

拉曼放大器的實用問題

目錄

[簡介](#)

[背景資訊](#)

[常見的拉曼放大器型別](#)

[原則](#)

[拉曼增益理論](#)

[雜訊源](#)

[相關資訊](#)

簡介

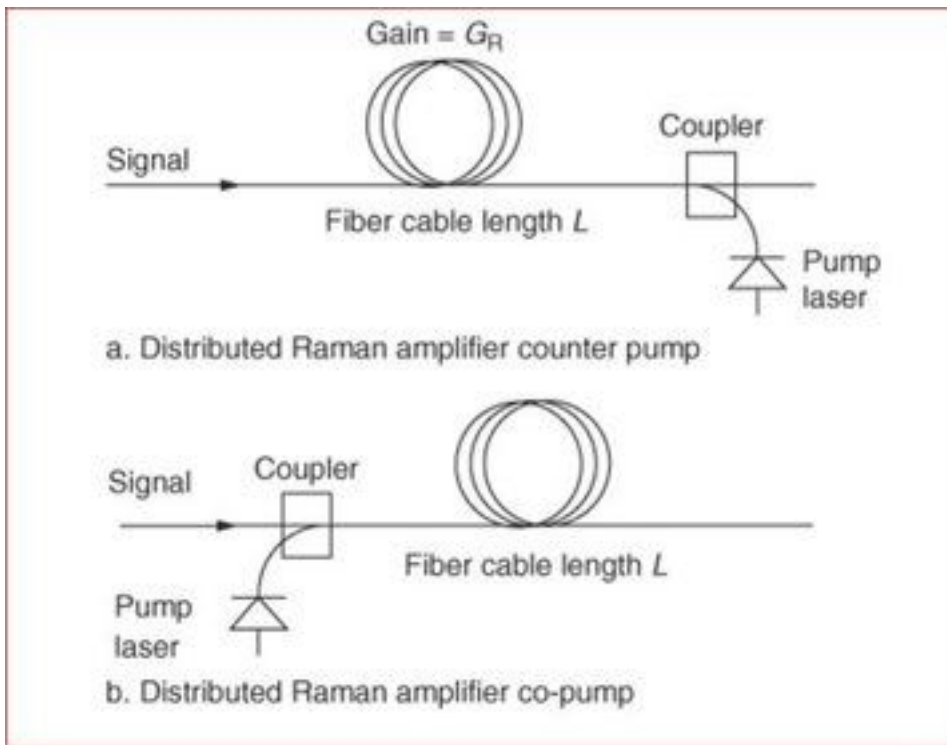
本文描述了拉曼放大器在光網中的實際實現。它使拉曼更易於理解，列出了它的優點、要求和應用。

