

# 泰克 Optical OFDM 系统验证和测试方案

## 应用文章

苏水金

高级应用工程师

泰克科技(中国)有限公司

## 目录

1. Optical OFDM 系统发展概述	3
2. OFDM基本原理	3
3. Optical OFDM 系统原理	5
3.1. Optical OFDM 的特点	5
3.2. Optical OFDM 系统工作原理	5
4. 泰克 Optical OFDM 通信系统验证和测试解决方案	6
4.1. Optical OFDM 通信系统验证和测试挑战	6
4.1.1. 宽带 OFDM信号产生挑战	6
4.1.2. OFDM 生成的便利性挑战	6
4.1.3. 宽带 OFDM信号分析挑战	6
4.2. 泰克 Optical OFDM 通信系统验证和测试方案	6
4.2.1. 泰克 Optical OFDM 通信系统验证和测试方法	6
4.2.2. AWG 产生 OFDM 信号	7
4.2.3 多台 AWG 同步生成多路 OFDM 信号	8
4.2.4 宽带高性能示波器采集和分析OFDM信号	10
4.2.5 OFDM信号校准	11
4.3. 泰克Optical OFDM通信系统验证和测试解决方案小结	11
4.4. Optical OFDM系统验证和测试推荐配置	11
5. 结论	11

## 1. Optical OFDM 系统发展概述

正交频分复用(OFDM)是一种多载波的传输技术,其主要思想就是在频域内将信道分成许多正交子信道,在各个低速的子载波信道上承载高速的数据流,并且各子载波并行传输。因为子载波间具有正交性,扩频调制后的频谱可以相互重叠,这样不但可以降低各个子载波间的相互干扰,还可以大大地提高频谱利用率。OFDM的概念最早是贝尔实验室的R.W. Chang于1966年提出。OFDM已经被成功的应用于非对称数字用户线(ADSL)、无线本地环路(WLL)、数字音频广播(DAB)、高清晰度电视(HDTV)、无线局域网等系统中。OFDM技术以其抗频率选择性衰落等优势而成为下一代宽带无线通信系统的核心技术,已经广泛被采纳为无线通信物理层的标准,同时也成为了欧洲、亚洲、澳洲以及其他国家的数字音视频广播的物理层标准中的一部分。

光正交频分复用(Optical-OFDM)技术是将OFDM技术应用到光纤通信系统中,从而集中了DSP和光纤通信技术优点的一种新型的光通信技术。但是OFDM在光通信方面的应用却很晚。最早的工作出现在1996年,但一直到2001年人们才注意到OFDM,最重要的优点是抗色散能力在光纤通信中的价值。

Optical-OFDM可以构造出高速率、大容量、低成本的光传输网络,而且易于信道容量的扩展,对提高数据传输率和系统容量起到重要作用。另外,Optical-OFDM系统中的各个子信道的不同频谱相互叠加,更有效的利用频谱资源,提高了带宽利用率。除此之外,该系统实现简单,易于优化等优点,使OFDM技术在光通信领域,尤其是40Gbit/s以上的高速光通信领域具有很好的应用前景,对于未来长距离大容量光传输链路的实现,具有十分积极的意义。

2008年5月,日本KDDI研究所开发出光OFDM高速传送技术,在世界首次成功实现不使用分散补偿光纤长途传送每秒100Gbps的信号,达到现有以太网技术标准10倍的通信速度。该成果是KDDI接受日本独立行政法人信息通讯研究机构“随机接入技术的研究开发”委托研究课题的内容之一。该技术的开发为日本在传输速率100Gps的新一代以太网通信标准争夺中占据了主动。此次,为了将光OFDM传送的信号速度从每秒40Gbps提高到100Gbps,KDDI研究所开发了更加高效的OFDM信号发生技术,并且通过将信号低速化,把信号亮灭的间隔延长到原来的1万倍,从而无须在传送途中为了修补传送错误而增加特殊光纤,使用现有以太网光纤即可将100Gps的信号稳定传送到1000公里之外。KDDI计划在2012年实现该技术的实用化,面向企业提供数据通信服务。

OFDM在光通信的另一个重要应用是高速光接入。无源光网络(PON)是最主要和最有潜力的光接入方式,主流的技术包括以太无源光网络(EPON)和千兆无源光网络(GPON),同时10Gbit/s PON已经开始大规模商用,更高速率的下一代PON标准在研究制订中。OFDM在光纤传输和高速光接入的应用前景已经很明朗。

## 2. OFDM 基本原理

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)即正交频分复用技术,实际上OFDM是MCM Multi-Carrier Modulation,多载波调制的一种。其主要思想是:将信道分成若干正交子信道,将高速数据信号转换成并行的低速子数据流,调制到在每个子信道上进行传输。

