

广播电视新技术实用手册



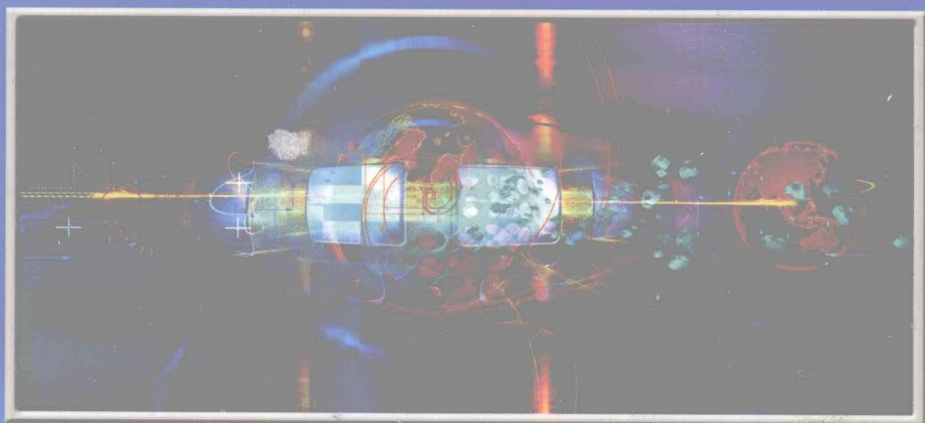
10101010

10001101010

广播电视 发射技术分册

GUANGBODIANSHI

①



民族出版社

广播电视发射技术分册

主编：张 勇 刘振兴

(下卷)

民族出版社

书 名：广播电视发射技术分册

文本编者：张 勇 刘振兴

出版发行：民族出版社出版发行

光盘生产：中联鸿远光盘科技有限公司

出版时间：2003 年 8 月

本 版 号：ISBN 7 - 88705 - 090 - 1

光 盘 号：ISRC CN - M06 - 03 - 322 - 00/V·G

定 价：580.00 元（全二卷 + 1CD - ROM）

第六章 数字式调幅发射机

第一节 数字式调幅发射机概述

数字式调幅发射机的基本类型有两种，一是 DX 系列发射机，二是幅相调制发射机。目前国内厂家生产的大都是 DX 系列发射机，本书以后各章节所涉及的都是 DX 系列发射机，并且主要以 10 千瓦机为样机介绍电路。各厂家生产的 DX 系列数字化调幅中波发射机电路基本相同；电路板的代号也相同；各元件的编号也基本一致，通常元件序号相同，只是前缀字母有差异，只要稍加注意，也很容易看出。我们在叙述中所用元件的编号是北广厂 TBM-413 型发射机的编号。其他厂家电路不同之处，本书也予指出并作相应的介绍。

下面介绍 DX 系列数字式调幅中波发射机的基本原理，使读者对该系列发射机有个整体概念，以便在阅读本书各章节时，能更好地理解各系统的原理。

一、DX 系列中波发射机

（一）DX 系列中波发射机的基本原理

为了便于初次接触 DX 系列机的读者理解该机的基本原理，这里我们将用一种不够严密的方式来叙述。

DX 系列数字化调幅发射机的基本原理是：首先用一个直流电压和音频信号叠加在一起，形成复合音频信号，然后用 A/D 转换器对这个复合音频信号进行不断的快速计量，测出复合音频信号的大小，比如某瞬间复合音频信号的计量值为 90mV，则在高末级相应加上 90 个单位的高频电压（比如加 900V 高频电压），由于复合音频信号的计量

和高压电压的增减都是通过电子线路完成的, 速度很快, 达到每秒几十万次, 因此, 高频载波的大小就随复合音频信号的大小变化而变化, 从而实现幅度调制, 如图 6-1 所示。从图中可以看出, 直流分量控制的是载波的电平、音频分量控制的是调幅度。在发射机实际电路中, 对复合音频信号的计量由 A/D 转换器完成, 采用的是二进制数, 并用这个二进制数通过调制编码器去控制末级功放模块的通断, 末级功放模块采用等压功放和二进制功放模块相结合的办法实现载波电压阶梯数和复合音频信号电压阶梯数的对应相等, 各模块功放电压经合成、滤波, 即成为调幅波。通过改变高频电压单位的电压值就可以改变发射机的额定输出功率。

