

# 拉曼放大器的实用问题

## 目录

[简介](#)

[背景信息](#)

[拉曼放大器的常见类型](#)

[原则](#)

[拉曼增益理论](#)

[噪声源](#)

[相关信息](#)

## 简介

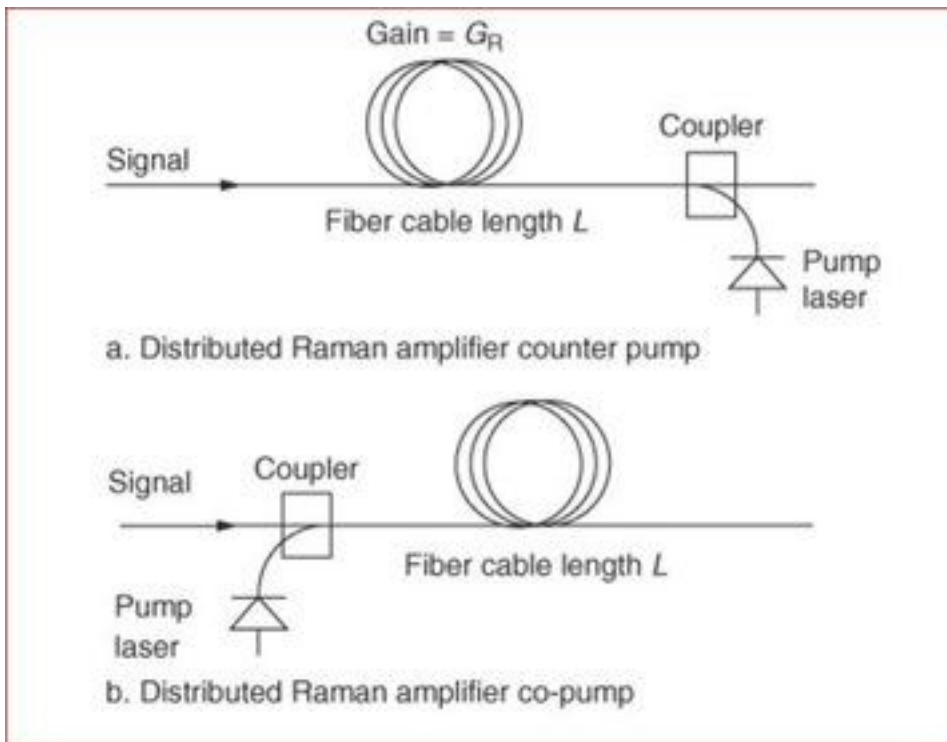
本文描述了拉曼放大器在光网络中实现的实际方面。它使拉曼更容易理解，列在它的优势、要求和应用。

