

GY

中华人民共和国广播电影电视行业标准

GY/T 300—2016

有线数字电视光链路技术要求和测量方法

Technical requirements and measurement methods on optical link
used in digital CATV system

2016 – 05 – 27 发布

2016 – 05 – 27 实施

国家新闻出版广电总局 发 布

目 次

| | |
|--|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 光链路组成与参考模型 | 3 |
| 4.1 光链路组成 | 3 |
| 4.2 光链路参考模型 | 3 |
| 4.3 光链路性能指标参考点 | 5 |
| 5 技术要求 | 5 |
| 6 测量方法 | 7 |
| 6.1 频率范围、链路平坦度和群时延测量 | 7 |
| 6.2 光波长范围测量 | 8 |
| 6.3 光功率测量 | 8 |
| 6.4 数字调制信号信噪比的测量 | 8 |
| 6.5 调制误差率测量 | 8 |
| 6.6 比特误码率测量 | 9 |
| 6.7 反射损耗测量 | 9 |
| 6.8 模拟电视频道 C/N 测量 | 9 |
| 6.9 模拟电视频道 C/CTB 测量 | 9 |
| 6.10 模拟电视频道 C/CSO 测量 | 9 |
| 附录 A (资料性附录) 有线数字电视信号与 EPON 信号共纤传输时的参量选择 | 10 |
| 附录 B (规范性附录) 直调窄播光插入波分复用光链路测量 | 16 |
| 附录 C (规范性附录) 有线数字电视信号与 EPON 信号共纤传输光链路测量 | 17 |

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国广播电影电视标准化技术委员会（SAC/TC 239）归口。

本标准起草单位：国家新闻出版广电总局广播电视规划院、北京凌云光子技术有限公司、成都康特电子高新科技有限责任公司、摩托罗拉（中国）电子有限公司、北京歌华有线电视股份有限公司。

本标准主要起草人：陈志国、秦葵龙、林如俭、周强、余波、孙黎丽、李忠炤、宗瑞朝、石江明、陈海辉。

有线数字电视光链路技术要求和测量方法

1 范围

本标准规定了有线数字电视光链路技术要求和测量方法,所涉及传输信号为有线数字电视信号或以有线数字电视信号为主的模拟数字混合电视信号,还规定了无源光网络和窄播光插入系统分别与有线数字电视光链路复用传输相关技术。本标准内容不包括有线交互电视系统上行光链路技术要求。对于能够确保同样测量不确定度的任何等效测量方法也可采用,有争议时应以本标准为准。

本标准适用于有线数字电视系统和有线交互电视系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

GB/T 11318.1—1996 电视和声音信号的电缆分配系统设备与部件通用规范

GY/T 121—1995 有线电视系统测量方法

GY/T 143—2000 有线电视系统调幅激光发送机和接收机入网技术条件和测量方法

SJ/T 10663—1995 电视和声音信号的电缆分配系统 光纤设备与部件测量方法

YD/T 1475—2006 接入网技术标准—基于以太网方式的无源光网络(EPON)

YD/T 1531—2006 接入网设备测试方法—基于以太网方式的无源光网络(EPON)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

光纤同轴电缆混合网 hybrid fiber coaxial; HFC

混合使用光纤和同轴电缆的有线电视网。

[GB/T 7400—2011, 定义3.404]

3.2

光纤到楼 fiber to the building; FTTB

将有源光设备分别置于前端(或分前端)和用户楼宇,而将野外光链路无源化的光接入网。

3.3

QAM信号 QAM signal

由幅度和频率相同但相位正交的两个分离的正弦载波信号进行的幅度调制,已调信号相加之后送入单个频道进行传输。

3.4

数字调制信号电平 level of digitally modulated signals

数字调制信号电平 ($S_{D,RF}$) 用等效噪声带宽内 (QAM信号为符号率 f_s) 的信号均方根功率给定, 表示为75 Ω 电阻上的电平值。

3.5

数字调制信号信噪比 signal to noise ratio for digitally modulated signals

以 $S_{D,RF} / N$ 表示, 见式 (1)。

$$S_{D,RF} / N = S_{D,RF} - N_{rms} \dots \dots \dots (1)$$

式中:

N_{rms} 是射频信号的等效噪声带宽中的噪声均方根电平, 表示为75 Ω 电阻上的电平值。

3.6

调制误差率 modulation error ratio; MER

已调制信号中, 理想符号矢量幅度平方和与误差符号矢量幅度平方和的比值。

[GB/T 7400—2011, 定义3.1002]

3.7

比特误码率 bit error ratio; BER

在一段时间内错误比特数与传输比特总数之比。

3.8

无源光网络 passive optical network; PON

由光线路终端 (OLT) 通过无源光纤分配网 (ODN) 连接多个光网络单元 (ONU) 形成的光接入网。

3.9

以太无源光网络 ethernet passive optical network; EPON

传送以太网数据帧的无源光网 (PON), 符合YD/T 1475—2006的要求。

3.10

光线路终端 optical line terminal; OLT

无源光网 (PON) 中通过无源光纤分配网与光网络单元 (ONU) 连接的局端设备。

3.11

光网络单元 optical network unit; ONU

无源光网 (PON) 中通过无源光纤分配网与光线路终端 (OLT) 连接的用户端设备。

3.12

光分配网 optical Distribution network; ODN

由无源光器件和光缆组成的点对多点的光分配网络。

3.13

窄播光插入系统 optical broadcasting system with narrow band overlay

在光纤传输干线中,宽带广播信号在干线传送,同时借助波分复用器将另一波长的窄播光波插入同一条干线光纤中传送(宽带广播和窄播信号射频频率不同)。该系统的光接收机同时接收两个波长的光波,通过恰当设置广播和窄播光路的信号参量和光路参量,使同时输出的宽带广播和窄播射频信号都达到规定的指标要求。

3.14

合波器 optical multiplexer unit

将二路以上光波耦合进一条光路的无源光器件,可以是波分复用器的合波部分,也可以是光耦合器。

3.15

光调制度 optical modulation index; OMI

光调制度(m)定义见式(2)。

$$m = \frac{\Phi_h - \Phi_l}{\Phi_h + \Phi_l} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Φ_h ——强度调制光信号的最高瞬时光功率;