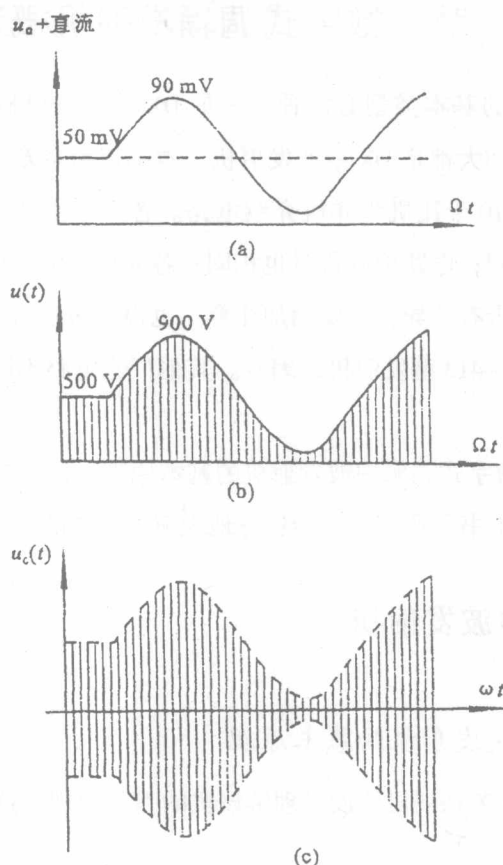


图 6-1 DX 系列中波机基本原理图

(二) 10kWDX 系列中波发射机简介

10kWDX 系列中波发射机的方框图如图 6-2 所示, 该机采用了先进的数字化调幅技术和功率合成技术, 性能指标优良, 远高于部颁甲级标准, 整机效率可达 84% 以上, 结构简单, 便于维护、控制、监测, 安全措施完善。

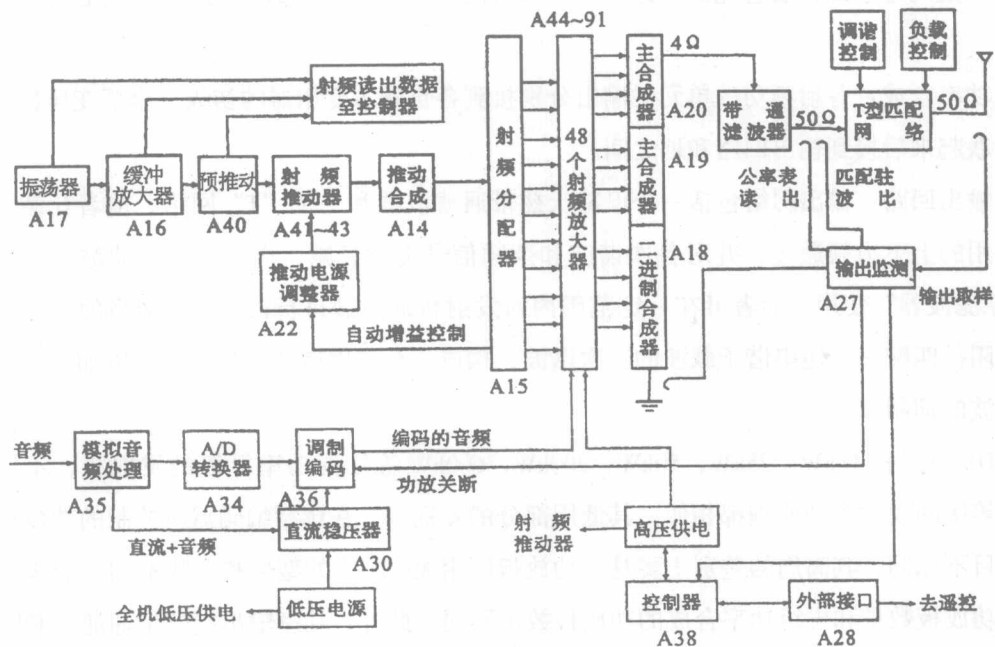


图 6-2 DX 系列 10kW 数字调制中波广播发射机方框图

数字式调制：数字式调制分三步进行：第一步，音频输入信号在模数变换器中转化为数据地址码（12 位的序列）；第二步，将来自 A/D 转换器的数据在调制编码器中寻址，产生功放部分所需的控制信号；第三步，用调制编码器的控制信号来控制 RF 放大器的合断。这些独立的射频放大器是在一个射频功率合成器中进行功率合成的。射频放大器与合成器共同构成功率放大器。功放部分的调幅输出是通过接通数目不同的独立射频放大器产生的。

高频通路：振荡器产生发射机工作载频，经缓冲放大、前级推动至分配器后，由分配器分支成若干同相的高频输出，送到各高频功放单元。

音频通路：音频信号先经贝塞尔滤波器，然后与直流信号和抖动信号相加。其中音

频信号决定调制电平, 直流信号决定了载波功率, 抖动信号用于 PDM 补偿。上述复合信号在高速 A/D 中进行模数转换, 用与载波频率相当的采样率对音频进行信号取样, 转化成 12Bit 的数据信号。在调制编码器中用上述数据信号作为地址码在预先设计好的 EPROM 中转换为对应的各个开关的控制信号, 以控制 48 个射频功放的合/断。其中高六位用于控制等压台阶功放, 低六位用于控制二进制电压台阶功放。等压台阶功放的通断规则是先进后出, 后进先出。这是 DX 系列机的不足, 而 M2W 机在这一点上有所改进。

