

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

光纖架空接地線振動耐久性及其訊號衰減評估技術

(裝

服務機關：台灣電力公司

出國人 職 稱：化學師

姓 名：鄭錦榮

出國地區：日本、德國

出國日期：90 年 7 月 16 日~90 年 7 月 31 日

報告日期：90 年 9 月 25 日

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：光纖架空接地線振動耐久性及訊號衰減評估技術	
出國計畫主辦機關名稱：台灣電力公司人事處	
出國人姓名/職稱/服務單位：鄭錦榮/十一等化學師/電力綜合研究所化學研究室	
出國計畫 主辦機關 審核意見	☐ 1. 依限繳交出國報告 ☐ 2. 格式完整 ☐ 3. 內容充實完備。 ☐ 4. 建議具參考價值 ☐ 5. 送本機關參考或研辦 ☐ 6. 送上級機關參考 ☐ 7. 退回補正，原因： ☐ (1) 不符原核定出國計畫 ☐ (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 ☐ (3) 內容空洞簡略容 ☐ (4) 未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 ☐ (5) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子 ☐ 8. 其他處理意見
層轉機關 審核意見	☐ 同意主辦機關審核意見 ☐ 全部 ☐ 部分 _____ (填寫審核意見編號) ☐ 退回補正，原因： _____ (填寫審核意見編號) ☐ 其他處理意見：

說明：
 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

總經理： _____ 主 管 處 主 管 位 單 位 主 管 報告人： _____
 副總經理： _____ 主 管 處 主 管 位 單 位 主 管

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：光纖架空接地線振動耐久性及訊號衰減評估技術

頁數 24 含附件：☐是 ☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司人事處/陳德隆

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：鄭錦榮/十一等化學師/電力
綜合研究所化學研究室

出國類別：☐1 考察 ☐2 進修 ☐3 研究 ☒4 實習 ☐5 其他

出國期間：90 年 7 月 16 至 31 日 出國地區：日本、德國

報告日期：90 年 9 月 25 日

分類號/目

關鍵詞：光纖架空接地線、光極化

內容摘要：(二百至三百字)

在架空電纜系統中，光纖架空接地線（OPGW）主要功能為防止電擊短路及線內光纖可作為資料傳遞通訊用。產品的應用以歐、日系統為廣泛，兩系統在光纖接地線的構造差異，主要為光纖的固定型式及套管材質，在日系產品中光纖為扇型槽式（Spacer type）固定、外殼為鋁管，歐系光纖則採用鬆管式（Loose type）填充液膠固定、外殼為不銹鋼管。歐、日兩

種光纖的固定及封套管方式，在網紮、震動疲勞、DC 電阻、機械強度、腐蝕、訊號衰減、暫態電流、配置長度、固定方式等皆有所異同，由於光纖架空接地線隨著輸配電鐵塔會途經各種鹽害及潮濕地區，加上風力的振動，亦會構成光纖架空接地線保護套、鋁包鋼線、光纖等腐蝕或斷裂。本次職到日本 FUJIKURA 公司分別拜會 FUJIKURA 日本總代理三井物產株式會社通信機械、電線部，FUJIKURA 木場總部及沼津光纖架空接地線製造工廠，分別與相關人員研習光纖架空接地線腐蝕環境中應力對循環週期的影響。德國 ALCATEL 公司在蒙薛恩-格拉巴赫工廠參觀光纖架空接地線製造及研習光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗。此外亦分別赴日本 ANDO 公司研習光纖架空接地線材料應力檢測分析技術，探討裸光纖的應力分析方法及赴德國 AGILENT 公司波布林根研發中心研習通訊元件訊號衰減的量測的儀器應用，了解光譜分析及光的極化等特性。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

報告內容

報告內容.....	1
圖表目錄.....	6
一、研習概況.....	7
二、簡介.....	8
三、光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗及腐蝕環境中應力對循環週期的影響.....	9
3.1 光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗.....	9
四、光纖的應力分析方法.....	12
4.1 光纖斷裂特性分析.....	12
4.2 偉佈統計分析（Weibull Statistical Analysis）.....	13
4.3 實驗方法.....	16
五、光的極化持性.....	18
5.1 光的極化.....	18
5.2 極化模色散的測量.....	18
5.3 光纖 PMD 的量測.....	19
5.4 PMD 的量測方法.....	19
六、實習後觀感.....	20
七、參考文獻.....	21

圖表目錄

圖 3-1：振動導線在夾板的機械應力分佈	22
圖 3-2：振動頻率的偵測.....	22
圖 3-3：S-N 曲線及 CIGRE 安全邊界線.....	23
圖 3-4：應力聚積曲線及 S-N 曲線	23
圖 3-5：應力聚積曲線及 S-N 曲線介定使用壽命的破損機率.....	24
圖 4-1 代表性偉佈破裂機率（G）與破壞應力（S）之關係曲線圖	24
圖 4-2 光纖拉力試驗之夾具.....	25
圖 4-3 光纖兩點彎曲強度試驗之示意圖	25
圖 4-4 光纖兩點彎曲強度試驗之夾具	26
圖 5-1 光纖 PMD 的量測	26
圖 5-2：INTERFEROMETRY	27
圖 5-3：JONES MATRIX EIGENANALYSIS	27
圖 5-4：CYCLE COUNTING	28
圖 5-5：FOURIER ANALYSIS	28

一、研習概況

研習計畫：光纖架空接地線振動耐久性及訊號衰減評估技術

行 程	機研習機構	詳 細 工 作 內 容
-----	-------	-------------

7/17~7/18	日本 ANDO 公司	研習光纖架空接地線材料應力檢測分析技術
-----------	------------	---------------------

7/19~7/21	日本 FUJIKURA 公司	研習光纖架空接地線腐蝕環境中應力對循環週期的影響
-----------	----------------	--------------------------

7/23-7/24	德國 AGILENT 公司	研習通訊元件訊號衰減的量測的儀器應用
-----------	---------------	--------------------

7/25-7/29	德國 ALCATEL 公司	研習光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗
-----------	---------------	----------------------

二、簡介

在架空電纜系統中，光纖架空接地線 (OPGW) 主要功能為防止電擊短路及線內光纖可作為資料傳遞通訊用。產品的應用以歐、日系統為廣泛，兩系統在光纖接地線的構造差異，主要為光纖的固定型式及套管材質，在日系產品中光纖為扇型槽式固定、外殼為鋁管，歐系光纖則採用鬆管式填充液膠固定、外殼為不銹鋼管。歐、日兩種光纖的固定及封套管方式，在網紮、震動疲勞、DC 電阻、機械強度、腐蝕、訊號衰減、暫態電流、配置長度、固定方式等皆有所異同，由於光纖架空接地線隨著輸配電鐵塔會途經各種鹽害及潮濕地區，加上風力的振動，亦會構成光纖架空接地線保護套、鋁包鋼線、光纖等腐蝕或斷裂。本次職到日本 FUJIKURA 公司分別拜會 FUJIKURA 日本總代理三井物產株式會社通信機械、電線部，FUJIKURA 木場總部及沼津光纖架空接地線製造工廠，分別與相關人員研習光纖架空接地線腐蝕環境中應力對循環週期的影響。德國 ALCATEL 公司在蒙薛恩-格拉巴赫工廠參觀光纖架空接地線製造及研習光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗。此外亦分別赴日本 ANDO 公司研習光纖架空接地線材料應力檢測分析技術，探討裸光纖的應力分析方法及赴德國 AGILENT 公司波布林根研發中心研習通訊元件訊號衰減的量測的儀器應用，了解光譜分析及光的極化等特性。

