

出國報告（出國類別：實習）

# 靜態型同步補償器(STATCOM) 之運轉與維護

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：劉昌維 主管斷路器 供電處

派赴國家：日本

出國期間：99年12月20日至99年12月26日

報告日期：100年2月17日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)之運轉與維護



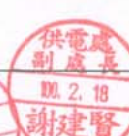

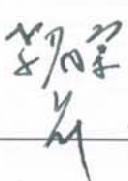
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
劉昌維	主管斷路器	台灣電力公司供電處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	

出國期間：99年12月20日至99年12月26日      報告繳交日期：100年2月17日

出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」) <input checked="" type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 4.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正,原因: <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外,將採行之公開發表: <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會(說明會),與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 _____ <input checked="" type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式: 1. 報告中有關 SVC 與 STATCOM 電容特性與成本優勢比較,以及運轉維護現象兩者優勢事項已納入本處週知及周林等是否改設 STATCOM 已評估未定。 2. 有關 SVC, STATCOM 運轉維護訓練納入工程規劃已建議工程單位納入計畫
--------------	---

說明：

- 一、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。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報告人		審核人	單位 主管	主管處 主管	總經理 副總經理	
						

QP-08-00 F06

供電處

02.21

收文章

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：**靜態型同步無效電力補償器(STATCOM)之運轉與維護**

頁數 30 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)2366-7685**

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

**劉昌維/台灣電力公司/供電處/主管斷路器/(02)23666583**

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：**99/12/20~99/12/26** 出國地區：**日本**

報告日期：**100/02/17**

分類號/目：**台灣電力公司**

關鍵詞：

靜態無效電力補償器：SVC(Static Var Compensator)

閘切換電容器：TSC (Thyristor Switched Capacitor)

閘控電抗器：TCR(Thyristor Controlled Reactor)

靜態型同步補償器：STATCOM(Static Synchronous Compensator)

絕緣柵雙極電晶體：IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)

電子注入增強柵極電晶體：IEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)

彈性交流輸電系統：FACTS (Flexible AC Transmission Systems)

內容摘要：(二百至三百字)

本公司東西超高壓幹線屬非主幹線，可符合 N-1 規劃準則。惟在尖載時若東西超高壓幹線 N-2，東部主要電力來源轉由大鵬~楓港~台東~鳳林~花蓮 161kV 線路輸送，輸電距離超過 200km，造成該地區因無效電力補償不及而動態電壓全面崩潰，恐引發全區大停電。

為能即時進行無效電力補償，有效控制電壓，使 N-2 時東部動態電壓得以穩定而不需採 SPS 卸載手段，故本公司第七輪變電工程規劃在龍潭（北）E/S 設置靜態型同步補償器（STATCOM）、在鳳林 E/S 及台東 P/S 設置靜態無效功率補償器（SVC），以強化系統無效功率控制、電壓與穩定度，以及電力傳輸能力。

面對即將加入系統運轉之無效功率補償設備（STATCOM 及 SVC），供電單位亟需對該等設備深入了解與認識，以利設備興建規劃、加入系統及運轉維護。

實習報告內容包含出國目的與過程、無效電力補償器設備實習心得（含原理、規劃、配置、運轉維護及 SVC 與 STATCOM 之比較）及建議事項。

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

# 目 錄

出國報告提要	I
目錄	III
圖表目錄	IV
壹、出國目的	01
貳、出國過程	03
參、靜態型無效電力補償器(SVC、STATCOM)簡介	04
一、SVC、STATCOM 裝設效益	05
二、SVC、STATCOM 工作原理	09
肆、參觀工廠及變電所	15
一、松屋變電所 SVC 配置設計規劃	15
二、SVC 及 STATCOM 設備配置及應用考量	18
(一) SVC 配置及應用考量	18
(二) STATCOM 配置及應用考量	19
三、SVC 及 STATCOM 設備維護及異常處理研討	22
伍、SVC 及 STATCOM 設備特性、配置與運轉維護比較	25
一、SVC、STATCOM 之電氣特性與設置成本比較	25
二、SVC、STATCOM 就運轉維護觀點比較	27
陸、心得與建議事項	29

## 圖表目錄

圖 3-1 為輸電線路傳輸容量與長度之關連圖-----	06
圖 3-2 裝設無效功率補償器對 系統暫態穩定度影響 -----	07
圖 3-3 P-V 曲線 -----	09
圖 3-4 SVC (TSC、TCR)及 STATCOM 配置架構圖 -----	09
圖 3-5 裝設 SVC 對系統無效功率變化-----	10
圖 3-6 TSC 控制電流輸出波形-----	11
圖 3-7 TSC 控制電流輸出波形-----	12
圖 3-8 SVC 之 V-I 特性曲線-----	12
圖 3-9 STACOM 控制電流輸出波形 -----	14
圖 4-1 松屋變電所 SVC 單線圖-----	15
圖 4-2 松屋變電所 SVC 配置圖-----	16
圖 4-3 松屋變電所設備實體-----	17
圖 4-4 SVC 電力電子元件(Thyristor)及其組成之設備 -----	19
圖 4-5 STATCOM 電力電子元件(IGBT)及其組成之設備-----	20
圖 4-6 STATCOM 配置架構圖-----	22
圖 4-7 STATCOM 之 Multiple tranformer 結線圖 -----	23

## 壹、出國目的

本公司電力系統因大量使用地下電纜及輸變電工程之變電所及輸電線路興建不易，造成部分地區重載時電壓偏低，輕載時電壓又偏高，以及電力系統穩定度及電力傳輸能力受限等問題。故委託日本東京電力公司進行「The study on STATCOM Installation In Taipower System」研究，在其2008年5月期末報告中指出，安裝無效功率補償器可有效避免電壓崩潰及解決暫態穩定度的問題。

因此，本公司在第七輸變電計畫中規劃裝設靜態型同步補償器（STATCOM）及靜態無效功率補償器（SVC）加強系統無效功率的控制，如表1-1，以增加輸電系統輸電能力及強化系統電壓，並且可有效避免電壓崩潰及解決暫態穩定度的問題。

地點	型式	電壓	容量	計畫期程
龍潭 E/S	STATCOM	345kV	±150MVAR	102 年
鳳林 E/S	SVC	161kV	+100MVAR -60MVAR	101 年
台東 P/S	SVC	161kV	+200MVAR -60MVAR	102 年

表1-1 第七輸變電計畫興建無效功率補償設備（STATCOM、SVC）

面對即將規劃設置、加入系統運轉之無效功率補償設備（STATCOM及SVC），供電單位亟需對該等設備深入了解與認識，故排定本次出國實

習運轉維護技術之行程有其必要性及迫切性。

本次出國赴日本參訪Nissin、Fuji與Toshiba等公司及關西電力公司松屋變電所，藉以了解STATCOM及SVC設備製造、應用及運轉維護技術，作為本公司引進無效功率補償設備之評估參考，並希望藉此次學習對將來該等設備設置及順利加入系統有所助益。



## 貳、出國過程

本次出國期間為99/12/20~99/12/26共計7天，前往日本參訪Nissin、Fuji與Toshiba等公司及關西電力公司松屋變電所，實習靜態型同步補償器(STATCOM)之運轉與維護之行程及工作內容列示如下：

日期	行程	工作內容
99/12/20	搭機往程(台北－日本京都)，宿京都	搭機往程
99/12/21	1、赴Nissin京都工廠實習SVC之運轉及維護技術。 2、關西電力松屋變電所參訪。 3、行程(京都－東京)，宿東京。	1、Nissin公司京都工廠參訪，了解SVC製造及安裝。 2、SVC設計、維護及運轉技術研討。 3、關西電力松屋變電所參訪，了解SVC設備運轉情形。
99/12/22~ 99/12/23	1、Fuji公司千葉工廠實習SVC、STATCOM之運轉及維護技術。 2、行程(東京←→千葉)，宿東京。	1、Fuji公司工廠參訪SVC、STATCOM設備，聽取設計課大宮司充課長說明各項設備。 2、Fuji公司櫛永春彥技術主任解說SVC及STATCOM設計原理及規劃，以及SVC與STATCOM差異。 3、Fuji公司千葉工廠樋口雅朗部長主持設備規範、維護及運轉技術研討。
99/12/24~ 99/12/25	1、Toshiba公司府中工廠實習SVC、STATCOM之運轉及維護技術。 2、行程(東京←→府中)，宿東京。	1、Toshiba公司府中工廠參訪，TMEIC開發設計課大田悟課長解說SVC及STATCOM設計原理及規劃，以及SVC與STATCOM差異；參觀STATCOM工廠並進行各項設備的解說。 2、Toshiba公司豐原正敏部長主持設備規範、維護及運轉技術研討。
99/12/26	搭機返程(日本東京－台北)	搭機返程

