

出國報告（出國類別：實習）

變壓器技術資料蒐集及設計、施工運用維護等技術實習

服務機關：台灣電力公司營建處

姓名職稱：林圳軒 電機工程師

派赴國家：德國

出國期間：101 年 11 月 18 日至 101 年 12 月 1 日

報告日期：102 年 1 月 21 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

變壓器技術資料蒐集及設計、施工運用維護等技術實習

頁數 51 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/(02)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

林圳軒/台灣電力公司/營建處電氣組/電機工程師/(02)23666974

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：101 年 11 月 18 日至 101 年 12 月 1 日 出國地區：德國

報告日期：102 年 1 月 21 日

分類號/目

關鍵詞：變壓器、植物絕緣油、礦物絕緣油、變壓器線上監控系統、
專家系統

內容摘要：本次出國計畫任務為「變壓器技術資料蒐集及設計、施工運用維護等技術實習」。本報告內容係將本次分別在德國 ALSTOM 公司及 ABB 公司變壓器製造廠對於變壓器設計、施工及維護等方面作資料收集及記錄。

現今世界各國對於環保問題愈來愈重視，國外廠家也逐漸

發展植物絕緣油考慮取代過去大型油浸式變壓器所用之礦物絕緣油，進而降低環境污染；對於設備維護方面，國外廠家也在變壓器線上監控系統引進專家系統，用以降低維護人力及成本；對於本次所收集之資訊及資料，可用來作為未來工程設計及圖審工作之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目次

壹、目的

貳、過程

參、變壓器技術資料蒐集及設計、施工運用維護等技術實習

一、 變壓器基本原理

二、 變壓器設計流程

三、 變壓器本體電氣設計

四、 變壓器鐵芯

五、 變壓器繞組

六、 變壓器外部導體連接設備

七、 變壓器絕緣油及可燃性氣體檢出裝置

八、 變壓器散熱方式

九、 變壓器運輸方式

十、 變壓器監控系統

十一、 變壓器施工等其它事項

十二、 其它特殊產品

肆、心得及建議

壹、目的

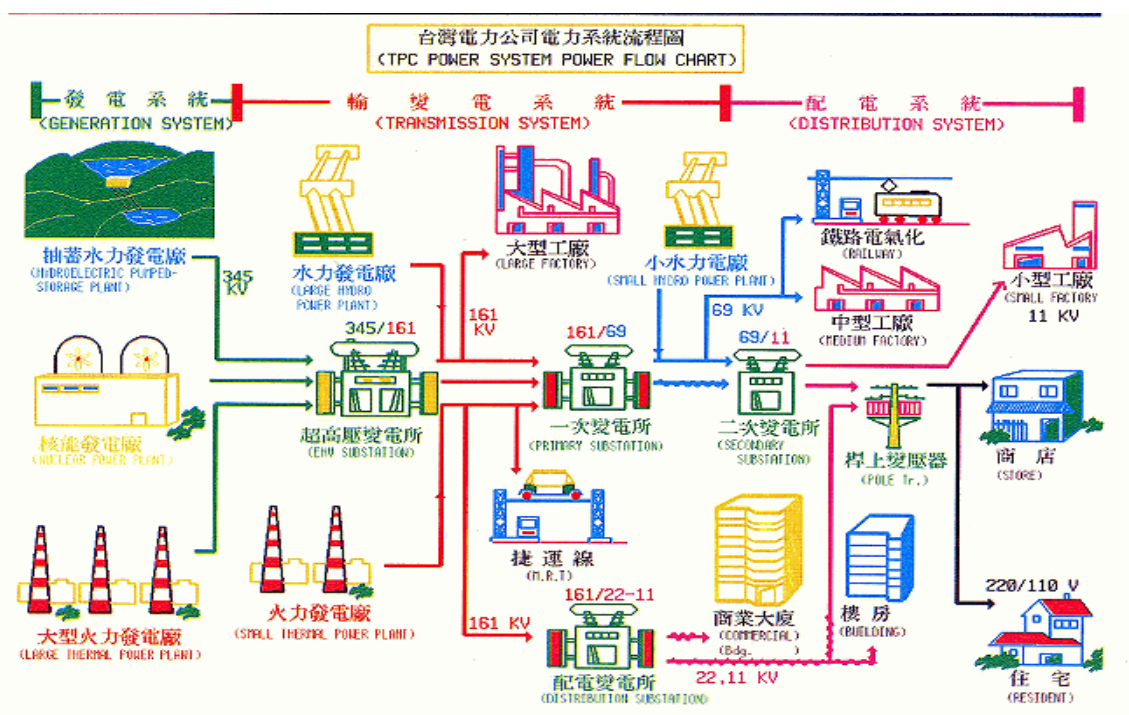


圖 1

目前台灣電力系統詳圖 1 所示，台灣電力公司所採用之交流供電系統為降低線路損失需提昇輸電電壓，故目前輸電系統電壓有 345kV、161 kV 及 69 kV 等級，但對於末端用戶系統所使用之電壓則是愈低愈安全，故除大型工業用戶有採高壓以上等級供電外，一般用戶多採低壓供電，而關於前述考慮所需之調整電壓工作則由變壓器擔任，故不論是發電廠或是變電所均設有變壓器設備，發電廠利用昇壓變壓器將發電電壓昇級為輸電電壓等級，變電所則是將輸電電壓降壓，如超高壓輸電系統電壓降為一次輸電系統電壓或是一次輸電系統電壓降為二次輸電系統電壓…等等，為增進與瞭解目前國外先進

國家之變壓器開發設計技術與經驗，本次計劃前往德國變壓器製造廠家實習，學習相關設計經驗，並瞭解目前國外所採用之監控系統型式及蒐集相關資料，以提供本公司於未來變壓器之規劃設計與施工維護之參考。

貳、過程

本次出國行程如下

日期	工作內容
11/18-11/19	往程台北-法蘭克福-蒙薛恩格拉巴赫(Moenchen- Gladbach)
11/20-11/24	於蒙薛恩格拉巴赫(Moenchen- Gladbach)ALSTOM 變壓器製造工廠實習
11/25-11/29	於巴德·宏內夫(Bad Honnef)ABB 變壓器製造工廠實習
11/30-12/01	返程法蘭克福-台北

ALSTOM 工廠實習期間，由 Mr.Michael 及 Mr.Ismail 簡介 ALSTOM 公司及該公司變壓器產品之種類，並對於目前該公司變壓器生產實績概況做一說明，再由 Mr.Tobias、Mr.Schneider 及其他變壓器相關設計人員說明變壓器設計、製造及施工運輸流程，之後前往變壓器生產線實習，該期間同時前往變壓器線上監控系統部門，簡介變壓器線上監控系統並做展示，最後前往變壓器試驗部門實習後，對本次行程之問題互相討論。

ABB 工廠實習期間，由 Mr.Thomas、Mr.Fabio、Felix 等人，對於 ABB 公司及其變壓器相關設計、製造、施工運輸流程及相關線上監控系統等附屬器材做說明，之後前往變壓器生產線及實驗室參觀並作解說，最後針對本次行程相關問題做一討論。

參、變壓器技術資料蒐集及設計、施工運用維護等技術實習

變壓器之分類可依用途構造及容量大小等差異做分類，依變壓器磁路可分為內鐵式變壓器及外鐵式變壓器，依鐵芯型式可分為捲鐵型鐵芯及積鐵型鐵芯，依變壓器容量可分為配電變壓器及電力變壓器，依繞組分類可分為雙繞組變壓器、多繞組變壓器及自耦變壓器，依絕緣方式分類可分為乾式變壓器、油浸式變壓器及六氟化硫絕緣變壓器。

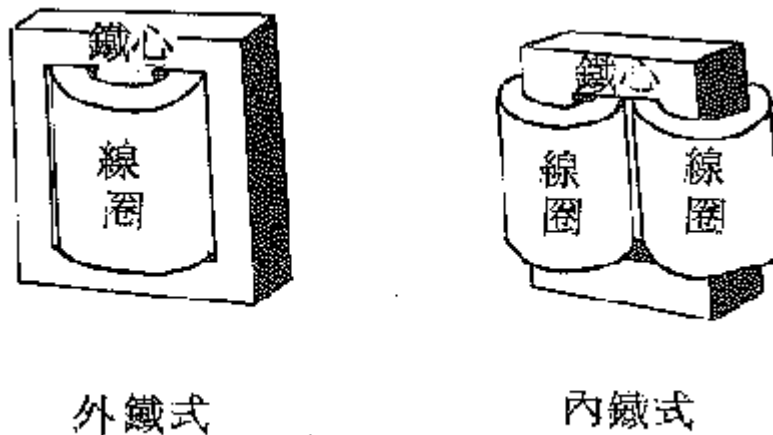


圖 2 內鐵式及外鐵式鐵芯

目前大型電力變壓器絕緣多採礦物絕緣油作絕緣，對於消防安全考量雖有六氟化硫(SF₆)絕緣氣體可供選擇，但歐洲廠家因六氟化硫氣體對於大氣層破壞存在疑慮，故目前六氟化硫絕緣變壓器多為日系廠家產品。

一、 變壓器基本原理

電機能量轉換過程須透過媒介，如以發電機為例，發電機係利用機械能轉換為磁能再由磁能轉換為電能，其即以磁能做為動能與電能互換之媒介，可先參考圖 3 即為一繪出磁力線之磁鐵圖示，磁鐵外部磁力線以磁鐵 N 極出發，流進 S 極而形成環路，現在參考圖 4 為一流通電流之線圈剖面圖示(其中線圈標·表示電流流出，而標 X 表示電流流入)，根據安培右手定則即會有一磁場產生(即圖 4 標示之磁力線)，而反之亦然，若當線圈通過一變化之磁通量時，線圈本身將會形成感應電壓，當迴路形成後將形成感應電流。