Φ_l ——强度调制光信号的最低瞬时光功率。

3.16

受激布里渊散射 stimulated Brillouin scattering; SBS

光纤的非线性特性,与石英的振动激发态有关的受激非弹性散射现象之一。

3.17

受激拉曼散射 stimulated Raman scattering; SRS

光纤的非线性特性,与石英的振动激发态有关的受激非弹性散射现象之一。

3.18

自相位调制 self phase modulation; SPM

光纤中的一种非线性折射率现象。当有线电视射频信号对光波作强度调制时,它同时改变着光纤的折射率,从而产生附加的光波相位调制。

4 光链路组成与参考模型

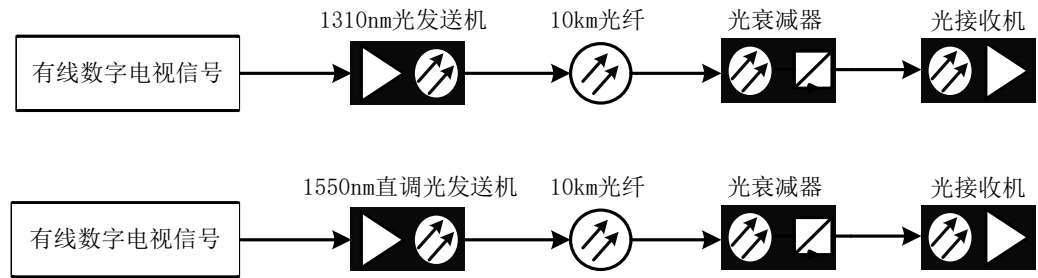
4.1 光链路组成

有线数字电视光链路定义为由光发送机、光放大器、光纤及无源光器件、光接收机等设备组成,由光发送机的射频输入端至光接收机的射频输出端的“电—光—电”转换传输链路,传输信号为数字调制射频信号或以数字调制射频信号为主的模拟数字混合传输信号,包括但不限于4.2中描述的参考模型。

4.2 光链路参考模型

4.2.1 短距离有线数字电视光链路参考模型

短距离有线数字电视光链路参考模型见图1。

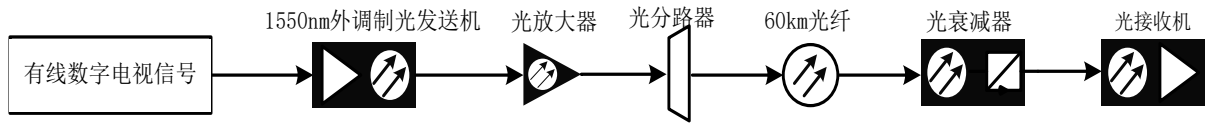


注：1550nm 直调光发送机射频激励信号加载频道数量、每频道光调制度、光纤长度都与窄播插入信号的传输质量密切相关，应根据系统规范要求选择性能合适的产品并严格设计与配置。

图1 短距离有线数字电视光链路参考模型

4.2.2 长距离有线数字电视光链路参考模型

长距离有线数字电视光链路参考模型见图2。



注 1：应根据传输距离选择合适的 1550nm 外调制光发送机受激布里渊散射（SBS）门限值。

注 2：这是采用一级光放大的 1550nm 长距离有线数字电视光链路模型。实际的 1550nm 长距离有线数字电视光链路可能包含二级或多级掺铒光纤放大器（EDFA），甚至拉曼光纤放大器来补偿长距离光纤的损耗，还可能包含色散补偿模块（如光纤光栅色散补偿模块、色散补偿光纤段等）来补偿长距离光纤中色散与自相位调制（SPM）相结合造成的系统组合二次互调指标（CSO）的劣化。所有这些光部件的组合属于系统设计的范畴，所形成的光链路应满足本标准所规定的端到端光链路技术要求。

图2 长距离有线数字电视光链路参考模型

4.2.3 数字电视波分复用光链路参考模型

数字电视波分复用光链路有两种应用：

- a) 窄播光插入系统；
- b) 有线数字电视信号与无源光网络（PON）信号共纤传输系统。

图3为窄播光插入系统参考模型。数字电视光信号由1550nm波长外调制光发送机发送和光放大器放大，经光纤传输后与由1550nm波长直调光发送机发送的数字窄播电视光信号在合波器混合，然后再经光纤传输，最后被光接收机接收。插播信号与主路信号的波长差应不小于1.6nm。

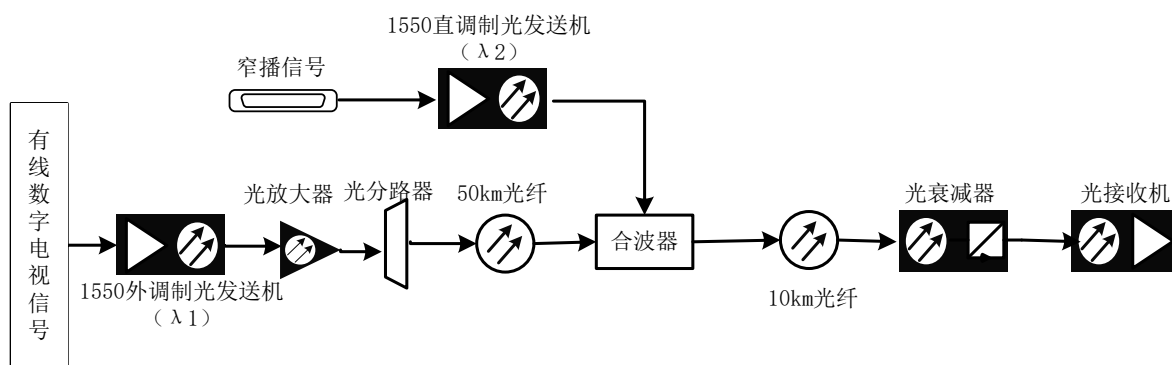


图3 窄播光插入系统参考模型

图4为有线数字电视信号与无源光网络（PON）信号共纤传输系统参考模型。该模型通过波分复用将数字电视射频光信号和基带数据光信号耦合进一根光纤传输。应注意选择传输参量以避免两种光信号的相互干扰，传输参量选择方法参见附录A。

用于承载基带数字信号的PON系统技术要求不属于本标准的范畴。

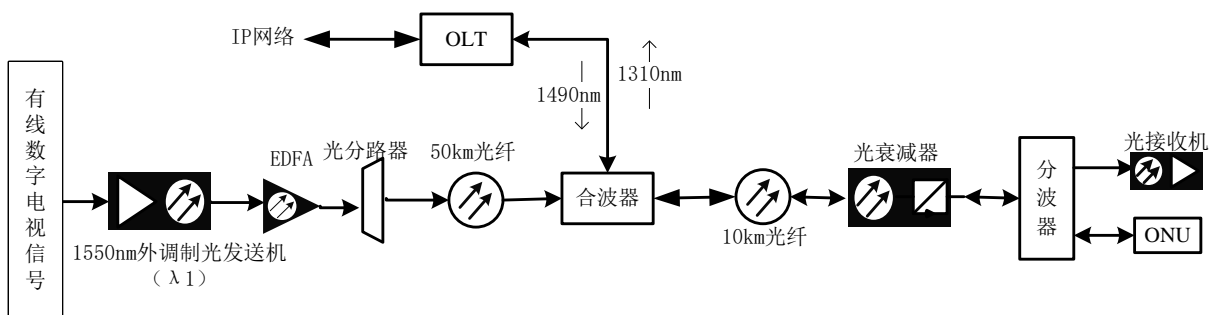


图4 有线数字电视信号与无源光网络（PON）信号共纤传输系统参考模型

4.3 光链路性能指标参考点

有线数字电视光链路性能参考点见图5。参考点为：QAM调制器输出测量点M、光发送机输出测量点T、光放大器输出测量点A（可选）、光接收机输入测量点R和光接收机输出测量点O。