三、光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗及腐蝕 環境中應力對循環週期的影響

3.1 光纖架空接地線的風力振動疲勞模擬實驗

3.1.1 量測目的：

- (1)經由量測數據可有效掌握導線的空氣振動行為及評估光纖架空接地線振動破損的風險
- (2)收集現場資料，建立資料庫，協助光纖架空接地線設計改善

3.1.2 量測目標：

- (1)定量評估振動的危險性
- (2)驗收前判斷是否需要阻尼量測
- (3)評估導線破損時的振動強度，確認振動導致破損及提出抑制對策
- (4)評估導線安裝阻尼系統後的效果
- (5)訂立檢測及維護週期
- (6)評估導線與各種固定接頭(suspension clamps, dampers and spacers)的振動強度
- (7)提供實驗室評估阻尼系統的補充資料
- (8)驗證振動原理

3.1.3 光纖架空接地線的疲勞機理

- (1)光纖架空接地線包括同心層螺旋狀絞線，絞線間鄰近的鋁包鋼線相互接觸，每一鋁包鋼線間的張應力會導致兩線間的壓力，構成絞線間摩擦，摩擦力通常較滑動力為高，因此其他配件的鉗固壓力更會使光纖架空接地線更為惡化。
- (2)光纖架空接地線的往復運動，主要是接地線受到振動，導致在支撐鉗固器中產生滑動，當振動的頻幅增加時動態的彎曲應力同時增加，當在特定的振幅時，彎曲應力與在表面破損的接觸面形成裂縫延伸，裂縫沿著絞線成長，此種腐蝕形態稱為磨擦疲勞。

3.1.4 量測步驟(1)量測步驟的選擇如圖 3-1

- 破損機率的評估
- 破損偵測
- 阻尼設計效率的評估
- 導體與固定器特性評估

(2)測試週期的選擇如圖 3-2

(3)振動量測設備的需求

(4)量測誤差的原因

(5)資料減量與貯存

3.1.5 彎曲振幅換算為彎曲應力或應變

$$\sigma_b = K * Y_b$$

$$\sigma_b = E_a * \epsilon_b$$

Poffenberger-Swart formula $E_a * d * p^2$

$$K = \frac{E_a * d * p^2}{4 * (e^{-p * x} - 1 + p * x)} \quad [N/mm^3]$$

3.1.6 現場量測的評估•常用疲勞範圍資料如圖 3-3

S-N-curves 如圖 3-4

CIGRE Saft Border Line 如圖 3-4

EPRI Endurance Limits

IEEE Strain Level

•危險度評估如圖 3-5

最少使用壽命預估

最大應力應變評估

四、光纖的應力分析方法

4.1 光纖斷裂特性分析

所有的材料若受到外力的作用時會產生形變，當此應力超過某一定值之後，材料就會產生破壞。根據破壞力學[1]，一裂縫長度為 c 的材料，在一外在應力 σ_t 的作用下，其應力強度因子 (stress intensity factor) K_I 定義為：

$$K_I = Y \sigma_t \sqrt{c} \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

其中 Y 是與裂縫尖端形狀應力場大小的量。因此在判斷裂縫是否生長時，不是利用應力強度而是以應力強度因子 K_I 來判斷。由方程式 (4-1) 可以得知 K_I 值會因負荷、試片的形狀和裂縫的大小的不同而改變。

換句話說，當一材料承受負荷時只要其應力強度因子大於某一數值時，即會斷裂。該數值是應力強度因子的極限值，稱為材料的破壞韌性 (fracture toughness) 或臨界應力強度因子 (critical stress intensity factor)，通常以 K_{Ic} 表示。因此當材料的應力強度因子 K_I 小於材料的臨界應力強度因子 K_{Ic} 時，裂縫仍在安全範圍內。否則裂縫會急遽延伸，導致材料斷裂。於是材料的臨界應力強度因子 K_{Ic} 就成為材料是否會產生破裂的一個重要的判斷依據。 K_{Ic} 值較低表示只能忍受很小的裂縫， K_{Ic} 值較高表示裂縫即使生成亦不易斷裂。所以式 (4-1) 可改寫成：

$$K_{Ic} = Y \sigma_f \sqrt{a} \dots\dots\dots (4-2)$$

其中 σ_f 為破裂應力強度

a 為臨界缺陷長度

Y 為形狀幾何常數，就光纖同心材質截面圓而言〔2〕：

單軸拉力時破裂缺陷分佈於圓內（Penny Shape Crack），

$$Y = 2 / \pi^{1/2} = 1.13$$

兩點彎曲時破裂缺陷分佈於圓邊（Penny- shaped Edge Crack），需乘

上修正因子 1.12，

$$Y = 1.13 \times 1.12 = 1.27$$

而一般石英玻璃的 $K_{Ic} = 0.789 \text{ MN/m}^{3/2}$ 〔3〕。

4.2 偉佈統計分析（Weibull Statistical Analysis）

玻璃纖維是脆性材料的一種，其應力強度取決於表面裂縫的大小，因此應力強度值會分佈在某一範圍內。對於玻璃纖維等脆性材料的應力強度分佈以採用偉佈所提出之最弱環節模式（the weakest link model）最為符合〔4〕。陶瓷等脆性材料的破壞是從材料中強度最小，為裂縫最大的位置開始，稱為最脆弱環節理論（the weakest link theory）。

偉佈統計方法假設脆性材料受力而破裂是從一個最嚴重的缺陷（most critical flaw）或裂縫（crack）開始〔5-6〕，因為各種大小的缺陷分佈在材料中，當材料之體積（ V ）受應力（ S ）時，材料之破裂機率（ G ）可

以下式 (4-3) 表示：

$$G = 1 - \exp \left[- \int_V \left(\frac{S - S_u}{S_m} \right)^m dV \right] \dots\dots\dots (4-3)$$

脆性材料受力，又常常從材料表面的一個最嚴重缺陷(surface flaw) 開始破裂，如果材料破壞是由表面的缺陷控制時，其表面積總共為 A，則其破裂機率 (G) 可以下式 (4-4) 表示：

$$G = 1 - \exp \left[- \int_A \left(\frac{S - S_u}{S_m} \right)^m dA \right] \dots\dots\dots (4-4)$$

