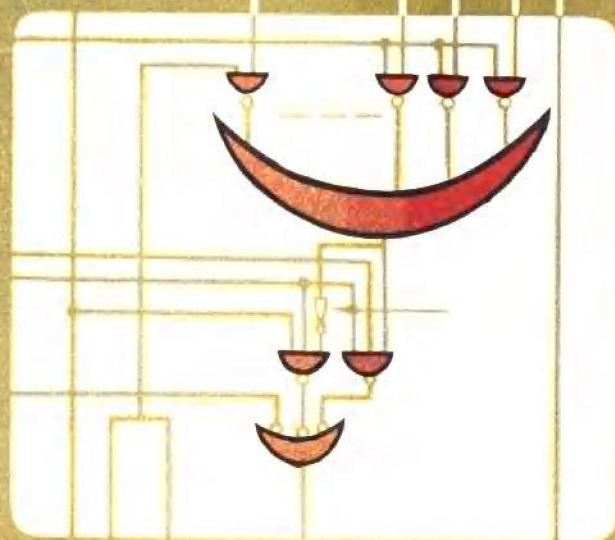


遥 控 遥 测 技 术

纪传礼 尉迟颢颐 等 编著



科学出版社

遥 控 遥 测 技 术

纪传礼 尉迟颢颐 等 编著

科 学 出 版 社

1 9 8 3

内 容 简 介

本书介绍了遥控遥测技术的基础知识。重点叙述了遥测信号的获得；多路复用系统；模拟系统；数字遥测系统；遥控技术；无线电遥控发射机；无线电接收机；电波与天线；遥控遥测系统的干扰及其抑制等内容。最后，列举了几个遥控遥测的应用实例。可供具有高中和大学低年级文化程度的广大读者阅读。

遥 控 遥 测 技 术

纪传礼 尉迟颀颐 等 编著

责任编辑 隋启水

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年5月第一版	开本：787×1092 1/32
1983年5月第一次印刷	印张：9 1/8 插页：1
印数：0001—10,750	字数：205,000

统一书号：15031·456

本社书号：2895·15—7

定价：1.20 元

前 言

科学技术特别是空间技术的发展，如人造地球卫星、宇宙飞行器的发射与控制、通信卫星、气象卫星、资源卫星的运行和利用，一时一刻也离不开遥控遥测技术。不仅如此，近些年来在工农业生产和其它科学技术领域中，人们为了改善严重污染、危险作业、繁重劳动等生产条件或对某些系统实现无人管理，都愈来愈多地借助于遥控遥测技术的研究与应用。可以相信，随着我国四个现代化的进展，遥控遥测技术也必将进一步地向生产的广度和深度发展。

本书的目的是向工农业生产、科学研究、医疗卫生等方面的工程技术人员和工人介绍一些有关遥控遥测技术的基本知识，并提供一些应用实例，以期使这一技术在各行各业中得到应用和发展。但由于作者水平所限，错误之处在所难免，望广大读者提出批评指正。

参加本书编写工作的有：王采杰、王承训、王舜华、毛林弟、冯锡钰、朱子龙、李贵唐、李国祥、宋克仇、林淑兰、阎学津、管永庆、郝万武、张经、陈大镒、徐守义、尉迟颢颐、纪传礼等。

目 录

第一章 概述	1
§ 1.1 无线电怎样传输信息	1
§ 1.2 信号和频谱	5
§ 1.3 干扰与噪声	8
§ 1.4 无线电遥控系统工作过程	10
§ 1.5 无线电遥测系统工作过程	12
§ 1.6 无线电遥控和遥测系统的分类	13
第二章 遥测信号的获得	15
§ 2.1 非电量的变换	15
§ 2.2 压力检出和变送器	16
§ 2.3 流量检出和变送器	23
§ 2.4 液位检出和液位计	29
§ 2.5 温度检出和变送器	34
第三章 多路复用系统	41
§ 3.1 概述	41
§ 3.2 频分多路复用	42
§ 3.3 时分多路复用	48
§ 3.4 多路复用系统的交叉干扰	55
§ 3.5 频分复用和时分复用系统的比较	57
§ 3.6 复合式划分通路的系统	59
第四章 模拟系统	61
§ 4.1 引言	61
§ 4.2 对电压、电流方法的一般考虑	61
§ 4.3 电压传输方式	63
§ 4.4 电流传输方式	71