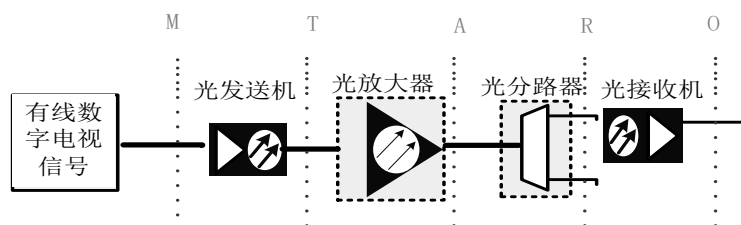


图5 光链路性能指标参考点

5 技术要求

有线数字电视光链路分光纤同轴电缆混合网（HFC）和有线电视光纤到户两种应用场景，性能指标见表1。表1适用于图5测试点T、A、R和O。本标准不涉及M点的技术要求和测量方法。

窄播光插入系统的光链路性能应符合表1要求，测量方法见附录B。

有线数字电视信号与PON信号共纤传输时，有线数字电视光链路性能应符合表1要求，测量方法见附录C。

表1 有线数字电视光链路性能指标

| 序号 | 项目 | | 指标要求 | | 备注 |
|----|--------------------------|--------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| | | | HFC 光链路 | 有线电视光纤到户光链路 | |
| 1 | 频率范围 | | 87MHz~1000MHz | 87MHz~1000MHz | |
| 2 | 标称光波长 | | 1310nm 或 1550nm | 1310nm 或 1550nm | |
| 3 | 光波长范围 | | 1290nm~1330nm 或 1550nm~1560nm | 1290nm~1330nm 或 1550nm~1560nm | |
| 4 | 光发送机输入射频电平范围 | | 70dBμV~85dBμV | 70dBμV~85dBμV | |
| 5 | 光接收机射频输出电平（ $S_{D,RF}$ ） | | ≥90dBμV | ≥60dBμV | |
| 6 | 系统射频输入口反射损耗 | | ≥16dB（87MHz~550MHz） | | |
| | | | ≥14dB（550MHz~1000MHz） | | |
| 7 | 系统射频输出口反射损耗 | | ≥16dB（87MHz~550MHz） | ≥14dB （87MHz~1000MHz） | |
| | | | ≥14dB（550MHz~1000MHz） | | |
| 8 | 链路平坦度（全频段） | | ≤3.0dB | ≤3.5dB | 端到端光链路指标 |
| 9 | 群时延（全频段） | | ≤10ns | ≤12ns | 端到端光链路指标 |
| 10 | MER（关均衡） | 64QAM | ≥26dB | ≥25dB | 端到端光链路指标，光链路传送 6 路模拟电视信号，87 路数字电视调制信号；数字电视调制信号电平比模拟电视信号电平低 6dB~10dB；在高、中、低频点进行测量，取最差值。 |
| | | 256QAM | ≥32dB | ≥31dB | |
| 11 | MER（开均衡） | 64QAM | ≥33dB | ≥32dB | |
| | | 256QAM | ≥35dB | ≥34dB | |

表 1（续）

| 序号 | 项目 | | 指标要求 | | 备注 |
|---|---------------------|--------|--|-------------------------|--|
| | | | HFC 光链路 | 有线电视光纤到户光链路 | |
| 12 | BER（RS 解码前） | | $\leq 1 \times 10^{-4}$ | $\leq 1 \times 10^{-4}$ | 端到端光链路指标，测试条件为 256QAM 数字电视调制信号，电平低于模拟电视信号电平 6dB，应至少测出 100 个错误比特。 |
| 13 | $S_{D,RF} / N$ | 64QAM | $\geq 27\text{dB}$ | $\geq 26\text{dB}$ | 端到端光链路指标，测试条件与 MER 测试相同，在高、中、低频点进行测量，取最差值。 |
| | | 256QAM | $\geq 33\text{dB}$ | $\geq 32\text{dB}$ | |
| 14 | 模拟电视频道 C/N （可选） | | $\geq 48\text{dB}$ （野外型光节点） $\geq 46\text{dB}$ （FTTB） | $\geq 43\text{dB}$ | |
| 15 | 模拟电视频道 C/CTB （可选） | | $\geq 63\text{dB}$ （野外型光节点） $\geq 60\text{dB}$ （FTTB） | $\geq 54\text{dB}$ | |
| 16 | 模拟电视频道 C/CSO （可选） | | $\geq 60\text{dB}$ （野外型光节点） $\geq 57\text{dB}$ （FTTB） | $\geq 54\text{dB}$ | |
| 测量有线数字电视光链路的光接收机射频输出电平、MER、BER、 $S_{D,RF} / N$ 、模拟电视频道 C/N 、模拟电视频道 C/CTB 、模拟电视频道 C/CSO 时，光接收机接收光功率应为系统设计的最低接收光功率。 | | | | | |

6 测量方法

6.1 频率范围、链路平坦度和群时延测量

频率范围、链路平坦度和群时延采用射频网络分析仪进行测量。

实验室测量框图见图6。

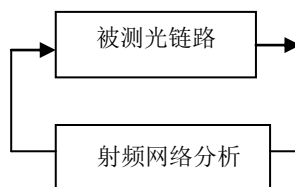


图6 频率范围、链路平坦度和群时延测量框图

测量步骤如下：

- 校准仪器，设置射频网络分析仪扫描电平为 $-35\text{dBm} \sim -25\text{dBm}$ ；
- 按图 6 连接测量仪器，确保阻抗匹配；
- 设置测量仪器的扫描起始频率 87MHz，扫描终止频率 1000MHz，对数字射频信号进行测量；

- d) 选择测量仪器的频响测量功能，测量链路平坦度；
- e) 选择测量仪器的群时延测量功能，测量链路群时延值；
- f) 根据链路平坦度和群时延测量结果，确定链路频率范围。

