

第 1 章 绪 论

第 1 章
课件

1.1~1.4

1.1 无线电通信的发展

通信电子电路又称高频电子线路,主要研究构成信息传输与处理的高频发射机与接收机的基本电路、基本原理和基本分析方法。它广泛应用于通信系统和各种电子设备中。

人类进行通信的历史很久远。从古代的狼烟报警、快马传书、飞鸽传书,到近代大航海中水手交换的旗语,以及现代社会交警的指挥手语,都是人们寻求快速远距离通信的手段。1837 年,美国发明家莫尔斯发明了有线电报,开创了通信的新纪元。1876 年,贝尔发明了电话,能够直接将语音信号变为电能沿导线传送,这些都属于有线通信。1864 年,英国物理学家麦克斯韦发表了“电磁场的动力学理论”,从理论上预见了电磁波的存在,为无线电的发明和发展奠定了坚实的理论基础。1887 年,德国物理学家赫兹在实验中证实了电磁波的存在。从此,人们努力研究如何利用电磁波传输信息的问题,这就是无线通信。其中最著名的是 1901 年 12 月 12 日,意大利的马可尼完成了横跨大西洋的通信,从而无线通信进入实用阶段,我国古代神话中的“千里眼”“顺风耳”成为现实。

电子技术的发展推动着无线通信技术发展。在电子技术发展史上,有三个里程碑:一是 1907 年美国物理学家李·德·弗雷斯特发明了电子三极管;二是 1948 年,美国物理学家肖克利等三人共同发明了晶体三极管;三是 20 世纪 60 年代,将“管”、“路”结合起来的集成电路、数字电路的出现,奠定了现代微电子技术的基础。

20 世纪 90 年代后期,软件无线电技术应运而生。软件无线电主要由天线、射频前端、宽带数模/模数转换器件、通用和专用数字信号处理器以及各种软件组成。这样,无线通信功能由软件定义并完成。软件无线电技术为通信技术的发展注入了新活力。

在移动通信系统方面,从 1978 年基于频分复用第一代模拟通信系统、1987 年基于时分复用的第二代数字移动通信系统,如今已发展到商用的第五代移动通信系统(5G)。我国从第三代移动通信系统开始就提出了自己的 TD-SCDMA 标准,第四代移动通信系统(4G)时又与贝尔、

诺基亚、大唐电信等公司共同开发了 TD-LTE 标准,到了如今的 5G,以华为、中兴为领头的中国企业,使得中国的 5G 技术已走在世界前列。在需求牵引以及全球各国发展战略的推动下,我国科技部 2019 年正式启动了 6G 研究计划。“传邮万里,国脉所系”是周恩来总理对国家邮政事业重要性做出的最好诠释。如今,中国的通信科技人员,正以筚路蓝缕英雄志,尽将碧血撒清秋的决心和毅力,向着让全人类互联互通的目的不断奋进。

无线通信技术朝着宽带化、网络化、软件化和智能化方向发展。无线通信的通信电路也向着更高集成度、更大规模与单片化、更高频率、数字化与智能化、低功耗和小封装等方向发展。未来太赫兹通信技术、全息通信技术、大规模天线阵列、人工智能技术、量子信息技术以及三维集成电路等为新一代通信设备的研发和应用提供了技术方向。

1.2 关于通信系统的概念

利用“电”来传递消息的方法称之为电信(telecommunication)。在自然科学中,“通信”与“电信”几乎是同名词。通信的任务就是传递各种信息(包括语音、文本、音乐、图像和数据等),传输信息的系统称为通信系统。

任何一个通信系统,都是从一个称为信息源的时空点向另一个称为信宿的目的点(用户)传送信息。通信系统是指实现这一通信过程的全部技术设备和信道的总和。通信系统种类很多,它们的具体设备和业务功能可能各不相同,然而经过抽象和概括,均可用图 1-1 所示的基本组成框图表示。一个完整的通信系统应包括信息源、发送设备、信道、接收设备和收信装置五部分,如图 1-1 所示。

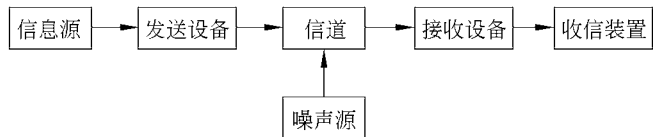


图 1-1 通信系统组成框图

信息源是指要传送的原始信息,如文字、数据、语音、音乐、图像等,一般是非电学量。对于非电学量信号,经输入变送器变换为电信号(例如被传输的声音信息就需先经声-电换能器——传声器即话筒,变换为相应的电压或电流形式的电信号)。如果输入信息本身就是电信号(如计算机输出的二进制信号)时,可以直接传送到发送设备。

