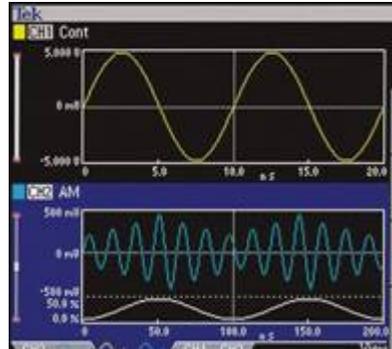


高速光通讯测试



苏水金

泰克科技（中国）有限公司



主题

- 采样示波器基础及应用
- 光信号测试的项目以及要点
- 如何改善光信号测试的精度，一致性以及重复性
- 泰克10G/25G/40G/100G的测试方案

采样示波器基础：采样示波器的特点

- 高带宽

目前，泰克DSA8200示波器的带宽高达80G+

- 高等效采样率

泰克DSA8200示波器等效采样率高达1000T以上

- 高垂直电压分辨率

泰克DSA8200示波器的ADC分辨率为14bit

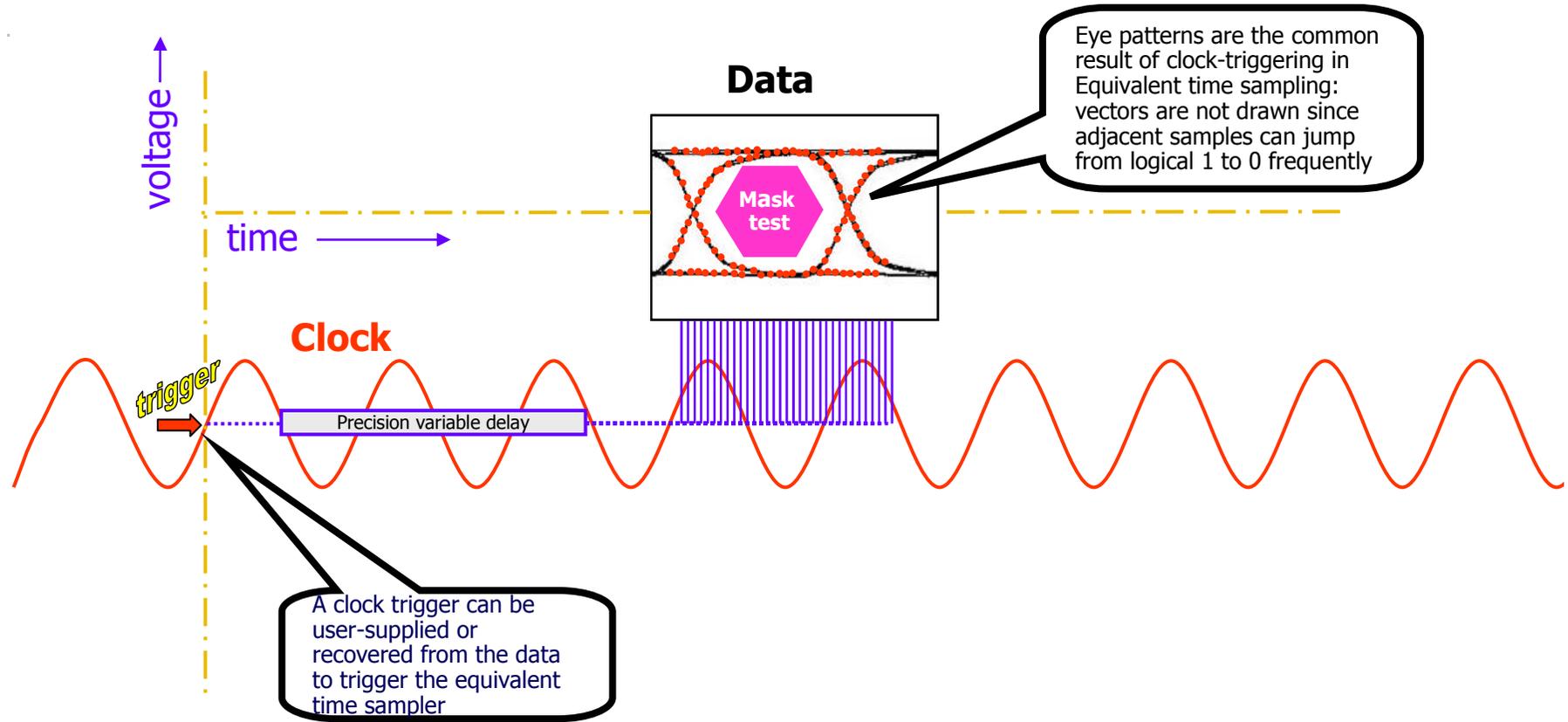
- 低触发抖动

泰克DSA8200触发抖动低至200fs

- 低本底噪声

泰克80Exx噪声低至400uV（RMS）

采样示波器采样原理：
需要同步触发信号，多次触发完成捕获



- When a clock signal is used to trigger the equivalent-time 8200 scope the sampled DATA signals generally create EYE PATTERNS (between clock triggers the sampled DATA could be either a logical 1 or 0)

采样示波器的优势及应用

- 带宽高达80GHz以上
进行高速的周期脉冲测试
进行高速的串行数据分析
- 噪声低、高垂直分辨率(14bit)
进行高速的眼图测试以及噪声分析。
- 超低的触发抖动(使用82A04的模块使触发抖动减少至200fs)
进行高速的串行数据抖动分析

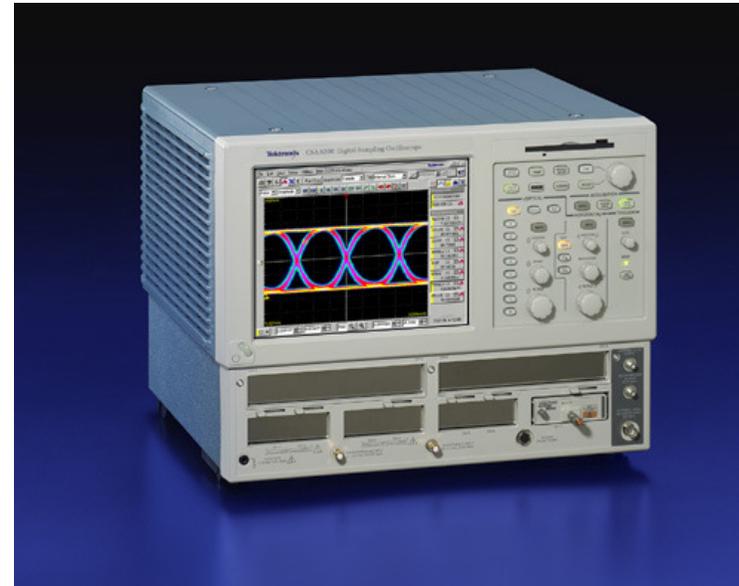
光接口主要标准

- **Fiber Channel 光接口速率:**
 - Fiber Channel 1: 速率1.063Gbps
 - Fiber Channel 2: 速率2.125Gbps
 - Fiber Channel 4: 速率4.250Gbps
 - Fiber Channel 10G: 速率10.52Gbps
- **以太网光接口速率:**
 - 100Base-FX: 速率125Mbps
 - 1000Base-SX/LX: 速率1250Mbps
 - 10GBase-R/W: 速率10.3125/9.953Mbps
 - 802.3ba :40G-base SR/LR ,100G-base SR10.
- **SDH光接口速率:**
 - 155Mbps、622Mbps、2.488Gbps、9.953Gbps……

