

出國報告（出國類別：實習）

離岸風力發電系統之靜態型無效電力補償器(STATCOM)規劃設計資料蒐集及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：何曉碩 電機工程師

派赴國家/地區：瑞士/蘇黎世、瑞典/韋斯特羅斯

出國期間：107年9月25日至107年10月5日

報告日期：107年11月7日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

離岸風力發電系統之靜態型無效電力補償器(STATCOM)規劃設計資料蒐集及運用維護等技術實習

頁數 29 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

何曉碩/台灣電力公司/營建處電氣組/電機工程師/(02)23666965

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：107年9月25日至107年10月5日

派赴國家/地區：瑞士/蘇黎世、瑞典/韋斯特羅斯

報告日期：107年11月7日

關鍵詞：靜態型無效電力補償器、STATCOM、離岸風力

內容摘要：本次出國計畫任務為「離案風力發電系統之靜態型無效電力補償器(STATCOM)規畫設計資料蒐集及運用維護等技術實習」。本報告內容係將本次在ABB公司實習對於靜態型無效電力補償器(STATCOM)設備及運用維護

等技術方面做資料蒐集及紀錄。

歐洲各國近幾年來積極投入離岸風力發電設置，尤其在開發及發電技術等，發展最為快速。國內離岸風場正在建置中，對於相關規劃設計以及需配合施做的海事工程等經驗缺乏，因應政府積極推動離岸風電發展，有必要派員至歐洲相關公司實習相關技術。藉由派員至靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 廠家實習及了解離岸風場靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 之規劃、設計及建置等技術與經驗，並蒐集相關資料，有助於增進對離岸風力發電系統之靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 相關最新知識及先進技術的了解，並可依公司需求加以規劃設計，俾利提高設備可用率，以期發揮最大效益。另外蒐集國外離岸風力發電系統之靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 廠家設計製造之技術、經驗與工程回饋，可作為本公司規範編擬之重要參考。

本文電子檔已傳至公務出國報告資訊網 (<https://report.nat.gov.tw/reportwork>)

大綱

壹、目的

貳、過程

參、靜態型無效電力補償器(STATCOM)規劃設計資料蒐集及運用維護等技術實習

一、STATCOM 介紹

(一) STATCOM 架構及工作原理

(二) STATCOM 與 SVC 比較

二、STATCOM 應用

(一) Grid-Code 探討

(二) 系統研究

(三) 混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)

三、ABB STATCOM 產品介紹及實績

肆、心得及建議

壹、目的

因應政府積極推動離岸風電發展，有必要派員至歐洲相關公司實習相關技術。歐洲各國近幾年來積極投入離岸風力發電設置，尤其在開發及發電技術等，發展最為快速。國內離岸風場正在建置中，對於相關規劃設計以及需配合施做的海事工程等經驗缺乏，這次藉由派員至 STATCOM 廠家實習及了解離岸風場 STATCOM 之規劃、設計及建置等技術與經驗，並蒐集相關資料，有助於增進對離岸風力發電系統 STATCOM 相關最新知識及先進技術的了解，並可依公司需求加以規劃設計，俾利提高設備可用率，以期發揮最大效益。另外蒐集國外離岸風力發電系統 STATCOM 廠家設計製造之技術、經驗與工程回饋，可作為本公司規範編擬之重要參考。

貳、過程

本次出國行程如下

日期	工作內容
9/25-9/26	往程(台北—法蘭克福—蘇黎世)
9/27-9/30	ABB 總部參訪、參觀 ABB 瑞士工廠及 STATCOM 相關技術研討、交流
10/1	往程(蘇黎世—斯德哥爾摩—韋斯特羅斯)
10/2-10/3	參觀 ABB 瑞典工廠及 STATCOM 相關技術研討、交流(最後一日參訪結束，返斯德哥爾摩)
10/4-10/5	返程(斯德哥爾摩—法蘭克福—台北)

在瑞士 ABB 公司實習期間，由 Mr. Simon Vogelsanger 介紹 ABB 公司靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 產品總類，並對該公司銷售實績概況做說明，之後由 Mr. Matthias Gautschi 說明靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 原理及設備元件，結束後前往工廠參觀靜態型無效電力補償器 (STATCOM) 生產製造流程及試驗場所，參觀完工廠後，最後針對本次行程之問題互相討論。

在瑞典 ABB 公司實習期間，由 Mr. Peter Andersson 介紹動態並聯電力補償器及其應用並介紹他國離案風力併聯點規定的轉變，並對產品銷售實績概況做說明，之後由 Mr. Anders Stiger 介紹同步電容器 (又名同步調相機，Synchronous condenser) 的應用，結束後由 Mr. Andrew Owens 前往 ABB 電壓源變換器 (Voltage Sourced Converter、VSC) 研發測試中心 (Light House) 及控制系統試驗場所參觀，參觀後，最後針對本次行程之問題互相討論。

參、靜態型無效電力補償器(STATCOM)規劃設計資料蒐集及運用維護等技術實習

本次實習內容主要分為三大項，第一部分為 STATCOM 介紹：將介紹 STATCOM 架構及工作原理，並與靜止無功補償器(Static Var Compensator, SVC)分析比較，第二部分為 STATCOM 應用：將探討國內外併聯規定的不同及轉變，STATCOM 系統研究所需要的參數以及混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)的應用，第三部份為 ABB STATCOM 產品介紹及實績。

