

光工作站的结构对其回传指标 NPR 的影响

袁海辉

在双向 HFC 网络中, NPR 是回传通道的主要性能指标, 它是指回传通道数字信号功率与噪声功率之比。在不考虑侵入干扰的情况下, 仅就系统的固有指标而言, 光工作站的回传指标 NPR 性能的优劣对整个系统的回传通道指标影响是比较大的, 而影响光工作站回传指标的主要因素有两个: 一是光回传发射模块的性能, 它对光工作站回传指标有决定性的影响; 二是光工作站的结构, 它对回传指标有辅助性影响, 即使是相同的回传发射模块, 只要用于不同结构的光工作站内, 产生的效果都有可能不一样。为此, 有必要对不同结构的光工作站进行分析、测试, 以确定不同的结构是否对回传指标产生影响, 这对我们在实际工作中正确选用光工作站是很有帮助的。下面以四端口光工作站为例, 分析其结构对回传指标的影响。

1、光工作站的回传指标 NPR

光纤链路的回传指标 NPR 包含两项内容: 一项是指 NPR 的具体数值, 该值越大, 性能越好; 另一项是指 NPR 动态范围, 动态范围越大, 光工作站的工作点就越容易设定, 系统的抗干扰能力就越强。这两项指标是受多方面因素影响的, 主要包括光工作站的回传输入信号功率、热噪声、非线性失真引起的互调组合噪声 CIN、激光器的 RIN 噪声、光纤噪声以及回传接收机噪声等。当回传接收机的输入光功率足够高以及接收机输出信号电平较低时, 此时的光纤链路噪声 NPR 就等同于光工作站的 NPR, 这是因为: 首先, 光接收机的输入光功率足够高, 则激光器的 RIN 噪声要比接收机的散弹噪声和热噪声高得多, 以致 RIN 噪声起决定作用; 其次, 接收机输出信号电平较低时, 它处于良好的线性工作状态, 其产生的非线性失真产物对系统的影响可忽略。这样, 整个光纤链路的噪声就只由光工作站决定, 而与接收机无关。

2、光工作站的几种结构

如图 1 所示, 四端口光工作站一般具有如下 3 种结构:

a 型结构

b 型结构

c 型结构图 1 光工作站的 3 种结构

(1) a 型结构

上、下行通道除经双工滤波器隔离外, 还依赖于回传发射模块的射频放大模块的频率特性, 其标称上限频率一般为 200 MHz, 但实际上可以通过 250 MHz 甚至 300 MHz 的信号。

(2) b 型结构

在 a 型结构的基础上, 在回传发射模块前增加一个通频带为 5~65 MHz 的低通滤波器。

(3) c 型结构

在 b 型结构的基础上, 在光工作站下行通道末级放大模块前增加一个截止频率为 85 MHz 的高通滤波器。

3、光工作站的多端口结构导致双工滤波器的等效隔离度降低

图 2 光工作站的共同结构

上述几种类型的光工作站有着如图 2 所示的共同结构。对于下行通道（为便于分析，只对四端口都为等电平输出的情况进行论述），前置放大模块输出的下行信号 SH 被分成 4 路等幅同相信号 SHai, SHbi, SHci, SHdi, 然后这 4 路信号被分别送往 4 个同型号的末级功率倍增型模块进行放大。由于电路的对称性，4 路末级输出 SHao, SHbo, SHco, SHdo 与各自的输入信号有相同的相位差，而 4 路输入信号的相位是相同的，所以 SHao, SHbo, SHco, SHdo 亦是同相信号。同理，4 路末级输出信号经由双工器泄漏到回传通道的泄漏信号 S' Hao, S' Hbo, S' Hco, S' Hdo 亦有着相同的相位，即 4 路泄漏信号也是等幅同相信号，它们的合成功率 S' H 遵从算术叠加规律而不是功率叠加规律，S' H 将比单路信号 S' H*o 高出 12 dB ($20 \lg 4$)。当我们将双工器的隔离作用延伸到回传放大模块 r 的输入端时，下行信号的增益=双工滤波器隔离度(-45 dB)-混合器损耗(8 dB)+合成功率增益(12 dB)=-41 dB，而对应的回传信号增益=-双工器插入损耗(1.5 dB)-混合器损耗(8 dB)=-9.5 dB，因此，对于单个端口而言，上、下行信号的等效隔离度=上行信号增益(-9.5 dB)-下行信号损耗(-41 dB)=31.5 dB，这意味着泄漏信号要比我们所预期的要强得多，其对上下行通道的影响不可被忽略。对于下行通道在 5~65 MHz 频段所产生的噪声 NL，其分析过程与 SH 的分析是类似的，唯一的区别是 NL 被高通滤波器衰减，而 SH 是被低通滤波器衰减。

4、不同的结构对 NPR 所产生的影响

在实际的网络环境中，光工作站往往被应用于高电平输出，以缩减同轴分配网中的有源设备，尤其是在一些光节点到楼栋的方案，光工作站的下行输出电平通常达到 110 dB μ V。而另一方面，光节点直接通过无源分配网络覆盖用户，其上行输入电平因失去回传放大器的接力而受限于用户数据终端设备的发射功率，导致光工作站上、下行信号电平差进一步增大。因此，对光工作站的结构对 NPR 所产生的影响进行分析是与其实际的应用情况为前提，否则，如果以低的下行输出电平、高的上行输入电平的情况进行分析，就失去了其实际意义。