§ 4.5 脉冲频率方式工作原理	73
§ 4.6 传送器的工作原理	75
§ 4.7 接收器的工作原理	83
第五章 数字遥测系统	91
§ 5.1 数字信号	91
§ 5.2 量化与编码	92
§ 5.3 数字信号的传输	95
§ 5.4 数字化遥测系统的组成	97
§ 5.5 数-模转换电路	99
§ 5.6 模-数 (A/D) 转换电路	110
§ 5.7 遥测信号的送信编码	115
§ 5.8 遥测信号的收信解码	124
第六章 遥控技术	128
§ 6.1 概述	128
§ 6.2 遥控信号的设计	129
§ 6.3 音频信号产生电路	131
§ 6.4 控制指令的发送	135
§ 6.5 解码器	137
§ 6.6 执行机构	145
第七章 无线电遥控发射机	147
§ 7.1 概述	147
§ 7.2 高频振荡器	149
§ 7.3 高频功率放大器	156
§ 7.4 调制器	165
第八章 无线电接收机	179
§ 8.1 概述	179
§ 8.2 谐振放大器	181
§ 8.3 变频器	189
§ 8.4 检波器	195
第九章 电波与天线	207

§ 9.1	电磁波的辐射与传播	207
§ 9.2	天线的方向性	212
§ 9.3	不定向天线	217
§ 9.4	定向天线	223
第十章	遥控遥测系统的干扰及其抑制	229
§ 10.1	引言	229
§ 10.2	脉冲干扰及其一般性质	231
§ 10.3	外界辐射干扰的抑制方法	232
§ 10.4	解码电路的抗干扰措施	238
§ 10.5	选择系统方案时对抗干扰性问题的考虑	242
第十一章	遥控遥测应用实例介绍	245
§ 11.1	水电站的遥控遥测	245
§ 11.2	石油开采工业中联合水泵站的控制系统	247
§ 11.3	输油臂遥控系统	254
§ 11.4	某城市供水遥控遥测系统	261

第一章 概 述

§1.1 无线电怎样传输信息

无线电遥控和无线电遥测是利用无线电进行远距离控制和测量的技术。大家所熟悉的无人驾驶飞机、导弹、人造卫星的控制和测量都离不开无线电遥控和遥测技术。无线电遥控、遥测技术不仅在国防上获得了大量的应用,而且随着国民经济的发展,在工业、农业、科学、教育、卫生、体育等各个领域也都得到了愈来愈多的应用。这对我国实现农业现代化、工业现代化、国防现代化和科学技术现代化将起重要作用。

无线电遥控和无线电遥测技术是无线电技术领域的一个重要分支。从信息传输的技术来说,它们和无线电广播、通信、电视、雷达等有许多相似的地方。本章就先以大家所熟悉的无线电广播来介绍一下无线电技术中一些基本知识和术语,然后介绍一下无线电遥控和遥测。

所谓无线电广播,是把声音以“无线电”为手段传送给远方听众的。

我们知道,人耳能听到的音响频率约在20赫到20千赫的范围内,通常把这一频率范围叫作音频。声波在空气中传播的速度是很慢的,而且衰减很快。一个人无论怎样高喊,他的声音也不会传得很远。为了把声音传送到远方,常用的办法是将它变成电信号,再设法把信号播送出去。将声音变成电信号的任务一般由话筒来承担。当播音员对着话筒说话时,话筒就输出相应的电压,这个电压的变化规律与声音的