一、STATCOM 介紹

STATCOM 為 Static Synchronous Compensator 縮寫，中文名稱為靜止同步補償器，是由電力電子元件組成的動態電壓調節設備，與靜止無功補償器(Static Var Compensator, SVC)功能是一樣的，因為 STATCOM 的響應速度跟所需空間較小，隨著電力電子元件發展成熟，STATCOM 逐漸取代靜止無功補償器(Static Var Compensator, SVC)。

(一) STATCOM 架構及工作原理：

1. STATCOM 架構如圖 1 所示，說明如下：

(1) Power Transformer：一般 STATCOM 電壓約 30~35kV，須藉由變壓器使電壓升高至系統電壓，另外值得一提 ABB STATCOM 電壓有做到 69kV 的技術，可以直接街到 69kV 的系統，不需透過變壓器升壓，節省經費。

(2) 電抗器：主要目的為建立變壓器低壓側與 STATCOM 的電位差，另外有使 STATCOM 輸出電流平滑及限制故障電流等功能。

(3) STATCOM：應用電壓源轉換器(VSC)技術，提供電感性或電容性無效功率。

(4) MACH™ Control System：人機介面控制系統，處理器接收到系統電壓，經過處理器判斷後，送出訊號給 STATCOM 提供電感性或電容性無效功率。

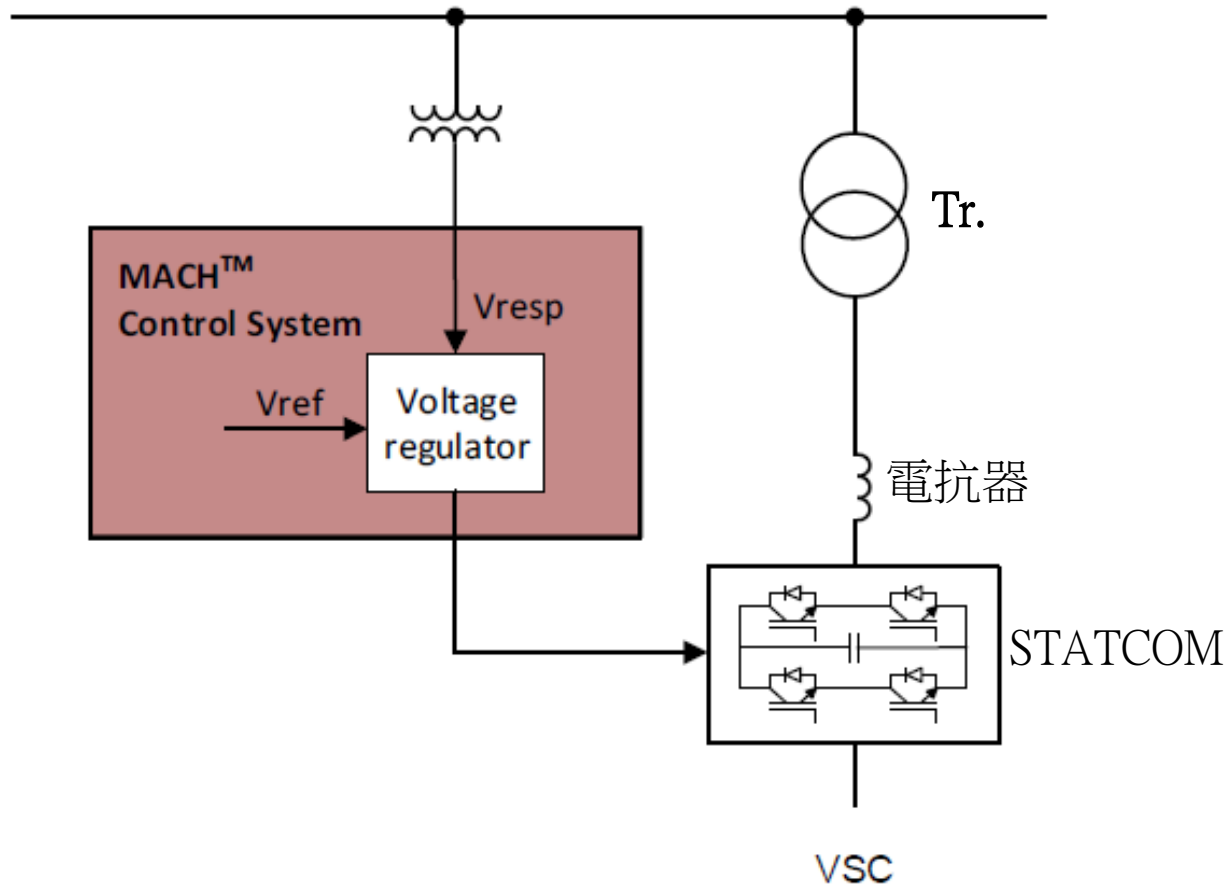
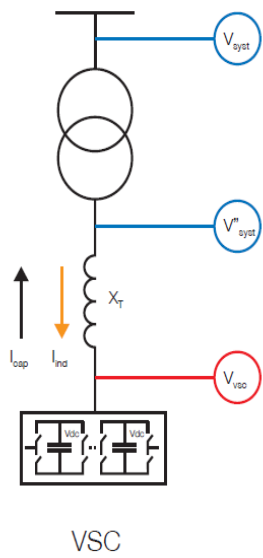