发送设备是将电信号变换为适应于信道传输特性的信号的一种装置。

接收设备的功能和发送设备相反,它是将经信道传输后接收到的信号恢复成与发送设备输入信号相一致的一种装置。

收信装置是将电信号还原成原来的信息。例如,通过扬声器(喇叭)或耳机还原成原来的声音信号(语音或音乐)。

信道即传输信息的通道或传输信号的通道。概括起来有两种,即有线信道和无线信道。有线信道包括架空明线、电缆、光缆等,无线信道可以是传输无线电波的自由空间,如地球表面的大气层、水、地层及宇宙空间等。

噪声源是指信道中的噪声及分散在通信系统中其他各处噪声的集中表示。

对于被传输的其他信息如语音、文本、音乐、图像、数据等,也是先设法转换为相应的电信号,然后根据上述原理组成相应的通信系统,实现各种不同信息的传输。

根据信息传输方式的不同,通信可以分为两大类:无线通信和有线通信。如果电信号是依靠电磁波传送的,称为无线通信;如果电信号是依靠导线(架空明线、电缆、光缆等)传送的,称为有线通信。

1.3 无线电波的传播特性

传播特性指的是无线电信号的传播方式、传播距离、传播特点等。不同频段的无线电信号,其传播特性不同。同一信道对不同频率的信号传播特性是不同的。例如,在自由空间媒介里,电磁能量是以电磁波的形式传播的,而不同频率的电磁波却有着不同的传播方式。

传播方式主要有绕射(地波)传播、折射和反射(天波)传播及散射传播、直射传播等。决定传播方式和传播特点的关键因素是无线电信号的频率。

1. 绕射

具体地说,绕射是电波沿着地球的弯曲表面传播。由于地球不是理想的导体,当电波沿其表面传播时,有一部分能量被损耗掉,并且频率越高,损耗越严重,传播的距离就越短,因此频率较高的电磁波不宜采用绕射方式传播。通常只有中、长波范围的信号才采用绕射方式传播。例如,1.5MHz 以下的电磁波可以绕着地球的弯曲表面传播,称为地波,如图 1-2(a)所示。另外还应指出,由于地面的电性能在较短时间内的变化不会很大,因此这种电波沿地面的传播比较稳定。

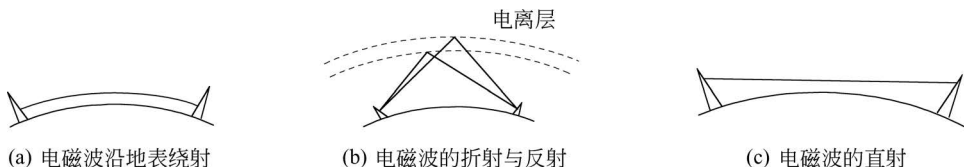


图 1-2 无线电波传播方式

2. 电离层的折射和反射

在地球表面存在着具有一定厚度的大气层,由于受到太阳的照射,大气层上部的气体将发生电离而产生自由电子和离子,被电离了的这一部分大气层叫做电离层。由于太阳辐射强度、大气密度及大气成分在空间分布是不均匀的,整个电离层形成层状结构。

电离层能反射电波,对电波也有吸收作用,但对频率很高的电波吸收得很少。短波无线电波是利用电离层反射的最佳波段。

例如,对于 1.5~30MHz 的电磁波,由于频率较高,地面吸收较强,用表面波传播时衰减很快,它主要靠天空中电离层的折射和反射传播,称为天波,如图 1-2(b)所示。电磁波到达电离层后,一部分能量被吸收,一部分能量被反射和折射到地面。频率越高,被吸

收的能量越小,电磁波穿入电离层也越深,当频率超过一定值后,电磁波就会穿透电离层传播到宇宙空间,而不再返回地面。因此频率更高的电磁波不宜用天波传播。

3. 直射

电波从发射天线发出,沿直线传播到接收天线。例如,对于 30MHz 以上的电磁波,由于频率很高,表面波的衰减很大,电磁波穿入电离层也很深,它就会穿透电离层传播到宇宙空间而不能反射回来,因此不用表面波和天波传播方式,而主要由发射天线直接辐射至接收天线,沿空间直线传播,称为空间波,如图 1-2(c)所示。

