

刘洪才 编著

中短波广播发射机

Zhongduanbo
Guangbo Fasheji

刘洪才
编著

中短波广播发射机



530290



530290

中短波广播发射机

刘洪才 编著



中国广播电视出版社

图书在版编目(CIP)数据

中短波广播发射机/刘洪才编著. —北京:中国广播电视出版社,1999.7

ISBN 7-5043-3325-5

I. 中… II. 刘… III. 广播发射机, 中短波 IV. TN839

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 20712 号

TN839
LHC

中短波广播发射机

编 著:	刘洪才
责任编辑:	王本玉
装帧设计:	张一山
出版发行:	中国广播电视出版社
电 话:	66093580 66093583 68013201
社 址:	北京复外大街 2 号(邮政编码:100866)
经 销:	全国各地新华书店
印 刷:	地矿部保定地质工程勘察院美术胶印厂
开 本:	787×1092 毫米 1/16
字 数:	266(千)字
印 张:	11.5
版 次:	1999 年 7 月第 1 版 1999 年 7 月第 1 次印刷
印 数:	4000 册
书 号:	ISBN 7-5043-3325-5/TN·223
定 价:	20.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

内容简介

本书共分十章,第一章主要介绍了中短波广播发射机模拟调幅六种制式和数字调幅两大试验系统。第二、三、四、五、六、七、八章分别介绍了广播发射机射频系统、低频系统、PDM/PSM 电路、天馈线系统、电源系统、控制系统和冷却系统的工作原理。第九、十章介绍了中短波广播发射机的维护、测试和技术安全管理。本书适合于从事中短波广播发射台技术维护工作的值班长、值班员阅读,可供机房主任、主任工程师、总工程师以及大中专院校相关专业教师、广播器材厂技术人员参考。

前 言

作者在广播发射台工作了 27 年,深知广大日以继夜战斗在广播系统第一线值班人员迫切需要一本既有基础理论知识,又有实际维护经验的中短波广播发射机参考书。目前,我国有中短波发射台近 800 座,发射总功率约 4.5 万千瓦。尽管近年来不断采用 PDM、PSM 技术对自动板调、板调发射机进行更新改造,但由于经费不足,得到改造和引进的中短波广播发射机为数不多,而进口的数字调制 DX 系列的广播发射机就更少了。鉴于这种实际情况,本书仍以板调机为主,系统地介绍了基础理论知识,图文并茂,通俗易懂,便于自学。同时介绍了丰富的实际维护经验,有利于提高广大值班员的维护测试和处理故障能力,增强技术安全意识。此外,作者也用相当的篇幅讲述了 PDM、PSM 的基础理论知识,以及数字调制(DM)、数字调幅(DAM)的新技术,对广大值班员了解国内外中短波广播发射机的发展有所助益。谨以此书献给广大日以继夜地战斗在广播系统第一线的值班员。参与本书编写及参阅过所著文章的有成燕、郭宝玺、张学田、陈锡安、魏瑞发、魏琳、苏英智、刘启鹤、李栋、李国华、张天民、张丕灶、刘长年、姜丽等同志,在此,谨表示衷心的感谢。

作 者

1999 年 6 月

第一章

模拟调幅与数字调幅

第一节 无线电广播

随着世界进入信息时代,广播技术取得了飞跃的发展。除了调幅广播、调频广播和电视广播外,卫星广播、图文数据广播、数字音频广播(DAB)以及高清晰度电视(HDTV)广播等新型广播将相继问世,推广应用。

调幅广播系统包括新闻采编、节目制作、播控中心、节目传输、电波发射、监测监听等环节。调幅广播发射台的任务是产生、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,有些转播台甚至建在边疆地区。

一、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。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。

二、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、各发射机的使用频率、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。发射天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。