圖 1

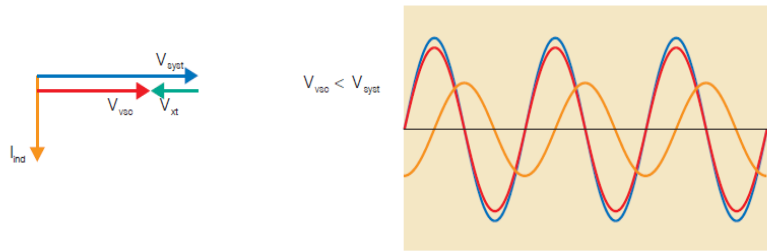
2. STATCOM 工作原理，說明如下：

當 STATCOM 處理器接收到系統電壓，會判斷如果系統電壓低於 STATCOM 電壓，STATCOM 將會提供電容性無效功率給系統，反之如果系統電壓高於 STATCOM 電壓，STATCOM 將會提供電感性無效功率給系統，也就是吸收無效功率，如圖二所示。



Inductive operation

The current is phase-shifted, lagging, compared to the voltage



Capacitive operation

The current is phase-shifted, leading, compared to the voltage

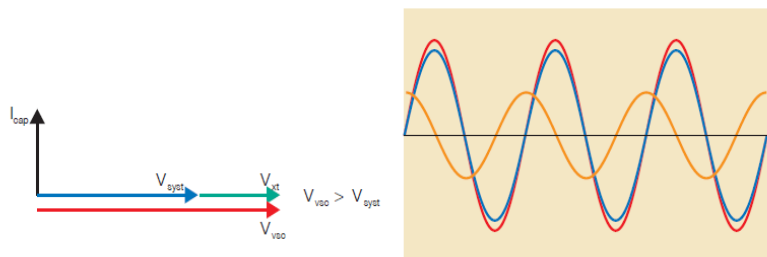
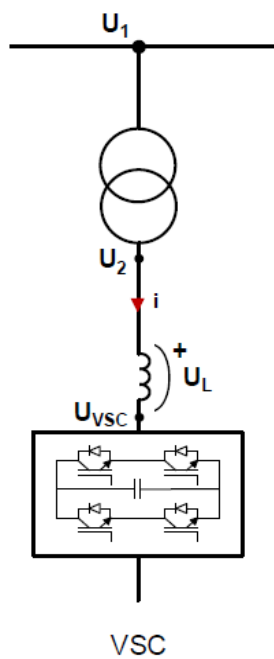


圖 2

上節所提電抗器主要目的為建立變壓器低壓側(U_2)與 STATCOM 的(U_{VSC})電位差 (U_L)，使電流產生(i)，相關公式及說明請詳圖 3。



$$U_L = U_2 - U_{VSC}$$

\Rightarrow

$$i = \frac{1}{L} \int U_L dt$$

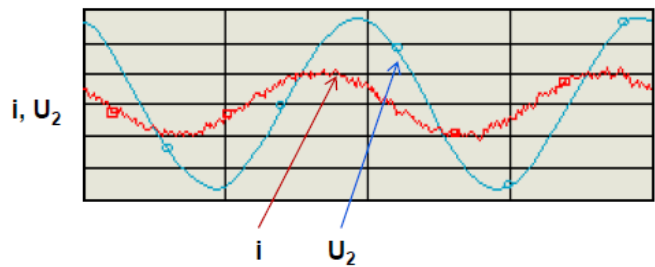


圖 3

接著介紹電力電子元件組成電壓源轉換器(VSC)說明：

電壓源轉換器 (VSC)：在電壓源轉換器中，二極體橋式整流的直流輸出接到電容器中，電容器為儲能元件，提供穩定的電壓給轉換器，輸出 PWM 的電壓。

ABB STATCOM 電壓源轉換器採用集成門極換流閘流體(Integrated Gate Commutated Thyristor, IGCT)或絕緣柵雙極電晶體(Integrated Gate Bipolar Transistor, IGBT)作為閘裝置，以下用 IGBT 做說明。

首先將 IGBT 及二極體組成一個閘，4 個閘組成一個 H 橋電路結構，如圖 4 所示 H 橋電路工作原理開關 S1、S4 閉合，S2、S3 打開： $U_{AC}=U_{DC}$ ；開關 S1、S4 打開，S2、S3 閉合： $U_{AC}=-U_{DC}$ ；以固定頻率 f 交替切換開關 S1、S4 和 S2、S3 時，則可得交變電壓波形（正負交替的方波），其中電容器(DC Capacitor)為儲能元件，提供穩定的電壓輸出，將直流電壓 U_{DC} 變成了交流電壓 U_{AC} 。