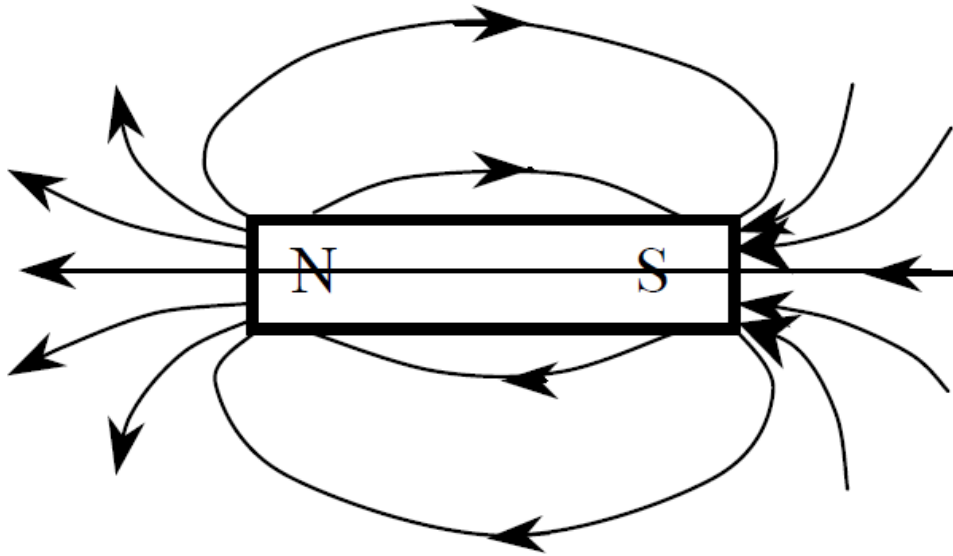


圖 3

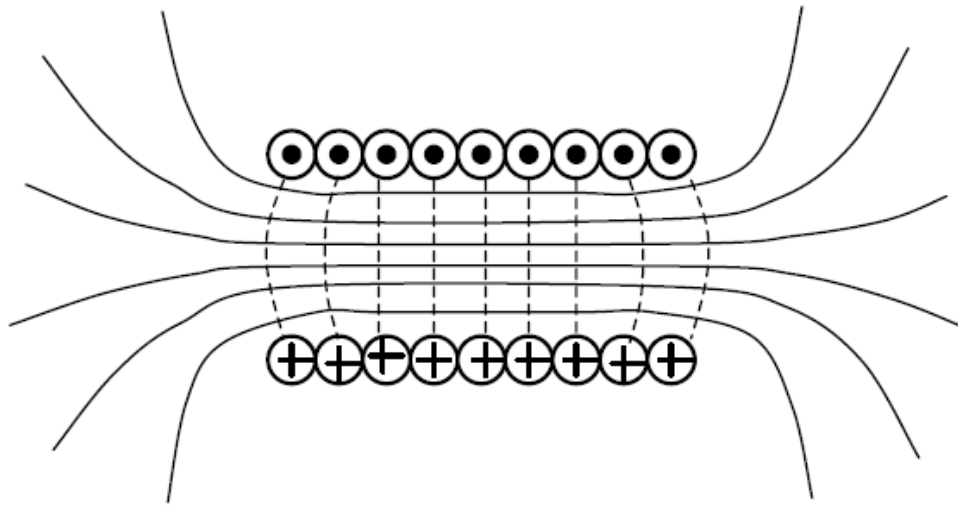


圖 4

而變壓器即為以磁能做為媒介做電能轉換之設備，如圖 5 所示及為一變壓器圖示，先於變壓器一次側加入電壓 V_p 後形成迴路而有電流 I_p 流通，而 I_p 流通於導線後即同先前所述，進而產生磁力線 ϕ_M 及 ϕ_{LP} ，因考量導磁性之原故，通常會利用一導磁性高之金屬做為磁通迴路，而 ϕ_M 即為變壓器之主要磁通迴路，當 ϕ_M 通過二次側線圈將會形成感應電壓 V_s ，而當二次側有迴路形成時將產生感應電流 I_s ，另外漏磁通 ϕ_{LP} 及 ϕ_{LS} 為能量上之損失部份，

而利用法拉第定律

$$e_{ind} = N \frac{d\phi}{dt}$$

進而可推導出

$$V_p(t) = N_p \frac{d\phi_M}{dt} + N_p \frac{d\phi_{LP}}{dt}$$

$$V_s(t) = N_s \frac{d\phi_M}{dt} + N_s \frac{d\phi_{Ls}}{dt}$$

其中 N_P 及 N_S 分別為變壓器一次側及二次側之匝比

以上大致為變壓器電磁互換之原理。

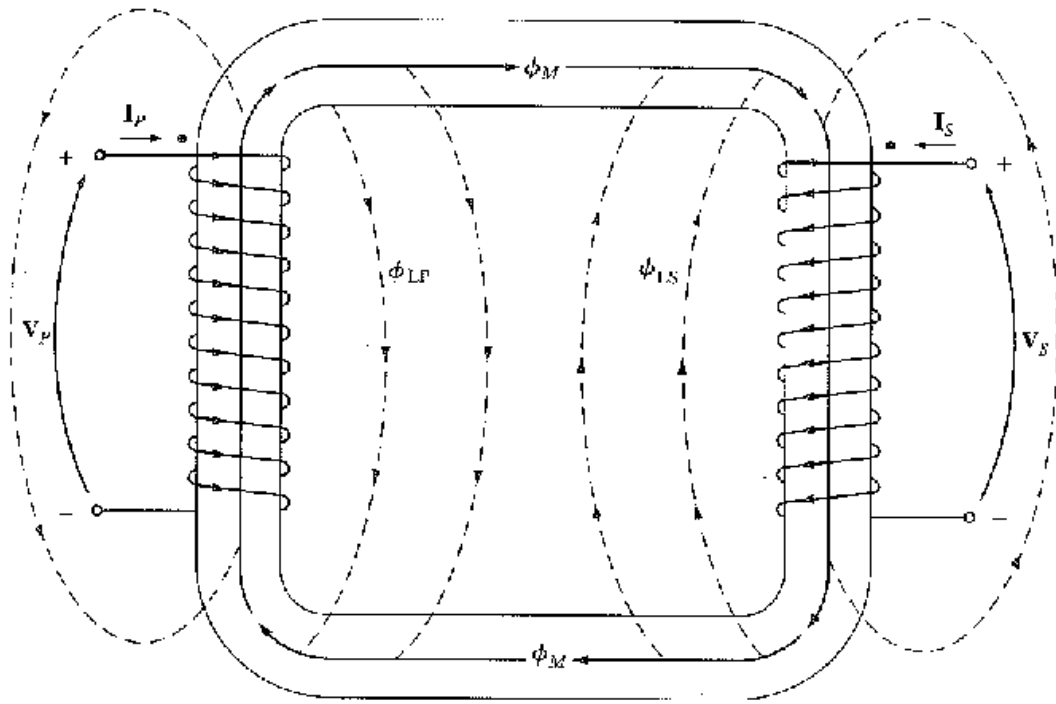


圖 5

二、變壓器設計流程

目前除發電廠變壓器規格常須有訂製要求，如：昇壓變壓器容量及低壓側電壓需搭配發電機規格昇壓為輸電電壓等級，或是輔助變壓器及啓動變壓器…等等需依需求做設計，變電所變壓器方面大致有標準規格(可參考表 1)，而規格化產品可降低製造成本且設備調配更換容易，為其相當大之優點。

變電所等級	變壓器電壓	變壓器型式	變壓器容量
超高壓變電所	345kV 轉 161kV 及 33kV	自耦變壓器	500MVA
一次變電所	161kV 轉 69kV 及 11kV	自耦變壓器	200MVA
一次配電變電所	161kV 轉 22.8kV 或 11.4kV	雙繞組變壓器或三繞組變壓器	60MVA 或 30+30MVA
二次變電所	69kV 轉 22.8kV 或 11.4kV	雙繞組變壓器	25MVA

表 1

變壓器設計需對於安裝施工現場環境評估後，再針對設置地點決定變壓器型式及散熱方式，另需對於變壓器電氣及物理特性之考量做設計，大致流程可參考圖 6 所示。

主要流程係依變壓器電氣、機械方面做考量，電氣方面主要有絕緣、容量及控制等項目，機械方面即散熱、應力等項目，而整體方面又需搭配保護、監控系統及相關附屬設備，完成後需對變壓器做測試以確保設計及製造品質，設計過程中可利用分析模擬軟體做為輔助。

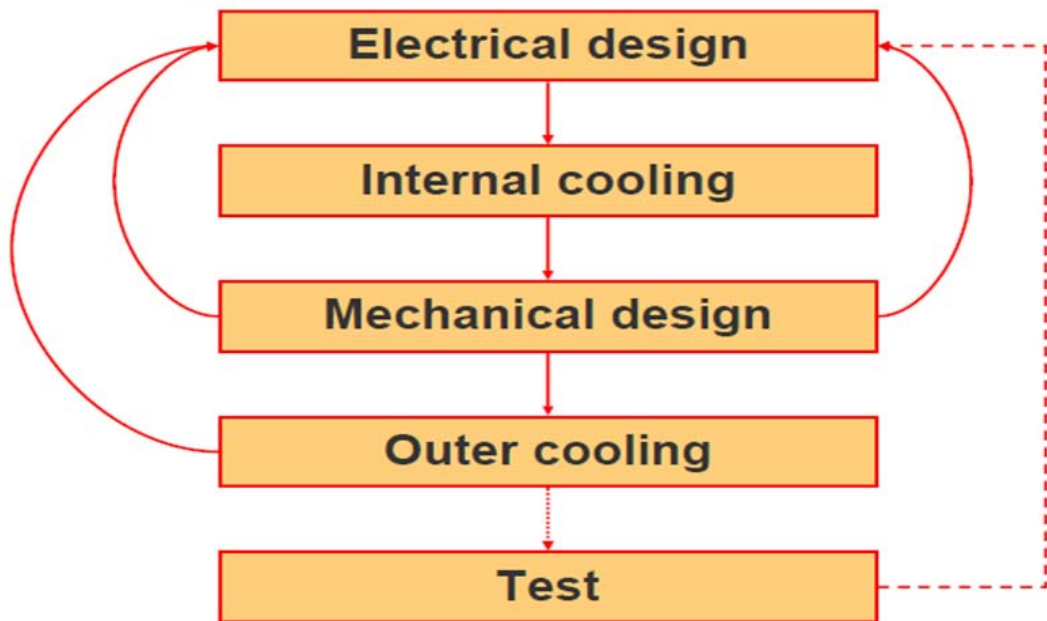


圖 6

三、變壓器本體電氣設計

變壓器本體電氣特性方面之設計需考慮變壓器本身之極性、角位移、額定電壓、額定電流、額定容量、絕緣等級、變壓器阻抗值、損失、繞組結線方式、中性點接地方式…等等。

(一) 變壓器極性

變壓器極性係為同一鐵芯之高壓側繞組與低壓側繞組於同一瞬間的相對極性，變壓器極性分為加極性及減極性兩種，通常電力及配電變壓器皆採用減極性，因其可使高、低壓側相對端子之電壓差降低，故可節省絕緣材料，而自耦變壓器若採加極性可節省高、低壓繞組連接線之材料。而加極性及減極性圖示可參考

圖 7 所示，左圖為減極性，右圖為加極性。

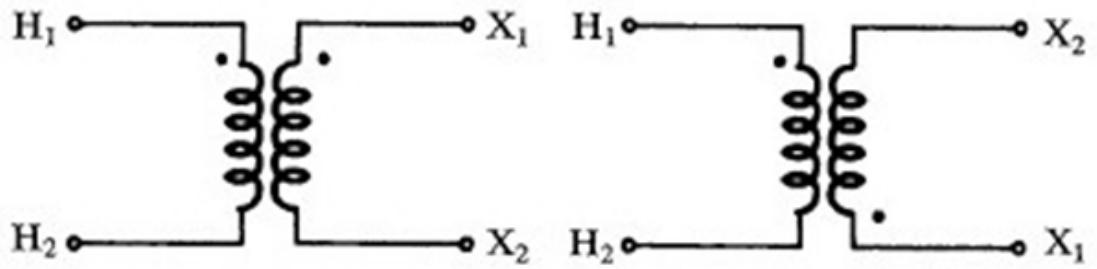


圖 7

(二)變壓器角位移

變壓器角位移方面可參照 IEEE 或 IEC 標準，並依系統需求做設計，目前公司所採用之變壓器，若高、低壓側繞組採用 DELTA-WYE 結線，通常依 IEEE 標準採高壓側領先低壓側 30° (可參考圖 8 所示)，而其餘 DELTA-DELTA 或 WYE-WYE 結線方式之變壓器則無角位移。



