

现代广播发送技术

李栋 杨刚 编著

网络工程专业「十二五」规划教材

中国传媒大学出版社



网络工程专业“十二五”规划教材

现代广播发送技术

李 栋 杨 刚 编著

韦博荣 主审



中国传媒大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

现代广播发送技术/李栋,杨刚著. —北京:中国传媒大学出版社,2015.7

(网络工程专业“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5657-1148-0

I. ①现… II. ①李…②杨… III. ①广播发射机—技术 IV. ①TN839

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 184843 号

现代广播发送技术

编 著 李 栋 杨 刚

主 审 韦博荣

责 任 编 辑 蔡开松

装帧设计指导 吴学夫 杨 蕾 郭开鹤 吴 颖

设 计 总 监 杨 蕾

装 帧 设 计 刘鑫、方雪悦等平面设计创作团队

责 任 印 制 阳金洲

出 版 人 王巧林

出版发行 中国传媒大学出版社

社 址 北京市朝阳区定福庄东街1号 邮编:100024

电 话 86—10—65450528 65450532 传真:65779405

网 址 <http://www.cucp.com.cn>

经 销 全国新华书店

印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.5

版 次 2015年7月第1版 2015年7月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-5657-1148-0/TN·1148 定 价 45.00 元

版权所有

翻印必究

印装错误

负责调换



中国传媒大学“十二五”规划教材编委会

主任： 苏志武 胡正荣

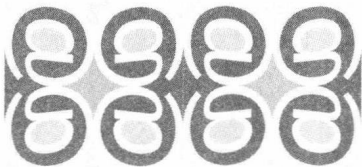
编委：（以姓氏笔画为序）

王永滨 刘剑波 关 玲 许一新 李 伟
李怀亮 张树庭 姜秀华 高晓虹 黄升民
黄心渊 鲁景超 蔡 翔 廖祥忠

网络工程专业“十二五”规划教材编委会

主任： 李鉴增 刘剑波

委员： 李 栋 韦博荣 杨 磊 王京玲 李建平
陈新桥 关亚林 杨 成 金立标 郭庆新



前言

广播是人们日常生活中的良师益友。目前人们每天收听的调幅广播或调频广播,传送的都是模拟信号,属于模拟广播。模拟广播由调制方式和带宽所决定,有很多缺点。主要问题是传输过程中会产生噪声和失真的积累,以及由电波多径传播引起的衰落,严重影响传输质量。尽管如此,在广播技术由模拟向数字过渡中,模拟广播还会存在较长的时期。鉴于此,本书用了相当多的篇幅讨论与调幅广播和调频广播发射技术相关的问题。

数字广播属于新一代的广播,抗干扰性能强,需要的发射功率小,有利于节约能源和减小电磁污染、改善环境;数字传输系统采用数据率压缩技术,并允许单频网(SFN)运行,大大提高了频谱利用率;数字传输系统是一种多媒体广播系统,它既可以传送声音广播节目,也可以传送数据业务、静止图像或活动图像。模拟声音广播向数字声音广播过渡是技术发展的必然趋势。

在广播技术领域,最早是在演播室实现数字化的,即实现信号的数字记录、存储和交换。数据率压缩技术的进步,解决了实现传输数字化的最大障碍,从而使从演播室到用户的整个传输系统的数字化成为可能。

本书涉及的内容,在模拟广播技术方面主要有调幅广播和调频广播,讨论它们的技术特点、发射技术和原理,以及工程相关技术问题;在数字广播技术方面,在介绍多载波技术—COFDM 传输方法的基础上,详细介绍国内外已经应用的数字广播系统,包括数字音频广播(DAB)、DRM、DRM+(DRM 模式 E)、FM HD Radio、AM HD Radio、RAVIS 和中国调频频段数字广播行业标准的技术特征,讨论这些系统的工作原理及相关工程技术问题。

由于篇幅所限,没有对一些数字技术理论基础例如信源编码、信道编码和数字调制等展开讨论。

在编写本书的过程中,作者注重了理论性、技术完整性和工程实用性的结合。

本书第3章中“3.6 调频同步广播技术”一节由杨刚编写,其他章节全部由李栋编写。本书的主审是韦博荣教授。在此表示衷心感谢!

