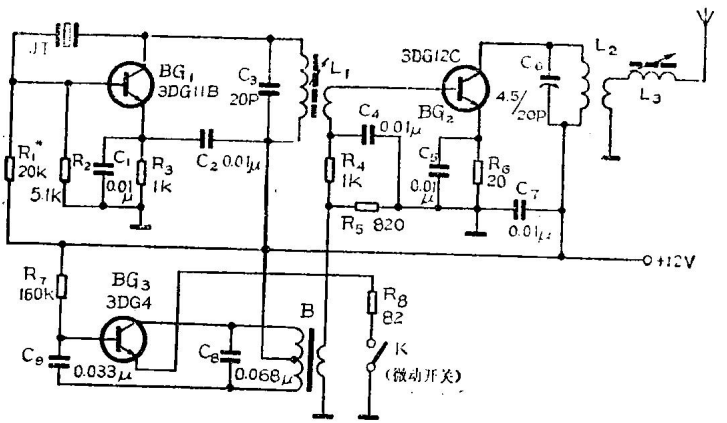
图 9.12 遥控设备示意图

件。预先用气筒经气嘴及单向阀把气打进储气柜，使储气柜内存有正压气体。当接收机收到指令信号时，电磁气阀的衔铁被吸动，储气柜到薄膜作动筒的气路接通，在气体压力的作用下，作动筒的橡皮薄膜向外扩张，即能带动连杆使舵面转动。

1．发射机与接收机

发射机电路见图 9.13。BG_1 是高频主振级，工作在 27 MHz 频段。BG_2 是高频功率输出级，调制信号加在本级的基极，实现幅度调制。BG_3 是自感式音频振荡器，产生 500 Hz 的音频信号，经变压器 B 的次级加到 BG_2 的基极。

发射机各级的调试，可参照本书第二章介绍的方法进行。本机采用基极调制方式，调试发射机时要特别注意调制信号的幅度。调制信号过大，不仅产生较大的失真，还会使发射机输出功率明显减小，调制信号过小，调制深度不够，控制距离受影响。调试正常后，不按下操纵开关（无调制）时的电流为 30 毫安左右，按下操纵开关后，电流应降为 25 毫安左右。如果电流下降过多，可适当减小 R_5 或加大 R_8 阻值，反之则要加大 R_5 或减小 R_8 阻值。



L_1：φ5骨架　φ0.23漆包线　NXD 20磁芯　初级15圈　次级4圈

L_2：φ15内径　φ1　漆包线　初级11圈　次级4圈

L_3：φ8骨架　φ0.23漆包线　NXD 20磁芯 8圈

图 9.13　发射机电路图

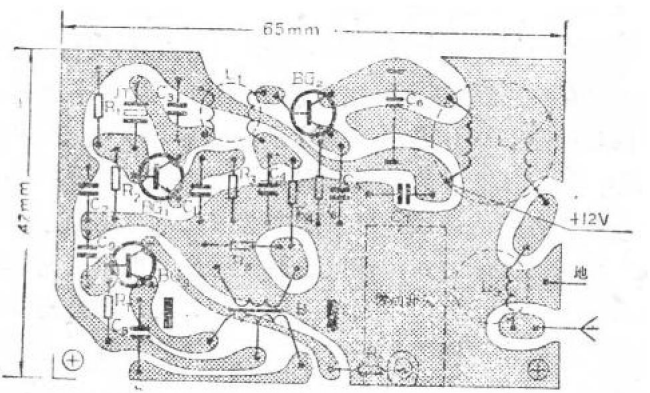


图 9.14　发射机印刷板图

图 9.14 是发射机印刷板图。电感 L_1、L_2、L_3 均需自制，数据见电路图所示，其中 L_3 是天线加感线圈，所用天线长度

为 1.3 米。变压器 B 的阻抗为 2 千欧(初级):500 欧 (次级),自制时可用半导体收音机变压器铁心,ϕ 0.07 毫米漆包线,初级绕 2×1000 圈,次级为 500 圈。

所用接收机是第七章图 7.9 电路,这里不再重复。

2. 执行机构

电磁铁式的执行机构耗电较大,除了接收机电源外,还需一组电源专供电磁线圈,使设备的重量增加;电动机式的执行机构优点较多,但又不易购到较好的电机和自制出较好的减速机构。和上述两种执行机构比较,本模型所用的简易气动执行机构不仅重量较轻,也适合业余爱好者自制。其不足之处是储气柜容积较小,所能控制的动作次数有限,约能作 200 次动作。因此,模型在空中飞行的时间不能太长。

执行机构中的主要部件均可自制。储气柜由儿童玩具的长气球制成。为了增加收缩压力,要用两个气球套在一起,为了防止打气过多将气球打爆,把气球放在用布缝制的长形口袋内,气球和布袋的口牢扎在细铜管上,再将铜管插到塑料气管内,使储气柜接到气路中,起到储气的作用。作动筒是自制的橡皮作动筒,主要由橡皮膜及底托制成,自制时可参考图 6.21 薄膜作动筒的结构。橡皮膜用玩具气球皮即可,把连杆(ϕ 1 的钢丝)捆在气球皮上,再将气球皮捆在作动筒底托上。作动筒底托用 ϕ 30 左右的金属瓶盖(最好用铁瓶盖),在瓶盖上打一小孔,焊上一小段 ϕ 3 的铜管,铜管插到塑料气管内,使作动筒与气路连接。气阀最好使用航模靶机上用的气阀,如无这种气阀,可用小型灵敏继电器改制。自制时可参考图 6.18 所示的气阀,在继电器衔铁头部套上橡皮堵头,用来堵好 1 号或 2 号气嘴。三个气嘴均用细铜管焊在气阀外壳上制成,1 号及 2

号气嘴的头要磨平整。气阀的外壳由铜皮或罐头铁皮制成，用锡焊好，防止漏气。单向阀的作用与自行车的“气门嘴”相同，只许气体压入气柜内，不许倒流。单向阀主要由外壳及橡皮薄膜制成，见图 9.15。