由于地球表面是一个曲面,因此发射和接收天线的高度将影响这种直射传播的距离。也就是说,空间波传播的距离受限于视距范围。发射和接收天线越高,所能进行通信的距离也越远。理论计算和实践经验表明:当发射和接收天线的高度各为 50m 时,利用这种方式传播的通信距离约为 50km。所以架高发射天线、利用通信卫星可以增大其传输距离。

从以上简述的电波的三种主要传播方式及其特点中可以看出,为了有效地传输信号,不同波段的信号所采用的主要传播方式是不同的。

综上所述,长波信号以地波绕射为主。中波和短波信号可以以地波和天波两种方式传播,不过,前者以地波传播为主,后者以天波(反射和折射)传播为主。超短波以上频段的信号大多以直射方式传播,也可以采用对流层散射的方式传播。

还需强调说明的是,无线电传播一般都要采用高频(射频)才适于天线辐射和无线传播。理论和实践都表明:只有当天线的尺寸大到可以与信号波长相比拟时,天线才具有较高的辐射效率。这也是为什么要把低频的调制(基带)信号调制到较高的载频上的原因之一。

1.4 无线电波的频段划分

在各种无线电系统中,信息是依靠高频无线电波来传递的,那么应该如何选择高频载波的频率呢?我们知道,频率从几十千赫至几万兆赫的电磁波都属于无线电波,所以它的频率范围是很宽的。为了便于分析和应用,习惯上将无线电的频率范围划分为若干个区域,即按频率或波长进行分段,称为频段或波段。

无线电波在空间传播的速度约为 3×10^8 m/s。电波在一个振荡周期 T 内的传播距离称为波长,用符号 λ 表示。波长 λ 、频率 f 和电磁波传播速度 c 的关系表示为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-1)$$

这是电磁波的一个基本关系式。知道了高频振荡的频率 f ,利用式(1-1)就可以计算出波长 λ 。在国际单位制中, c 的单位是 m/s, f 的单位是 Hz,波长的单位是 m。

表 1-1 列出了无线电波的波(频)段划分表。无线电波按波长的不同划分为超长波、长波、中波、短波、超短波(米波)、分米波、厘米波、毫米波等。有时也把米波和分米波合称为超短波。如果按频率的不同,可划分为甚低频、低频、中频、高频、甚高频、特高频、超高频和极高频等频段。

目前无线电广播、电视常用的无线电波的波段是:国内一般中波广播的波段大致为

535~1605kHz,短波广播的波段为 2~24MHz,调频广播的波段为 88~108MHz。

表 1-1 无线电波的波(频)段划分及其用途表

波段(频段)		符号	波长范围	频率范围	主要用途或应用场合
超长波(超低频)		SLF	$10^6 \sim 10^7$ m	30~300Hz	
特长波(特低频)		ULF	$10^5 \sim 10^6$ m	300~3000Hz	
甚长波(甚低频)		VLF	$10^4 \sim 10^5$ m	3~30kHz	声频、电话、数据终端
长波(低频)		LF	$10^3 \sim 10^4$ m	30~300kHz	电力线通信、海上导航
中波(中频)		MF	$10^2 \sim 10^3$ m	0.3~3MHz	AM 广播、业余无线电
短波(高频)		HF	10~100m	3~30MHz	短波广播、业余无线电
超短波(甚高频)		VHF	1~10m	30~300MHz	FM 广播、电视、导航、移动通信
微波 波 段	分米波(特高频)	UHF	0.1~1m	300~3000MHz	TV、遥控遥测、雷达、移动通信
	厘米波(超高频)	SHF	1~10cm	3~30GHz	微波通信、卫星通信、雷达
	毫米波(极高频)	EHF	1~10mm	30~300GHz	雷达着陆系统;射电天文
	亚毫米波(至高频)	THF	0.1~1mm	300~3000GHz	光纤通信

电视广播使用的频率,包括甚高频段和特高频段两个频率区间。甚高频段有 12 个频道,其频率范围是:1~5 频道为 48.5~92MHz,6~12 频道为 167~223MHz。特高频段有 56 个频道,其频率范围是 470~958MHz。

