

## 一、研究背景

数字调制分为基带调制与频带调制。其中，基带调制信号是信源发出的没有经过调制的原始电信号，其特点是频率较低，信号频谱从零频附近开始，具有低通形式。然而在通信系统中，由于基带信号具有频率很低的频谱分量，出于抗干扰和提高传输率考虑一般不宜直接传输，需要把基带信号变换成其频带适合在信道中传输的信号，变换后的信号就是频带信号，数字频带信号又称为键控信号，调制过程可用键控的方法由基带信号对载频信号的振幅、频率及相位进行调制。这种调制的最基本方法有 3 种：振幅键控(ASK)、频移键控(FSK)、相移键控(PSK)<sup>[1]</sup>。

根据需要处理的基带信号的进制不同，它们可分为二进制和多进制调制(M 进制)。所谓多进制数字调制，就是利用多进制数字基带信号去调制高频载波的某个参量，如幅度、频率或相位的过程。

根据被调参量的不同，多进制数字调制可分为多进制幅度键控 (MASK)、多进制频移键控 (MFSK) 以及多进制相移键控 (MPSK 或 MDPSK)。也可以把载波的两个参量组合起来进行调制，如把幅度和相位组合起来得到多进制幅相键控 (MAPK) 或它的特殊形式多进制正交幅度调制 (MQAM) 等。

这些数字频带调制技术应用最为广泛的一个领域就是数字电视，包括卫星电视，有线数字电视等，在传输数字电视的信号过程中，也涌现了一大批研究人员对调制方法的开拓创新以及改进升级。因此，本篇文章就针对数字频带调制技术在数字电视领域现有的研究进行部分概括和整理，从而学习数字频带技术的现今状况和一些较前沿的技术。

## 二、现状分析

### 1. ASK 和 FSK 调制技术的应用

ASK 即“幅移键控”又称为“振幅键控”，也有称为“开关键控”（通断键控）的，所以又记作 OOK 信号。ASK 是一种相对简单的调制方式。幅移键控 (ASK) 相当于模拟信号中的调幅，只不过与载频信号相乘的是二进制数码而已。幅移

就是把频率、相位作为常量，而把振幅作为变量，信息比特是通过载波的幅度来传递的。振幅键控（ASK）具有功耗低、灵敏度高、以及成本低等优点，从而在现代数字通信系统的中低速数据传输中得到了广泛的应用。主要应用于：远距离无线遥控，高速光传输系统和无线内窥镜。

频移键控是信息传输中使用得较早的一种调制方式，它的主要优点是：实现起来较容易，抗噪声与抗衰减的性能较好。在中低速数据传输中得到了广泛的应用。频移键控 FSK，是利用信号载波的频率变化来传递数字信息的数字调制技术。调制技术可分为模拟调制与数字调制，早期模拟调制因为抗干扰能力差等缺点逐渐被数字调制所替代，尤其是 FSK 调制技术的出现，在电导体、光纤等实现了数据的传输，使得数字通信实现了快速发展。FSK 是在 ASK 的基础上发展过来的，其后随着第二代移动通信的发展，在 FSK 的基础上逐步产生 4FSK、8FSK、16FSK 等，还得到了高斯最小频移键控 GMSK，利用 FSK 还可实现直序扩频技术 DSSS—FSK，使得 FSK 数字调制技术理论得到了空前的丰富与发展<sup>[2]</sup>。

在数字化时代，电脑通信在数据线路（电话线、网络电缆、光纤或者无线媒介）上进行传输，就是用 FSK 调制信号进行的，即把二进制数据转换成 FSK 信号传输，反过来又将接收到的 FSK 信号解调成二进制数据，并将其转换为用高、低电平所表示的二进制语言，这是计算机能够直接识别的语言。实际应用：水下噪声及信号的遥测浮标，车载信号的高精度检测<sup>[3]</sup>和未接来电显示等。

这两种传统的调制方法为后续各种调制方式的研究提供了参考性价值，但实际上在数字电视领域的信号调制并没有实际的使用和应用。可能是这两种调制方式的在有效性和可靠性方面还存在着严重的不足。