本书的读者对象是,广播电视通信技术领域(广播机构、工业界、研究机构)的工程技术人员和大专院校相关专业的师生。本书也适合用于广播电视领域数字技术培训和继续教育。

限于作者水平,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

李 栋

2015年6月于中国传媒大学



目 录

前 言 /1

第1章 现代广播发送技术概论 /1

- 1.1 引言 /1
- 1.2 模拟与数字广播传输系统 /4
- 1.3 广播发射台的组成 /5
- 1.4 模拟广播发射机 /7
- 1.5 数字广播发射机 /8

第2章 调幅广播 /10

- 2.1 概论 /10
- 2.2 射频谐振功率放大器 /14
- 2.3 电子管板极调幅 /22
- 2.4 脉宽调制发射机 /28
- 2.5 脉冲阶梯调制发射机 /36
- 2.6 数字调幅发射机 /41
- 2.7 模块化中波(M²W)广播发射机 /54
- 2.8 调幅广播发射机并机 /59
- 主要参考文献 /70

第3章 调频广播 /71

- 3.1 调频原理与抗干扰性能 /71
- 3.2 调频立体声广播 /81
- 3.3 调频广播发射机 /87

2 现代广播发送技术

3.4 功率合成与分配 /93

3.5 双工器与多工器 /99

3.6 调频同步广播技术 /102

主要参考文献 /111

第4章 数字广播 /112

4.1 COFDM 传输方法 /112

4.2 数字音频广播(DAB) /125

4.3 DRM 技术系统 /159

4.4 DRM+技术系统(DRM 模式 E) /175

4.5 FM HD Radio 技术系统 /183

4.6 AM HD Radio 技术系统 /194

4.7 俄罗斯的数字广播系统—RAVIS /201

4.8 中国调频频段数字广播行业标准简介 /207

主要参考文献 /220

第1章 现代广播发送技术概论

1.1 引言

无线电的发明起源于电磁学的发展。1864年英国人麦克斯威尔提出了电磁波的概念,确认了电磁波的某些最基本的性质,即电场和磁场以电磁波的形式、以光的速度传播。1887年德国人赫兹通过实验证明:由振荡回路可以产生电磁波。1896年俄国人波波夫和意大利人马可尼在不同的地方成功进行无线电通信实验,表明无线电可以传递信息。

对公众的无线电广播始于20世纪20年代,采用全载波双边带调幅(DSB)的方式传送声音广播节目。在中短波广播中,这种调制方式一直保持到现在。变化的只是随着技术的不断进步,采用了不同的实现方法,效率越来越高,质量和可靠性越来越好。

1.1.1 调幅广播

调幅广播的主要特征是用音频调制信号控制高频振荡的幅度,高频振荡的瞬时幅度随着调制信号的变化规律线性变化。人们通常所说的调幅广播按波长可划分为长、中、短波广播,属于30MHz以下的广播。

长波广播的频率范围是148.5kHz—283.5kHz(仅在ITU地区1中使用),白天和夜晚都靠地波传播。

中波广播的频率范围是526.5kHz—1606.5kHz(ITU地区1和3使用)或525kHz—1705kHz(ITU地区2使用),在该频段工作的每个广播电台,在带宽为9千赫(或10千赫)的不同的频道(信道)中传送各自的节目,以免相互干扰。在中波广播频段,基于电波的传播特性,白天是靠地波传播,夜间既靠地波,又靠电离层反射传播的天波。

短波广播的频率范围是2.3MHz—27MHz,在该范围,有若干个频段供广播用,有些频段是安排给通信或其他应用的。国际规定的短波广播频段为:5950—6200(kHz), 7100—7300(kHz), 9500—9900(kHz), 11650—12050(kHz), 13600—13800(kHz), 15100—15600(kHz), 17550—17900(kHz), 21450—21850(kHz), 25670—26100(kHz)。

短波广播的频道带宽在全世界范围均为 10 千赫。短波电波是通过电离层的反射传播的,因此,传播距离很远,特别适合用于国际广播。由于电离层的高度随昼夜以及季节变化,因此,为得到好的传播效果,短波广播发射机的工作频率需要经常变化。

