

出國報告（出國類別：實習）

## 變壓器部分放電及繞組溫度感測裝置之技術發展與應用

服務機關：台電輸工處北區施工處

姓名職稱：謝政達 六等電機工程師

派赴國家：德國

出國期間：104.11.24~104.12.03

報告日期：105.01.14

# 摘 要

變壓器為變電所之心臟，直接影響著電網，電力設備的故障與絕緣劣化有非常大的關係，若無法在絕緣劣化初期提早發現，恐造成嚴重的異常事故，而絕緣劣化的初期重要徵兆就是部分放電。國外發展之變壓器部分放電監測技術可先期偵測出變壓器異常狀態，相關技術已相當純熟且有實績，值得參考其技術及經驗。

現行變壓器及並聯電抗器之繞組溫度係採用間接(模擬)方式量測，其有溫度感測反應慢、感測溫度誤差大、溫度補償設定不易等缺點，國外發展之繞組光纖溫度監測技術，可將光纖溫度感測器直接埋設於繞組內，以直接讀取繞組最熱點溫度，對於冷卻系統之運轉控制可更為精確，監測之溫度累積數據，亦可作為變壓器老化及剩餘壽命之評估參考。本報告將介紹部分放電偵測系統和繞組光纖溫度監測，以及參訪德國 ALSTOM 和 MR 公司經驗分享與心得和建議。

# 目 錄

壹、實習計畫緣由及目的.....	3
貳、實習行程.....	4
參、部分放電偵測系統.....	7
肆、光纖光柵偵測系統.....	15
伍、心得和建議.....	17

## 壹、實習計畫緣由及目的

變壓器為變電所之心臟，其不僅擔負供電任務亦是電壓調整的舵手，由於大都會區人口密集、用地取得不易，故變電所多採地下化或多目標用途設計，當設備發生異常事故時恐有延燒範圍擴大之疑慮，國外發展之變壓器部分放電監測技術可先期偵測出變壓器異常狀態，相關技術已相當純熟且有實績，值得參考其技術及經驗。

現行變壓器及並聯電抗器之繞組溫度係採用間接(模擬)方式量測，其有溫度感測反應慢、感測溫度誤差大、溫度補償設定不易等缺點，國外發展之繞組光纖溫度監測技術，可將光纖溫度感測器直接埋設於繞組內，以直接讀取繞組最熱點溫度，對於冷卻系統之運轉控制可更為精確，監測之溫度累積數據，亦可作為變壓器老化及剩餘壽命之評估參考。

## 貳、實習行程

### 一、實習地點

德國

### 二、實習時間

日期：104 年 11 月 24 日至 104 年 12 月 03 日

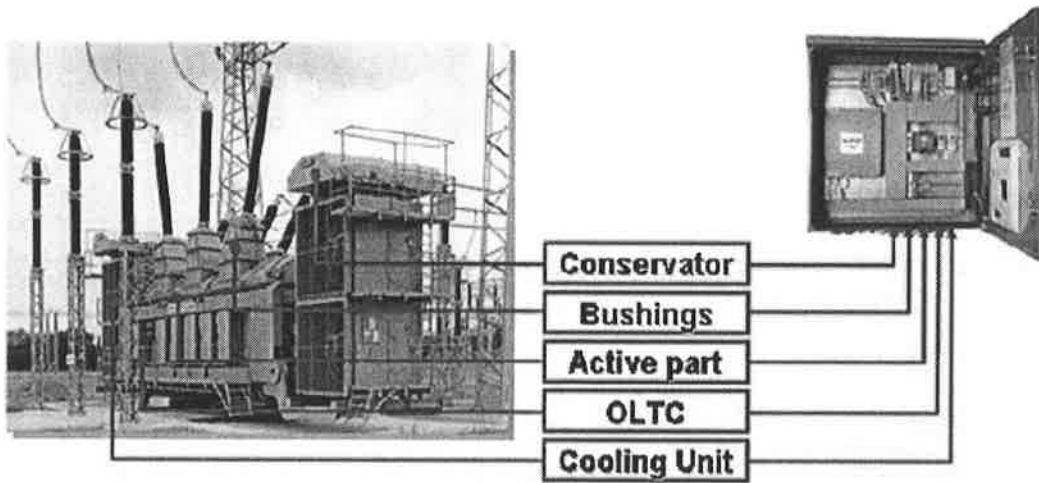
### 三、實習經過

#### (一)、ALSTOM

Alstom 是家法國的公司，總部位於法國巴黎，於 1927 年成立，營業額 230 億歐元，主要業務為電力及軌道交通基礎設施。在電力方面，擁有豐富電網專業知識，從發電、輸電、配電電網之間，提供服務和綜合性的能源管理解決方案，並整合傳統和新的設備裝置。2014 年通用電氣公司 GE 收購 Alstom 旗下全球電力業務。

