

广播影视工程技术人员实用教材

广播发射实用技术

GUANGBO FASHE SHIYONG
JISHU

● 方德葵 主编
● 刘洪才 编著
● 史存国

中国广播电视出版社

广播影视工程技术人员实用教材

广播发射实用技术

主编 方德葵
主审 刘兴尧
编著 刘洪才 史存国

中国广播电视出版社

图书在版编目(CIP)数据

广播发射实用技术 / 刘洪才, 史存国编著. —北京: 中国广播电视出版社, 2005.1

广播影视工程技术人员实用教材

ISBN 7-5043-4494-X

I.广… II.①刘…②史… III.①广播系统:发射系统-教材 IV.TN93

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第124801号

广播发射实用技术

主 编	方德葵
主 审	刘兴尧
编 著	刘洪才 史存国
责任编辑	高子如
封面设计	李燕平
责任校对	徐 强 舒翼华
监 印	赵 宁
出版发行	中国广播电视出版社
电 话	(010)86093580 86093583
社 址	北京市西城区真武庙二条9号(邮政编码 100045)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	长沙化勘印刷有限公司
开 本	787毫米×1092毫米 1/16
字 数	370(千)字
印 张	17.25
版 次	2005年3月第1版 2005年3月第1次印刷
印 数	5000册
书 号	ISBN 7-5043-4494-X/TN·320
定 价	30.00元

(版权所有 翻印必究·印装有误 负责调换)

广播影视工程技术人员实用教材

编 委 会

主 任	王效杰	王 蓓				
副 主 任	王富强	王 联	杨金鳶	宋培学		
执行主任	刘润卿	黄伟民				
委 员	方 华	孙苏川	魏开鹏	黄其凡		
	常 健	王国庆	阳元秋	莫良苏		
总 主 编	黄伟民	王国庆				
策 划	王国庆	王本玉	黄其凡	方德葵		
主 审	(按姓氏笔画为序)					
	方学忠	王柱清	冯锡增	刘兴尧		
	李汝勤	李铁铮	李鉴增	吕希才		
	陈原祥	罗其伟	金震华	洪品俊		
主 编	方德葵					
副 主 编	方林佑	曾介忠	方建超			
编 委	(按姓氏笔画为序)					
	方 兴	方 林	王 晖	王 珮	王本玉	王建军
	王明臣	王大纲	牛亚青	尹 浩	史存国	毕 江
	朱 伟	朱 梁	师 雄	关亚林	刘洪才	李跃龙
	杨奇勇	杨盈昀	沈 威	苏 勇	张 琦	张 衡
	张 颖	张永辉	陈 炜	陈洪诚	陈懿春	杜啸岚
	林正豹	林强军	曾志刚	武海鹏	晏 瑜	姜秀华
	徐 强	高向明	倪世兰	钱岳林	章文辉	冀红波
	黄其凡	黄春克	程 鹏	舒翼华	甄 钊	臧干军

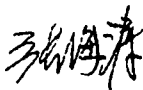
序

广播影视是科技进步的产物，科技创新在广播影视发展中始终发挥着引领的作用。广播从中波、短波到调频、立体声、数字多媒体广播，电视从黑白到彩色、到数字标准清晰度、数字高清晰度电视，电影从黑白无声电影到彩色有声、数字立体声以及动感电影，都是科技发明的结果。

当前，随着世界科技的突飞猛进，广播影视数字化、网络化、产业化发展更加迅速，数字、网络等技术的发展给广播影视带来了自诞生以来的最大的一场变革。这不仅仅是技术设备上的升级换代，更为重要的是，它将给广播影视的工作方式、服务方式、管理方式、体制机制乃至政策法规等方面带来深刻的变化。这场变革已经超出了技术领域和行业范畴，对整个文化产业、信息产业乃至整个社会都将带来深远的影响。我国正以播出前端、用户终端的数字化和塑造市场服务主体为重点，全力推进广播影视数字化：按照数字化、网络化、媒体资产管理并重并举并行的方针，推进广播电台、电视台内部数字化，使广播电台、电视台从为单一用户、单一终端提供服务向为各类用户、各种终端提供服务转变；通过增加节目内容、增加信息服务，推进有线电视数字化整体转换，使有线数字电视成为我国进入千家万户的多媒体信息平台；通过创新体制，引入竞争，塑造市场服务主体，大力发展广播影视产业，不断满足人民群众日益增长的多样化、个性化和对象化的精神文化需求。同时，调动各方面的积极性和创造性，凝聚各方面的智慧和力量，统筹卫星、有线、无线、IP等各种技术手段，通盘考虑，总体规划，加强管理，形成合力，确保广播电视公共服务，开发广播电视市场服务，促进我国广播影视全面协调和可持续发展。