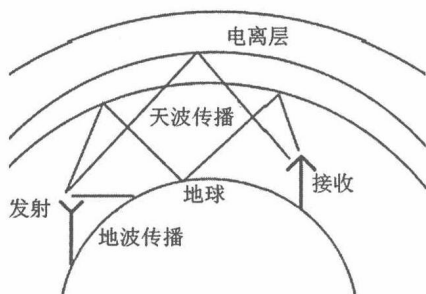


图 1-1-1 调幅广播电波传播示意图

图 1-1-1 所示是调幅广播电波传播示意图。调幅广播的优点是覆盖范围广,传播距离远,这一方面与 30MHz 以下电波的传播特性有关,另一方面是调幅广播发射机功率大,最大发射机功率高达 2000kW。调幅广播的频谱利用率高(带宽窄),仅用 9kHz 或 10kHz 的带宽,就可以传送一套音频节目。调幅广播固定接收和移动接收(允许接收机移动速度 1000 公里/小时)有相同的质量。调幅广播的接收机简单、

廉价。

但是,调幅广播也有明显的缺点。从能量的利用来看,AM 发射功率中的很大一部分是用于载波(例如,当平均 $m=0.3$ 时,载波功率占发射总功率的 95.7%),对信号本身甚至完全没有好处。现今中短波广播发射机功率都很大,与此相联系的是有相当高的运行费用。从传输的角度看,调幅波很容易受到干扰,传输质量较差。大多数的干扰表现是幅度干扰,使用包络解调的接收机无法消除这种干扰成分。此外,由于调幅广播占用的信道带宽较窄,允许传送的音频信号的最高频率受到限制,致使调幅广播的声音听起来有发闷的感觉。

1.1.2 调频广播

声音广播的另一个领域是工作在 VHF 频段的调频广播(我国为 87—108MHz)。调频广播的主要特征是用音频调制信号控制高频振荡的振荡频率,其瞬时振荡频率随着调制信号在载波频率 $\pm 75\text{kHz}$ 的范围内线性变化,振荡幅度保持不变。

调频广播按 0.1MHz 的频率间隔设置电台。调频广播的显著优点是声音质量好,干扰小;缺点是多径传播对传输质量的影响较大。此外,当高速移动接收时,由于多普勒效应,也会影响接收质量。

由于调频广播工作于 VHF 频段,电波是靠空间波传播,是视距传播,传播距离约 50 公里左右,因此,调频广播电台的覆盖范围较小。调频波的带宽理论上为无穷大,每个调频广播电台发射信号的有效带宽约 200 多千赫。

调频广播可分为调频单声道广播和调频立体声广播以及调频双节目广播。调频单声道广播时,发射端只传送左、右路信息的混合信号,是一个声道,接收端放音时只需一个扬声器。调频立体声广播时,发射端的节目源包含左、右两路信息,经过发射机的处理

后对高频振荡调频;接收机进行逆处理,还原出左、右两路信息,通过左、右两个声道的扬声器放音,听起来有立体感,现场感。

调频立体声广播考虑了兼容性,即单声道调频广播收音机也能够接收调频立体声广播电台的广播节目,但没有立体感;调频立体声广播收音机也能够接收单声道调频广播电台的广播节目,也无立体感。

在进行调频立体声广播的同时,还可以利用附加信道传送附加业务,例如为特定用户传送背景音乐、股票信息、交通广播控制信号等;也可以通过专用的数据信道进行数据广播。

1.1.3 数字广播

上述调幅广播和调频广播,传送的都是模拟信号,属于模拟广播。模拟广播由调制方式和带宽所决定,有很多缺点。主要问题是传输过程中会产生噪声和失真的积累,以及声音由电波多径传播引起衰落,严重影响传输质量。此外,传统的模拟广播方式大多只有声音广播节目,业务单纯。

数字广播系统,属于新一代的广播。这种新的传输系统抗干扰性能好;数字传输系统需要的发射功率较小,有利于节约能源和减小电磁污染、改善环境;数字传输系统采用数据率压缩技术,并允许单频网(SFN)运行,大大提高了频谱利用率;数字传输系统是一种多媒体广播系统,既可以传送声音广播节目,也可以传送数据业务、静止图像或活动图像。

鉴于以上情况,模拟声音广播向数字声音广播发展,也就是说,数字化是技术发展的必然趋势。

在广播技术领域,由于 A/D 转换后得到的数字信号的数据率很高,直接传输这样的数字信号需要很大的射频带宽。随着数据率压缩技术的进步,使从演播室到用户的整个传输系统的数字化成为可能。

国际范围内,主要的地面数字声音广播标准有:数字音频广播(DAB/DAB+/DMB)、调幅波段(中、短波)的数字广播(DRM, AM HD Radio)、DRM+、FM HD Radio 和 RAVIS。此外,我国在 2013 年也发布了调频频段的数字音频广播标准。