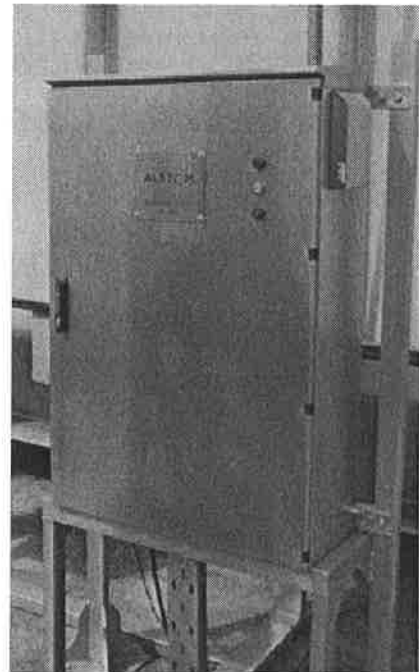
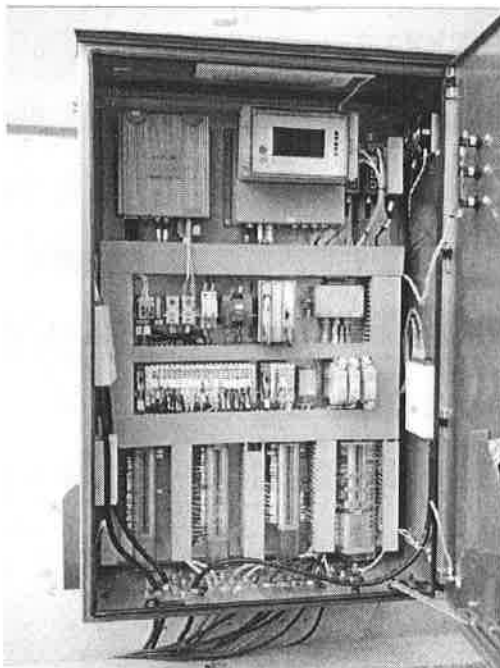
這次的實習是在 Alstom 位於門興格拉德巴赫的設備工廠，因為沒有訂到門興格德巴赫車站附近的旅館，所以我選擇住在杜賽多夫，早上坐火車到門興格德巴赫車站，由 Alstom 的 Nurettin 接待並開車載我到工廠。Nurettin 先在會議室簡介 Alstom 公司歷史及主要銷售產品和實績概況。接下來帶我到工廠參觀變壓器生產製造流程，在過程中也討論到各項品質監測管理。銷售經理 Anh-Tuan 向我介紹變壓器線上監視系統 MS3000，並帶我到機房介紹相關設備接頭，並用電腦模擬異常發生，對應監測系統反應，讓我更能了解體會。

## 1. MS3000 變壓器線上監測系統：



MS-3000 是由 ALSTOM 公司研發的變壓器線上監測系統，可將不同的感測器安裝於變壓器相關設備上 並引至線上監控系統做監視。

### 感測器裝置：



### 軟體系統：

MS3000 能利用專家系統，進行計算分析，並產生周期性報表處理數據。資訊可藉由網際網路傳送到電腦，提供變壓器維修保養相關信息。

電腦監測系統：

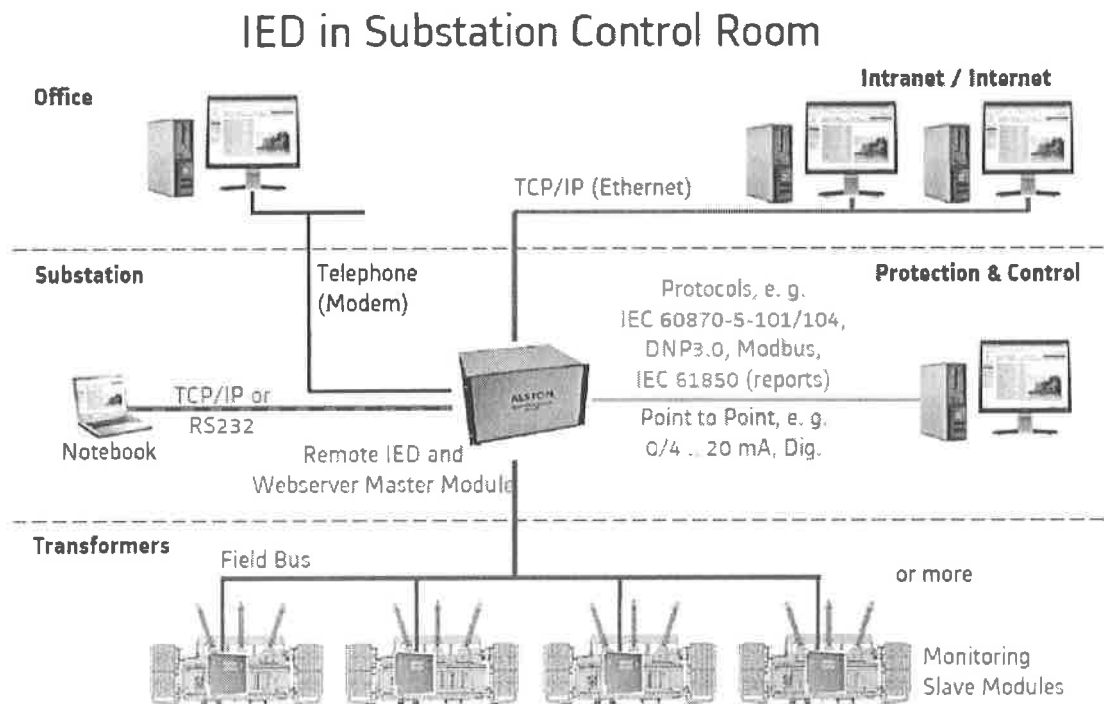
**AREVA**  
 MS 3000 Condition Monitoring and Expert System

8/22/14 11:26:15 AM  
 Eua

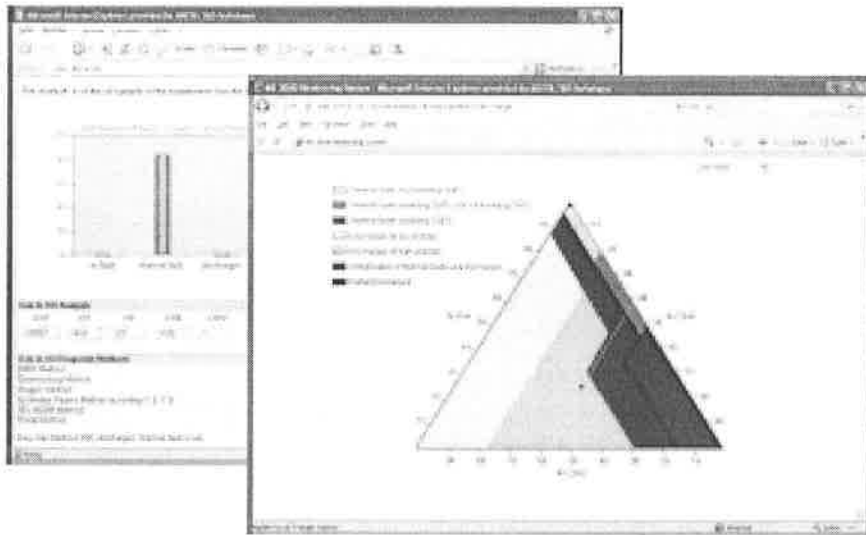
**Status Overview**

	Condition	Active Part	Bushings	Cooling Unit	Tap Changer
Transformer 1	○ ○ ○	active part OK	bushings OK	cooling unit OK	OLTC OK
Transformer 2	○ ○ ○	active part OK	bushings OK	cooling unit OK	OLTC OK
Transformer 3	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 4	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 5	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 6	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 7	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 8	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 9	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled
Transformer 10	○ ○ ○	disabled	disabled	disabled	disabled