使用Tektronix DSA8200能完成什么测试？

- **核心测试**

- 眼图测试
- 抖动测试
- 幅度域
 - 平均光功率 (AOP)
 - 消光比 (ER)
 - 光调制幅度 (OMA)



使用Tektronix DSA8200需要那些配置？

• 核心测试

- 光采样模块（滤波器）
 - 带有4阶Bessel-Thomson低通滤波器，且滤波器的带宽为DUT数据率的0.75倍
- 时钟恢复单元/模块 (CRU)
 - 可以恢复DUT数据率相对应的时钟，且该CRU具有带宽为DUT数据率1/1667的低通滤波器

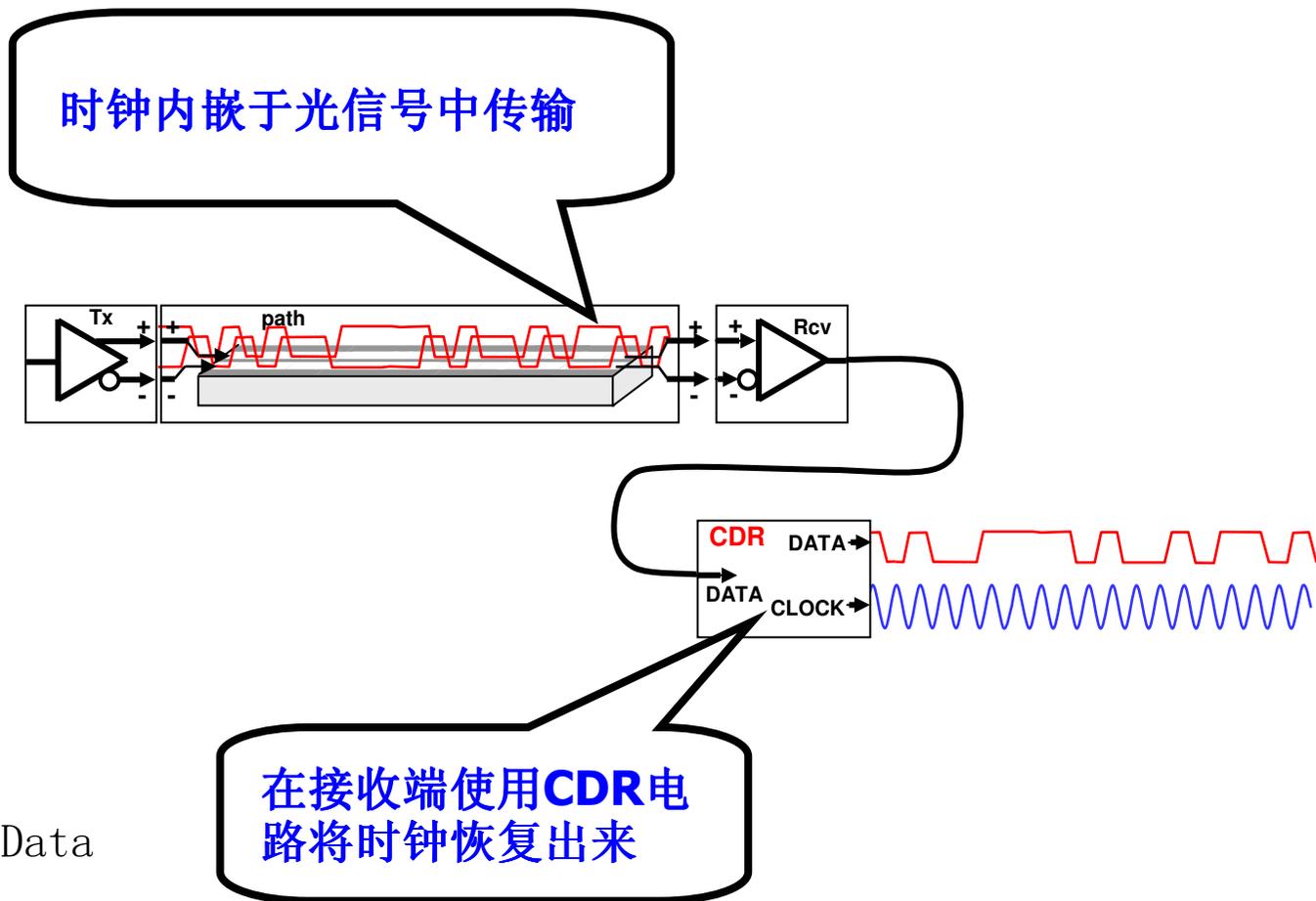




光接口物理层测试的几项要求

- 对时钟恢复CDR的要求
- 对噪声，灵敏度的要求
- 对滤波器的要求
- 对波长的要求

光接口物理层测试：对CRU的要求

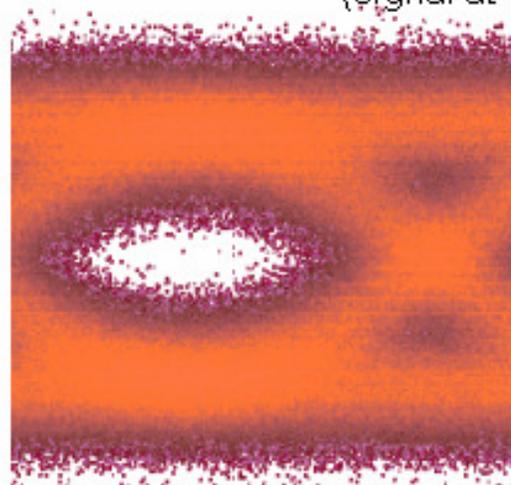


要求CDR的环路带宽为Data rate/1667

光接口物理层测试：噪声/灵敏度要求

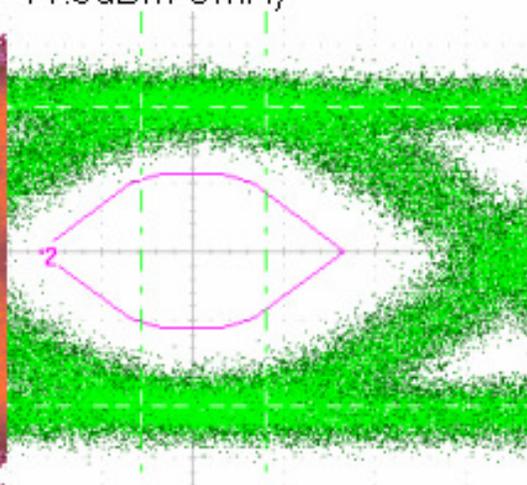
在测试小功率光模块或者超长波长光模块时，DUT的光功率会很小。所以模块的噪声必须很低灵敏度很高，达到一定的信噪比，测试的结果才能准确，而显示出来的信号噪声是真正属于信号的，而不是模块自身的噪声。