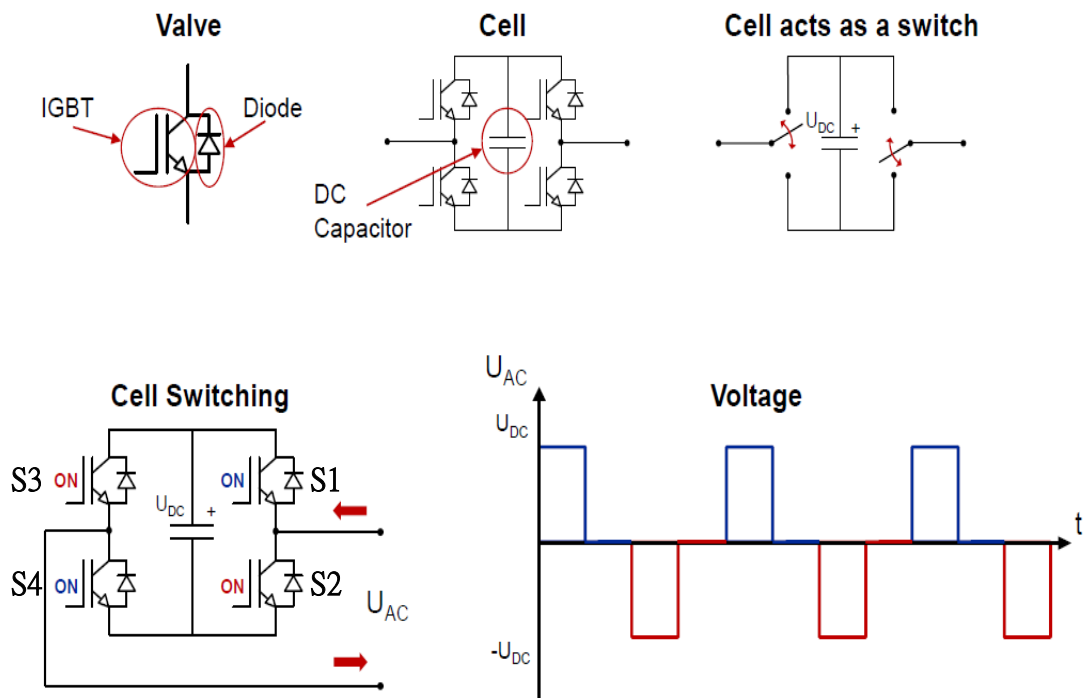


圖 4

不同的電路結構輸出的電壓波形皆不同，以圖 5 為例，二層及三層電路結構電壓源轉換器輸出 U_{AC} 含有各次諧波，需通過濾波器濾波，才可得到正弦波電壓，這也就是為什麼 STATCOM 或是 SVC 需要濾波器的原因，若採用模組化多層電路結構電壓