## 參、靜態型無效功率補償器(SVC、STATCOM)簡介

目前世界各國電力公司為了解決系統電壓崩潰及系統暫態穩定度問題，或為了增加輸電系統的輸電能力、強化系統電壓控制及高電力品質時，大部分皆採以電力電子元件及其控制技術之靜態型無效功率補償器來達到其目的，然而靜態型無效功率補償器（SVC、STATCOM）之採用規劃，須依系統需求目標（電壓穩定度、暫態穩定度、提升電壓品質及傳輸容量）、負載條件、穩態及動態調整之無效電力需量、電壓調整快速動態補償功能要求、設置位置及安裝空間（或變電所可使用面積），噪音標準、諧波管制值、經濟效益、…等方面之設計評估，以決定採用之設備（SVC或STATCOM）及其控制及配置模式。

SVC係採用Thyristor電力電子元件組合成TSC或TCR控制模式，而STATCOM是SVC進化版，主要進化特徵是改良電力電子元件，由半導體元件Thyristor SCR改良為GTO、IEGT、IGBT等各種不同的晶閘元件，使無功補償，電力系統暫態特性補償、擾動阻尼特性獲得精緻化的調控。

自1960年起SVC已問世，至今安裝容量超過100,000MVAR，而自1986年STATCOM才問世，目前各國電力設備大廠皆陸續發展，但目前主要生產技術皆掌握在歐、美、日幾個製造廠。

本次出國參訪富士公司，該公司說明SVC涵蓋STATCOM、TCR、TSC

之電力電子元件模組控制模式，SVC是靜態型無效功率補償器的泛稱，但目前我們似乎把採用Thyristor電力電子元件組合成TSC或TCR者歸類為SVC，故將來開採購規範時應特別留意，但由於目前STATCOM價格仍較SVC高，故還不會有以STATCOM替代SVC交貨情形發生。

本報告所引用SVC名稱係指Thyristor電力電子元件組合成TSC或TCR無效功率補償裝置。

## 一、SVC及STATCOM裝設效益

SVC及STATCOM皆屬並聯無效功率補償裝置，為一種可快速切換改變系統電力參數之設備，亦為可持續性改變無效電力需量的補償裝置，亦可為電感性或電容性輸出之設備，故裝設可達成以下效益：提升輸電線路之傳輸容量、提升電力系統暫態穩定度、提升電力系統電壓穩定以及改善功率因素減少線路損失。

### (一) 提升輸電線路之傳輸容量：

台灣為南北狹長地形，輸電線路系統為一南北走向的長條型結構，北部用電需求大，造成北部地區電力供需不平衡，時常需要藉由輸電線路由中南部供應所需電力（南電北送），由於長距離之電力傳輸受限於電壓及系統穩定度的限制，而影響輸電線路傳輸，傳輸線路長度越長則傳輸容量越小，但於適當地點裝設

SVC或STATCOM無效功率補償設備時，可提升輸電線路之傳輸容量，如圖3-1所示，未裝設SVC時，則  $P/P_0$  最大值為1 ( $P=E^2 \times \sin \theta / X$ ，功率角為 $90^\circ$ 時)，但當裝設SVC時則可增加 $P/P_0$ 值(大於1)，亦即提升傳輸容量。

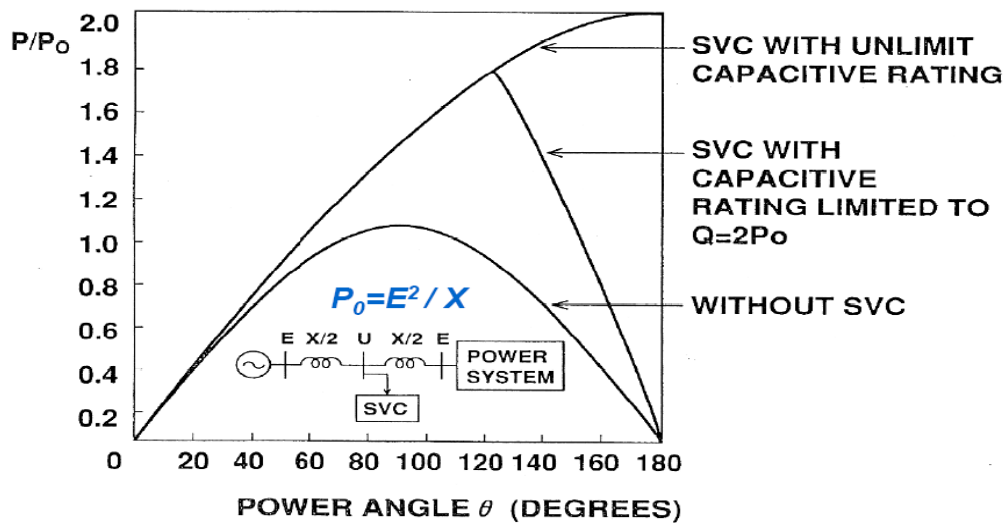


圖3-1為輸電線路傳輸容量與長度之關連圖

## (二) 提升電力系統暫態穩定度：

依據本公司委託日本東京電力公司進行「The study on STATCOM Installation In Taipower System」研究，在2008年5月期末報告中指出在台電系統中安裝STATCOM可有效避免電壓崩潰及解決暫態穩定度的問題。

另依據本公司系統規劃處以龍潭(北)裝設STATCOM對系統暫態穩定度分析結果：雖然無論龍潭(北)有無裝置STATCOM，

系統暫態穩定度分析檢討結果，皆可符合本公司系統規劃準則規定，但若於龍潭(北)± 150 MVAR STATCOM，可提升系統事故後臨界清除時間(Critical Clearing Time, CCT)，避免因系統保護協調，致故障端斷路器須經數週波後才打開清除故障，造成發電機組無法維持穩定同步運轉，致使發電機組失步跳脫情況。因此，系統裝設STATCOM對提升系統暫態穩定度有明顯助益。

系統暫態穩定區間之Margin過小時，易造成系統不穩定，由圖3-2所示，當裝設無效功率補償器（SVC或STATCOM）時，增大Margin範圍，可提升系統暫態穩定度。

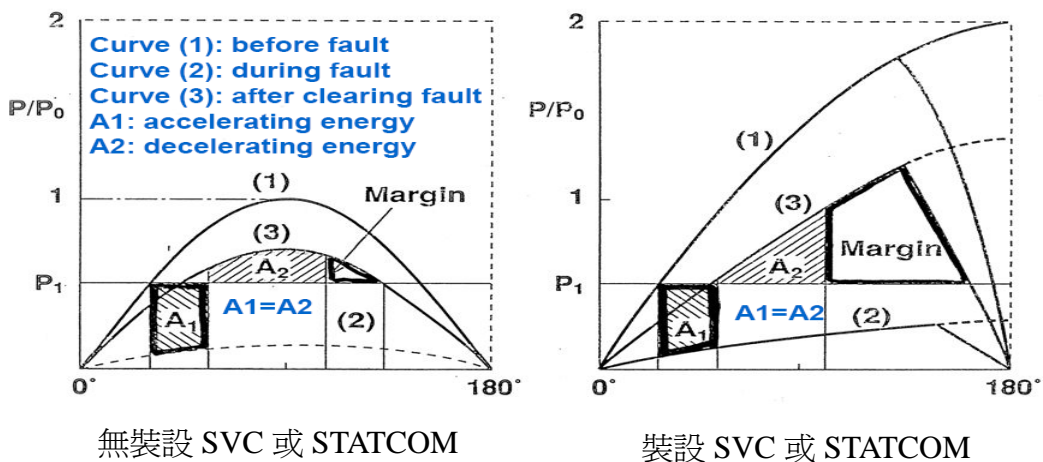


圖3-2 裝設無效功率補償器對 系統暫態穩定度影響

### (三) 提升電力系統電壓穩定：

區域性之供需平衡為電力系統運轉之最大經濟效益，但受限於台灣特殊地形及人口分布密度，且由於土地價值高漲及環保團

體與地方民眾藉由電磁場議題抗爭，阻擾本公司基礎電網建設建置，相關電源開發計劃及超高壓變電所無法如期興建，尤其以用電需求最大之北部地區衝擊最大，不僅衍生系統供電瓶頸及供電品質問題，甚至會造成系統電壓崩潰危機。