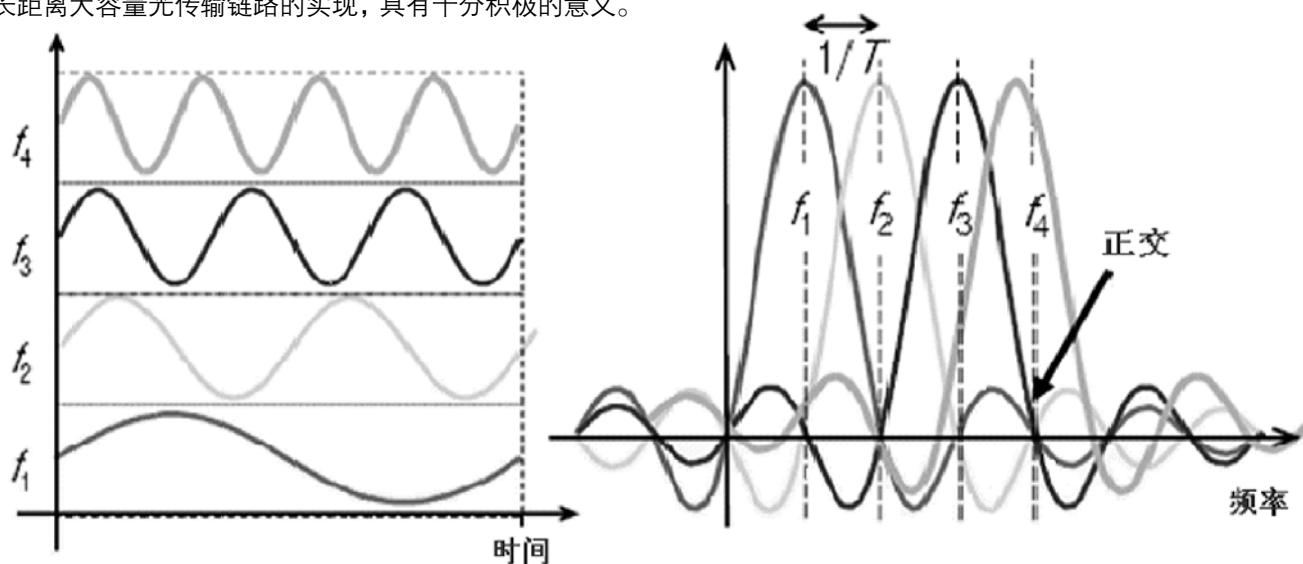


图 1. OFDM 信号子载波时域和频域图

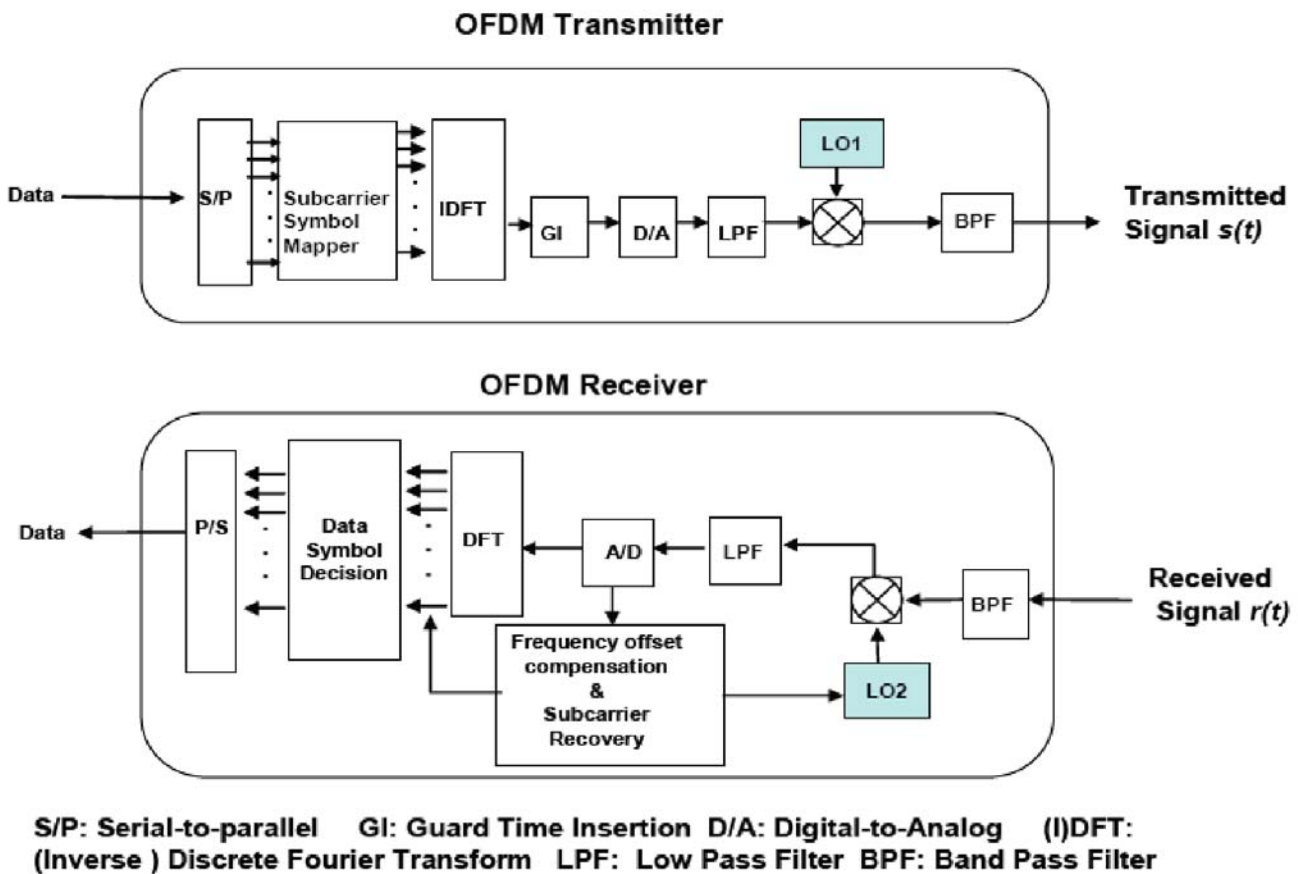


图 2. OFDM 发射机和接收机工作原理框图

正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开，这样可以减少子信道之间的相互干扰 ICI。每个子信道上的信号带宽小于信道的相关带宽，因此每个子信道上的可以看成平坦性衰落，从而可以消除符号间干扰。而且由于每个子信道的带宽仅仅是原信道带宽的一小部分，信道均衡变得相对容易。

图 2 是一个典型 OFDM 传输系统的结构框图。图中上面是发射机链路，下面是接收机链路。由图中可以看出，一个实际的 OFDM 系统的实现是非常复杂的，在发射机中需要串/并变换、星座调制、IFFT、导频插入、数/模变换、滤波、上变频等，而接收机则要进行相应的逆操作，包括滤波、下变频、模/数变换、定时同步、并/串变换、FFT、解调等。