功率合成: 各射频功放单元的输出分别接到各自磁芯变压器的初级, 全部变压器次级串联起来后接到输出回路和地之间。

输出回路: 输出网络包括一个巴特沃兹带通滤波器和一个“T”网络, 前者让载频和有用的上下边频通过, 并对各次谐波和杂频信号进行衰减, 作为“平滑滤波器”或“还原滤波器”使用, 后者可在一定范围内对发射机的负载进行匹配。T 网络的并联臂除作阻抗匹配外, 还串谐于载波的三次谐波, 构成一个三次谐波的陷波器, 以加强对三次谐波的抑制。

DX 系列有 10kW、25kW、50kW、200kW、600kW 等不同功率等级的发射机, 不同功率等级的发射机的原理都相似, 其低周部分的差别只是在调制编码器所控制的功放板的数目不相同, 其高周的差别主要是: 功放板所用 MOSFET 的型号和个数不同, 前级激励的功放板数量和末级功率合成的功放板数量不同, 此外, 功率输出端的带通滤波和阻抗变换所使用的网络形式有差异。

二、M²W 中波发射机

模块式中波发射机是由 Modular Medium Wave Transmitter 意译而来, 取前三个单词的第一个字母作为这种制式的名称并写作 M2W, 它由汤姆卡斯特 (Thomcast) 公司生产。

(一) 主要特点

模块式中波发射机的主要特点是:

(1) 全固态大台阶功率合成射频放大系统与包络间量化失真的补偿方式采用幅相调制的方法。

(2) 用互补对称式金属氧化物半导体控制元件 (C-MOS) 5V 信号电压去控制模块, 发射机去掉了 RF 中间级。每一个功率模块均有自己的控制系统和保护装置。

(3) 全机只用一种功率模块。该模块特性为宽带, 换频时(中波频段内)不用改变模块元件。

(4) 功率模块的运行采用滚动循环的方式, 热负荷一致, 热负荷系数小, 有利于增强运行的可靠性。

(5) 采用大规模集成电路, 全微机控制, 全机只用几种印刷板形成控制系统。有利于生产和备件。设计中尽量减少接线, 减少接插件, 有利于模块标准化。印刷板采用先进技术(如高温喷焊等)制作。

(6) 内置监测设备(BITE Built in Test Equipment)。除少数电源用电磁开关外, 控制回路去掉了常用的继电器、电表, 而代之以计算机(处理器), 用设在机器上的人机接口彩色触摸屏对发射机进行控制, 改变了机器设置习惯。

(7) 适用先进的运行方式, 多工运行方式为调幅立体声 C-QUAM, 广播数据系统(RDS), 即 ADMS。最近兴起的数字音频广播 DAB, 在 AM 频段进行同播, 在三种方案中天波 2000 (SKYWAVE 2000) 是 Thomcast 开发的 COFDM 多载波方式。M2W 机运用该方式也有便利之处。

(二) 基本工作原理

M²W 模块化中波发射机方框图见图 6-3, 它由信号处理系统、功率放大器、电源、输出滤波器、监控系统和冷却系统等六部分组成。

1. 信号处理系统

信号处理系统包括音频接口、基本音频处理、快速音频处理、粗调幅阶梯控制、射频发生器和预分配器等部分。输入到音频接口的音频模拟信号包含一定的直流分量, 音频信号控制调幅, 直流信号确定载波电平, 此外, 还有高频信号输入作为取样控制电压。音频模拟信号通过 A/D 转换形成 16Bit 的数字化信号并予锁存。接着, 由数字信号处理器对输入的数字信号进行滤波, 并可加工成具有浮动载波功能或调幅立体声功能的数字化音频信号。从基本音频处理电路输出的信号送到快速音频处理电路进一步加工, 把 16Bit 数字信号的高 7 位和低 9 位分离成两路信号。高 7 位转化为相应的拉合闸信号加到粗台阶调幅(CSM)控制器, 控制功放模块的合闸或拉闸, 并决定合上功放模块的总数。所有的功放模块的拉合闸都受控于先进先出存储器, 先进先出的规则是: 合上的功放模块是拉开时间最长的, 而拉开的功放模块则是合上时间最长的, 其循环通断的开关频率是 100 千赫。采用先进先出的规则正是吸取了 PSM 机先进先出的优点而弥补了 DX 系列机先进后出的缺陷。低 9 位数字信号输入到射频振荡器, 其输出信号分为 FC +

和 FC - 两路。这两路信号在输出前已受低 9 位数字信号的控制而产生相应的相移, FC + 产生超前相移, FC - 产生滞后相移, 用这种相移对粗调幅阶梯的量化误差进行补偿, 射频振荡器以后的预分配器, 起缓冲作用, 以适应后面众多的负载。