**An older module originally
designed for OC-192**



Tektronix 80C12

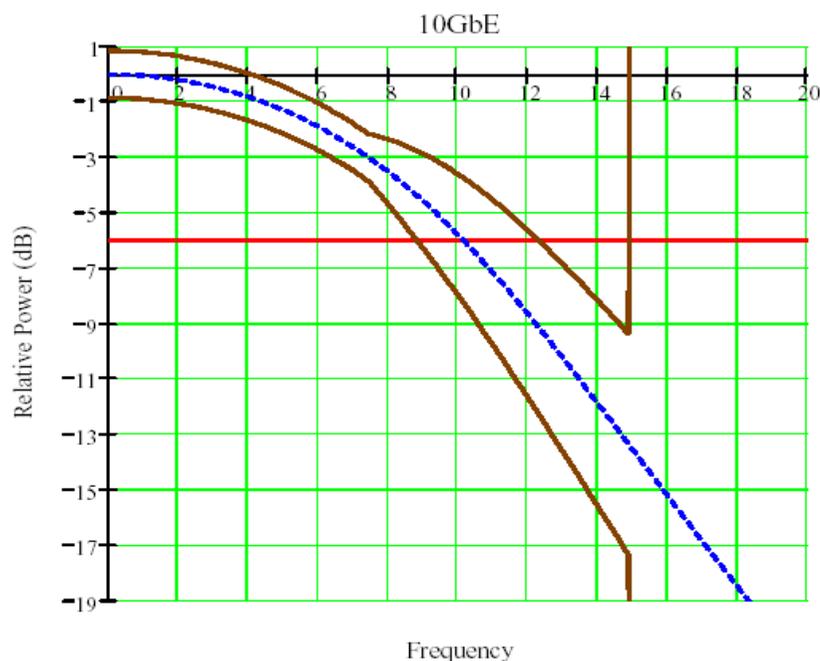
(signal at -11.3dBm OMA)



光接口物理层测试：对滤波器的要求

测试眼图模板时，需要使用Optical Reference Receiver 光参考接收器 (O/E + Filter)，信号首先经光电转换，然后经4th Order Bessel-Thomson 滤波器过滤，按业界规范要求，此滤波器的带宽要是被测信号速率的0.75倍

业界测试光接口 所使用的4th Order Bessel-Thomson 滤波器的频响如下：



不一样的速率，有不一样的滤波器要求

光接口物理层测试：对波长的要求

- 目前，按照光信号在光纤中的传播方式有单模与多模之分；其波长也不一样。主流的波长有780、850、1310、1550nm
- 单模：9um光纤直径，波长多为1310、1550nm
- 多模：62.5um光纤直径，波长多为780、850nm

光通信中的性能参数：OMA与ER

- 逻辑1和逻辑0:

光功率高的状态是逻辑1，反之则为逻辑0.

光功率常用: $\text{dBm} = 10\log(\text{Power (mW)} / 1 \text{ (mW)})$

- OMA: Optical Modulation Amplitude

逻辑1和逻辑0光功率差:

$$\text{OMA} = P_1 - P_0$$

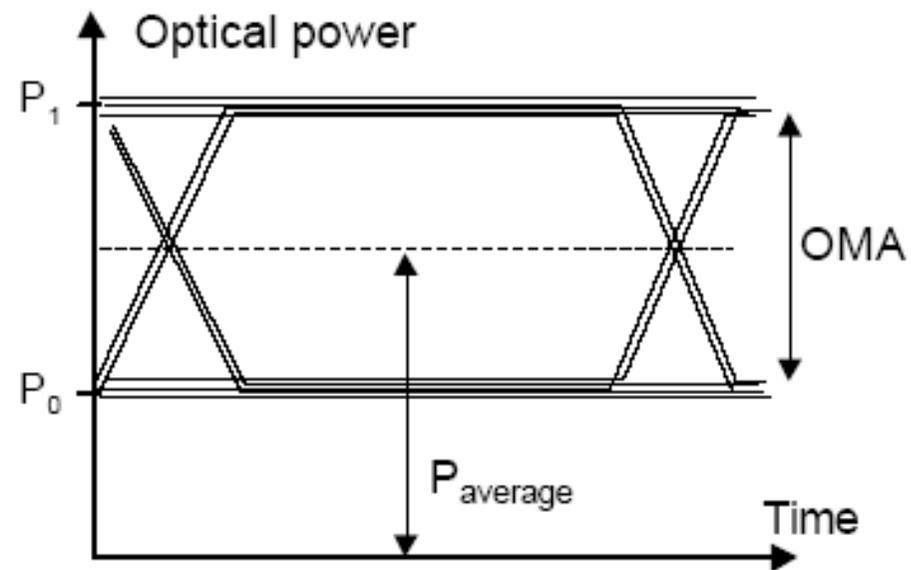
有时也定义成:

$$\text{OMA} = 2P_{\text{average}} * \frac{\frac{P_1}{P_0} - 1}{\frac{P_1}{P_0} + 1}$$