因为不同频段信号的产生、放大和接收的方法不同,传播的方式也不同,因而它们的应用范围也不同。

应该指出,各波段的划分是相对的,因为各波段之间并没有显著的分界线,但各个不同波段的特点仍然有明显的差别。例如,从使用的元器件以及电路结构与工作原理等方面来说,中波、短波和米波段基本相同,但它们和微波波段则有明显的区别。前者采用的元件大都是通常的电阻器、电容器和电感线圈等,在器件方面主要采用一般的半导体二极管、三极管(晶体管)、场效应管和线性组件等;而后者采用的元件则是同轴线、光纤和波导等,在器件方面除采用晶体管、场效应管和线性组件外,还需要特殊器件如速调管、行波管、磁控管及其他固体器件。

从表 1-1 中可以看出,频段划分中有一个高频段,其频率范围为 3~30MHz,这是高频的狭义定义。广义“高频”指的是射频,上限可达微波波段(3~5GHz)。

射频(radio frequency,RF)是可以向外辐射电磁信号的频率统称。在电路设计中,当频率较高、电路的尺寸可以与波长相比拟时,电路称为射频电路。一般认为,当频率高于 30MHz 时电路的设计就需要考虑射频电路理论。射频电路的典型频段为几百 MHz 至 4GHz。

微波是 300MHz~3000GHz 的电磁波。微波的低频段与射频频率相重合。当频率高于 4GHz 时,电路常采用微波电路的设计方法。

1.5 调制的通信系统



1.5~1.6

在实际工作中需要传送的信号是多种多样的,例如代表话音的信号就是由许多不同频率的低频信号组成的,又如风压、风速、水位、瓦斯含量等测量数据的信号,根据要传送

的信号是否要采用调制,通信系统分为基带传输和调制传输两大类。

基带传输是将基带信号直接传送,由于从消息变换而来的基带信号通常具有较低的频率(有些资料称基带信号为低频信号而称载频为高频信号),大多不适于直接在信道中传输,而必须先经过调制。

所谓调制,就是在传送信号的一方(发送端),用所要传送的对象(例如话音信号)去控制载波的幅度(频率或相位),使载波的幅度(频率或相位)随要传送的对象信号而变,这里对象信号本身称为调制信号,调制后形成的信号称为已调信号。调制使幅度变化的称调幅,使频率变化的称调频,使相位变化的称调相。如图 1-3(a)所示为调幅,图 1-3(b)所示为调频。实际上,在调制的通信系统中,载波只起一个装载和运送信号的作用,相当于运载工具,而调制信号才是真正需要传送的对象。

