

長途分波多工次載波光纖傳輸系統設計一

子計劃三：WDM-SCM 在傳輸距離限制上之研究

計劃編號：88-2215-E-009-018

執行期限：87/08/01~88/10/31

主持人：尉應時 國立交通大學電信系 教授

一、中文摘要（關鍵詞：分波多工傳輸系統、次載波系統、窄播、非線性光纖傳輸、光纖色散、串音現象）

本子計劃是研究將單波長次載波系統延伸為分波多工次載波光纖傳輸系統時，傳輸距離的限制。這個傳輸系統不但能使原來次載波傳輸系統的傳輸容量倍增且頻譜使用效率也能有所提高。這樣的傳輸系統不但能使用在有線電視網路的窄播服務上，更能為以超級頭端為中心的幹線網路提供極大的頻寬。我們的研究重點為：在非線性光纖傳輸中由串相位調變(cross-phase modulation, XPM)、受激拉曼散射(stimulated Raman scattering, SRS)以及光纖色散所造成的串音現象對WDM-SCM 系統的影響及傳輸距離的限制。我們所採取的研究方法包括實驗以及分析。

英文摘要 (keyword : WDM system、SCM system、narrow-casting、nonlinear fiber transmission、fiber dispersion、cross-talk effect)

The goal of this sub-project is to study the limited transmission distance of WDM-SCM transmission systems. The systems utilized the spectral efficiency more to increase the transmission capacity. The systems could be not only applied to CATV narrowcasting systems but also used for super head-end transmission in the CATV networks. Our focus is on the cross-talk

effect caused by XPM and SRS coming from fiber nonlinearity. Our approaches include experimental and theoretical studies.

二、計劃背景及目的

有線電視網路以分波多工的方式來提供窄播服務已經成為一個趨勢。同時，數據服務的提供使得有線電視網路的頭端必須以較有效率的方式來結合及溝道，因此有超級頭端的形成。如何將資料由超級頭端以分波多工的方式傳送到各個子頭端是一個重要的課題。在這些系統中，由分波多工傳輸所造成的距離限制及影響因素都必須仔細研究。

在過去的研究中[1]，串音現象是分波多工次載波光纖傳輸系統主要的限制，這些現象是由光纖的非線性特性所造成。

為了研究多個光波長在光纖非線性區傳播的情形，我們以實驗量測兩個光波長的串音現象。根據實驗及分析結果，我們分別討論了波長間隔、RF 頻率、傳輸距離、單一波長輸出功率與 SRS 及 XPM 的關係。

三、研究方法及成果

1. 實驗架構及結果

我們以圖(一)的實驗架構來研究兩個光波長的串音現象。以一個不受 RF 信號調變的可調式雷射光源當作探測光源及一個被 RF 信號調變的外調式光發射機來當作調變光源，其中 RF 的信號由網路分析儀

產生。在接收端，我們以可調式光濾波器來選擇欲觀察的光波長並以網路分析儀的 RF 接收器來記錄串音的大小。串音定義為在相同的光接收功率下，在可調式雷射光源上所量測到 RF 信號大小與外調式發射機上所量測到 RF 信號大小的比值。需注意的是網路分析儀的頻率掃描時間要足夠長 (> 光波在光纖內的傳輸時間) 才能得到正確的結果。

由於在兩波波長間隔大及間隔小時主要串音現象的產生機制不同，我們分別量測兩種極端情況的結果作為比較。在實際的傳輸系統中，最大的波長間隔被摻鉍光纖放大器的可用頻寬所限制 (約為 20nm)；最小的波長間隔則受限於光濾波器的隔離度。量測的結果如圖(二 a)及圖(二 b)。

由圖(二 a)及圖(二 b)可知，當波長間隔大時低頻段處的串音會變大；同時，高頻段的串音會略為變小。這主要是因為這兩個波段串音來源的機制不同，影響也不同之故。

## 2. 分析

分波多工次載波系統的串音現象來自於光纖的非線性效應主要有：Stimulated Raman Scattering(SRS) 以及 Cross-Phase Modulation(XPM)。SRS 的成因是短波長的光波會放大長波長，而如果光波的功率被調變，則此放大增益或損失也被調變，因此造成串音效應。由 SRS 造成的串音經分

$$\text{Crosstalk (SRS)} = 10 \log \left\{ \left( \frac{A_{21} \Omega_1^2 \gamma_2}{A_{21}} \right)^2 \frac{1 + e^{-2L} - 2e^{-L} \cos(\Omega_1 L)}{(L^2 + (\Omega_1 \gamma_2)^2) \left( 1 + \frac{\Omega_1 \Omega_2 \gamma_2 L}{A_{21}} \right)^2} \right\}$$

析後可以得到公式如下[1]

..... 式(1)

XPM 則是由於 Kerr effect，使得同時傳輸的光波相位被另一個光波的功率調

變，再透過光纖色散 PM-AM 的機制使調變信號出現在光波功率的變化上。由 XPM 所造成的串音經分析後可以得到公式如下 [2]：

$$\text{Crosstalk (XPM)} = 10 \log \left\{ \left( \frac{4\gamma_2 \Omega_1^2 P_2 L}{\lambda A_{21}} \right)^2 \frac{1 + e^{-2L} - 2e^{-L} \cos(\Omega_1 L) - 2|b + d_1| e^{-L} \sin(\Omega_1 L)}{L^2 + (A_{21} \Omega_1)^2} \right\}$$