作者：Sanjay Yadav，思科TAC工程師。

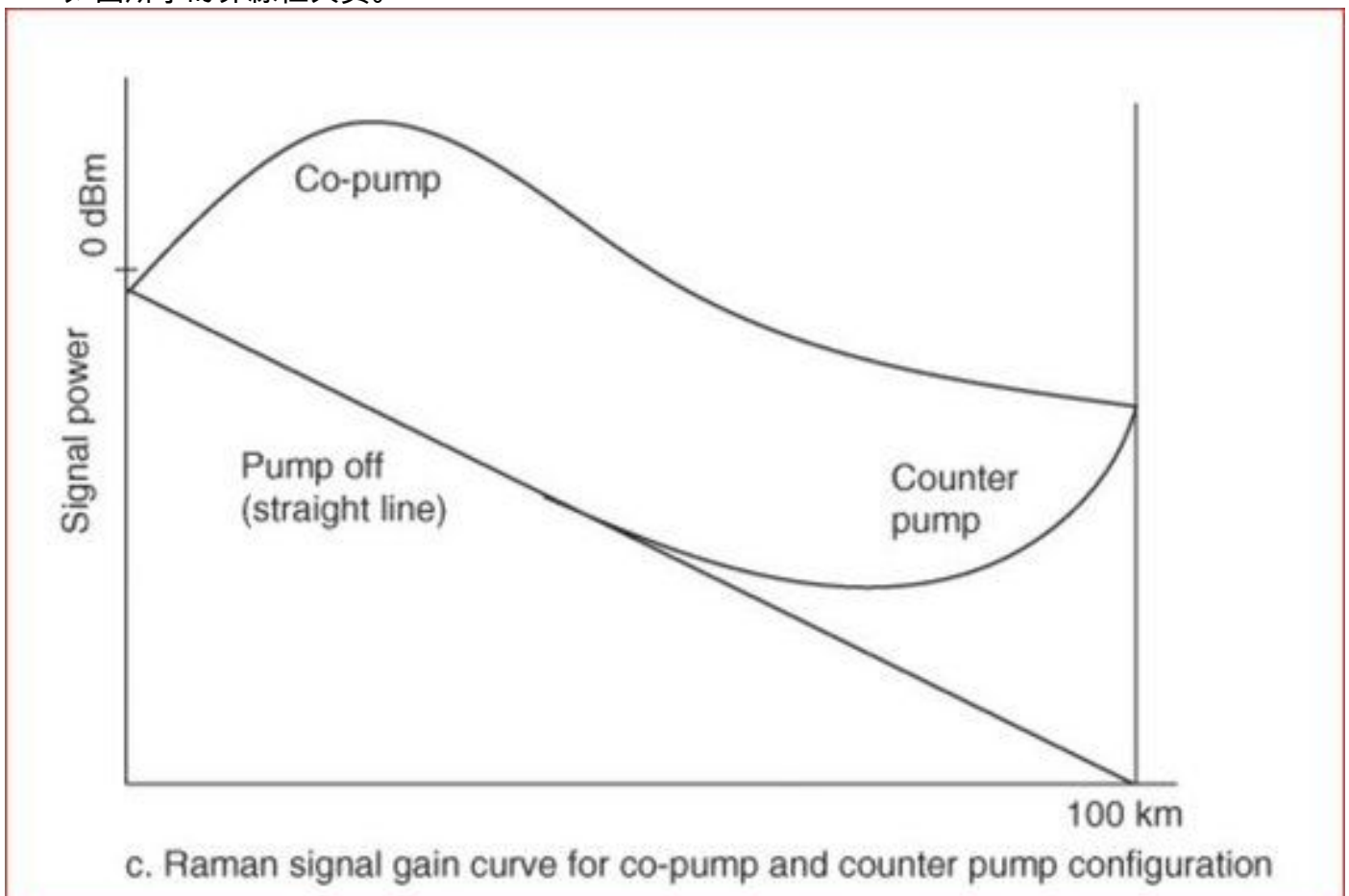
背景資訊

1. 拉曼放大器通常比摻鉕光纖放大器(EDFA)放大器成本高得多，增益也較小。因此，它僅用於專業應用。
2. 此放大器與EDFA相比的主要優點是它產生的雜訊非常小，因此不會像EDFA那樣降低跨距光信噪比(OSNR)。
3. 其典型應用是在需要額外增益但已達到OSNR極限的EDFA跨度中。
4. 新增拉曼放大器可能不會顯著影響OSNR，但可提供高達20dB的訊號增益。
5. 另一個關鍵屬性是有可能放大任何光纖頻帶，而不僅僅是C頻帶，如EDFA。這允許拉曼放大器提升O、E和S頻帶的訊號(用於粗波長分波多工(CWDM)放大應用)。
6. 該放大器基於受激拉曼散射(SRS)原理，是一種非線性效應。
7. 它由大功率泵浦鐳射器和光纖耦合器(光環行器)組成。
8. 放大介質是分散式拉曼放大器(DRA)中的跨距光纖。
9. 分佈反饋(DFB)鐳射器是一種窄譜帶鐳射器，用於拉曼卡的安全機制。DFB傳送脈衝以檢查光纖長度中存在的任何背反射。如果沒有發現高背反射(HBR)，拉曼開始發射。
10. 通常在纖維最初幾公里到前20公里時檢查HBR。如果檢測到HBR，Raman將無法工作。通過OTDR發現問題區域後，需要執行一些光纖活動。