新形势、新任务对我们广播影视工作者提出了新要求，我们广大广播影视工作者要自觉学习新知识，掌握新技术，开发新业务，建立新模式，抢占新阵地和新市场，为我国广播影视的发展改革做出更大的贡献！

国家广播电影电视总局副局长



2004年8月28日

前 言

我国无线广播始于二十世纪 20 年代,板调发射机一直居主导地位。直至 80 年代,我国先后引进脉宽调制(PDM)和脉阶调制(PSM)发射机。到了 90 年代,先后引进了数字调制(DM)、幅相调制(APM)和数字直接驱动(3D)发射机。我国广播电视工业部门对引进技术消化、吸收和研制后,现已批量生产,为我国 70 年代以前使用的板调发射机的更新改造奠定了基础。

目前正处于新老交替的时期,老式板调机还没有完全被更新,仍在运行。既使更新为新型发射机,如 PDM、PSM,它们仍属于板调范畴,这说明板调作为一种调制方式还没有废除。另外,新型发射机已经基本实现了固态化,唯独在大功率短波发射机的高末级仍使用电子管或陶瓷四极管。鉴于目前的实际情况,本书在系统地讲述了新技术基础理论的同时,也讲述了有关板调以及电子管方面的基础理论。考虑到作为广播发射机的实用技术书籍,尽量避免繁琐的数学推导,深入浅出、通俗易懂、图文并茂,便于自学。同时介绍了两位作者在 30 多年维护管理工作中所积累的丰富的操作、维护与测试方面的经验,有助于提高广播发射台维护技术人员的值班、检修、测试和处理故障的能力。本书第一篇共八章为广电总局广科院刘洪才教授所写,第二篇和第三篇共三章为广电总局无线局史存国高工所写。本书适合于在广播发射台工作的工程技术人员阅读,也可供发射机生产厂家以及大专院校相关专业的师生参考。

作者

2005 年 1 月

目 录

第 1 篇 基础理论篇

第 1 章 声音广播概述	(3)
第 1 节 广播电视系统的构成及其功能	(3)
第 2 节 广播发射台与广播发射机	(5)
第 3 节 目前声音广播的主要类型	(8)
第 4 节 广播发射机的发展方向	(23)
第 5 节 地面数字音频广播(DAB-T)	(25)
第 6 节 中短波数字广播系统(DRM)	(29)
第 2 章 射频系统	(37)
第 1 节 激励级	(38)
第 2 节 射频功率放大器	(42)
第 3 节 放大器的中和	(54)
第 4 节 MOSFET 功率放大器	(56)
第 5 节 输出网络	(62)
第 6 节 并机网络	(64)
第 3 章 音频放大与数字音频技术基础	(67)
第 1 节 限制放大器	(67)
第 2 节 音频处理器	(69)
第 3 节 低频电压放大器	(72)
第 4 节 阴极输出器	(81)
第 5 节 负反馈	(83)
第 6 节 晶体管放大器	(87)
第 7 节 数字通信基本概念	(90)
第 8 节 脉冲编码调制(PCM)	(96)
第 9 节 音频压缩的基本概念	(104)
第 10 节 数字信号的调制与解调	(106)
第 4 章 脉冲与数字电路基础	(110)
第 1 节 脉冲电路	(110)
第 2 节 逻辑门电路	(114)

第3节	脉冲宽度调制(PDM)基础	(119)
第4节	数字调制理论基础	(122)
第5节	运算放大器	(128)
第6节	模数转换与数模转换	(129)
第5章	天馈线系统	(133)
第1节	电波传播	(133)
第2节	馈线	(135)
第3节	天线的主要特性参数	(136)
第4节	中波天线	(138)
第5节	短波天线	(140)
第6节	馈线与天线的匹配	(142)
第7节	中波两频共塔发射双工网络	(143)
第6章	电源系统	(145)
第1节	变电与配电	(145)
第2节	灯丝电源	(146)
第3节	整流电源	(146)
第7章	控制系统	(154)
第1节	广播发射机的自动控制与管理	(154)
第2节	发射中心的自动控制与管理	(157)
第8章	冷却系统	(159)
第1节	风冷	(159)
第2节	水冷	(160)
第3节	蒸发冷却	(160)
第4节	超蒸发冷却	(162)