以上各部件通过塑料气管联成一个整体，塑料气管用管壁较厚的聚氯乙烯管。

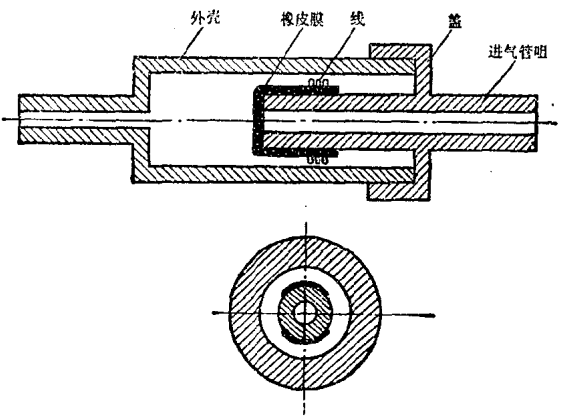


图 9.15 单向阀结构

三、遥控设备在模型上的安装与调试

1. 安装

接收机及执行机构在模型上的安装见图 9.16。安装时应注意设备的减振、模型的重心及维修调试方便等几个方面的问题。

模型的发动机振动较大，接收机及气阀要有减振措施。办

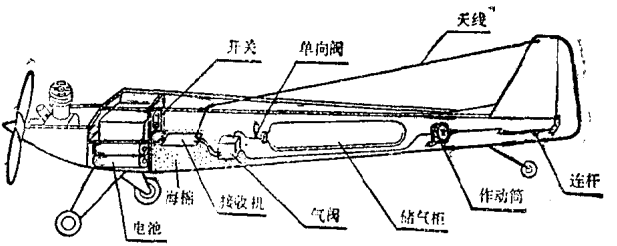


图 9.16　遥控设备在模型上的安装示意图

法是用厚度适当的泡沫塑料将接收机及气阀分别包好，放入机仓里，靠泡沫塑料的挤压使接收机及气阀固定。接收机由四节五号电池供电，电池用薄泡沫塑料包好，挤入油箱下面。储气柜放置在气阀的后面，充气后由机仓的隔框限位。作动筒，电源开关均按 9.16 所示位置固定在机身上。

安装上述设备后，如果模型的重心位置不对，则应适当前后移动电池和接收机等部件的位置，使重心达到要求，重心位置应在翼弦的 30%至 35%位置处，如图 9.17 所示。

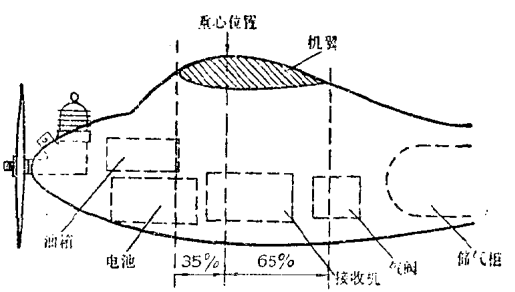


图 9.17　重心位置

2. 试飞前的调试

调试好的接收机及执行机构安装在模型上以后，还要联调后才能试飞。试飞前的联调主要包括控制距离实验、振动实验及舵面反应速度的调整。

控制距离实验是测试发射机能可靠地控制模型舵面的最远距离。作距离实验时，发射机由操纵者手持，模型飞机放置在地面上，发射机与模型之间应是无障碍物且平坦的开阔地。因本模型较小，飞行距离不太远，在地面做距离实验时有 300 米的控制距离即可。如果地面控制距离不够，就应再调试发射机或接收机。

振动实验是发动机开动后，在振动条件下，看遥控设备能否正常工作，如果发现有"跳舵"等不正常现象，就要改进接收机及气阀等部件的减振措施。

舵面反应速度的调整在储气柜打好气以后进行。向储气柜打气时注意不要打气过多，将储气柜打爆，能操纵舵面动作 200 次左右即可。舵面由中立位置偏转到极限位置所需时间应在 0.5～1 秒之间，如果动作速度过慢，要换弹性大的气球，加大储气柜内气体的压力；如果动作速度过快，则应在气路中加毛细管阻流。

以上调试结束后，在模型及发动机均已调好的情况下，就可以试飞了。

第三节　遥控起倒靶

一、概　述

起倒靶是射击训练中必不可少的装备。在军事训练中使用遥控的起倒靶，通过无线电遥控设备操纵靶标的起与倒，可以提高训练效率（见图 9.18）。遥控起倒靶由遥控设备、执行机构及靶标所组成。遥控发射机由教练员携带，根据训练的需要，可随时发出起、倒或其他有关指令。遥控接收机收到指令后，相应的继电器工作，进而控制气阀，使相应的作动筒动作，带动靶标起或倒。其气动执行机构与前节介绍的遥控模型飞机的执行机构相同，只不过功率要大得多。有关靶标及大功率执行机构的制作介绍超出本书内容。下面主要介绍起倒靶遥控设备的特点与工作原理。

二、遥控设备的特点

与前面所介绍的主要用于遥控模型的设备相比，这套遥控设备比较复杂，所用的元器件也较多；但具有抗干扰能力强、可靠性高及控制距离远的特点。该设备除用于起倒靶外，还可遥控靶机、靶船以及对油井、机井、塔吊等装置的操纵。

遥控设备共有十五个开关型通道，采用 FM-FSK-宽窄脉冲编码的电路程式；即控制指令由宽窄脉冲编码，脉冲对副载频的调制是频率键控(FSK)，副载频对载频调频(FM)。

遥控接收机有指令数目校核、指令积累以及电源启动电路

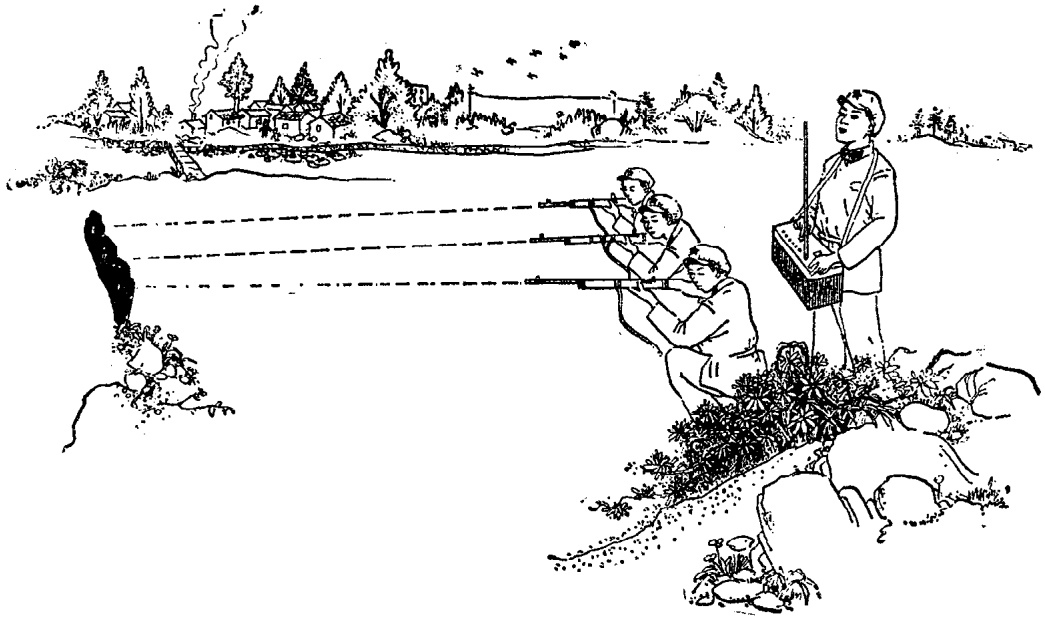


图 9.18　遥控起倒靶

等抗干扰措施。其中，电源启动电路是用副载频开启译码电路的电源；该电路相当于预指令电路，与控制指令构成双指令控制。由于上述措施，接收机在火花较强的电机及同频段发射机旁均能正常工作。