本公司供應全台電力需求，當北部電源不足時，其電力須仰賴中、南部地區供應，依本公司系統規劃處，以全台39175MW電力需求、北部電源不足993MW及當時之電力系統架構進行系統電壓穩定度分析，當北部地區再遭遇電廠事故或維修而短缺1878MW電力時，將使當345kV頂湖~龍潭(南)二回路發生N-2事故時，會造成系統電壓崩潰問題，故需裝置具快速反應之無效電力補償裝置設備因應。

同理，依圖3-3之P-V曲線所示，系統電壓隨負載增加而下降，當系統未裝設無效電力補償裝置時，負載增加至P-V曲線臨界負載量時，電壓以下降約60%，如負載持續增加將造成系統電壓崩潰，但如裝設SVC或STATCOM無效電力補償裝置時，相同之負載量（未裝設無效電力補償裝置之P-V曲線臨界負載量），對應裝設SVC或STATCOM無效電力補償裝置之P-V曲線，電壓仍維持系統電壓，故裝設SVC或STATCOM無效電力補償裝置，可提升電力系統電壓穩定度，避免系統電壓崩潰。

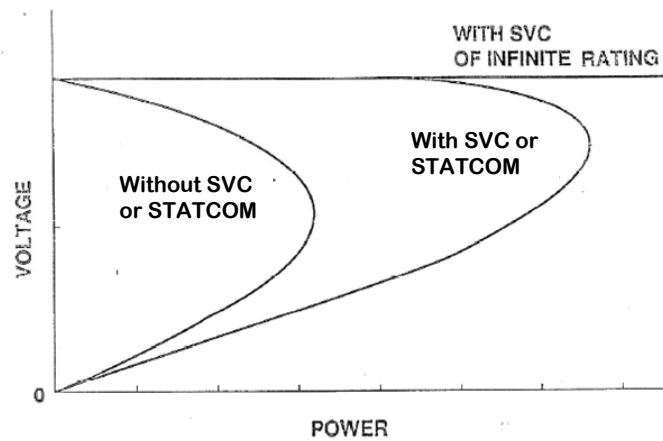


圖3-3 P-V曲線

## 二、SVC及STATCOM的工作原理

SVC及STATCOM皆屬並聯無效功率補償裝置，SVC係採用Thyristor電力電子元件組合成TSC或TCR之無效功率補償裝置，而STATCOM係採用IGBT或IEGT電力電子元件所模組而成之無效功率補償裝置。其組合架構，如圖3-4所示。

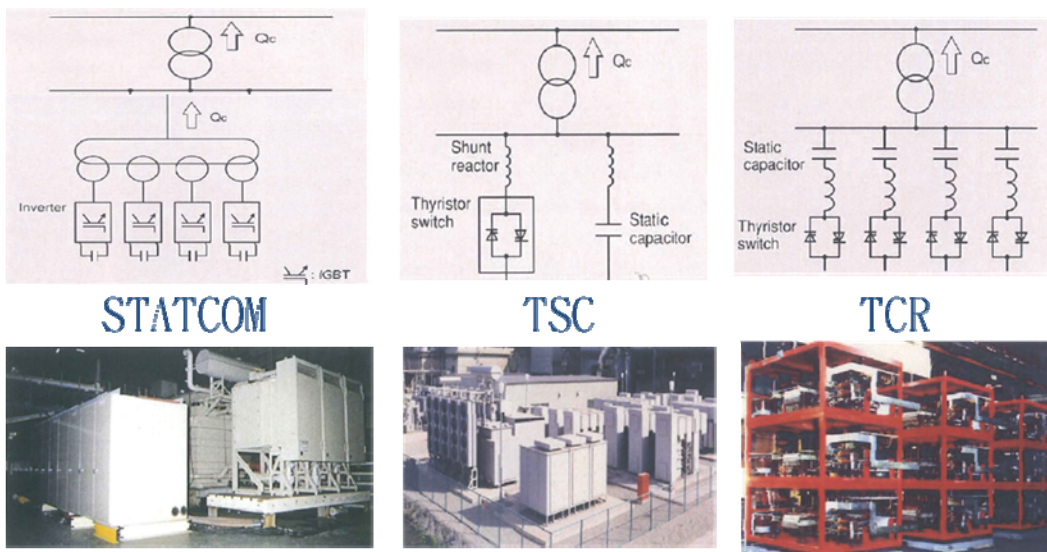


圖3-4 SVC (TSC、TCR)及STATCOM 配置架構圖-

當負載端無效功率劇烈變化時，利用無效功率補償器(SVC、STATCOM)，可使系統端之無效功率維持小幅變化（亦即維持系統電壓穩定），如圖3-5所示， $Q_F$ 為負載端無效功率劇烈變化波形、 $Q_L$ 為無效功率補償器依負載端無效功率變化迅速補償對應變化量之波形、 $Q_S (=Q_L+Q_F+Q_C)$ 為系統端無效功率變化波形，負載端與無效功率補償器兩個無效功率合成後( $Q_L+Q_F$ )，其無效功率波形僅為小幅之變化（亦即無效功率補償器，依負載端無效功率變化，立即補償所須之無效功率），當再加以系統所需之固定無效電力需量 ( $Q_C$ ) 時，合成後之波形為系統端無效功率波形 ( $Q_S$ ) 只有小幅的變化，亦即，無效功率補償器已使系統達成穩定電壓的目的，如圖中 $Q_S$ 之波形所示。

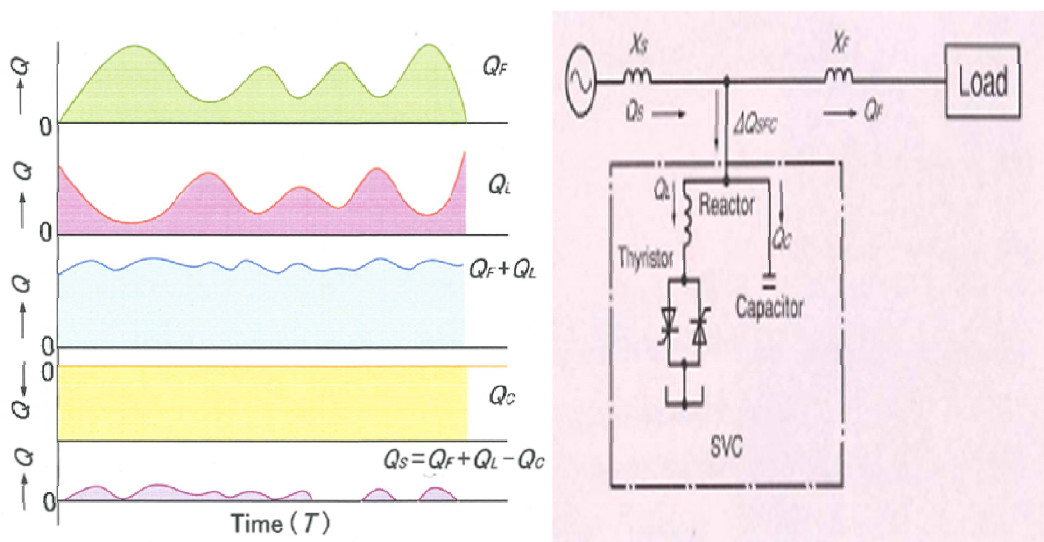


圖3-5 裝設SVC對系統無效功率變化

(一) TCR之工作原理(參考圖3-6)：

- 1、TCR係利用點火脈衝 (Fire Pulses) 控制Thyristor導通觸發角來



控制無效電力電流量，在系統電壓正峰值至負峰值之間觸發 Thyristor 使其導通時，則產生正半週無效電力電流；反之，若系統電壓負峰值至正峰值之間觸發 Thyristor 使其導通時，則產生負半週無效電力電流，可連續控制輸出無效電力電流，補償系統無效功率。

- 2、TCR具三相一起或個別操作控制之功能，但其運作會產生諧波，故需設置諧波濾波裝置（電抗器及電容器設備），通常會將此諧波濾波裝置當作固定電容性無效電力源（FC）。