第2篇 实用技术篇

第9章	发射机的操作	(165)
第1节	发射机的操作流程	(165)
第2节	DX-200 中波发射机的操作	(167)
第3节	418E 型 100kW 短波发射机的操作	(171)
第10章	发射机的维护	(177)
第1节	发射机的维护周期与项目	(177)
第2节	检修安全	(185)
第3节	核心元件的维护	(187)
第4节	天馈线系统的维护	(214)
第5节	恢复性维护	(216)

第3篇 指标测量篇

第11章 发射机的技术指标	(241)
第1节 技术指标	(241)
第2节 电平的计算	(246)
第3节 测试仪器简介	(248)
第4节 技术指标测试	(262)

第 1 篇 基础理论篇

第1章 声音广播概述

本章内容提要

- ◎广播电视系统的构成及其功能
- ◎声音广播的主要类型
- ◎调幅广播的调制方式
- ◎广播发射机的发展方向
- ◎中短波数字广播系统(DRM)

第1节 广播电视系统的构成及其功能

了解广播电视系统的构成及其功能很有必要。随着科学技术的飞跃进步,全世界已经进入了数字化、信息化、网络化时代,广播电视事业也随之得到了迅猛地发展。如今广播电视事业已经发展成为多形态、多环节、多功能、多层次的规模庞大的系统,成为多种专业分工合作、具有高新技术的文化事业和文化产业。在全面建设小康社会中占有重要地位,在精神文明和物质文明建设中起着党的喉舌作用。广播电视技术系统由节目制作、节目播出、节目传送、信号发射、信号监测和信号接收五个环节构成。从把声音和图像转换为可传播的信息载体,通过传播、接收,再还原成声音和图像。这个过程像一根“链条”一样,上述的五个技术环节都是组成这个完整的“链条”不可分割的一部分,就是说这个“链条”是一个系统工程,是传播声音和图像的通道。在这个系统中,无论缺少哪一个环节,整个传播“链条”被破坏,传播通道被中断,造成停播事故。下面分别简述一下五个环节的功能。

1. 节目制作

节目制作是广播电视技术系统的第一个环节。通过采访、录制(录音、录像),获取声音和图像素材,再通过编辑、合成,成为可供播出的广播、电视节目。在节目制作过程中要采用话筒、摄像机、录音机、录像机、电子编辑系统、电子新闻采集(ENG)设备、电子现场节目(EFP)制作车、广播录音室、电视演播室等设备。从事节目制作的工程技术人员要熟练地使用、维护这些设备,进行录音、摄像、编辑、合成,制作出高质量的广播电视节目。

2. 节目播出

节目播出是广播电视技术系统的第二个环节,是传播广播电视节目通道的起点。节目播出方式有录播、直播和转播三种。节目播出设备包括放音机、放像机、控制台、线路放大器、信号输出终端等设备。对于小型广播电视台而言,可以将广播电视节目信号通过音频电缆、视频电缆、光缆直接传送至广播电视发射台。对于大型广播电视台而言,节目套数多,要经过主控设备、矩阵网络后,再分别送入各路信号放大器、线路输出终端设备输出。如果需要多点传送时,应建立一个调制机房,根据需要几套或多套广播电视节目组合在一起,通过音频电缆、视频电缆、光缆、微波设备,送往广播电视发射台、卫星地面接收站、微波干线上的中继站、枢纽站、终端站。

节目播出由广播电视台总编室、播出部负责,前者编制节目播出计划,后者使用与维护播出部所属的技术设备。

3. 节目传送

目前广播电视节目传送方式有四种:

- (1) 电缆(音频电缆、视频电缆);
- (2) 光缆;

利用音频电缆可以建立有线广播网,利用光缆、视频电缆可以建立有线电视网(干线网、局域网、用户分配网),将广播电视节目直接传送到受众。

- (3) 微波;