本设备的编码与译码电路使用低功耗的CMOS集成电路，并且使用集成度较高的器件。因此，除功耗小外，还具有组装、调试简便及体积小的特点。编码电路由九块CMOS电路组成，译码电路由四块CMOS电路组成，耗电均小于1毫安。遥控发射机只在发指令的瞬间是整机工作，待发指令时仅编码电路工作，耗电极省，机内电池可长时期使用。接收机的电源由执行机构的电瓶提供。

三、发射机

1. 组成及主要性能

发射机由编码电路、调制电路、高频电路及辅助电路所组成，方框图如图9.19所示。

编码电路是产生十五个指令信号的电路。众所周知，触发器的两个状态可以表示二进制的1与0两个代码，四位二进制可以表示十六个状态。本设备的十五个指令就是用四位二进制编码组成。为便于提取码位同步信号，用宽脉冲与窄脉冲分别代表1与0，如图9.20所示的1010即代表第十号指令。帧同步采用空隙方式，用二个码位的宽度组成帧同步空隙，连同四位指令码、一帧码共由六位组成。编码电路输出的信号经调制电路的放大与隔离，去调制高频电路，经高频电路放大的调频波由1/4 λ 鞭状天线发送出去。

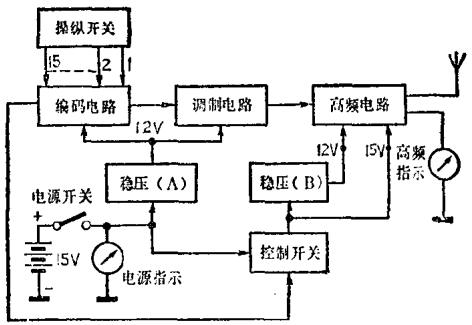


图 9.19　发射机方框图

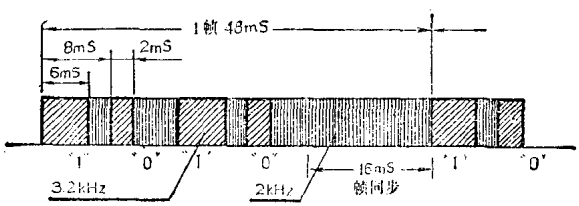


图 9.20　码组示意图

辅助电路主要包括两组 12 伏稳压电源及控制电路。编码电路及调制电路使用 12 伏电源由稳压器 *A* 提供。高频电路由二组电源供电，一组为 12 伏，由稳压器 *B* 提供；另一组为 15 伏，由发射机电池直接供电。发射机电池为 12 节 0.8 AH 镉镍电池。控制电路用来控制高频电路的电源，只有发指令时，控制电路的继电器才吸动，将高频电路的电源接通。为便于监测发射机的工作状态，辅助电路上还有电源电压指示及高频指示电表。

本发射机用 0.5 米的鞭状天线，在中等起伏地区控制距离

不小于 3 公里。如果所需要的控制距离较近，可用第八章第一节遥控设备的高频部分。

发射机的主要电气性能如下：

载频频率　152.3 MHz　频偏　10 kHz

输出功率　≥3 瓦　通道数　单路十五通道

副载频频率　f_1 3.2 kHz，f_2 2kHz

每帧时间　48 毫秒

耗电　电源电压 15 伏，发指令耗电　400 毫安

2. 编码电路

编码电路由九块 CMOS 电路组成，其中包括：C 150、C 156、CC 4520、C 274、BH 014、C 004、C 003、各一块及 C 006 二块。

编码电路的方框图及电路图见图 9.21 及图 9.22。

主控振荡器由晶体及反相器F_1等组成。产生频率为 32 kHz 的信号。编码电路的移位脉冲以及两个副载频信号均由 32

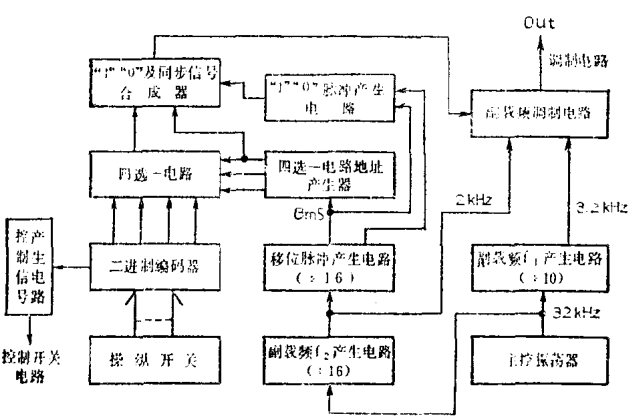


图 9.21　编码电路方框图

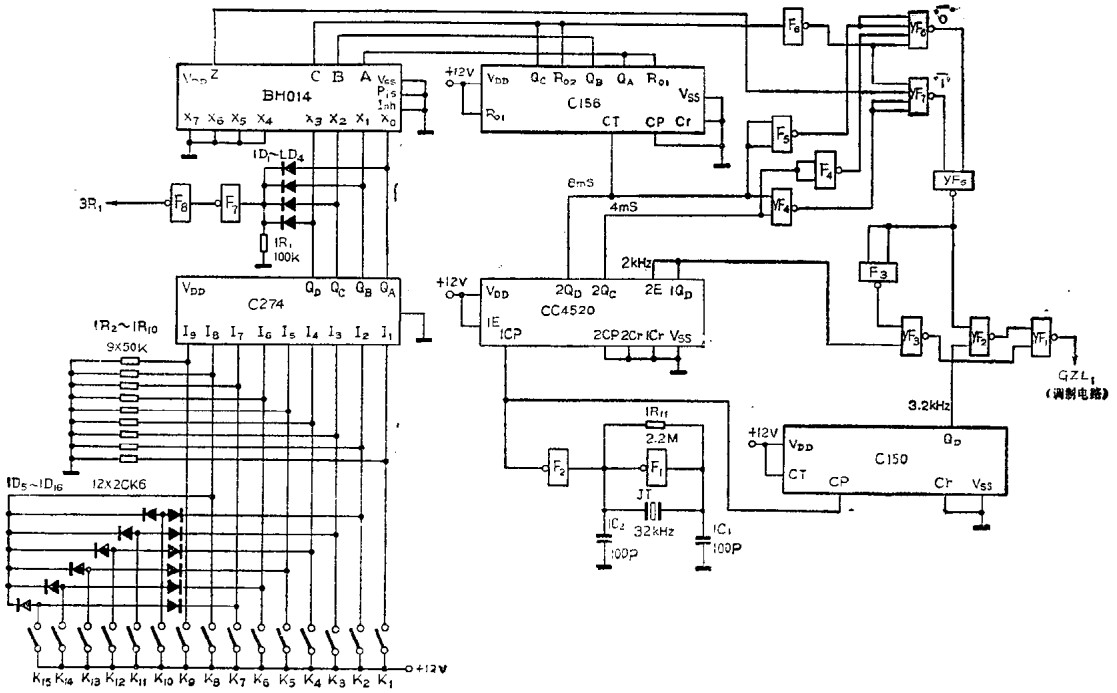

BH014
C156
C274
CC4520
C150
+12V
8mS
4mS
2kHz
3.2kHz
2.2M
32kHz
100P
9X50K
12X2CK6
GZL
(调制电路)