常見的拉曼放大器型別



- 集總型或離散型拉曼放大器內部包含一足夠長的光纖卷軸，其中訊號放大發生於此。
- DRA泵浦鐳射器以反泵浦或共泵浦或配置方式連線到光纖跨距。
- 計數器泵配置通常是優選的，因為它不會在光纖跨度開始時導致過高的訊號功率，這可以導致如圖所示的非線性失真。



這種共泵結構的優點在於它產生的雜訊較小。

原則

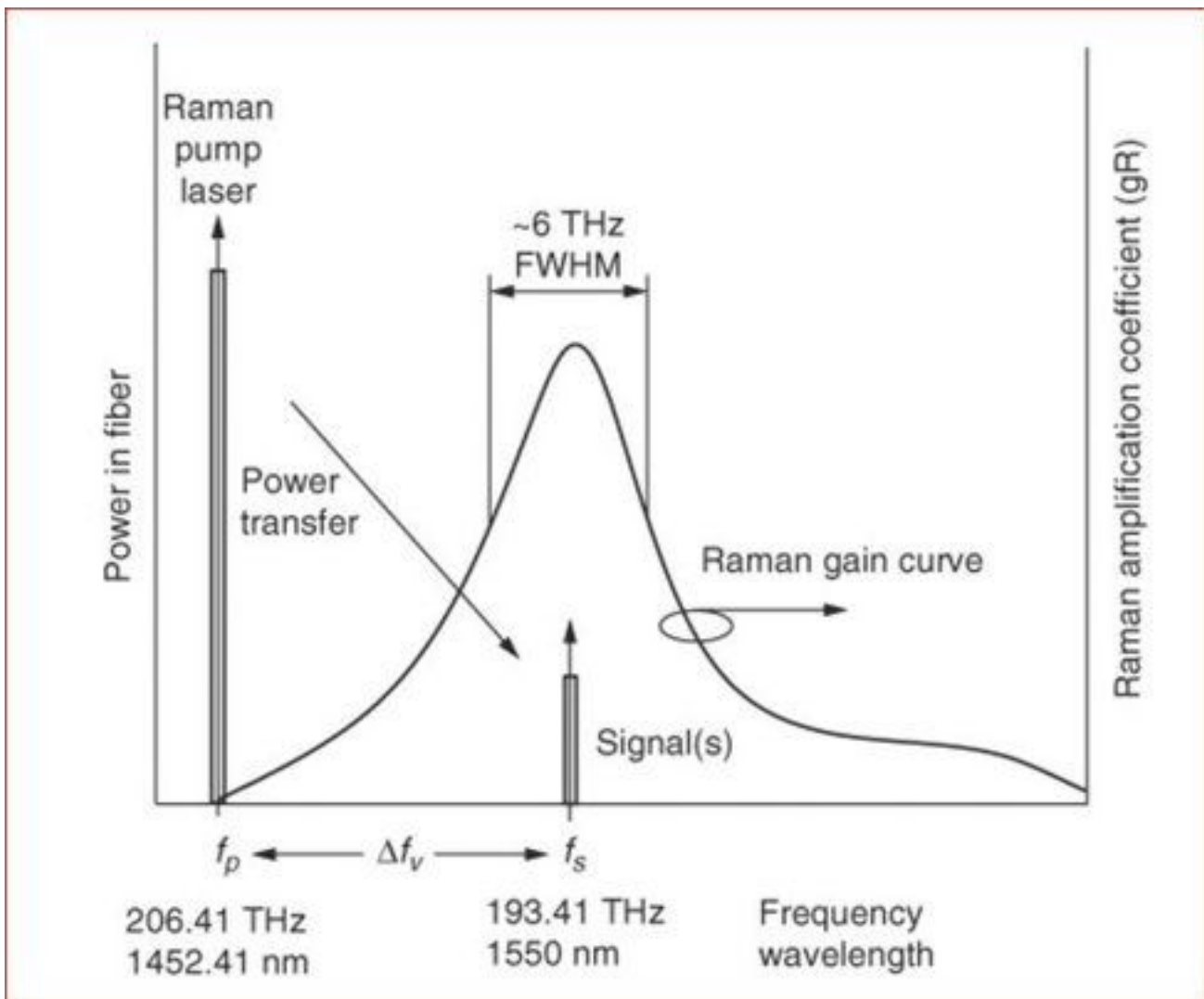
當泵浦鐳射光子在光纖中傳播時，它們會碰撞並被光纖分子或原子吸收。這會將分子或原子激發到更高的能級。更高的能級不是穩定的態，所以它們很快會衰變到更低的中能級，從而以較低頻率在任何方向釋放出光子能量。這被稱為自發拉曼散射或斯托克斯散射，並且導致光纖中的雜訊。