監測傳輸介面：



油中氣體分析系統：



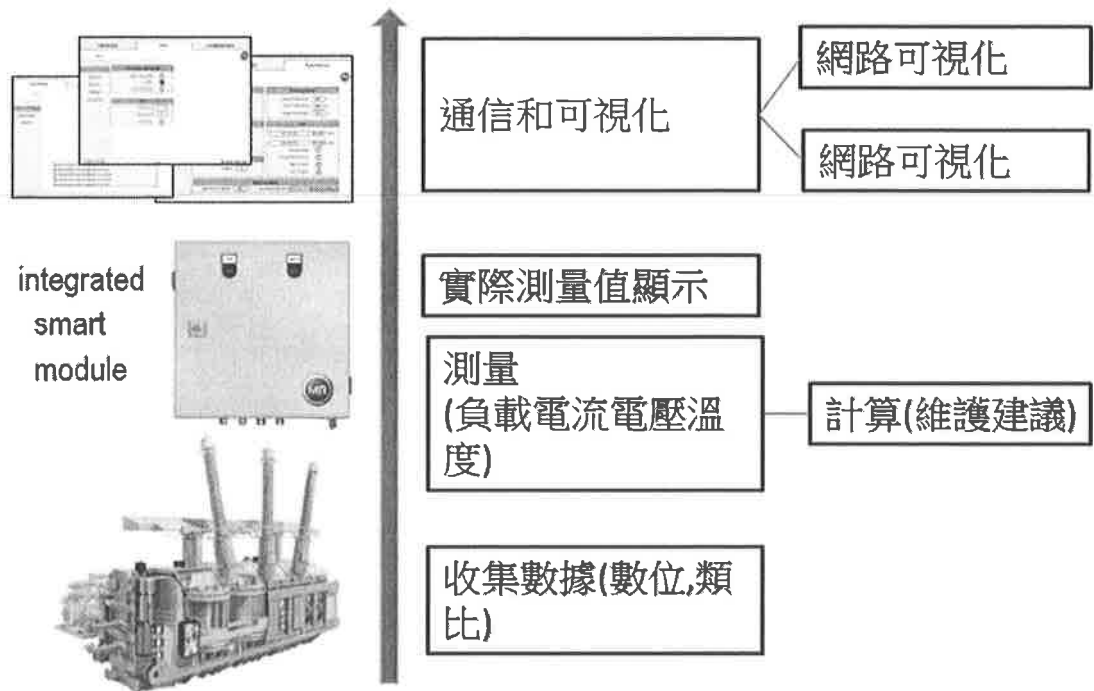
## (二)、MR

MR 集團於 1868 年在德國雷根斯堡建廠，主要核心業務包括電力變壓器的調節，高壓檢測和診斷系統的建造，中空複合絕緣子的生產，無功補償裝置的設計，MESSKO 儀錶設備及信息處理系統。客戶群體包括高壓儀器和設備的生產商、供電企業以及用電量大的大工業企業。

這次接待我的亞太業務經理 Eric 是華人，因此在實習過程能直接講中文，讓我能有更多雙向溝通的機會。行程是安排 MR 在雷根斯堡的子公司 Messko，Eric 經理向我介紹 ISM 監控設備以及 MR 產品特性優勢和在台電實際的應用，並參觀生產工廠。



## 1. ISM(Integrated Smart Module)智慧監控系統：



### (1)、主要功能：

#### i.有載分接頭切換裝置

(i).檔位指示器

(ii).分接頭位置變化統計數據(操作次數、休息時間)

(iii).碳化程度

(iv).接觸頭磨損程度

#### ii.變壓器監測

(i).負載電流和電壓

(ii).有效和無效功率

(iii).溫度(室溫、熱點溫度)