图 9.22 编码电路图

kHz 信号分频后产生。

副载频产生电路由C150及$\frac{1}{2}$CC 4520组成。2—10进制计数器C150完成10分频，从它的Q_D端得到副载频f_1(3.2 kHz)。CC 4520是双四位二进制计数器，用$\frac{1}{2}$ CC 4520完成16分频，从1 Q_D得到副载频f_2(2 kHz)。CC 4520的另外一半也是16分频器，2 kHz信号经其分频后，从2 Q_D得到8毫秒的时钟脉冲，送到四选一电路地址产生器C156。同时，2 Q_D输出的8毫秒脉冲与2 Q_C输出的4毫秒脉冲送到由F_4、F_5、YF_4、YF_6、YF_7组成的"1""0"脉冲产生电路，从YF_6与YF^7分别得到"0"与"1"。图9.23是"1"脉冲与"0"脉冲的波形。

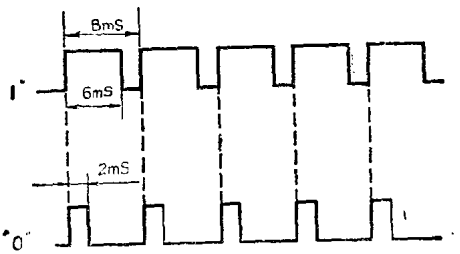


图 9.23 "1"与"0"脉冲波形图

二进制编码器由C 274、二极管1 D_5～1 D_{16}及电阻1 R_2～1 R_{10}所组成。按动操纵开关K_1～K_{15}，从C 274的输出端可得到相应的代码，代表15个控制指令。由于一块C 274只能组成几个通道的编码电路，所以用二极管扩展，组成十五通道编码电路。四选一电路由八位数据选择器BH 014组成，四选一电路地址产生器由任意进制记数器C 156组成，C156在电路中接成记六状态。通过BH 014，C274输出的四位并行码变为

串行码，送到“1”“0”及同步信号合成器。

“1”“0”及同步信号合成器由 F_6、YF_5、YF_6、YF_7 组成。BH 014 的 Z 端输出的四位串行指令代码送到 YF_7。当码位为高电位时，从 YF_5 输出“1”，当码位为低电位时，YF_7 封死，从 YF_5 输出“0”。通过这个电路，将码位的电位变化变为脉冲的宽窄变化，宽脉冲代表“1”，窄脉冲代表“0”，实现宽窄脉冲编码。见图 9.24。BH 014 输出四位指令代码后，记六电路 C 156 的 Q_C 输出 2 个码位时间的高电位，YF_5 无输出，使每四位码之间有二个码位的空隙，作为帧同步。控制信号产生电路由 F_7、F_8、1 D_1～1 D_4 及 1 R_1 组成，不发指令时 F_8 输出端为低电位，只要按下任一指令开关，F_8 即输出高电位，送到控制开关电路，控制高频电路的工作。

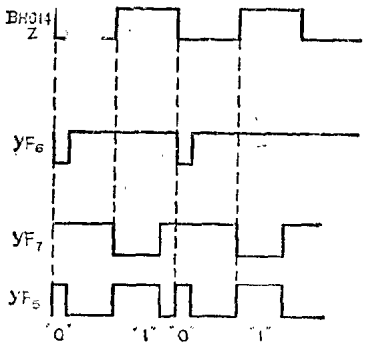


图 9.24 “1”“0”脉冲编码波形图

副载频调制电路由 F_3、YF_1、YF_2、YF_3 组成。当 YF_5 输出端为高电位时，由 YF_1 输出 3.2 KHz 副载频；反之则输出 2 kHz 副载频，使副载频受脉冲序列控制，得到图 9.20 所示的波形。YF_1 的输出送到调制电路，对载频进行调频。

编码电路由 12 伏稳压电源供电，耗电 1 毫安左右。只要元器件质量正常，焊接无误，编码电路无需调试，即能正常工作。在选择元器件时，二进制编码器所用二极管要尽量用反向电阻较大的(大于 500 千欧)。

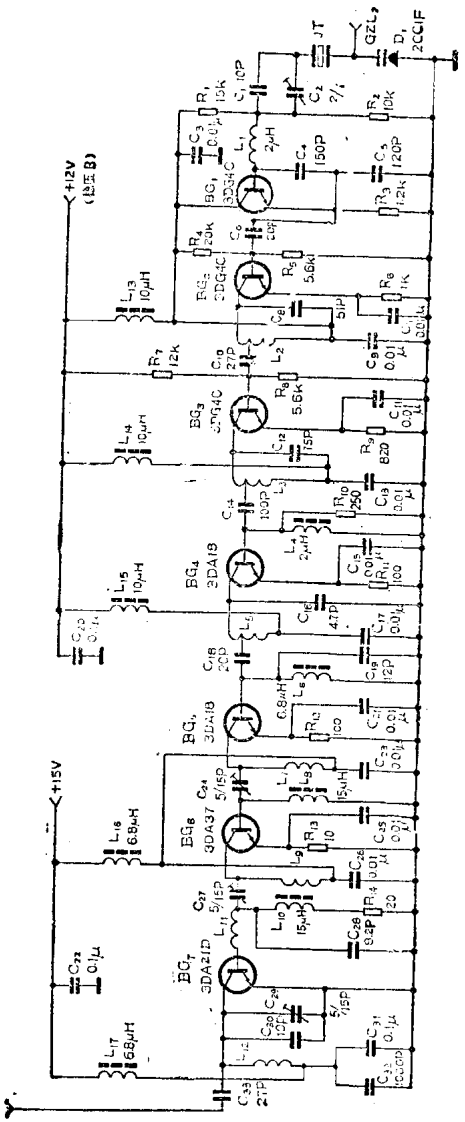


图 9.25 发射机高频电路图

3. 高频电路简介

高频电路见图 9.25。由 BG_1、晶体及分压电容 C_4、C_5 等组成的电容三点式振荡器产生 12691.6 kHz 的高频信号，经 BG_2缓冲放大，送到二倍频及三倍频电路。二倍频电路由 BG^3 及 L_3、C_{12} 组成，三倍频电路由 BG_4 及 L_5、C_{16} 组成。经倍频后从 L_5 输出端得到频率为 76.15 MHz、功率为 100 毫瓦的信号。76.15 MHz 的信号再经 BG_5及 L_7、C_{24}等组成的二倍频电路，得到 152.3 MHz 的载频，经功放部分 BG_6 及 BG_7二级放大后，由 BG_7 输出到发射天线。