..... 式(2)

將這兩個串音相加，可以得到圖(二)的曲線，大致與實驗值符合。

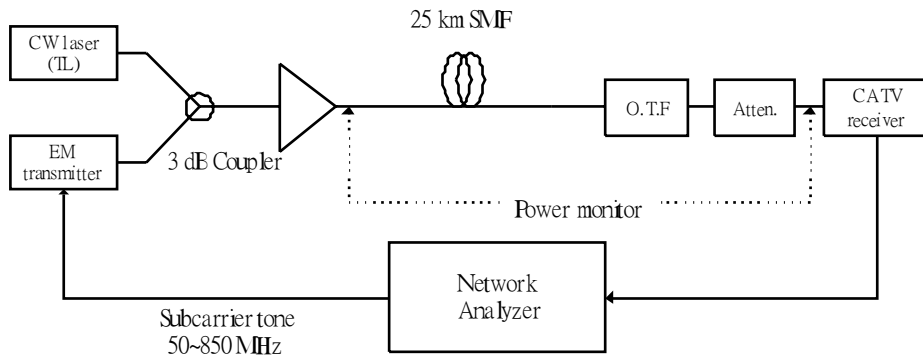
## 3. 討論

在實驗的過程中，若在光源的輸出端加一個光極化控制器來調整兩者的相對極化方向，我們發現，在某些條件之下，由 SRS 及 XPM 所產生的串音會很小，特別是在低頻段的部份。這也許是因為兩個垂直的極化光有最小的非線性交互作用所導致。

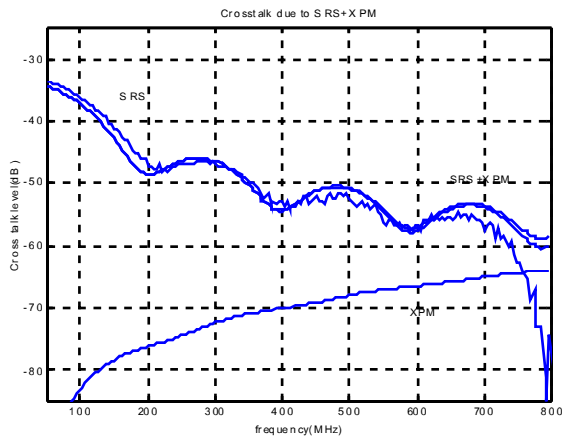
由等式(1)及等式(2)知：(1)調變光源輸出功率增加 1dB，則串音的大小就增加 2dB。(2)低頻段的串音主要來自於 SRS；XPM 所造成的影響則是隨頻率增加而增大。(3)在波長間隔大時，SRS 的現象為串音產生的主因；在波長間隔小時，串音的主要來源是 XPM。(4)隨著長度增加，XPM 所造成的串音會越大；SRS 所造成的影響則在大於某一傳輸距離後幾乎不隨光纖長度變化。

## 四、參考資料

- [1]. Mary R. Phillips and Daniel M. Ott, "Crosstalk Due to Optical Fiber Nonlinearities in WDM CATV Lightwave Systems," *J. Lightwave Tech.*, vol. 17, pp. 1782-1792, Oct. 1999

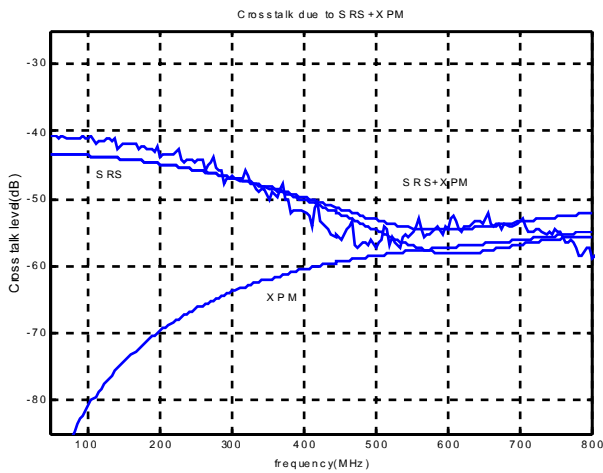


圖(一)crosstalk 量測的實驗設置



**SMF 25km**  
**Mod: 1552nm 15.4dBm**  
**CW: 1540nm 6.5dBm**  
 $G_{ps}=7.5 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{w}$   
 $D=17 \text{ ps/nm/km}$   
 $\alpha=0.2 \text{ dB/km}$   
 $n_2=2.35 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$   
 $A_{eff}=80 \times 10^{-12} \text{ m}^2$

圖(二 a)波長間隔大時的串音現象



**SMF 25km**  
**Mod: 1552nm 15dBm**  
**CW: 1548nm 7.5dBm**  
 $G_{ps}=2.5 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{w}$   
 $D=17 \text{ ps/nm/km}$   
 $\alpha=0.2 \text{ dB/km}$   
 $n_2=2.35 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$   
 $A_{eff}=80 \times 10^{-12} \text{ m}^2$

圖(二 b) 波長間隔小時的串音現象