源轉換器(Modular Multilevel Converter, MMC), 輸出的 U_{AC} 波形不含諧波成份, 不需要加裝濾波器。

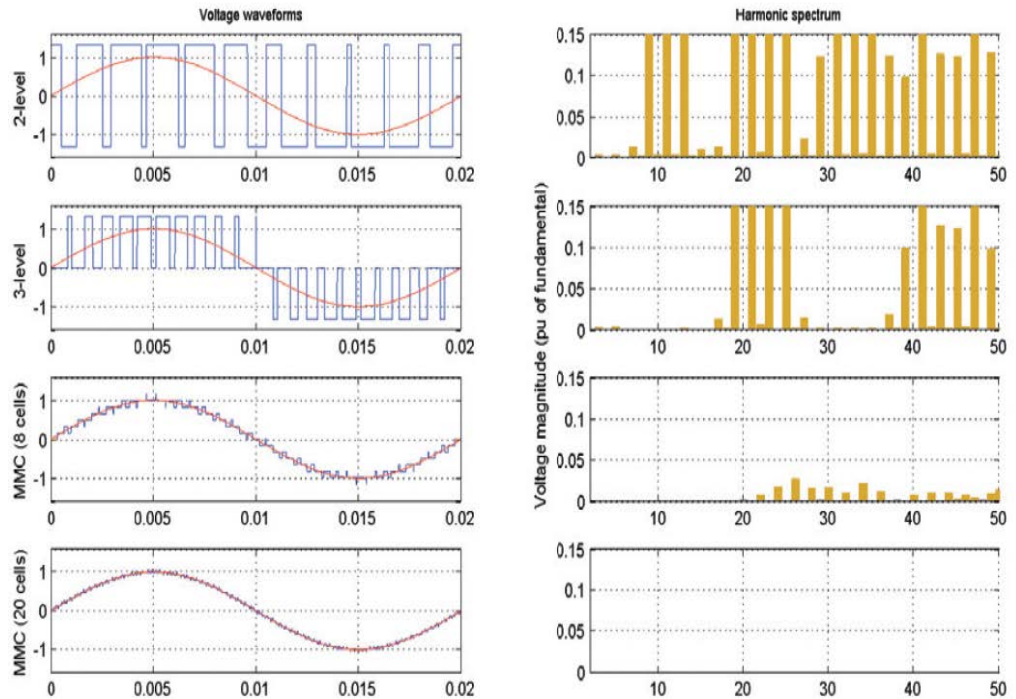


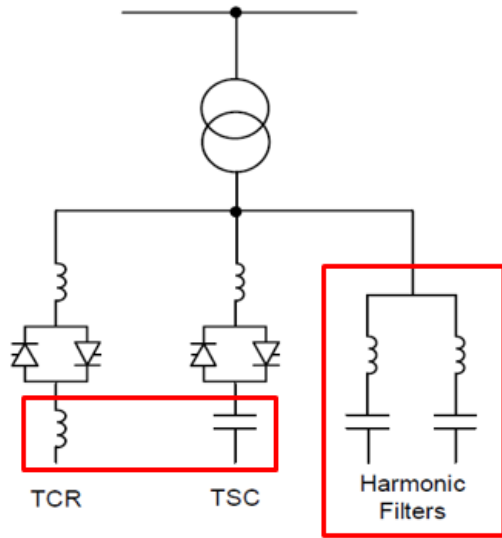
圖 5

(二) STATCOM 與 SVC 比較：

靜止無功補償器(Static Var Compensator, SVC)功能及目的與 STATCOM 都一樣是為了調節電壓及改善電力品質, 但因 SVC 需要建置電抗器、電容器及濾波器所以用地需求較 STATCOM 大(詳圖 6), 在電性比較方面 STATCOM 的開關響應速度較快, 從 V-I 特性曲線可以知道 STATCOM 可以在任何電壓下, 完整提供無效電力。SVC 在高電壓時可提供較多的無效功率, 在低電壓時表現較差。

另外 STATCOM 在低電壓時可提供較多的無效功率, 這樣的特性在發生即將電壓崩潰前或事故後, 使用 STATCOM 來支撐系統電壓特別有用。

SVC



OR

STATCOM

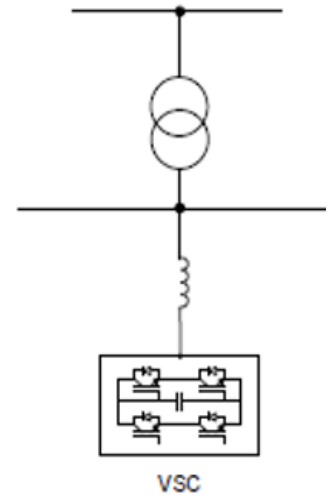
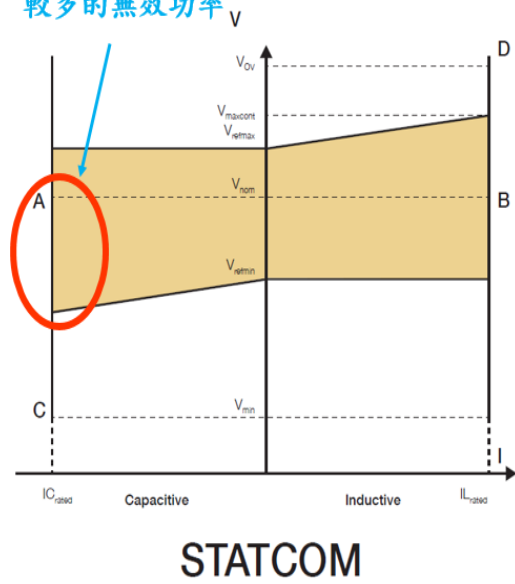


圖 6

低電壓時可提供較多的無效功率



高電壓時可提供較多的無效功率

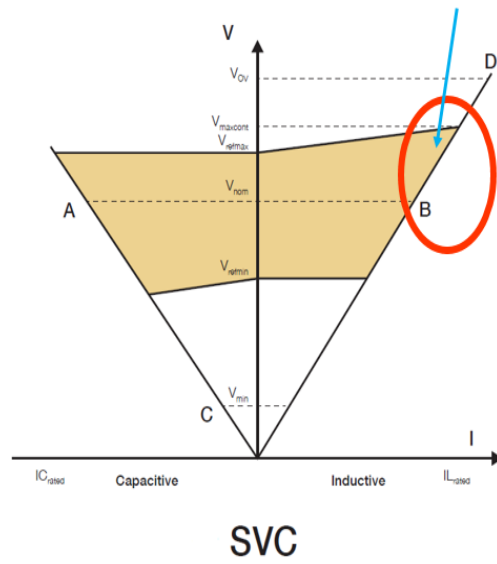


圖 7

二、STATCOM 應用

因應越來越多的再生能源加入系統，電力由傳統的集中式電力系統，轉變為分散式電力系統，因為太陽能及風力發電無法穩定發電，所輸出的電壓與電量會變動，意謂著電網強度將逐漸轉弱，STATCOM 正好可以應用在調節電壓，使之穩定。

本節將將探討國內外併聯規定的不同，STATCOM 系統研究所需要的參數以及混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)的應用。

(一) Grid-Code 探討：

國內併聯規定依 105 年 10 月 6 日台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點(目前最新版)之系統影響規定章節中，主要與 STACOM 規定有關截取如下：

(二) 電壓變動率：

1. 發電設備併接於台電公司系統造成責任分界點電壓變動率，在加計同一變電所或同一變壓器或同一饋線已核准併網發電設備之影響，及不考慮其他系統背景值，例如負載、儲能系統等，應在高低各百分之三以內。
2. 發電設備所造成責任分界點之電壓閃爍應符合「台灣電力股份有限公司電壓閃爍管制要點」規定。