高频电路由两组电源供电，前四级由稳压电路B输出的 12 伏供电，耗电 30 毫安。后三级由 15 伏的电池组经控制电路继电器J的接点供电，耗电不大于 400 毫安。高频电路的调试可参照第二章介绍的方法。

4. 调制电路

调制电路见图 9.26。由编码电路 YF_1 输出的副载频经射

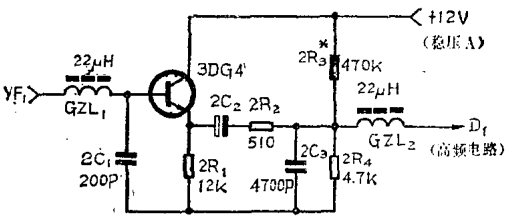


图 9.26 调制电路图

极输出器 3 DG_4，送到变容管 D_1，改变D_1 的等效电容，实现调频。为防止高频信号对编码电路的干扰，电路中有 GZL_1、$2C_1$、GZL_2、$2C_3$ 组成的高频退耦电路。

5. 辅助电路

稳压电路、控制开关及电源电压、高频电流指示电路均为辅助电路，其主要部分各见图 9.27。稳压器 A 给编码电路供电，因耗电很小，用稳压二极管即可。稳压器 B 提供高频电路 30 毫安的电流，电流较大，使用由调整管 3 AD 6 组成的稳压器。控制开关电路由 3 BG_1、3 BG_2 及继电器组成，3 BG_1 的基极接到编码电路 F_8 的输出端，发指令时 F_8 输出高电位，3 BG_1、3 BG_2 导通，继电器吸动，由继电器的接点把高频电路电源接通，使发射机工作。

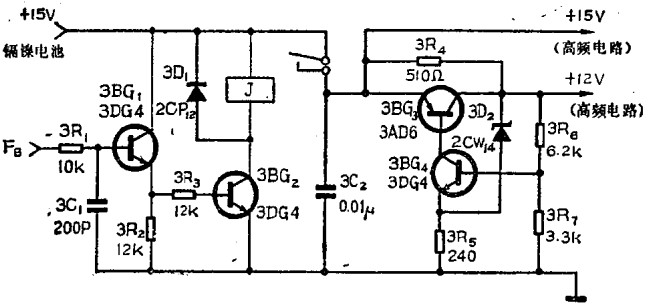


图 9.27 辅助电路图

6. 发射机组装与调试要点

发射机的电路分为三块电路板组装，即编码电路板、高频电路板以及母板。调制电路、稳压电路、控制开关电路以及 K_1～K_{15} 互锁琴键开关均装在母板上。各电路板及电池均固定在金属构架上，再放入铝箱内。为防止编码电路被发射机的高频信号干扰，在两电路板之间加有屏蔽板。调试时，要避免

将编码电路板暴露在发射机天线下，以防损坏编码电路的器件。可用假负载取代天线，调好后放入铝箱内，再换上天线。

四、接收机

1. 组成和主要性能

接收机由高频电路、副载频电路、启动电路及译码电路组成，方框图如图 9.28。高频电路是二次变频的超外差式接收机，其作用是将遥控发射机的信号放大和解调，得到副载频。由高频电路输出的副载频送到副载频电路，被放大和解调，恢复宽窄脉冲编码所组成的脉冲序列。启动电路起到预指令的作用，当高频电路送来的副载频 f_2(2 kHz)达到一定幅度时，该

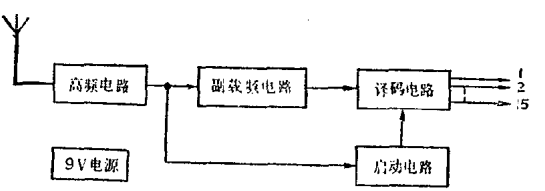


图 9.28 接收机方框图

电路工作，将译码电路电源接通。译码电路把副载频电路送来的宽窄脉冲序列译码，得到相应的控制指令，经继电器接点，使被控的起倒靶执行电路工作，带动靶标起来或倒下。

接收机的主要性能如下：

灵敏度 ≤1.5 微伏($S/N \geqslant 20$ dB)

指令延时 ≤0.5 秒 输出接点负荷 27 伏,1 安

耗电 9 伏供电电流 30 毫安

2. 高频电路简介

接收机高频电路由高放、第一变频、一中放、第二变频、二中放、限幅及鉴频电路组成。图 9.29 是高放和第一变频电路，图 9.30 是一中放、二变频，二中放、限幅及鉴频电路。

图 9.29 中，1 BG_1 及 1 BG_2 组成共射共基极高放电路，其输出经 L_4、L_5 加到混频管 1 BG_3 的基极。本振信号由 1 BG_4 产生。稳频晶体的频率为 23.6 MHz，经 1 BG_5 的二倍频电路及 1 BG_6 的三倍频电路，由 L_8 输出 141.6 MHz 的第一本振信号。该信号送到混频管 1 BG_3 的发射极，从 1 BG_3 的集电极负载 L_6 得到 10.7 MHz 的第一中频信号。第一中频放大器由 10.7 MHz 陶瓷滤波器及 1 BG_7、1 BG_8 组成（图 9.30），其输出送到第二混频管 1BG_9 基极。第二本振由 11.7 MHz 的稳频晶体及 1 BG_{10} 组成，本振信号也加到 BG_9 基极。经混频后，得到 1 MHz 的第二中频信号。第二中放由 1 MHz 的陶瓷滤波器及 1 BG_{11}、1 BG_{12}、1 BG_{13}、1 BG_{14} 组成，其中 1 BG_{14} 还起到限幅作用。第二中放信号经 L_{13}、1 D_1、1 D_2 等组成的鉴频器解调，从射极跟随器 1 BG_{15} 输出幅度不小于 2 伏的副载频信号。

3. 副载频电路

图 9.31 是副载频电路方框图，由放大、限幅、鉴频及整形电路组成，其作用是将副载频解调，恢复宽窄脉冲码。副载频电路见图 9.32。

副载频放大器是由 2 BG_1、2 L_1、2 C_2 组成的选频式放大器。由上面介绍的高频电路输出的副载频信号经 2 C_1 送到 2 BG_1 的基极，经放大后，从 2 BG_1 集电极得到幅度不小于 6