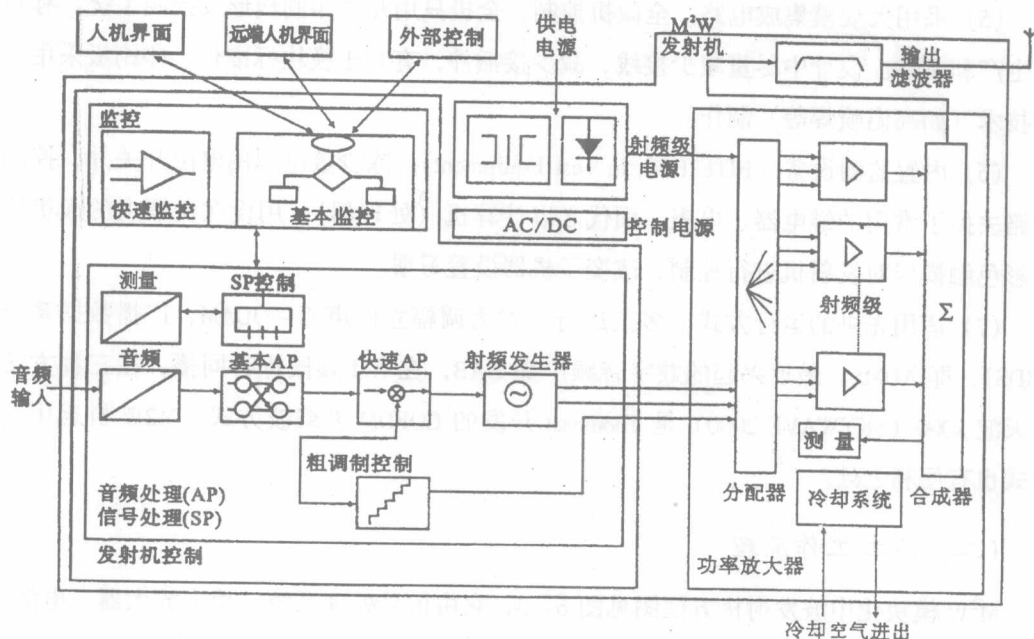


图 6-3 M2W 模块化中波广播发射机框图

2. 功率放大器和滤波

和 DX 系列发射机相似, M²W 机的高频功率也是由一系列射频功率放大器组成, 每个功率放大器称为一个功放板, 功率为 1.25kW, 四块功放板组成一个 5kW 的功率模块, 2 个模块组成 10kW 机, 依此类推, 20 个功放模块组成 100kW 机。

每个模板都用 8 只场效应管, 每组两个, 构成桥 H 功放的四个臂, 每个功放模板的输入信号有三路, 一路是粗调幅阶梯控制信号, 两路是射频激励信号 FC + 和 FC -。这三路信号从功率放大器内的分配器分配而来。所有功放模板的输出都在功率合成器中合成, 合成后的总功率经过滤波器滤除谐波、杂频信号后由发射机输出。

3. 冷却、监控和电源设备

对功率放大器和整机都采用强制风冷。50kW 以下机器的抽风机装在机内功放模块

背后,每个模块用一台风机。50kW 以上机器只用一台大风机对机房进行冷热风交换。

监控系统对整部发射机进行控制管理,它用一个设在机器上的人机接口彩色触摸屏对发射机实行本地控制。触摸屏是按菜单方式进行选择的,当要对机器进行控制时,调出控制菜单,用手触摸对应方块,就可以控制发射机进行开机、关机、改变工作方式、选用浮动载波等操作。当对机器进行监测时,可以调出监测菜单,直接读出机器的各种状态,如输出功率高低、驻波比大小、功放模块工作是否正常以及有无报警信号等。当要改变控制参数和监测参数时,调出设置菜单,针对所需改变的项目进行设置。在监控系统中,具有完善的硬件设置,可以进行快速监测,同时由微处理器担负一些基本参数的监测,它还可以对快速监测所用的硬件进行控制。在信号处理系统中,把发射机的全部检测信号汇集起来,并且加给一个单独的数字信号处理器进行处理,然后送到监测系统用于屏幕显示。

发射机的外线电源有两路,都是低压电源。主供电电源是 3 相 4 线 380V,它通过变压器、整流器和滤波器获得 300V 直流电压,为功率放大器的各个功放模板供电。除了主供电电源外,还有另一路 220V 的外线电源,它通过变压器、整流器、滤波器和稳压器获得多路直流电压,为控制电路中的各种晶体管和门电路供电。