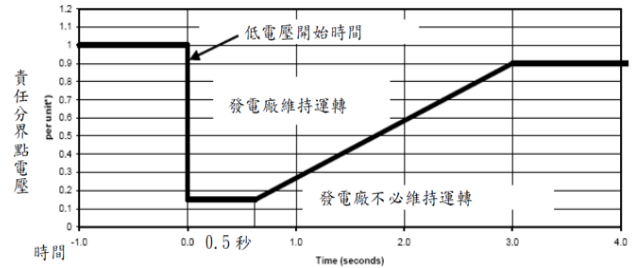
(三) 暫態穩定度：

併接 161,000 伏特以上特高壓系統，其責任分界點所歸屬之變電所匯流排合計發電設備之容量在 100,000 瓩以上者，不得使台電公司系統之暫態穩定度降至規定值以下（345,000 伏特系統三相故障臨界清除時間以 4.5 週波為標準；161,000 伏特系統三相故障臨界清除時間以十二週波為標準，若八至十二週波應採用二套全線段快速主保護電驛）；離島地區為獨立供電系統，併接於離島獨立高壓系統者，其系統穩定度應符合該地區之要求個案檢討。

(四) 風力發電設備併接於特高壓系統以上者應具備 **低電壓持續運轉能力(LVRT)**：

當電力系統發生故障造成責任分界點電壓驟降時，風力發電設備必須能夠持續運轉，風力發電設備之低電壓持續運轉能力詳如附圖二：

1. 風力發電設備責任分界點電壓降低至額定電壓百分之十五時，應持續運轉至少 0.5 秒以上。
2. 電壓驟降時，風力發電設備於責任分界點電壓高於附圖二之實線，風力發電設備應持續運轉。



附圖二

(五) **發電機組電壓運轉規定如下**

1. 併接 22,800 伏特以下者：其發電設備於責任分界點額定電壓之百分之八十八以上百分之一百一十以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。但總發電設備容量在 100 瓩以下者，不適用上述電壓跳脫設定值之規定。
2. 併接 69,000 伏特以上者：其發電設備於責任分界點額定電壓之 **百分之九十以上百分之一百一十以下時，應能持續運轉**，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。

(六) **功率因數**：

1. 併接於特高壓系統以上之再生能源發電系統，責任分界點應具備之功率因數調整能力：

非風力發電機組之功率因數應具有百分之九十滯後至百分之九十五超前運轉能力、風力發電設備於責任分界點功率因數應具有 **百分之九十六滯後至百分之九十八超前**運轉能力，並配合台電公司季節性負載特性調整設定。

(七) 諧波管制：諧波污染限制應依台電公司「電力系統諧波管制暫行標準」規定辦理。

國外併聯規定與國內不同舉例如下：

- (1) 功率輸出: 不局限於功率因數百分之九十六滯後至百分之九十八超前，而是要求
在不同實功率輸出的同時，也要求輸出規定的虛功率，如圖 8 所示。
- (2) 電壓變動率: 國內規定電壓變動率不得超過正負百分之三，且在責任分界點額定
電壓之百分之九十以上百分之一百一十以下時，能持續運轉，而國
外併聯規定中電壓對應虛功率規定，如圖 9 所示。
- (3) 低電壓持續運轉能力(LVRT): 國內規定如上頁附圖二，而國外併聯規定為針對不
同事故風機需有不同的低電壓持續運轉能力(LVRT)，如圖 10 所
示。
- (4) 高電壓持續運轉能力(HVRT): 當故障清除瞬間或突然失去大量負載電壓將會升高，
所以國外有訂定高電壓持續運轉能力(HVRT)之規定，圖 11 所示。

Grid code requires wind farms to have the defined reactive support capability continuously

Point A is equivalent (in Mvar) to: 0.95 leading Power Factor at Rated MW output

Point B is equivalent (in Mvar) to: 0.95 lagging Power Factor at Rated MW output

Point C is equivalent (in Mvar) to: -5% of Rated MW output

Point D is equivalent (in Mvar) to: +5% of Rated MW output

Point E is equivalent (in Mvar) to: -12% of Rated MW output

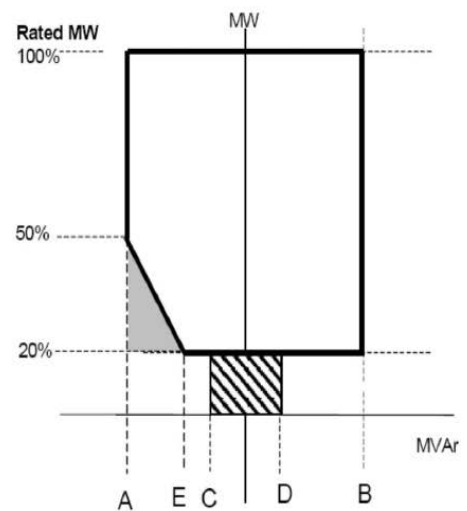
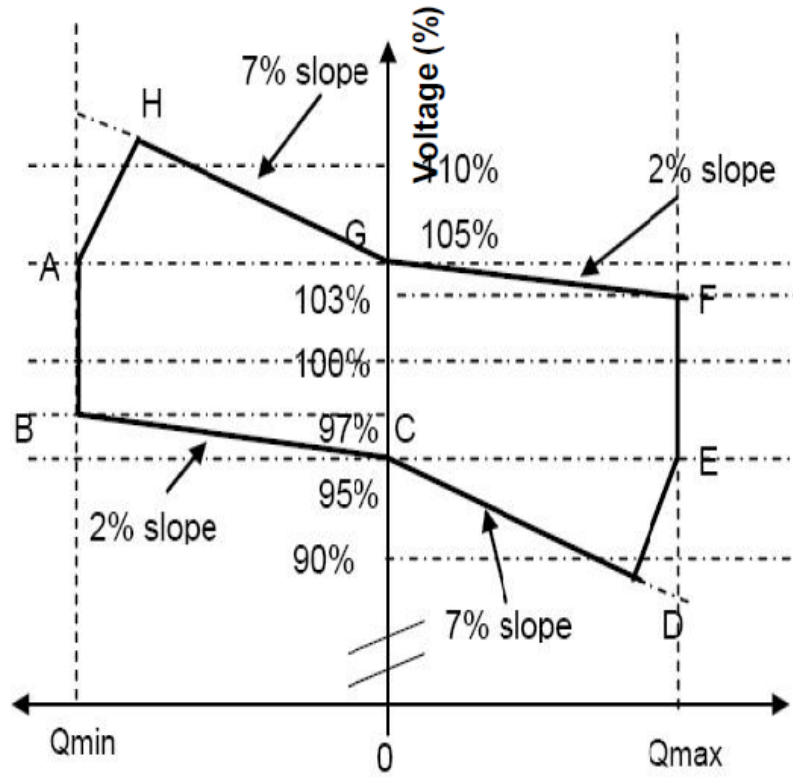