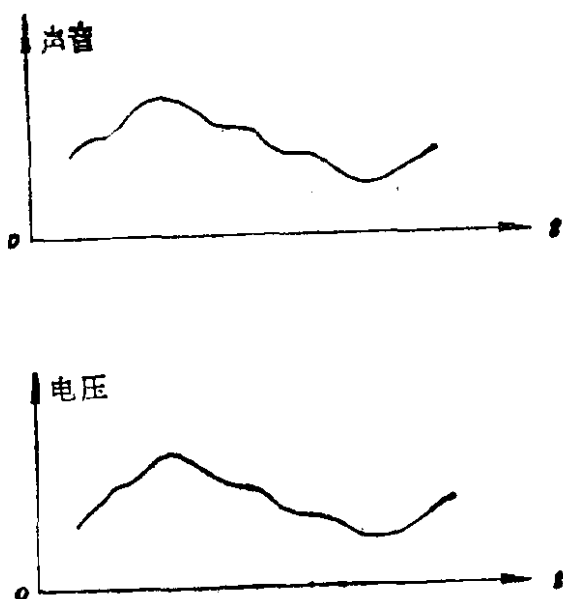


图1.1 语言信号示意图

变化规律相同，如图1.1所示。

从话筒得到的电信号强度一般都很小，通常只有几毫伏至零点几伏，需要用音频放大器加以放大。经过放大后的音频信号可以利用普通的电话线传送出去，再经喇叭恢复为原来的声音。这就是通常的“有线广播”。

怎样才能不用导线，将声音的信号由天空传播出去呢？我们知道，交变的电振荡可以通过天线向空中辐射出去。但是天线的尺寸必须足够长，无线电的辐射才会有效。具体说，只有在天线长度可以和电振荡的波长相比拟时，才能有效地把振荡辐射出去。前面讲过，声音信号的频率约为20赫至20千赫，即其波长范围是 15×10^8 至 15×10^6 米，也就是15公里至15000公里。要制造出这么长的天线显然是不现实的。

可见，直接将音频信号辐射到空中去是很难办到的，而且即使辐射出去，各个电台所发出的信号频率都在音频范围内，它们在空气中混在一起，收听者也无法选择所要接收的信号。所以要想不用普通导线传播声音信号，就需要利用频率更高的电振荡，并设法把音频信号“装载”在这种高频振荡

之上，然后由天线辐射出去。这样，天线尺寸可以比较小，不同的广播电台也可以采用不同的高频振荡频率，使彼此不会互相干扰。无线电广播台中产生高频电振荡的部件叫作高频振荡器，由它产生的高频电振荡的频率叫载频。把音频信号“装载”到高频振荡上的过程叫调制。经过调制后的高频振荡叫作已调信号。利用传输线把已调信号送到天线，就可以把它辐射出去，传送到远方。

广播的内容，我们称为消息或信息。要把广播的内容，利用无线电传送到远方，首先要通过话筒把声能变成电能，也就是变成电流或电压，这个电流或电压称为电信号或简称为信号。信号反映着广播的内容，也就是携带着消息或信息。这种信号可以通过发射机发送出去。一个广播发射机应包括四个组成部份：一是声音的变换与放大，这一部分的频率较低，称为低频部分；二是高频振荡的产生、放大与调制，统称高频部分；三是天线与传输线；四是电源供电部分。图1.2是发射机的方框图，图中电源部分没有画出。