(三) 调制方式的比较

数字式调幅中波发射机都是根据音频信号的瞬时值启动不同数量的射频功率放大器单元,通过功率合成直接产生和音频信号相对应的调幅波。射频功率放大单元,在 DX 系列中称功率模块 (Power Block),简称 PB。而在 M2W 机中称为射频级 (RFStage,简称 ST)。依据音频包络的瞬时值,由高比特位数字信号启动的模块使调制波形呈明显的台阶状,DX 系列机称大台阶,M2W 机称粗台阶调制。

大台阶与音频包络间存在着明显的量化失真,对失真的补偿方式,DX 系列机和 M2W 机采用了不同的方式,其原理如图 6-4 所示。

1. DX 系列机补偿方式

DX 机补偿方式如图 6-4 (a),在大台阶的基础上,用二进制加权放大的方式进行补偿。二进制加权放大器包括 E 的 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{16}$ 、 $\frac{1}{32}$ 、 $\frac{1}{64}$ 等。图 6-4 (a) 为用 $\frac{E}{2}$ 和 $\frac{E}{4}$ 进行补偿的情况,经过滤波后恢复包络,实际电路是用六个二进制台阶补偿,而且还引进了抖动三角波进行 PDM 补偿。



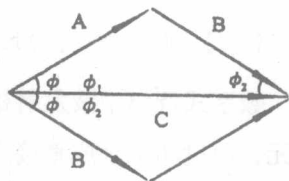
图 6-4 补偿方式原理图

2. M^2W 机补偿方式

M^2W 补偿方式如图 6-4 (b) 所示, 其基本思路是瞬时电压 $V_{(ti)}$ 经 N 个台阶后仍未达到包络波则再加一个台阶, 做量化失真补偿。采用幅相调制的原理, 让两个 $\frac{(N+1)E}{2}$ 分别相移 Φ_1 、 Φ_2 , 使第 $(N+1)E$ 总体压缩进行补偿。

(1) 幅相调制

幅相调制 (Ampliphase Modulation) 发明于 20 世纪 30 年代中叶, 其原理的矢量图如图 6-5 所示。A、B 为两个相等的射频放大器。 Φ_1 、 Φ_2 为两个相等的夹角。 $\Phi_1 + \Phi_2 = 2\Phi$ 。 2Φ 为音频信号的函数。A、B 的矢量和为 C。



$2\Phi = 120^\circ$ 时, C 为载波状态; $2\Phi = 0^\circ$ 时 C 为已调波的正峰点; $2\Phi = 180^\circ$ 时为负峰零点。可见 2Φ 的变化可以调整矢量和 C 的大小变化。但 C 的大小虽有变化而不产生相移, 因而幅相调制在双边带调制中并不产生调相。

(2) CHIREIX 电路

幅相调制的实际电路是 CHIREIX 电路, 为差相调制 (Outphasing Modulation), 其原理图请见图 6-6。

(3) Φ 值的求法

M^2W 机根据幅相调制原理, 其矢量公式为

$$\vec{V}_{(ti)} = \frac{(N+1)E}{2} (\Phi_1) + \frac{(N+1)E}{2} (\Phi_2) \quad (1-1)$$

而 $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$ ，该三角形为等腰三角形

$$\Phi = \cos^{-1} \frac{V_{(t)}/2}{(N+1) E/2} = \cos^{-1} \frac{V_{(t)}}{(N+1) E} \quad (1-2)$$

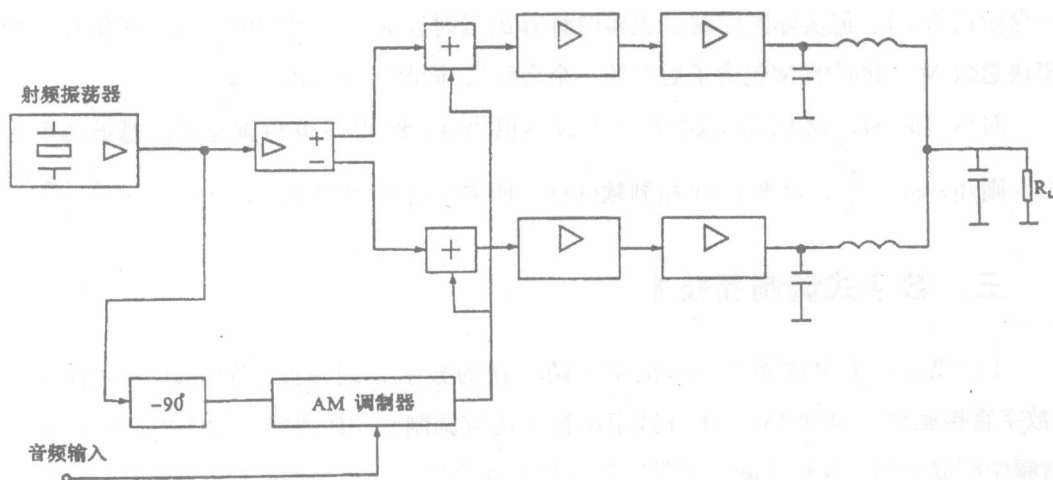


图 6-6 CHIREIX 差相调制原理图

计算机可通过 (1-1)、(1-2) 两式求出 Φ 。

(4) 幅相调制的实施

M^2W 调制原理表示于图 6-7。求出 $\Phi = \Phi_1 = \Phi_2$ 值的实现，并不是按公式 (1-2) 实施。而是在每一个 RFStage (ST) 中实现 Φ 值相移，形成单级输出电压，而 $(N+1)$ 相移单级输出电压构成幅相调制。这样的好处是不管 N 为奇数还是偶数都可以实现幅相调制。