以上公式中之係數說明如下：

m = 偉佈係數 (Weibull modulus)；

S_u = 量測得到之最小破壞應力，低於此應力值，無試樣破壞發生；

S_o = 標準化因子 (normalizing factor)；

($S_u + S_o$) = 高於此應力值，全部試樣都破壞了；

S_m = 破壞應力之中間值，即 50% 破壞機率之應力，而且 $S_m \approx S_{(averaged)}$

脆性材料之強度 (破壞應力) 測試所得之結果，應用偉佈統計方法，以上二公式均可以繪出破裂機率 (G) 與破壞應力 (S) 之關係曲線，如圖 4-1。

圖 4-1 之破壞應力分佈曲線同時也顯示了材料中最嚴重缺陷分佈(most critical flaw distribution) 曲線，材料之最嚴重缺陷 (critical flaw size) 越大，圖中曲線越靠左邊。公式 (4-3) 表示材料受力之體積越大，發現比較大之

嚴重缺陷的機率也越大，所測試得之強度也就越小。同樣情形，如果材料破壞是由表面的缺陷控制時，則公式（4-4）表示材料受力之表面積越大，發現比較大之嚴重缺陷的機率也就越大，所測試得之強度也就比較越小。

根據偉佈分佈(Weibull's distribution), 在應力為 S , 光纖之表面積為 A , 則發生脆性破壞之機率分佈為：

$$G(S, A) = 1 - \exp[-A H(S)] \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

$$H(S) = (1/A_0)(S/S_0)^m \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

S ：應力

A ：光纖之表面積

$G(S, A)$ ：發生脆性破裂的機率分佈

$H(S)$ ：光纖之強度分佈（或最嚴重傷痕之分佈）

S_0 = 標準化因子 (normalizing factor)

m = 偉佈係數 (Weibull modulus)

其中 m 可由實驗而得。由（4-5）（4-6）式可得 Weibull's equation：

$$G(S, A) = 1 - \exp[-A (1/A_0)(S/S_0)^m] \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

由式（4-7）可得

$$\ln \ln[1/(1-G)] = m \ln(S/S_0) + \ln(A/A_0) \quad \dots\dots (4-8)$$

式（4-8）為一直線方程式。

根據偉佈分佈的推導，我們可以得到斜率 m 的偉佈機率圖 (Weibull

Probability Plot), m 值越小, 表示材料強度越分散, 材料的品質較不穩定。反之, m 值越高表示材料強度較相近, 材質的品質較穩定〔7〕。

4.3 實驗方法

(1) 單軸拉力強度實驗 (Uniaxial Tensile Strength Testing)

拉力試驗是用萬能試驗機在空氣環境中 ($22 \pm 1^\circ\text{C}$, $60 \pm 2\% \text{ RH}$) 以速度 2 mm/min 進行。光纖拉力試驗之夾具是特別設計、製造詳見圖 4-2。實驗之光纖試樣長度 (gage length) 為 0.2 m 。其拉應力強度 (tensile strength, σ_t) 可以用破壞拉力 (F_t) 除以玻璃纖維之面積 (A) 求得：

$$\sigma_t = F_t / A \dots\dots\dots (4-9)$$

因為其玻璃纖維直徑約 0.125 mm , 所以此式中: $A = 0.0123 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ 。

因此拉力強度可以下式表示：

$$\sigma_t = F_t / 0.0123 \times 10^{-6} \quad (\text{GPa}) \dots\dots\dots (4-10)$$

(2) 兩點彎曲強度實驗 (Two-point Bending Strength Testing):

光纖兩點彎曲強度試驗方法之示意圖, 見圖 4-3。實驗室特別設計、製造一台光纖兩點彎曲夾具, 見圖 4-3。兩點彎曲試驗時, 光纖置於兩夾片中, 以手扭轉其微米計直到光纖破裂, 從微米計上即可測量出光纖破裂時兩夾片之間的距離 (D), 則光纖之彎曲應力強度 (σ_b) 可以表示如下式：