## 2. QPSK(四相相移键控)技术的应用

QPSK 广泛应用于数字微波通信系统、数字卫星通信系统、宽带接入与移动通信及有线电视的上行传输。

在卫星数字电视传输中普遍采用的 QPSK 调谐器可以说是当今卫星数字电

视传输中对卫星功率、传输效率、抗干扰性以及天线尺寸等多种因素综合考虑的最佳选择。欧洲与日本的数字电视首先考虑的是卫星信道，采用 QPSK 调制，我国也出现了采用 QPSK 调制解调的卫星广播和数字电视机。

要实现卫星电视的数字化，必须在卫视传输中采用高效的调制器和先进的压缩技术，因为我国现行的 PAL 制彩色电视是采用 625 行/50 场，其视频带宽 5MHz，根据 4:2:2 的标准，625 行/50 场的亮度信号(Y)的取样频率为 13.5 MHz，每个色差信号(R-Y)和(B-Y)的取样频率均为 6.75 MHz。当 Y，(R-Y)，(B-Y)信号的每个取样为 8 bit 量化时，电视信号经数字化后的亮度信号码率为  $13.5 \times 8 = 108$  Mbps，色度信号的码率为  $6.75 \times 8 \times 2 = 108$  Mbps，总码率为色亮码率之和，即 216 Mbps，在现有的传输媒介中要传送这样宽带的数字电视信号是不可能的<sup>[4]</sup>。

采用四相相移键控(QPSK)调制之后，可把传输的带宽降到 100MHz 左右，再使用电视图像及伴音压缩编码技术，常用 MPEG-2(运动图像压缩编码标准)，可以把数字电视信号中包含的冗余信息去除，即在保证接收端电视图像质量的前提下，采用数字视频压缩技术，可以降低传送码率，使传送带宽减少，实现多路传输。目前，已经可以做到把 216 Mbps 速率的数字电视信号压缩到 5 Mbps，使原来只能传送 1 路模拟电视的 36 Mbps 卫星转发器，现在可同时传送 5 路数字电视信号。这样，数字信号经码率压缩技术处理后，信号传输容量会得到数倍甚至数十倍的增加。

康佳 ST2989 型彩电就是一种卫视数字彩色电视机，它既能接收地面广播和有线电视信号，又能接收卫星转发的以 QPSK(正交相移键控调制)数字方式传送的未加密的卫星信号 DVB。卫视接收单元电路采用 QPSK 解调、MPEG-2 视音频解压的卫星数字视频广播(DVB-S)接收机的方案。

### 3. QAM(正交幅度调制)技术的应用

QAM 调制主要用在有线数字视频广播和宽带接入等通信系统方面。QAM 调制方式的多媒体高速宽带数据广播系统采用 DVB-C 有线数字视频广播标准，

代表着数字化发展方向，有 16QAM 、 32QAM 、 64QAM 、 128QAM 、 256QAM 之分，数字越大，频带利用率越高，但同时抗干扰能力也随之降低。

采用 64QAM 调制方式，可在传统的 8 MHz 模拟频道带宽上传输约 40 Mbps 数据流，可在一个标准 PAL 通道上传输 4 ~ 8 套数字电视节目，它的末端用户可以是计算机，也可以是带数字机顶盒的电视机。QAM 在安全授权方面比 QPSK 调制方式更可靠，完全能满足海量信息传输的需要，其传输速率更高，通道还可优化。

QAM 目前还被广泛用于 ADSL 调制技术，在 QAM 调制中，发送数据在比特/符号编码器内被分成速率各为原来 1/2 的两路信号，分别与一对正交调制分量相乘，求和后输出。接收端完成相反过程，正交解调出两个相反码流，均衡器补偿由信道引起的失真，判决器识别复数信号并映射回二进制信号。采用 QAM 调制技术，信道带宽至少要等于码元速率，为了定时恢复，还需要另外的带宽，一般要增加 15 % 左右。与其他调制技术相比，QAM 调制技术具有充分利用带宽、抗噪声强等特点<sup>[5]</sup>。