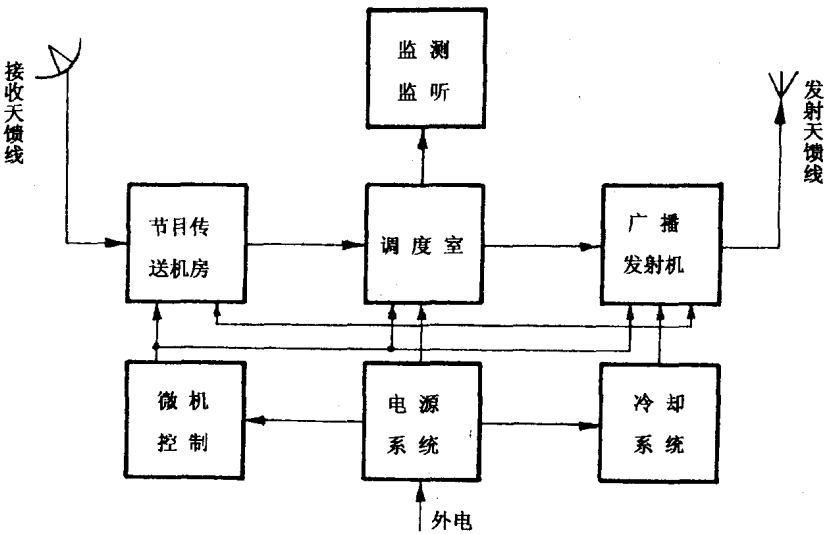


图 1-1 发射机及其相关设备方框图

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分

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、100kW、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

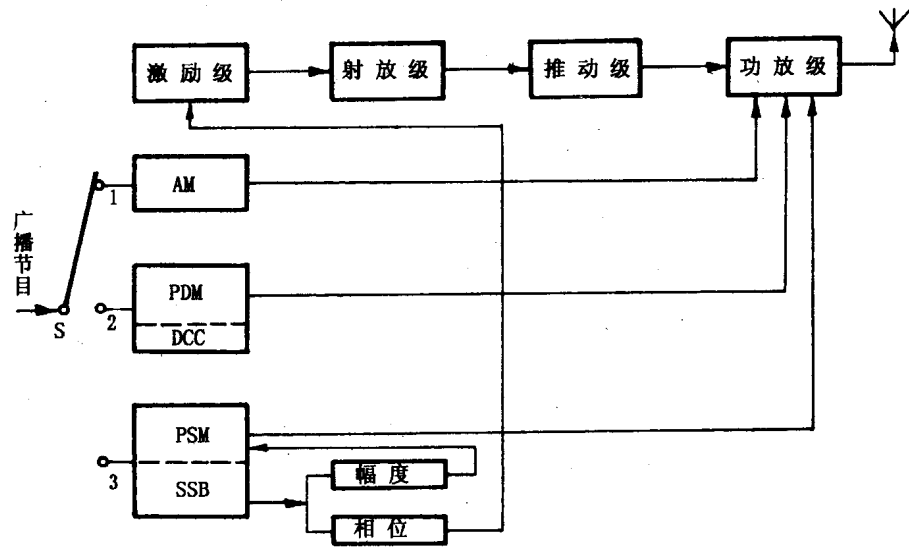


图 1-2 板极调幅方式

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。

三、同步广播

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 三个发射台都使用相同频率 f_1 。

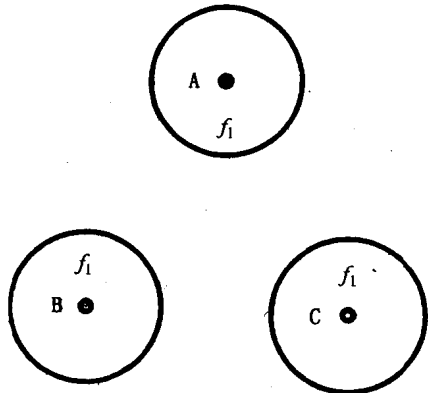


图 1-3 单一频率同步网

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。

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发 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,可以在全国的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 5×10^{-9} /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。

第二节 调幅广播

随着世界进入信息时代,广播技术得到了飞跃的发展。它不仅包括声音广播和电视广播,而且包括卫星广播、文字广播、静止图像广播、传真广播、数字音频广播、高清晰度电视广播等新型广播业务。但不管是哪一种广播,其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。调制方法可分为两类:模拟调制和脉冲调制。模拟调制用正弦波作为载波信号,而脉冲调制是以一组数字或脉冲串作为载波信号。

一、模拟调幅

模拟调幅包括角度调制和幅度调制。我们先简述角度调制的物理概念,然后着重介绍幅度调制。

(一) 角度调制

角度调制又可分为频率调制和相位调制。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_a ——音频信号;

i_T ——载频信号;

$i(t)$ ——调频信号。

用音频信号 i_a 对载频信号 i_T 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,而相位的变化也随伴着相应的频率变化。