$$\sigma_b = 1.198 E_g d_g / (D - d_0) \dots\dots\dots (4-11)$$

此式中， E_g 是玻璃纖維之楊氏係數； d_g 是玻璃纖維之直徑； D 為光纖
破裂時兩夾片之間的距離； d_o 為光纖之直徑，其數值由表得知如下：

$$E_g = 72.2 \text{ GPa}$$

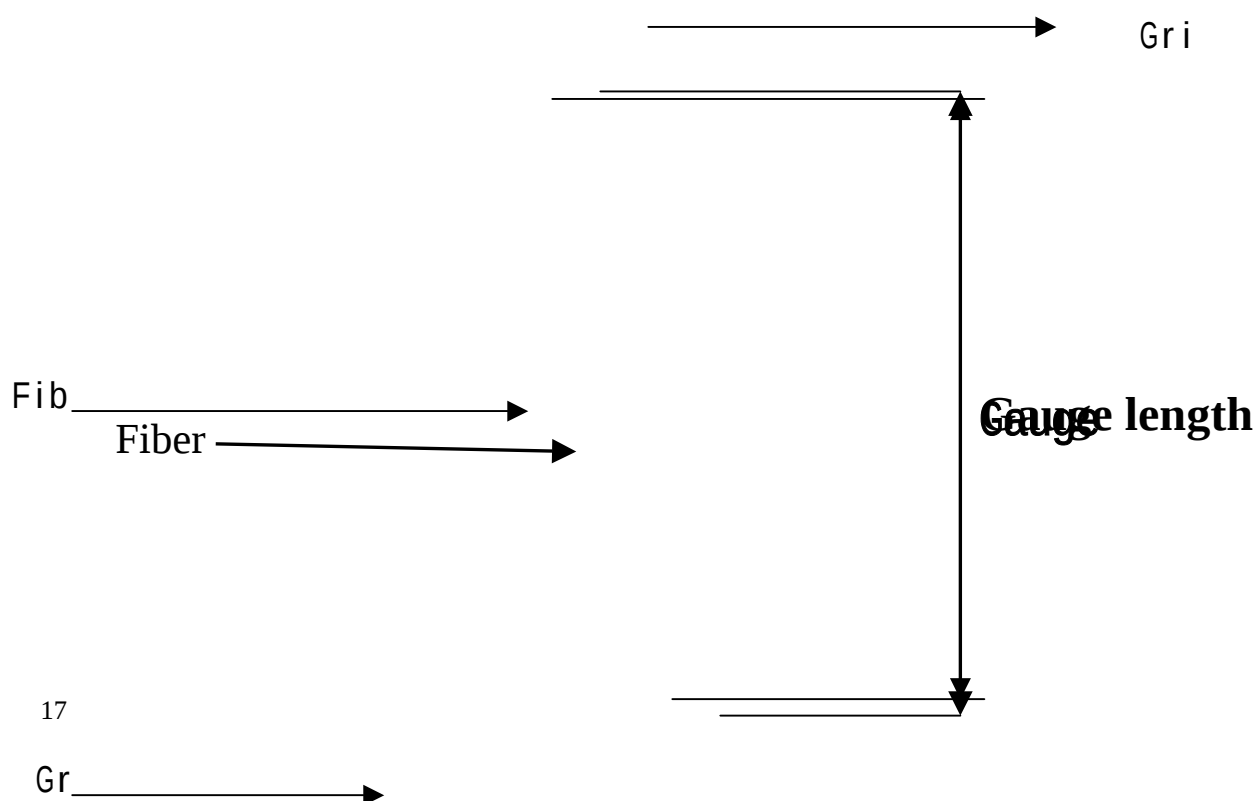
$$d_g = 125 \times 10^{-6} \text{ m}$$

及 $d_o = 250 \times 10^{-6} \text{ m}$

因此，由公式（4-11）可求得光纖之兩點彎曲應力強度：

$$\sigma_b = 0.0108 / (D - 250 \times 10^{-6}) \text{ GPa} \quad (4-12)$$

全部實驗是在空氣環境中（ $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $58 \pm 2\% \text{RH}$ ）測試。



五、光的極化特性

5.1 光的極化

極化光與非極化光的區別主要是極化光為有系統的改變及可預測，非極化光則為亂數的改變及不可預測。

所謂 PMD(polarization Mode Dispersion)極化模的色散是在單模光纖中不同的極化光有不同的到達時間。其主要特性為

- (1) 單模光纖可同時提供兩不同極化光模
- (2) 在特定波長進入的能量被分解為正交模
- (3) 由於內外效應兩模分別以不同速度前進
- (4) 不同群組的延遲(DGD)

因極化模的色散會導致

- (1) 脈沖變寬
- (2) 頻寬受限制
- (3) 資訊傳輸錯誤

5.2 極化模色散的測量

(1) 光纖及光纜製造廠商當製造光纖時需量測 PMD

- $PMD < 0.2 \text{ ps/km}$
- 檢查缺陷及應力
- 檢查纜線因 PMD 會在光纖內改變

(2) 網路

- 當 PMD 到達 100ps 時檢查舊安裝光纖
- 當 PMD 發生改變時需量測新安裝光纖
- 當 PMD 發生改變時檢查網路

(3) 需結合速度、準確及量測範圍

5.3 光纖 PMD 的量測

測試方式詳如圖 5-1

5.4 PMD 的量測方法

- Interferometry 詳如圖 5-2
- Jones Matrix Eigenanalysis(JME) 詳如圖 5-3
- Spectral Scanning(Wavelength Scanning)

Cycle counting 詳如圖 5-4

Fourier Analysis 詳如圖 5-5

六、實習後觀感

本次考察透過日本 FUJIKURA 公司及德國 ALCATEL 公司收集光纖架空接地線的生產、製造、量測及檢驗技術資料，參觀相關實驗設備，有助公司在光纖架空接地線的產品特性評估及破損分析技術的建立。

2000 年網際網路廣泛在全球各地普及使用，21 世紀人類進入寬頻多媒體視訊圖像為主的資訊傳輸通信，已是很明顯的潮流。寬頻通訊技術，除了少部份的無線通信技術外，全都要靠寬頻光纖通信系統技術的研發與應用，尤其以超高容量的 DWDM 系統及元件技術為最重要的基柱，隨著固網的開放，運用台電既有光纖架空接地線及通信設備，可邁向多角化經營。

七、參考文獻

- (1)Kare Hellan, "Introduction to Fracture Mechanics" ,McGraw-Hill, New York,1985.
- (2)B. Lawn, *Fracture of Brittle Solids-Second Edition*, Cambridge University Press, p.31-32, 1993.
- (3)B. Lin and M. J. Matthewson, "Inert strength of subthreshold and post-threshold Vickers indentations on fused silica optical fibers," *Philosophical Magazine A*, 74(5), pp. 1235-1244, 1996.
- (4)Ricardo E. Medrano and Peter E. Gillis, "Weibull Statistics:Tensile and Bending", *J.Am.Ceram.Soc.*, Vol.70, No.10,C230-232,1987.
- (5)W. Weibull, "The phenomenon of rupture in solids," *Igeniors Vetenskaps Akademiens*, Handlingar, 153, pp. 1-55, 1939.
- (6)W. Weibull, "A statistical distribution function of wide applicability," *J. Appl. Mech.*, 18, pp. 293-297, 1951.
- (7)方金生, "塑膠被覆光纖機械性質之研究", 私立逢甲大學, 材料科學研究所碩士論文, 民 85.