#### 4. OFDM(正交频分复用)调制技术的应用

电视技术正面临着它问世以来最根本的革命，即向着数字化和高清晰方向前进。在近十余年中，数字电视地面广播（DTTB）已达到了实际应用阶段。目前已被国际电信联盟（ITU）承认的（DTTB）传输标准有 3 个，即：美国先进电视系统委员会提出的格型编码 8 电平残余边带调制（8VSB）系统（简称 ATSC），欧洲开发的基于编码正交频分复用（COFDM）技术的数字视频地面广播标准（简称 DVB-T）和日本采用的分段正交频分复用的地面综合业务数字广播标准（简称 ISDB-T）。现阶段对这 3 个标准的比较和测试已见诸许多文献，一般来说，这 3 个标准各自具有其独特的优点和不足<sup>[6]</sup>。

在此背景下，我国也正致力于确定本国自有的数字电视广播标准。清华大学提出的地面数字多媒体电视广播协议（DMT-B）是中国标准的一个候选对象，

在数字电视地面广播的信号传输过程中，由于多径效应和其它信道干扰形式，会在接收符号中产生严重的符号间干扰（ISI）。目前有效消除 ISI 的技术有两种：美国采用的单载波时域均衡和欧洲、日本采用的多载波正交频分复用（OFDM）。OFDM 技术通过在信号帧中增加保护间隔来抵抗多径衰落，只要信道冲击响应的持续时间小于保护间隔，就可完全去除 ISI。离散傅氏变换（DFT）的引入，使 OFDM 得到广泛应用，目前已成为新一代移动通信的研究热点。OFDM 技术能抵抗 0 dB 回波，可支持未来数字多媒体广播采用的单频网结构。因此，DMB-T 也选用了 OFDM 调制方式，但其帧结构采用了创新的设计，提高了传输效率<sup>[7]</sup>。

## 5. COFDM(码分正交频分复用)调制技术的应用

目前，欧洲数字电视地面传输标准 DVB-T 中采用的就是 COFDM。由于 COFDM 调制抗动态多径干扰能力强，使得其既可用于地面传输固定接收，也可用于便携和移动接收。在我国数字电视地面广播上海试验区，公交 920 路进行的测试表明，即使在城区多径丰富的地区，接收效果也良好<sup>[8]</sup>。

## 三、论点与论据

### 1. QPSK 调制技术

在相移键控(PSK)技术<sup>[9-10]</sup>中，通过改变载波信号的相位来表示二进制数 0、1，而相位改变的同时，最大振幅和频率则保持不变。例如，可以用两种不同相位的正弦信号分别表示 0 和 1，用 0°相位表示 0，用 180°相位表示 1，这种 PSK 技术称为二相位 PSK 或 2-PSK，信号之间的相位差为 180°。同样，可以用 4 种不同相位的正弦信号分别表示 00、01、10 和 11，例如：用 0°相位表示 00，用 90°相位表示 01，用 180°相位表示 10，用 270°相位表示 11。这样每种相位的正弦信号可以表示两位二进制信息，信号之间的相位差为 90°，这种 PSK 技术称为 QPSK，由于 4 个相位与四进制的 4 个符号相对应，也称四进制 PSK 调制。因每种相位的正弦信号可以表示两位二进制信息，与 2-PSK 相比，其编码效率提高了 1 倍。

以此类推，当不同相位的载波数为 8、16 .....时，分别称为 8 -PSK(八进制 PSK)、16-PSK(十六进制 PSK).....，理论上，不同相位差的载波越多，可以表征的数字输入信息越多，频带的压缩能力越强，可以减小由于信道特性引起的码间串扰的影响，从而提高数字通信的有效性。但在多相调制时，相位取值数增大，信号之间的相位差也就减小，传输的可靠性将随之降低，因而实际中用得较多的是四相制(4 -PSK)和八相制(8-PSK)。