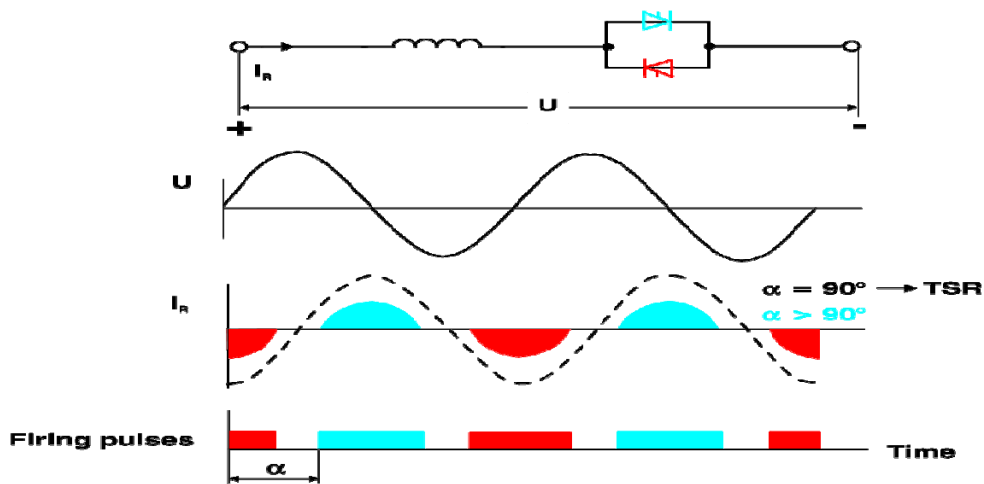


圖3-6 TSC 控制電流輸出波形

(二) TSC之工作原理(參考圖3-7)：

- 1、TSC之控制回路與TCR不同，TSC係利用點火脈衝(Fire Pulses)控制Thyristor導通(ON)或關閉(OFF)，TSC須在系統電壓正、負峰值時觸發Thyristor使其導通。當正峰值觸發時產生負半週無效電力電流；反之，負峰值觸發時產生正半週無效電力電流，連續於正、負峰值觸發時，即可輸出無效電力電流，補償系統

無效功率。

- 2、TSC具多組併聯運轉之靈活性及低損失，運轉中併聯電容數量可以被控制調整之操作方式，故其亦可與TCR組合形成TCR+TSC+FC 之SVC應用模式。

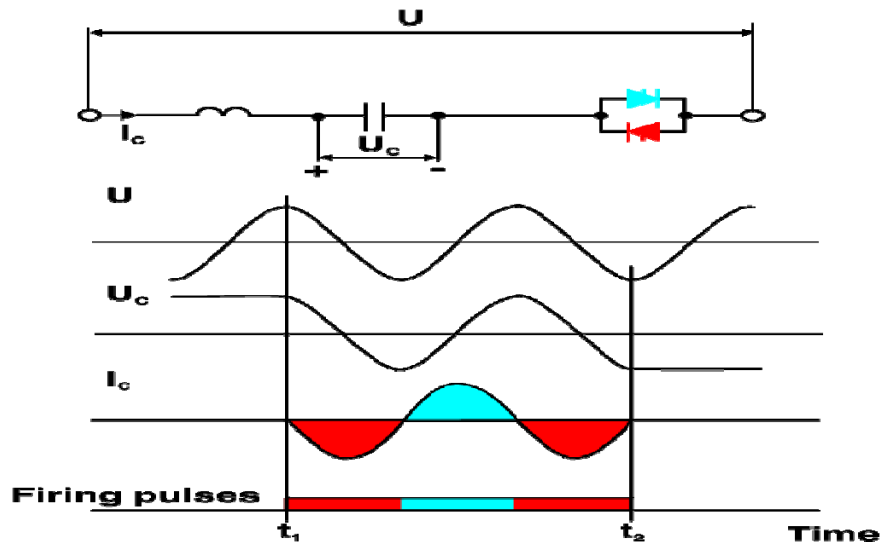


圖3-7 TSC 控制電流輸出波形

(三) SVC之V-I特性曲線說明(如圖3-8)

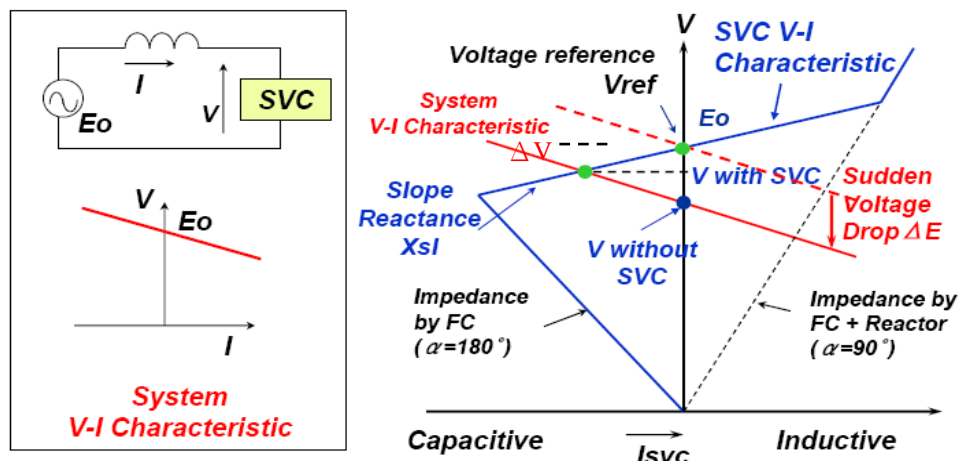


圖3-8 SVC之V-I特性曲線

- 1、如未裝設SVC時，系統發生事故造成電壓驟降之幅度為 $\Delta E$ ，

但如裝設SVC時，系統發生事故造成電壓驟降之幅度 $\Delta V$  (小於 $\Delta E$ ，電壓沿著SVC V-I特性曲線移動，電壓在系統V-I特性曲線與SVC V-I特性曲線交點上)，且系統隨著SVC提供無效電力，提升系統匯流排電壓，直到電壓回到SVC設定之電壓。

- 2、 SVC V-I特性曲線中間線段的斜率愈小則電壓變化愈小，但特性過於平緩，將可能造成控制系統擾動，因此必須依系統需求加以規劃設計取得適當斜率，確保電力系統達到最佳狀態。

#### (四) STATCOM之工作原理(參考圖3-9)：

STATCOM 屬於彈性交流輸電系統(FACTS)中一種並聯補償設備，為一種可快速切換且可改變電網參數之設備。STATCOM 為一並聯型補償器，若並接於所欲補償無效電力地點，透過回授補償點實際電壓值與STATCOM設定之期望電壓值，計算出補償器輸出電壓大小。當補償點電壓值與STATCOM輸出電壓值不一致時，STATCOM將經由閘流體高頻切換方式，切換出高頻方波形態之補償量，在透過濾波器濾波產生補償電流，對補償點注入補償電容性或電感性電流，達到電壓補償效果。

亦即，STATCOM輸出無效功率之大小決定於 $V_i - V_s$ 壓差之大小，而其輸出或吸收無效電力則取決於 $V_i > V_s$ 或 $V_i < V_s$ 。其工作原理說明如下：