(iv).變壓器保護系統狀態信息

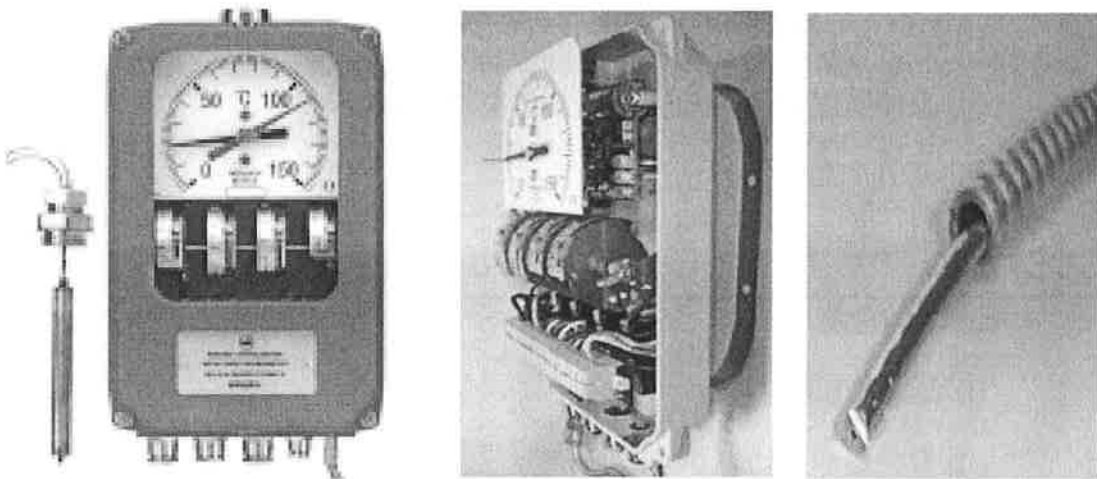
(v).油中氣體分析

## MR 壓器監控設備

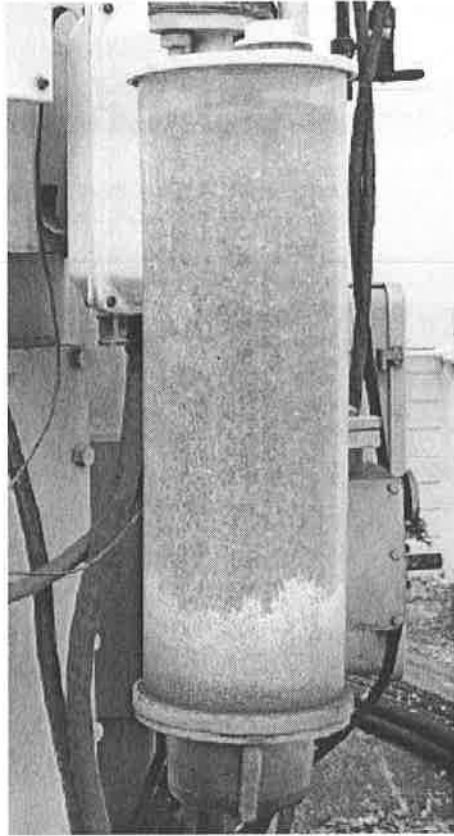


### 2. MESSKO 溫度計：

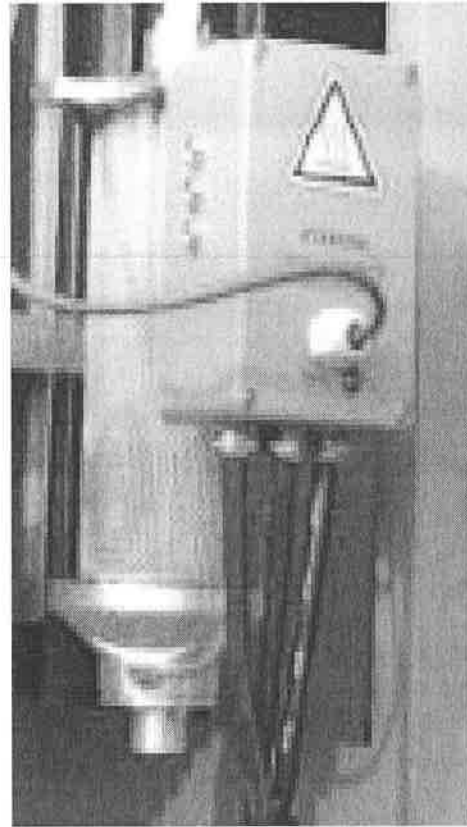
使用波紋管技術，五個微動開關，PT100，可達 IP65 級別，多梯度溫度變化曲線，3mm 直徑的毛細管。



### 3. MESSKO 免維護呼吸器：



傳統呼吸器



MESSKO 免維護呼吸器

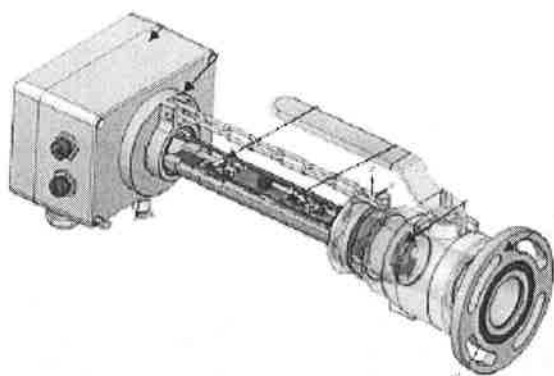
i. 傳統呼吸器缺點：

- (i). 定期檢測
- (ii). 頻繁更換矽膠
- (iii). 清理和更換油槽
- (iv). 處理污染性矽膠
- (v). 增加維護成本

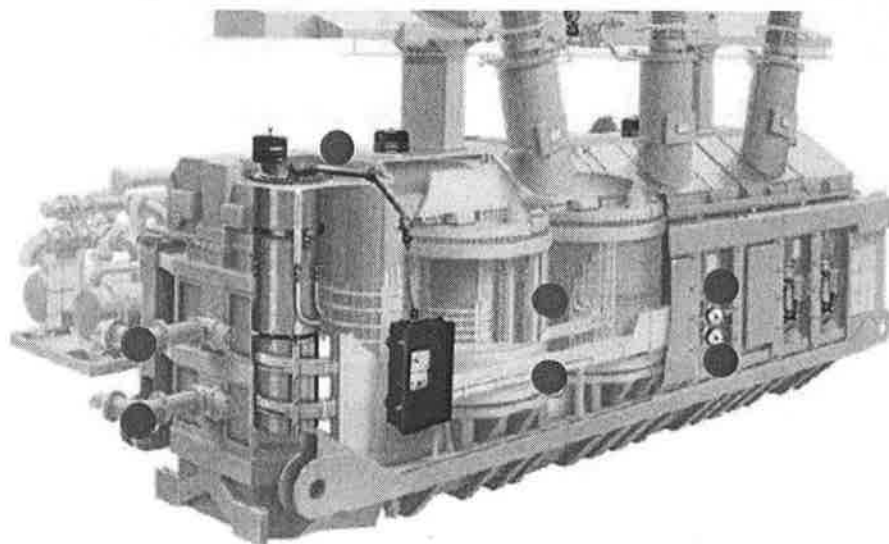
4. 壓力釋放閥：保護變壓器主體以及有載調壓開關



5. 油中氣體分析：分析氫氣、一氧化碳，直接安裝，無須放油



變壓器安裝位置：



## 參、部分放電偵測系統

### 一、原理

部分放電是一種發生於導體和絕緣物間，尚未完全貫穿電極間空間的放電現象。可能發生於固體絕緣材料內部的氣泡、電極至固體絕緣材料的表面，或環繞於氣體中的電極(電暈)。部分放電有不同放電型式，過程分別為：