## 2. QAM 调制技术

正交幅度调制(QAM)是一种矢量调制<sup>[1, 11]</sup>，它将输入比特先映射(一般采用格雷码)到一个复平面(星座)上，形成复数调制符号，然后将符号的 I 、Q 分量(对应复平面的实部和虚部)采用幅度调制，分别对应调制在相互正交(时域正交)的两个载波( $\cos wt$  和  $\sin wt$ )上。这样与幅度调制(AM)相比，其频谱利用率提高 1 倍。

QAM 是幅度、相位联合调制的技术，它同时利用了载波的幅度和相位来传递信息比特，因此在最小距离相同的条件下可实现更高的频带利用率，目前 QAM 最高已达到 1024QAM(1024 个样点)。样点数目越多，其传输效率越高，例如：具有 16 个样点的 16-QAM 信号，每个样点表示一种矢量状态，16 -QAM 有 16 态，每 4 位二进制数规定了 16 态中的一态，16-QAM 中规定了 16 种载波和相位的组合，16-QAM 的每个符号和周期传送 4 比特。

## 3. OFDM 正交频分复用

正交频分复用是一种多载波调制方式<sup>[1, 12]</sup>。编码的正交频分复用就是将经过信道编码后的数据符号分别调制到频域上相互正交的大量子载波上，然后将所有调制后信号叠加(复用)，形成 OFDM 时域符号。由于正交频分复用采用大量(N 个)子载波的并行传输，在相等的传输数据率下，OFDM 时域符号长度是单载波符号长度的 N 倍，这样其抗符号间干扰(ISI)的能力可显著提高，从而减轻对均衡的要求。

由于 OFDM 符号是大量相互独立信号的叠加，从统计意义上讲，其幅度近

似服从高斯分布，这就造成 OFDM 信号的峰均功率比高，从而提高了对发射机功放线性度的要求，降低了发射机的功率效率。

#### 4. 离散小波多音调制(DWMT)

DWMT 是一个基于小波传输的多载波调制技术<sup>[13]</sup>，它将传输频带分成几百个频谱相互独立的信道，将数据调制在各子信道上，经过小波变换处理，取得时频域的分隔，以减少码间干扰和信道间干扰。

多载波系统能灵活地、最大限度地利用信道，例如：对信噪比较高的子信道可采用传输效率高的调制技术(64QAM)，信噪比较低的子信道采用抗干扰能力强的调制技术(QPSK)，而对信噪比低于门限的子信道则不用，这样可避免窄带干扰。

DWMT 针对不同的子信道质量(如 SNR)来选择调制方式，从而使它比单载波调制技术(QPSK、QAM 或 VSB)有更高的传输效率。DWMT 无需保护时间，也使频带利用率得以提高，频带管理灵活。由于整个频带被分成许多子信道，使得 DWMT 能支持各种速率业务和多种访问协议，这对 HFC 网络是特别重要的。DWMT 抗干扰能力强，能采用关闭子信道方式来避开窄带干扰的子信道。

<sup>[14]</sup>

#### 5. 同步离散多音调制(SDMT)

SDMT 技术<sup>[11]</sup>一般由两项技术组成：DMT(离散多音调制)和 TDD(时分双工)。

##### 1) DMT 传输

DMT<sup>[13]</sup>采用大量(典型值为 256)正交幅度调制(QAM)信号，因此 DMT 信道由 256 个子信道组成，每一个被调制在不同的中心频率上，每一个具有同样的带宽，称之为多音调制。DMT 接收机对每个音接收的信号质量进行监测，如果发现某一个或几个音的质量(信噪比)下降，接收机就计算出一个修改后的比特分配方案，使接收的误差性能有所改进。接收机把这种比特分配向发射机报告，以便由发射机实现改进后的比特分配。这种由接收机反馈给发射机的信息是通

过一个可靠的周期性的低速控制信道进行的，频率越高，衰减越大，则子信道就分配较少比特， 传送较少的信息，哪个子信道的信噪比( $S/N$ )越高，则分配越多的比特，反之则越少，甚至被关闭。