圖 8

(三)變壓器額定電壓、電流、容量

變壓器額定電壓方面，如為發電廠變壓器則需配合電廠系統做設置，以大甲溪電廠青山分廠之昇壓變壓器為例，該發電機額定電壓為 13.8kV，再經由隔相匯流排 (IPB; isolated phase bus) 連接至昇壓變壓器，考慮壓降因素後，變壓器低壓側額定電壓採 13.2kV，高壓側因連接至一次輸電線路採 161kV，並設置無電壓分接頭以做電壓調整，而變電所變壓器則大致有標準規格 (可參考表 1 所示)。

變壓器額定容量方面，同樣以青山電廠昇壓變壓器為例，該發電機額定為 102300kVA (80°C 溫升限制下)，而變壓器考慮發電機 90°C 溫升限制，採用 118000kVA 容量，而變壓器額定電流即以變壓器額定容量及額定電壓之限制下之額定值，高壓側額定電流為 423A、低壓側額定電流為 5161A，另外變電所之變壓器額定亦可參考表 1。

(四)變壓器絕緣等級

電氣設備之耐受電壓能力以時間長短，區分為低頻電壓耐受力及衝擊電壓耐受力，低頻電壓耐受力係要求時間較長之過電壓耐受能力，而衝擊電壓耐受能力主要在於短時間而電壓很高之電壓突波耐受力，如雷電或是開關所引起之突波，衝擊電壓主要考量基準衝擊絕緣強度 (BIL; Basis Impulse Insulation Level)、截斷波衝擊基準 (Chopped wave level) 及開關突波衝擊基準 (Switching impulse level)，衝擊絕緣強度

基準係要求全波之耐受力，目前公司比照美國 ANSI 標準為 $1.2 \times 50 \mu S$ ，即電壓由零值提昇至波峰值需 $1.2 \mu S$ 時間，而電壓由波峰值降至波峰值之一半時間需 $50 \mu S$ ，而截斷波衝擊基準係考量於 $2 \sim 3 \mu S$ 發生截斷之情形，最後是開關突波衝擊基準主要是對於開關設備開關切換所引起之暫態過電壓耐受力，前述之低頻電壓或是衝擊電壓耐受力，目前公司所設置之變壓器多參考 IEEE 標準，以青山電廠昇壓變壓器為例，低壓側連接發電機 $13.8kV$ 設備，公稱電壓額定為 $15kV$ ，衝擊絕緣基準採 $110kV$ 、截斷波衝擊基準採 $120kV$ 、耐壓試驗基準採 $34kV$ ，高壓側連接至 $161kV$ 輸電線路，公稱系統電壓採 $161kV$ ，衝擊絕緣基準採 $650kV$ 、截斷波衝擊基準採 $715kV$ 、開關突波衝擊基準 $540kV$ 、耐壓試驗基準採 $275kV$ ，變壓器高壓側中性點因考慮發電廠單相接地故障電流，設計中性點隔離開關以選擇變壓器中性點採直接接地或經避雷器接地，故中性點繞組採 $115kV$ 級設備，衝擊絕緣基準採 $450kV$ 、截斷波衝擊基準 $495kV$ 、開關突波衝擊基準採 $375kV$ 、耐壓試驗基準採 $185kV$ ，如表 2 所列。

繞組端子	公稱系統電壓 Nominal system voltage (kV)	衝擊絕緣基準 BIL (kV crest)	截斷波衝擊基準 Chopped wave level (kV crest)	開關突波衝擊基準 Switching impulse level (kV crest)	耐壓試驗基準 Applied voltage test level (kV rms)
高壓側	161	650	715	540	275
高壓側中性點	115	450	495	375	185
低壓側	15	110	120		34

表 2

(五)變壓器阻抗值

變壓器阻抗可分為電阻及電抗兩部份，電抗主要是線圈的漏磁決定，而電阻主要是由線圈決定，而電力變壓器電阻較小，阻抗幾乎為電抗值；變壓器阻抗值對電力系統之故障電流、電壓降及電壓調整率均有影響，變壓器阻抗愈大則故障電流愈小，且電壓降及電壓調整率也大，變壓器阻抗標準過去常參考 WESTING HOUSE 之資料(可參考表 3)並做調整，而目前公司所設置之變壓器，除變電所變壓器通常有標準外，電廠變壓器通常需另做評估。

高壓線圈	低壓線圈	中性點不接地系統			中性點接地系統		
		標準阻抗%	最小	最大	標準阻抗%	最小	最大
BIL	BIL						
110kV	110kV	5.5	5	7.5			
150kV	110kV	5.5	5.5	7.5			
200kV	110kV	6	5.25	7.875			
	150kV	6.5	5.5	8.25			
250kV	110kV	6.5	5.6	8.4			
	150kV	6.5	5.75	8.625			
	200kV	7	6	9			
350kV	150kV	7	6.1	9.15			
	200kV	7	6.25	9.375			
	250kV	7.5	6.5	9.75			
450kV	150kV	7.5	6.6	9.9	7	5.9	8.85
	200kV	7.5	6.75	10.125	7	6	9
	250kV	8	7	10.5	7.5	6.25	9.375
	350kV	8.5	7.25	10.875	8	6.5	9.75
550kV	150kV	8	7.1	10.65	7.5	6.4	9.6
	200kV	8	7.25	10.875	7.5	6.5	9.75
	350kV	9	7.75	11.625	8.25	7	10.5
	450kV	10	8.25	12.375	9.25	7.5	11.25
650kV	150kV	8.5	7.6	11.4	8	6.9	10.35
	200kV	8.5	7.75	11.625	8	7	10.5
	350kV	9.5	8.25	12.375	8.5	7.5	11.25
	550kV	10.5	8.75	13.125	9.5	8	12
750kV	150kV	9	8.1	12.15	8.5	7.4	11.1
	250kV	9	8.25	12.375	8.5	7.5	11.25
	450kV	10	9.25	13.875	9.5	8.25	12.375
	650kV	11	9.75	14.625	10.25	8.75	13.125
825kV	150kV	9.5	8.25	12.375	9	7.5	11.25
	250kV	10	8.5	12.75	9.5	7.75	11.625
	450kV	11	9.5	14.25	10	8.5	12.75
	650kV	12	10.5	15.75	11	9.5	14.25
900kV	150kV	10	8.5	12.75	9.5	7.75	11.625
	250kV	10	8.75	13.125	9.5	8	12
	550kV	12	10.25	15.375	11	9.25	13.875
	750kV	13	11	16.5	12	10	15

表 3

(六)變壓器損失

變壓器損失可分為鐵損、銅損及輔機損失。

鐵損：變壓器鐵損方面包含磁滯損及渦流損，磁滯損係因變壓器採用交流電源，其隨時間之交變特性導致鐵芯之內部配合磁通方向改變而該變內部排列造成之損失，而變壓器之矽鋼片已由過去所用之熱軋型矽鋼片、冷軋型矽鋼片、方向性矽鋼片至今天改用高導磁方向性矽鋼片或非晶質矽鋼片改善，而磁滯損之計算式如下：

$$\text{磁滯損 } W_h = K_1 f B_m^n$$

其中 K_1 ：材料常數

f ：頻率

B_m ：最大磁通密度

n ：Steimets 係數

而渦流損係變壓器鐵芯有渦流產生造成之損失，為減少變壓器渦流損，變壓器鐵芯多採用薄矽鋼片疊積而成，渦流損之計算式如下：

$$\text{渦流損 } W_e = k_2 f^2 B^2 t^2$$

其中 K_2 ：材料常數

f ：頻率

B ：磁通密度有效值

t ：矽鋼片厚度

銅損：主要為電流流經繞組線圈所造成之損失

$$\text{銅損 } W_r = I^2 R$$

其中 I = 相電流

$$\text{線圈電阻 } R = \rho \frac{L}{A}$$

ρ ：電阻係數

L：線圈長度

A：銅線截面積

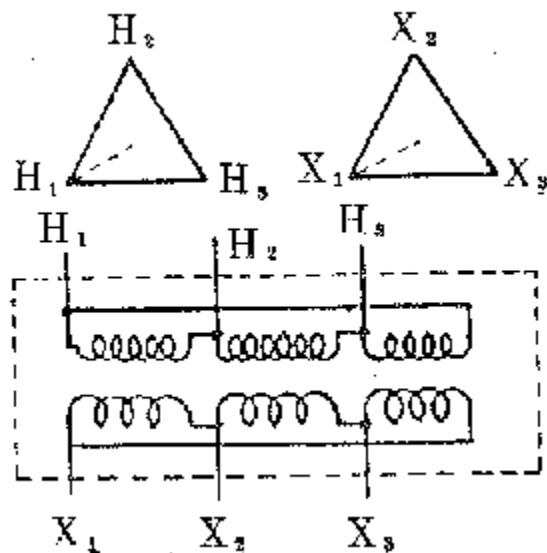
輔機損失：變壓器輔機損失為變壓器如：冷卻風扇、油泵、水泵等設備所影響，並會隨負載變動而改變。

變壓器除前述損失外還會考慮線圈內及夾件或外殼所形成之漂游損失，對於變壓器外殼所形成之漂游損可利用銅板反射或是矽鋼片另導磁方式減小。

(七)變壓器繞組結線方式

變壓器繞組完成後將會透過變壓器套管經外部引線選擇結線方式，電力變壓器繞組結線方式常見有 DELTA 及 WYE 結線，而大致可分為以下 4 種組合：

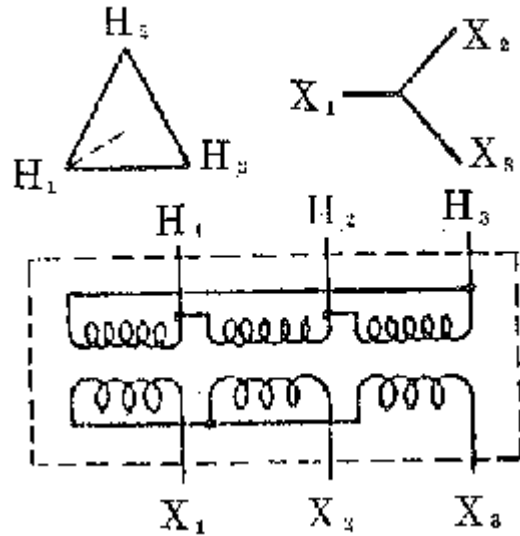
DELTA-DELTA 結線：



因三次諧波在變壓器 DELTA 迴路環流，故電壓波形無三次諧波問題，變壓器相電壓等於線電壓，線電流為相電

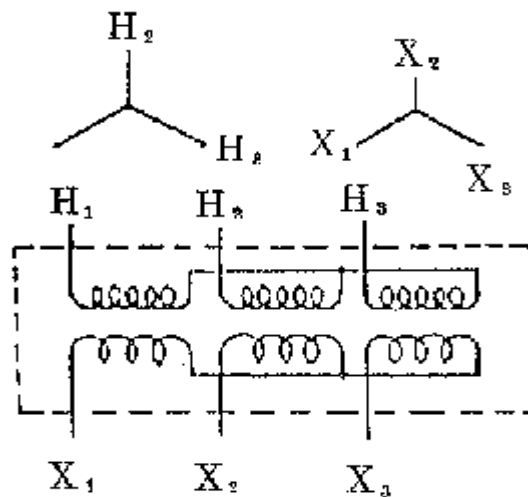
流之 $\sqrt{3}$ 倍，但是若其供應迴路發生接地故障時，保護電驛 51N 之設定將是困難處。