- (一)、氣體部分放電：帶電體周圍氣體內自由電子進入帶電體電場區域，加速碰撞中性粒子，產生出新電子，使氣體急遽離子化，絕緣材質與周圍氣體發生週期性部分放電，導致絕緣材質劣化，並造成電弧閃絡。
- (二)、固體部分放電：固體絕緣材質品質不良，形成空洞，當電場增強時，空洞內物質離子化且固體與空氣介電常數不同的緣故，當電場強度高於絕緣材質之電場破壞臨界值，將產生放電路徑並造成電弧閃絡。

### 二、電極可能放電的區域

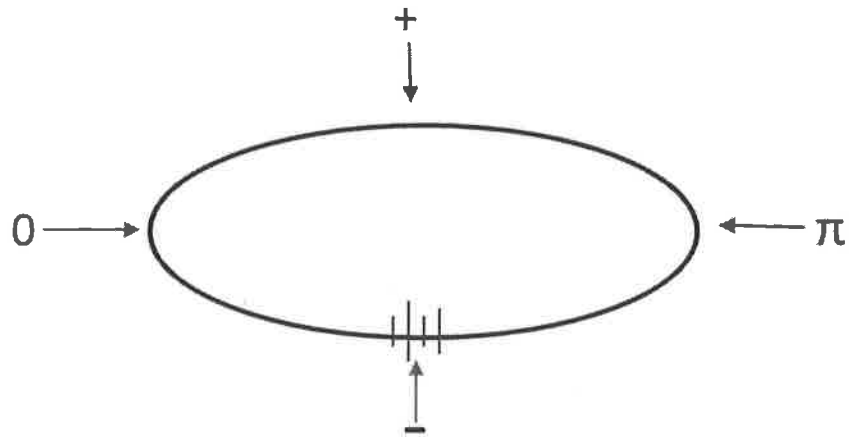
- (一)、鄰近電極面之絕緣空洞放電：  
空洞電場強度高於氣體分子崩潰強度，造成空氣破壞，產生部分放電。
- (二)、電場應力平行表面時沿介電層表面的放電：  
放電發生後產生電場改變，放電現象延伸到原電場強度能引發放電之區域外。高壓電力設備表面放電容易發生在金屬電極與介電層間，且交流電壓會造成不同大小的放電。
- (三)、電力尖銳端放電：  
此種放電稱為電暈，當帶電體表面電位梯度超過空氣的絕緣強度(約30kV/cm)時，會使空氣游離產生電暈放電現象。

### 三、部分放電之種類

#### (一)、電暈放電：

絕緣系統之局部電壓應力超過臨界值時所產生之氣體電離化現象，存在導體表面。當帶電體表面電位梯度超過空氣的絕緣強度(約30kV/cm)時，會使空氣游離並產生電暈放電現象。當高壓電力設備，其常因設計、製造、安裝及維護工作不良而形成電暈放電問題。發生位置為氣體或液體中電極的尖端凸出部份。

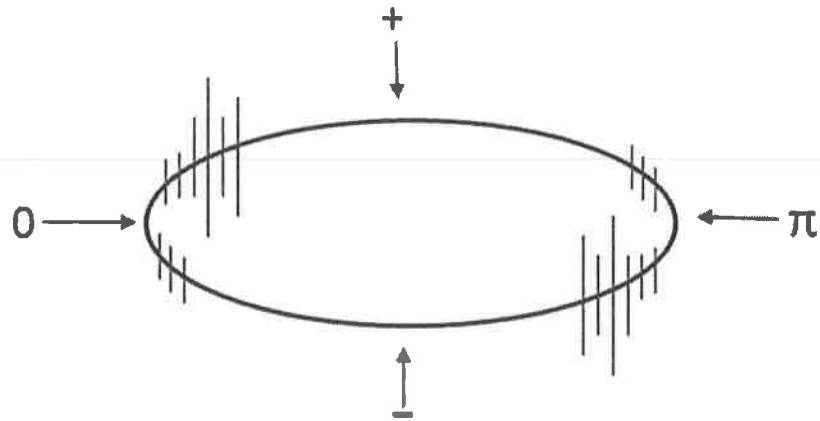
橢圓軌跡圖：



#### (二)、表面放電：

當電場中介質的場分量高於擊穿電場時，則可能出現表面放電，常出現在電纜終端處和導體與介質彎曲表面處。表面部分放電的波形與電極的形狀有關。在氣體及油中受應力作用而產生部分放電。

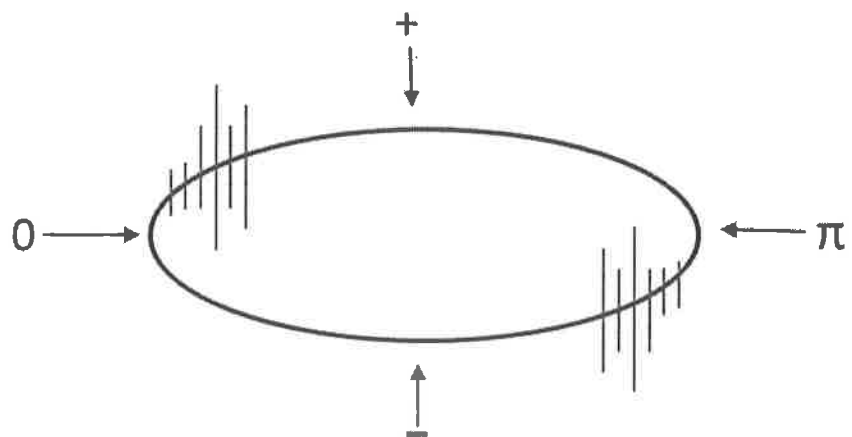
橢圓軌跡圖：



(三)、內部放電：

如絕緣材料中含有氣隙、雜質等，這時介質內部或介質與電極之間可能出現部分放電，特性與介質特性及夾雜物的形狀、大小及位置都有關係。若在充滿油的空隙中，經過部份放電後會產生氣體。