(二) 幅度调制

1. 调幅和调幅度

高频振荡的幅度随着调制信号幅度的变化而变化称为幅度调制,简称调幅(见图 1-5)。

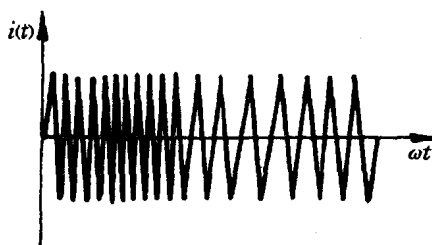
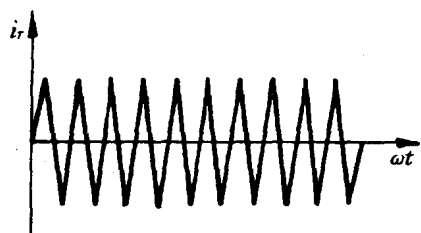
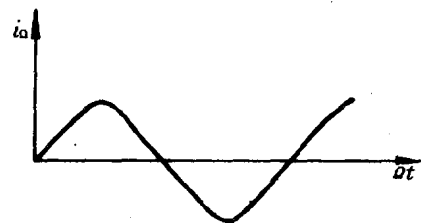


图 1-4 频率调制

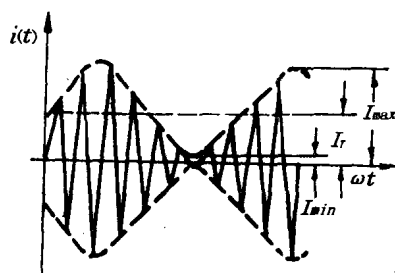
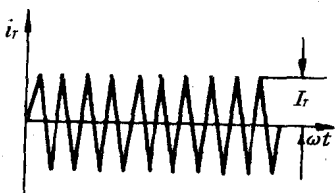
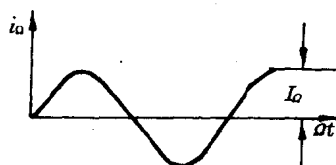


图 1-5 幅度调制

用一个音频信号 $i_a = I_a \cos \Omega t$ 调制一个载频信号 $i_r = I_r \cos(\omega t + \varphi)$, 得到一个调幅信号, 其表达式为:

$$\begin{aligned} i(t) &= (I_r + I_a \cos \Omega t) \cos(\omega t + \varphi) \\ &= I_r \left(1 + \frac{I_a}{I_r} \cos \Omega t\right) \cos(\omega t + \varphi) \\ &= I_r (1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega t + \varphi) \end{aligned}$$

式中: I_a 、 Ω 分别为音频信号的振幅、角频率;

I_r 、 ω 、 φ 分别为载波信号的振幅、角频率、初始相位;

$m = \frac{I_a}{I_r}$ 为调幅度。

调幅度又分为上调幅度 m_+ 和下调幅度 m_- , 它们分别为:

$$m_+ = \frac{i_{\max} - I_r}{I_r} \times 100\%$$

$$m_- = \frac{I_r - i_{\min}}{I_r} \times 100\%$$

$$m = \frac{i_{\max} + i_{\min}}{i_{\max} - i_{\min}}$$

调幅度反映了载波振幅被调制的程度。如果 $m = 0$, 标志着没有调制信号, 发射的只是载

波。如果 $m=100\%$ (即 $i_{min}=0$)，说明载波幅度完全用于传送调制信号。如果 $m>100\%$ ，称为过调制，过调制将产生失真。

2. 调幅波的频谱

利用三角公式将调幅信号表达式展开

$$\begin{aligned} i(t) &= I_T(1+m\cos\Omega t)\cos(\omega t+\varphi) \\ &= I_T\cos(\omega t+\varphi) + \frac{1}{2}mI_T\cos[(\omega-\Omega)t+\varphi] \\ &\quad + \frac{1}{2}mI_T\cos[(\omega+\Omega)t+\varphi] \end{aligned}$$

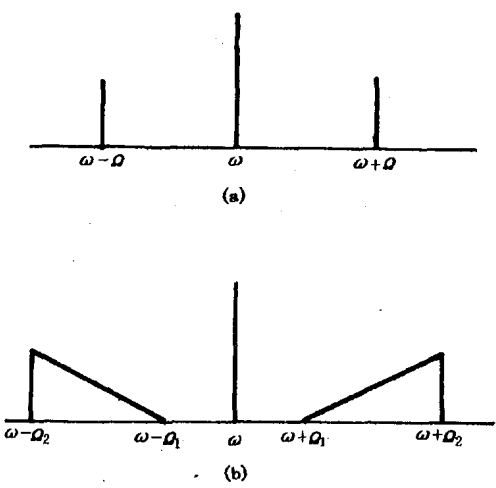


图 1-6 调幅波频谱

可见，在已调幅波振荡的频谱中有一个载频和两个边频(上边频和下边频)，调制信号频谱和调幅波频谱示于图 1-6(a)。如果调制信号不是一个单音频，是语言或音乐节目，则两个边频就变成了两个边带(上边带和下边带)，如图 1-6(b)所示。