表 1-1-1 是几种可以工作在调频波段的数字广播主要技术特征的比较。

表 1-1-1 HD-Radio,DRM+,T-DAB 比较

参 数	HD-Radio	DRM+	T-DAB(模式 1)
调制方法	QPSK	4QAM,16QAM	4DPSK
载波数量	$2 \times 191 = 392$	212	1536
保护间隔	159 μ s	250 μ s	246 μ s
时间交织	1486ms	700ms	384ms
总(毛)数据率	256kb/s	149kb/s,299kb/s	2432kb/s

续表

参 数	HD—Radio	DRM+	T—DAB(模式 1)
编码率	0.4, 0.8	0.25…0.62	0.33…0.75
净数据率	96kb/s	37…186kb/s	1150kb/s
高频带宽	140kHz	95kHz	1536kHz
频谱利用率(不含保护带)	0.7(b/s)/Hz	0.4…1.9(b/s)/Hz	0.7(b/s)/Hz

1.2 模拟与数字广播传输系统

模拟信号传输系统相对简单,发射端只需用节目信号(又称调制信号)对射频载波进行幅度调制(实现调幅的方法很多,将在后文讨论),具有一定功率电平的射频信号,通过天线以电磁波的形式发射;接收端通过调谐电路,选择想要收听的广播电台的射频信号,将其变为中频信号,再进行包络解调、放大等处理,便可以恢复传输的节目信号。

图 1—1—2 所示是数字广播传输系统方块图。

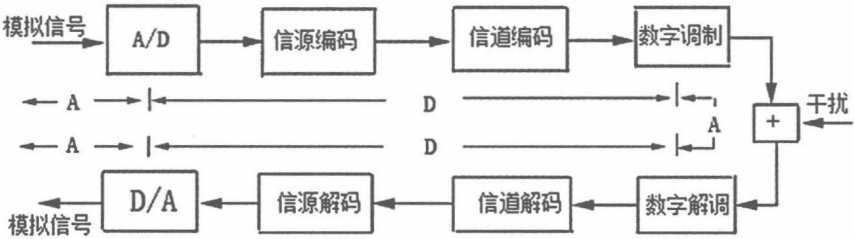


图 1—1—2 数字广播传输系统方块图

数字广播传输系统与模拟信号传输系统的主要区别在于,模拟信号首先要经 A/D 转换变为数字信号,然后经过信源编码进行数据率压缩(即降低数据率),提高信息传输的有效性。为了提高信息传输的可靠性,下一步需要人为加进冗余,进行信道编码,以便接收端进行信道解码时可以发现传输中出现的差错并予以修正。

信道编码后数据处理的重要一步是进行数字调制,将数字信号变为适合在信道上传输的信号形式。在广播电视技术领域,根据应用的条件不同,通常是采用数字调幅或数字调相(或者既调幅又调相)。

数字调制器输出的信号通常是射频(RF)信号,且为模拟信号形式。这是因为数字调制器的载波信号通常仍使用余弦信号(容易产生和处理),数字调制器的输出信号仍是幅度或(和)相位受到数字信号调制的射频振荡。

与模拟调制不同的是,射频振荡的瞬时幅度或(和)相位的变化是不连续的(离散的),只有有限的几种幅度或(和)相位状态,不同的状态对应不同的码字(一组由 0 和 1 组成的代码)。