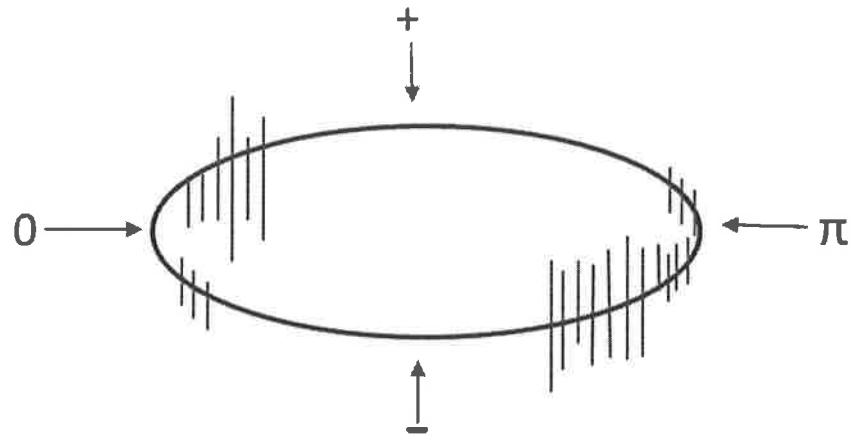
橢圓軌跡圖：



(四)、電樹：

從導體尖端開始，或是從固體絕緣體內部瑕疵，產生像樹枝的形狀。電樹的成長是在加壓後經過一段時間而形成，其樹幹與樹枝變成中空，在其中空內就會發生內部放電現象，當電樹尚未長成的潛伏期，很難偵察出放電的現象；由於電樹快速成長，它可能造成快速崩潰。

橢圓軌跡圖：

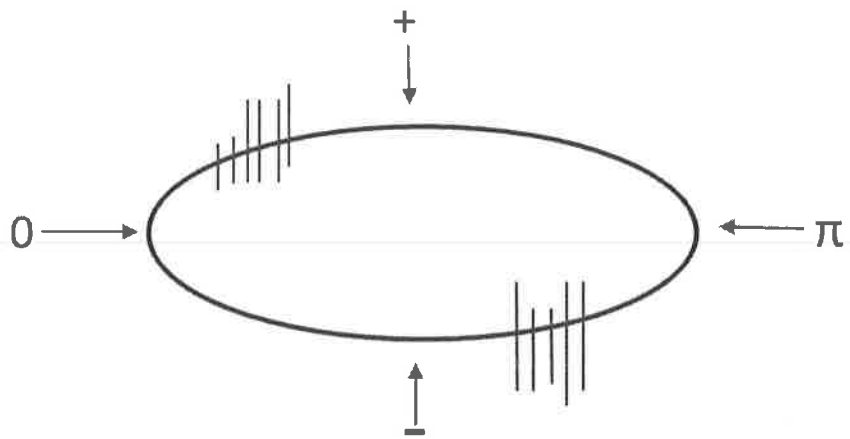


(五)、浮動部份放電：

高壓電路中或靠近高壓電路時由於接地不良所引起的浮動放電。

橢圓軌跡圖：

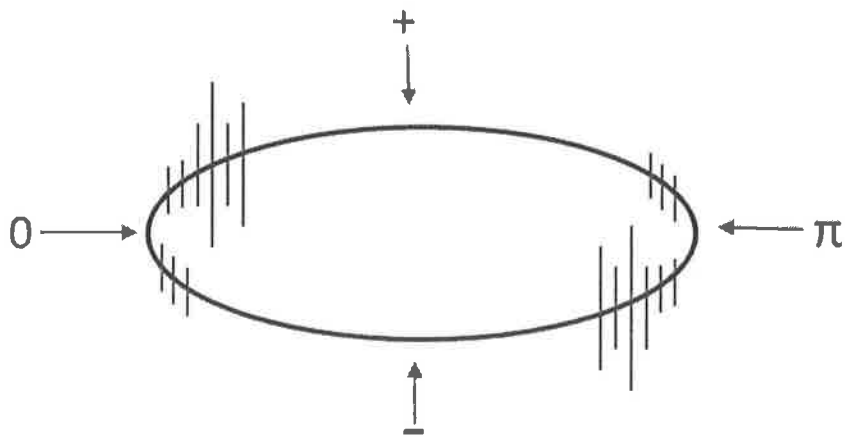




(六)、接點雜訊：

由於受測物接觸不良或接地不良所產生的接觸干擾

橢圓軌跡圖：



由橢圓軌跡圖可看出不同的故障情形有不同局部放電圖譜，表面、內部、電樹放電軌跡圖很相似，難以辨別其中差異性。

四、變壓器的局部放電

變壓器設備中以模鑄式的局部放電現象最為嚴重，模鑄式變壓器使用固體環氧樹脂作為絕緣材料，其介電常數較大。絕緣介質中，引起局部放電的

內部空洞大多數為氣體，由於氣體的介電常數與臨界擊穿的電場比固體與液體都還小，因此氣隙所承受的電場強度比周圍絕緣材料的電場強度較高，當外加電壓達到一定值時，氣隙的電場首先被擊穿，形成了局部放電現象。電力設備在製造過程中，絕緣材料有可能殘留空洞、雜質或產生裂痕等，使得絕緣材料內部的電場強度不同而產生游離，引起局部放電現象，長時間後會導致絕緣破壞，造成設備故障，影響供電品質。局部放電的放電特性主要與絕緣介質特性及夾雜物的形狀、大小和位置有關係。絕緣材料的內部放電是最常發生的局部放電。

## 五、部分放電檢測方法

### (一)、脈衝電流法(電氣訊號檢測方式)：

脈衝電流法是應用最廣泛的檢測方式，也是「IEC60270 部分放電量測標準」中所推薦的量測方式，其檢測出的脈波電流的放電電荷以 Pico Coulomb 為單位，出場標準放電值必須低於 50pc。

#### 1. 原理簡介：

部分放電時脈衝電流產生電荷交換，使被試物兩端出現放電電荷，利用耦合裝置、檢測阻抗所構成之試驗迴路形成脈衝電流，在檢測阻抗兩端可採集到脈衝電壓信號，信號大小正比於被試物的放電電荷。因此通過適當定量方式用檢測阻抗上瞬間電壓來度量放電電荷量。