由於分子衰變到中能振動水準，能量變化小於分子激發時的初始接收能量。這種從激發能級到中間能級的能量變化決定了光子頻率，因為 $\Delta f = \Delta E/h$ 。這稱為斯托克斯頻移，並確定了拉曼增益隨頻率曲線的形狀和位置。從中間能級到地能級的剩餘能量在光纖中以分子振動（聲子）的形式消散。由於存在寬範圍的較高能級，增益曲線的寬譜寬度約為30THz。

在受激拉曼散射時，訊號光子共同傳播頻率增益曲線譜，並從斯托克斯波中獲得能量，從而造成訊號放大。

拉曼增益理論

拉曼增益曲線的半高寬約為6THz(48nm)，在抽運頻率下峰值約為13.2THz。這是有用的訊號放大光譜。因此，為了放大在1550nm範圍內的訊號，泵浦鐳射頻率要求比約1452nm處的訊號頻率低13.2THz。



採用多泵浦鐳射器並列增益曲線來加寬總的拉曼增益曲線。

$$f_p = f_s + \Delta f_v$$

其中 f_p =泵浦頻率，THz f_s =訊號頻率，THz Δf_v =拉曼斯托克斯頻移，THz。

拉曼增益是分佈在光纖有效長度上的淨訊號增益。它隨泵浦鐳射功率、光纖有效長度及光纖面積的增加而增加。

對於小有效面積的光纖如色散補償光纖，拉曼增益較高，增益還依賴於訊號與鐳射泵浦波長的分離，拉曼訊號增益也被規定為on/off增益。它被定義為泵浦鐳射開啟和關閉時的輸出訊號功率之比。在大多數情況下，當泵浦鐳射開啟時，拉曼放大自發輻射雜訊對測量訊號值影響很小。然而，如果存在相當大的雜訊，當測量光譜寬度較大時可能會遇到這種雜訊，則從泵浦訊號功率上減去在訊號off時測量的雜訊功率，以便獲得精確的開/關增益值。拉曼開關增益通常稱為拉曼增益。