6.2 光波长范围测量

按SJ/T 10663—1995中4.7的规定进行测量。

6.3 光功率测量

按GY/T 143—2000中6.2.2的规定进行测量。

6.4 数字调制信号信噪比的测量

数字调制信号信噪比 $S_{D,RF} / N$ 采用频谱仪或矢量分析仪的带内功率功能进行测量。

测量条件：被测光链路加载87路有线数字电视信号和6路模拟电视信号，64QAM数字调制信号电平比模拟电视信号电平低10dB，256QAM数字调制信号电平比模拟电视信号电平低6dB。

测量框图见图7。

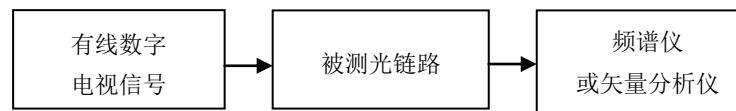


图7 数字调制信号信噪比测量框图

测量步骤如下：

- a) 校准仪器，按图7连接测量仪器至被测光链路测试点0（见图5），确保阻抗匹配。
- b) 调节测量仪器中心频率至被测频道 f_c 。
- c) 选择测量仪器的带内功率测量功能，频道带宽设置与QAM调制信号符号率 f_s 等值。
- d) 读取被测频道数字调制信号电平 $S_{D,RF}$ ，单位为分贝（dBμV 或 dBm）。
- e) 关闭被测频点QAM调制器的信号（不关闭QAM调制器电源，并保持端口阻抗匹配），读取被测频道带宽（与 f_s 等值）内的噪声功率 N ，单位为分贝（dBμV 或 dBm）。
- f) 断开测量仪器连接电缆，用 75Ω 匹配负载端接测量仪器输入端口，测量仪器本底噪声功率，必要时进行噪声功率修正，修正方法见GY/T 121—1995。
- g) 计算 $S_{D,RF} / N$ 值。

6.5 调制误差率测量

调制误差率采用数字电视标准测试接收机或数字矢量分析仪进行测量。

测量条件：被测光链路加载87路有线数字电视信号和6路模拟电视信号，64QAM数字调制信号电平比模拟电视信号电平低10dB，256QAM数字调制信号电平比模拟电视信号电平低6dB。

测量框图见图8。

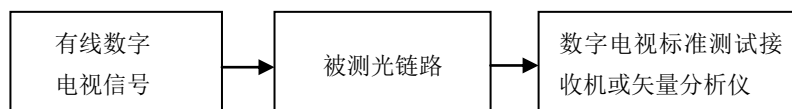


图8 调制误差率和比特误码率测量框图

测量步骤如下：

- a) 校准仪器，按图 8 连接测量仪器至被测光链路测试点 0（见图 5），确保阻抗匹配；
- b) 调节测量仪器的中心频率至被测频道 f_c ，设置频道带宽（8MHz）、符号率（ f_s ）、调制方式（64QAM 或 256QAM），关闭均衡功能，对数字射频信号进行解调；
- c) 选择测量仪器的调制误差率测量功能，测量调制误差率值；
- d) 开启仪表均衡功能，重复步骤 c）。

6.6 比特误码率测量

本方法应用于QAM格式数字调制信号比特误码率的测量，BER是描述数字传输链路质量的主要参量。若BER大于 10^{-2} ，则测量结果是不准确的。采用数字电视标准测试接收机或数字矢量分析仪进行比特误码率测量。

测量条件：被测光链路加载87路有线数字电视信号和6路模拟电视信号，256QAM数字调制信号电平比模拟电视信号电平低6dB。

测量框图见图8。

测量步骤如下：

- a) 校准仪器，按图 8 连接测量仪器至被测光链路测试点 0（见图 5），确保阻抗匹配；
- b) 将测量接收机调谐到被测频道，记录中心频率，设置频道带宽（8MHz）、符号率（ f_s ）、调制方式，启动均衡，对数字射频信号进行解调；
- c) 测量 RS 解码之前的 BER，在一段充分长的时间中记录错误比特数，直到至少测出 100 个错误比特，然后取错误比特数与该段时间中传输的总比特数的比值，即为比特误码率；
- d) 测得的 BER 是被测频道的 BER 性能，应在测量数据中指明 BER 测量的频点。

6.7 反射损耗测量

按GB/T 11318.1—1996中4.2.2.2.5的规定进行测量。

6.8 模拟电视频道 C/N 测量

按GY/T 143—2000中6.2.3的规定进行测量。

6.9 模拟电视频道 C/CTB 测量

按GY/T 143—2000中6.2.5的规定进行测量。

6.10 模拟电视频道 C/CSO 测量

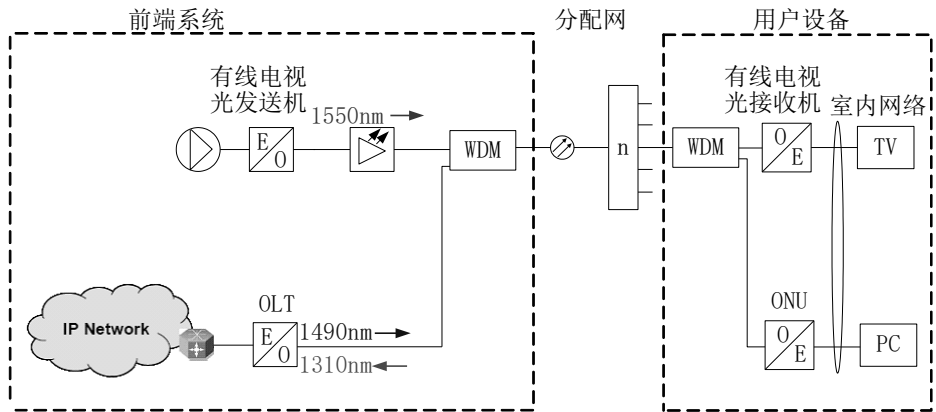
按GY/T 143—2000中6.2.6的规定进行测量。

附录 A
(资料性附录)

有线数字电视信号与 EPON 信号共纤传输时的参量选择

A.1 有线数字电视信号与EPON信号共纤传输连接方案

有线数字电视信号与EPON信号共纤传输系统见图A.1。通过波分复用将有线数字电视光信号和基带数据业务光信号耦合进一根光纤传输，实现光纤到楼（FTTB）或有线电视光纤到户。