作者：思科TAC工程师Sanjay Yadav。

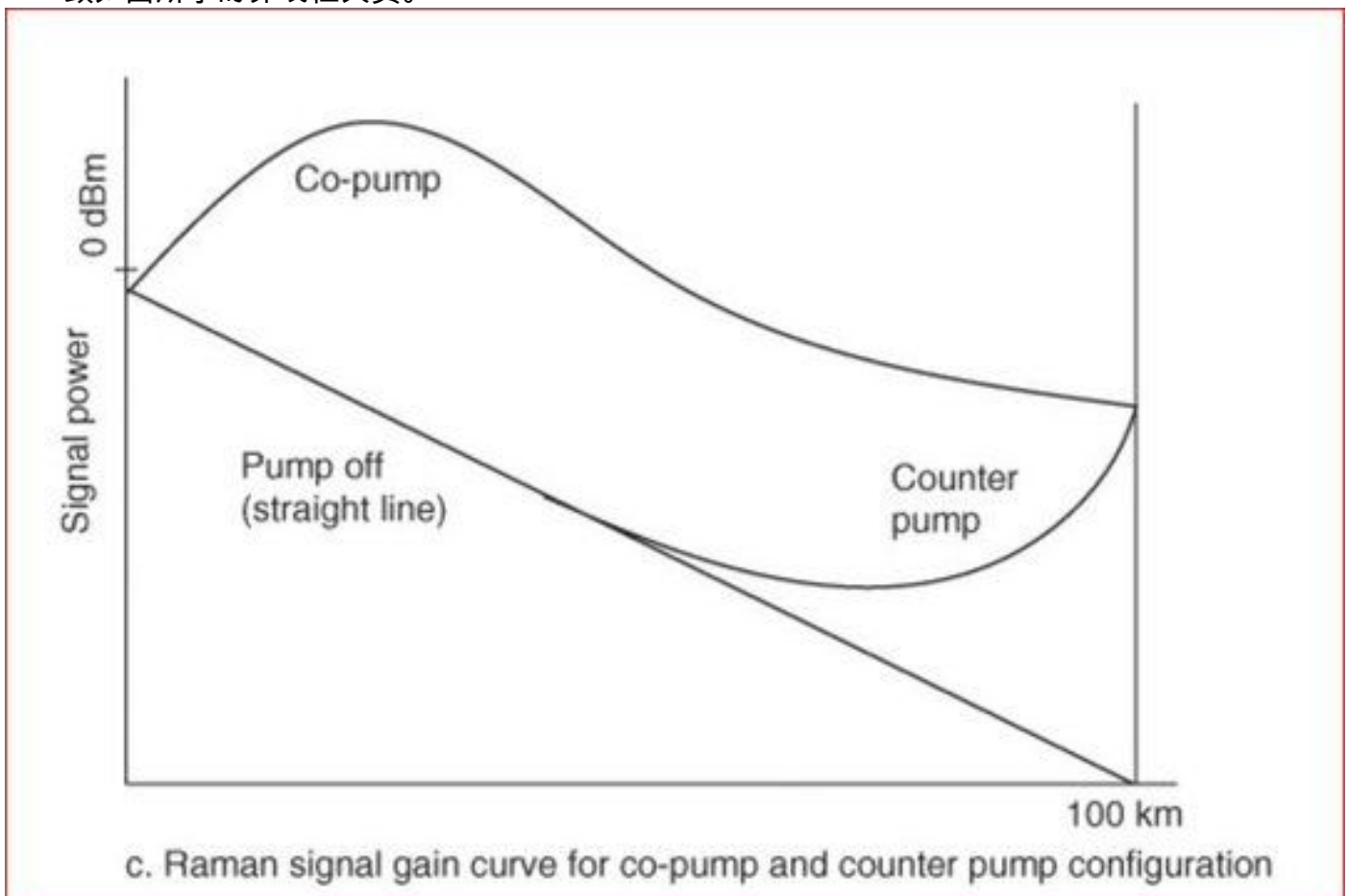
## 背景信息

1. 与掺铒光纤放大器(EDFA)相比，拉曼放大器通常成本更高且增益更小。因此，它仅用于特殊应用。
2. 与EDFA相比，该放大器的主要优势是它产生的噪声非常少，因此不会像EDFA那样降低跨度光信噪比(OSNR)。
3. 其典型应用在EDFA跨段，在EDFA跨段需要额外增益，但已达到OSNR限制。
4. 添加拉曼放大器对OSNR的影响不大，但能提供高达20dB的信号增益。
5. 另一个关键属性是放大任何光纤带的潜力，而不是像EDFA那样仅放大C带。这允许拉曼放大器增强O、E和S波段的信号(用于粗波分复用(CWDM)放大应用)。
6. 该放大器采用受激拉曼散射(SRS)原理，是一种非线性效应。
7. 它由高功率泵浦激光器和光纤耦合器(光环行器)组成。
8. 放大介质是分布式拉曼放大器(DRA)中的跨距光纤。
9. 分布反馈(DFB)激光器是一种窄谱带，用作拉曼卡的安全机制。DFB发送脉冲来检查光纤长度中存在的任何反射。如果未找到高背反射(HBR)，则Raman开始传输。
10. 通常，HBR在光纤初始数公里到光纤初始20公里之间检查。如果检测到HBR，则Raman将不起作用。通过OTDR发现问题区域后，需要进行一些光纤活动。