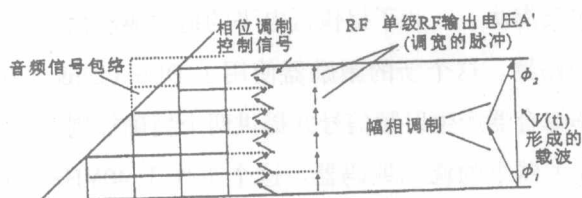


图 6-7 M^2W 调制原理

以上是为了便于了解而说的。实际上电路的运作是射频级 (RFStage) 的控制信号, 是由 16 比特数字音频信号进行控制的。它划分为高位 MSB (CSM) 和 LSB (Φ) 两部分, MSB 为 CSM 信息, 100kW 机有 80 个 ST 需 7 个比特 ($2^7 = 128$) 才能表示。后 9 位为 LSB (Φ), 负责 FC+, FC- 及相位控制。大台阶定后仍有量化误差, $LSB > 0$ 则再加一台阶达 $N+1$ 。但实际的控制系统实时计算出当时音频输入对应的输出电压值反应的模块总数 N' (此时的 N' 包含了后加的一个台阶), 同时用查表得出 Φ 值。

对单一的 ST, 设方波滤波得出的基波幅值为 A , 经相移 Φ 角调宽后的基波幅度为 A' , 则 $\Phi = \cos^{-1} \frac{A'}{A}$; 对多个 ST 控制软件计算所需开启的 ST 数 N' , 则 $\Phi = \cos^{-1} \frac{V(\text{加})}{N'A}$ 。

三、数字式调制新技术

下面简要介绍中波固态发射机中的两种新的数字式调幅技术的进展——3D 技术 (数字直接驱动) 和 DSAM 技术 (数字串行自适应调制)。3D 削减了固态中波发射机的射频中间放大器, 这样就减少了发射机的复杂性和增加了可靠性。DSAM 提供了在调制系统中的调制编码器和功率放大器自动的任务改变。这样就大大提高了发射机的可靠性, 使发射机得以保持不间断播出。另外, 应用这种新技术的另一主要益处是可以在调幅发射机上得到 87% 的全机高效率。

所谓 3D 技术是指 Direct Digital Drive (数字直接驱动), 因三个单词的第一个字母都是 D 而得名 3D 技术。

在采用 3D 技术的发射机中, 原来的模拟射频驱动系统被新的直接数字驱动系统更换, 参见图 6-8。

在 3D 系统中, 新的射频放大器现在是被两个取代了以前高电平模拟正弦波的 TTL 电平信号控制。数字驱动的射频信号更容易和更可靠地被分配到大电流的逻辑驱动器。因此, 缓冲器、预驱动器、并联的射频驱动器、分离器合并在一起, 而且原有的等长驱动电缆在新的设计中也被淘汰了。为了提供低电平的射频驱动信号, 新的激励器在原有的设计中增加了晶体振荡器。这个新的激励器使用了 DDS (Direct Digital Synthesis) (直接数字综合技术)。频率综合器产生射频信号并提供两个精确控制输出信号, 驱动 A 和驱动 B, 给每一个射频放大器组的调制编码器。这个工作于 40MHz 的高速的串行连接, 传递给发射机调制器所需的编码调制信号和控制信号。每一个调制编码器用两个驱动信号通过一个控制微带传输线, 驱动和控制该组的 16 个射频放大器。