## 2) SDMT 传输

SDMT 是由 DMT 和 TDD(也称乒乓传输)组成。在使用 VDSL 宽带接入技术时，电缆中的线路均被锁定于同一个网络时钟上(即同一电缆中的所有线路在同一时间上“乒”和“乓”)，SDMT 系统支持在不同时间周期的用同一频段的上行和下行传输。SDMT 为 VDSL 提供了许多好处：首先，下行和上行码率之比可以灵活；其次，减少了数字信号处理的复杂性。

## 6. S-OFDM 调制

目前，数字电视地面广播(DTTB)已达到可实现阶段，世界上已经公布的 DTTB 传输标准主要有 3 种<sup>[15]</sup>:ATSC, DVB-T, ISDB-T。

基于对这 3 个地面数字电视系统的深入研究，借鉴并吸收了这些年来国际国内数字电视技术方面的经验和教训，清华大学提出了一个基于 TDS-OFDM 调制技术的地面数字电视广播传输协议——地面数字多媒体电视广播 (Terrestrial Digital Multi-media Television Broadcasting, DMB-T) 传输协议。该系统的核心就是采用了时域同步正交频分复用(Time Domain Synchronous Orthogonal Frequency-Di-vision-Multiplex, OFDM)调制技术，其频谱利用率可高达 4 bit/s/Hz。因此，每个频道有效净荷的信息传输码率 8 MHz 的带宽下可高达 33 MB/s。

帧结构是分级的，一个基本帧结构称为一个信号帧。帧群定义为 255 个信号帧，其第一帧定义为帧群头。帧群中的信号帧有唯一的帧号， 标号从 0 ~ 254，信号帧号被编码到当前信号帧的帧同步序列中。超帧定义为一组帧群，帧结构的顶层称为超帧群。超帧被编号，从 0 到最大帧群号。超帧号(SFN)与超帧群号(SFGN)一起被编码到超帧的第一个帧群头中。SFGN 被定义为超帧群发送的日历日期，超帧群以一个自然日为周期进行周期性重复，它被编码为下



行线路超帧群中一个超帧的第一个帧群头中的前两个字节。在北京时间 00: 00: 00AM, 物理信道帧结构被复位并开始一个新的超帧群。一个信号帧由两部分组成: 帧同步和帧体。帧同步和帧体的基带符号率相同, 规定为 7 .56MB/s。帧同步信号采用沃尔什编码的随机序列, 以实现多基站识别。帧同步包含前同步、帧同步序列和后同步。对于一个信号帧群中的不同的信号帧, 有不同的帧同步信号, 所以, 帧同步能作为一个特殊信号帧的帧同步特征而用于识别。帧同步采用 BP-SK 调制以得到稳定的同步。

由于采用了 IDS -OFDM 调制技术, DMB -T 协议不仅适用于传统的电视节目(视频码流)广播, 也适用于提供其他多媒体信息传输服务, 特点是:与现有电视广播的传输频率兼容, 满足 HDTV 广播要求的高数据码率, 邻近的电视台可以使用相同的频率广播相同的内容(支持蜂窝单频网), 卓越的移动接收能力使人们在乘坐汽车和火车时能得到可靠及时的多媒体信息服务, 在各种条件和环境下纠错接收能力强, 建网成本和运营成本低等。另外, DMB-T 技术支持“移动接收”使它成为理想的无线解决方案;支持“突发数据”使它能够处理短数据或消息; 支持“蜂窝网”使它能够扩展, 满足未来更大的容量需求。

## 7. FQPSK 调制技术

FQPSK 是一种恒包络调制方式<sup>[16]</sup>, 是对符号间串扰和抖动的偏移正交相移键控(IJF-OQPSK)调制方式的改进。IJF-OQPSK 最初是为了在卫星通信中获得较高的功率和频谱效率而引入的, 后来又在便携式和移动通信中得到了应用。这种调制体制在频域方面性能优良, 但是在时域, 它的高频调制信号却出现了 3dB 的包络起伏, 这种起伏在许多为提高发射功率利用率而使功率放大器处于非线性乃至限幅工作状态的通信系统会造成输出射频信号频谱的一定程度的扩展和发射功率下降, 因而使这种体制压缩频带的优点有所减弱。当然为了限制射频频谱可以在非线性功率放大器之后加一个滤波器, 但这样的滤波器有时不易实现, 而且也不经济, 因此一般都不采用。于是在 1986 年 Feher 和 Kato 对该调制体制进行了改进, 通过在 IJF-OQPSK 的基础上引入交叉相关来消除 3dB