### 3 Optical OFDM 系统原理

#### 3.1 Optical OFDM 的特点

Optical OFDM系统结合OFDM技术与光通信的特点,将OFDM 技术应用于光通信的一种新技术,构建出高速率、大容量、低成本的光传输网络并且具有较强的信道容量的可扩展性,可以在现有网络的基础上很好的升级与过渡,提供高速率、大容量、高质量的通信服务。Optical OFDM 能够有效地对抗光通信系统中的色散和色散引起的符号间干扰(ISI),而且循环前缀(CP)的引入,更进一步的增强了 Optical OFDM 通信系统的抗色散能力,降低色散管理的复杂度,同时对提高数据传输率和系统容量起到重要作用。另外, Optical OFDM 系统中的各个子信道的不同频谱相互叠加,更有效的利用频谱资源,提高了带宽利用率。除此之外,该系统实现简单,易于优化等优点,使OFDM技术在光通信领域,尤其是40Gbit/s 以上的高速光通信领域具有很好的应用前景。Optical OFDM由于其独特的优势,在全世界范围内得到了深入的研究,在美国光通信展览会 OFC2008、OFC2009、OFC2010、OFC2011、OFC2012 和欧洲光电光纤通信展览会 ECOC2007、ECOC2008、ECOC2009、ECOC2010、ECOC2011 会议上, Optical OFDM 传输理论与技术成为了会议的热点之一。

#### 3.2 Optical OFDM 系统工作原理

一个典型的Optical-OFDM系统可以分成OFDM信号发射机、电/光变换、光纤链路、光/电检测和OFDM接收机5部分。

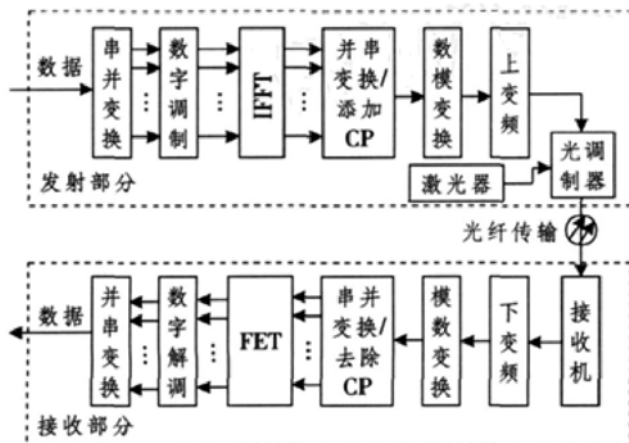


图 3. Optical-OFDM 系统框图

从 Optical-OFDM 系统框图可以看到,除了光调制器、光纤信道和光电检测器采用光学器件外,其它器件均工作在射频领域,和无线通信中的 OFDM 系统构架相似。如此一来,Optical-OFDM 可以更加直接有效的借鉴无线领域中的先进技术和优越的调制格式。比如在信号处理阶段,如何有效的降低 PAPR 和减少符号间串扰等技术,在无线领域中,已经较为成熟。Optical-OFDM 系统可根据无线领域的思路来解决同类问题。

Optical-OFDM系统的基本工作原理:将原始的二进制数据流加入适当的导码后,通过串/并变换映射到N个并行的子信道中,使得每一个调制子载波的数据周期可以扩大为原始数据符号周期的N倍,因此时延扩展与符号周期的数值比也同样降低了N倍。为了提高传输效率,可将并行的二进制数据进行调制,一般采用(QAM)调制或者QPSK调制。将调制后的信号进行傅里叶反变换(IFFT)和加入保护间隔。IFFT将数据的频谱表达式变到时域上,把要传输的比特分配到各个子载波上,映射为子载波的幅度和相位。加入保护间隔的作用是最大限度的消除符号间干扰(ISI),然后将输出数据经过滤波和数模转换基带信号或上变频后射频信号,经过电光调制转换后,将信号耦合到标准单模光纤中传输。

在接收端采用光电检测器将光信号转换为电信号,然后对接收到的电信号进行滤波,减少噪声的影响。采用和发射端相同频率的信号对滤波后的电信号进行I/Q解调和降频。然后进行和发射端相反的变换,即去除保护间隔和FFT变换,然后将频率中的信号用均衡器进行均衡和相位补偿,减少因色散和非线性引起的相位噪声和频率偏移。将均衡后的信号进行解调,并/串变换后,恢复二进制串行数据并输出。

根据接收端实现方式不同, Optical-OFDM 系统可以分为相干检测 Optical-OFDM 系统(CO-OFDM)与直接检测Optical-OFDM系统(DDO-OFDM)两种方式。二者在 RF 信号的处理部分基本相同。在过去的二十年中,由于直接检测结构更为简单方便,所以在光通信领域,直接检测方式是人们的普遍研究对象。但是,随着光信号处理技术的进步和光器件的日益成熟,相干检测必将成为未来光通信系统的主要应用方式。



## 4 泰克Optical OFDM通信系统验证和测试解决方案

### 4.1 Optical OFDM 通信系统验证和测试挑战

#### 4.1.1 宽带 OFDM 信号产生挑战

前面详细介绍了OFDM信号发射机，要产生宽带OFDM信号，需要信号源，由于OFDM信号是超宽带信号，带宽一般大于3GHz，传统信号源的带宽只有80MHz以内，难以产生宽带的OFDM信号。

#### 4.1.2 OFDM 生成的便利性挑战

生成OFDM电信号，需要OFDM信号源，这个信号源并能够简洁地灵活地生成OFDM信号。前面介绍了OFDM信号生成的原理，要生成OFDM信号，需要对信号进行处理，其中处理环节包括：星座映射、IFFT实现正交频分复用、过采样处理、导频符号添加、训练序列添加、循环前缀添加、加窗处理、PAPR降低处理模块等，因此，要产生OFDM信号，非常复杂，如何生成复杂的OFDM信号，一直是研究OFDM的工程师所面临的挑战，需要很长时间去研究和学习的。

#### 4.1.3 宽带 OFDM 信号分析挑战

如何接收OFDM电信号，要验证和分析宽带OFDM信号，需要宽带接收机，这个OFDM接收机需要足够宽实时分析带宽含有准确时间信息，数据方便采集、存储以及多种分析和OFDM解调分析。而通用信号接收机，如传统频谱仪，没有采集功能，只能观测频谱，无法实现信号的分析，而矢量信号分析仪的分析带宽只有110MHz，远远无法满足宽带OFDM信号的分析需求。高宽带高采样率的宽带高性能示波器是验证和分析宽带OFDM信号的解决方案。