DELTA-WYE 結線：



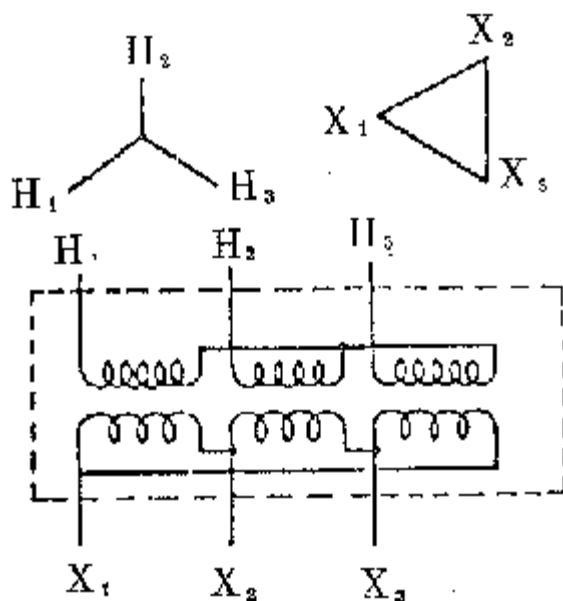
因具 DELTA 結線，故三次諧波在變壓器 DELTA 迴路環流，而電壓波形無三次諧波問題，WYE 結線其線電壓為相電壓之 $\sqrt{3}$ 倍，中性點可接地故較無電壓浮動問題，且接地故障可利用 51N 偵測。

WYE-WYE 結線：



因線圈無三次諧波迴路，故電壓波形有三次諧波問題，但仍可利用鐵芯結構方式或其它方法改善，線電壓為相電壓之 $\sqrt{3}$ 倍，中性點可接地。

WYE-DELTA 結線：



該接法需考慮負載平衡問題。

(八)變壓器中性點接地方式

變壓器可依其採 DELTA 或 WYE 結線而設計為非接地系統，其中 WYE 結線方式又可利用其中性點設計為直接接地、高阻抗接地、低阻抗接地、或諧振接地方式，其中諧振接地較為特殊，其它各接地方方式之大致特點如下：

非接地系統：與直接接地系統比較，接地故障電流較小，但若發生單相接地故障時，有相電壓提昇為線電壓之問題，而需提昇設備絕緣成本，對於接地故障偵測也因接地故障電流小而無法以 ZCT 設備偵測，需改以 GPT 設備偵

測，而該方式較有暫態過電壓問題。

直接接地：變壓器中性點採直接接地，接地過電流較大，故需提昇斷路器啓斷電流能力而有增加斷路器成本問題，接地保護偵測方式較容易，較無電壓浮動問題，單相接地故障發生時，不會像非接地系統有相電壓提昇為線電壓之問題，較無暫態過電壓問題。

高阻抗接地：相較於直接接地系統，接地故障電流較小，而暫態過電壓方面需視高阻抗接地方式是採電阻接地或是電抗接地而不同，而接地故障保護方面也是需注意點。

低阻抗接地：相較於直接接地系統，接地故障電流較小，而低電阻接地方式常用於中壓系統有裝設大型馬達之負載。

四、變壓器鐵芯



圖9

變壓器鐵芯有捲鐵芯及積鐵心兩種型式(詳見圖9，左圖為積鐵芯，右圖為捲鐵芯)，捲鐵心最能發揮方向性矽鋼片之磁特性，故捲鐵芯單位重量之鐵損及激磁電流都比積鐵芯小，另外捲鐵芯加工容易適合大量生產，通常

配電變壓器多採捲鐵型鐵芯，而電力變壓器多採積鐵型，即利用矽鋼片(如圖 10)以疊積方式組立而成(如圖 11 所示)以減少渦流損，此外現今多採用方向型矽鋼片以降低磁滯損。

參考圖 12 所示，變壓器鐵心大致可分為內鐵型及外鐵型，若要細分又可依構造區分三腳型、五腳型、單三型、特三型…等等之型式，依過去書本上所學，電流應力小多採用內鐵式，電流應力大多採用外鐵式，但目前因技術及材料方面之進步，並考慮日後之維護，在可行條件下之大型變壓器多採內鐵式。

一般而言，三相三腳鐵芯經濟效益考量上較具優勢，但若在運輸長度、高度、運輸重量或現場空間限制下，則有可能考慮五腳型鐵芯(可參考圖 13 所示)或改以特三型方式設計，前述設計方式除可克服該限制條件外，對於變壓器磁通、散熱及噪音亦具有相當優勢，惟獨對於成本上係主要缺點。



圖 10

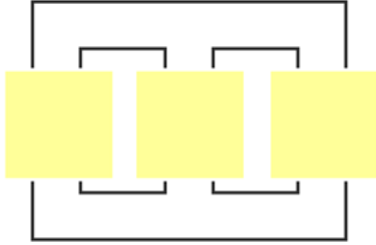


圖 11

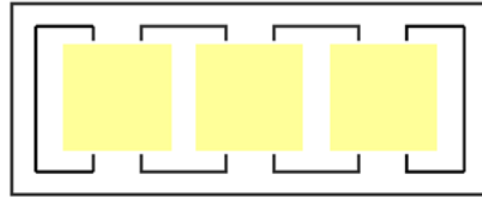
Core types

Three-phase transformers

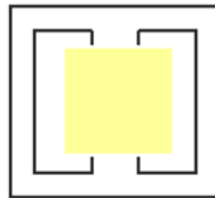
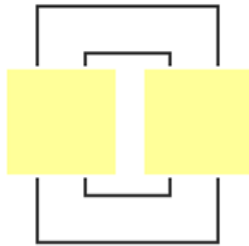
Three limb core



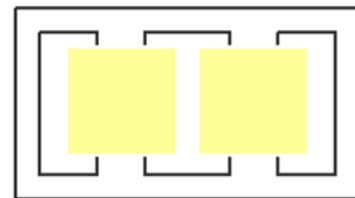
Five limb core



Single-phase transformers



2 return limbs



2 return limbs

圖 12

5-limb core



Power transformers - AGM

GRID | **ALSTOM**

圖 13

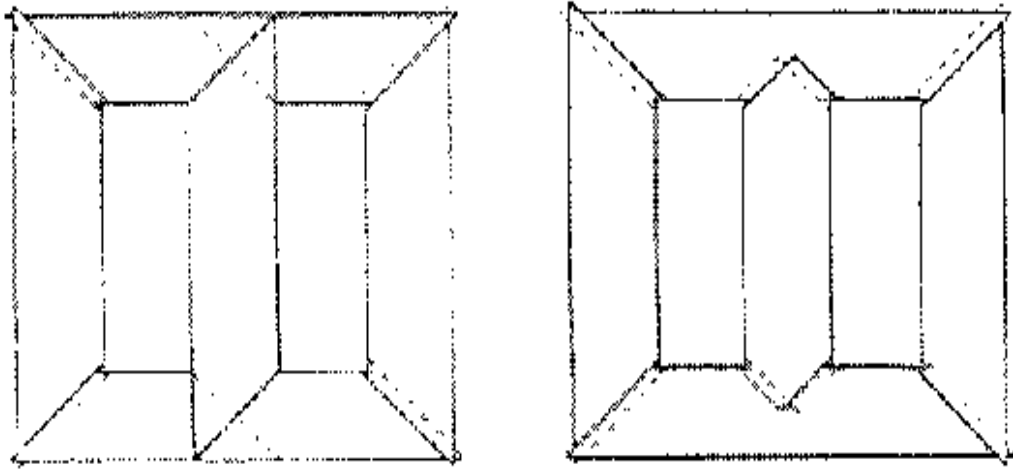


圖 14

對於變壓器鐵芯疊積方面，可參考圖 14 所示，其中左圖為單斜型疊積方式，右圖示為 V-norch 型疊積方式，因變壓器鐵芯主要為磁通之通道，接縫處因磁阻大容易造成磁力線集中進而造成該處溫度上昇，且變為噪音來源，由圖 14 可明顯看出單斜型疊積方式之鐵芯相較於 V-norch 型鐵芯接縫處較多，所以磁阻較大對於鐵損及噪音較不利，但 V-norch 型鐵芯疊積方式，磁力線通過鐵芯接縫處仍有磁力線過於擁擠之問題，目前另有 Step-Lap 疊積方式(可參考圖 15 所示)可舒緩磁力線於鐵芯接縫處之擁擠問題，故鐵損及噪音較低。