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

雜訊源

在DRA span中建立的噪音包括：

- 放大自發輻射(ASE)
- 雙瑞利散射
- 泵浦鐳射雜訊

ASE雜訊是由於自發拉曼散射產生光子造成的。

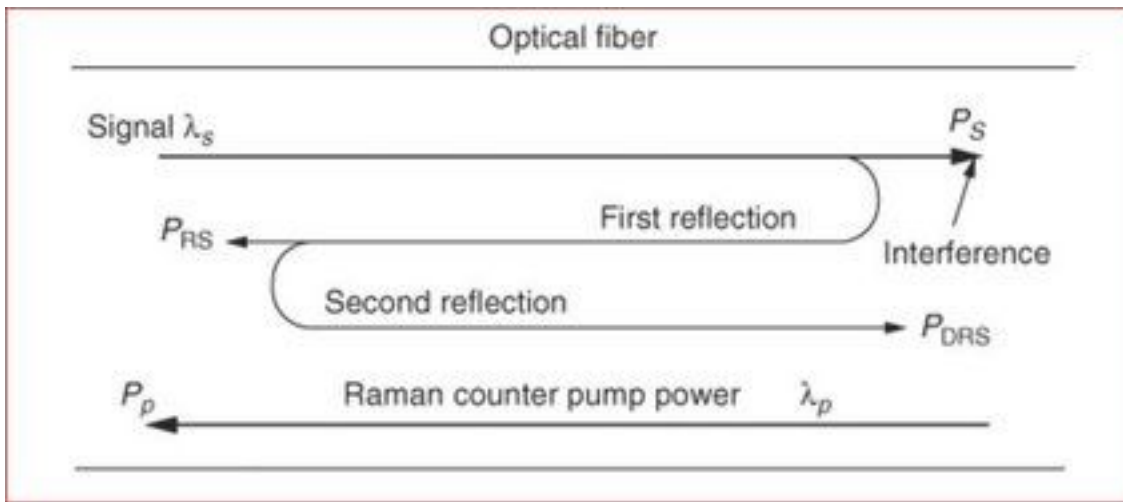
當由於瑞利散射引起的兩次反射訊號功率被放大並且作為串擾雜訊干擾原始訊號時，就會發生DRS雜訊。

最強烈的反射來自聯結器和錯誤的接頭。

通常DRS雜訊小於ASE雜訊，但對於多個拉曼跨距而言，雜訊可以相加。為了減少這種干擾，可以使用超拋光聯結器(UPC)或角度拋光聯結器(APC)。光學隔離器可以安裝在鐳射二極體之後，以減少對鐳射器的反射。此外，span OTDR跟蹤有助於定位高反射事件以進行修復。

反泵DRA配置在訊號增益為15 dB和更大的情況下可獲得更好的OSNR效能。泵浦鐳射雜訊問題不明顯，因為鐳射雜訊通常很低，RIN優於160 dB/Hz。

非線性克爾效應對鐳射抽運功率的雜訊也有影響。對於低DRS雜訊光纖，由ASE引起的拉曼雜訊比EDFA雜訊要好得多。通常，拉曼雜訊係數為-2至0 dB，比EDFA雜訊係數高約6 dB。