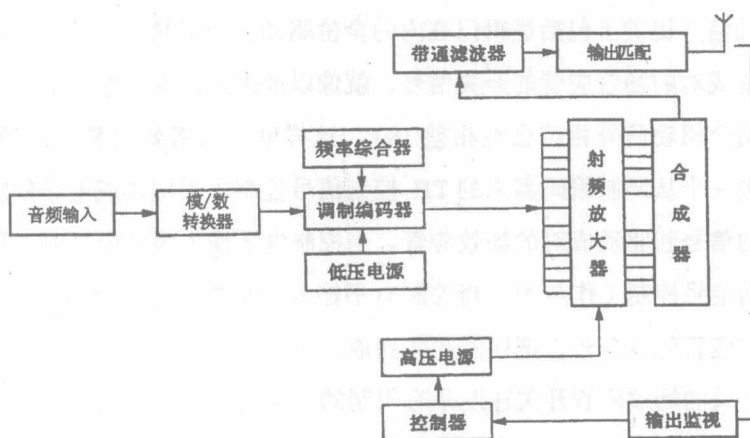


图 6-8 直接数字驱动型中波发射机方框图

在新的 3D 系统中，以前的射频放大器为了提供如下的改进，被重新设计。以下讨论参见图 6-9。

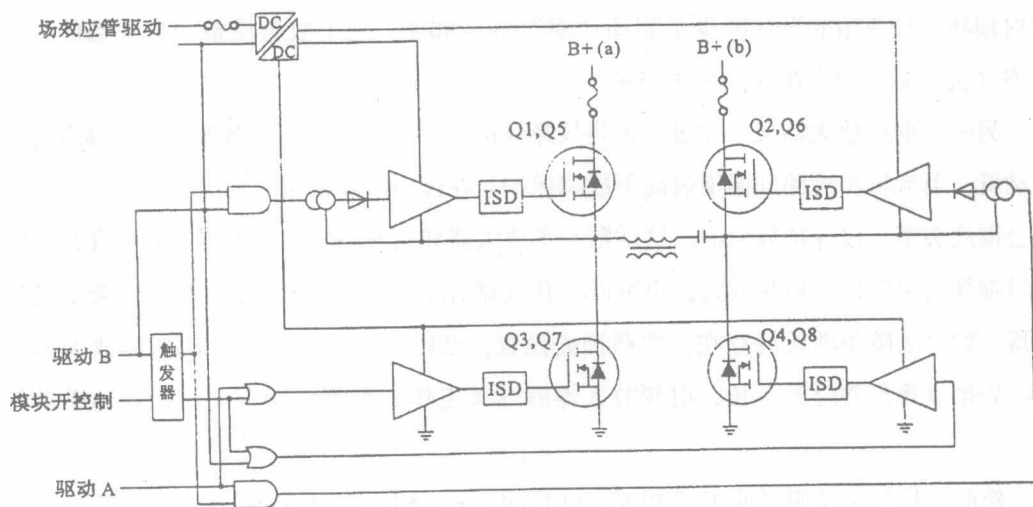


图 6-9 数字射频放大器

射频放大器是一个由 8 个场效应管用全桥放大器结构连接组成的。3D 射频放大器使用了从串行调制编码器传来的两个 TTL 射频驱动信号和 TTL 开/关控制信号。两

个 TTL 射频驱动信号提供了包括逻辑门在内的全桥驱动。当射频放大器工作时这些驱动信号就提供这些成对的场效应管的开关信号,就像以前讲过的模拟系统的同样方式。从激励器出来的两个驱动信号相位已经相差 180° 。这样就不再需要射频变压器。3D 射频放大器的工作被一个从调制编码器来的 TTL 控制信号控制。采用集成电路的缓冲器被用作缓冲低电平的信号和驱动成对的场效应管。当控制电平输入为高电平时,射频功率放大器可以被驱动信号控制工作与否。当控制电平输入为低电平时,缓冲器就不工作了,两个较低的场效应管就被打开,把线圈短路到地。

由于高速开关的场效应管开关速度是有限制的,早期的设计受在较高的发射机的载波频率下的射频放大器的开关频率所限制。由于使用了较新的直接数字技术,3D 射频放大器具有宽带、组成部分没有调谐元件、可以严格地在所有的发射机的频率下开关的特点。在这个新的 3D 系统也包括一个同步电路,这就可以保证射频放大器仅能在输入射频驱动信号的上升沿开关。由于射频放大器可以在载波频率上开关,而且随开关同步,显著地改善了开关的输出频谱,这就减少了发射机末级输出网络的复杂性和价格。

在早期的模拟射频放大器的设计中,当射频放大器不工作和不产生任何射频输出功率时,放大器仍然消耗射频输入的驱动功率。这个作用在新设计中被减小了,结果输入的射频功率较原始的设计减少了驱动功率 $70\% \sim 90\%$ 。这个数量使整个放大器的典型效率(包括驱动功率在内)为 97.5% 。

另外,射频放大器又一改进特色是故障保护的改进。射频放大器被设计成具有射频驱动低、射频输出短路和温度过高等故障保护。在任何故障发生的情况下,射频放大器将会彻底关断,以保护放大器。这就限制了放大器和从激励器到放大器的元件在故障时同时损坏的可能性。射频放大器也可以将其故障情况经由调制编码器的串行连接送到激励器。如果故障条件始终存在,按照预先设置,激励器将试图重新启动射频放大器数次。如果故障条件时间不长,射频放大器就继续工作,否则将命令关机,直到手动复位。