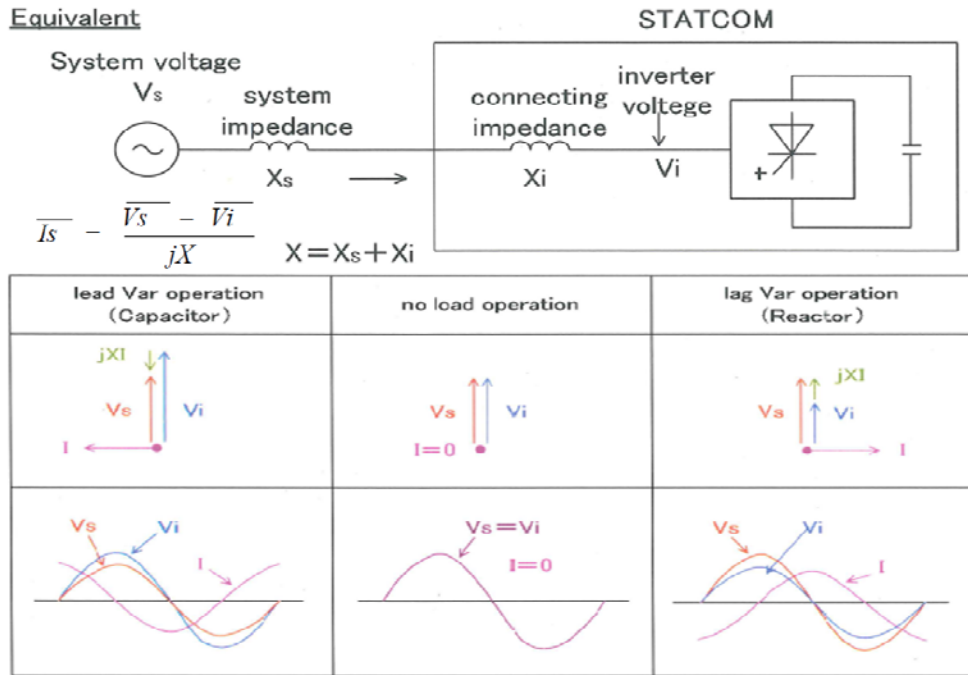


圖3-9 STATCOM 控制電流輸出波形

- 1、當  $V_i = V_s$  時，系統與STATCOM之間電流為0，亦即不會注入任何補償電流至系統，故不提供無效功率至系統，亦不吸收系統無效功率。
- 2、當  $V_i > V_s$  時，由系統匯流排流向STATCOM的電流，其相位超前系統電壓  $90^\circ$ （STATCOM屬於電容性操作），提供無效功率至系統，以提高系統匯流排電壓( $V_s$ )至電壓設定值，直到電壓提昇至  $V_i = V_s$  時，STATCOM不再提供無效功率。
- 3、當  $V_i < V_s$  時，由系統匯流排流向STATCOM的電流，其相位落後系統電壓  $90^\circ$ （STATCOM屬於電感性操作），自系統吸收無效功率，以降低系統匯流排電壓( $V_s$ )至電壓設定值，直到電壓提昇至  $V_i = V_s$  時，STATCOM不再自系統吸收無效功率。

## 肆、參觀工廠及變電所

### 一、松屋變電所SVC配置設計規劃

#### (一) 規劃設計：

- 1、關西電力公司松屋變電所係為末端變電所，規劃採用日新公司SVC以確保電力品質並提升該區域電力系統電壓穩定度，亦避免系統電壓崩潰而造成變電所停電。
- 2、日新公司依系統需求（電壓穩定度、暫態穩定度、提升電壓品質及傳輸容量）、負載條件、穩態及動態調整之無效電力需量、變電所可使用面積，噪音標準、諧波管制值、經濟效益、…等考量，設計規畫採用SVC，SVC設計單線圖如圖4-1。

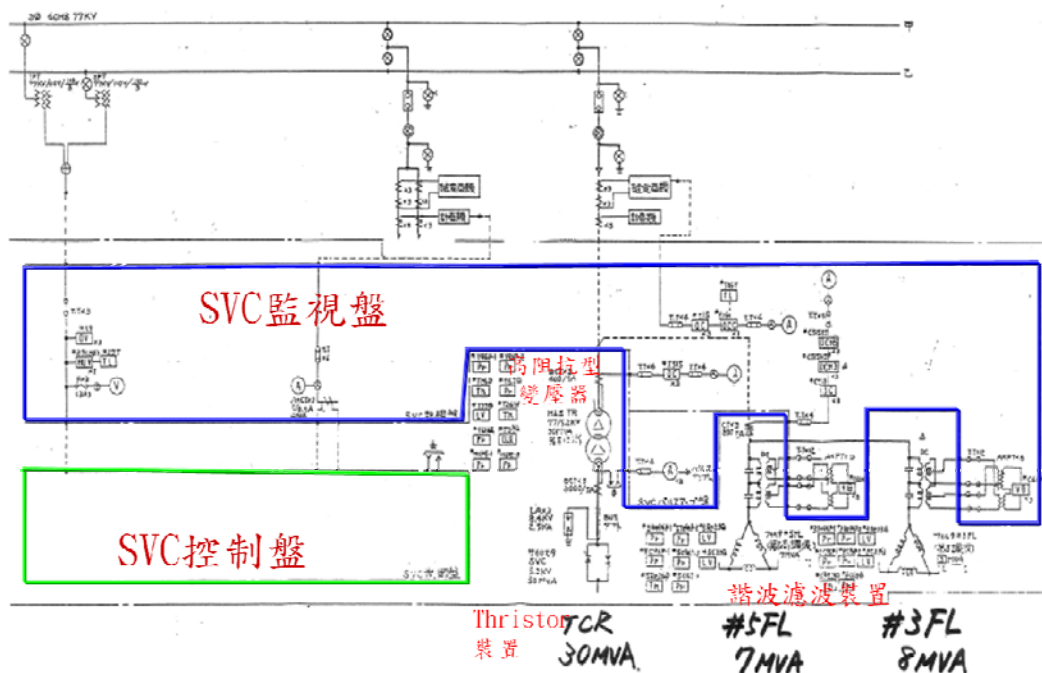


圖4-1 松屋變電所SVC單線圖

- 3、由於TCR設備會產生諧波，故採用靜態電容器及電抗器組成之

3次及5次諧波濾波器，並將該濾波器當成固定量之FC、FC合計無效功率量為15MVAR，並可做為±15MVAR。

## (二) SVC配置及運用考量

- 1、松屋變電所SVC配置如圖3-2所示，電力電子元件(Thyristor)組成之TCR設備、Thyristor監控裝置設備、Thyristor冷卻系統裝置設備、空調及通風系統、高阻抗型變壓器、諧波濾波裝置（電抗器及電容器設備）以及連接系統匯流排之斷路器及避雷器等設備。
- 2、松屋變電所SVC設備配置面積為19.2×10.5公尺，因為該變電所空地相當大，可滿足SVC設備空間需求，且當時SVC價格較STATCOM設備價格低廉故選擇採用SVC，這也是本公司在規劃建置無效電力補償裝置（SVC或STATCOM）時應列入考量之事項（但目前STATCOM價格約SVC價格之1.2~1.5倍之間，差距已不是很大）。

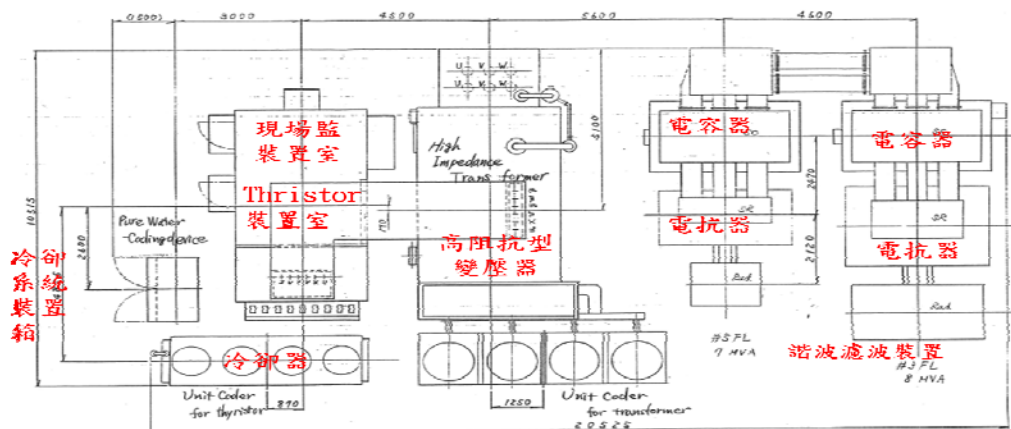
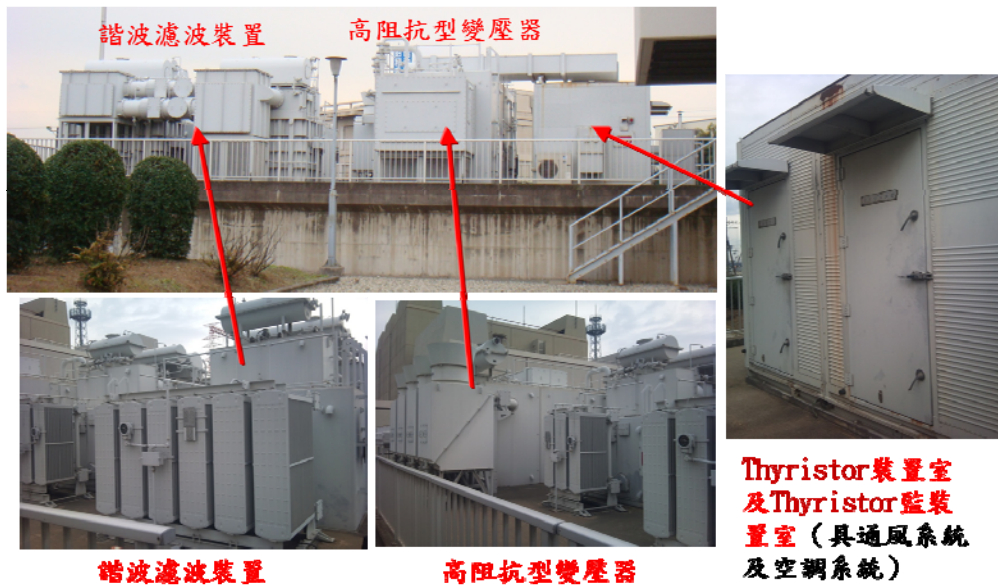
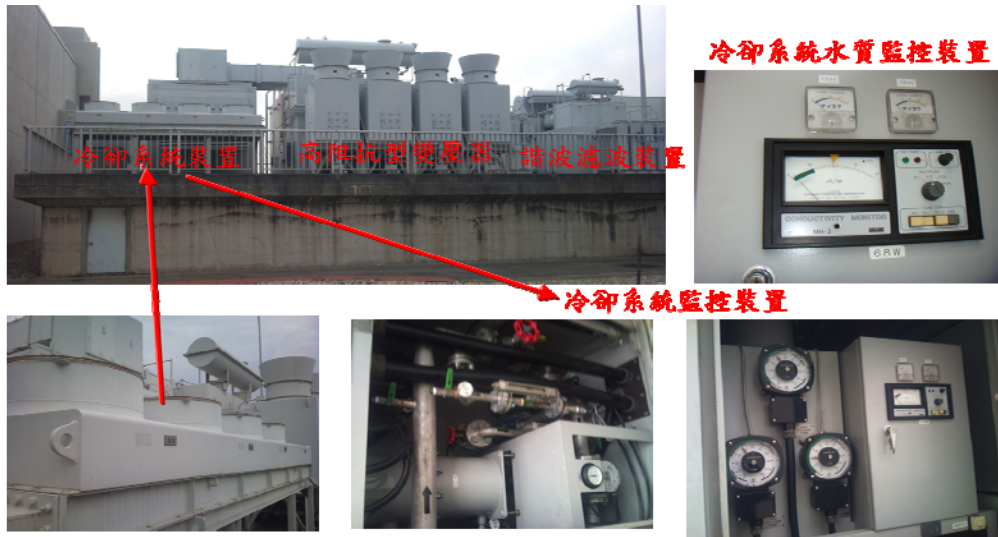