(1) 下行信号 SH 对 NPR 的影响

①a 型结构对 NPR 的影响

其上、下行通道隔离主要依赖于双工滤波器，回传发射模块可以限制部分下行泄漏信号通过，但其对 250 MHz 的 18 个频道不起作用，总的下行通道的泄漏功率比单个频道的合成泄漏功率 S' H 增加 12.6 dB ($10 \lg 18$)。如果这个泄漏功率能明显影响回传发射模块的最大激励功率，为了保持最大激励功率不变以免激光器进入削波状态，则只能降低回传信号的最大激励功率 SLoMAX，因此，相对于不加载下行信号而言，一旦加载了下行信号，就可能会使 NPR 的最大值降低，从而缩小了 NPR 动态范围，要避免出现这种情况，只能限制上、下行信号的电平差，即下行信号电平将受回传通道的制约。

上面是基于下行平坦型输出的情况进行分析的，对于倾斜型输出，总的下行通道的泄漏功率将会降低，允许的最大电平差将会增加，但始终都是有限制的。

②b 型、c 型结构对 NPR 的影响

这两种结构在回传放大模块前加入 5~65 MHz 低通滤波器，将下行信号滤除，下行信号对回传通道 NPR 不产生影响，理论上说，下行信号电平是可以无限制的，即下行信号电平不再受回传通道的制约。

(2) 下行通道噪声 NL 对 NPR 的影响

①a 型、b 型结构对 NPR 的影响

噪声 NL 主要由下行激光器的 RIN 噪声、光工作站下行的散弹噪声及其前置放大模块的热噪声构成，在光功率较高时，以 RIN 噪声为主。它与射频信号无关，在光工作站下行通道的 5~65 MHz 频段，这些噪声依然存在，它的泄漏方式与下行信号是一样的。NL 的泄漏功率相对于回传信号而言是很小的，不足以引起回传发射模块最大激励功率的改变，但这些泄漏

噪声是在回传通道的频带内，它有可能对回传通道的噪声产生影响，从而改变 NPR 的数值及 NPR 动态范围。

②c 型结构对 NPR 的影响

c 型结构在下行前置放大模块后加入高通滤波器，将 NL 滤除，使回传通道受下行通道的影响进一步减小。

（3）下行末级放大模块的非线性失真产物对 NPR 的影响

光工作站的非线性失真主要是由末级放大模块产生，落在 5~65 MHz 频段内的非线性失真产物 Na, Nb, Nc, Nd 对回传通道的影响与下行通道噪声 NL 类似。对于这类非线性失真噪声，3 种类型的光工作站都没有增加额外的滤波电路，其滤除工作由双工滤波器完成，但因双工滤波器的等效隔离度下降，当下行处于高电平输出状态时，这些失真产物将会明显影响回传通道噪声。

5、用简单的测试方法判断其影响的存在

上述分析可以确定 SH, NL, Na, Nb, Nc, Nd 都有可能影响 NPR，为进一步证实这些影响的存在，可以进行一些简单的测试，其测试条件是确保光纤链路处于其指标由光工作站起决定作用的状态，另外，下行信号采用网络的实际信号（花都区网络的下行信号包括 35 个模拟信号、20 个数字信号，其中 250 MHz 内占有 12 个模拟信号，数字信号电平比模拟信号电平低 10 dB μ V）。

（1）下行信号 SH 对 NPR 影响的测试

在不加载下行信号的情况下，调整光工作站的回传输入信号电平，使其上行发射模块处于临界失真状态，然后加载下行信号，当光工作站下行输出电平大于 107 dB μ V 时，a 型机的回传发射模块进入明显的失真状态，b 型、c 型机工作正常。

（2）下行通道噪声 NL 对 NPR 影响的测试

在不加载下行信号的情况下，测试 b 型、c 型光工作站的回传噪声，然后加载无射频调制的下行光信号（0），再测量其回传噪声。比较加载下行光信号前后的回传噪声，结果是 b 型机的噪声有 1 dB 左右的变化，而 c 型机基本不变。

（3）非线性失真产物对 NPR 影响的测试

给 c 型机加载下行信号使其下行输出为 110 dB μ V（根据设备的技术指标及下行信号的实际频道数，此时的下行信号仍满足系统输出口的要求），与不加载下行信号比较，回传噪声劣化 8 dB 左右；然后对下行增加一个 8 dB 的均衡，使其输出为倾斜型，与平坦型输出比较，回传噪声改善 4 dB 左右。因为 c 型机的结构已消除 SH, NL 对回传通道的影响，所以根据这些测试结果可以判断非线性失真产物影响的存在。

综上所述，由于光工作站的多端口结构导致了双工滤波器的等效隔离度下降，从而使下行信号 SH，落在 5~65 MHz 频段内的下行通道噪声 NL，以及非线性失真产物 Na, Nb, Nc, Nd 成为影响回传通道指标的潜在因素，由此导致不同结构的光工作站对回传指标 NPR 产生的影响是不一样的，a 型结构对 NPR 的影响最为严重，b 型结构次之，而 c 型结构最小。因此，在判断光工作站回传指标的好坏时，除以回传发射模块的性能指标为主要依据外，还要考虑在加载下行信号的情况下是否对 NPR 造成影响，以正确选用性能优良的光工作站。