。

Core stacking of a 3-limb transformer

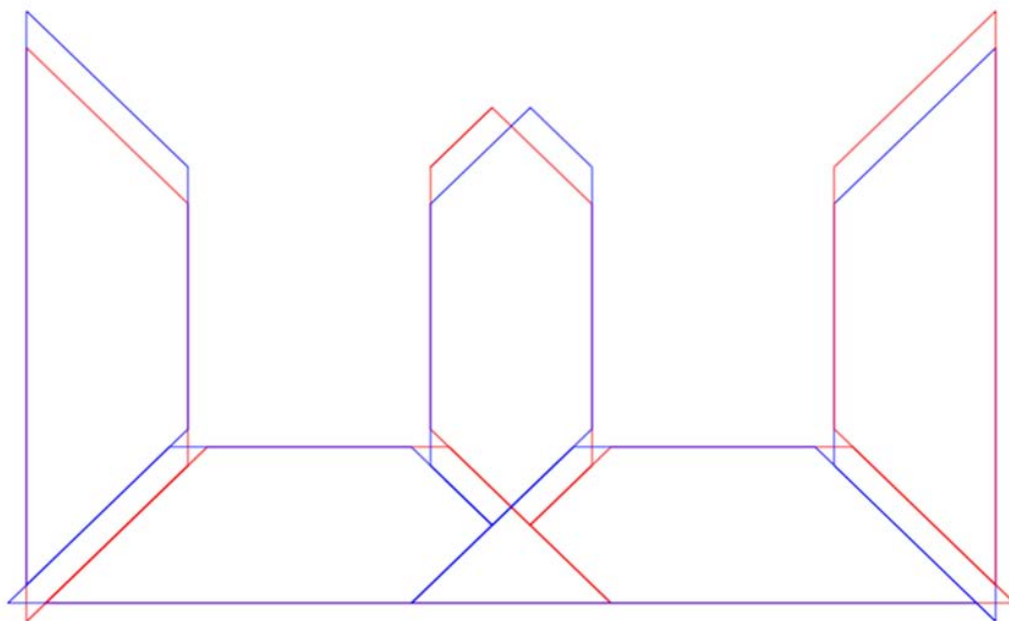


圖 15

五、變壓器繞組

變壓器繞組之導電材料需考慮以下條件：

- (一) 高導電率
- (二) 熱傳導率高
- (三) 高機械強度
- (四) 耐蝕性強

而目前公司所購製變壓器之繞組材料多以銅為主，而變壓器繞組需承受非常高之電壓，繞組導體不可有尖端，以避免放電之可能，大型變壓器之繞組電流大，如果使用過粗之導體，將造成捲繞作業困難且導體渦流損也會增加，故通常採較細導體併連連接，但若各導體長度不同將造成渦流損產生，故須進行導體轉位，一般導體常見有平角線、複導體及轉位導體，其效能方面是轉位導

體 > 複導體 > 平角線。

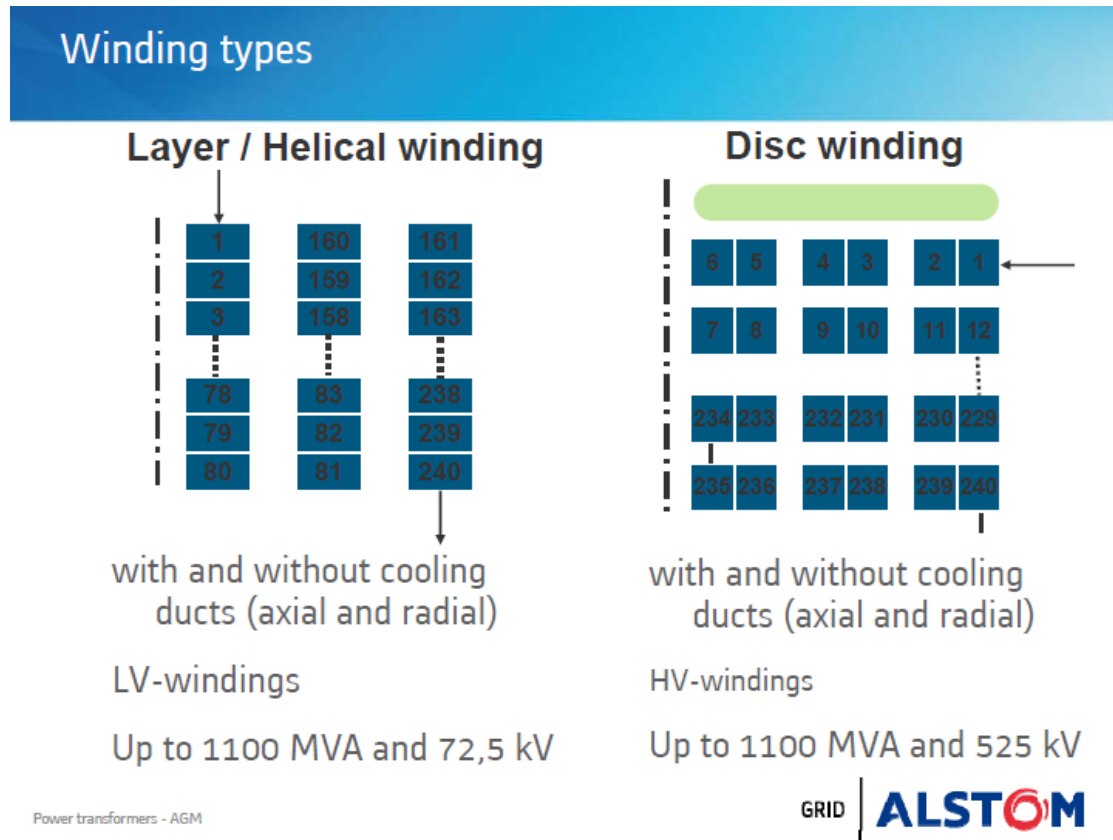


圖 16

通常變壓器繞組之設計方面，需對於載流量、散熱、損失及短路電流應力做考量，並對油溝片設置位置做評估，參考圖 16 所示，通常大型變壓器常見有 Helical Winding 及 Disc Winding 兩種，Helical Winding 可參考圖 16 之左圖所示，採多條導體繞一圈為一匝，大多使用於低壓側之低電壓、大電流繞組，實際 Helical Winding 照片可參考圖 17 所示，該型式也可設置油溝片拉開距離形成油溝。

Layer winding



Power transformers - AGM

GRID | **ALSTOM**

圖 17

Disc winding



Power transformers - AGM

GRID | **ALSTOM**

圖 18

Disc Winding 型式可參考圖 16 右圖所示，採一條或數條導線繞一圈為一匝，多使用於高壓側之高電壓、小電流型式繞組，實際 Disc Winding 型式可參可圖 18 所示。

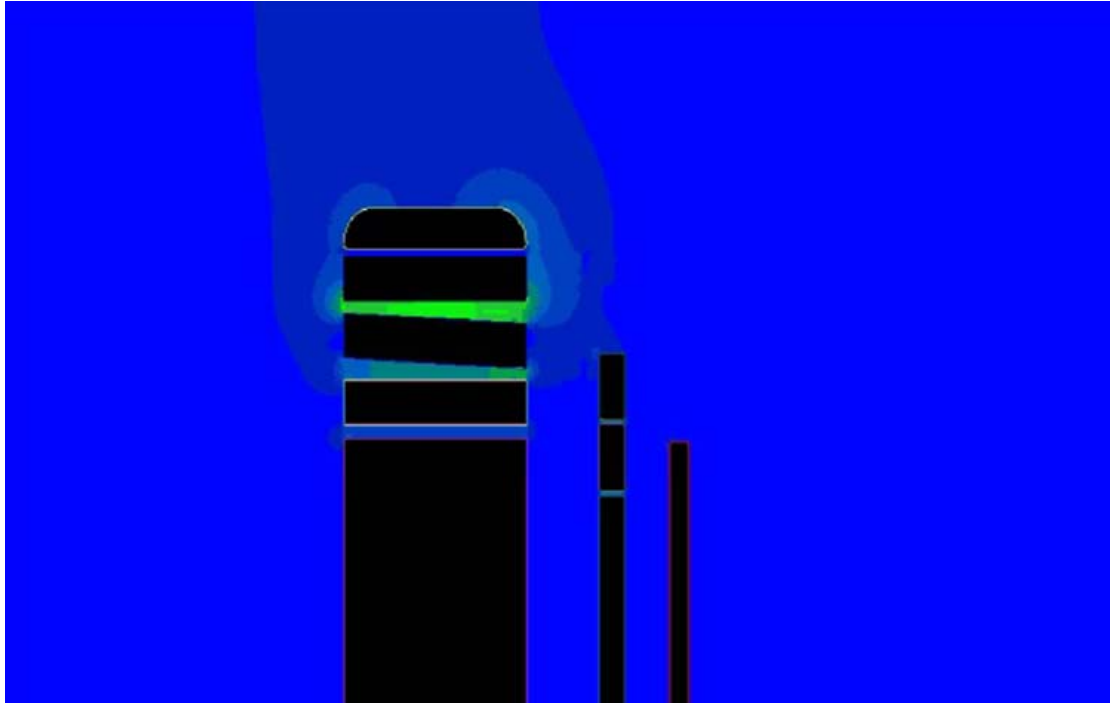


圖 19

繞組設置前可先利用軟體分析(如圖 19 所示)，分析熱點位置及該變壓器溫昇是否符合規範要求，而變壓器繞組繞製方面，較小容量之變壓器可採機械繞製，大容量之變壓器則採人工繞製或是利用轉位導體以機械繞製，因變壓器繞組以絕緣紙絕緣，絕緣紙內難免含水份存在，若變壓器於一定壓力下之溫度運轉，將會濾出絕緣紙之水份而影響絕緣油之特性，故變壓器繞組繞製完成並將引出線引出後，會進行烘乾程序以降低絕緣紙之水份。

變壓器可安裝電壓分接頭切換裝置，以對變壓器匝比做改變，現今係分別以無載分接頭切換裝置及有載分接頭

切換裝置對變壓器匝比做粗調及細調，且前者需於無電壓狀態下進行調整，後者則可於有載下進行調整，有載分接頭切換裝置之絕緣油可與變壓器本體區別，並可搭配設置活線濾油裝置，或是改用真空型有載切換裝置(如圖 20 即為 ABB 之分接頭切換裝置)。



圖 20

六、變壓器外部導體連接設備



圖 21

變壓器係為電壓調整設備，發電機之昇壓變壓器低壓側外部導體引接，常考慮採用隔相匯流排(IPB; isolated phase bus)，其餘則依連接設備考慮使用套管、氣體絕緣匯流排或是電纜終端設備做為外部引接導體，以中壓電纜連接至外部設備時可採用單一型套管(詳圖 21 所示)或是插入型終端匣設備，以裸銅線或鋁線連接時可採用高壓以上等級之套管(詳圖 22 所示)，若是引接至六氟化硫絕緣設備時，可考慮採用氣體絕緣匯流排連接，若是以高壓以上等級電纜連接至外部設備時可採用浸油型終端匣設備。



圖 22

變壓器套管目前較常用有油浸紙絕緣電容型(OIP;Oil Impregnated Paper Insulation Condenser type)及灌注樹脂紙絕緣電容型(RIP;Resin Impregnated Paper Insulation Condenser type，可參考圖 23 為 ABB 之 RIP 型式套管)兩種型式，該兩種型式均為電容型做為電場緩和，但油浸紙絕緣電容型套管內部因有絕緣油存在，故有漏油可能問題及套管燃燒問題，而灌注樹脂紙絕緣電容型套管內部為樹脂灌注，無漏油及套管燃燒問題。