(4) 卫星:利用 C 频段和 Ku 频段通信卫星,采用数字码率压缩技术传送几百套广播电视节目。

据悉,2005 年我国将发射直播卫星(DBS),可以实现直播到户(DTH)。

4. 信号发射

信号发射是广播电视技术系统的第四个环节,其主要任务是把广播电视节目信号调制在广播电视发射机的载波上,通过馈线送往天线向空中辐射出去。

广播电视信号发射任务由广播电视发射台来完成。发射台内有广播、调频、电视发射机、天馈线及其倒换装置、冷却系统、节目传送与调度室等设备。

为了提高广播电视人口覆盖率,需要建立由众多的广播电视发射台、转播台、差转台组成的中波(同步)广播网、短波广播网、调频(同步)广播网、电视广播(米波、分米波)网。

5. 信号监测和信号接收

信号监测和信号接收是广播电视技术系统的第五个环节,信号监测部门通过广播电视信号接收设备和技术指标测试设备,监听、监视、监测广播电视信号质量,并及时向主管部门提交质量监测报告和广播电视系统的运行情况(停播、劣播)。

信号接收有集体接收和个体接收两种,集体接收系统由接收、放大、分配装置所组成,如工厂、学校、农村的有线广播站,共用天线电视系统都属于集体接收。利用一台收音机、一台电视机即可实现个体接收。能够听好广播、看好电视的人口越多,广播电视人口覆盖率越高。广播电视人口覆盖率应分别达到95%以上。

第2节 广播发射台与广播发射机

信号发射的任务由安装在广播发射台内的广播发射机来完成。发射机通过天馈线发射无线电波,供听众收听。

广播发射台有直播台和转播台两种:将播控中心的广播节目用电缆或微波直接送到发射台播出,这样的发射台叫直播台。将播控中心的广播节目通过卫星、微波干线、短波传输到发射台播出,这样的发射台叫转播台。直播台在播控中心所在城市的郊区,转播台不在播控中心所在的城市,有些转播台基本建立在边疆地区。

1. 发射台组成

发射台的主要设备是广播发射机及其天馈线系统。节目传送设备包括卫星地面接收站、微波机房、短波收音机房和光缆、电缆信号解调机房。电源设备包括变电站、配电间。电源设备应有主用和备用两套。冷却设备包括水冷系统和风冷系统。此外还应有监测监听设备。技术先进的发射台还有自动化设备,利用微机进行自动程序控制,实现有人留守、无人值班。

2. 发射机构成与分类

(1) 发射机构成

图1-1为发射机及其相关设备方框图。节目传送机房可以通过卫星、微波、短波、电缆、光缆等方式,接收广播节目信号,送往调度室。调度室的任务是统一控制发射台节目种类、如发射机的使用频率、天线方位,并进行监测监听。广播发射机安装在发射机房内,每个机房可能有几部发射机(包括备份机)。一个发射台可能有几个发射机房。发射线将射频电流变成电磁波,并向空间辐射。一部发射机可以切换使用多个方向的天线。为了提高天线的发射效率,在中波天线场区要埋设辐射状地网。电源系统包括交流电源和直流电源。交流电源主要供给各整流器、动力设备、电控系统、照明。直流电源主要供给节目传送机房、广播发射机、微机控制、调度室。通过微机控制实现发射机及其相关设备的自动开关机,工作状态参数(电压、电流、功率等)自动巡检、打印、故障报警、倒备机、自动调谐。发射机大功率电子管及其相关元器件需要进行水冷或风冷,保护它们正常运行。