### 4.2 泰克 Optical OFDM 通信系统验证和测试方案

泰克针对Optical-OFDM通信系统验证和测试提供了完整的解决方案，图4是泰克Optical-OFDM通信系统验证和测试系统框图，其中AWG7122C作为OFDM信号发射机，DSA73304D宽带高性能示波器作为OFDM信号的接收机，BSA125C误码分析仪测量OFDM传输系统的误码率。

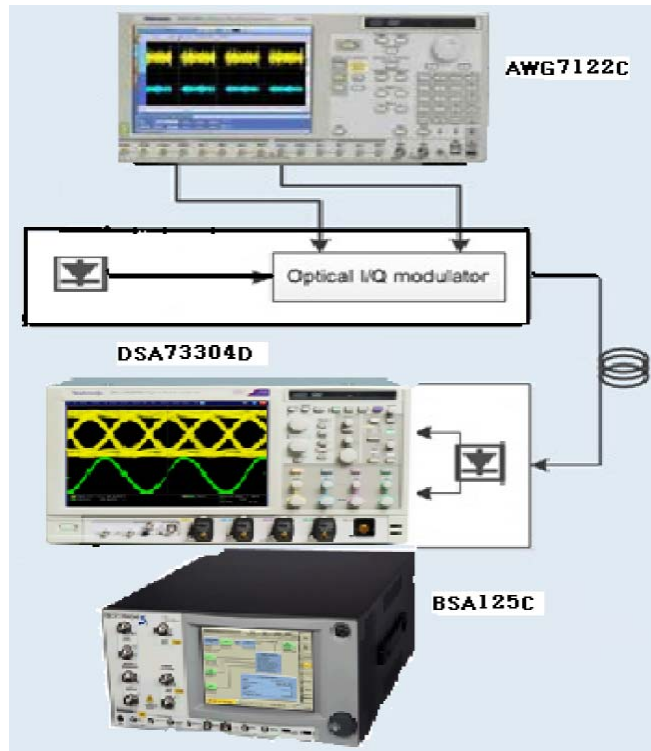


图4. 泰克 Optical-OFDM 通信系统验证和测试框图

#### 4.2.1 泰克 Optical OFDM 通信系统验证和测试方法

泰克 Optical-OFDM通信系统验证和测试系统实验图见图5，在Optical-OFDM测试系统中，利用AWG7122C任意波形产生OFDM电信号，AWG7122C发出的OFDM电信号经过电光调制器后调制到光载波上，通过光纤传输，经过光纤传输后的光信号在接收端采用光电检测器将光信号转换为电信号，然后利用宽带高性能示波器 DSA73304D 采集OFDM电信号，通过Matlab软件控制示波器采集的OFDM波形数据，并接收到的电OFDM信号进行滤波，减少噪声的影响，采用和发射端相同频率的信号对滤波后的电信号进行I/Q解调和降频，并进行和发射端相反的变换，即去除保护间隔和FFT变换，然后将频率中的信号用均衡器进行均衡和相位补偿，减少因色散和非线性引起的相位噪声和频率偏移。将均衡后的信号进行解调，并/串变换后，恢复二进制串行数据并输出并进行解调分析，解调出OFDM信号中的原始信息，星座图和计算出误码率等参数，也可以利用误码分析仪整个测量系统的误码率。

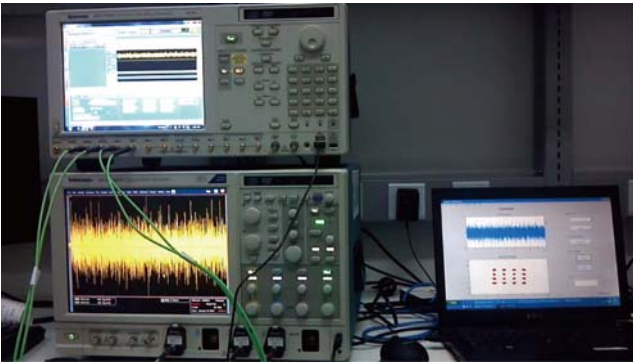


图 5. 泰克 Optical-OFDM 通信系统验证和测试

#### 4.2.2 AWG 产生 OFDM 信号

Optical-OFDM 通信系统中的发射机就是 AWG 任意波形产生器,利用 AWG 产生 OFDM 电信号, AWG 之所以可以生成如此复杂的 OFDM 信号, 这取决于 AWG 这种信号源独特的原理的原理所决定的, 高速的 DAC 可以达到业内领先 24GS/s 采样率是其产生复杂 OFDM 信号的保证。采样率越高, 产生的 OFDM 信号的速率越高, 所以 AWG 的采样率越高越好。

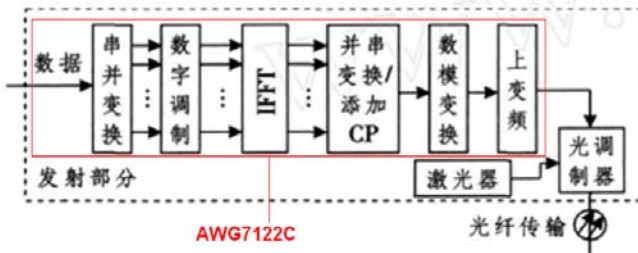


图 6. AWG 生成 OFDM 信号

前面介绍了 OFDM 信号发射机的工作原理, 要生成 OFDM 信号, 需要对信号进行数据进行复杂的处理, 因此, 如何生成复杂的 OFDM 信号, 一直是研究 OFDM 的工程师所面临的挑战, 如何提高生成复杂 OFDM 信号的效率。在泰克的任意波形产生器 AWG7122C 中内置软件 RFXpress 软件, 是业内唯一专业的 OFDM 信号生成软件。