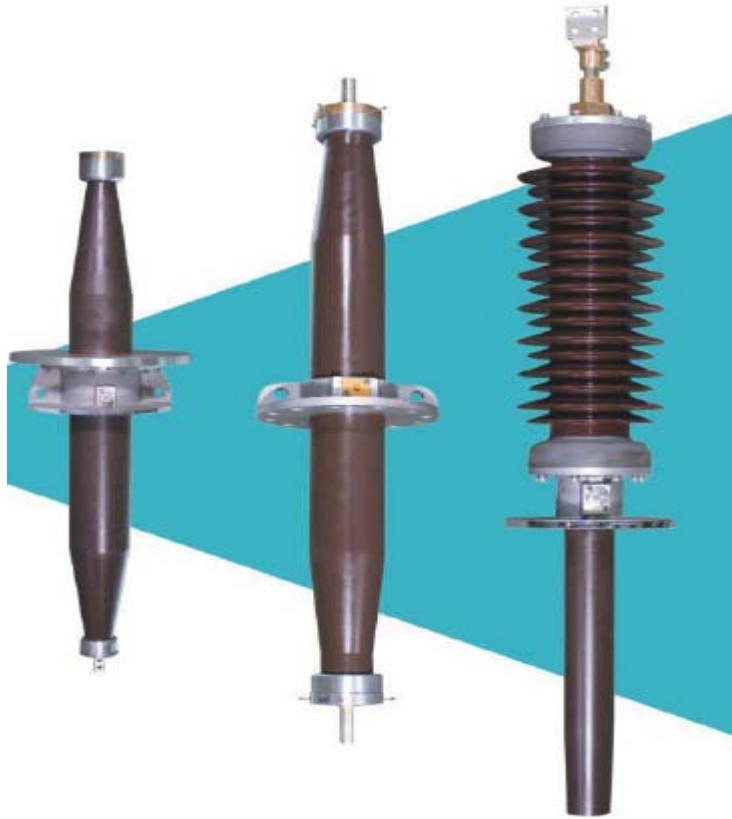


圖 23

七、變壓器絕緣油及可燃性氣體檢出裝置

目前公司大型油浸式變壓器多採礦物絕緣油作絕緣，絕緣油不得含多氯聯苯成份，而絕緣油 100.10.20 標準詳表 4 所示，因繞組絕緣紙更換不易，往往為影響變壓器壽命之重要因素，故絕緣油應定期採樣以確認絕緣紙無劣化情形之跡象。

另外有關變壓器絕緣油之油中氣體分析通常以 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 C_2H_2 、 CO 、 CO_2 成份做為判別，可用來做以下用途：

(一)管制新製變壓器之設計及組裝品質。

- (二)運轉中變壓器異常或故障之預知診斷。
- (三)變壓器保護電驛動作或跳脫後，變壓器是否有故障之評估。
- (四)事故後變壓器內故障點的位置和變壓器傷害程度的評估。
- (五)異常變壓器能否繼續運轉之評估與強迫繼續運轉之負載條件規劃。
- (六)異常變壓器是否有及時危險之評估。

電力變壓器絕緣油使用與維護基準

100.10.20 修訂

特性試驗項目	新油		使用中油			使用中變壓器真空濾油處理後			試驗標準 ASTM
	油桶中	運轉前變壓器中	≤69kV	>69~161kV	345kV	≤69kV	>69~161kV	345kV	
1.外觀	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	澄清無沉澱物	D1524
2.顏色	0.5以下	L1.0以下	—	—	—	—	—	—	D1500
3.比重 15°C/15°C	0.91以下	0.91以下※	—	—	—	—	—	—	D1298、D4052
4.閃點 °C	145以上	145以上	—	—	—	—	—	—	D92
5.流動點 °C	-30以下	-30以下	—	—	—	—	—	—	D97、D5950
6.黏度 100/40/0°C, mm ² /s(cSt)	3.0/12.0/76以下	3.0/12.0/76以下	—	—	—	—	—	—	D445
7.界面張力 mN/m(dynes/cm), 25°C	40以上	40以上※	25以上	30以上	32以上	—	—	—	D971
8.中和價 mg KOH/g	0.03以下	0.03以下	0.2以下	0.15以下	0.1以下	—	—	—	D974
9.腐蝕硫	無	無	—	—	—	—	—	—	D1275 B
10.抗氧化劑 % m/m	0.08以下	0.08以下	—	—	—	—	—	—	D2668、D4768
11.含水量 mg/kg (ppm)	35以下	20以下※	35以下	25以下	20以下	25以下	20以下	15以下	D1533
12.氧化安定性試驗 72小時：油泥 % (m/m) 總酸價 mgKOH/g 164小時：油泥 % (m/m) 總酸價 mgKOH/g	0.15以下 0.5以下 0.3以下 0.6以下	0.15以下 0.5以下 0.3以下 0.6以下	—	—	—	—	—	—	D2440
13.電介質強度 kV VDE 電極，2±0.03mm間隙	35以上	56以上※	30以上			50以上			D1816
14.功率因數 20°C，% 100°C，60Hz，%	— 0.30以下	0.1以下※ 0.30以下※	0.2以下 5.0以下			—			Doble 法 D924
15.多氯聯苯 mg/kg	ND	ND	—			—			D4059
16.2-糠醛含量 µg/L	5以下	5以下	依綜研所糠醛分析報告建議			—			D 5837
17.油中溶解氣體 ppmv	—	※TCG：10以下， C ₂ H ₂ +C ₂ H ₄ =0	依照油中氣體分析報告建議處理			TCG：50以下， C ₂ H ₂ +C ₂ H ₄ =5以下			D3612
檢測值超過基準值之處置建議	不合格	不合格	再取樣確認後，綜合評估做適當處理			繼續濾油			

說明：1. ※表示新製變壓器如已做桶裝新油測試，加入系統運轉前自變壓器取油試驗，請依 IEEE C57.106 建議之試驗項目。

2. Doble 法為現場試驗適用。 3. 本電力變壓器絕緣油使用與維護基準亦適用於並聯電抗器等油浸式電力設備。

表 4

八、變壓器散熱方式

變壓器散熱方式可依變壓器容量及設置環境做考量，若是設置於散熱不良之環境可考慮迫油或導油方式，若是設置於水源取得容易之環境可考慮水冷式系統，特別是目前油泵設備故障率已相當低，供設計者選用性亦具相當之提昇，對於相同容量之變壓器，針對空間要求、維護及運轉成本之考量可參考表 5 所列 (ONAN：自然冷卻、ODAN：導油冷卻、ODAD：導油迫風式冷卻、ODWF：導油迫水式冷卻)，對於自然冷卻系統因僅利用散熱器散熱，散熱能力較差，故需較大空間，其優勢在於無油泵、水泵或風扇等裝置，故可將低其維護及運轉成本，而其它散熱方式均須做週期性維護工作，且需依負載量做冷卻系統之啟動調整，對於運轉成本亦增加負擔，而 ODAF 及 ODWF 因散熱能力較高所需空間亦最小。

	ONAN	ONAN/ODAN	ONAN/ONAF/ODAF	ODAF 或 ODWF
空間要求	大空間(特別是大型變壓器)	一般	一般	小空間
維護考量	低維護成本	需週期性維護	需週期性維護	需週期性維護
運轉成本考量	低運轉成本	取決於負載	取決於負載	取決於負載

表 5

九、變壓器運輸方式

因歐洲鐵路發達且藉萊茵河之便，廠家可藉由水運或路運方式送往施工工地，通常會由製造廠家與買方協調

運輸衝擊力限制。



圖 24 以道路運方式運送變壓器



圖 25 以鐵路運方式運送變壓器

運輸過程中需安裝紀錄器做相關紀錄以判定變壓器芯體是否有運輸造成損傷之可能，變壓器運輸時需考慮運送設備是否有充份之載重能力，且掛勾鋼鎖應牢固避免運輸過程中造成移位。