无线电波携带着信息，到达远方，是怎样被接收的呢？让我们再看看无线电接收机的工作过程。图1.3是一个超外差接收机方框图。接收机的工作过程恰好和发射机的工作过

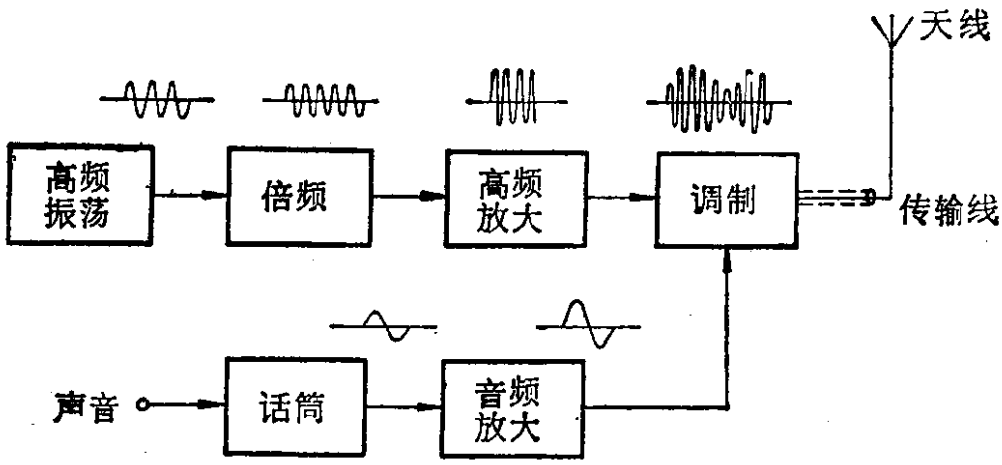


图1.2 发射机的组成

程相反，它的基本任务是将天空传来的电磁波接收下来，并把它复原成原来的声音。接收从空中传来的电磁波的任务是由接收天线来完成的。由于广播电台很多，在同一时间内，

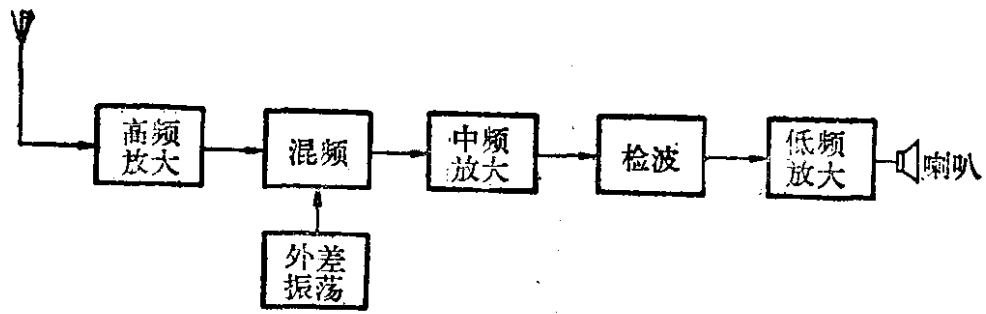


图1.3 接收机的组成

接收天线所收集到的不仅有我们所希望收听的电台的信号，还有若干个来自不同电台的、具有不同载频的无线电信号，接收机应能从各种无线电信号中选出所需要的信号。因此接收机的作用之一是选择信号，也就是挑选有用信号，滤掉其它信号，这种作用是由电感线圈和电容组成的谐振回路完成的。对有用信号的选择能力，称为选择性。

从接收天线得到的无线电信号比较微弱，一般只有几十微伏至几毫伏，往往要将它放大。承担这一任务的是高频和中频放大器(由于高频放大比较困难，故一般先把高频信号变成频率比较低的中频信号后再放大)。放大了的高频或中频信号尚不能直接去推动耳机或喇叭，还必须先把它复原成原来的音频信号，这种从高频信号中检出音频信号的过程叫检波，相应的部件叫检波器。从检波器获得的音频信号再放大后送到耳机或喇叭，就可以收听到所需要的节目。因此接收机的第二个作用是信号放大和检波。不论多么简单的接收机，谐振回路和检波器都是必不可少的部件。

从上述介绍的无线电广播系统，可以知道利用无线电是怎样把声音传送到远方的。利用无线电也可以把控制信号和测量信号传送到远方，这就是所说的无线电遥控和无线电遥

测。

在无线电遥控系统中，利用无线电传送的是指令信号（控制信号）。指令信号频率一般也是比较低的，也是属于低频范围。若把这些频率较低的信号传送到远方，同样需要调制到高频载波上去，通过天线以无线电波的方式发射出去。到达接收地点的无线电信号，被接收天线接收下来，经检波变成低频信号。这些信号送到被控制“对象”上去，这些对象就在指令的遥控下进行工作。