RFXpress 可以很方便产生基带、中频和射频 OFDM 信号。

- 可以设置 OFDM 的所有参数
- 设置用户自己定义的数据 - 符号 - 数据包 - 数据帧
- 支持各种编码、卷积和加扰
- 可以在信号加入诸如相位噪声、多径或量化损伤
- 支持多种子载波调制, 包括各种 BPSK, QPSK, QAM (16,32,64,256) and 8-PSK

图 7 显示的是 OFDM 信号的射频信号、中频信号、IQ 基带信号的选择; 自定义的数据以及支持各种编码、卷积和加扰等参数的设置。

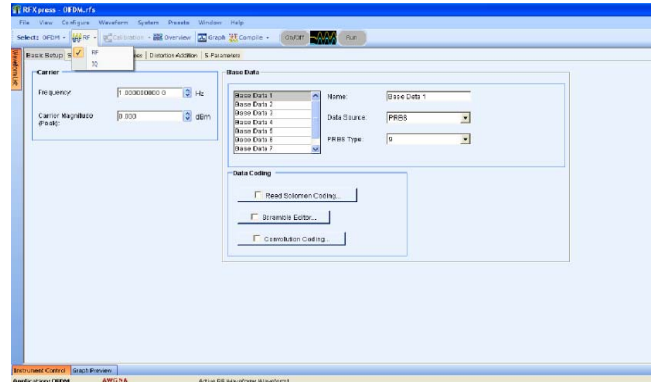


图 7. RFXpress 生成 OFDM 的起始界面

图 8 显示的是 OFDM 信号的符号参数设置, 子载波的调制方式, 循环前缀, 基带数据以及支持各种编码、卷积和加扰等参数的设置。

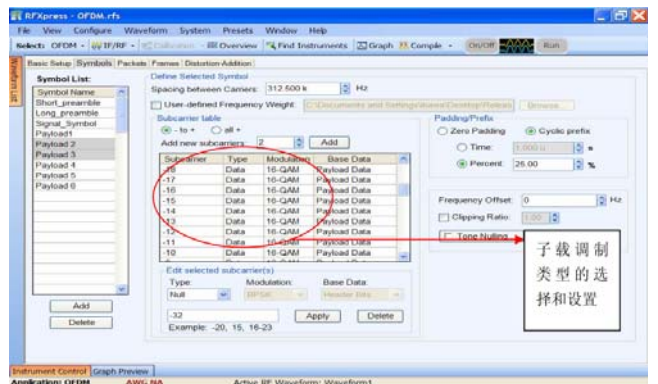


图 8. OFDM 信号的符号参数设置

图 9 显示的是 OFDM 信号的 Packed 参数设置。

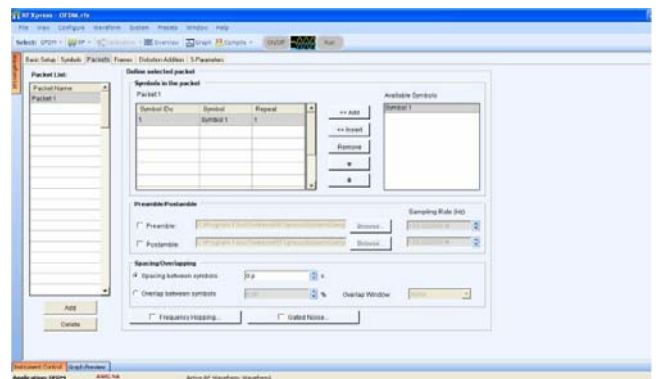


图 9. OFDM 信号的 Packet 参数设置

图 10 显示的是 OFDM 信号的 Frame 参数设置，可以在信号加入诸如相位噪声、多径。

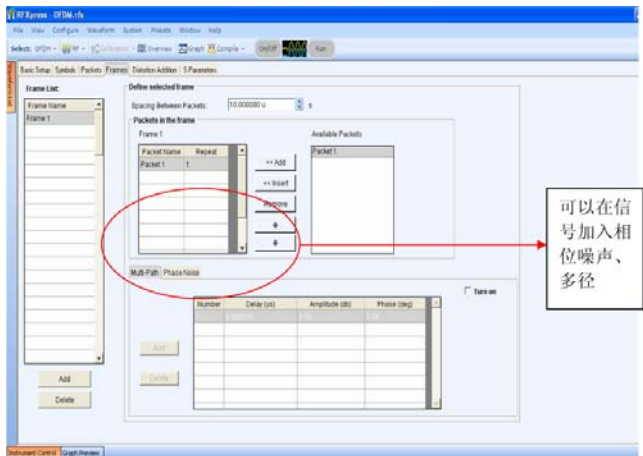


图 10. OFDM 信号的 Frame 参数设置

RFXpress 还可以直接在信号上面加噪声和 S 参数。使用该软件生成 OFDM 信号，可以大大提高工程师的工作效率，而且该软件功能强大，直接装在 AWG7122C 系列的任意波形发生器上面，直接可以产生 OFDM 信号输出，非常方便。

泰克的任意波形产生器 AWG7122C 和 Matlab 可以实现无缝连接，方便快捷地创建各种波形，把 Matlab 装在 AWG7122C 系列仪器上或者安装在 PC 上，利用 Matlab 软件产生 OFDM 电信号，然后利用 AWG7122C 把 OFDM 信号输出。

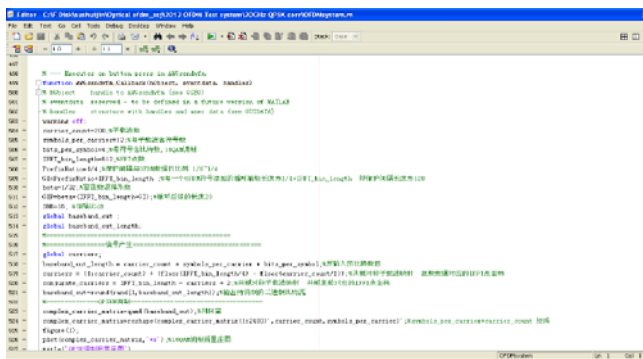


图 11. 利用 Matlab 生成 OFDM 信号

#### 4.2.3 多台 AWG 同步生成多路 OFDM 信号

随着社会对信息需求爆炸式的增长，低成本、超高速、超大容量、超长距离光纤传输系统越来越成为人们的追求目标。要更有效地利用石英单模光纤的 THz 带宽资源，实现更低成本、更高谱效率的传输，比较可行的途径是使用高阶的调制格式以及偏振复用等。