十、變壓器監控系統

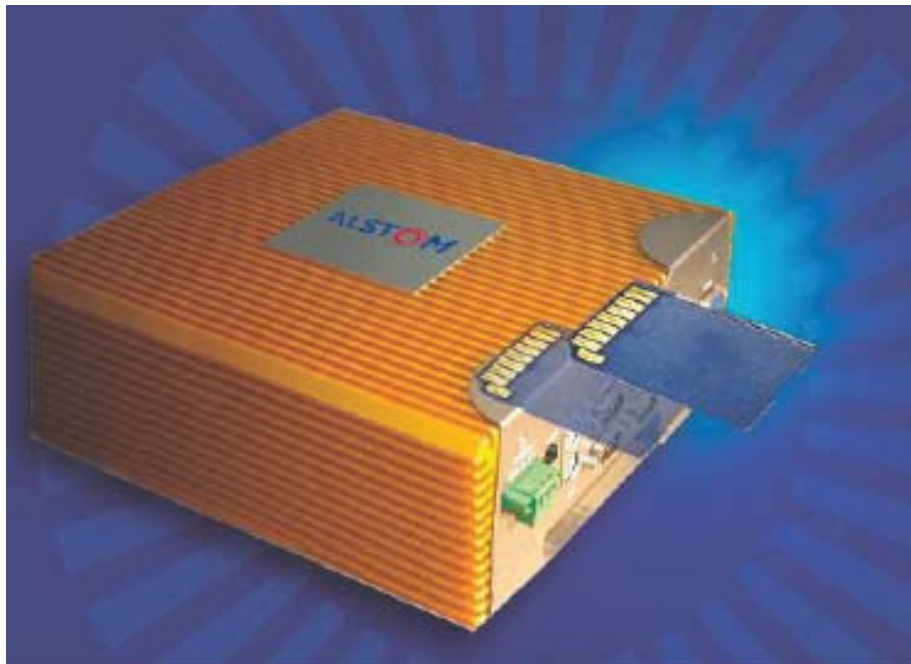


圖 26

TEC Cabinet

Easy to install due to standardised and structured design

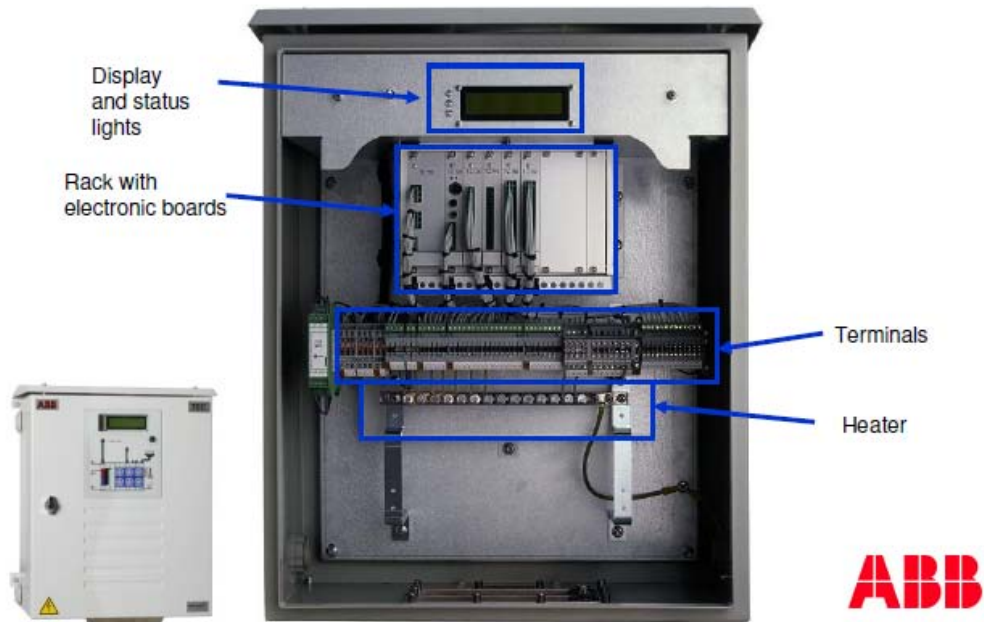


圖 27

Transformer Sensors

Few sensors, used for several purposes

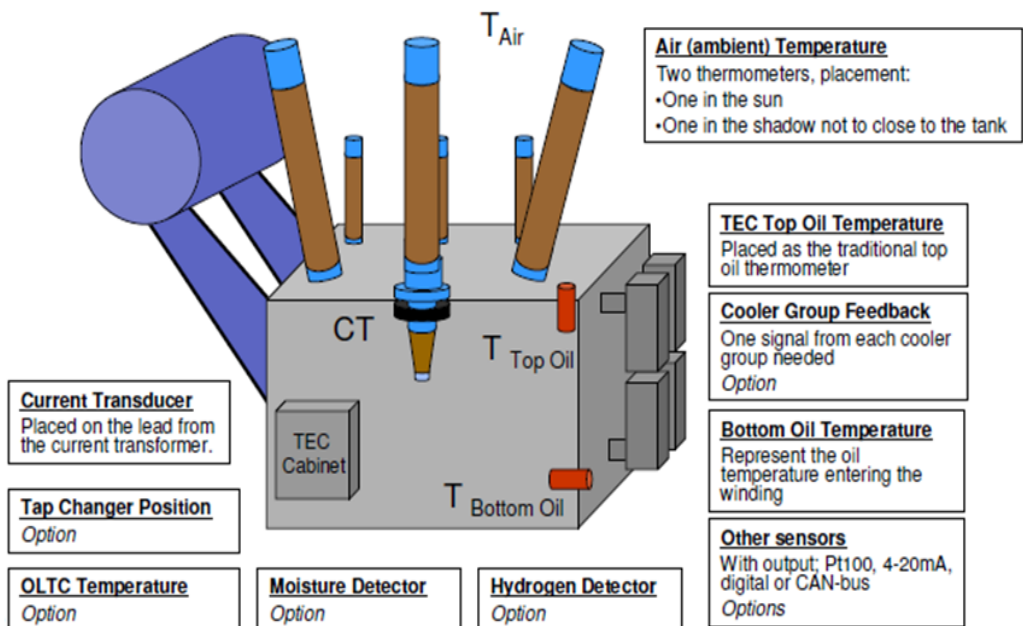


圖 28

ALSTOM 及 ABB 所採用之線上監控系統分別為 MS3000 及 TEC(外觀可參考圖 26 及圖 27)，兩者均引入專家系統，將會對變壓器運轉狀態及故障做相關判別及分析，以圖 28 ABB 之 TEC 監控系統為例，主要係安裝偵測設備於變壓器上，並引接至線上監控系統做監測，並將其它附屬設備引接至該系統作監控，不論是 ALSTOM 之 MS3000 或是 ABB 之 TEC 監控系統皆可對於變壓器以下之狀態予以監控：

- (1) 變壓器之油溫(含頂部油溫及底部油溫)
- (2) 變壓器繞組溫度(含熱點溫度)
- (3) 變壓器水份偵測
- (4) 變壓器過載能力
- (5) 變壓器目前運轉電壓及電流
- (6) 變壓器壽命評估
- (7) 部份放電偵測
- (8) 變壓器油中氣體偵測
- (9) 套管功率因數
- (10) 套管洩漏電流
- (11) OLTC 油溫
- (12) OLTC 切換次數及其它相關狀態
- (13) 變壓器冷卻系統監控

(14) 避雷器裝置狀態監視

除以上之項目外，還可對於監控系統本身狀態做自我監視，並且可給予運轉維護人員建議，給予超載之建議或者是否須進行維護，以 ABB 之 TEC 系統為例，其所提供之監控軟體可參考圖 29 及圖 30 所示。