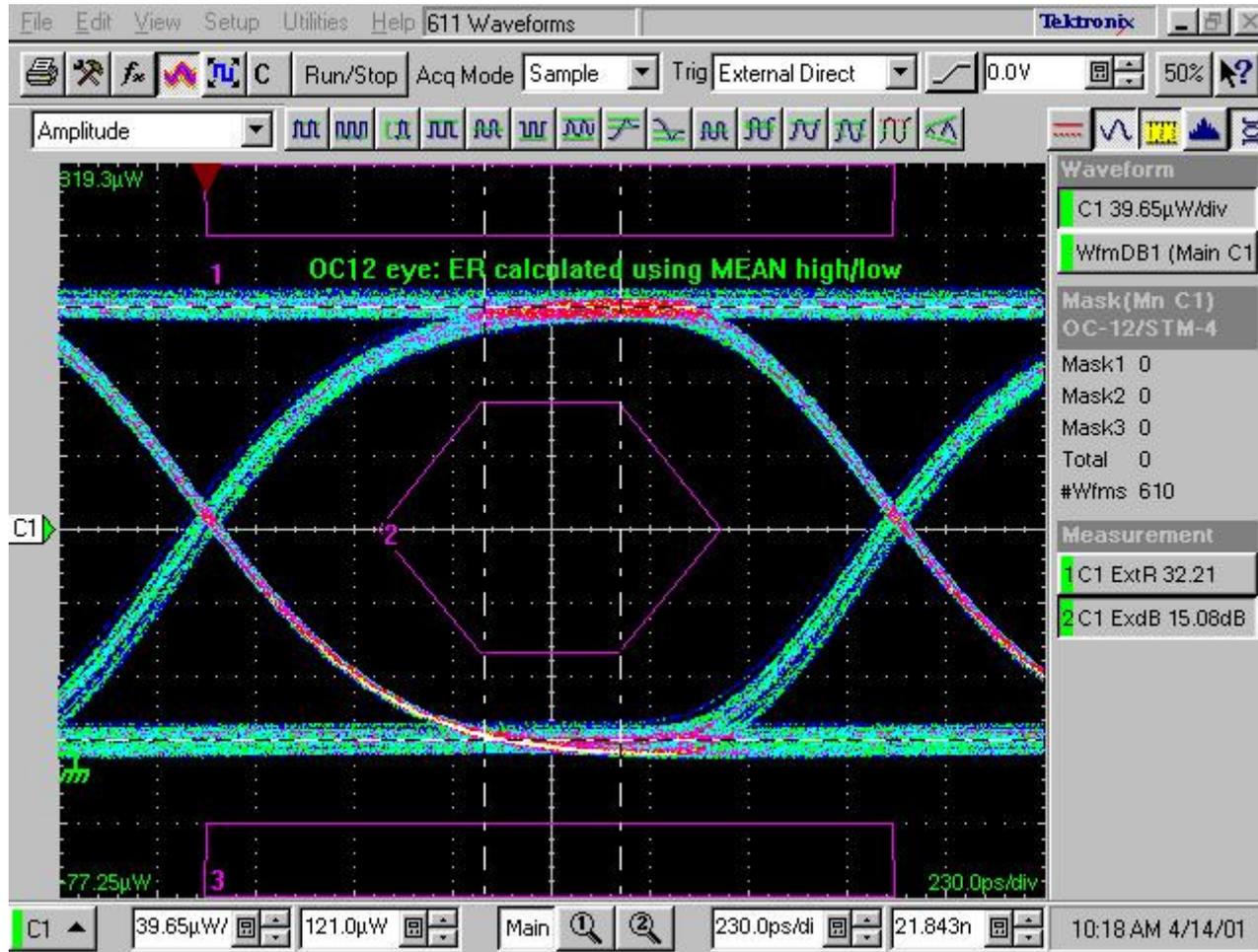
ER: Extinction Ratio, 消光比

$$P_{\text{average}} = \frac{P_1 + P_0}{2}$$

$$\text{ER} = \frac{P_1}{P_0}, \text{dB} = 10\log_{10} \frac{P_1}{P_0}$$



光通信中的性能参数：OMA与ER



消光比与OMA

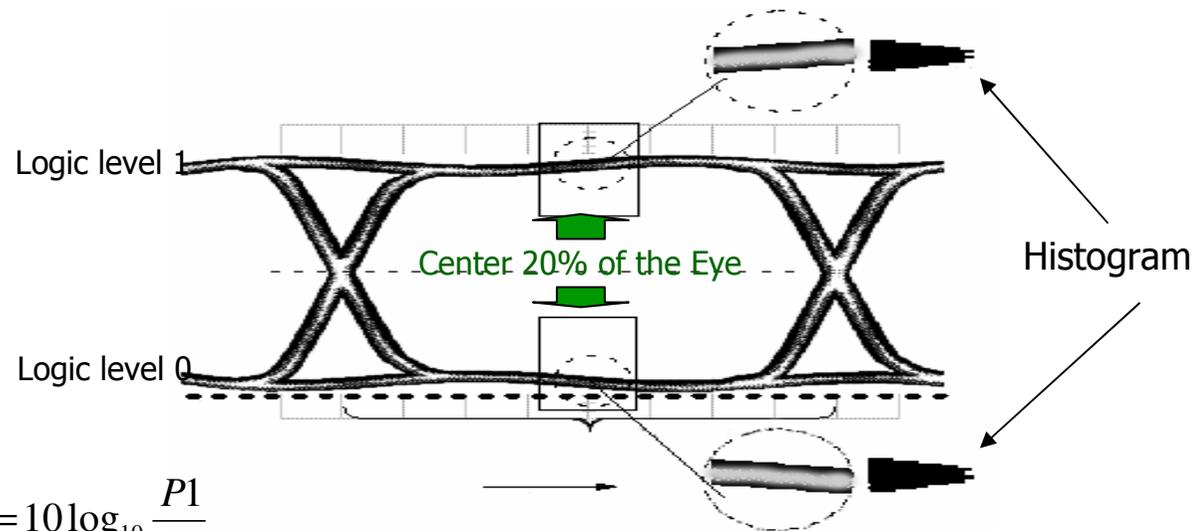
- 对线性衰减的传输系统, ER为常数. 但是OMA是在减小的. 这也就是随着信号从发送端到接收端眼图变窄的现象.
- OMA越高, 信号在光纤中就能传输的更远. ER越高, 传输系统对外部噪声的抗敏感度越高, 鲁棒性越好.

消光比测试-光接口测试的最大难点

- 什么是消光比(ER)
- 消光比的重要性
- 泰克DSA8200 提高消光比测量的解决方案-“ER Calibrated”

消光比的定义

- ER (Extinction Ratio) 为光模块发射逻辑“1”时的平均光功率和发送逻辑“0”时的平均光功率之比。
 - 在光眼图的中心的20%的位置测量直方图的平均值



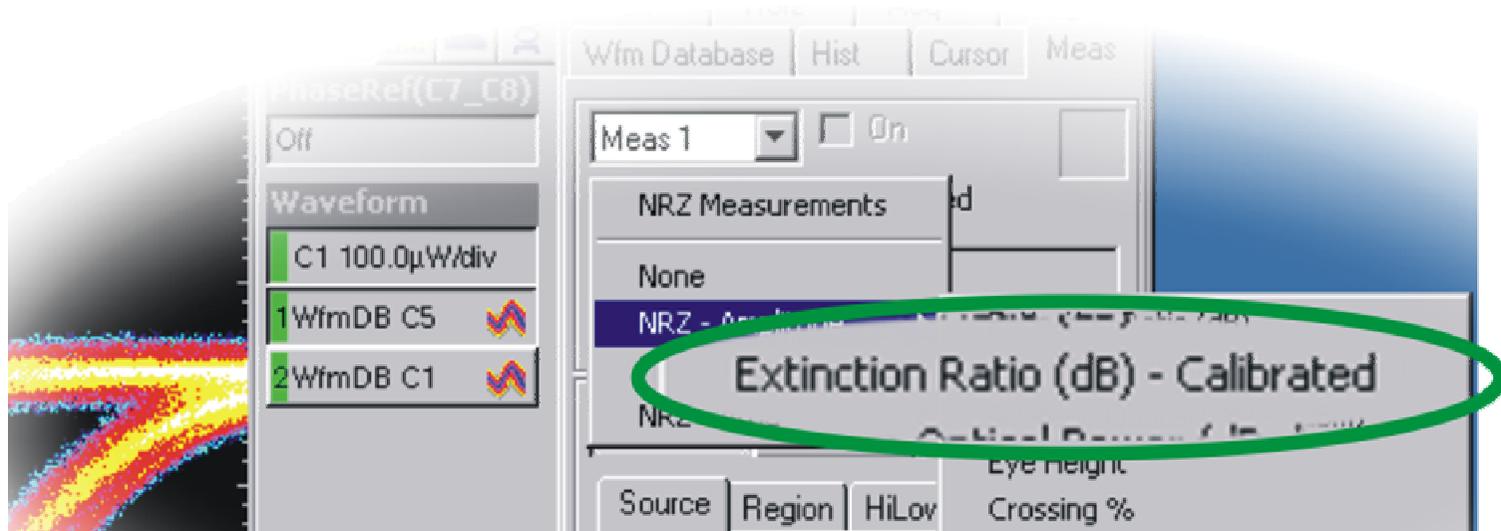
- $ER = \frac{P1}{P0}, dB = 10 \log_{10} \frac{P1}{P0}$
- ER 测量结果与逻辑“0”时电平和暗电平的相对值有很多影响 (当激光器完全关闭不发光时)
 - 很小的0电平的变换/偏离都会明显的影响消光比的测试结果