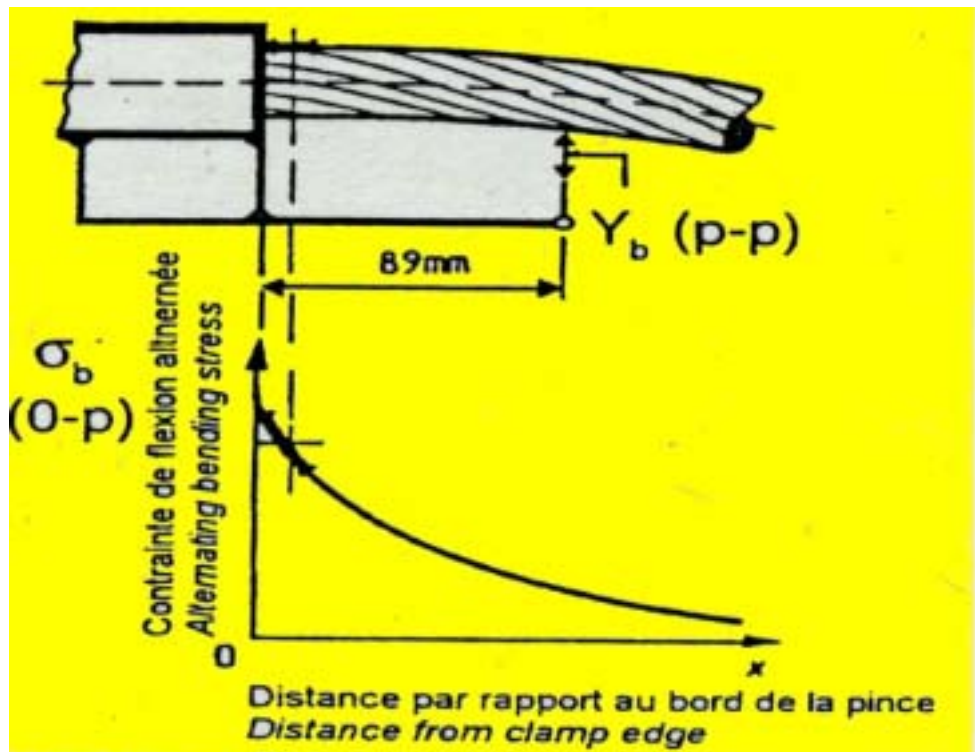


圖 3-1：振動導線在夾板的機械應力分佈

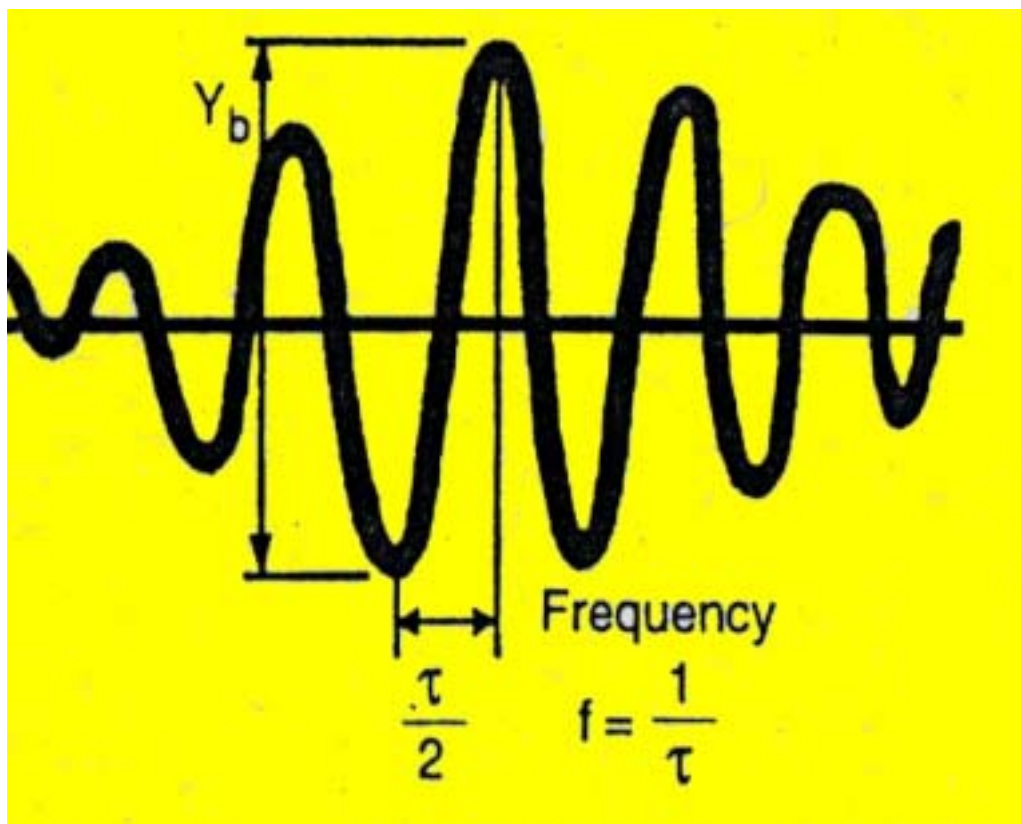


圖 3-2：振動頻率的偵測

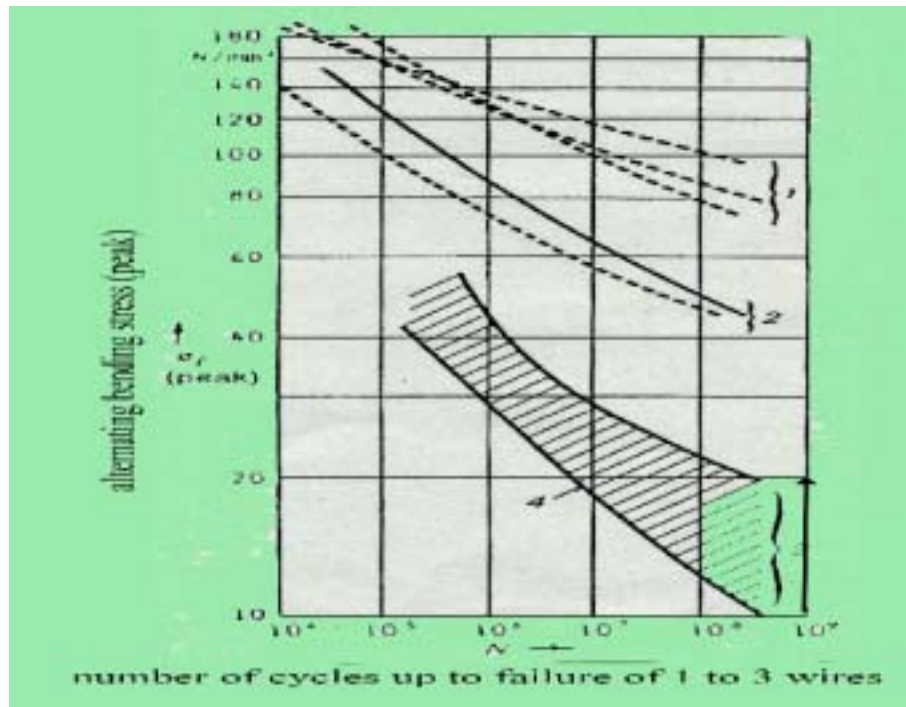


圖 3-3：S-N 曲線及 CIGRE 安全邊界線

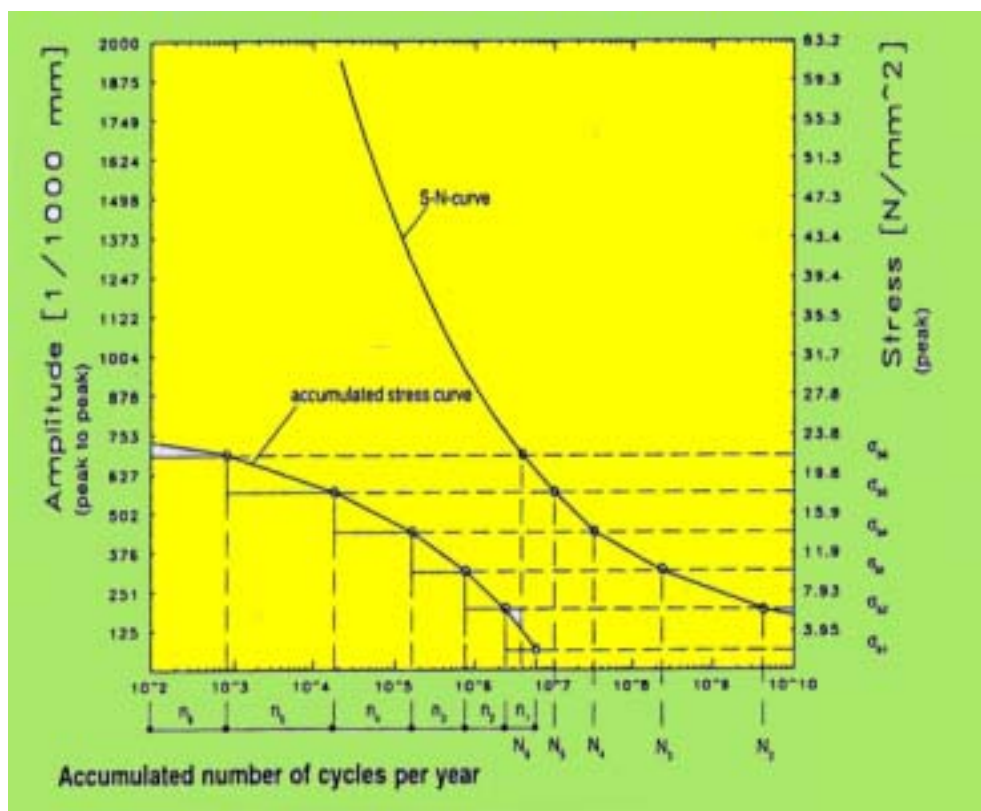