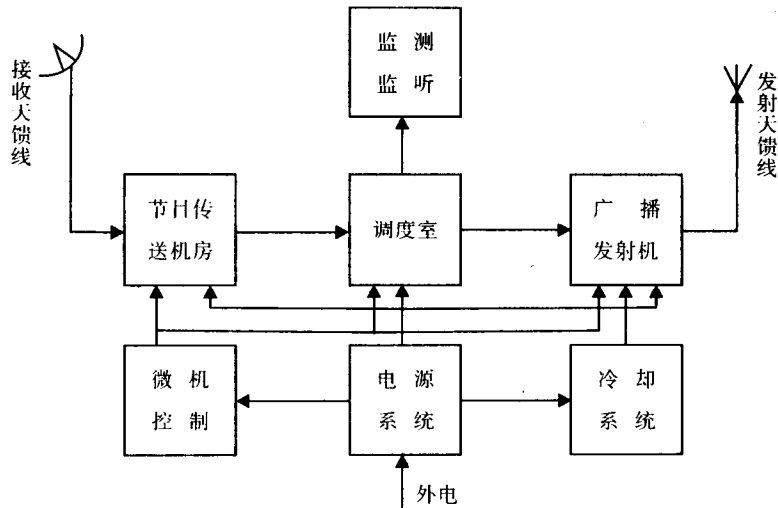


图 1-1 发射机及其相关设备方框图

(2) 发射机分类

①按工作频段划分:无线电频段和波段划分示于表 1-1。

表 1-1 无线电频段和波段划

段号	频段名称	频率范围	波段名称	波长范围	
1	极低频	3~30Hz	极长波	100~10Mm	
2	超低频	30~300Hz	超长波	10~1Mm	
3	特低频	300~3000Hz	特长波	1000~100km	
4	甚低频 VLF	3~30kHz	甚长波	100~10km	
5	低频 LF	30~300kHz	长波	10~1km	
6	中频 MF	300~3000kHz	中波	1000~100m	
7	高频 HF	3~30MHz	短波	100~10m	
8	甚高频 VHF	30~300MHz	米波	10~1m	
9	特高频 UHF	300~3000MHz	微波	分米波	10~1dm
10	超高频 SHF	3~30GHz		厘米波	10~1cm
11	极高频 EHF	30~300GHz		毫米波	10~1mm
12	至高频	300~3000GHz		亚毫米波	1~0.1mm

中波广播发射机的频率范围为 526.5~1605.5kHz, 波长为 570~187 米。短波广播发射机的频率范围为 3.2~26.1MHz, 波长为 9.38~11.5 米。

②按功率等级划分:大功率发射机是指单机输出功率在 50kW 以上的发射机。目前,我国使用的有 50kW、10kW、150kW、200kW、250kW、500kW 等大功率发射机。中小功率发射机是指单机输出功率小于 50kW 的发射机。现在运行的有 15kW、10kW、7.5kW、1kW 等中小功率发射机。

③按调制方式划分:对载波的调制方式一般分为三种,即调频方式、调极方式和调幅

方式。调幅方式有栅极调制、帘栅极调制、板极调制、自动板极调制,其中板极调制应用最广。由于音频加工方式不同,板极调幅又可分为乙类板极调制(AM)、脉冲宽度调制(PDM)、脉冲阶梯调制(PSM)、单边带调制(SSB)等四种调制方式(见图1-2)。将调制方式切换开关S切换至位置1,即为乙类板极调制;S切换至位置2,即为脉冲宽度调制(PDM)。在串馈脉宽调制发射机中,还可以实现浮动载波控制(DCC)。S切换至位置3,即为脉冲阶梯调制(PSM);S切换至位置3,再拨动机器面板上的工作方式选择开关至SSB位置,即为单边带调制。近年来又出现了数字调制(DM)、幅相调制、3D等新型调制方式。

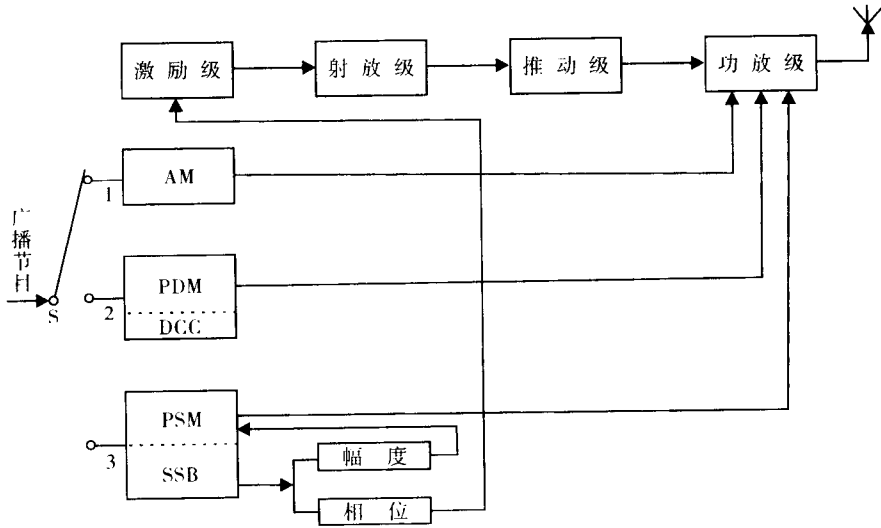


图 1-2 板极调幅方式

④按广播方式划分:为提高中波广播覆盖率,采用同步广播方式。所谓同步广播,就是用两台或两台以上的发射机,使用同一频率,播出同一节目,进行同步播音的广播方式。单一频率同步网示于图1-3。图中A、B、C三部发射机都使用相同频率 f_1 。