图 1-6 中， $\omega+\Omega$ 、 $\omega-\Omega$ 分别为上、下边频； $\omega+\Omega_1$ 、 $\omega+\Omega_2$ 分别为上边带的低、高界频； $\omega-\Omega_1$ 、 $\omega-\Omega_2$ 分别为下边带的高、低界频。

3. 调幅波的能量关系

调幅波在天线电阻 R_A 上所产生的载波功率成分 P_T 为：

$$P_T = \frac{1}{2}I_T^2 R_A$$

两个边带功率成分为：

$$P_{(\omega+\Omega)} = P_{(\omega-\Omega)} = \frac{1}{2} \left(\frac{mI_T}{2} \right)^2 \cdot R_A = \frac{1}{4}m^2 P_T$$

两个边带的总功率为：

$$P_{(\omega\pm\Omega)} = 2 \times \frac{1}{4}m^2 P_T = \frac{1}{2}m^2 P_T$$

在调制信号一个周期内已调波的平均输出功率为：

$$P_P = P_T + P_{(\omega\pm\Omega)} = (1 + \frac{1}{2}m^2)P_T$$

P_T 、 $P_{(\omega+\Omega)}$ 、 $P_{(\omega\pm\Omega)}$ 、 P_P 、 m 之间的关系列于表 1-2。

表 1-2

m	0	0.5	1
P			
$P_{(\omega+\Omega)}$	0	$0.0625P_T$	$0.25P_T$
$P_{(\omega\pm\Omega)}$	0	$0.125P_T$	$0.5P_T$
P_P	P_T	$1.125P_T$	$1.5P_T$

发射机在运行中的平均调幅度通常为(30~40)%, 则 $P_{(w+n)} = \frac{1}{2} m^2 P_T = (4.5 \sim 8) \% P_T$ 。

在调幅一个周期内, 调幅波电流的瞬时值为最大时, 输出功率最大; 调幅波电流的瞬时值为最小时, 输出功率最小。

$$P_{max} = \frac{1}{2} [(1+m)I_T]^2 R_A = (1+m)^2 P_T$$

$$P_{min} = \frac{1}{2} [(1-m)I_T]^2 R_A = (1-m)^2 P_T$$

当 $m=1$ 时, $P_{max}=4P_T$, $P_{min}=0$ 。

(三) 幅度调制方式

目前, 我国大功率调幅广播发射机制式有: 板调(AM)、自动板调(AAM)、脉冲宽度调制(PDM)、脉冲阶梯调制(PSM)、单边带调制(SSB)和数字调制(DM)。精确相位脉冲多参数调制(MPM-P³)S7HP 系列机开始引进。数字调幅(DAM)正在研制中。

1. 板调(AM)