圖 3-4：應力聚積曲線及 S-N 曲線

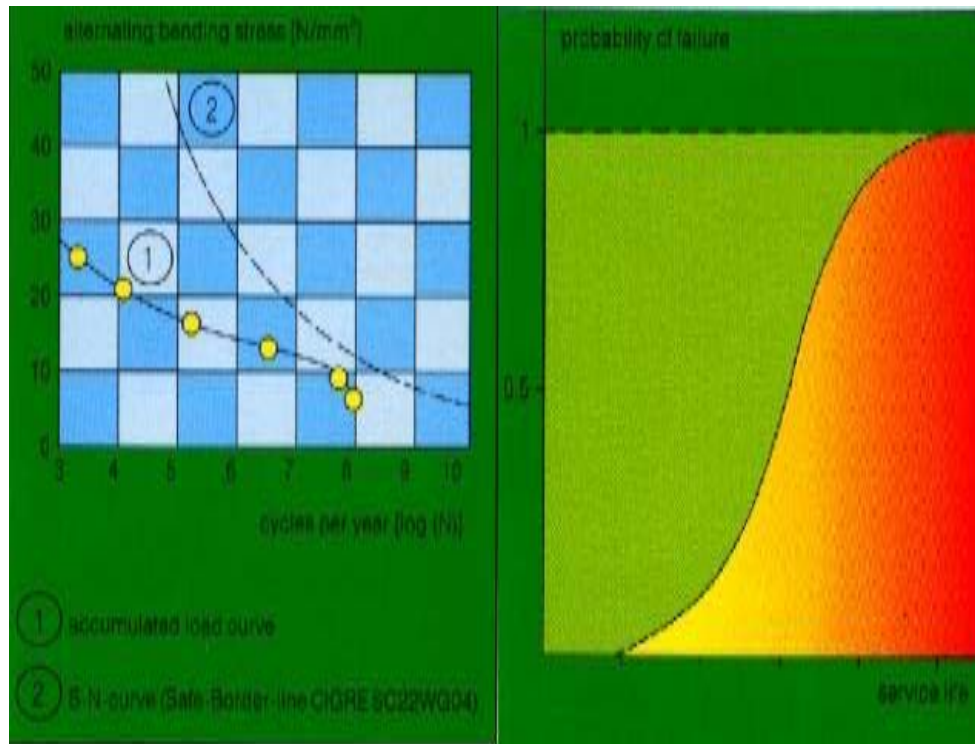


圖 3-5：應力聚積曲線及 S-N 曲線介定使用壽命的破損機率

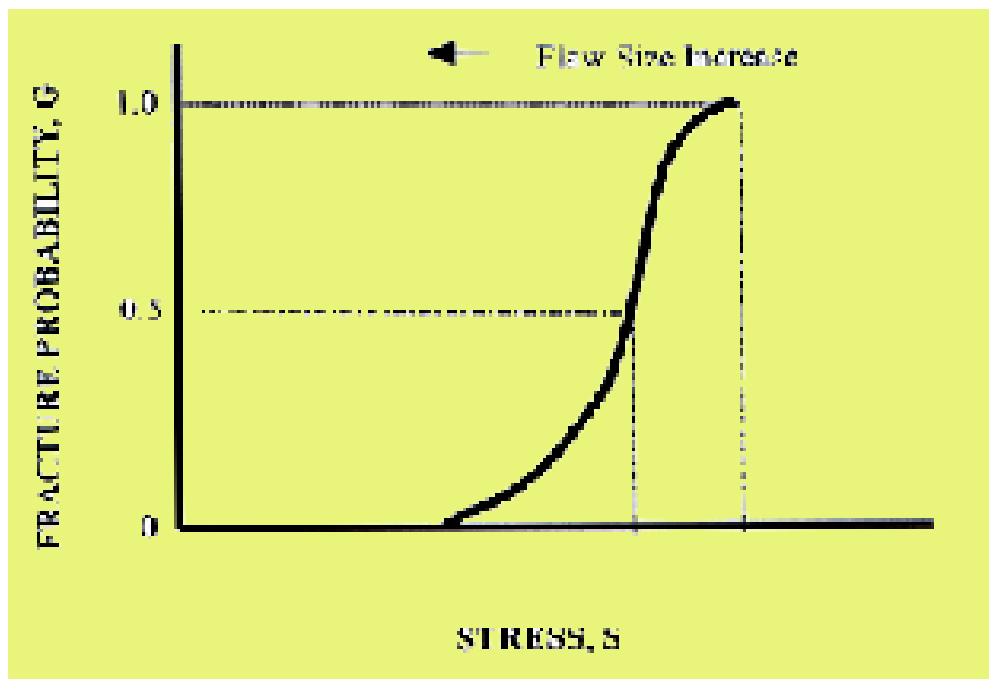


圖 4-1 代表性偉佈破裂機率（ G ）與破壞應力（ S ）之關係曲線圖



圖 4-2 光纖拉力試驗之夾具