新的串行调制编码器使用了 DSAM (Digital Serial Adaptive Modulation 数字串行自适应调制),这在调幅的编码控制上将提供很多好处。输入信号在这个系统内送到一个在激励器内的 A/D 转换器。激励器的输出是数字的数据流,它将通过高速数据电缆提供给每一个调制编码器。每个调制编码器使用这些数据流送给相对应的单独的射频放大器和二进制射频放大器。使用串行通讯系统,可以提供两路从激励器到调制编码器的通讯,它有如下优点:

(1) 由于新的射频放大器增强了故障的感应和保护, 故障状态可以传到调制编码器。调制编码器有能力传送射频放大器的故障状态到激励器。激励器可以为这个新的条件, 修改 12 位的数据, 如果一个射频放大器因故障关机, 而且不能再工作, 射频放大器可以被再分配。例如: 5 号射频放大器因故障关机, 6 号射频放大器可以被再指定代替 5 号射频放大器。7 号射频放大器将变成 6 号射频放大器, 所有的其他的射频放大器都将减低 1 个号。如果最后一个射频放大器是空闲的, 音频将是完整的, 而且输出频谱部分被保持原状, 发射机的特性没有任何的降低。如果并联射频放大器被再分配超过有效的空间, 在再分配的过程中最高电平的射频放大器将被利用。如果这种情况发生, 仅在音频调制的正峰有少量的减少, 可以被观察到。音频的完整性和频谱的纯净将始终保持。

(2) 调制编码器的自动再分配。从调制编码器使用串行连接与激励器通讯以来, 调制编码器的再分配也是可能的了。与射频放大器相同, 如果任何故障在调制编码器中发生, 继续工作的调制编码器和与之相连的射频放大器将被重新设置。在这个载波功率减少期间, 最可能的结果是在发射机工作时, 始终保持 100% 调制。

随着对发射机的效率和可靠性的要求越来越高, 同时由于各种新器件的采用, 这种要求已经在实践中得到了应用。最近, 美国 Harris 公司推出了 3DX-50 型的全固态中波发射机, 在效率和可靠性上有了较大的提高。该机采用了 3D 技术和 DSAM 技术。其主要参数如下:

发射机类型: 中波, 100% 全固态

输出功率: 10 ~ 50kW

输入电源: 380、430、485V $\pm$ 18V, 50 或 60Hz

功率因数: 0.97

音频输入: -10 ~ +10dBm

射频输出阻抗: 50 Ω

驻波比: 1.2:1

全机效率: 87% (50kW 时)

音频幅频特性: +0.2 ~ -0.8dB, M = 95%, 20Hz ~ 10kHz, 参考频率: 1kHz,

谐波失真: 0.7%, M = 95%, 20Hz ~ 10kHz

互调失真: 0.8%, 1:1, 60/7000Hz

杂音: -65dB, (M = 100%) 不加权

正峰调制能力: +145%

载波跌落: 1%, $M = 95\%$, 1kHz

负载能力: 持续 100% 调制的正弦波

从上述指标可以看出, 这种发射机的效率有了较大的提高, 达到了 87% 的高水平。正峰调制能力和电声指标也较原来的 DX 发射机都有一些提高。

所有这些就是使用新技术的结果, 也是早先的数字式振幅调制的改进。它们带给广播业者如下好处:

(1) 射频放大器的自动再分配

任何的射频放大器都可以自动再分配是新的“艺术级”的固态调幅发射机的关键优点。如果射频放大器被重新分配, 来取代故障模块, 音频质量、输出频带和发射机的其他特性将没有影响。这个特点是其他任何 PDM 型发射机所不能比拟的。

(2) 容易改频

在早先的设计中使用的大多数决定频率的元件将被减少。激励器中的频率综合器和射频放大器中的载频开关, 导致减少了频率依赖电路和简化了滤波系统。这就使得发射机可以设计成在几个小时内可以任意设置频率。

(3) 交货期的缩短

自从新技术减少了早期射频放大器的驱动链, 买主只需要确定少数的频率元件。这也减少了工厂安装、测试每一个发射机频率的时间。这两个事实的结果导致了每一部发射机到达最终用户的时间的减少。

(4) 运行价格降低

由于减少了早期射频放大器的驱动链、模块的自动再分配, 提高了放大器的效率, 发射机全机效率得到了提高。典型的 50kW 级的发射机的全机效率高达近 90%。这就可以明显地看到低的功率消耗会导致更低的运行费用, 冷却系统的需求也降低了, 同时还减少了操作者的干预。

(5) 可靠性提高

随着射频驱动放大器的减少, 发射机的可靠性较早期的设计有了提高。因为在 3D 系统中不需要很多的中间的射频级, 总体的可靠性就提高了。串行调制编码器也改进了“点到点”连接的并行系统。

(6) 性能提高

射频放大器以载频的速率开关减少了不需要的频谱元件。这就帮助减少了在频率阻