#### 2. 基本接線方式：

串聯式：被試物絕緣等效電容值很大時，採用此接線方式可提高靈敏度。

平衡式：當現場有雜訊干擾且現場有與被試物絕緣等效電容值相近之設備時，此接線方式能消除現場雜訊之干擾。

並聯式：當設備屬於接地系統時則採用並聯式接線法。

### (二)、超音波檢測技術

超音波檢測技術是種聲學檢測方式，利用部分放電時產生的聲波現象來檢測部分放電的大小和位置，可感測出運轉設備故障、洩漏及電氣放電的高頻聲音。

#### 1. 非接觸式：

利用壓電材質製成的超音波感測器檢測空氣傳播部分放電所產生的超音波，因感測器不與試體直接接觸，檢測距離為最大影響因素，通常用於量測表面放電所產生的電暈。

#### 2. 接觸式(音射檢驗法)：

量測由液體、絕緣材質或金屬傳導部分放電所產生的震動波，將感測器直接黏貼於試體上，當材料內部出現能量不穩定時便有音射現象發生，感測器能偵測材料內部缺陷的行程並判斷變壓器放電位置。

#### 3. 紅外線熱影像法：

紅外線熱影像法係運用光電技術，以偵測物體熱輻射之特定紅外線波段訊號，可將該訊號轉換成可供人類視覺辨視之影像圖形，並可進一步計算出溫度值以及物體表面之溫度分佈情形。

物體溫度若高於絕對零度，隨著原子或分子的熱運動，熱輻射向外發射，以電磁波形式釋放熱輻射能。物體溫度不同，其輻射出的能量和波長都不同，均仍包含紅外線頻譜在內。峰值波長隨溫度降低而變大，波段則變窄。紅外線波長約略介於  $0.75\ \mu\text{m}$  到  $1000\ \mu\text{m}$ ，而人類視覺可查覺之

「可見光」則約略介於  $0.4\ \mu\text{m}$  到  $0.75\ \mu\text{m}$  之間。紅外線在地球表面傳送時，會受到大氣組成物質的吸收，使強度明顯下降，僅在  $1\sim 2.5\ \mu\text{m}$ 、 $3\sim 5.0\ \mu\text{m}$ 、 $8\sim 14\ \mu\text{m}$  有較好之穿透率，這三個波段稱為紅外線大氣透射窗口。紅外線感測器可接受紅外線輻射並轉換為相對應的電信號，以計算並顯示物體的表面溫度分佈。紅外線感測法是非接觸式的溫度感測，因此沒有熱接觸和熱平衡帶來的缺點和限制，特別適用於在線監測。由於紅外線

對極大部份之固體及液體物質的穿透能力極差，因此紅外線熱影像儀器的偵測方式是以量測表面物體輻射的紅外線能量為主。

## 六、各檢測法優缺點

### (一)、脈衝電流法

優點：1.可辨識放電類型 2.可定量分析 3.高靈敏度

缺點：1.易受雜訊干擾 2.須離線測試 3.無法定位放電源位

### (二)、超音波檢測法(非接觸式)

優點：1.可線上即時偵測 2.非電氣式檢測，較安全 3.使用方便 4.可辨識放電類型

缺點：對深層部分放電現象之檢測其靈敏度很低 2.無法準確作放電源定位 3.無法對音射信號作頻譜分析 4.不易做定量之分析

### (三)、音射檢測法(接觸式)

優點：1.雜訊干擾低 2.準確定位放電源位置 3.可對信號作頻譜分析 4.可線上即時偵測 5.可辨識出內部放電 6.能檢測出深層部分放電現象

缺點：1.不易做定量分析 2.須事先將感測器置入緊貼被測物

### (四)、紅外線熱檢測法

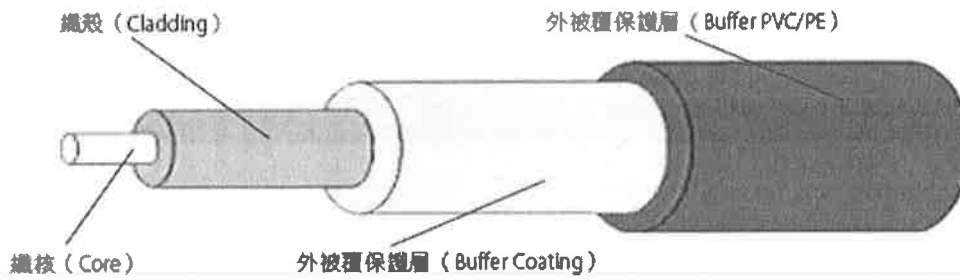
優點：1.可線上即時偵測 2.非電氣式檢測，較安全 3.使用方便，並可互補其他檢測方式