圖 4-3 光纖兩點彎曲強度試驗之示意圖

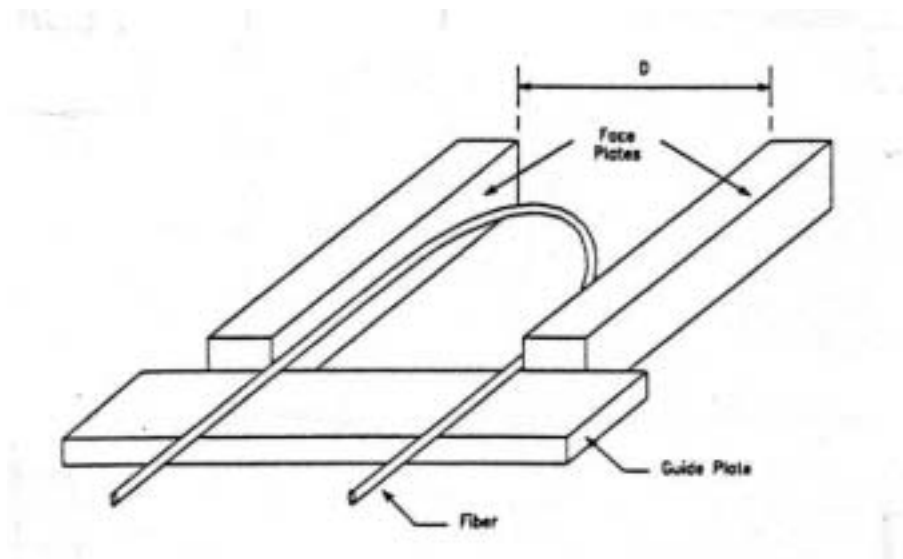


圖 4-4 光纖兩點彎曲強度試驗之夾具

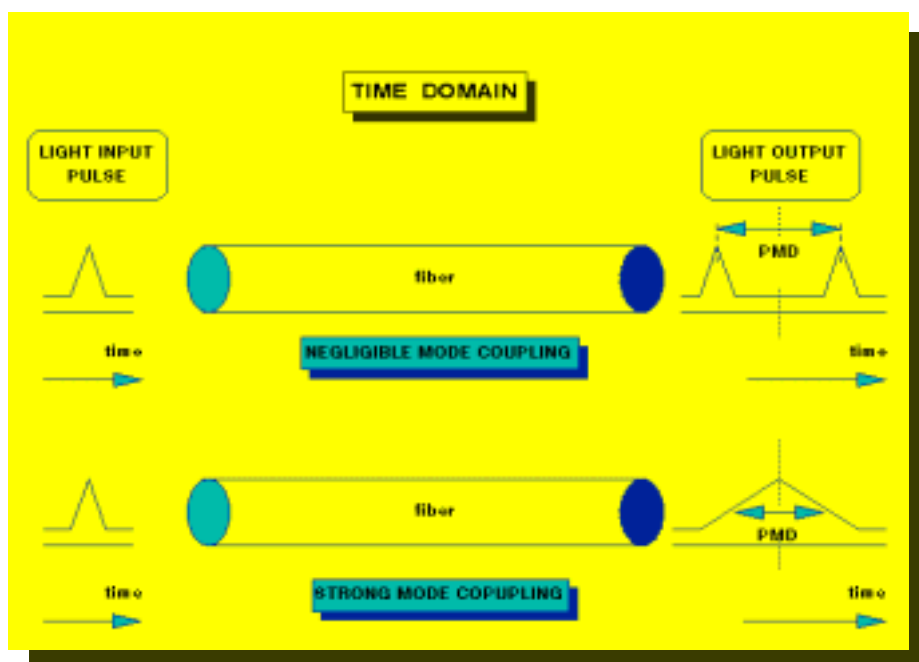


圖 5-1 光纖 PMD 的量測

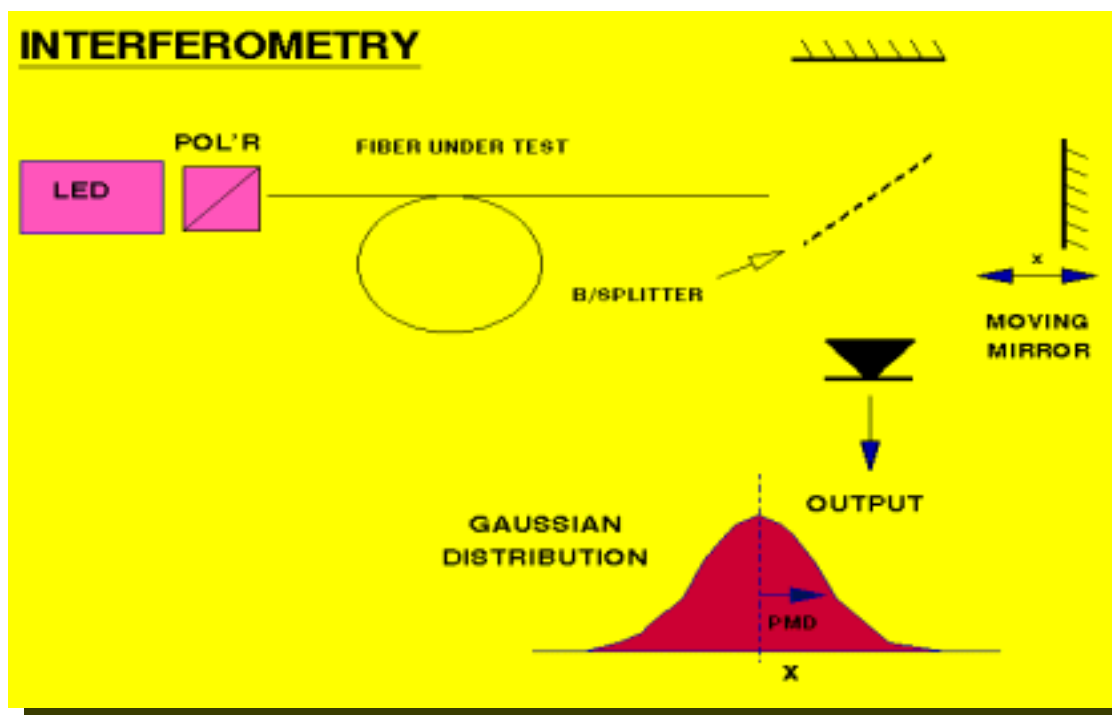


圖 5-2 : INTERFEROMETRY