圖 8



0.95 leading

0.95 lagging

圖 9

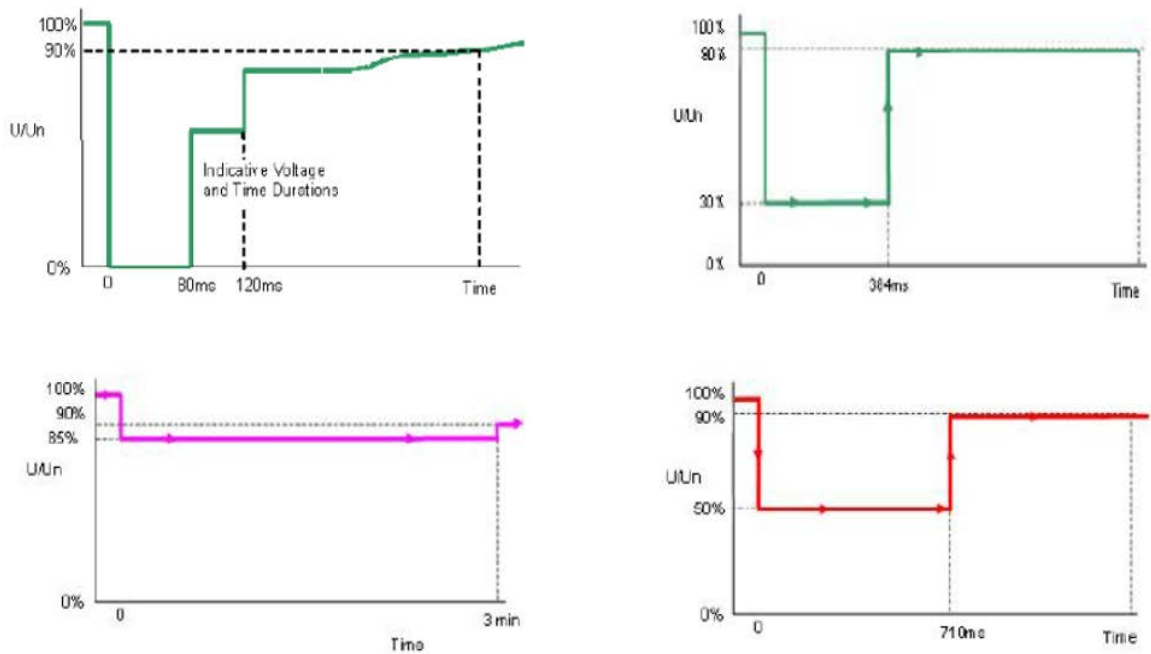


圖 10

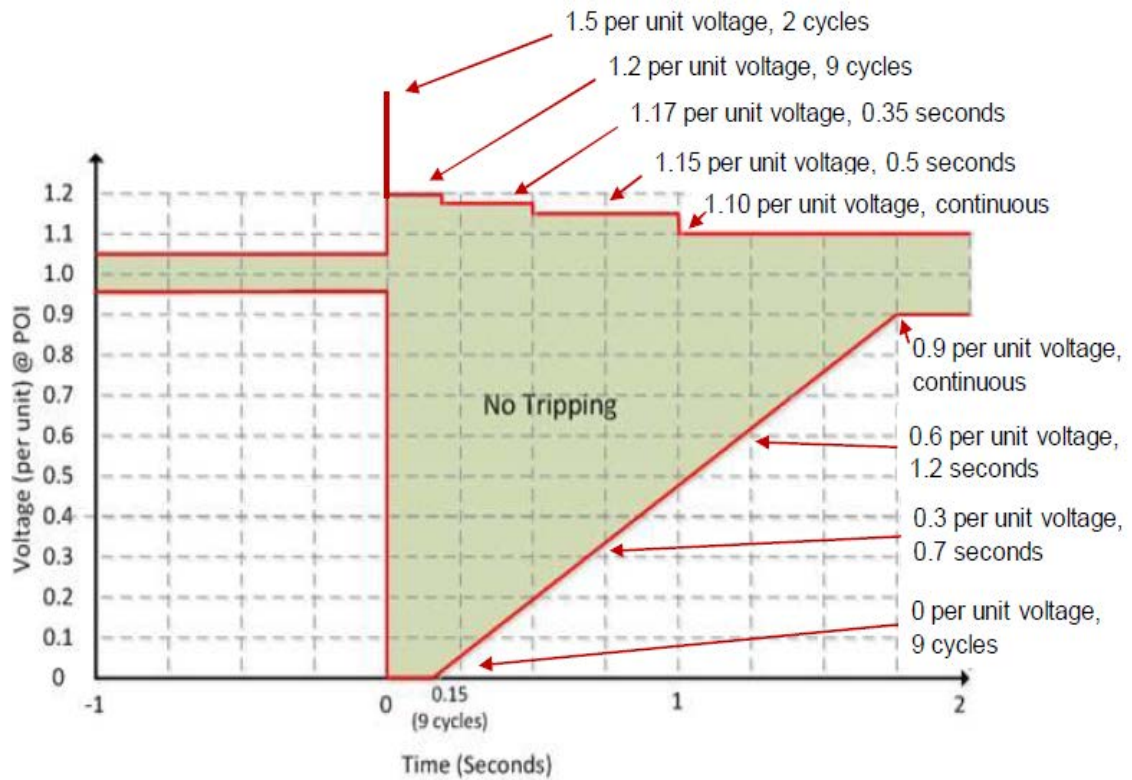


圖 11

另外因應越來越多的再生能源將加入系統，國外的併聯規定漸由寬鬆修改為更多要求，國內將會面臨到現有的併聯技術到點無法因應越來越多的再生能源將加入系統，勢必修改，例如英國 Grid-Code 就多達六、七百頁之多。

(二) 系統研究：

ABB 公司建議在規劃 STATCOM 時，須對系統做研究，才能得到最佳的 STATCOM 規劃。須做的研究包括：(1)建立系統模型 (2)穩態電力潮流研究 (3)短路研究 (4)諧波的研究 (5)動態穩定度研究 (6)暫態穩定度研究...等等，其中穩態電力潮流研究，可以決定 STATCOM 容量大小、STATCOM 組成元件的額定值及控制概念；動態穩定度研究，可以決定電壓控制及故障穿越能力。

而在建立系統模型時，需要許多資料，通常所需資料如下所示：

Grid connection equivalent model:

- Grid SC levels: The short-circuit levels at the PCC of the WF need to be given (e.g. Min./Max. Short Circuit power at PCC 161kV, corresponding X/R ratio if available)
- Network configuration/SLD
 - Array cable data (parameters like C' , L' , R'),etc.
 - Export cable data (parameters like C' , L' , R'),etc.
 - Harmonic filters and reactor data
 - Transformer data (Short-circuit impedance of 161/66kV transformer + indicative Losses + information on tap-changer)
 - Other equipment data
- WTG type
 - WTG Q capability: The capability chart of the WTG.
 - WTG Q speed of response: The study will assume that the WTGs can provide a fast enough response in order to meet the Grid Code requirement. This is to be confirmed from the WTG manufacturer and the control strategy should be agreed (Master-Slave, fixed Q or STATCOM alone).