的包络起伏，从而使得信号在时域包络恒定，并且具有在频域频谱主瓣窄、旁瓣滚降快的特点，这种调制体制人们称为 FQPSK。

而卫星通信具有通信距离远、覆盖面积大、传输质量高、通信容量大、长期成本低等优点，已经成为数字电视主要传播手段。针对不同的通信系统，选择不同的调制方式。目前，在卫星数字电视领域，普遍都采用了 QPSK 调制器，这是由于这种调制方式具有恒包络、功率效率高的优点。但这种调制方式的频谱旁瓣都比较高，带外能量大，旁瓣滚降慢，在卫星通信信道中容易产生频谱扩展，引起较大的邻道干扰，因此一般都将 HPA 工作在退饱和状态，以减小非线性影响，但这样就降低了 HPA 的效率。为此，人们不断寻求新的调制技术，期望取得比 QPSK 更佳的性能，即选择频谱扩展小、利用率高、旁瓣滚降快、系统容量大，又能降低邻频道干扰(AcI)和提高功率效率的调制技术。

FQPSK(Filtered QPSK)就是这样一种频谱和功率高效利用的调制方式，是由原加拿大渥太华大学，现任美国加州大学 DAVIS 分校教授 KeFher 等人于 90 年代初发明并申请专利。

## 8. 互补积累分布函数 (CCDF)

在数字电视调制信号测量中，互补积累分布函数 (CCDF) 被广泛应用，是评价信号质量、调试产品性能（在分析放大器非线性失真时有重要作用）的一个重要工具<sup>[17]</sup>。

互补积累分布函数 (Complementary Cumulative Distribution Function, CCDF) 简单的说就是从功率分配的角度描述输出信号质量的函数，它体现了信号在等于或超过某个给定电平或者峰/均功率比的概率或者总共的时间。说起 CCDF 的由来要从概率密度分布函数 (Probability Density Function, PDF) 开始。对 PDF 进行积分就得到了累计分布函数 (Cumulative Distribution Function, CDF)。而 CCDF 是 CDF 的补集，或者说 CCDF 与 CDF 是互补的。即  $CCDF=1-CDF$ 。之所以用 CCDF 而不用 CDF 表示功率分布，是因为 CCDF 比 CDF 更适合描述低概率分布的情况。在数字调制信号测量、产品

调试特别是分析放大器的非线性失真时经常用到 CCDF 测量。CCDF 是一种时域上的功率分配统计函数，在分析变化的功率包络和峰均功率比的概率分布方面有独特的优势。CCDF 与峰均功率比（PAPR）有关，是衡量信号功率特性、设备功率线性的一个重要参数。

## 9. 其他调制方法和理论

在数字电视频带调制过程，除了以上方式，还有一些研究者提出一些新的理论的方法，例如地面数字电视系统的多级编码调制技术<sup>[18]</sup>，数字电视 8-VSB 调制<sup>[19]</sup>等，主要这些调制技术与数字频带调制这一主题有所不同，在这里就不做详细介绍。

# 四、总结与体会

## 1. 总结

本文针对了贴近生活的数字电视这一应用展开研究，对数字频带调制信号的调制方式进行详细地学习，这些调制方式的设计都离不开码元速率和误码率两者的矛盾的平衡。正常情况下，多进制频带调制信号有以下两个特点：（1）在码元速率（传码率）相同条件下，可以提高信息速率（传信率），使系统频带利用率增大。（2）在信息速率相同条件下，可以降低码元速率，以提高传输的可靠性。信息速率相同时，进制的码元宽度是二进制的数倍，这样可以增加每个码元的能量，并能减小码间串扰影响等。正是基于这些特点，使多进制数字频带调制方式得到了广泛地使用。不过，获得以上几点好处所付出的代价是，信号功率需求增加和实现复杂度加大。