板调机方框图示于图 1-7 中。

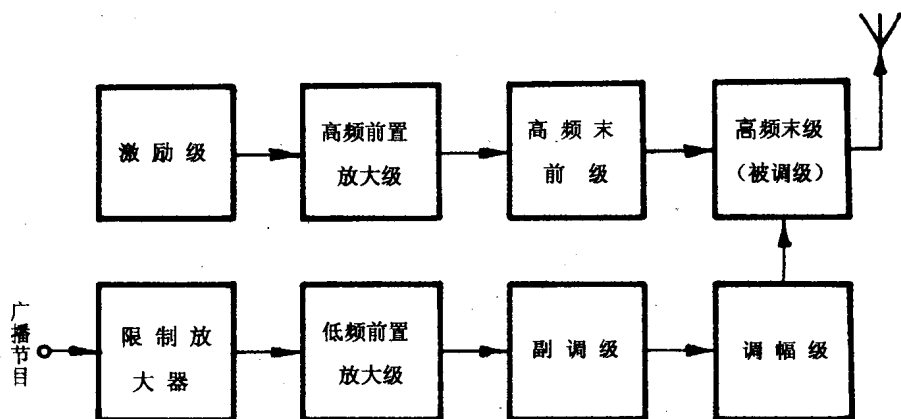


图 1-7 板调机方框图

激励级: 老机器用晶体振荡器, 新机器用频率综合器。在同步广播网内的机器用同步激励器。

在近代发射机中用音频处理器代替限制放大器。

板调原理图示于图 1-8。

图 1-8 中: U_g —— 高末级输入电压

c_i —— 输入耦合电容

L_g —— 栅极扼流圈

C_g —— 栅极旁路电容

G_a —— 高末级电子管

C_o —— 输出耦合电容

C_k —— 板槽电容

L_k ——板槽线圈
 C_a ——板极旁路电容
 T_a ——调幅变压器
 U_a ——调幅级输出电压
 $-E_g$ ——高末电子管栅偏压
 E_a ——高末电子管板压

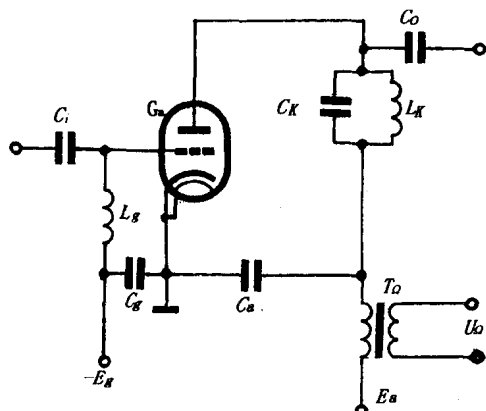


图 1-8 板调机原理图

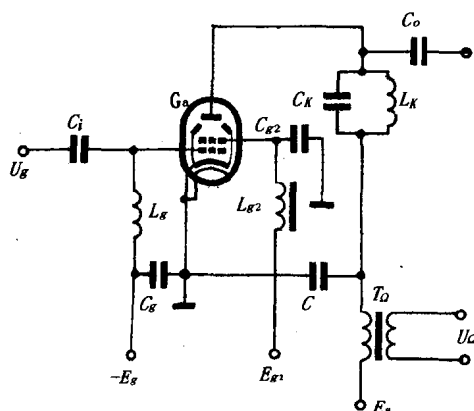


图 1-9 板帘同调原理图

当有 U_a 输入时,在 T_a 次级上的低频电压和电源电压相串联加到电子管的板极,故使板流脉冲幅度随着 U_a 的幅度变化而变化,如将板槽调至对其板流基波谐振,便可输出调幅波。

近代发射机高末级用金属陶瓷四极管,实行板帘同调,其电路示于图 1-9。

图 1-9 中: L_{g2} ——帘栅极扼流圈;
 C_{g2} ——帘栅极旁路电容;
 E_{g2} ——帘栅极电压。

其余符号与图 1-8 相同。

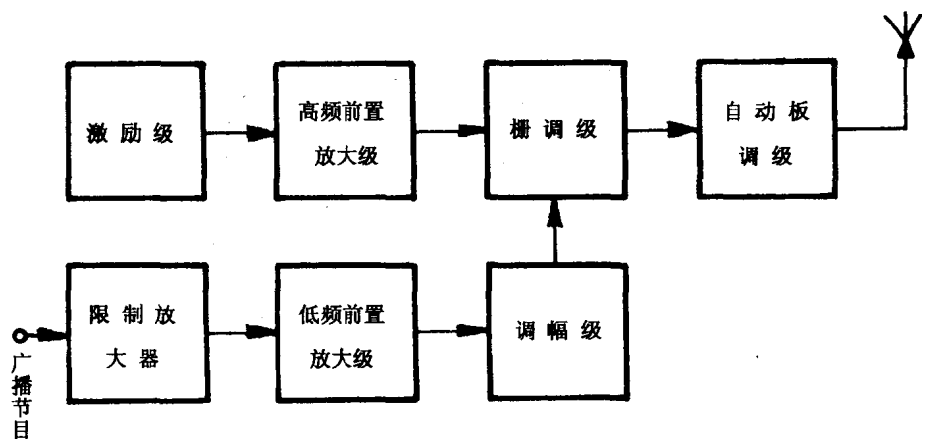


图 1-10 栅调幅 AAM 方框图

帘栅极调制是板调的辅助性调制。 L_{g2} 的自感量为8亨利,调制信号可在其上产生压降 $U_{g2\Omega}$,而 $U_{g2\Omega}$ 和 E_{g2} 相串联加在帘栅极上,故使帘栅流脉冲幅度随着 u_{Ω} 的幅度变化而变化,从而实现的板帘同调,弥补了板调机失真大的缺点。