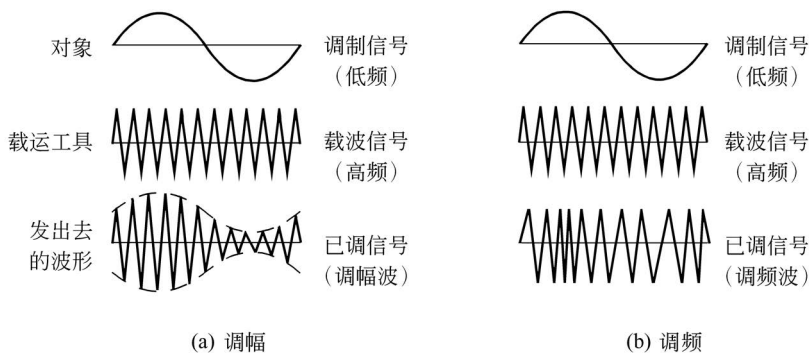


图 1-3 调制的波形

所谓解调,就是在接收信号的一方(接收端),从收到的已调信号中把调制信号恢复出来。调幅波的解调叫检波,调频波的解调叫鉴频,解调是这二者的统称。

调制的通信系统应用广泛,下面以无线电广播发送和接收系统为例说明它的组成和基本原理。

1. 无线电广播发射系统

图 1-4 所示为无线电广播发射调幅系统的组成框图,各框图之间所示波形可以使各方框的功能一目了然。它由高频、低频和电源三大部分组成。

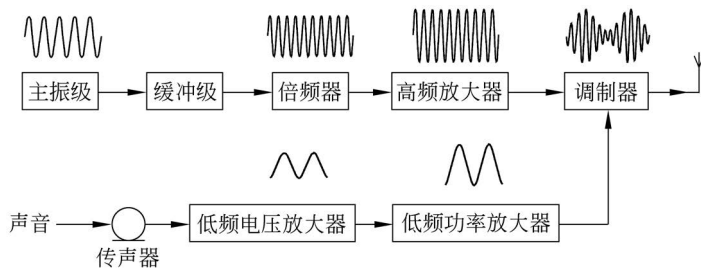


图 1-4 无线电广播发射调幅系统框图

高频部分有：

主振级——由石英晶体振荡器产生频率稳定度高的载波；

缓冲级——实质上是一种吸收功率小、工作稳定的放大级，其作用是减弱后级对主振级的影响；

倍频器——将载波频率提高到需要的频率值；

高频放大器——高频放大以提高输出功率，简称高放；

调制器——其功能是使高频载波信号幅度按低频信号大小变化的幅度调制，然后经发射天线以电磁波形式向远方辐射。

低频部分有传声器(麦克风、话筒)或录音设备等、低频电压放大器(简称低放)、低频功率放大器(简称功放)。这样将使低频电信号通过逐级放大获得所需的功率电平，然后对高频(载波)进行调幅。

2. 超外差式接收系统

无线电信号的接收过程与发射过程相反。为了提高灵敏度和选择性，无线电接收设备目前都采用超外差式，其组成框图如图 1-5 所示。

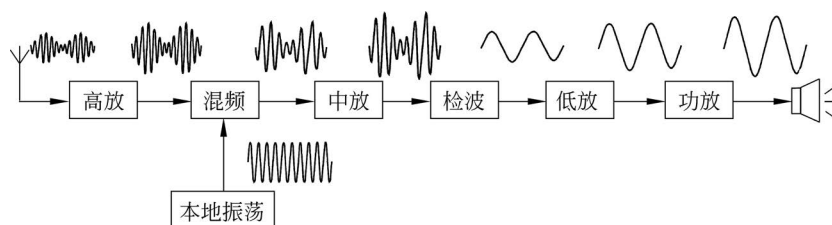


图 1-5 超外差式接收机组成框图

它的接收过程如下：从接收天线收到微弱高频调幅信号，经输入回路选频后，通过高频放大器放大，送到混频器与本机振荡器所产生的等幅高频信号进行混频，在其输出端得到的波形包络形状与输入高频信号的波形相同，但频率由原来高频变化为中频的调幅信号，经中频放大后送到检波器，检出原调制的低频信号，然后再经过低频放大，最后从扬声器还原成原来的声音信息(语音或音乐)。

应当指出，尽管要传输的信息多种多样，如声音、图像和数据等，但把它们转换为电信号后，可以归纳为两大类：一类是模拟信号，另一类是数字信号。模拟信号是指电信号的某一参量的取值范围是连续的，如话筒产生的话音电压信号。模拟信号通常是时间连续函数，也有时间离散函数的情况，但取值一定是连续的。数字信号是指电信号的某一参量携带着离散信息，其取值是有限个数值，如电报信号、数据信号等。

按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号，可把通信系统相应分成两类，即模拟通信系统和数字通信系统。

图 1-6 是模拟通信系统的基本组成框图。与图 1-1 相比，这里用调制器代替了发送设备，用解调器代替了接收设备。虽然发送设备和接收设备还包括其他电路，但调制器和解调器对信号的变换起着决定性的作用，对通信质量起关键作用。

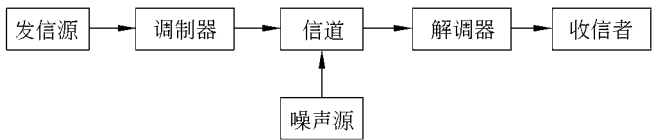


图 1-6 模拟通信系统的基本组成框图

在数字通信系统中,传输的是数字信号。当用数字信号进行调制时,通常称为键控。三种基本的键控方式是振幅键控(ASK)、频率键控(FSK)和相位键控(PSK),这些内容在通信原理课程中有详细介绍。图 1-7 是数字通信系统的基本组成框图。除包含调制器、解调器外,它还包括信源编码、信道编码、信道译码、信源译码和同步系统等。