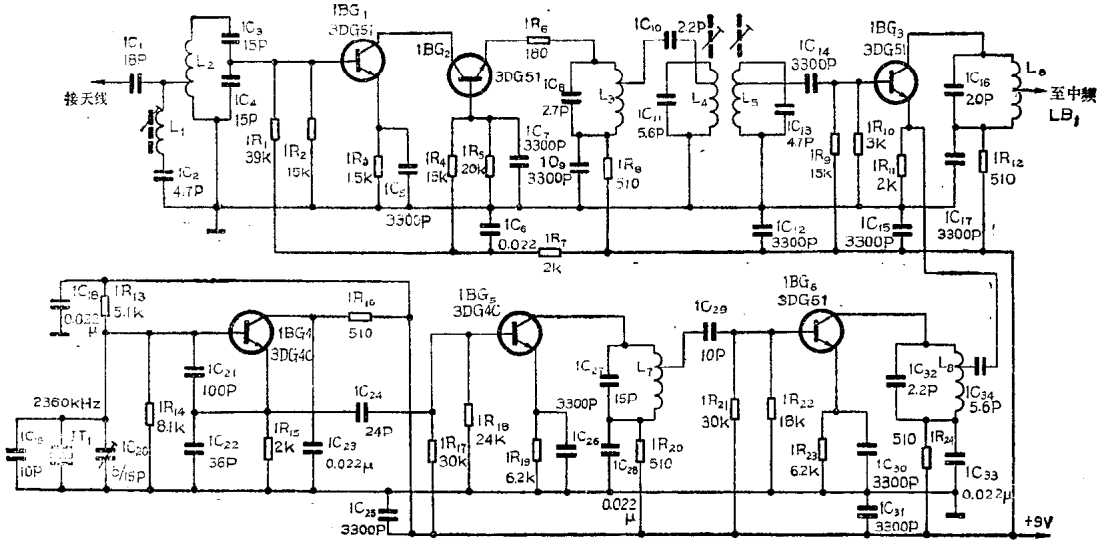


图 9.29　高放及变频电路图

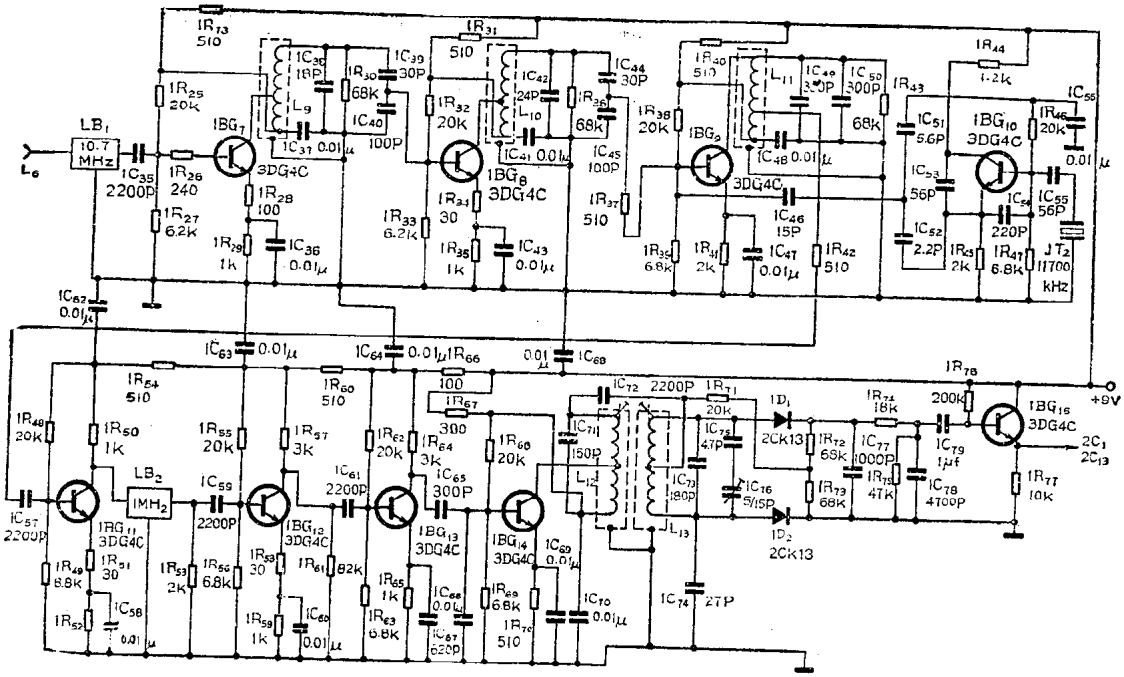


图 9.30 中放、鉴频电路图



图 9.31 副载频电路方框图

伏的副载频信号。2 BG_2 是限幅放大级。经限幅后副载频已近似为脉冲波形，如图 9.33 (a) 所示，再送到鉴频电路。鉴频电路由微分电路、定宽脉冲产生电路及两级串联的鉴宽电路所组成。2 R_6、2 C_5 组成的微分电路将副载频微分后得到正、负极性的尖脉冲，如图 9.33 (b) 所示。定宽脉冲产生电路是由 2 BG_3、2 BG_4 组成的单稳电路，该电路在负极性脉冲的触发下，产生的负向脉冲宽度由定时电路 2 R_7、2 C_7 决定，因此宽度是一定的。通过调 2 R_7，使负向脉冲的宽度为 0.25 毫秒。这样在 3.2 kHz 副载频触发时产生的正向脉冲宽度为 0.06 毫秒、在 2 kHz 副载频触发时产生的正向脉冲宽度为 0.25毫秒，如图 9.33(c) 所示。第一级鉴宽电路由 2 BG_5、2 R_{12}、2 C_8 组成，通过调 2 R_{12}、可将 0.06 毫秒的正脉冲去掉，得到图9.33 (d) 所示的波形。在该波形中，仅有 2 kHz 的脉冲。第二鉴宽电路由 2 BG_6、2 R_{14}、2 C_9 组成，与第一鉴宽电路相同，仅是定时电容 2 C_9 较 2 C_8 大。2 kHz 的脉冲经第二鉴宽电路后被去掉。从 BG_6 输出如图 9.33 (e) 所示的宽窄脉冲码，完成了对副载频的解调。