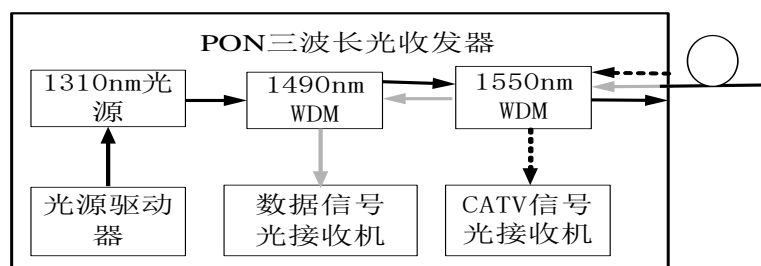
图A.1 有线数字电视信号与 EPON 信号共纤传输系统

该模型包含一个有线数字电视传输系统和一个基带数据信号传输系统。基带数据传输系统借助于两个不同的波长实现单根光纤中的双向传输。两个系统在分配网的输入端和输出端通过波分复用器结合起来。考虑到维护和将来系统扩展的方便，分配网应由无源元件，如光纤和光分路器组成。基带数据传输系统在IP网络与数据用户设备之间通过无源的光分配网建立双向连接，常用的设备在前端为光线路终端（OLT），在用户端为光网络单元（ONU）。如果OLT/ONU传输的数据格式是以太帧，这个系统称为以太网无源光网（EPON）。虽然EPON的技术要求和测量方法不属于本标准的范围，但是应注意适当选择有线数字电视光链路和以太网无源光网络的传输参量，以避免两类业务信号的相互干扰。

A.2 有线数字电视信号与EPON信号共纤传输的干扰类型

在有线数字电视信号与EPON信号的共纤传输方案中需要避免如下的光电串扰：

- a) 在某些场合，为了使数字电视接入网与 EPON 共用同一个 ODN，以降低外线投资，可使用单纤三波长收发器（有线数字电视光接收机与 ONU 的集成光模块），见图 A.2。在非常紧凑的三波长模块盒中，1310nm 波长激光器的数据驱动信号通过电磁骚扰对 1550nm 波长有线电视接收信号的串扰。



图A.2 PON的三波长光收发器原理图

- b) 在波分复用器(WDM)波长隔离度不充分时,下行1550nm波长有线电视光波对下行1490nm波长数据光波的线性串扰。
- c) 下行1490nm波长数据光波通过光纤中的受激拉曼效应对下行1550nm波长有线电视光波的非线性串扰。

对于a)的串扰情况,应由ONU设备制造商在选用单纤三波长收发器时通过质量控制予以避免。而b)和c)的串扰情况与有线电视数字电视信号传输系统和EPON数据信号传输系统的工作参数配置有关,应由有线电视运营商在系统敷设和营运时采取措施予以避免,可参考A.3。

A.3 有线电视光波对EPON数据光波的串扰

IEEE 802.3ah对EPON物理层的规定要求数据通道的比特误码率是 10^{-12} 。考虑了光纤色散、激光器模式分配噪声、突发发送、突发接收等劣化因素后,ONU中1490nm波长数据光接收机的灵敏度为-24dBm。若1550nm波长有线电视光波的输入光功率为-6dBm(FTTB情况),则到达WDM分波器的输入端口时有线电视光波的光功率可能比数据光波的光功率高18dB(FTTB情况)。而如果WDM分波器的波长隔离度仅有20dB,这样1550nm有线电视光波串扰到WDM分波器的1490nm端口的光功率会与1490nm数据光波的光功率大小接近。由于有线电视信号的频谱与1250Mbps以太数据信号的频谱是重叠的,有线电视信号的串扰就会破坏数据传输的进行。

在数据通道被有线电视信号串扰的条件下,要维持数据光接收机的输出信噪比不下降(比特误码率满足 1×10^{-12}),就必须加大数据光接收机的接收光功率(光接收机灵敏度损失),导致光功率代价的产生。

理论分析结果,光功率代价 ΔP_r 用式(A.1)计算。

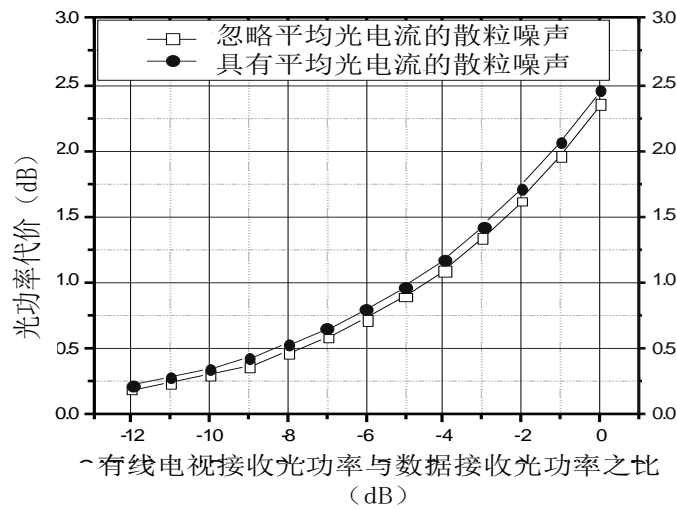
$$\Delta P_r = 10 \lg \left\{ 1 + 4.036 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{P_{dr}}{P_r}} + 0.718 \frac{P_{dr}}{P_r} \right\} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

P_{dr} ——数据光接收机所收到的有线电视数字电视光波的平均光功率,单位为分贝(dBm);

P_r ——数据光接收机收到的数据光波的平均光功率,单位为分贝(dBm)。

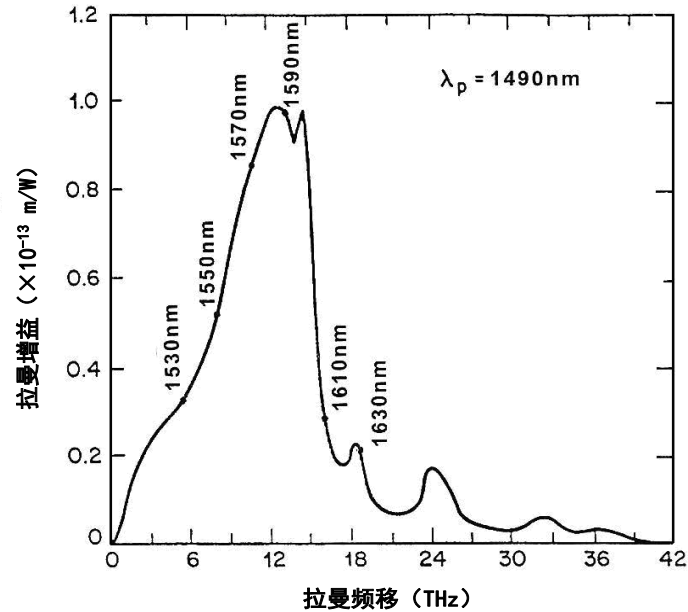
ΔP_r 与光功率比 P_{dr}/P_r 的关系见图A.3,它显示若想数据光接收机的灵敏度损失小于0.3dB,则串扰到数据光接收机的有线电视光功率应比数据光功率低11dB,即WDM分波器的波长隔离度应高于35dB。这是ONU设备制造商选用三波长光模块的原则之一。如果网络营运商使用的是二波长ONU,它与有线电视光接收机通过一个外接的波分复用器耦合进一根光纤,则网络营运商使用的波分复用器的波长隔离度应高于35dB。这个要求可以用两个级联的融锥型波分复用器或一个介质薄膜波分复用器来满足。