在无线电遥测系统中，利用无线电传送的是各种被测量的物理量，这些量转换成的电信号频率也是比较低的。若传到远方，同样需要上述过程。而接收机检出的信号不是去控制某一对象，而是进行记录和显示。

由此可见，无线电遥控和无线电遥测与无线电广播都是利用无线电波传送信息的，但是，各有不同的用途。

§1.2 信号和频谱

无线电广播系统中的声音和无线电遥控系统中的指令以及无线电遥测系统中测得的原始数据统称为信息。信息若用无线电传输，先要变成电信号，所以信号的传输乃是无线电系统工作的基本任务。

各种信息变成的电信号，从示波器上可以看到。这种信号是随时间 t 而变化的电流或电压，把这种关系按时间座标画出的图形叫波形，图1.1就是一种电信号的波形。

表示信号的方法有好几种，一种是写出它的数学表示式，另一种是画出它的波形图，还有一种方法就是所谓信号频谱表示法。图1.1表示的信号，可以分解为若干个单一频率的正弦分量之和。这种方法类似于力学中可以将一个力分

解为若干分力，或一个力可以用若干分力之和表示那样。为了更直观地了解信号的频率特性，通常都采用图解的方法：用频率 f 做横座标，用信号的各正弦分量的振幅做纵座标，这样画出来的图形叫频谱图，如图1.4所示。图中每一条线段的位置代表某一正弦波的频率，线段的长度代表正弦波的振幅，这种线段叫作谱线。每个信号的最高频率与最低频率之差，也就是这个信号所拥有的频率范围，叫作该信

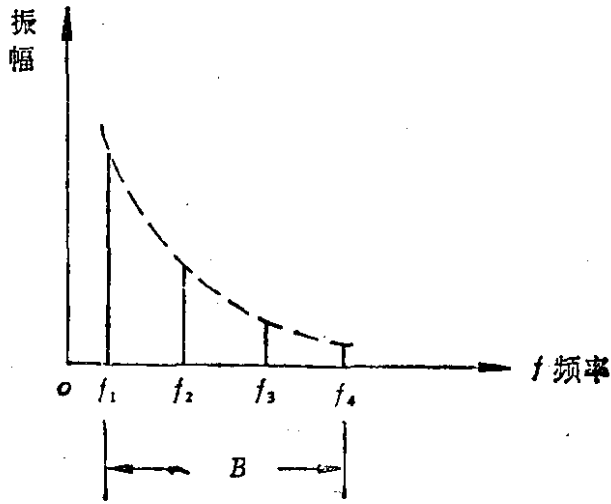


图1.4 信号的频谱图

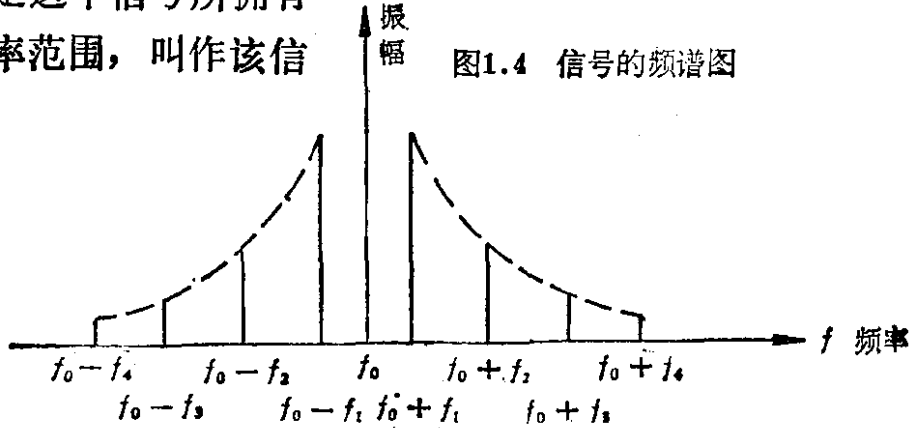


图1.5 调幅信号的频谱

号的频谱宽度，简称为频宽或带宽。不同的信号，拥有不同的带宽，图1.4中信号的带宽为 $B = f_4 - f_1$ 。

已调制的高频信号，经频谱分析后也可以得到相应的频谱。例如，用图1.4信号对频率为 f_0 的正弦信号进行调幅，得到的频谱图如图1.5所示。从图中可以看出，原信号的频谱以载频 f_0 为中心而对称地分布在两侧，已调制的高频信号占有的带宽为 $B = (f_0 + f_4) - (f_0 - f_4) = 2f_4$ 。