2. 自动板调(AAM)

自动板调分两类:

(1) 栅调幅自动板调,其方框图示于图1-10。

栅调原理图示于图1-11。

图1-11中: T_{ω} ——高频输入变压器;

T_{Ω} ——低频输入变压器;

L_a ——板极高频扼流圈。

其余符号与前面相同。

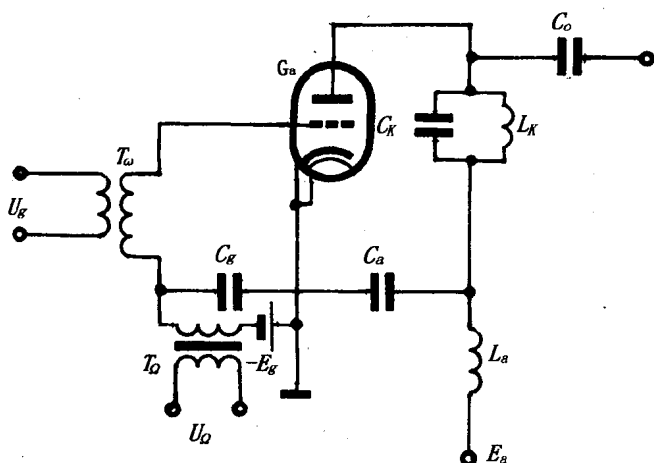


图 1-11 栅调原理图

大级中加了正峰补偿措施。

(2) 抑制栅调幅自动板调,其方框图示于图1-12。

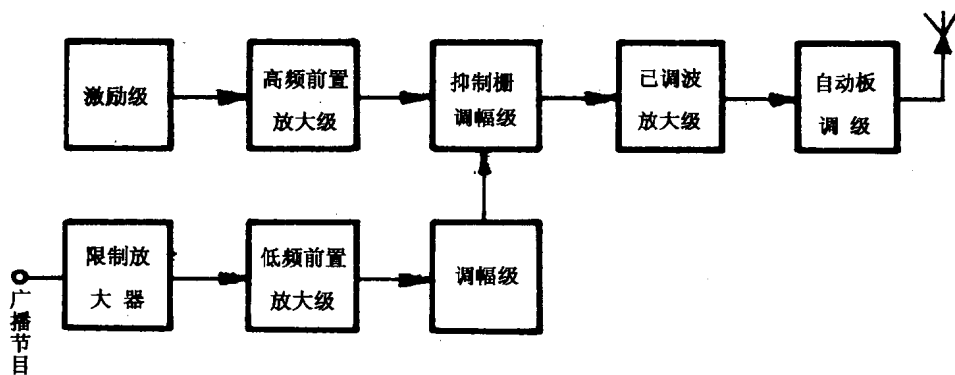


图 1-12 抑制栅调幅 AAM 方框图

抑制栅调幅是利用 u_{Ω} 改变 G_s 的抑制栅电压来实现的,其原理线路图示于图1-13。

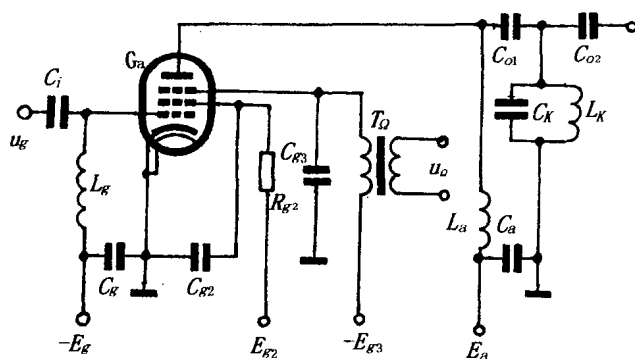


图 1-13 抑制栅调幅级原理线路图

为负值,不产生抑制栅流,不需要调幅级提供功率,又简化了调幅级。

图 1-13 中: R_{g2} ——帘栅极降压电阻;

C_{g3} ——抑制栅高频旁路电容;

$-E_{g3}$ ——抑制栅负压;

C_{o1} ——输出端隔直流电容;

C_{o2} ——输出耦合电容。

其余符号与前面相同。

自动板调级原理线路图示于图 1-14。

图 1-14 中: R_g ——栅负荷电阻;

L_{gM} ——栅极调幅阻流圈;