图A.3 数据光接收机灵敏度损失 ΔP_r 与干扰光功率比 P_{dr}/P_r 的关系

A.4 EPON数据光波通过受激拉曼散射效应对有线数字电视光波的串扰

石英光纤中的受激拉曼散射（SRS）属于光信号与非线性介质相互作用的过程，其结果使得波长较短的光波（泵浦光）的入射功率部分转移到另一波长较长的斯托克斯光波中，波长上移量由石英的振动模式决定。拉曼散射效应对多波长传输系统具有不利的影响，因为泵浦光的能量通过拉曼散射效应转移到波长较长的光波（信号光）上，使短波长光衰减，同时长波长光加强，得到拉曼增益。图 A.4 为拉曼增益谱，其峰值发生在频移 13.5THz 处（对 1490nm 泵浦波长对应 100nm 的波长上移），但拉曼增益谱相当宽阔，在 60nm 的波长差异下（1550nm 与 1490nm），拉曼增益仍相当高（大于 $0.5 \times 10^{-13} \text{ m/W}$ ）。



图A.4 石英光纤的拉曼增益谱

在 EPON 的下行数据光波（波长 1490nm）与有线数字电视光波（波长 1550nm）共纤传输时由于大功率的有线电视光波使光纤中出现受激拉曼效应，1490nm 数据光波的部分能量将转移到 1550nm 波长，即数据串扰有线电视，不但 1490nm 光波的平均强度，而且其因数据调制而产生的强度变化都会通过拉曼增益变成有线电视光波中相对强度噪声的增长。

理论推导给出，有拉曼效应时 1550nm 信号光波的相对强度噪声谱 RIN_s 与 1490nm 数据光波的相对强度噪声谱 RIN_p 、平均光功率 P_{p0} 、光纤的拉曼增益系数 C_R 及色散常数 D 之间的关系见式（A.2）。

$$RIN_s = RIN_p + 10 \lg \left[\frac{(C_R P_{p0} / A_e)^2}{\alpha_p^2 + (2\pi D \Delta \lambda f)^2} (1 - 2e^{-\alpha_p L} \cos(2\pi D \Delta \lambda L f) + e^{-2\alpha_p L}) \right] \dots\dots (A.2)$$

式中：

A_e ——光纤有效芯区面积，单位为平方微米（ μm^2 ）；

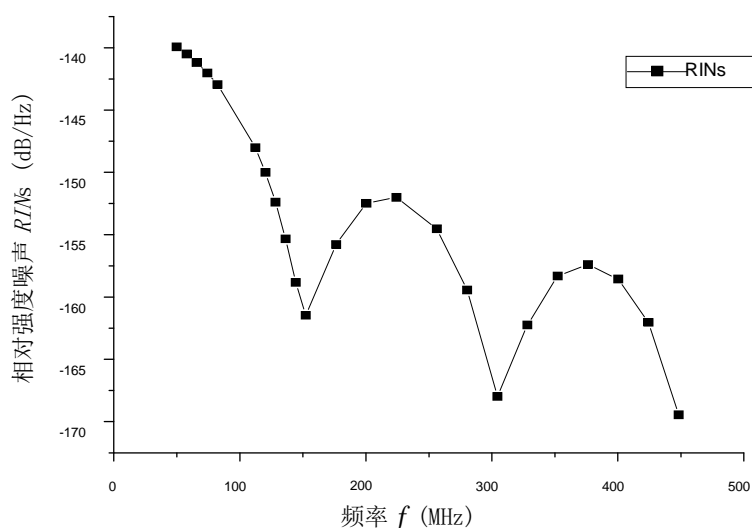
L ——为光纤长度，单位为千米（km）；

α_p ——为光纤损耗常数；

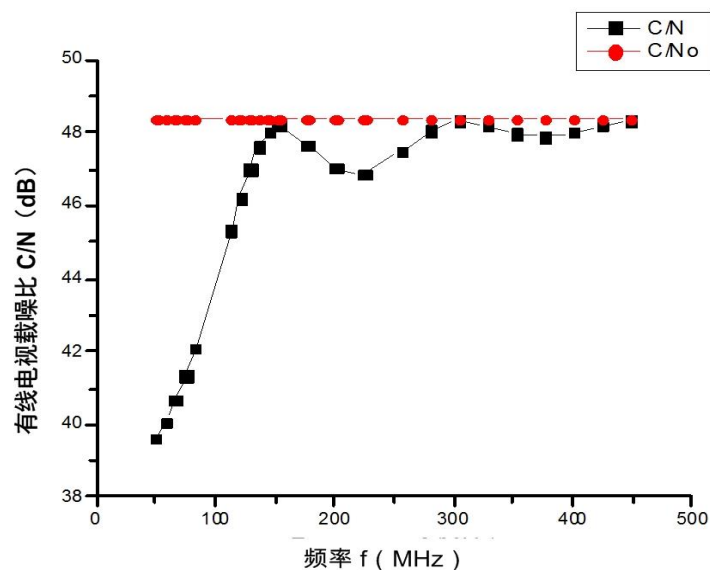
$\Delta \lambda$ —— $\Delta \lambda$ 取值为 1550nm~1490nm；

f ——为信号频率，单位为赫兹（Hz）。

在 EPON 中 RIN_p 由 1490nm 光波所携带的数据信号的功率谱决定，当该数据信号是速率为 1250Mbps 的以太网数据帧（码型为 NRZ）时， RIN_s 的功率谱见图 A.5（计算示例）。这个相对强度噪声的加入使有线电视频道的载噪比降低，见图 A.6（计算示例），图中 $(C/N)_0$ 是无拉曼串扰时的载噪比， C/N 是有拉曼串扰时的载噪比。



图A.5 以太网数据帧造成的拉曼串扰功率谱



图A.6 有线电视载噪比与频道的关系

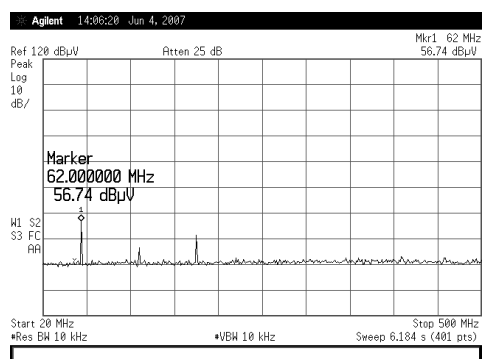
从分析可以看出：

- RIN_S 与拉曼增益系数和泵浦功率的平方成正比，故以太网数据的光功率越高则拉曼串扰造成的有线电视载噪比跌落越厉害。
- RIN_S 显现出低通特性，故由拉曼效应造成的有线电视载噪比的跌落只在有线电视频段的低频段发生。
- 由于 1490nm 数据光波和 1550nm 信号光波是同向传播的，光纤色散导致它们的群速不同而相互走离，这造成了从数据光波到有线数字电视光波的功率转移的平均效应，使拉曼串扰造成的相对强度噪声功率谱还依赖于光纤长度。最坏的光纤长度约为 7km。