为什么消光比测量结果非常重要？

- 标准规范中规定了消光比的性能指标以确保网络的互通性;所以对这一领域的各个提供商来说满足规范要求极为重要.
- 除满足规范要求外还有其他各原因也突显消光比测量的重要性:
 - 不同的元器件, 模块和系统有不同的设计裕量
 - 良好的消光比性能可以改善误码率, 是考量总体性能和质量的关键测量项目
 - 消光比测量值的波动直接影响产品的一次通过率, 减小产出率和收益
 - 当验货检查结果和提供商不一致时使得工作复杂化

泰克的解决方案：准确可重复的消光比测量

- 通过专门的高精度消光比校准源提供校准
- 在工厂完成校准过程并将参数存于模块内
- 通过“ER Calibrated”测试项提供校准测试结果（同时保留旧的测试项目）
- 能同时提供绝对精度和可重复性测试指标



泰克10G/25G/40G/100G的测试方案-模块概览

155 Mb/s to 12+ Gb/s Optical Test

- **80C07B**

2.5 GHz BroadWavelength Multirate 155 Mb/s to 2.5 Gb/s Optical Module

- **80C12**

Up to 10GHzBroadWavelengthMultirate 1 Gb/s to 10 Gb/s Optical Module

- **80C08C**

10 GHz Broad Wavelength Multirate 10 Gb/s Optical Module

- **80C11**

30 GHz Long Wavelength Multirate 10 Gb/s Optical Module

40 Gb/s and 100 Gb/s Optical Test

- **80C10B**

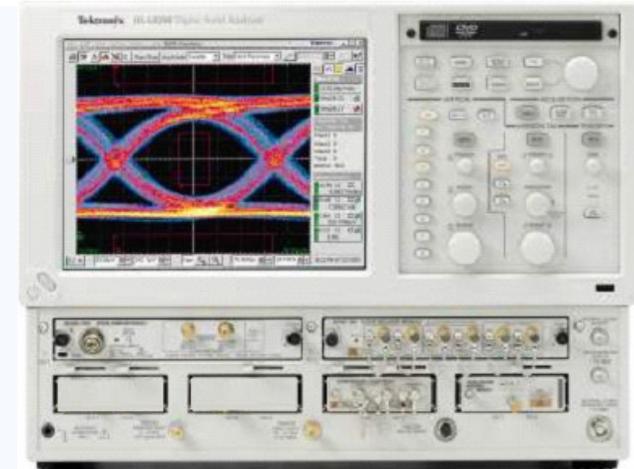
Multirate Datacom and Telecom 40 Gb/s and 100 Gb/s

10/40/100GbE Optical Compliance testing in ONE Instrument

Tektronix DSA8200 Opt. JNB
+ 80C08C-CR4
+ 80C10B-F1
+ 82A04 & 80A06

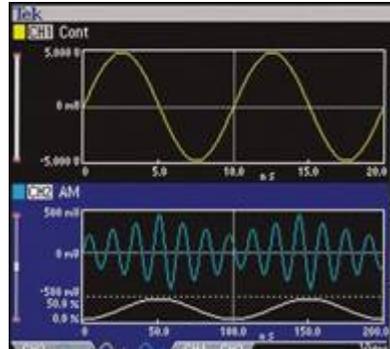
The only ALL-IN-ONE single instrument solution with:

- All reference receiver Filters from 8.5Gb/s thru 44.5Gb/s
- Highest repeatability & best sensitivity
- Integrated Clock Recovery @ 10G
- SMF and MMF support @ 10G
- 200 fs_{RMS} timebase stability
- 4x fast acquisition throughput over alternative
- Jitter, Noise, and BER Analysis
- Calibrated Extinction-Ratio measurements @ 10G
- Differential electrical 50 GHz optional (no module swap needed)