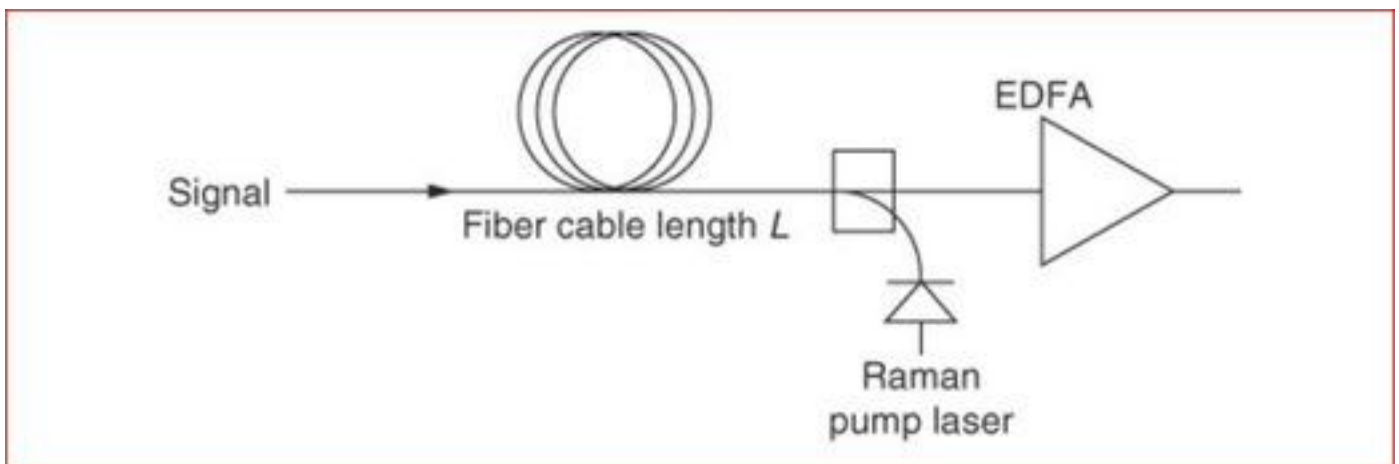
拉曼放大器雜訊係數定義為放大器輸入的OSNR到放大器輸出的OSNR。

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