## 拉曼放大器的常见类型



- 集总型或离散型拉曼放大器内部包含信号放大发生的足够长的光纤线轴。
- DRA泵浦激光器以反向泵浦（反向泵浦）或共泵浦（正向泵浦）或结构连接到光纤跨度。
- 计数器泵配置通常是优选的，因为它不会在光纤跨度的起始处导致过高的信号功率，这可能导致如图所示的非线性失真。



共泵结构的优点是它产生的噪音较少。

**原则**

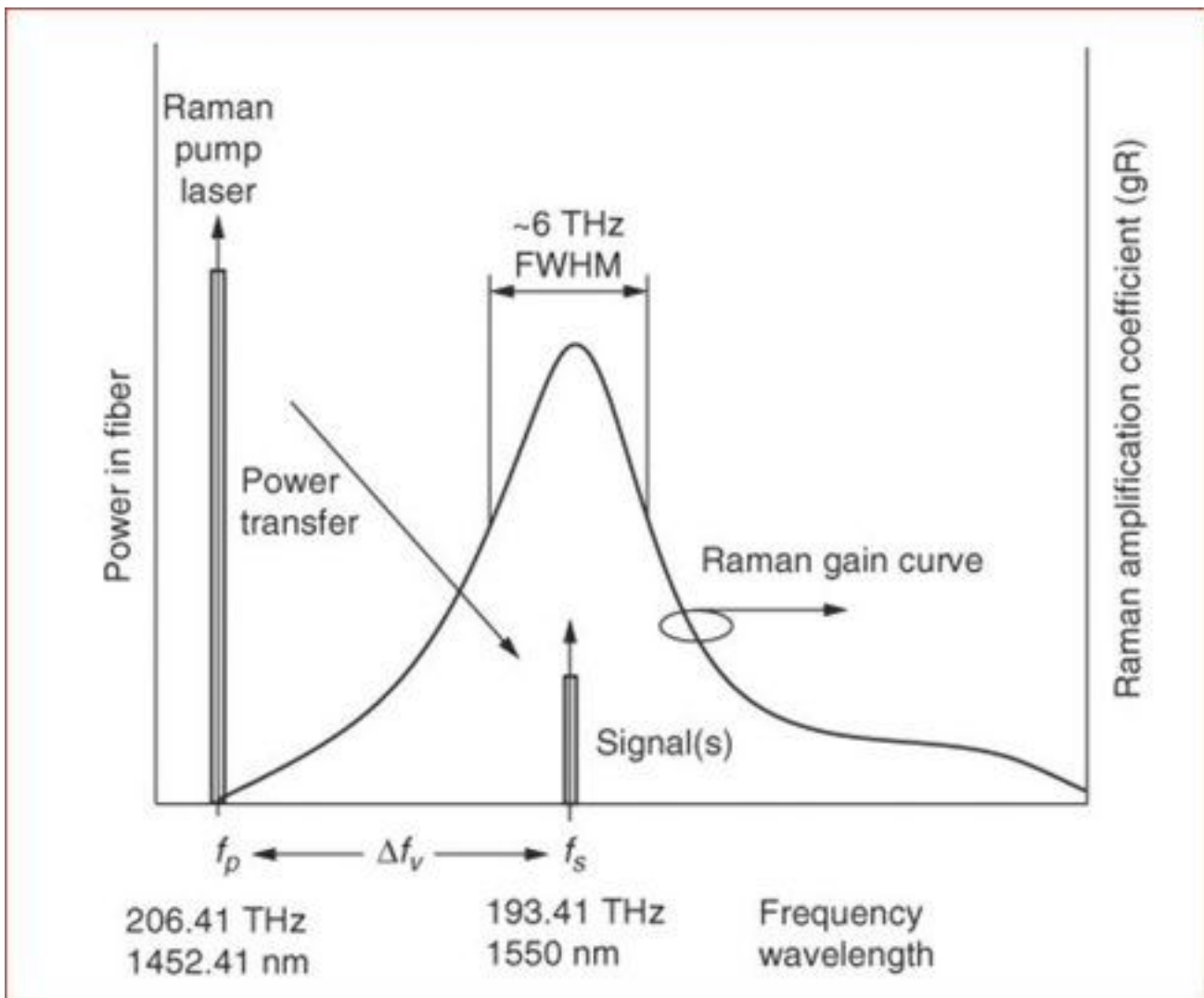
当泵浦光子在光纤中传播时，它们会碰撞并被光纤分子或原子吸收。这使分子或原子激发到更高的能级。高能级不是稳定态，因此它们迅速衰减到较低的中能级，这些中能级在较低的频率下以光子的形式在任何方向上释放能量。这称为自发拉曼散射或斯托克斯散射，在光纤中造成噪声。