圖4-2 松屋變電所SVC配置圖



控制室SVC各盤面(電驛盤、輔助電驛盤、監視警報盤)



監視盤(警報盤)

圖4-3 松屋變電所設備實體

## 二、SVC及STATCOM設備配置及應用考量

### (一) SVC配置及應用考量

- 1、SVC主要元件為電力電子元件(Thyristor)，SVC裝置係由數個Thyristor堆疊組成單相Thyristor模組、由單相Thyristor模組疊高成三相一體之Thyristor裝置，水冷卻系統裝置經冷卻高壓水管連接Thyristor，用以冷卻電力電子元件(Thyristor)，水冷卻系統裝置配備有監控冷卻水純度之監視系統，另SVC亦有控制Thyristor運作及監視其運轉狀況之SVC監控裝置，以及控制Thyristor動作之光閘系統等設備，如圖4-4所示。
- 2、SVC裝置設備亦須包含Thyristor室之空調及通風系統、高阻抗型變壓器、斷路器、避雷器、諧波濾波裝置（電抗器及電容器設備），以及保護電驛等設備。
- 3、Thyristor監控裝置係採用兩套以確保其運轉可靠度，如同SCADA兩套系統主機一樣。
- 4、Thyristor裝置係三相堆疊而成，由於閘流體高頻切換運作過程產生熱量相當高，故其冷卻系統相當重要，故採用水冷系統，對於冷卻水水質須加以監測，避免造成電力電子元件損壞，本公司日後運轉維護上應加以注意。



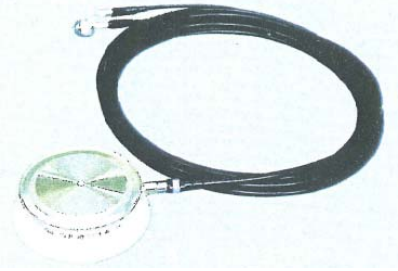
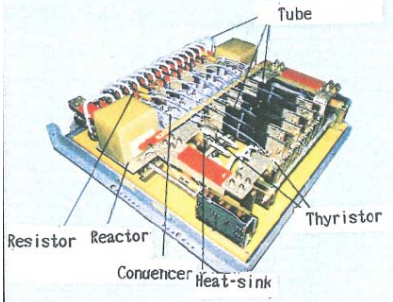

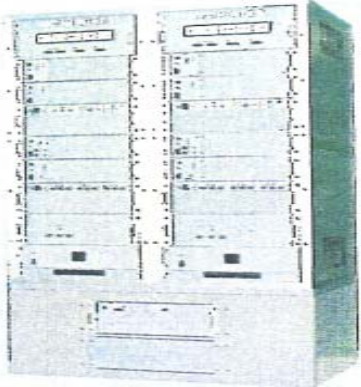
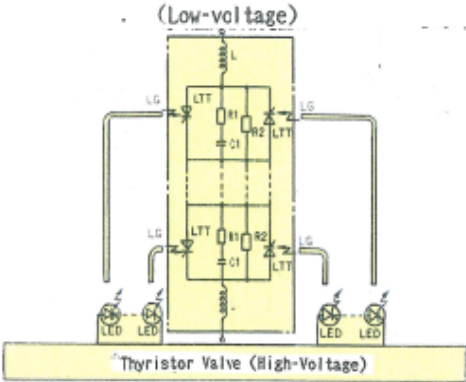
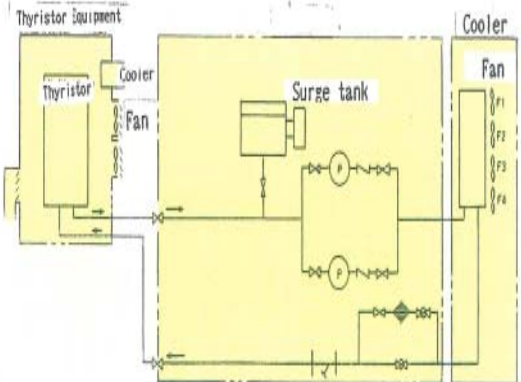
	
<p>Thyristor</p>	<p>Thyristor 模組</p>
	
<p>Thyristor 裝置</p>	<p>Thyristor 監控裝置</p>
	
<p>Thyristor 光閘系統</p>	<p>Thyristor 裝置之水冷卻系統裝置</p>

圖4-4SVC 電力電子元件(Thyristor)及其組成之設備

## (二) STATCOM配置及運用考量

- 1、STATCOM係由變流器(converter)、直流電容器(或直流電感器、有效功率電源)、濾波器、交鏈變壓器(或二次側多抽頭型變壓器)及控制器所組成。

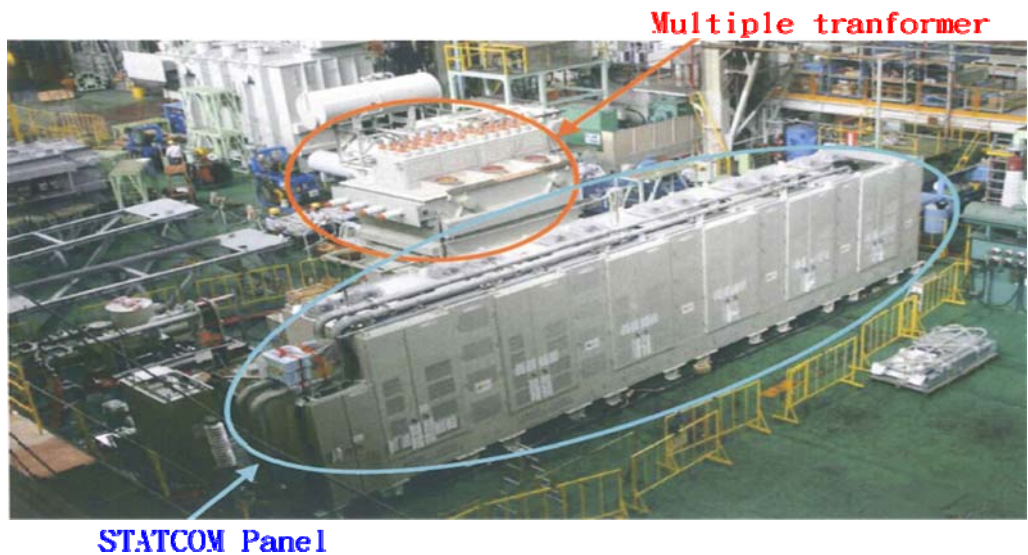
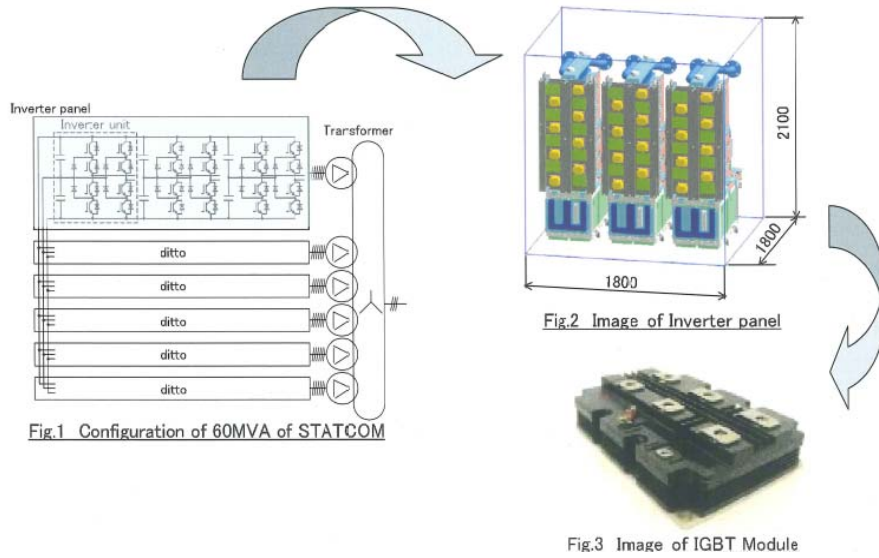