2 BG_7、2 BG_8、2 BG_9 为整形电路，将 2 BG_6 输出的脉冲整形，送到译码电路。

这种副载频鉴频电路调试简单，并具有一定的抗干扰能力，调试时主要调二级鉴宽电路中的定宽电阻 2 R_{12} 与 2 R_{14}。

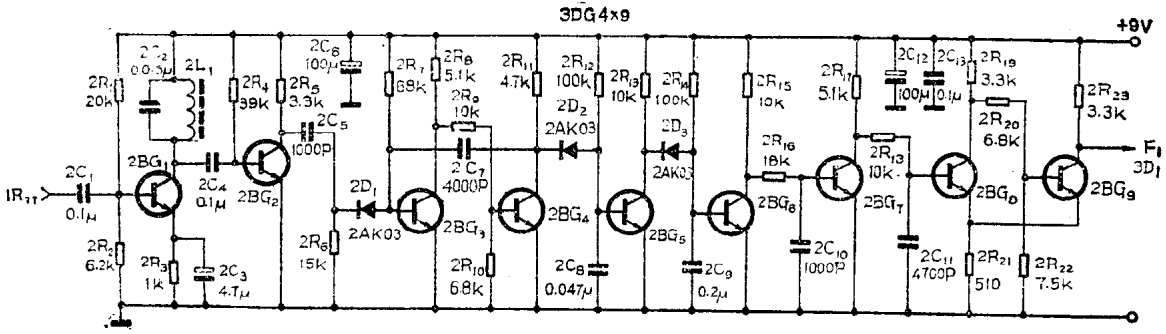

3DG4×9
+9V
IR11
2C1 0.1μ
2R1 20k
2C2 0.05μ
2L1
2BG1
2C4 0.1μ
2BG2
2R4 39k
2R5 3.3k
2C6 100μ
2C5 1000P
2R6 15k
2D1 2AK03
2R2 6.2k
2R3 1k
2C3 4.7μ
2R7 68k
2R8 5.1k
2R9 10k
2C7 4000P
2BG3
2R10 6.8k
2R11 4.7k
2R12 100k
2D2 2AK03
2C8 0.047μ
2BG4
2R13 10k
2D3 2AK03
2C9 0.2μ
2BG5
2R15 10K
2R16 18k
2BG6
2C10 1000P
2R17 5.1k
2BG7
2C12 100μ
2C13 0.1μ
2R19 3.3k
2R20 6.8k
2BG8
2C11 4700P
2R21 510
2R22 7.5k
2BG9
2R23 3.3k
F1
3D1

图 9.32　副载频电路图

4. 启动电路

启动电路由鉴幅电路、选频放大电路及选频开关所组成，电路见图 9.34。

鉴幅及选频放大均由 2 BG_{10} 完成。由于 2 BG_{10} 基极上偏

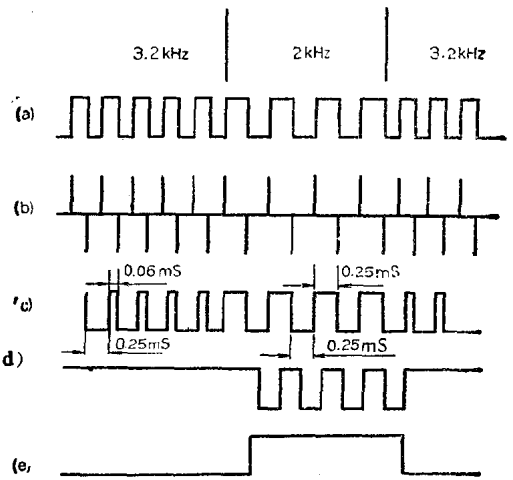


图 9.33 副载频电路波形图

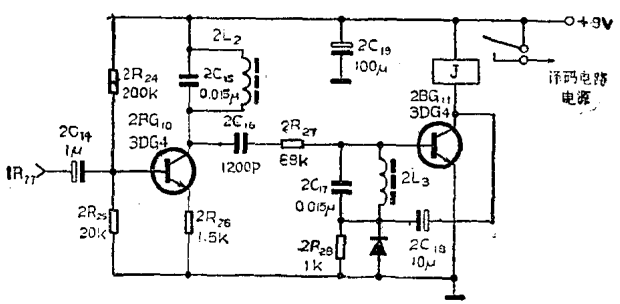


图 9.34 启动电路图

置电阻 2 R_{24} 的阻值很大，只有输入信号达到一定幅度时 2 BG_{10} 才能工作。使 2 BG_{10} 起到鉴幅的作用。另外，2 BG_{10} 的集电极负载是由 2 L_2、2 C_{15} 组成的谐振于 2 kHz 的选频回路，所以 2 BG_{10} 也是 2 kHz 选频放大器。2 BG_{10} 的基极经 2 C_{14} 接到高频电路的输出端。当送来的 2 kHz 的副载频达到一定幅度时，2 BG_{10} 工作，经电容 2 C_{16}，将放大的信号送到选频开关。对于噪音或其他频率的信号，则因鉴幅及选频作用，在 2 BG_{10} 集电极没有输出。

选频开关由 2 BG_{11}、2 L_3、2 C_{17} 等组成。由于 2 L_3、2 C_{17} 谐振于 2 kHz，选频开关只有在 2 kHz 的副载频到来时，才能使继电器吸合，由继电器的触点去接通译码电路电源。

从前面的介绍可知，发射机发送指令时是将 3.2 kHz 及 2 kHz 两个副载频交替发送出来，其中 2 kHz 副载频间断的最长时间为 6 毫秒（见图 9.20）、由于 2 L_2、2 L_3 选频回路的 Q 值较高，以及 2 C_{18}、继电器的延时作用，虽然 2 kHz 信号是间断的，但继电器并不抖动。

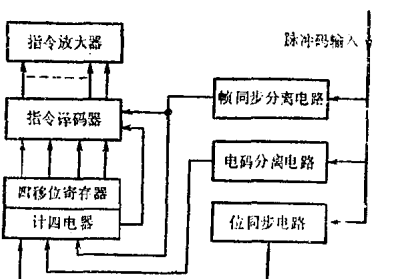


图 9.35 译码电路方框图

启动电路的调试主要调鉴幅电阻 2 R_{24}，使 2 BG_{10} 的门限电压较噪音电压高，而又低于 2 kHz 信号的幅度。在满足控制距离的情况下，可尽量把 2 BG_{10} 的门限电压调高，以提高设备的抗干扰能力。

5. 译码电路

译码电路由帧同步分离、电码分离、位同步电路、指令译码器及指令数目校核电路等组成。所用的 CMOS 器件是 C 003、C 006、C 393、C 270 各一块。其方框图及电路图见图 9.35 及图 9.36。