由于分子衰减到中能级，因此能量的变化小于分子激发时的初始接收能量。从激发能级到中能级的能量变化决定了自 $\Delta f = \Delta E/h$ 以来的光子频率。这称为Stokes频移，并确定拉曼增益随频率曲线形状和位置的变化。从中间能级到基态的能量作为分子振动（声子）在光纤中耗散。由于高能级存在很宽的范围，增益曲线具有约30THz的宽谱宽度。

在受激喇曼散射时，信号光子共振频率增益曲线谱，并从Stokes波获得能量，从而产生信号放大。

### 拉曼增益理论

在抽运频率下，拉曼增益曲线半高宽约为6THz(48nm)，在13.2THz处出现峰值。这是有用的信号放大光谱。因此，为了放大1550 nm范围内的信号，泵浦激光频率要求在1452nm处低于信号频率13.2THz。



采用多泵浦激光器并列增益曲线，使拉曼增益曲线变宽。

$$f_p = f_s + \Delta f_v$$

其中 $f_p$ =泵浦频率，THz $f_s$ =信号频率，THz $\Delta f_v$ =拉曼斯托克斯频移，THz。

拉曼增益是分布在光纤有效长度上的净信号增益。它是泵浦激光功率、光纤有效长度和光纤面积的函数。

对于色散补偿光纤等小有效面积光纤，其喇曼增益较高，增益也与抽运光波长的信号分离有关，还规定了喇曼信号增益，并测量了场的开关增益。这被定义为输出信号功率与泵浦激光器打开和关闭的比率。在多数情况下，当抽运激光打开时，拉曼放大自发辐射噪声对测量信号的影响很小。然而，如果存在在测量谱宽较大时可能产生的相当大的噪声，则从泵浦信号功率中减去用信号关闭测量的噪声功率，以获得精确的开/关增益值。拉曼开/关增益通常称为拉曼增益。

$$G_{R.on/off} = 10 \log \left( \frac{P_s(\text{pump.on,signal.on}) - P_{\text{noise}}(\text{pump.on,signal.off})}{P_s(\text{pump.off,signal.on})} \right)$$

## 噪声源

在DRA跨度中创建的噪音包括：

- 放大自发辐射(ASE)
- 双瑞利散射
- 泵浦激光噪声

ASE噪声是由自发喇曼散射产生光子引起的。

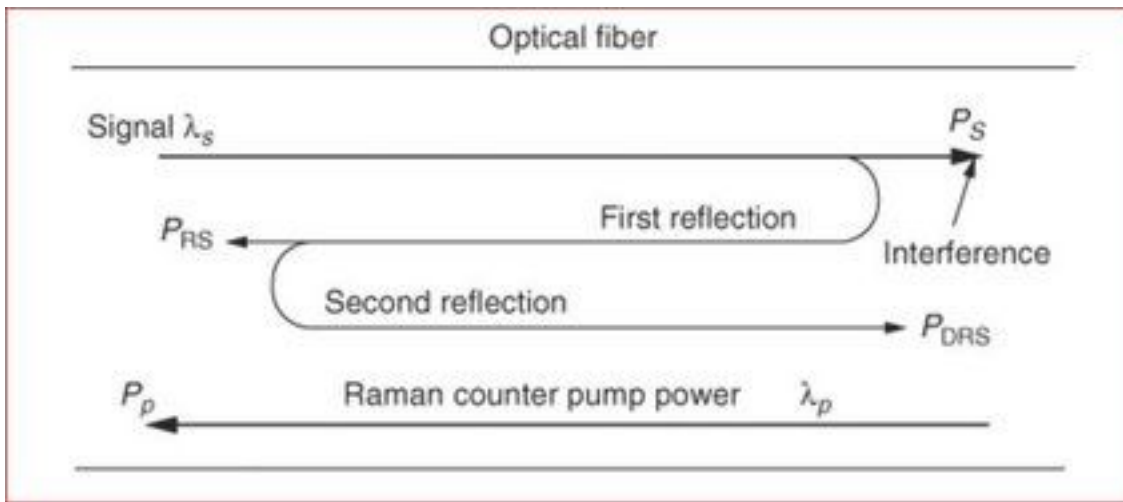
当瑞利散射引起的两次反射信号功率被放大并作为串扰噪声干扰原始信号时，DRS噪声就会产生。