综上所述,从话筒开始直到接收机的扬声器,数字广播传输系统的信号形式既有模拟信号(A)形式,又有数字信号(D)形式。

数字传输系统的质量优劣可通过其有效性和可靠性来衡量。所谓有效性,是指系统的传输速率,是单位时间内可以传输的比特数,用比特/秒(b/s)表示。

数字传输系统的可靠性用误码率(或称误比特率)表示,其定义为接收机信道解码后的错误比特数与传输的总比特数之比。

有效性与可靠性是有联系的,为了取得更高的可靠性,往往要以牺牲有效性为代价。

1.3 广播发射台的组成

广播发射台的选址,要考虑与居民区有一定的距离、环境保护、电磁波干扰、电波遮挡等问题。

广播发射台主要由节目传送分配系统、电源系统、发射机系统、馈线、天线和其他辅助设备组成。图 1-1-3 是发射台系统构成图。

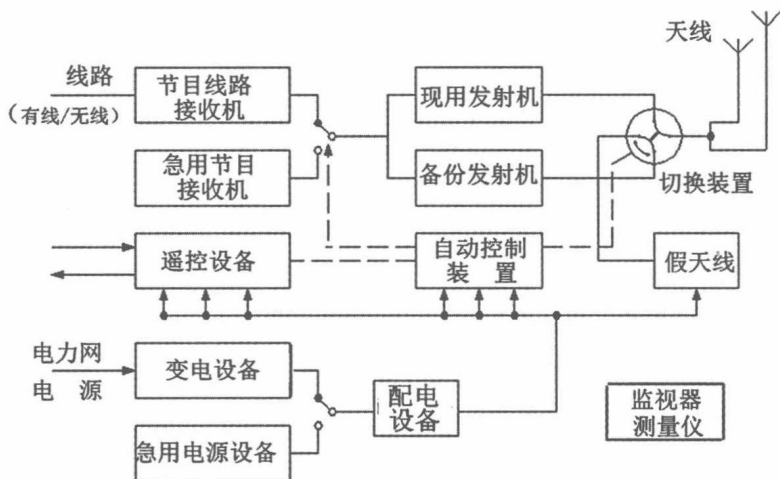


图 1-1-3 发射台系统构成图

1.3.1 节目传送分配系统

广播中心送出的低电平的音频广播节目,通过有线(电缆、光纤)或无线线路(微波、卫星)传送到发射台的节目调度或分配中心,根据节目运行时间表,通过交换设备和音频电缆将相应的节目送到相应的发射机的音频输入端。

1.3.2 电源系统

发射机所需要的能源,由电力网供给。大功率发射台通常将电网提供的 35kV 或

10kV 的高压,经过台内的变电配电系统送到发射机供使用。

为确保广播不中断,在条件许可的情况下,通常有备用电源,有相应的自动控制与切换装置。

1.3.3 发射机系统

在发射台的机房内,根据任务的不同,设置不同种类(中波、短波、调频或电视)和不同功率等级的发射机,发射机通过调制技术,将低电平的音频广播节目变换为高电平的射频电磁波。

发射机是发射台的主体。发射机实际上是电能转换器,它将电网提供的工频电能转换为无线电广播的射频电能。

1.3.4 天线与馈线系统

发射机产生的大功率射频信号,通过天线以电磁波的形式发射出去。根据电磁波波长的不同,天线有不同的尺寸和形状。

中波天线多为底部绝缘的桅杆,无方向性辐射。为减少地面辐射的地表损耗,需要在 0.2—0.5m 深处铺设以天线底部为中心的径向辐射地网(通常为 120 根导线,每 3° 一条,长度为半波长)。天线桅杆的高度通常为 $1/4$ — $1/2$ 波长。中波天线也可由多个桅杆组成,按辐射要求排列组成天线阵,实现定向发射。

短波天线多为定向发射,由许多阵子组成天线阵,固定到支持物上。短波天线有同相水平天线、笼形天线、菱形天线、对数周期天线等。由于短波广播是通过电离层反射向远处的服务区发射,不需要在天线区铺设地网。

调频广播工作在米波波段,天线尺寸小,常使用蝙蝠翼型和角锥型天线,可根据要求组成有方向性 or 无方向性。调频天线一般架设在高支持物的顶部。

由发射机的输出口到天线的输入端,通常有很远的距离(尤其是中短波电台),要通过馈线或封闭式馈管来承担功率输送的任务。在短波广播电台,发射机与天馈线之间还有交换设备,实现发射机与天线的适当组合。

1.3.5 辅助设备

为了确保广播可靠安全运行,发射台除了以上的重要组成部分外,还需要一些辅助设备。如为调整、测试发射机技术指标用的假天线(假负载)、监听与监视设备、测量仪器等。此外还应有必要的生活设施和消防设施。

1.4 模拟广播发射机

广播发射机是整个广播发射系统的主体,一般由射频(RF)系统、音频(AF)系统(又称调制系统)、电源系统、控制系统、冷却系统和监测系统等组成。

1.4.1 射频系统

射频系统包括产生载波信号的激励器(频率合成器)、RF前级功率放大器与末级功率放大器、功率合成器、滤波器、阻抗变换器等部分。

1.4.2 音频系统

音频系统是为进行振幅调制而对音频节目进行加工和处理的系统,包括音频处理器、AF电压与功率放大器、调制器等部分。

发射机中的音频放大与射频放大器件使用电子管和晶体管。目前电子管多用于大功率的短波发射机中,而中波发射机使用电子管的越来越少,大多数使用晶体管,采用功率合成的办法产生大的功率,这种发射机称全固态发射机。