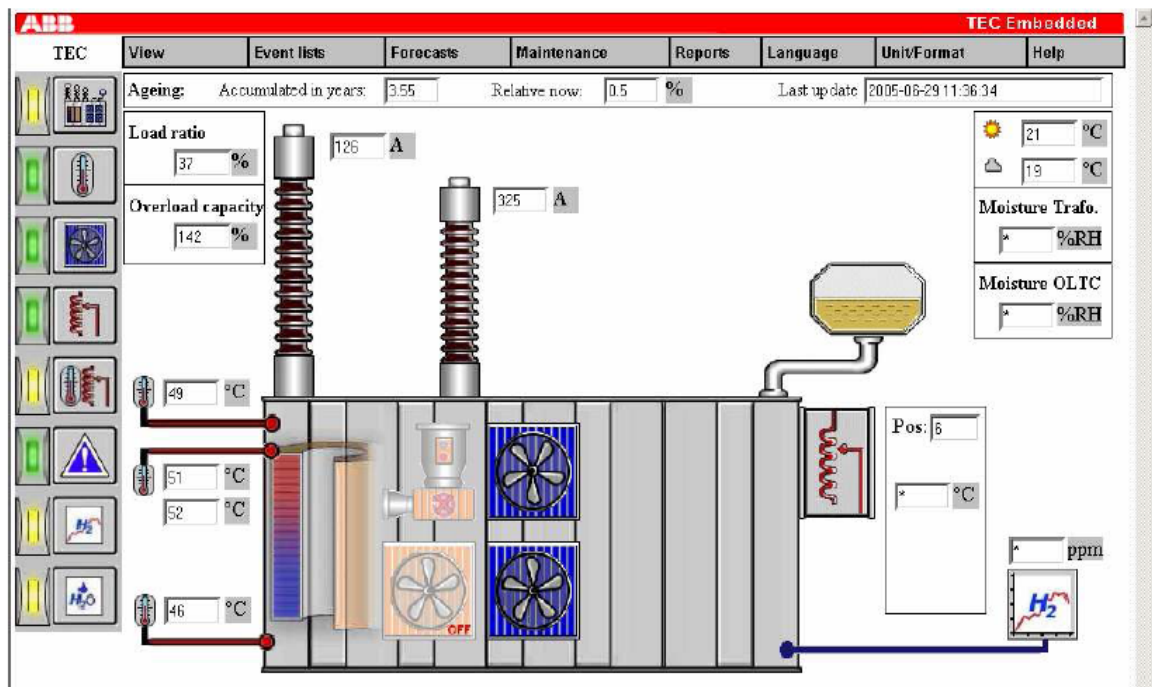


圖 29

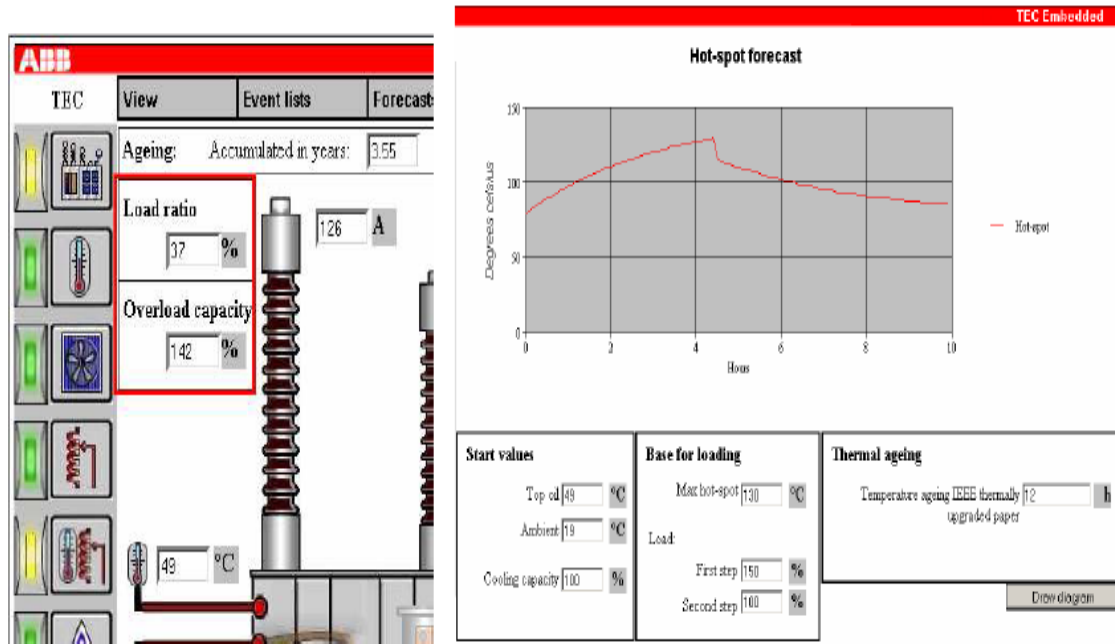


圖 30

監控系統對於多樣監測之歷史資料另予以存放，供運轉維護人員日後參考用，如圖 31、圖 32 及圖 33 所示。

Historical Data

Easy overview of historical data

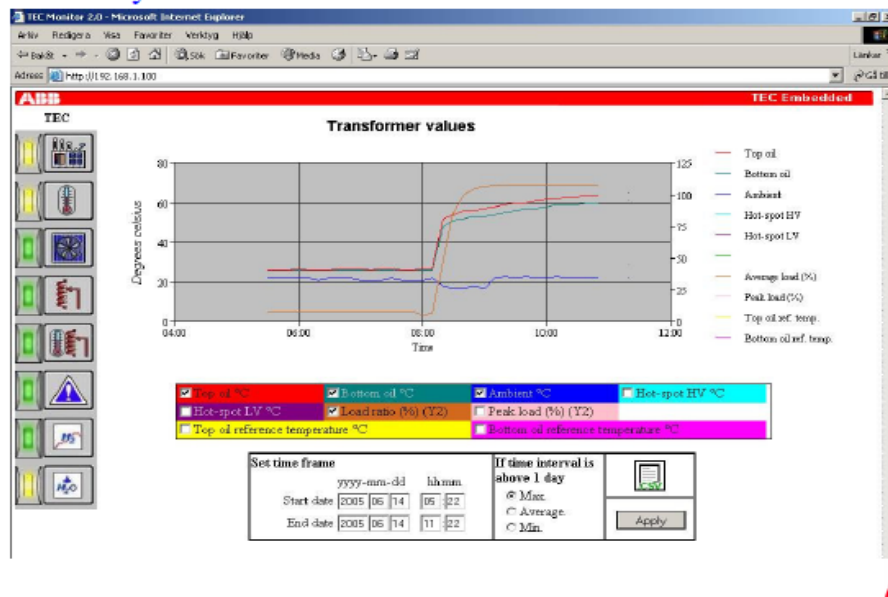


圖 31

Graphs to easy compare the hydrogen reading and load over a time, with trends

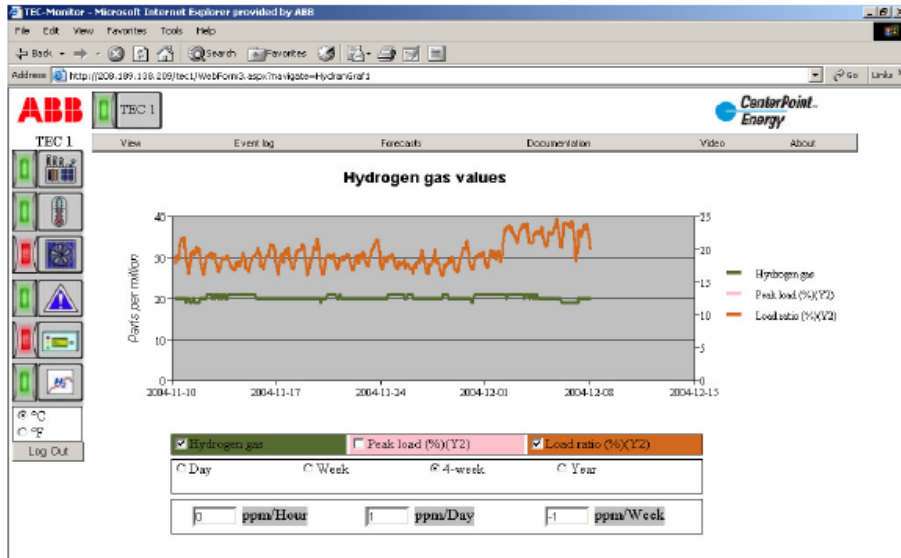


圖 32

Event Handling

Transformer events are collected in the event log, resolution 1ms

Select	Handle time	Event type	Function	Description	Measure taken at	Signature
<input type="checkbox"/>	2005-05-20 09:41:55.004	Alarm	Cooling	Loss of communication to control box	-	
<input type="checkbox"/>	2005-04-25 17:02:40.000	Alarm	Protection	Extra 2	-	
<input type="checkbox"/>	2005-04-17 11:31:09.000	Sensor Error	Tap-Changer	Tap-Changer 1 Temperature	-	



圖 33

十一、變壓器施工等其它事項

變壓器施工方面除前述運輸、設置環境考量需設計不同型式外，並需於安裝現場設置拉錨以做變壓器之設置及定位，另考量套管等附屬器材亦需設置吊掛裝置，安裝後需依 IEEE 規範要求做試驗，並做 FRA 試驗及相關現場試驗確認變壓器正常無虞，而 FRA 試驗可用來判斷運書過程中或是短路事故後繞組是否有變形之可能，該試驗數非破壞性試驗，該試驗需建立背景值供未來判斷用，而 FRA 試驗需注意試驗時切換器需切到最大 TAP 位置，且測試線品質將會對試驗結果造成影響，另外雜散電容會對此試驗造成影響也是需注意處。

十二、其它特殊產品

本次前往歐洲變壓器廠實習期間，廠家另對於 Cathodic Dip Coating、Ester Oil 及 Hermetic Transformer 三樣產品做簡介。

(一) Cathodic Dip Coating

Corrosion protection – Use of Cathodic Dip Coating (CDC)

- **Cathodic Dip Coating (CDC-Coating)**
 - Coating in the
 - Diving pool = anode
 - Object to be coated = cathode
- Advantages compared to conventional coating
 - Environmentally friendly due to low solvent content
 - High corrosion protection (eg rims for winter tires and chassis for cars, trucks and buses)
 - Coating for complex parts possible
 - Possible coating of cavities
 - Excellent edge/corner protection
 - Homogenous thickness of coating



CDC plant
Source: K. Wessling, Germany/Geeste-Dalum



CDC for distribution transformers



CDC for radiator

Power transformers - AGM

GRID | **ALSTOM**

圖 34 Cathodic Dip Coating

- Following components are already performed with CDC coating
 - Tank complete
 - Tank walls
 - Cover
 - Conservator
 - Pipes
 - Radiators
 - Turrets
 - Corrugated tanks
 - Flanges
 - Cable boxes



Radiator with homogenous CDC coating



CDC cable boxes (left) and piping segments (right)

Power transformers - AGM

GRID | **ALSTOM**


圖 35

對於裝置於重鹽害地區之設備，鹽份對於設備之腐


蝕亦為設計者需注意處，歐洲廠家有建議採用 Cathodic Dip Coating 技術，對於設置設備表面做處理，據廠家宣稱防蝕效果良好，使用之經濟效益高，也可鍍膜於複雜之設備表面(請參考圖 35)，鍍膜後之表面將具良好之平滑度，且對於鍍膜後外物刮傷亦不會造成鍍膜脫落，而設備鍍膜後亦需做相關測試(請參考圖 36)。

**Corrosion protection –
Test of Cathodic Dip Coating (CDC)**


- Test of CDC
 - Homogenous painting
 - Smooth surfaces
 - Edges and surfaces scratch-resistant
 - Good basis for priming and final coating
 - UV / condensation test
 - Salt spray test




No damage possible by a stroke with a hammer



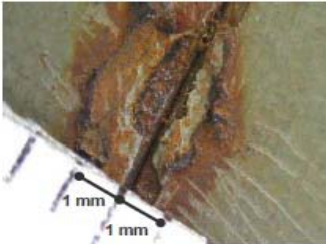
No damage possible due to scratching



Test chamber for UV/condensation tests according ISO 20340 with CDC probes



Test chamber for salt spray tests with CDC probes



Rost 0,7mm in the area of the scratch – allowed is 1 mm (acc. EN 12944-6)

Power transformers - AGM

GRID | ALSTOM

圖 36

(二)Easter Oil

目前大型變壓器所採用之礦物絕緣油將可能造成環境污染，歐洲變壓器廠家已開始考量植物絕緣油，植物絕緣油相對於礦物絕緣油之優缺點大致如下：

優點：

1. 熱穩定度較高
2. 水份含量要較優
3. 對於環境污染較低
4. 無水污染問題
5. 閃點可大於 300℃
6. 可再利用性高

缺點：

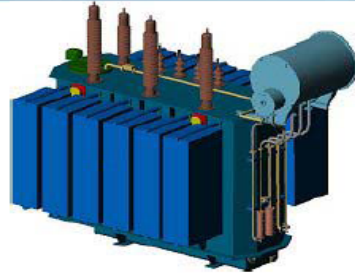
1. 溫度過低時，流動性不佳
2. 價格昂貴
3. 目前為止利用率低
4. OLTC 用油之絕緣等級較高
5. 過去礦物油之油中氣體判別無法引用

雖然植物絕緣油對於環境影響較小，但對於價格昂貴且過去礦物油之油中氣體判別無法引用兩項為其重大缺點，但歐洲廠家仍進行缺點之改善中。

(三) Hermetic Transformer

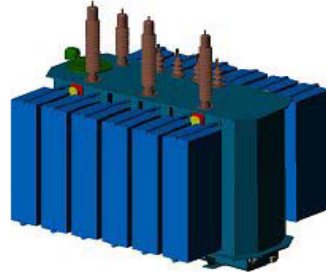
Hermetic Transformer 可參考圖 37 及圖 38 所示，可不需裝置油鼓、相關管路及呼吸吸濕裝置，故可降低變壓器成本，且對於日後維護成本亦可降低，惟須將 OLTC 改為安裝真空型式，且目前歐洲已有使用實績（如圖 39 所示）。

Hermetic transformer - Concept



Standard transformer

- Conservator
- Dehydrating breather
- Pipes
- Standard OLTC
- Radiators acc. to DIN 42559



Hermetic transformer

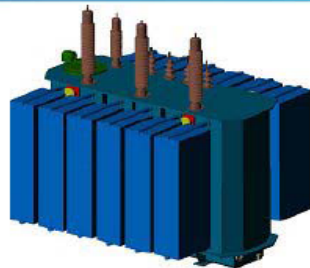
- Conservator
- Pipes
- Breather
- Vacuum tap changer
- Oil volume change through expansion radiators
- Pressure relief device
- Voltage / power up to 220kV / 150MVA

Power transformers - AGM



圖 37

Advantages of hermetic power transformers



- **no** moisture absorption of oil ~~H₂O~~
- **reduced** cellulose ageing
- **no** oil ageing by oil-oxidation ~~O₂~~

Clear prolongation of lifetime

- **no** breathers, **no** exchange of silical gel
- **no** contact erosion, **no** switch gases, **no** time-oriented maintenance by means of Vacutap-OLTC
- **no** oil treatment
- **no** hydro-compensator with maintenance and exchange

Low maintenance transformer

Lower costs

Power transformers - AGM



圖 38

Hermetic Transformer 63/80 MVA, 110/20 kV, for ENERTRAG



Power transformers - AGM

GRID | **ALSTOM**

圖 39

肆、心得及建議

本次計畫參訪 ALSTOM 及 ABB 工廠讓本人印象深刻，ALSTOM 及 ABB 工廠工安方面除需穿戴安全帽及安全鞋並做相關防塵措施，另將人行移動步道及機具移動步道分開，且其設備料件擺置也相當有規矩；ABB 新進人員需跟隨資深人員至少 5 年以上，才可正式上線工作，並同時在服裝上予以區別，這種一絲不苟的態度真是讓人印象深刻，而 ABB 變壓器製造，採用兩次烘乾流程，根據技術人員表示這也是它們品質良好的原因之一，另外對於 Cathodic Dip Coating 及 Hermetic Transformer 這兩項產品也是前往歐洲後才得知，對於日後設計時也是一項參考選項；目前歐洲變壓器廠家採用之線上監控系統已轉為專家系統，線上監控系統將會告知使用者目前變壓

器狀況及是否有故障之情形，或是有設備需進行維護，進而降低人員尋查時間以達降低維護成本，可供公司未來規劃設置參考用，但該主流仍有不確定因素存在，如：線上監控系統為 ALL IN ONE 型式，若過度依賴且該系統發生故障時，可能反而造成一監控漏洞，亦為設計及運轉人員需考慮及注意之處。



照片 1(與 Mr.Thomas 合照)

本次前往外國變壓器製造廠實習瞭解國外變壓器廠家設計及製造流程，並經由廠家設計人員說明各流程目的及注意事項，對本人未來規劃設計業務方面，如：工程規範編擬及工程進行時之圖審工作有相當之助益，亦期望對未來本處經辦業務有所幫助。



照片 2(與 Mr.Fabio 合照)

目前國內廠家工廠規劃方面並無像歐洲廠家如此注重工安方面之問題，對於台電前往工廠進行中檢或是出廠檢驗時，存在一定之危險性，建議可於工程相關計畫書內要求，廠家對於中檢或是出廠檢驗時，除相關安全設備外，需將人行移動步道與設備料件及機具移動步道分開，以降低工安發生之機率，並對於將送交台電設備及料件有制度規劃擺設處並做明顯告示牌標示，一方面提昇製造品質，另一方面可讓前往檢驗人員清楚瞭解目前設備製造進度及備料情況。

最後也感謝 ALSTOM 及 ABB 公司提供相關資料，供本人作為出國報告之參考。



照片 3(與 Mr.Felix 合照)