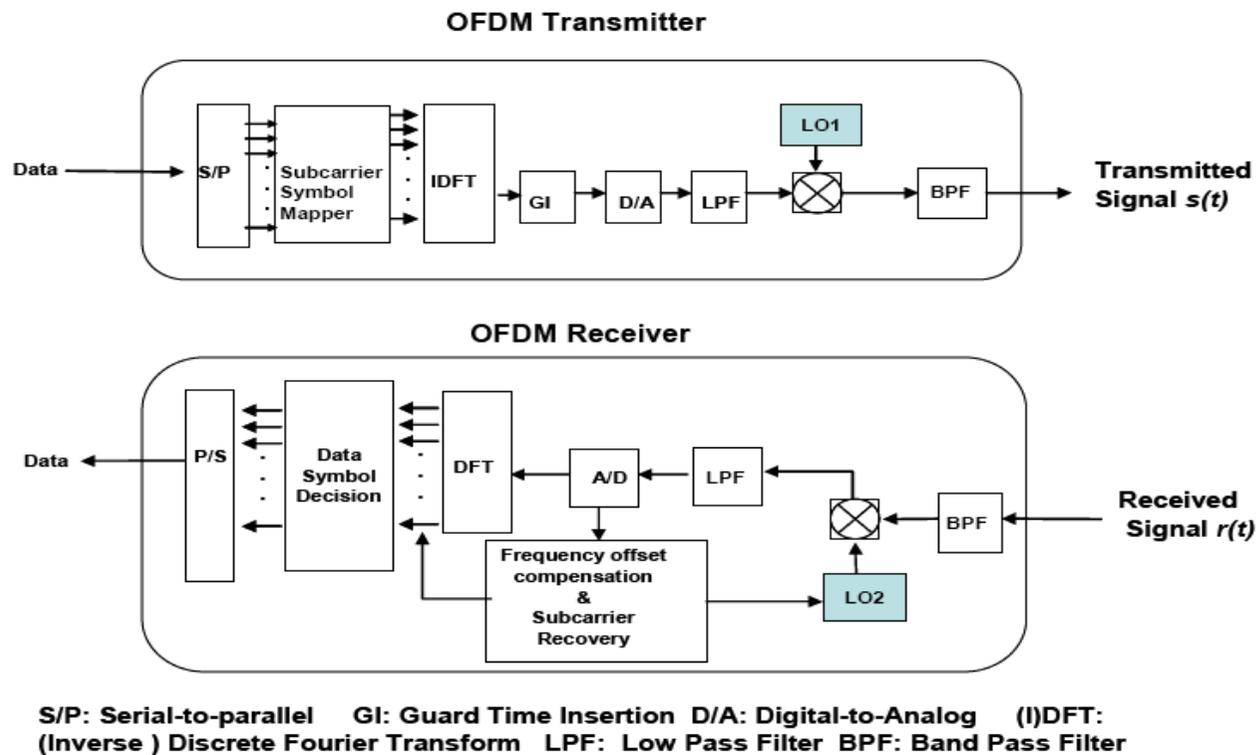
Tektronix™

Optical OFDM通信系统测试解决方案



OFDM技术基本原理

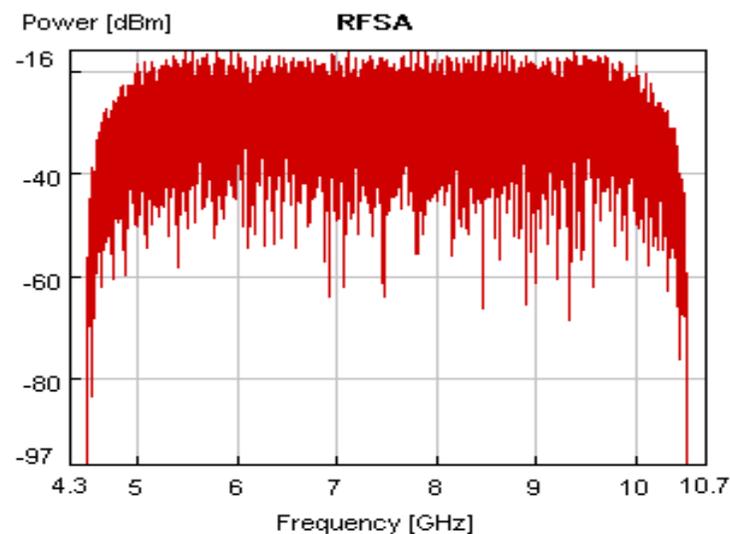
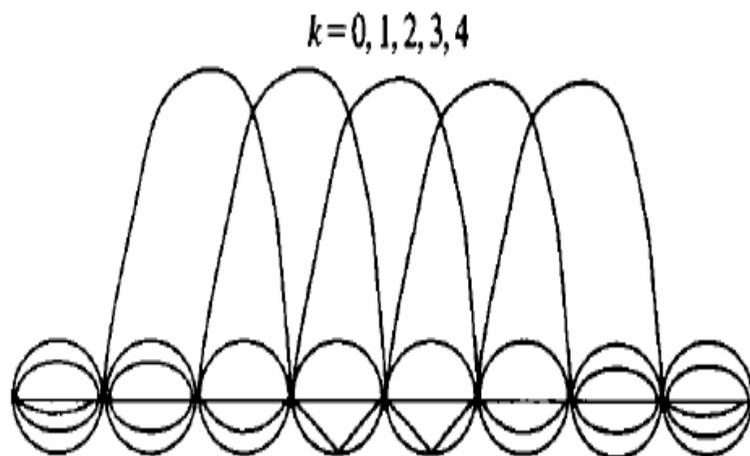
- 正交频分复用OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) 是一种多载波调制方式，通过减小和消除码间串扰的影响来克服信道的频率选择性衰落。它的基本原理是将信号分割为N个子信号，然后用N个子信号分别调制N个相互正交的子载波。由于子载波的频谱相互重叠，因而可以得到较高的频谱效率。近几年OFDM在无线通信领域得到了广泛的应用。



OFDM技术基本原理(续)

- 正交频分复用OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)调制是多载波调制的一种,其基本思想是将串行的信号流转成并行的多路子数据流,再去并行地调制多路子载波。
- OFDM子载波的正交性

OFDM信号频谱图



Optical OFDM通信

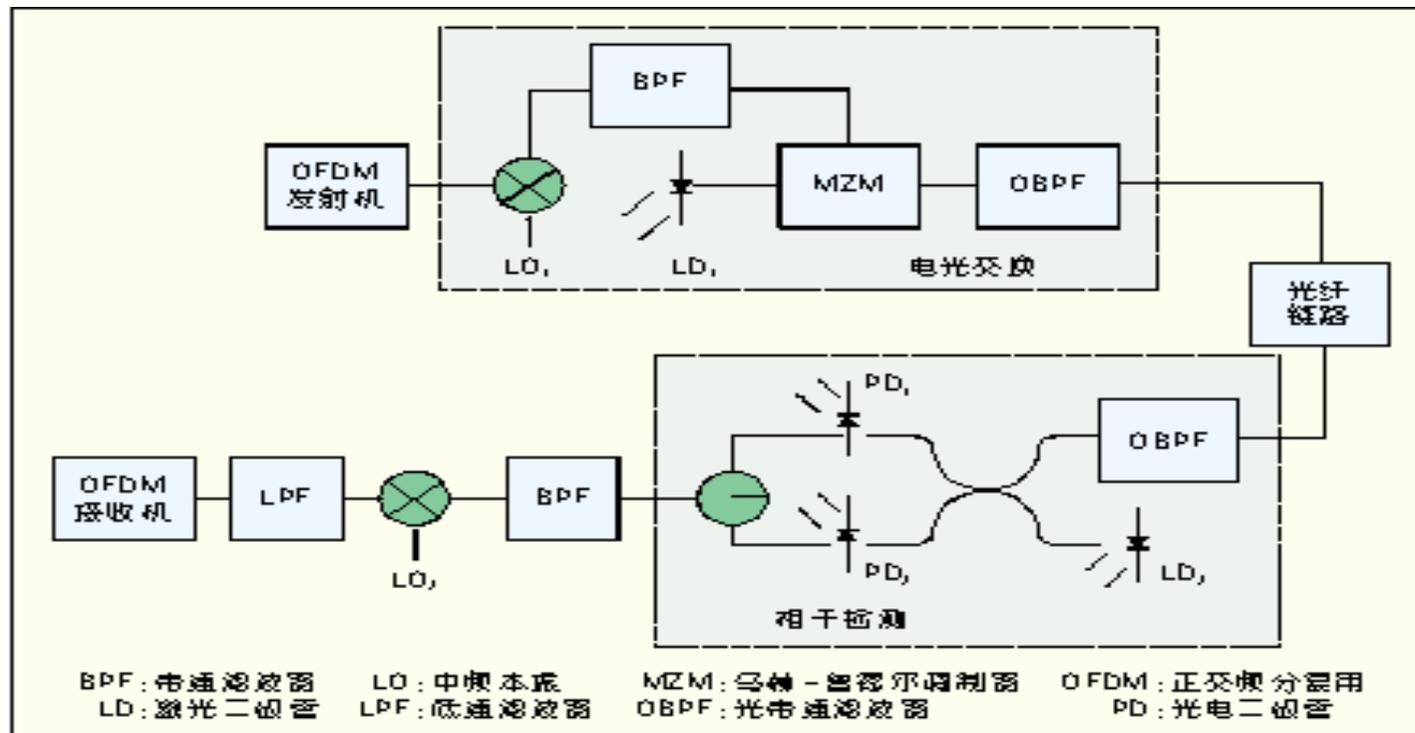
- 光OFDM(O-OFDM)系统结合OFDM技术与光通信的特点，构建出高速率、高容量、低成本的光传输网络并且具有较强的信道容量的可扩展性，可以在现有网络的基础上很好的升级与过渡，提供高速率、高容量、高质量的通信服务。O-OFDM技术也可以作为全球微波互联接入(WiMAX)、无线局域网(WLAN)的一部分。