不同的信号，其频谱特性不同。知道了信号的频谱，就为正确地设计发射机、接收机和天线提供了重要依据。

表1.1列出了几种典型信号的数学表示式、波形和频谱。

表1.1

信号名称	数学表示式	波形	频谱
周期矩形信号	$A(t) = A(t + mT)$ $= \begin{cases} A, & -\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2} \\ 0, & t < -\frac{\tau}{2}, t > \frac{\tau}{2} \end{cases}$		
非周期矩形信号	$A(t) = \begin{cases} A, & -\frac{\tau}{2} \leq t \leq \frac{\tau}{2} \\ 0, & t < -\frac{\tau}{2}, t > \frac{\tau}{2} \end{cases}$		
非周期指数信号	$A(t) = \begin{cases} Ae^{-\alpha t}, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$		
阶跃函数信号	$A(t) = \begin{cases} A, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$		
冲击函数信号	$A(t) = \begin{cases} \frac{A}{\tau}, & 0 < t < \tau \\ 0, & t < 0, t > \tau \end{cases}$		
余弦调幅信号	$A(t) = A_0(1 + m \cos \Omega t) \cdot \cos \omega_0 t$		

§1.3 干扰与噪声

无线电系统的基本任务是传输信息。理想的系统所接收到的信息应该和原来发送的信息完全一样。但是这种理想情况实际上是很难实现的。接收到的信息总是或多或少地和发送信息有所差别，信息在传输过程中总要伴随着一定程度的失真(接收端重现的信息总是和发送端的原始信息有些差异，这种差异称为失真)。在无线电系统中，产生失真的原因大致上可以分为两类。一类是由于通信设备本身不完善，例如发射机和接收机中放大器特性不好，对信号的各个频率分量放大不一致，产生了失真，这种失真原则上是可以避免的。另一种失真是干扰和噪声引起的，这种失真在许多情况下是不能完全克服的。

干扰一般是指混杂在被传送的有用信号之中的各种有害的电振荡。常见的干扰有电台干扰、工业干扰、天电干扰和宇宙干扰。此外还有无线电设备内部所产生的噪声。

电台干扰是指其它无线电发射设备所产生的干扰。我们知道，由于无线电技术的迅速发展，当前在无线电波的各个波段中工作的电台日益增多，因此空中的电磁波非常拥挤。在接收天线上除了我们想要接收的信号之外，还有着许许多多其它各种无线电台的信号。这些电台的信号就可能进入接收机中，成为有害的干扰。电台干扰在无线电波的各个波段中都存在。目前由于对无线电设备的需要日益增加，而短波波段又比较窄，能够容纳的电台数目较少，短波波段内电台间的相互干扰已比较严重，所以无线电遥控和遥测技术大多应用超短波(超高频波段)。

工业干扰是由各式各样的电气设备所产生的。例如，在

我们收听广播时，如果有人打开收音机附近的电灯开关，收音机就会发出“喀啦”的声音。此外，象吹风机、电动机以及汽车的点火系统所产生的电火花等，都是工业干扰的来源。工业干扰信号的频谱很宽，它从极低频率开始，一直延伸到几十、甚至几百兆赫的超高频波段。在工业集中的城市和工矿区，这是一个影响各种无线电设备正常工作的重要因素。

天电干扰是指大气中的各种电磁现象所引起的干扰。雷电所产生的强大电磁波辐射是我们所熟悉的天电干扰。打雷时，收音机也可以发出很大的“喀啦”声。天电干扰的频谱主要在波长较长的波段，在超短波范围内，这种干扰实际上很微弱。因此各种工作于超短波的无线电设备，基本上不受天电干扰的影响。