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

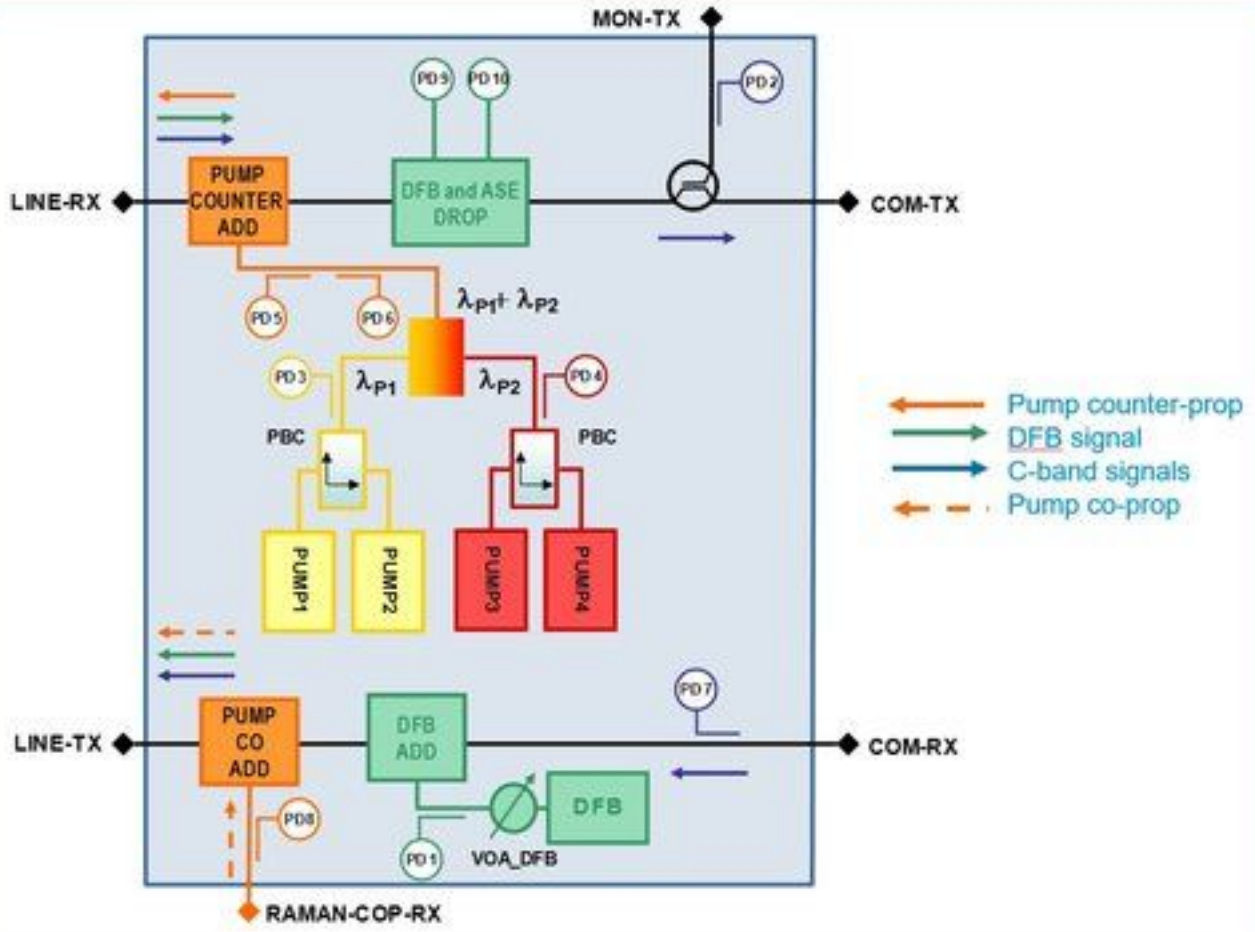
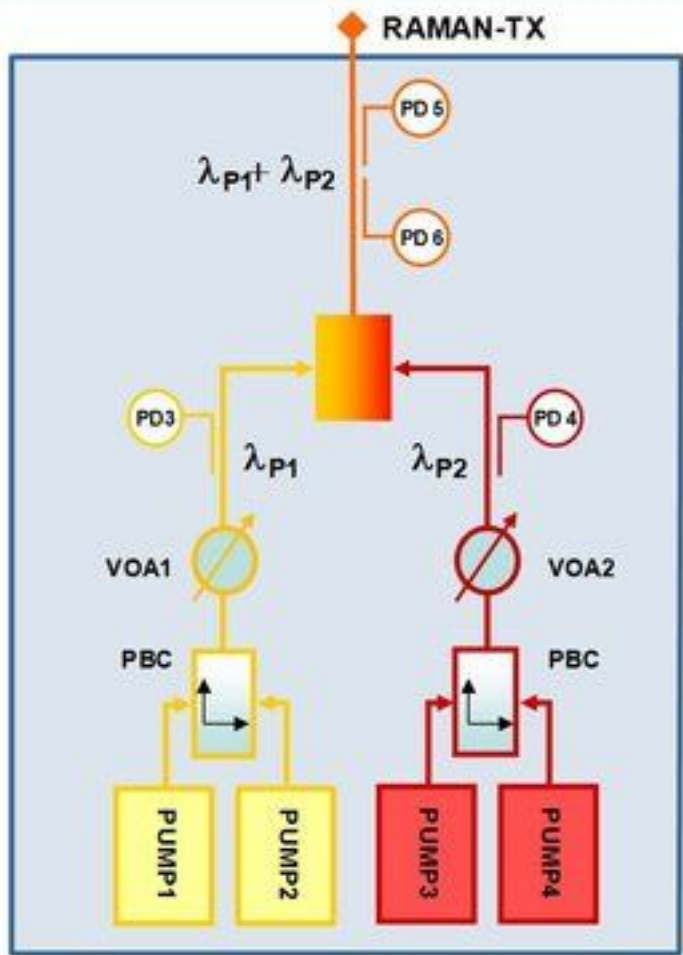
雜訊圖是雜訊係數的dB版本。