1.4.3 电源系统

包括交流电源和直流电源两部分,交流部分包括变电与配电及其保护设备,如变压器、高压开关、自动空气断路器和保险器等,直流部分包括各种不同电压和功率等级的整流器。

1.4.4 控制系统

控制系统是保证发射机安全操作与运行的重要设备,包括对发射机实施操作控制与自动保护等功能的部分。为了实施控制,多使用继电器、交流接触器和电子逻辑电路进行计算机控制。

1.4.5 冷却系统

为使发射机长时间可靠运行,必须确保发射机中各种放大器(由晶体管或电子管构成)和其他大功率元器件(例如槽路线圈和电阻)的散热,除低功率级用自然冷却外,通常要用强制风冷却、水冷却、蒸发冷却或超蒸发冷却的系统。

1.4.6 监测系统

用于监测发射系统的质量指标和设备的运行状态,主要包括必要的监听与监视设备,如各种仪表、指示灯、音响、示波器、记录设备等。

图 1-1-4 和图 1-1-5 分别为典型的调幅广播发射机与调频广播发射机构成原理方块图。

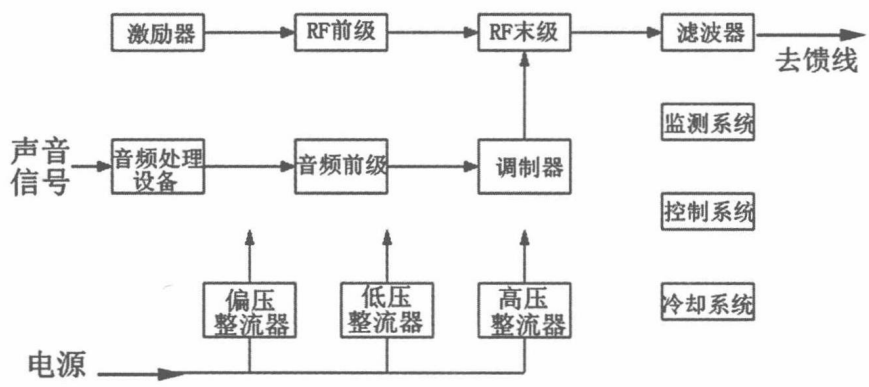


图 1-1-4 调幅广播发射机构成原理方块图

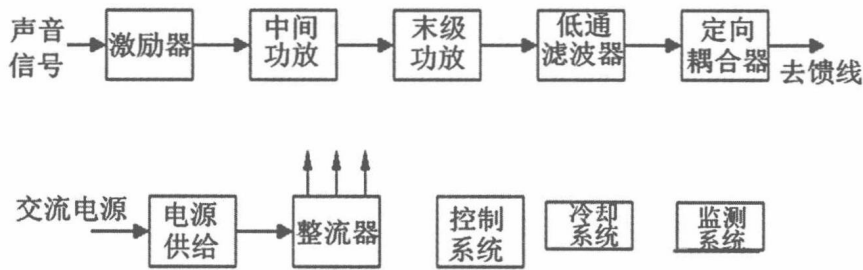


图 1-1-5 调频广播发射机构成原理方块图

1.5 数字广播发射机

数字广播发射机与模拟广播发射机的主要不同点在于:发射机的输入信号是数字信号,通常是经 A/D 转换后的 PCM 信号,经信源编码器和信道编码器处理后进行数字调制。调制后的信号的继续处理(频率变换、功率放大等)与模拟发射机基本方法相同。除音频系统不同外,模拟广播发射机的其他系统在数字发射机中也是必须有的。

基于数字调制的特点,数字发射机可能出现的峰值功率与平均功率之比(简称峰平比,峰值系数)较大,对放大器的线性范围要求高,因而发射机的整机效率低。

由于数字广播的抗干扰能力强,数字广播发射机的功率都比较小,冷却系统相对简单。

 本章思考题：

1. 什么是调幅广播？什么是调频广播？各有何特点？
2. 发射机主要由哪些系统构成？
3. 数字传输系统有哪些主要组成部分，各部分的作用是什么？
4. 如何衡量数字传输系统的性能？
5. 目前国际上投入使用的数字广播系统主要有哪些？