L_{aM} ——板极调幅阻流圈。

从图 1-14 中可以看出,在其板、栅两个电路里分别串入 L_{aM} 和 L_{gM} ,它们都是音频阻流圈,由于高末输入信号是一个已调波,通过 L_{gM} 和 L_{aM} 的作用,在栅极电路里产生音频电压 $U_{g\Omega}$,在板极电路里产生音频电压 $U_{a\Omega}$ 。在 G_a 的板极 $U_{a\Omega}$ 和 E_a 相串联,而且随 $U_{a\Omega}$ 的变化而变化,从而达到板调目的。很明显,自动板调机用 L_{gM} 和 L_{aM} 代替了板调机的强功率调幅级,又省去了调幅变压器和调幅阻流圈。

3. 脉冲宽度调制(PDM)

脉宽调制发射机是一种新型的板调发射机,它用脉宽调制器及其解调器代替乙类板调机的调幅器完成音频转换,产生被调级进行板极调幅时所需要的音频调制功率。

脉宽调制器方框图示于图 1-15。

脉冲信号发生器输出一个等幅脉冲串,其开关频率为 50~80kHz(见图 1-16 中 a 点波形)。

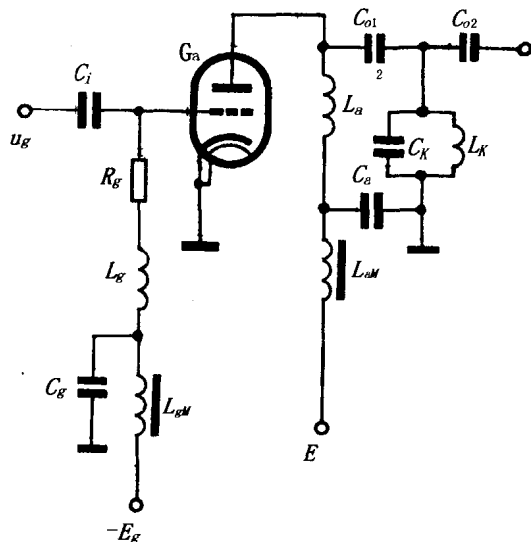


图 1-14 自动板调级原理线路图

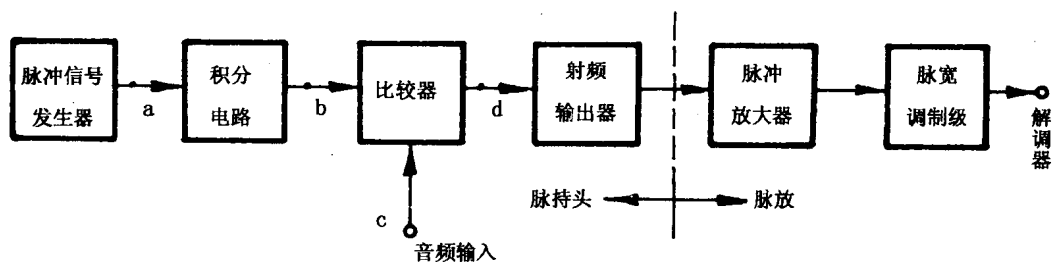


图 1-15 脉宽调制器方框图

在图 1-16 的 a 点波形中：

i_p ——脉冲电流；

t ——脉冲宽度(每周导通电流的时间)；

T ——一个脉冲周期(从电流导通的起点到第一个截止段的终点)。

令：

$$K = \frac{t}{T}$$

其中 K 为电流占空因数。