目前另一个研究方向就是 MIMO 技术和 OFDM 技术结合使用。MIMO 技术在单模光纤传输系统中与偏振复用结合，从而使系统容量加倍。具体方式是利用单模光纤信道中的两个正交偏振方向，分别在发射端正交的两个偏振模式上调制传输信号，然后通过偏振合束器耦合进入光纤信道，并在接收端通过偏振分束(或光混频)以及数字信号处理将两路正交偏振态上的信号进行分离，最后依据不同的调制格式进行解调。在这种背景下，MIMO 也叫做偏振复用。2007 年澳大利亚墨尔本大学谢伟教授课题组在首先提出单模光纤传输系统中使用 MIMO-OFDM 技术。目前 MIMO-OFDM 技术已经被广泛地研究和使用的。例如在 2011 年的 OFC 大会上，NEC 美国实验室报道了在  $3 \times 55$  km 单模光纤上使用 PDM-128 QAM-OFDM 调制实现了 101.7 Tbit/s 的传输容量。

图 12 是基于偏振复用的 Optical OFDM 系统的结构框图。

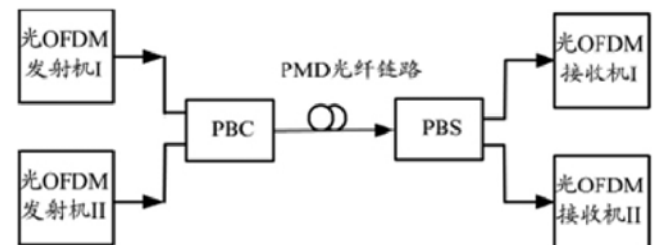


图 12. 基于偏振复用的 Optical OFDM 系统框图



由于偏振复用 Optical OFDM 有两个偏振态，每个偏振态分别有两路基带 I/Q 信号，所以在偏振复用的 Optical OFDM 系统的发射机需要四路基带 OFDM 信号，接收机也需要四通道接收机同时采集和分析。

在前面已经介绍了 Optical OFDM 系统中利用 AWG 任意波形产生器生成复杂的 OFDM 信号，但是目前的 AWG 任意波形产生器的输出通道只有两个通道输出，无法生成四路 OFDM 基带信号，所以要生成四路 OFDM 基带信号，需要两台 AWG 任意波形产生器进行同步，然后输出四路 OFDM 基带信号。

图 13 是两台 AWG7102 或 AWG7122B 任意波形产生器进行同步的连接框图。从图 13 可以看出，利用一台 AFG 函数产生器的通道 1 连接到两台 AWG 任意波形产生器触发输入端，并且把主 AWG 任意波形产生器的 10M 参考输出连接到 AFG 的 10M 参考输入，AFG 函数产生器的通道 2 连接到从 AWG 任意波形产生器的 10M 参考输入，这样可以完成两台 AWG7102 或 AWG7122B 同步输出，同步输出的抖动峰峰值只有 24.8ps (见图 14)，完全可以满足 OFDM 要求。通过两台 AWG7102 或 AWG7122B 任意波形产生器的同步，完成四通道的 OFDM 信号输出，从而满足偏振复用 Optical OFDM 系统中四路 OFDM 信号输出的要求。

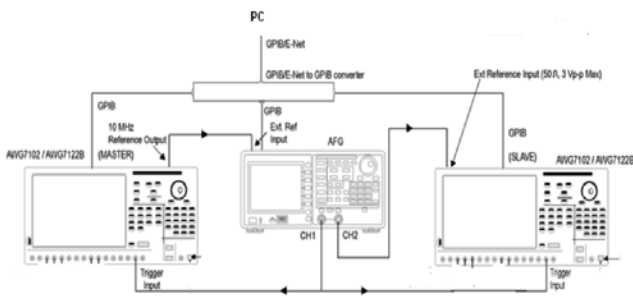


图 13. 两台 AWG7102/AWG7122B 同步连接框图

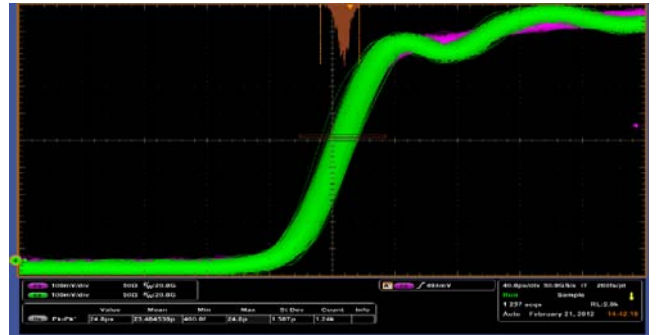


图 14. 两台 AWG7102/AWG7122B 同步输出的抖动图

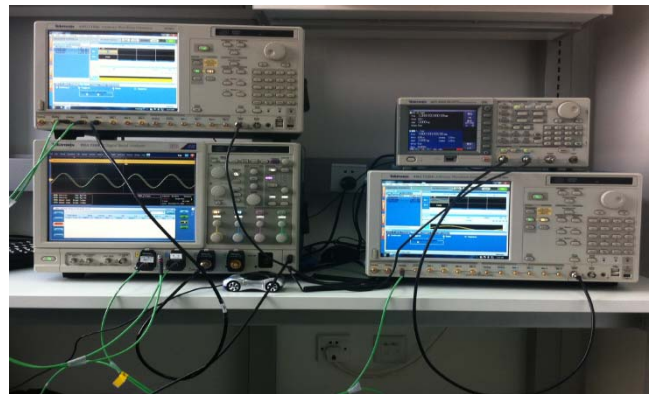


图 15. 两台 AWG7102/AWG7122B 同步实验图

最新的 AWG7122C 含有同步输出，两台 AWG7122C 任意波形产生器同步连接框图见图 16。从图 17 可以看出，两台 AWG7122C 同步输出的抖动峰峰值只有 15.5ps，比 AWG7102 或 AWG7122B 同步的精度更高，完全可以满足 OFDM 要求。