圖4-5 STATCOM 電力電子元件(IGBT)及其組成之設備

- 2、STATCOM主要元件為電力電子元件(IGBT或IEGT)，STATCOM裝置係由數個IGBT (或IEGT)堆疊組成單相IGBT (或IEGT)模組、由單相IGBT (或IEGT)模組疊高成三相一體之IGBT (或IEGT)裝置，水冷卻系統裝置經冷卻高壓水管連接IGBT (或IEGT)用以冷卻電力電子元件，水冷卻系統裝置配備有監控冷卻水純度之監視系統，另STATCOM亦有控制IGBT (或IEGT)運作及監視其運轉狀況之STATCOM監控裝置、控制IGBT (或IEGT)工作之

光閘系統，以及多抽頭型變壓器(Multiple tranformer)，其二次側連接IGBT (或IEGT)裝置等設備，如圖4-5所示。

- 3、 STATCOM裝置設備亦須包含IGBT (或IEGT)室之空調及通風系統、高阻抗型變壓器、斷路器、避雷器、保護電驛等設備。
- 4、 STATCOM之IGBT (或IEGT)監控裝置係採用兩套以確保其運轉可靠度，如同SCADA控制系統(或ECS, Energy Control System)採用兩套系統主機一樣，來確保其可靠度。
- 5、 STATCOM亦採用電力電子元件做為無效功率補償裝置，由於閘流體高頻切換運作過程產生熱量相當高，故其冷卻系統相當重要，故採用水冷系統，對於冷卻水水質須加以監測，避免造成電力電子元件損壞，本公司日後運轉維護上應加以注意。
- 6、 STATCOM 亦可採數組 STATCOM 組成，如圖 4-6 所示，+90MVAR無效功率係由3組30MVAR之STATCOM組成，此方式須配置三台二次側多抽頭型變壓器(Multiple tranformer)，其無效電力補償範圍為-90MVAR~+90MVAR。
- 7、 STATCOM 之電容性或電感性之無效功率輸出係為相互對稱，亦即，若電容性無效功率輸出+150MVAR(電容性)，則電感性之無效功率輸出-150MVAR(電感性)。

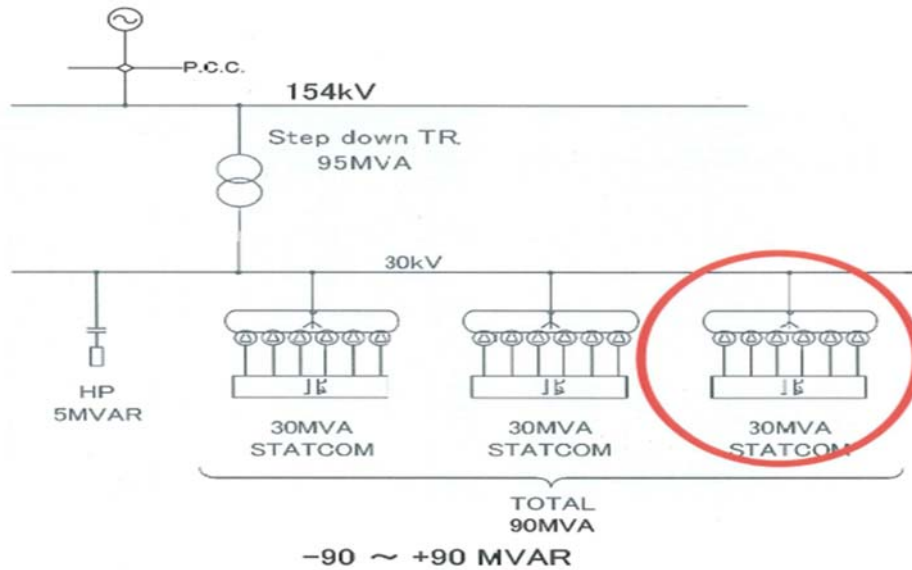


圖4-6 STATCOM 配置架構圖

### 三、SVC及STATCOM設備維護及異常處理研討

本次出國實習參訪Nissin、Fuji及Toshiba等三家公司工廠，除了針對無效功率補償裝置(SVC及STATCOM)設計原理、規劃研討外，亦進行運轉維護進行研討。此外，另由關西電力大阪南電力所電氣課米谷豐帶領參觀松屋變電所，並實地了解SVC設備運轉情形，彙整說明如下：

- (一) 無效功率補償裝置(SVC及STATCOM) 設備之運轉狀態訊息皆會集中於監控裝置，故無效功率補償裝置任何組件異常，亦會由監控裝置透過通訊傳輸，提供警報訊息給值班人員。
- (二) SVC或STATCOM之監控裝置為該設備之控制核心，負責控制及

監視電力電子元件動作（亦即，無效功率之輸出），故為確保監控裝置設備正常運轉，監控裝置係採用兩套來確保其運轉可靠度。

(三) SVC或STATCOM使用之高阻抗型變壓器、斷路器、避雷器、諧波濾波裝置（電抗器及電容器設備）設備，其維護方式與目前本公司維護方式一樣，依廠家說明書規定辦理週期性點檢，但SVC或STATCOM控制及監視裝置，則係配合每月巡視時，檢視相關項目之功能是否正常。

(四) STATCOM使用之多抽頭型變壓器(Multiple tranformer)：該變壓器(一次側為Y接線；二次側為delta接線)用以連接IGBT (或IEGT)設備是一種特殊變壓器，本公司目前尚未有該型變壓器，建議應派該設備單位維護人員接受該型變壓器之維護技術訓練。

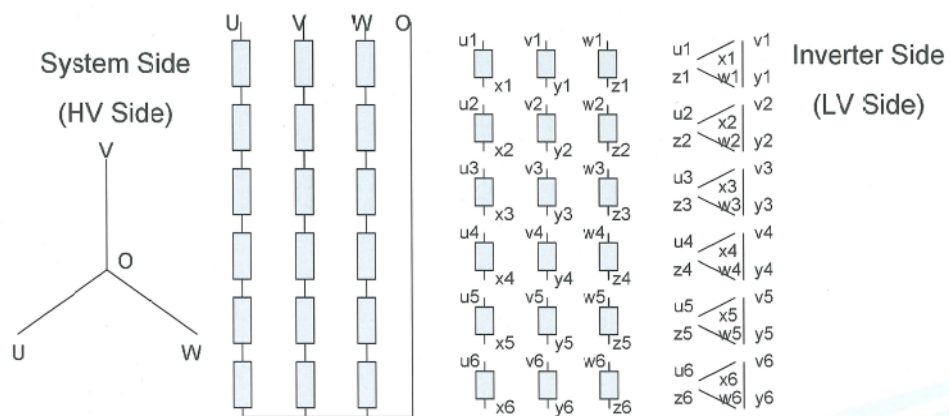


圖4-7 STATCOM之Multiple tranformer結線圖

(五) 參觀松屋變電所時請教關西電力人員如何對SVC設備進行維

護，其表示：對於SVC監控設備並未作特別點檢維護，但會定期檢視該設備之各項功能是否正常（如檢查水冷裝置之水質指示是否符合標準，是否有滲水情形…等），如發生異常時，則通知設備廠商進行檢修。