采用同步广播,可以减少每套节目所占用的频率数,减轻了中波频率的拥挤。此外,还可以提高由于中长波绕射和天波传播所造成的各种频率相互干扰的抵抗能力。

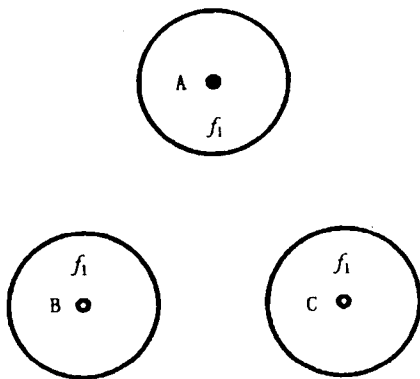


图 1-3 单一频率同步网

同步广播制式分为相位同步制和频率同步制。相位同步制的特点是在同步网内各发射机的载频由同一标准频率变换而得,同步网要求各载频保持严格同步。

频率同步制要求用标频信号进行校频,各发射台必须设置高稳定度的晶体振荡器,并定时与标频校准。传送标频的方法有几种,有的用调频发射机播出18kHz的标频,有的用视频信号中的行同步信号作为标频,有的利用电缆、微波、卫星传送标频,特别是通过卫星传送的彩色电视信

号,可以在全国范围内使用同一标频校频,以满足各同步台频差为 0.015Hz 的要求。国际电联规定,中波频率间隔为 9kHz ,故我国采用 4.608MHz 、稳定度为 $5 \times 10^{-9}/\text{日}$ 数量级的晶振作为各同步台的振荡信号源。选用 4.608MHz 时,经过 512 次分频,即可得到 9kHz ,通过倍频很容易得到发射机所需要的中波频率。

如果 A、B、C 三部发射机使用不同频率发射称为不同步广播。

第 3 节 目前声音广播的主要类型

各种广播的目的都是为了把信息远距离的传送出去。传送的工具就是高频电磁波(载波)。把要传送的信息称为调制信号,把信息寄载到高频电磁波上称为调制。用调制信号去控制高频电磁波(高频振荡)的任一参数的变化即可实现调制。

按照调制方式划分,目前声音广播的主要类型包括:

1. 调频广播

调频广播——采用调频技术进行广播称为调频广播,其频段为 $87\sim 108\text{MHz}$ 。

(1) 频率调制——高频振荡信号的频率随着调制信号幅度的变化而变化称为频率调制,简称调频(见图 1-4)。

图 1-4 中: i_{Ω} ——音频信号;

i_r ——载频信号;

$i(t)$ ——调频信号。

用音频信号 i_{Ω} 对载频信号 i_r 进行调制,得到调频信号 $i(t)$ 。

在音频信号正峰时刻调频信号的瞬时振荡频率最高,而在音频信号负峰时刻调频信号的瞬时振荡频率最低。

高频振荡的初相位随着调制信号幅度的变化而变化称为相位调制,简称调相。实际上频率调制与相位调制没有本质上的区别,因为频率的变化总是和相位的变化密切相关的,频率的变化总伴有相应的相位变化,而相位的变化也伴随着相应的频率变化。

(2) 调频波瞬时值表达式

一个载频电压的瞬时值可用下式表达:

$$u_c = U_c \sin(\omega_c t + \psi_0)$$

式中 u_c ——载频电压的瞬时值;

U_c ——振幅;

ω_c ——角频率;

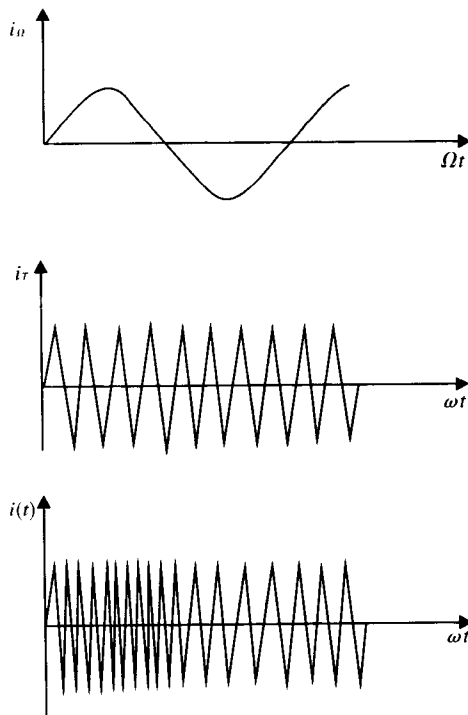


图 1-4 频率调制