Optical OFDM通信优点

- 0-OFDM由于其独特的优势，在全世界范围内得到了深入的研究，在欧洲光通信展览会(OFC)2008、OFC2009和美国光电光纤通信展览会(ECOC)2007、ECOC2008会议上，0-OFDM传输理论与技术成为了会议的热点之一。
- 0-OFDM系统的优势主要表现在如下几个方面：
 - 0-OFDM系统在传输过程中不需要复杂的色散管理，这样既能实现高速的数据传输，降低了网络的复杂度和建设、运行、维护的成本，也能适应动态变化的网络环境
 - 0-OFDM 系统可以最大限度的利用频谱资源，提高频谱效率
 - 0-OFDM系统与原有的波分复用(WDM)系统有很好的兼容性，可充分利用WDM系统在光纤链路和光放大器方面的巨大投资，只需要在发射和接收端进行适应性改造即能够完成升级。

Optical OFDM系统原理

- 一个典型的O-OFDM系统可以分成OFDM基带信号发射机、电/光变换、光纤链路、光/电检测和OFDM基带接收机5部分。
- 根据接收端实现方式不同，可以分为相干检测光OFDM系统(CO-OFDM)与直接检测光OFDM系统(DDO-OFDM)两种方式。相干检测方式就是在接收端采用光相干外差(或零差)检测，直接检测方式就是接收端采用PIN光电二极管，直接将光功率转换成电流。