帧同步分离电路是脉冲宽度鉴别电路，由 F_1、F_2、F_3 及

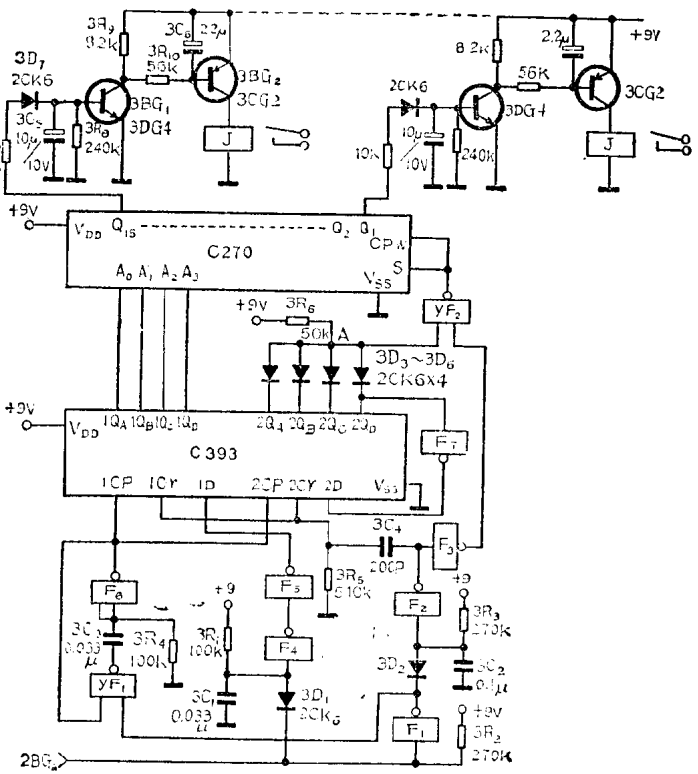


图 9.36 译码电路图

$3D_2$、$3R_3$、$3C_2$组成，电路的工作波形如图9.37所示。从图中可以看出，只有在两个码位的宽度时，才能使F_2的输入端达到转换电平，产生帧同步脉冲。在译码电路中，帧同步脉冲有两个作用：一是经$3R_5$、$3C_4$微分电路，用帧同步脉冲的后沿产生清零脉冲（见图9.38），使移位寄存器C393清零，保证译码电路与编码电路的帧同步。另一作用是和记四电路相与后产生记四校核脉冲，由YF_2输出，控制指令译码器。电码分离电路也是脉冲宽度鉴别电路，由F_4、F_5及$3D_1$、$3R_1$、$3C_1$组成，其作用是将代表"1"的宽脉冲从宽窄脉冲码中分离出来，送到移位寄存器的$1D$端。该电路的工作原理与帧同步分离电路相同。位同步电路用来产生码位同步脉冲，是由YF_1，F_6、$3R_4$及$3C_3$组成的单稳电路。F_6的输出端平时为高电位，在输入脉冲前沿作用下，单稳电路翻转，F_6输出负向脉冲，即是码位同步脉冲（见图9.38）。

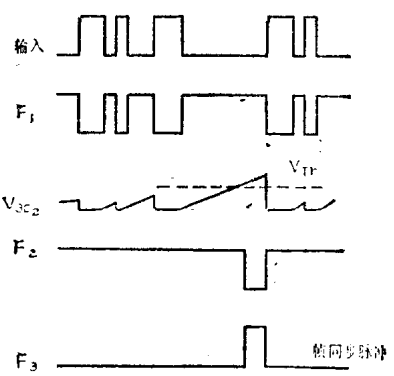


图 9.37 帧同步电路波形图

四移位寄存器用了$\frac{1}{2}$双四移位寄存器C393，在码位同步脉冲后沿（上跳沿）的作用下，寄存器移位，将送入$1D$端的四位串行码变为并行码，并输送到指令译码器。记四电路由$\frac{1}{2}$C393及$3D_3$～$3D_6$二极管与门组成。只有在$2CP$端输入四

个码位同步脉冲后，二极管与门输出端A点才为高电位。该高电位加在 YF_2 输入端，在帧同步脉冲到来时，FY_2 输出负向脉冲，即为记四校核脉冲（见图 9.38）。如果加在 $2CP$ 端不是四个脉冲，就产生不了记四校核脉冲。

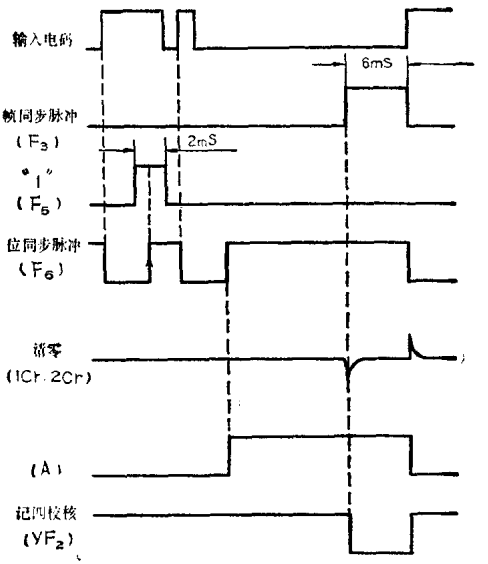


图 9.38 清"0"及记四脉冲波形图

指令译码器由四位二进制译码器 C270 组成。移位寄存器输出的四位并行码加在 C270 的输入端；记四校核脉冲到来后，根据 C270 输入端的状态，由 Q_1～Q_{15} 的某一端输出相应的指令。如果因干扰或其他原因产生不了记四脉冲，则 C270 的 Q_1～Q_{15} 均无指令输出，因此不会产生误动作。实践证明，这是一种很有效的抗干扰措施。

十五组指令放大器完全相同，它们完成对指令的积累、放

大，并使继电器吸合的作用。放大器中的 3 R_7、3 R_7、3 C_5 及 3 R_8 组成指令积累电路，连续收到 6 帧左右的指令后，3 BG_1 导通，随之 3 BG_2 导通，继电器吸合。

译码电路的调整工作主要是调 3 R_1、3 C_1、3 R_3、3 C_2、3 R_4、3 C_3 三个定时电路，使帧同步脉冲及“1”电码的宽度如图 9.38 所示，并使码位同步脉冲的上跳沿如图 9.38 所示的那样在“1”电码的中间。上述定时电路的调试方法可参照第五章 CMOS 电路一节中的介绍。指令放大器的3 C_5、3 C_6 最好用小型钽电解电容，3 BG_1 与 3 BG_2 的 β 值均为 60，继电器用JRC-5 M 型。

已经出版的《无线电爱好者丛书》书目

书号	书名	编著者	定价（元）
无6103	怎样看无线电电路图	雷达萍、沈长生	0.45
〃6120	电子管收音机技术问答	赵景元	0.29
〃6128	电子管收音机的修理	毛瑞年	0.42
〃6130	超外差式收音机的统调	李高智	0.30
〃6134	电子管电视接收机检修	郑浩、魏华	0.78
〃6143	业余无线电计算图表	唐远炎	0.56
〃6147	硅管收音机设计	周志彬	0.39
〃6155	低电压晶体管电路	徐业林	0.49
〃6176	怎样选用无线电元件	傅吉康	0.56
〃6193	晶体管黑白电视接收机修理	贺尚武	0.91
〃6198	实验晶体管收音机挂图	都宝忠等	1.95
〃6202	立体声	周期时	0.34
〃6206	电视接收天线	邵元春、王能忠	0.67
〃6209	晶体管收音机中的新技术	王新成	0.92
〃6226	少年电工制作	钱信格	0.26
〃6239	怎样修理扩音机	郑春迪	0.63
〃6241	OTL OCL低频放大电路集锦	唐远炎	1.25
〃6248	业余无线电测量仪表	罗静成	1.40
〃6254	简易电视接收天线	房增田	0.36
〃6255	无线电爱好者读本（上册）	宋东生等	0.77
〃6260	稳定电源	吴润予等	0.78
〃6264	自制多用电表	张承宗	0.24
〃6267	电子乐器	田进勋	0.99
〃6274	无线电爱好者读本(中册)	宋东生等	0.76
〃6278	晶体管收音机制作入门	冯振本	0.32