DRA雜訊和訊號增益分佈在span光纖的有效長度上。

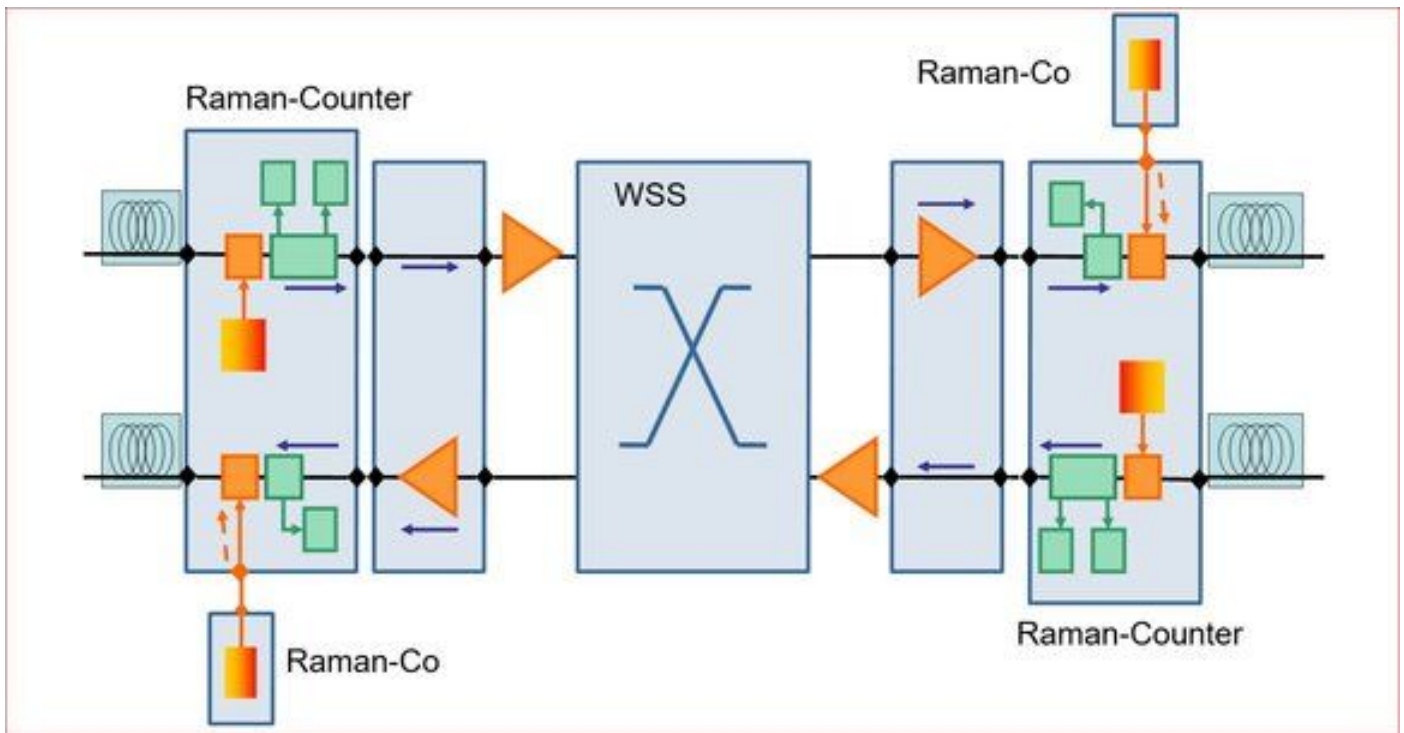


反向泵浦分散式拉曼放大器通常與EDFA預放大器結合以擴展跨距距離。這種混合配置可在OSNR中提供6dB的改進，這可以顯著地延長跨距長度或增加跨距損失預算。反泵DRA還有助於減少非線性效應並允許減少通道發射功率。

[共傳播與反向傳播拉曼放大器的功能框圖](#)



EDFA和拉曼放大器的現場部署架構：



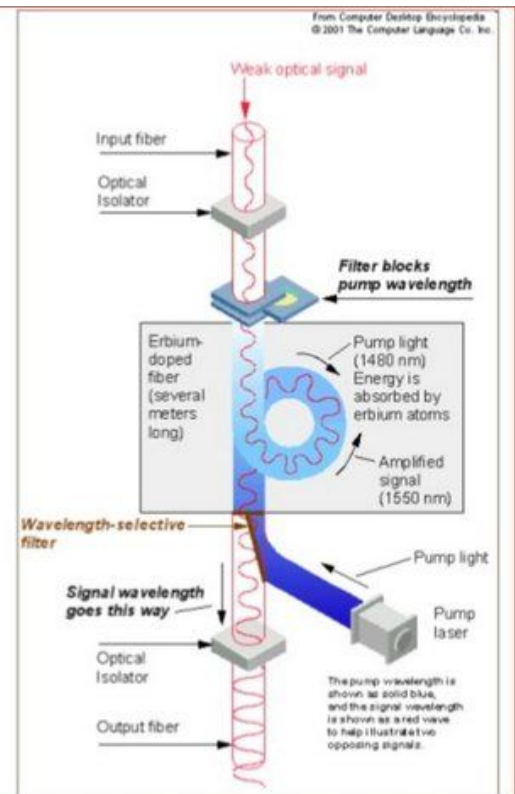
有趣的是：

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)**!



相關資訊

- Bob Chomycz 光纖網路規劃
- https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-658538.html
- [技術支援與文件 - Cisco Systems](#)