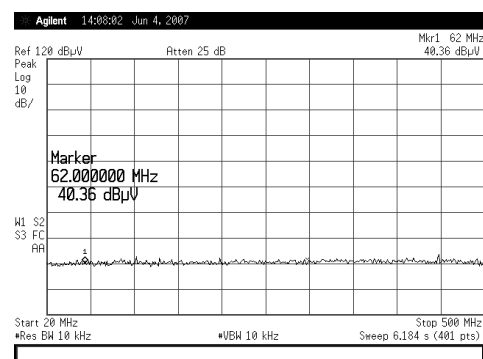
在实践中还发现1490nm数据光波对1550nm有线电视光波的串扰还表现为在有线电视低频频道内出现频率为62.5MHz整数倍的离散谱线。究其原因是由1250Mbps以太网数据包间的空闲（Idle）字符串所引起。Idle字符串的长度是20bit，在以太网线路空闲时重复插入，故Idle字符串具有频率为1250/20=62.5MHz的基波及其谐波分量，这些离散谱线的幅度比同样速率的以太网数据帧的功率谱高20dB，对拉曼串扰的贡献最大。

有线数字电视信号与EPON信号共纤传输时克服拉曼干扰影响的办法有：

- 在条件许可时在 87MHz~150MHz 频段内不安排模拟电视频道；或者提高相应模拟电视频道的射频发送电平，使有线电视光接收机的输出载噪比还原到无拉曼干扰时的水平。
- 在传输距离较短，实际链路损耗要求不超过 20dB 时，选用 EPON OLT 的 1490nm 波长发送光功率不超过-2dBm。在光模块给定时，可以在其输出尾纤上接光衰减器以降低输出。
- 在 OLT 的 MAC 控制芯片中采用随机码组取代下行码流中的大部分空闲字符，以压抑 $(n \times 62.5)$ MHz 的数据干扰分量。IEEE 802.3ah 规定 OLT 在 1490nm 波长的发送光功率上限为+7dBm（这时最大传输距离为 20km，最大分光比为 1:32）。这样高的数据光功率对有线电视频道的干扰很可能发生。在其他对抗干扰的办法不能奏效时用随机码组取代 Idle 字符串是根本的解决办法。图 A.7 在实验上显示了 Idle 字符取代后拉曼串扰的消失，但这个办法需要 EPON 的 MAC 控制芯片厂商的配合。



a) Idle 字符串造成的拉曼串扰



b) Idle 字符串被取代后拉曼串扰消失

图A.7 1490nm 数据通道对 1550nm 有线电视通道的拉曼串扰

附 录 B
(规范性附录)
直调窄播光插入波分复用光链路测量

B.1 测量框图

直调窄播光插入波分复用光链路的测量框图见图B.1。

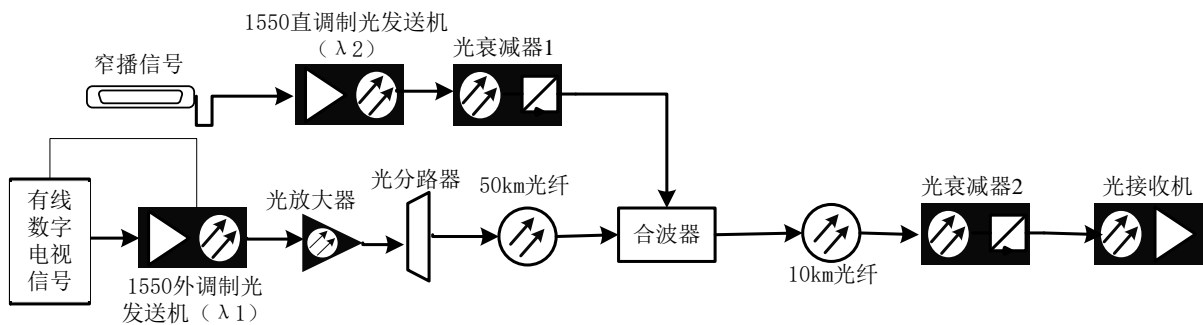


图 B.1 直调窄播光插入波分复用光链路测量框图

B.2 光发送机波长测量

在直调窄播光插入波分复用光链路中, 外调制光发送机与直调光发送机应工作于不同的波长。

B.3 光链路指标测量

按图B.1连接测量系统, 测量步骤如下:

- a) 将EDFA的输出设置为16dBm, 关闭直调光发送机, 用光功率计测量合波器输出的外调制光发送机的光功率 P_1 ; 同法, 关闭外调制光发送机, 用光功率计测量合波器输出的直调光发送机的光功率 P_2 。
- b) 调节光衰减器1, 使 P_1 比 P_2 高6dB (工程应用上一般为3dB~6dB)。
- c) 光路光功率调试完成后, 分别给外调制光发送机和直调光发送机注入射频信号。外调制光发送机加载的信号频段为87MHz~600MHz, 其中低频段安排6套模拟载波, 其余频段安排约60套有线数字电视信号, 数字调制信号电平比模拟载波电平低6dB~10dB。直调光发送机加载的信号频段为600MHz~1000MHz, 安排32套数字调制信号, 其OMI满足在光接收机 (接收机均衡斜率为0) 输出端来自外调制光发送机的数字调制信号电平和来自直调光发送机的数字调制信号电平相等。
- d) 调节光衰减器2, 在-6dBm接收的情况下测量HFC光接收机的指标; 在-9dBm接收的情况下测量有线电视光纤到户光接收机的指标。抽测频点为: 5个外调制光链路频点, 5个直调光链路频点。去掉窄播光链路, 再测量5个外调制光链路频点的指标, 并与加入窄播链路时的指标进行对比。

附 录 C (规范性附录)

有线数字电视信号与以太无源光网络 (EPON) 信号共纤传输光链路测量

C.1 测量连接

有线数字电视信号与以太无源光网络 (EPON) 信号共纤传输光链路的测量连接见图C.1。

在HFC的发送端包括87MHz~1000MHz CATV多路信号发生器、数字视频音频信号源、QAM调制器、混合器、1550nm CATV光发送机、掺铒光纤放大器、可变光衰减器、偏振控制器（必要时插入）。可变光衰减器用于调节1550nm光接收机的输入光功率。偏振控制器则用于寻找最坏的拉曼串扰状态。