宇宙干扰是指来自宇宙间各种天体的电磁辐射。太阳就是一个强大的具有很宽频谱的辐射源，它的频谱从米波、分米波一直延伸到可见光以外的波段。此外银河系中的一些恒星以及许多远离地球的星体也都辐射各种频率的电磁波，这种辐射对某些无线电设备有时也是有害的。

对无线电系统的干扰除了来自设备外部之外，设备本身也产生干扰。其中最主要的是噪声。由于它是设备内部产生的，通常把它叫作内部噪声，以便和外来的干扰加以区别。在广播喇叭中我们听到的“沙沙”声就是这种内部噪声。这种内部噪声的频谱很宽，几乎是从零频率开始，一直到几百兆赫以上的极高频段都存在。

干扰和噪声是现代无线电技术中亟待解决的重要问题。我们平时所说的无线电系统的可靠性往往都是和干扰、噪声有关的。在无线电遥控和遥测技术中，正确处理干扰和噪声也是十分重要的，关于这方面的问题将在本书第十章中专门

讨论。

§1.4 无线电遥控系统工作过程

我们通过一个简单的例子看看无线电遥控系统是怎样工作的。图1.6是一个无线电遥控电动机的工作方框图。

系统的发射部分是由操作开关 K_1 、 K_2 ，低频振荡器 I、

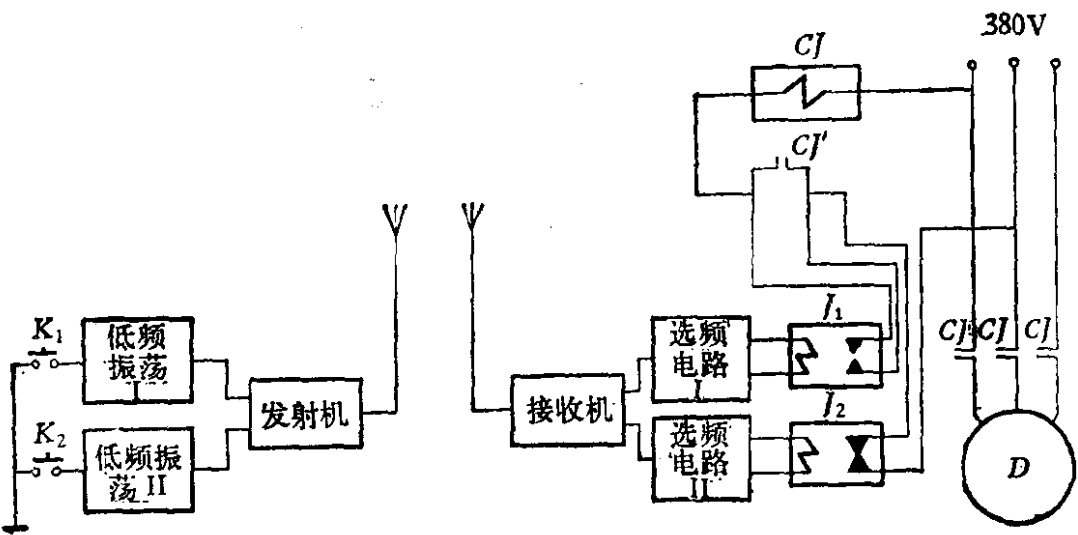


图1.6 无线电遥控电动机原理图

II，发射机和天线组成的。接收部分是由接收天线，接收机，选频电路，继电器 J_1 、 J_2 和接触器 CJ 组成的，控制对象是电动机 D 。

当起动开关 K_1 接通时，低频振荡器I工作，产生一个频率为 F_1 的低频正弦振荡信号。频率 F_1 一般在几百赫到几千赫之间。这个信号也就是指令信号。用它去调制发射机，使发射机发出载频为 f_0 并携带着指令信号 F_1 的高频振荡。这个已调高频振荡经天线变成无线电波辐射出去，而到达接收地点。在接收端，经接收天线接收下来之后，再由接收机从