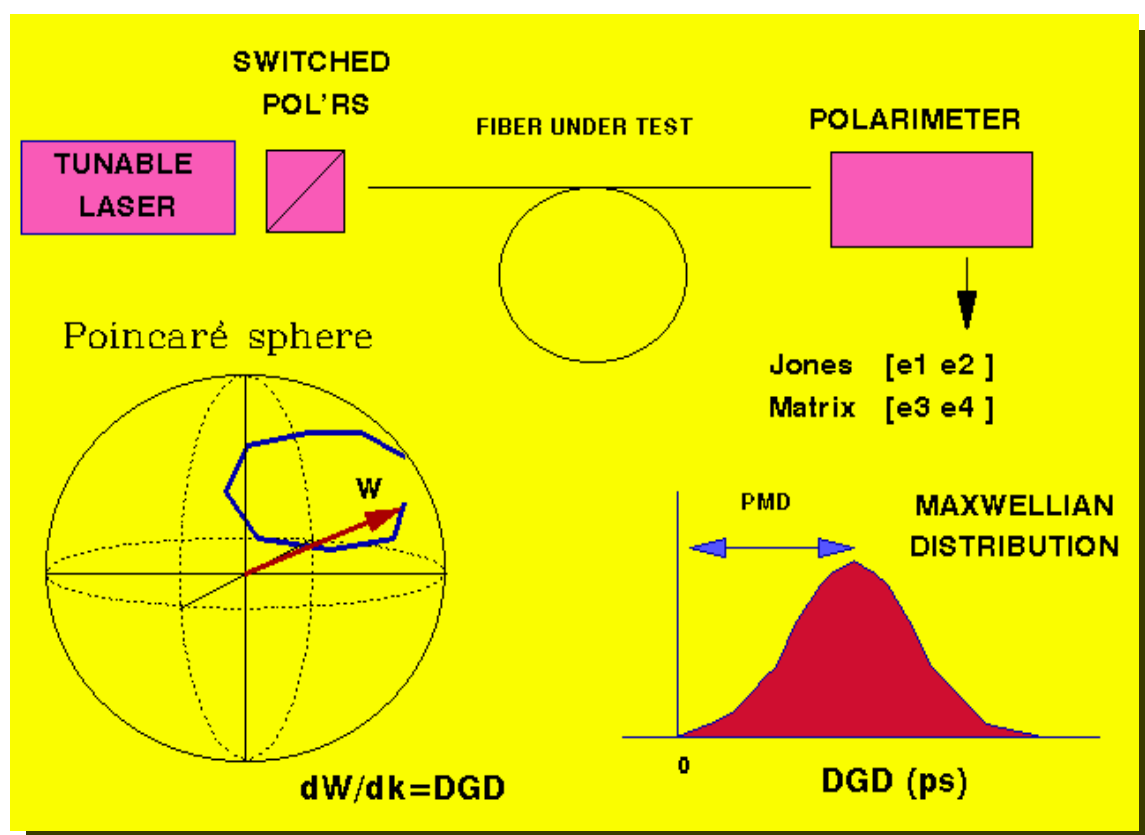


圖 5-3 : JONES MATRIX EIGENANALYSIS

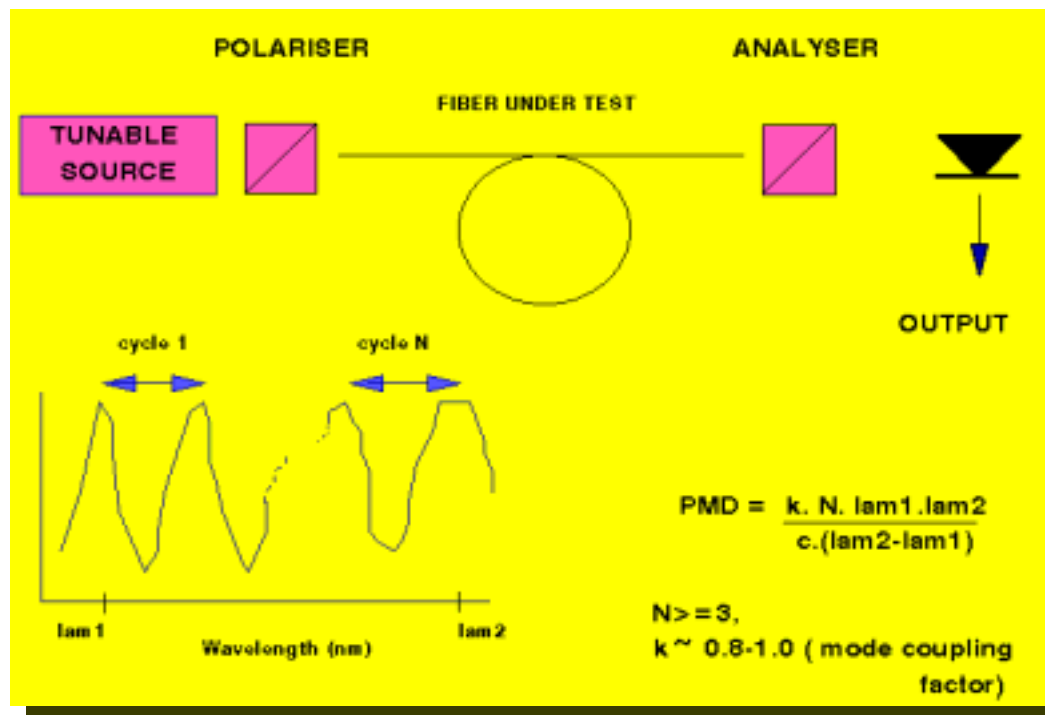


圖 5-4 : CYCLE COUNTING

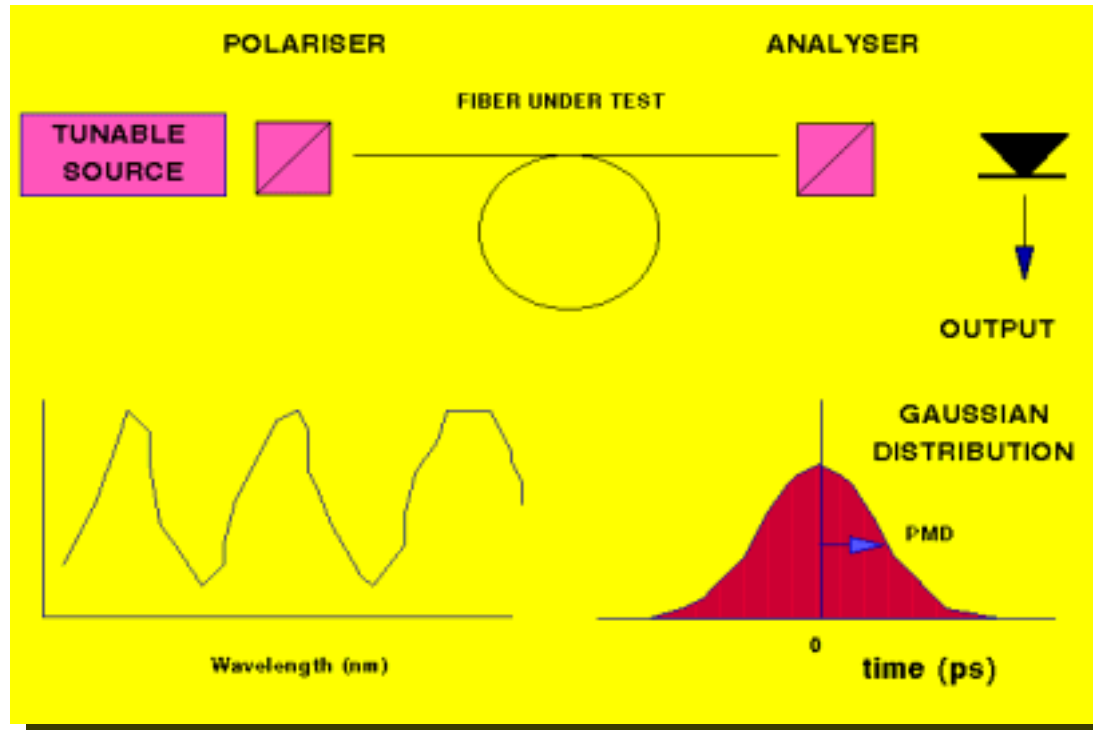


圖 5-5 : FOURIER ANALYSIS