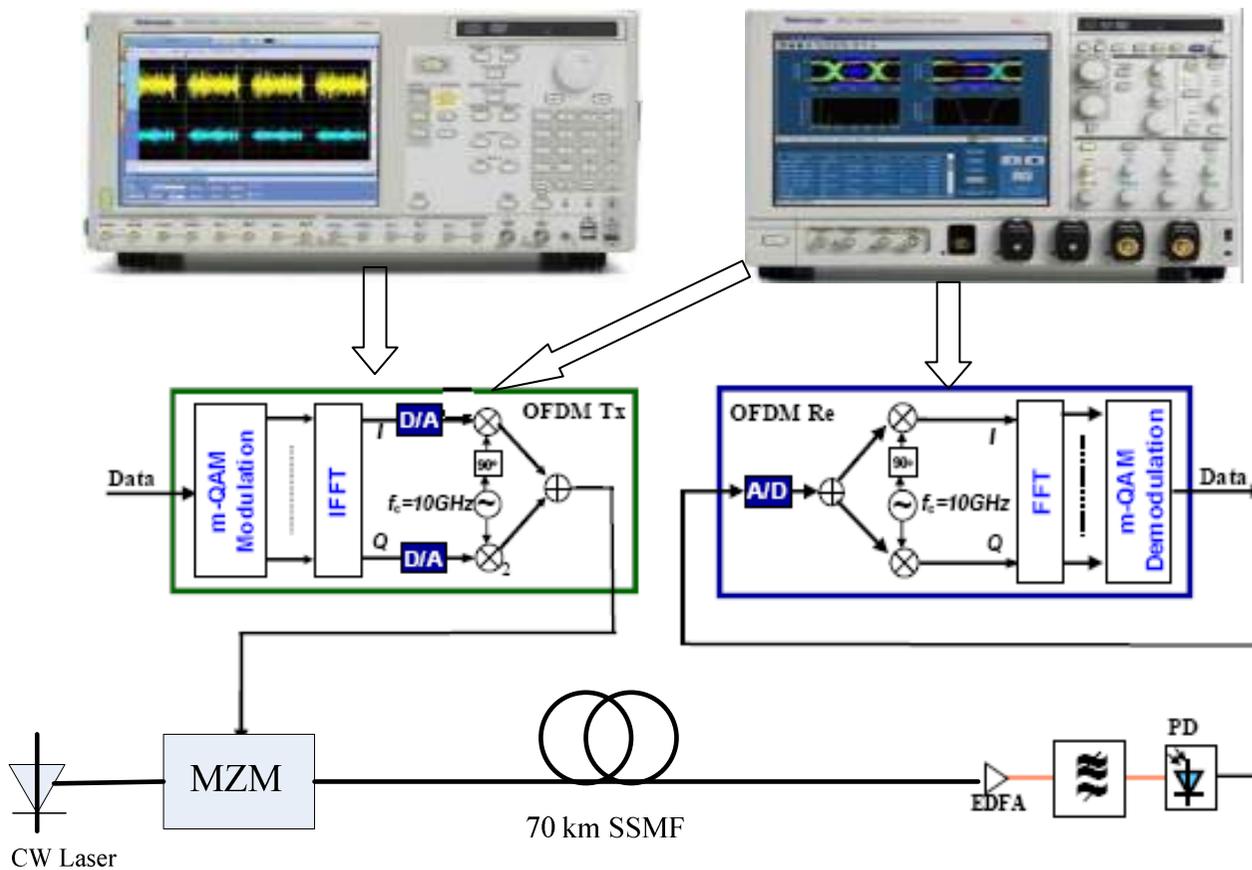


泰克光OFDM通信系统测试解决方案

- 光OFDM通信系统测试系统构建

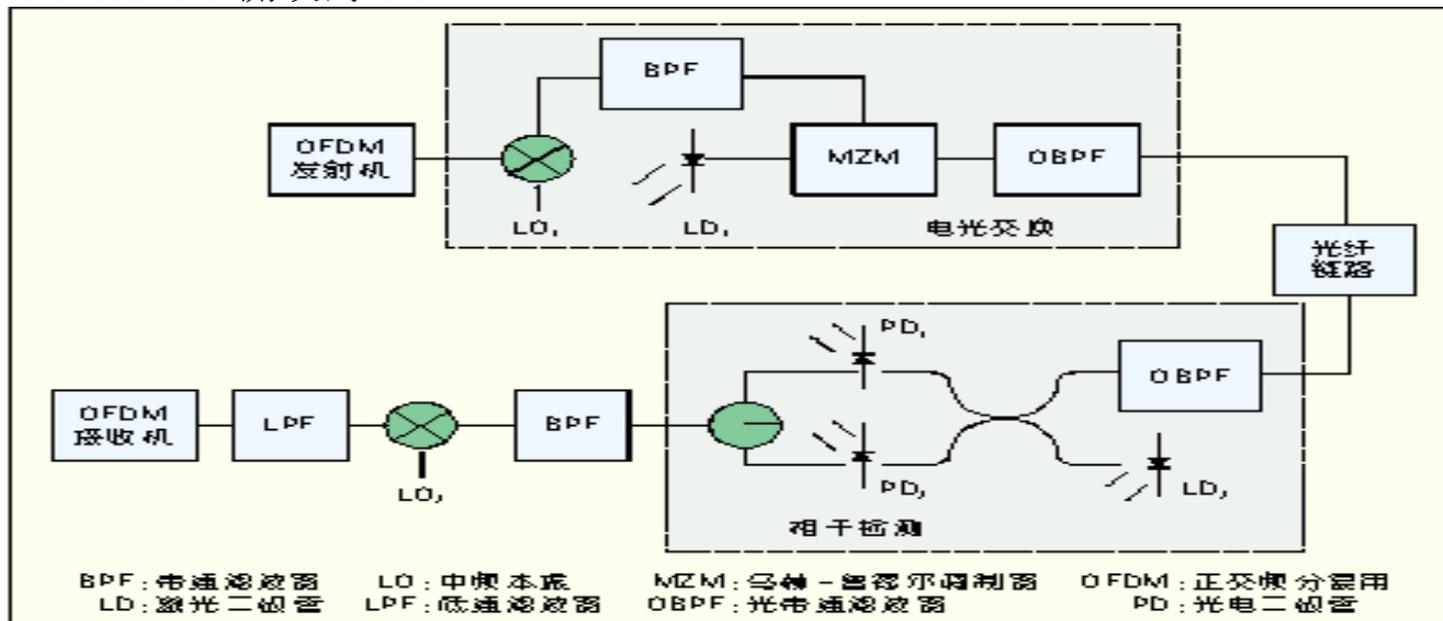
生成宽带OFDM电信号

验证和分析宽带OFDM电信号



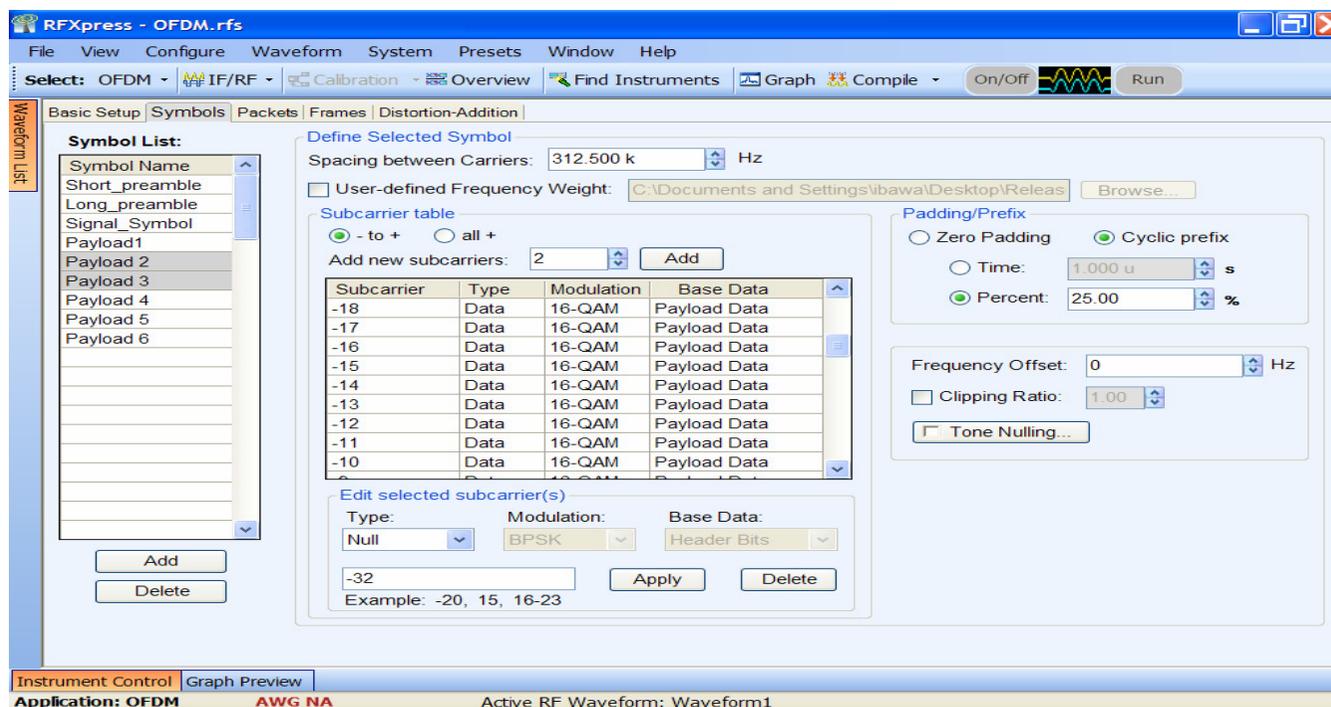
泰克光OFDM通信系统测试方案—系统测试原理

- 将Matlab或RFXpress产生的OFDM信号数据载入AWG7122B, 利用宽带示波器观测电域OFDM信号的频谱和波形, 确定正确产生OFDM信号;
- 将电OFDM信号调制上光载波, 调节MZM的偏置和OFDM信号的功率, 使MZM工作于线性区, 观察光域频谱和眼图;
- 利用DPO72004B宽带示波器采集和接收、下变频OFDM信号, 观察传输后及下变频后的频谱和眼图;
- 利用matlab把DPO72004B示波器采集的波形数据进行解调, 解调出OFDM信号中的原始信息, 测误码率。



业内唯一的OFDM信号生成信号源AWG7122B+软件RFXpress

- RFXpress——基带、中频和射频信号生成软件
 - 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RS(Reed-Solomon)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



泰克光OFDM通信系统测试解决方案优点小结

一、一整套完整的系统测试方案

二、超宽带信号源AWG—业内唯一能产生宽带OFDM信号的信号源

- 超高带宽(9.6G), 超高采样率(24G)
- 可以直接产生射频, 中频, 基带信号
- 基于AWG的高级OFDM信号仿真软件RFXpress, 方便产生各种复杂的OFDM信号
- 对实际回波信号进行二次“改造”: 如加“噪声”加“干扰”
- 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

三、宽带示波器

- 带宽20GHz
- 采样率4个通道同时达到50GHz
- 存储器四通道通道到250M点
- DPOJET软件最专业的抖动眼图测试软件
- SignalVu 频谱分析软件
- 与各种软件兼容如: Matlab等

泰克光OFDM高速光通信解决方案配置

AWG7122B: 任意波形产生器

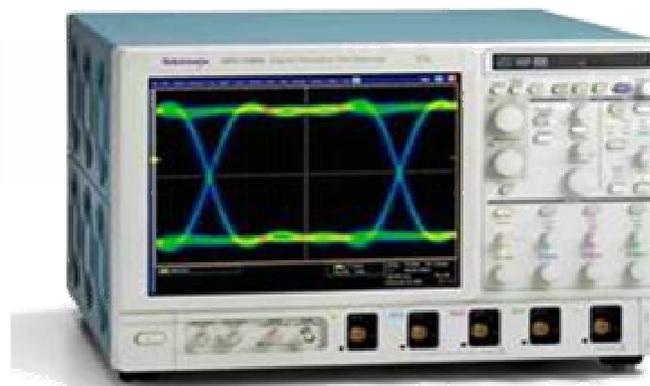
RFXpress OFDM 生成软件



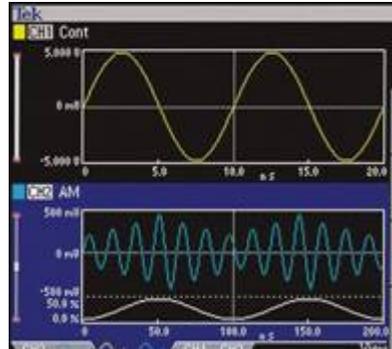
DPO72004B: 数字荧光示波器

DPOJET 眼图抖动测试软件

SignalVu 频谱分析软件



感谢您的关注！



Tektronix®

Tektronix®