缺點：1.無法直接檢測出內部熱缺線 2.無法定位放電源位置

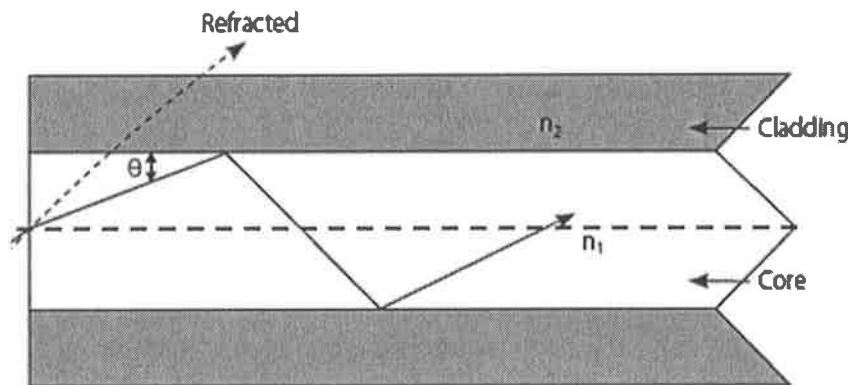
## 肆、光纖光柵偵測系統

### 一、光纖基本原理

光纖為圓柱型介電質波導結構，分內外兩層，內層折射率較高，加上外被覆保護層後直徑約為 250um。



光纖作用原理是介由內層和外層折射率差異，使入射光在內外層交介面不斷進行全反射而前進。

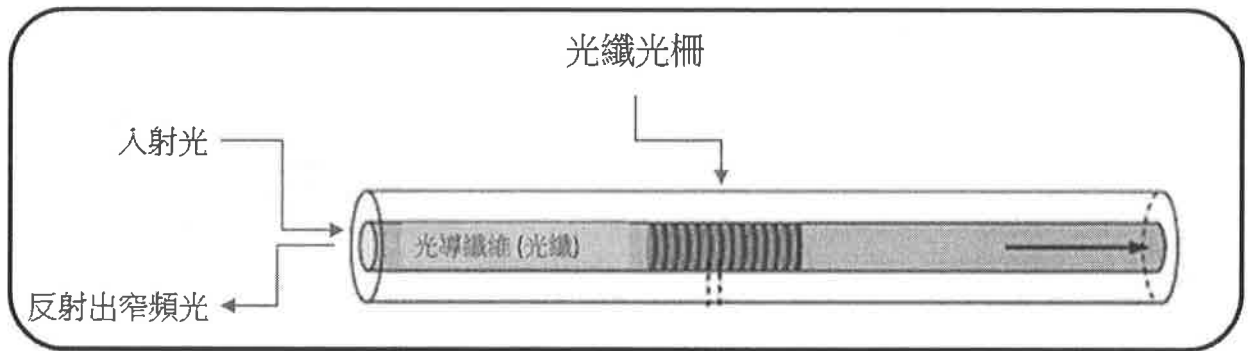


## 二、光柵結構

光源入射到一狹縫，會因入射波長及狹縫寬度，在另一端產生不同間距的明暗繞射條文。若將單狹縫擴展成週期性狹縫 即可獲得疊加效果 此一周期性狹縫即為光柵結構。

## 三、光纖光柵原理

光源經過耦合器到達光纖光柵感測器，入射光會被光纖光柵反射，將反射波波長做監控，當待測物體因溫度產生熱漲冷縮形變時，會對光纖光柵產生拉伸或擠壓的動作，使光纖光柵所反射回的波長產生飄移。將飄移量轉換成應變量，即可得到待測物體內的溫度變化。



在光纖光柵感測系統中是藉著偵測光纖光柵的反射波長來決定應變量，只要光纖光柵不同，反射光波長就不會互相重疊，我們也就不會搞混，從而可以同時偵測多個光纖光柵應變感測器。這種技術就稱為分波多工技術，可藉它增加系統感測點的數目。

#### 四、光纖測溫優點

- (一)、不受電磁干擾
- (二)、電絕緣、防爆性好、耐腐強
- (三)、體積小、重量輕、可繞曲
- (四)、靈敏度高、使用壽命長
- (五)、傳輸距離遠

+

#### 伍、實習心得和建議

感謝長官讓我有這樣的機會到德國實習，因為之前沒有去歐洲的經驗，在出發前總是覺得戰戰兢兢。自己搭飛機、公車、買火車票、預訂旅館都是第一次的經驗，所幸現今網路資訊發達，在出發前就能儘早準備所需資料地圖，以及幸運遇到熱心的外國人協助指引，才能順利的達到目的地並完成出國任務。

這次與 ALSTOM 和 MR 公司的專家研討學習獲益良多，也擴展自己的眼界，因為在工作上比較少能接觸到變壓器相關的專業知識，因此在研討的過程中深深發覺自己有許多不足的地方，對未來的工作很有幫助，也讓自己抱持更

多的期待，去更深入了解電機方面的相關知識。

參訪 ALSTOM 變壓器工廠時，觀察到整個工廠雖然物件很多，但擺設的非常整齊有條理，並且動線非常明確，以顏色分別出不同的防護區塊，地上和牆上也都整齊的貼著區域分界線及各種警示標語。各區塊分布，都有經過其詳細的考量，譬如繞組區和鐵心堆疊區在相鄰區域，完成鐵心及繞組組立後，立即送入烤箱烘乾。建議公司可參考 ALSTOM 工廠分區動線方式，再加強工地現場施工的環境管理，讓施工效率更加提升，以及加強工安方面的管制，以維護現場施工人員安全。

ALSTOM 的業務經理 Anh-Tuan 向我詳細的介紹 MS-3000 變壓器線上監測系統，一般的監測系統只能測量單一數據並發出警報。而 MS-3000 配合電腦系統，可監測變壓器所有主要部件，並從不同數據關係來對變壓器運轉狀態及故障預警做相關判別分析，讓分析結果更為精準。MS-3000 由一個用戶介面和系統介面綜合不同數據儲存，讓檢視者能更簡單直觀的監測變壓器的狀態，讓故障在未發生前即能從系統上預知評估出可能發生的情況並維修，能節省大量的金額和時間，並更加安全。也能從監控資料更了解變壓器壽命以及透過保養的方式延長變壓器壽命。公司新建變電所均朝屋內化以及多目標建築設計趨向，變電所安全問題也變的更加重要，建議公司在人工密集的都會區能規劃更好的監控設施，讓變電所更加安全。

在進入 MR 工廠參觀前，MR 銷售經理 ERIC 給我一片黃色墊片，將一端放入鞋內、一端拉出黏於鞋底，若不慎感電時，能將電導入地中，以維護自身安全。讓我見識到 MR 公司對人身安全的重視。工廠內每個不同的產品區在最明顯的區塊皆貼有負責人員的照片資料，當有問題發生時，能立即找到相關負責員工詢問並釐清相關訊息。ERIC 經理向我介紹廠區內剛使用新型態的倉庫，是一間寬闊多層的房間，倉庫內的物件均使用運輸帶運輸，由電腦操控調度，可節省很多人力和時間，並更有效的管理物件的進出。

這次的經驗讓我覺得在工作之餘應該多充實專業的電機知識，才能對自己的工作有更深的了解和掌握。在英文方面，雖然能通過英文的考試，但在真正面對外國人時，口說的能力還是相當不足，很容易因為緊張而無法迅速說出自己想要表達的，須要再多多加強學習。