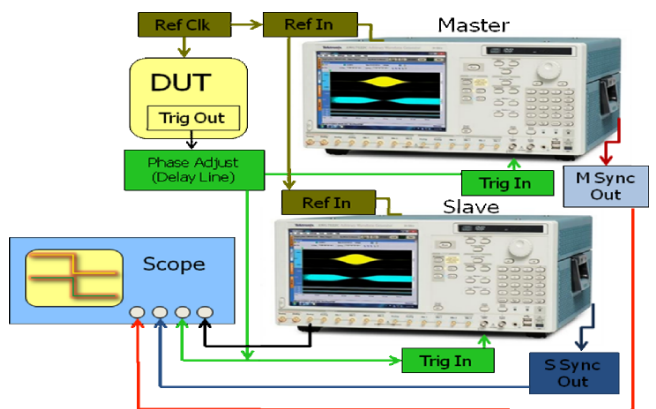


图 16. 两台 AWG7122C 同步连接框图

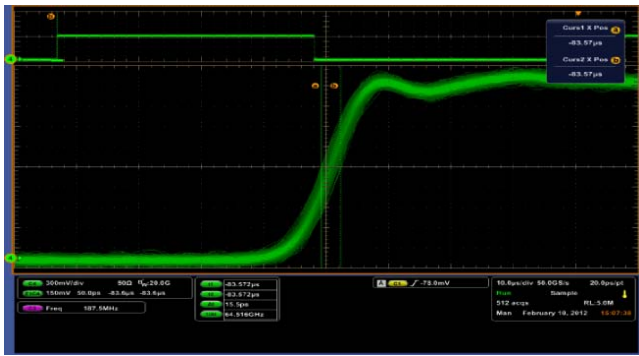


图 17. 两台 AWG7122C 同步输出的抖动图

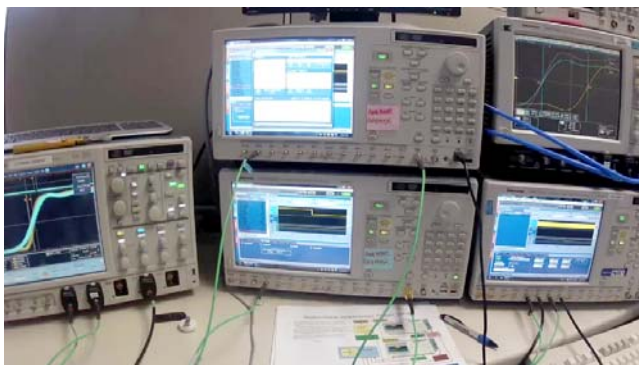


图 18. 两台 AWG7122C 同步实验图

#### 4.2.4 宽带高性能示波器采集和分析 OFDM 信号

复杂 OFDM 电信号的采集是 Optical-OFDM 的分析和信号处理的基础, 宽带高性能示波器均有高采样率、高带宽, 可以作为宽带、超宽带信号采集和分析工具, 所以宽带示波器内业作为 OFDM 的接收机理想选择, 只有把信号正确的采集下来, 才能够利用算法对信号进行分析。

泰克最新的 DPO/DSA70000D 系列宽带高性能示波器带宽高达 33GHz, 实时采样率已达最高的 100GS/s, 是市场上最快、最准确的示波器。建立在 IBM 8HP 硅化锗 (SiGe) 技术上的示波器平台, 为当前最快电信号提供业界最卓越的测量精度, 同时为高速光纤、射频和超过 20Gb/s 数据速率的串行数据的精确测试提供了高灵敏度、低噪声的测量性能。随着 76% 的泰克客户采用第三方软件, DPO/DSA70000D 系列示波器提供一个先进的 DataStore 数据处理途径。采用 MATLAB 或 Microsoft .NET 等第三方工具, 用户能够将波形数据的处理算法直接插入到示波器显示系统和应用软件之中。用户将在广泛应用上大大提升效率。

宽带高性能示波器作为 OFDM 的接收机, 光 OFDM 信号经过长距离光纤传输, 通过光电探测后变成电 OFDM 信号, 用宽带高性能示波器采集光电检测后电 OFDM 信号。然后利用 Matlab 软件对 DPO73304D 示波器上实时 OFDM 信号进行数据解调和 OFDM 信号中的原始信息, 观测星座图和 OFDM 系统的误码率。图 19 和图 20 是利用 Matlab 对示波器上的 OFDM 信号实时采集和处理。

Optical-OFDM 通信系统的误码率利用 Bertscope 误码分析仪测量 OFDM 系统的真实误码率。泰克的 BERTScope 误码分析仪针对计算机系统和通信串行数据的应用而设计, 同时集成误码仪和示波器的仪器。

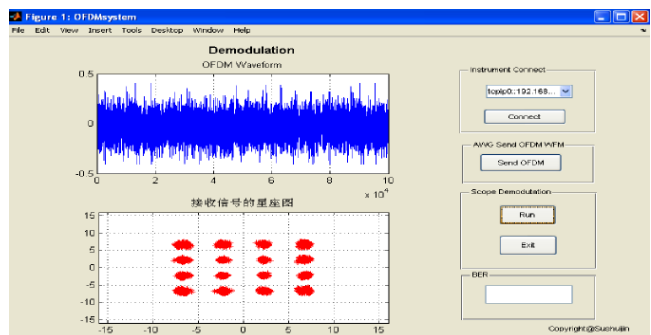


图 19. OFDM 信号实时采集和分析(16QAM)