(六) 對於SVC或STATCOM之將來維護問題，Toshiba公司人員表示：STATCOM設備以電力電子元件及其監控系統為主，設備發生異常時，80%必須仰賴設備廠家進行維護檢修，另SVC或STATCOM使用之Thyristor或IEGT動作皆採用光耦觸發方式，故須定期檢查光耦元件是否正常（檢查其亮度）。

(七) 冷卻系統對於SVC或STATCOM相當重要，該三家公司皆採用水冷方式，由於冷卻水之帶電離子將影響電力電子元件功能，甚至造成損壞，故對於冷卻水水質皆會加以監測，以避免造成電力電子元件損害，本公司日後運轉維護上應加以注意。

(八) SVC及STATCOM所使用之電力電子元件（Thyristor、IGBT或IEGT）係數只電力電子元件堆疊組成單相模組，再由單相模組堆疊組成三相模組。若單只電力電子元件故障時，可以單只進行更換；若單相模組故障時，亦可以單相模組更換；若整組故障時，亦可進行整組（三相模組）進行更換。

## 伍、SVC 及 STATCOM 設備特性、配置與運轉維護比較

### 一、SVC、STATCOM之電氣特性與設置成本比較

收集各製造廠家所提供SVC及STATCOM電氣特性、設置成本及運轉維護資料，彙整SVC及STATCOM比較表如下：

說明項目	SVC	STATCOM	備註
一、電氣運轉特性			
1.在額定容量運行			特性相當
2.低於額定電壓運行特性		優	STATCOM $\propto V$
3.高於額定電壓運行特性	優		SVC $\propto V^2$
4.功率因數調控		優	同上
5.電力系統故障時，不會增加短路容量		優	同上
6.損失	優		SVC : 0.6% , STATCOM : 1~3% , 但各廠家說法不一
7.開環路穩定性和時間常數		優	
8.響應速度		優	SVC : 2~3 週波 STATCOM : 1~2 週波
9.有功功率調節能力		優	可以發展
10.交流系統不對稱運轉			特性相當
11.系統阻抗諧振問題		優	SVC 要考量系統阻抗，STATCOM 則不須要考量系統阻抗

12.諧波特性和		優	通常 SVC 要加設 5、7 諧波之濾波器
13.阻尼控制		優	
14.電力系統大擾動下改善電壓及暫態穩定性		優	
15.運轉可靠度			SVC：99.5% (ref. Alstom)、 STATCOM：100 次故障/10 億小時 (ref. Siemens)
16.運轉壽命			SVC：25~30 年
17.噪音與電磁場		優	通常 SVC 要加設 5、7 諧波之濾波器，增加電抗器設備
18. 補償範圍			1.SVC 可由 TCR、TSC 及 FC 組合搭配所需之 MVAR 範圍。 2.STATCOM 所需之 MVAR 範圍具對稱性
二、初期裝設成本	優		STATCOM 比 SVC 高出約 110~150%
三、安裝佔地面積		優	STATCOM 約為 SVC 之 80%以下
四、維護人力與成本			兩者維護條件相似

由上表分析結果，可以發現STATCOM安裝所需面積較SVC小，且STATCOM之電氣特性較SVC為優，尤其對於改善系統電壓穩定度及暫態穩定度方面，STATCOM更較SVC為佳。故就運轉調度、電力品



質及設備電氣特性等角度而言，採用STATCOM 優於SVC。

## 二、SVC、STATCOM就運轉維護觀點比較

(一)SVC、STATCOM的技術掌握在歐、美、日少數製造廠，各製造廠

對於 SVC、STATCOM 的主要元件（晶閘管及控制器）都各有獨門設計，甚至有專利權，故對於各廠牌設備之維護及運轉，都要設有相關的運轉維護人力，且都是具高度技術性的人力。另因為台灣目前沒有產製能力，且短期內本公司無法訓練出可勝任之維護人才，日後設備維修及備品採購等，尚需大量依賴製造廠家支援，該設備一旦發生故障，設備停機時間因須仰賴國外製造廠家技術及材料支援而拖長，將嚴重影響供電品質，更甚者將危及本公司系統運轉安全，更將損及公司聲譽。由於龍潭E/S因系統需求必須採用STATCOM，若鳳林E/S及台東P/S能配合亦採用STATCOM，除可簡化設備型式，備品亦可互相流通，並有利於本公司維護人員的培養，可大幅提升自行維修能力及運轉可靠度。

(二)SVC、STATCOM是由複雜的電力電子元件、電力設備、電腦、通訊、資訊控制組合而成的彈性電力系統設備(FACTS)，所以維修人力必須包含資訊、自動控制、通訊、電力電子、電機技術等人才，而不同的廠牌、設計、技術也不同，甚至有專利技術，爲了讓設

備能夠維持安全、順暢的運轉，建議考量採用同系列產品之SVC或STATCOM，不僅可以提升單一化維修能力，而且備品具共通性增加，可以降低停機時程，提升運轉可靠度。

(三)如之前報告所述，SVC、STATCOM之採用規劃，須依系統需求目標（電壓穩定度、暫態穩定度、提升電壓品質及傳輸容量）及SVC與STATCOM電力電子特性加以評估選擇，以電力電子技術而言，STATCOM技術性優於SVC，同時對電力系統的補償能力及特性亦較優於SVC，所以龍潭E/S因電力系統特性需求（N-2事故時所帶來之系統電壓崩潰之衝擊）必須使用STATCOM，雖然鳳林E/S及台東P/S裝設SVC即可滿足系統需求目標，但就上述就運轉維護觀點（一）及（二）之說明，以及依據蒐集資料，以25年運轉年限計算成本之工程經濟分析檢討結果，採用STATCOM 優於SVC。

## 陸、心得與建議事項

- 一、 依SVC、STATCOM之電氣特性、設置成本與運轉維護比較結果，在運轉調度、電力品質、設備電氣特性、運轉維護觀點，以及以25年運轉年限計算成本之工程經濟…等方面分析檢討，採用STATCOM優於SVC，故建議鳳林E/S及台東P/S採用STATCOM。
- 二、 有關電力電子裝置及其監控裝置不管採用SVC或STATCOM，本公司維護單位必須面臨該設備維護問題，本次出國詢問關西電力公司人員表示：即使日本電力公司對此等設備異常處理維護也是仰賴設備製造廠商，由於該設備製造廠商就在日本，故設備異常或故障時，可以立即通知設備廠商協助處理。但因國內並無該設備產製能力之廠家，當設備異常或故障時，因須仰賴國外製造廠家技術及材料支援而拖長停電時間，故對於該等設備，建議除考量維護人員技術訓練外，另應考量未來維修備品共通性問題，以確保設備運轉可靠度。
- 三、 SVC及STATCOM所使用之電力電子元件（Thyristor、IGBT或IEGT）可以單只進行更換，亦可以單相模組更換，也可進行整組（三相模組）進行更換。由於使用同廠家之零件相容性高，故多間變電所使用同一廠家產品，對於運轉維護較為有利。
- 四、 SVC、STATCOM是由複雜的電力電子元件、電力設備、電腦、通訊、

資訊控制組合而成，且為首次引進本公司，故目前本公司尚未有該等設備之運轉維護經驗，建議未來採購STATCOM或SVC時，應將「赴原廠學習該設備之維護技術訓練課程」納入採購規範，以利本公司維護人員的培養，提升自行維修能力及運轉可靠度。

五、組成SVC及STATCOM所需的設備有監控裝置、保護電驛設備、電力電子(IGBT、IEGT、Thyristor)設備、冷卻系統裝置設備、空調及通風系統、高阻抗型變壓器、斷路器、避雷器等共同設備項目，此外SVC需增設諧波濾波器（電抗器及電容器設備），但STATCOM需增設二次側多抽頭型變壓器。報告中配合圖面說明SVC及STATCOM，藉以讓讀者了解SVC及STATCOM之概觀。

六、冷卻系統對於SVC或STATCOM皆相當重要，日本Nissin、Fuji及Toshiba等三家公司皆採用水冷方式，由於冷卻水之帶電離子將影響電力電子元件功能，甚至造成損壞，故對於冷卻水水質皆會加以監測，以避免造成電力電子元件損害，本公司日後運轉維護上應加以注意。

七、報告中所提日本關西電力松屋變電所SVC設備配置單線圖、FUJI規劃STATCOM設備配置單線圖，以及報告相關資料與建議，提供作為SVC與STATCOM分析比較，以及規範制定之參考。