在EPON的OLT侧，OLT的PON端口外接一个光衰减器，用于观察1490nm发送光功率大小对CATV频道的的影响。WDM合波器将1550nm光波与1490nm光波混合发往无源光纤网络。

无源光纤网络由10km G.652单模光纤、1:32宽带光分路器组成。

在接收端，根据需要在1:32宽带光分路器的分路口接一路或多路接收端设备，包括WDM分波器、CATV光接收机和ONU。在CATV光接收机的F端口通过同轴电缆外接衰减器（必要时插入频道滤波器），再连到CATV频谱分析仪。ONU的RJ45端口通过5类数据线连到数据网络分析仪的10/100BASE-TX电端口。

数据网络分析仪的1000BASE-TX电端口通过5类数据线连接OLT的上联电端口。数据网络分析仪的控制端口连接电脑。

C.2 与有线数字电视信号共纤传输条件下的EPON运行测量

测量目的：判定有线数字电视信号是否影响EPON数据通信的正常进行。

测量条件：有线电视模拟信号与数字信号全频道开启，光接收机输入光功率为-7dBm（比额定值减1dB），通过机顶盒和电视机观察有线数字电视信号传输正常。EPON系统采用1:32分光组网。数据网络分析仪发送1000Mbps数据给OLT，数据包长64Byte、512Byte、1024Byte、1518Byte，同时数据网络分析仪接ONU的数据输出口。

测量项目：在关断/打开有线数字电视信号条件下，分别测量EPON系统吞吐量、延迟和丢包率，测量方法见YD/T 1531—2006的要求。

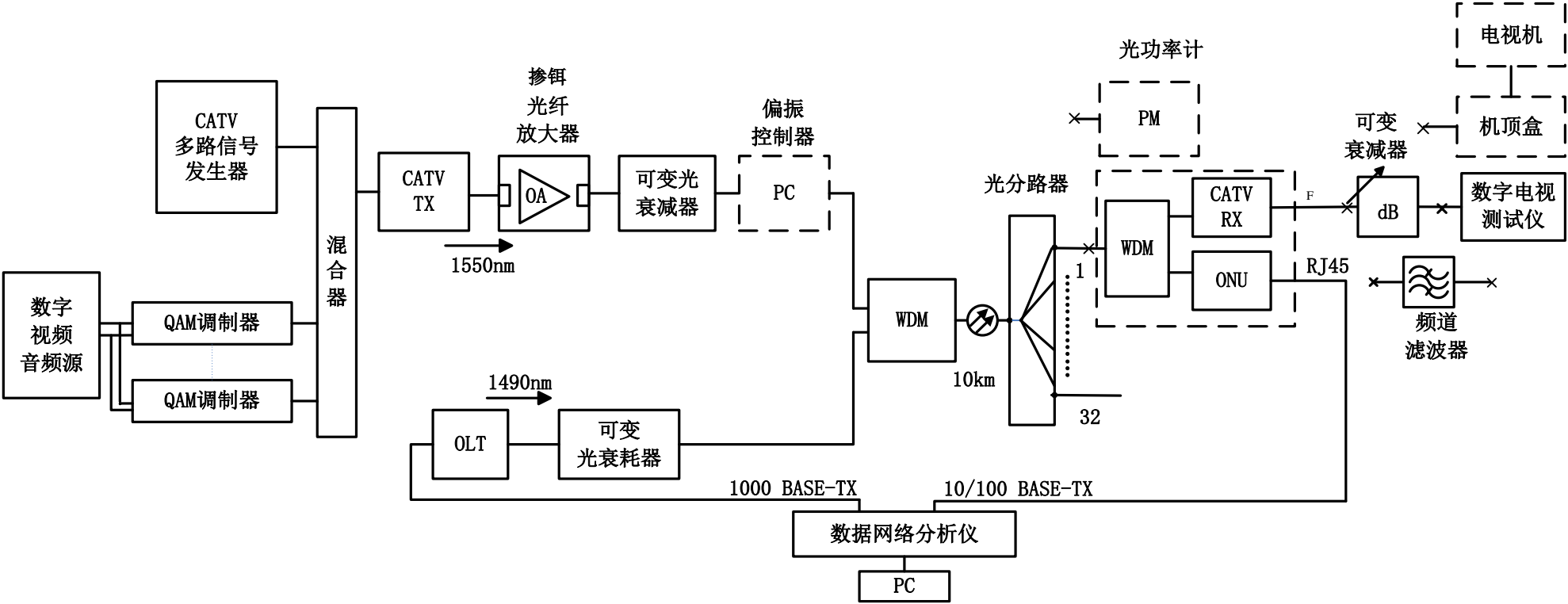
C.3 与EPON共纤传输条件下的有线数字电视光链路指标测量

测量目的：判定EPON信号是否影响有线数字电视光链路的技术指标。

测量条件：EPON系统采用1:32分光组网。数据网络分析仪发送1000Mbps数据给OLT，数据包长64Byte、512Byte、1024Byte、1518Byte，数据网络分析仪向多个ONU发送1000Mbps数据。调节OLT的可变光衰减器，使1490nm入纤光功率为-3dBm~+7dBm，同时调节掺铒光纤放大器后的可变光衰减器，使有线数字电视光接收机的输入光功率为-7dBm（HFC光链路，比额定值减1dB）。有线电视模拟与数字信号全频道关断或开启。

测量项目：

- a) 关断CATV全频道信号，数据网络分析仪不发送数据，用频谱仪观察、测量有线电视光接收机输出中是否有62.5MHz及其谐波的干扰谱线。这时调节偏振控制器，使可能的干扰谱线最高，记录62.5MHz干扰电平值。



图C.1 有线数字电视信号与以太无源光网络（EPON）信号共纤传输光链路测量

- b) 开启CATV全频道信号，OLT 1490nm输出光功率设为最大，测量并记录最大入纤光功率；数据网络分析仪发送1000Mbps数据，测量EPON系统长期丢包率。用数字电视测试仪抽测4个数字电视频道的MER（125MHz频点所在频道必测）。
 - c) 关闭EPON系统，用数字电视测试仪抽测4个数字电视频道的MER（125MHz频点所在频道必测）。
-

中 华 人 民 共 和 国
广播电影电视行业标准
有线数字电视光链路技术要求和测量方法
GY/T 300—2016

*

国家新闻出版广电总局广播电视规划院出版发行

责任编辑：王佳梅

查询网址：www.abp2003.cn

北京复兴门外大街二号

联系电话：（010）86093424 86092923

邮政编码：100866

版权专有 不得翻印