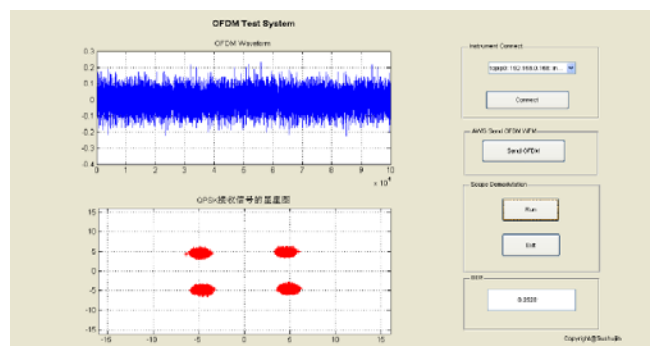


图 20. OFDM 信号实时采集和分析(QPSK)

#### 4.2.5 OFDM 信号校准

校准的意义在于：利用AWG产生宽带OFDM电信号，经过电缆连接到示波器中接收，信号在链路中叠加了DAC、电缆和ADC的幅度起伏和相位失真，在精确测量场合用户可能是无法容忍较大失真的存在。

泰克公司 RFXpress 软件包含 RF/IF/IQ 校准功能，只需简单的操作就可以完成整个系统的校准。由于独有的在线闭环校准功能，便快捷地完成信号预失真，保证输出宽带 OFDM 信号有很好的平坦度和线性相位响应，完全能够达到宽带 OFDM 信号分析和测量的要求。校准软件界面见图 21。

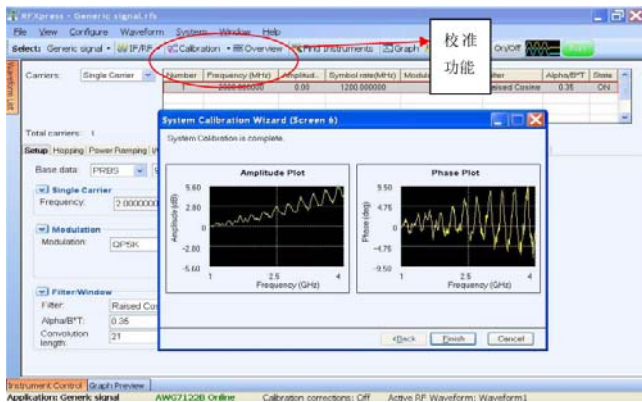


图 21. OFDM 信号闭环校准软件界面

#### 4.3 泰克 Optical-OFDM 通信系统验证和测试解决方案小结

泰克为 Optical-OFDM 通信系统提供了完整的解决方案，AWG7122C 作为 OFDM 发射机，宽带高性能示波器 DPO73304D 作为 OFDM 的接收机，BERTScope 误码分析仪测量传输系统的误码率。

泰克针对 Optical-OFDM 通信系统的方案的优点：

OFDM 发射机，超宽带信号源 AWG，是业内唯一能产生宽带 OFDM 信号的信号源 超宽带宽(9.6GHz)，超高采样率(24GS/s)可以直接产生射频、中频、基带信号。

- 业内最专业的基于 AWG 的高级 OFDM 信号生成软件 RFXpress，方便产生各种复杂的 OFDM 信号
- 与各种软件兼容如:Matlab 等
- 与泰克的宽带示波器搭成无缝环路

OFDM 接收机,宽带示波器带宽 DPO73304D 高达 33GHz 带宽，采样率高达 100GS/s，与各种软件兼容如:Matlab 等。BERTScope 误码分析仪，可以测量高达 26Gbps 码速率信号的误码率，并可以快速准确完成眼图、抖动测量。

#### 4.4 Optical-OFDM 系统验证和测试推荐配置

1. 1 台 AWG7122C 任意波形产生器 +RFXpress OFDM 软件
2. 1 台 DSA73304D 高性能宽带实时示波器
3. 1 台 BSA125C 误码分析

#### 5 结论

Optical-OFDM 技术在长距离传输中都有广阔的应用前景，在国内外已引起广泛的关注，并由此引发了许多新的研究热点，本论文介绍了 Optical-OFDM 通信的发展，OFDM 的系统工作原理，以及泰克针对 Optical-OFDM 通信系统的验证和测试提供了完整的方案。

**泰克科技(中国)有限公司**

上海市浦东新区川桥路1227号  
邮编: 201206  
电话: (86 21) 5031 2000  
传真: (86 21) 5899 3156

**泰克北京办事处**

北京市海淀区花园路4号  
通恒大厦1楼101室  
邮编: 100088  
电话: (86 10) 5795 0700  
传真: (86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**

上海市徐汇区宜山路900号  
科技大楼C楼7楼  
邮编: 200233  
电话: (86 21) 3397 0800  
传真: (86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**

深圳市福田区南园路68号  
上步大厦21层G/H/I/J室  
邮编: 518031  
电话: (86 755) 8246 0909  
传真: (86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**

成都市锦江区三色路38号  
博瑞创意成都B座1604  
邮编: 610063  
电话: (86 28) 6530 4900  
传真: (86 28) 8527 0053

**泰克西安办事处**

西安市二环南路西段88号  
老三届世纪星大厦20层K座  
邮编: 710065  
电话: (86 29) 8723 1794  
传真: (86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**

武汉市解放大道686号  
世贸广场1806室  
邮编: 430022  
电话: (86 27) 8781 2760/2831

**泰克香港办事处**

香港九龙尖沙咀弥敦道132号  
美丽华大厦808-809室  
电话: (852) 2585 6688  
传真: (852) 2598 6260

**更详尽信息**

泰克公司备有内容丰富、并不断予以充实的应用文章、技术简介和其他资料,以帮助那些从事前沿技术研究的工程师们。请访问 [www.tektronix.com.cn](http://www.tektronix.com.cn)



版权 © 泰克公司, 泰克公司保留所有权利。泰克公司的产品受美国和中国外专利权保护, 包括已发布和尚未发布的产品。以往出版的相关资料信息由本出版物的信息代替。泰克公司保留更改产品规格和定价的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是泰克有限公司的注册商标。所有其他商标名称是各自公司的服务商标或注册商标。

13 Mar 2012

55C-28006-0

**Tektronix**<sup>®</sup>