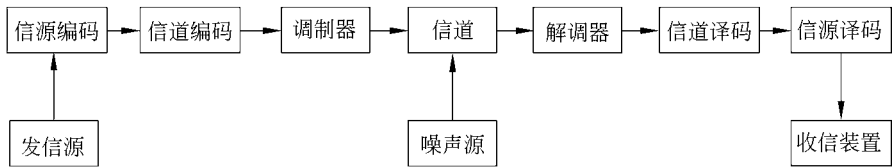


图 1-7 数字通信系统的基本组成框图

同步系统用于建立通信系统收、发两端相对一致的时间关系。只有这样,收端才能确定每一位码元的起止时刻,并确定接收码组与发送码组的正确对应关系。否则,接收端无法恢复发端的信息。因此,同步是数字通信系统正常工作的前提,通信系统能否有效、可靠地工作,很大程度上依赖于同步系统的好坏。图 1-7 中未表示出同步环节,因为它的位置是不固定的。

应当说明,对于模拟通信中的时分多路脉冲调制系统、图像(电视)传输系统及采用相干解调的连续波调制系统,也同样有同步问题。

1.6 本课程的主要内容和学习方法

本课程主要内容有:谐振回路、高频小信号放大器、高频功率放大器、正弦波振荡器、变频器、振幅调制与解调电路、角度调制与解调电路、锁相环及其他反馈控制电路、电噪声及其抑制以及通信电子电路的应用。着重讨论发送设备和接收设备各单元的工作原理和组成,以及构成发送、接收设备的各种单元电路的工作原理、典型电路和分析方法。

通信电子电路主要讨论的是以集总参数元件构成的发射机和接收机的基本功能电路的组成与工作原理。课程讲授的电路大多属于非线性电子电路,其特点是电路中产生了新的频率分量。

学习时,要根据不同电路的功能和特点,掌握各个功能电路的分析方法。同时,要抓住各种电路之间的共性,洞悉各种电路之间的内在联系。注意“分立为基础、管为路用”的原则,“勤实践、勇创新、敢突破”,为中国通信事业的发展贡献青春力量。

思考题与习题

- 1-1 画出无线电广播发射调幅系统的组成框图以及各框图对应的波形。
- 1-2 画出无线电接收设备的组成框图以及各框图对应的波形。
- 1-3 无线通信为什么要进行调制?
- 1-4 FM 广播、TV 以及导航移动通信均属于哪一波段通信?
- 1-5 画出用矩形波进行调幅时已调波波形。
- 1-6 在接收设备中,检波器的作用是什么?并绘出检波前后的波形。
- 1-7 在接收设备中,混频器的作用是什么,混频器是怎么组成的,并绘出混频前后的波形。
- 1-8 中波广播波段的波长范围为 $187\sim 560\text{m}$,为避免相邻电台互相干扰,两个相邻电台的载频至少要相差 10kHz ,问在此波段中最多能容纳多少家电台同时广播?

第 2 章 高频小信号放大器



第 2 章
课件

CHAPTER 2

2.1 概述

深海、深空、深地探测是国家当前和未来重点发展的科技领域。以深空探测为例,探测器与地球保持联系正是通过分布于地面的一个个高增益的抛物线天线组成的深空网,这些高增益的抛物线天线组成的天线阵列其中一个主要功能就是来实现高频小信号的放大。

在无线电技术中,经常会遇到这样的问题——所接收到的信号很弱,而这样的信号又往往与干扰信号同时进入接收机。我们希望将有用的信号放大,把其他无用的干扰信号抑制掉。借助于选频放大器,便可达到此目的。高频小信号放大器便是这样一种最常用的选频放大器,即有选择地对某一频率的信号进行放大的放大器。

高频小信号放大器是构成无线电通信设备的主要电路,其基本类型是选频放大器。所谓小信号,通常指输入信号电压一般在微伏至毫伏数量级附近,放大这种信号的放大器工作在线性范围内。所谓选频,是指这种放大器对谐振频率 f_0 的信号具有最强的放大作用,而对其他远离 f_0 的频率信号,放大作用很差。高频小信号放大器的频率特性如图 2-1 所示。

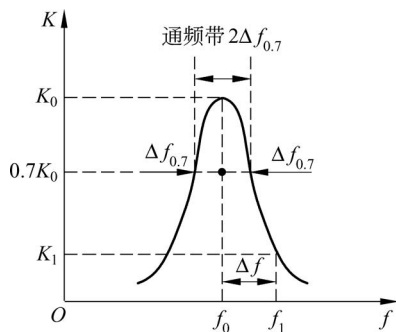


图 2-1 高频小信号放大器的频率特性

高频小信号放大器主要由放大器和选频回路两部分组成。放大器放大的一般都是已调制的信号,已调制的信号都具有一定频谱宽度,所以放大器必须有一定的通频带,让必要的信号频谱分量通过放大器。