这些调制技术在数字电视领域的应用也主要是对 QPSK，QAM 和 OFDM 等较成熟技术上的改进与创新。通过增加调制方式的性能来不断适应不同场合下的信号传输。因为调制方式的不断增加，我们在研究过程还发现另一个值得关注的问题：数字调制识别技术也随着调制方式的改变与扩增不断向前发展，并应用于各个领域。也是我们可以进行下一步研究的一个可选择方向。

## 2. 体会

数字频带调制在我们日常的学习生活中用途是十分广泛的。我们将大部分研究的方向与成果汇总起来,进行对比参照。可以看出,多数研究人员以提高码元速率和降低误码率为目标进行相关实验研究,并取得了相当丰富的成果。调查资料的过程是比较漫长的,我们筛选出了许多优秀的论文以及书目。通过对这些论文进行研究学习,我们深深体会到,我们国家目前对于通信行业的重视与投入。我国作为一个通信行业方面的领军大国,也是通信需求人数相当多的一个国家。稳定且高速地对信息进行传输,是每个人的基本诉求之一。但是,日常通信中目前还存在一些网络不稳定、通信质量差的情况,这是我国的通信行业研究人员、工作人员所需要关注的问题。

## 五、参考文献

- [1]樊昌信.通信原理[M].国防工业出版社.2001
- [2]吴嘉伟.ASK、FSK 调制分析[J].中国集成电路, 2019, 28(Z1):74-77.
- [3]张林. ASK 和 FSK 调制汽车遥控系统应用综述[C]. 重庆市人力资源和社会保障局、重庆汽车工程学会."现代汽车电子开发技术及能力突破"高级研修班论文集.重庆市人力资源和社会保障局、重庆汽车工程学会:重庆汽车工程学会, 2014:219-228.
- [4]蔡云, 储宝君.QPSK 调制体制的改进型研究[J].新余学院学报, 2018, 23(05): 25-29.
- [5]战涛.数字电视广播 QAM 调制的原理及应用[J].艺术科技, 2018, 31(01):198.
- [6]杨知行, 韩猛, 潘长勇, 胡宇鹏, 门爱东.一种应用于数字电视地面广播的 OFDM 多载波调制方法[J].电视技术, 2003(06):4-6.
- [7]王强. 基于 FPGA 的 OFDM 通信系统的同步方式研究与实现[D].北京交通大学, 2007.
- [8]朱永乾, 张世朋, 陈鑫.COFDM 技术在无线图像传输中的应用[J].中国新通信, 2018, 20(06):120.
- [9]梅平.QPSK 的调制解调器的研究与设计.电子科技大学.2008

- [10]刘建军.浅谈 QPSK 调制技术.中国有线电视.2004
- [11]余智.余兆明.数字调制技术.中国多媒体视讯.2003
- [12]高玉祥.彩电新技术原理及应用[M].机械工业出版社.2003
- [13]巩进生,王云,史浩山,王小鹏.宽带用户接入中的 DMT 和 DWMT 技术[J].高校实验室工作研究, 2003(02):21-25.
- [14]王临生.基于 DMT 和 DWMT 宽带接入的理论与实践[J].实验室研究与探索, 2006(01):67-69.
- [15]高翔,吴湛击,王文博.基于调制分集的 MIMO DFT-S-OFDM 系统[J].系统工程与电子技术, 2012, 34(06):1235-1240.
- [16]骆明伟,苗东,汪梦,雷自力.一种适用于卫星数字电视系统的新型 FQPSK 调制技术分析[J].电子制作, 2014(04):16-17.
- [17]韩东,韩杨飞.CCDF 在数字电视调制测量中的应用[J].电视技术, 2010, 34(S1):211-213.
- [18]孙向涛,龚克.用于地面数字电视系统的多级编码调制技术[J].电视技术, 2008(04):11-13.
- [19]王富奎,鲁智.数字电视 8-VSB 调制原理与硬件实现[J].山东理工大学学报(自然科学版), 2004(05):49-53.