最强的反射来自连接器和不良接头。

通常，DRS噪声小于ASE噪声，但对于多个拉曼段，它可以相加。为了减少这种干扰，可以使用超光亮连接器(UPC)或角度光亮连接器(APC)。可在激光二极管之后安装光隔离器，以减小反射到激光器中。此外，跨OTDR跟踪有助于定位高反射事件以进行修复。

反向泵DRA配置使信号增益达15 dB和更大，从而获得更好的OSNR性能。泵浦激光噪声在160 dB/Hz以上，通常比较低。

非线性克尔效应也会引起高抽运功率的噪声。对于低DRS噪声的光纤，由于ASE引起的拉曼噪声比EDFA噪声要好得多。拉曼噪声图一般为-2到0 dB，比EDFA噪声图高6 dB。



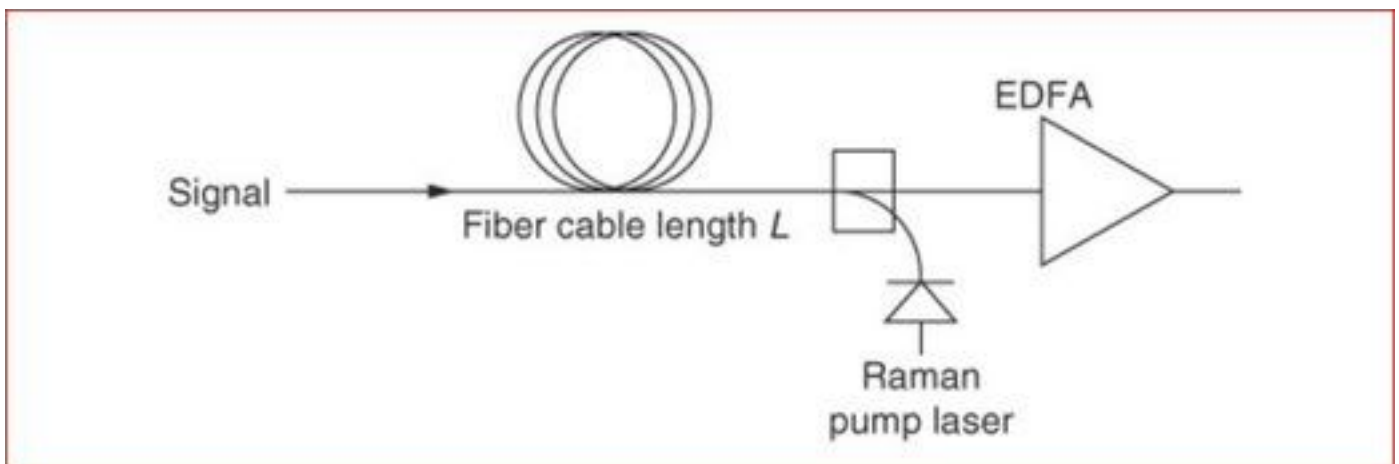
拉曼放大器的噪声因子定义为放大器输入端的OSNR到放大器输出端的OSNR。

$$F_R = \frac{\text{OSNR}_{\text{in}}}{\text{OSNR}_{\text{out}}}$$

$$\text{NF}_R = 10 \log(F_R)$$

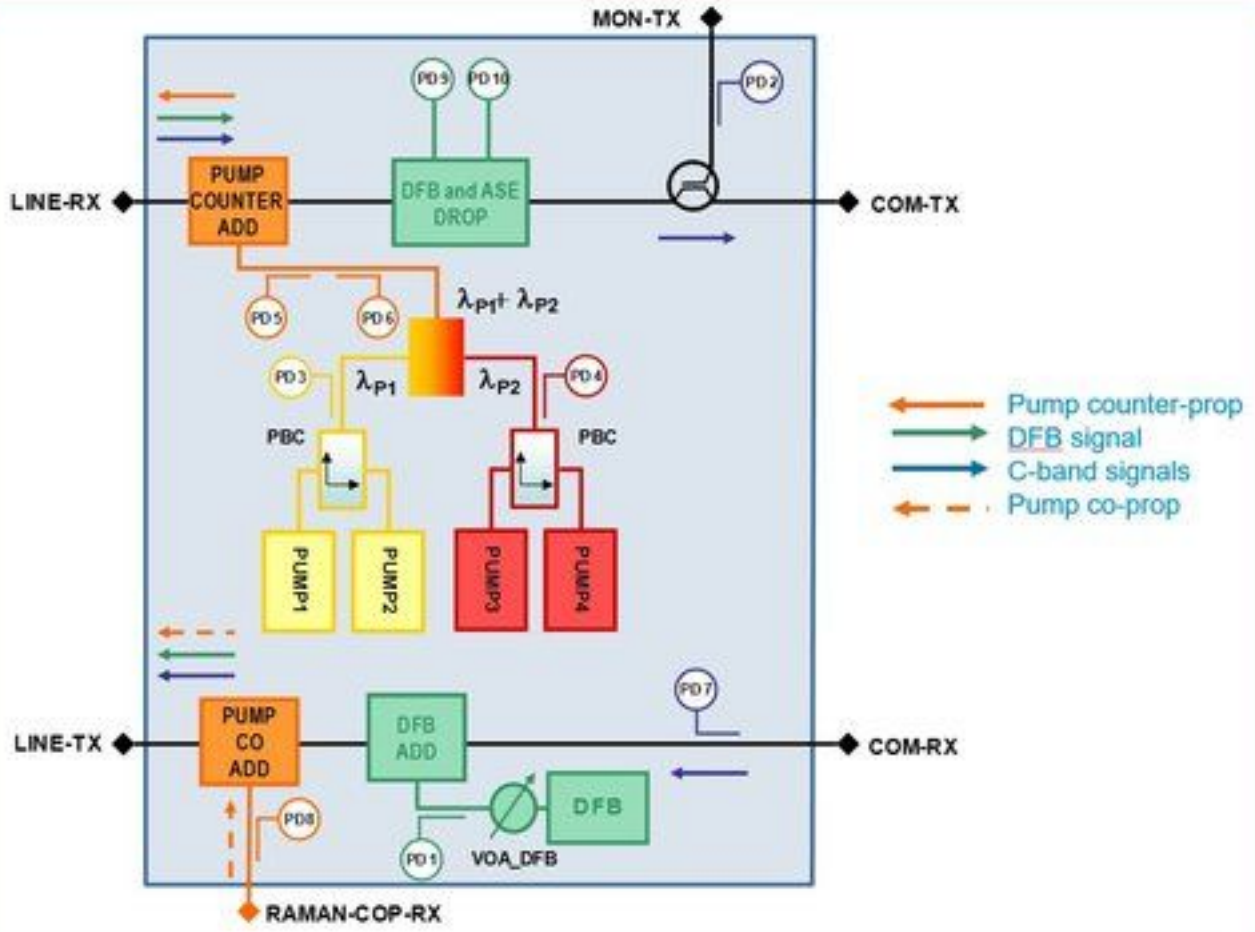
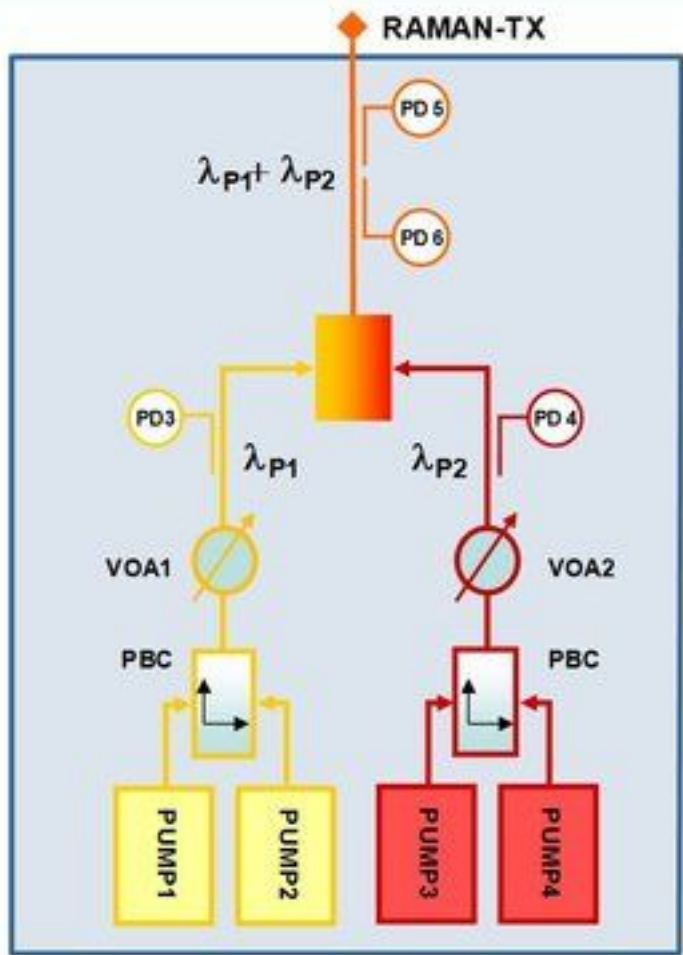
噪声图是dB版的噪声系数。