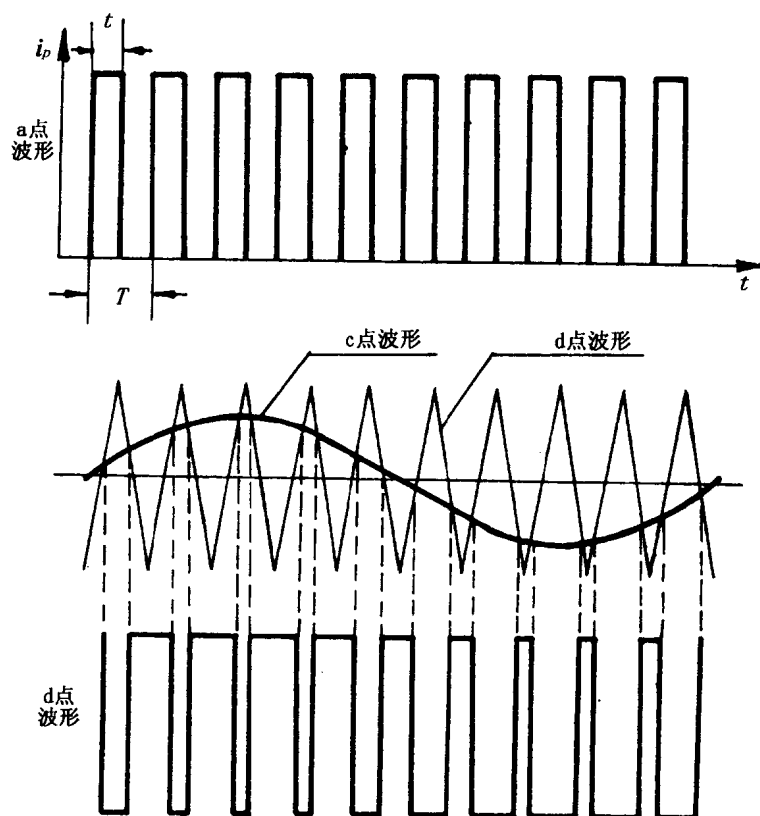


图 1-16 脉宽调制波形

在载波情况下,脉宽调制器中的各放大级的电流、电压波形均为等幅的矩形脉冲串,一般取 K 值为 0.5。

通过 RC 积分电路变成一个三角波(见图 1-16 中 b 点波形)。如果输入一个音频信号(见图 1-16 中 c 点波形),比较器将 b、c 两点信号电压进行比较,得到一个脉冲宽度随着音频信号幅度变化而变化的等幅矩形脉冲波,即将连续的音频信号转换成离散的宽度不同的脉冲信号(见图 1-16 中 d 点波形)。

从图 1-16 中 d 点波形可以看出音频信号幅度决定矩形脉冲的宽度,而音频信号的频率决定矩形脉冲持续期变化周期的频率。

比较器后面的各放大级把调宽脉冲及包含在调宽脉冲之中的音频分量放大到规定的电平。经脉宽调制级的输出解调器(低通滤波器)解调,还原为音频信号加至被调级电子管的板极进行板极调幅。

按调制级与被调级的联接方式可将 PDM 发射机分为串馈和并馈两大类:

(1)串馈——调制级与被调级直接耦合,串联工作。根据两级阴极接地方式不同又可分为两类:

①盖茨电路——调制级电子管 G_M 阴极接地(见图 1-17)。

在图 1-17 中: G_a ——被调管;

G_M ——调制管;

G_D ——阻尼管;

L_1-C_1 ——低通滤波器(解调器);

E_o ——主整输出电压。

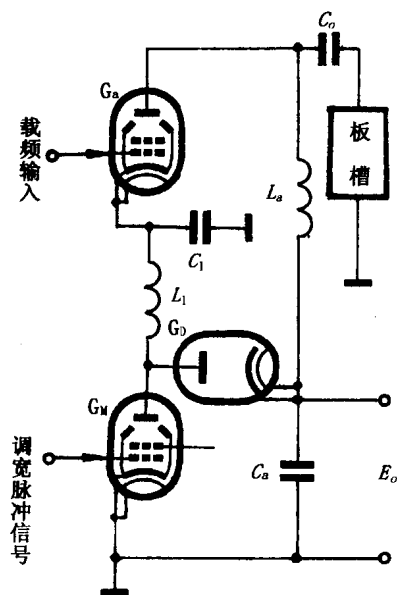


图 1-17 盖茨电路

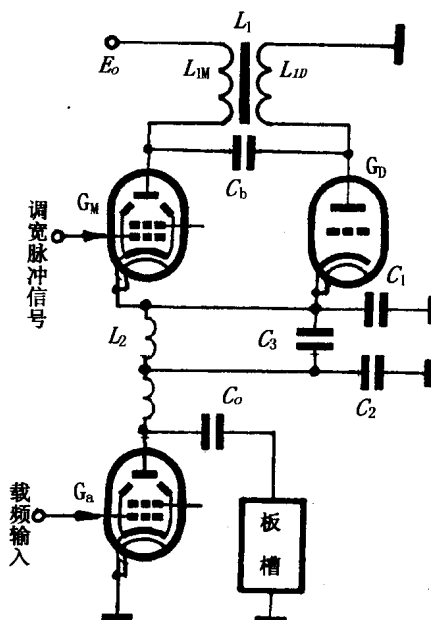


图 1-18 潘太尔电路