DRA噪声和信号增益分布在跨距光纤的有效长度上。

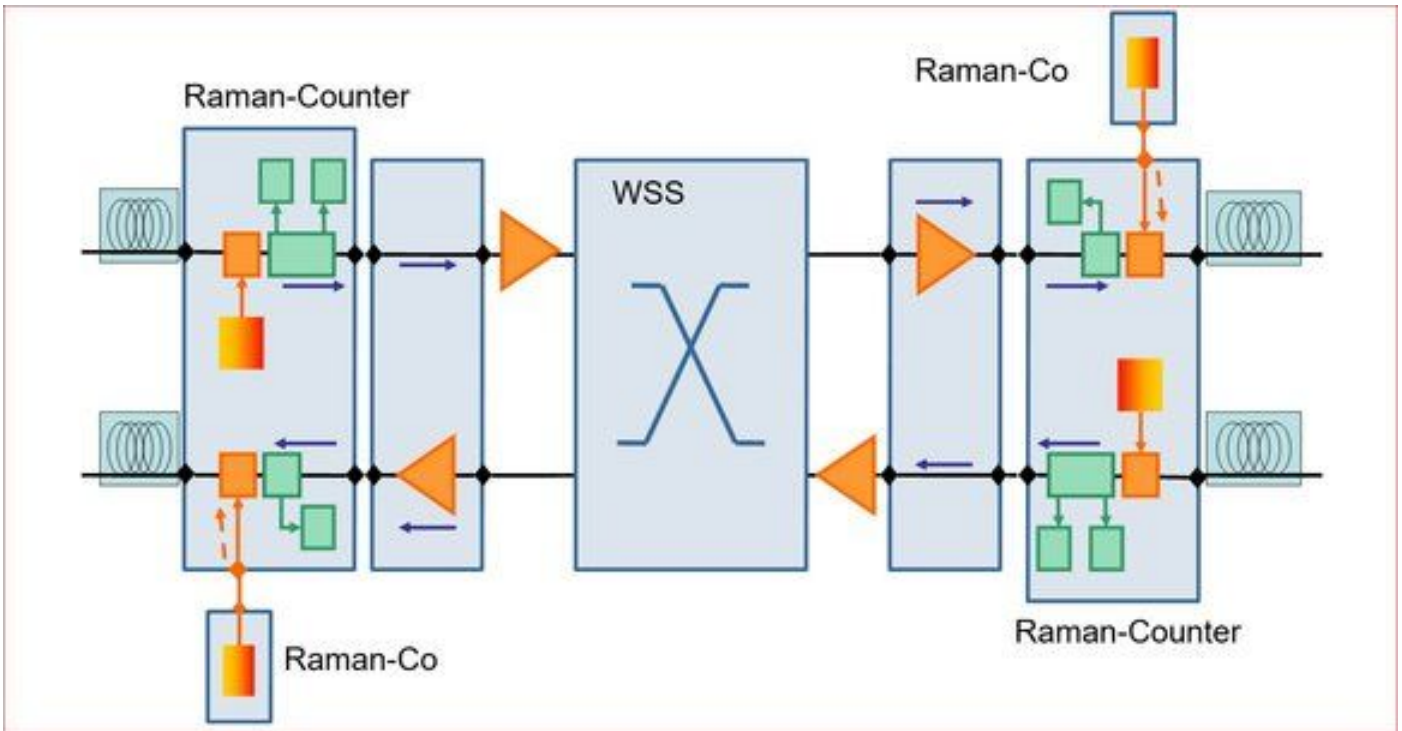


反向泵浦分布式拉曼放大器通常与EDFA预放大器结合，以延长跨距。此混合配置可在OSNR中提供6dB的改进，这可以显著延长跨距长度或增加跨距损耗预算。反向泵DRA还有助于减少非线性效应并允许信道发射功率降低。

[同向泵浦和反向泵浦拉曼放大器的功能框图](#)



EDFA和拉曼放大器的现场部署架构：



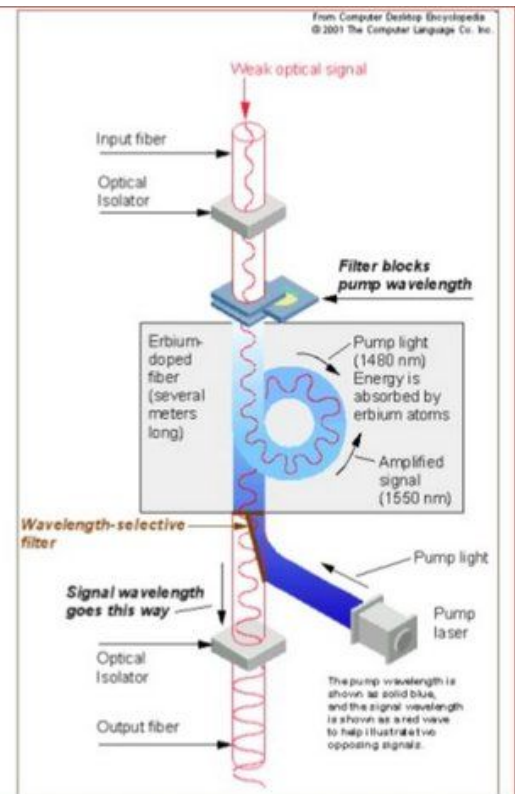
很有趣：

### Simplified Explanation on Raman Amplification:

Based on stimulated Raman scattering (SRS) effect, the weak light signal gets amplified while passing through a Raman gain medium (**the fiber**) in presence of a **strong pump laser**. It's the power transfer from lower to higher wavelengths.

### EDFA vs. Raman Amplifier:

A Raman optical amplifier is not an amplifier "in a module"; instead, the optical amplification relies on the transmission "fiber" itself. In other words, whoever is deploying a Raman amplifier means he/she is building the amplifier on-site basically with a **high-power laser pump + existing fiber (any type of fiber)**!



## 相关信息

- Bob Chomycz规划光纤网络
- [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data\\_sheet\\_c78-658538.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-658538.html)
- [技术支持和文档 - Cisco Systems](#)