 - WTG SC capability: Short-circuit behavior of the WTG (short circuit impedance of WTG transformers + indicative losses)
- Harmonic performance requirements

以下拿兩例不同風場來說明 STACOM 容量如何概估：

例 1：有一總容量為 60MW 的離岸風場，在併接點(PCC)功率因數要求在百分之九十五滯後至百分之九十五超前之間運轉，風機型式為 DFIG Wind Turbine Generator，

風機電纜接至 33kV 後，在經升壓變壓器加入系統，概估 STATCOM 所需容量如下圖 12 所示：

[Mvar]	Inductive	Capacitive
<i>Situation</i>	<i>WTGs at P=50%, u=1.05pu</i>	<i>WTGs at P=100%, u=0.95pu</i>
Required Q @PCC	- 19.7	+ 19.7
WTGs	+ 6.1	+ 12.2
WF cables	+ 3.3	+ 2.7
WTG transformers	- 1.0	- 4.3
Connection cable	+ 3.3	+ 2.7
Total Q @ 33kV	+ 11.7	+ 13.3
Grid Transformer	- 1.9	- 7.5
Total Q @ PCC	+ 9.9	+ 5.8
Additional Q @ 33kV	- 30.0	+ 16.0

圖 12

例 2：有一總容量為 150MW 的離岸風場，在併接點(PCC)功率因數要求在百分之九十五滯後至百分之九十五超前之間運轉，風機型式為 Full Power Converter Wind Turbine Generator，風機電纜接至 33kV 後，在先升壓 132kV 傳送到路上後最後在升壓至 275kV 加入系統，概估 STATCOM 所需容量如下圖 13 所示：

[Mvar]	Inductive	Capacitive
<i>Situation</i>	<i>WTGs at P=50%, u=1.05pu</i>	<i>WTGs at P=100%, u=0.95pu</i>
Required Q @PCC	- 49.3	+ 49.3
WTGs @ 33kV	- 49.3	+ 49.3
WF cables	+ 5.5	+ 4.5
Offshore Transformer	- 6.0	- 22.3
Subsea cable	+ 36.2	+ 29.6
Total Q @ 132kV	- 13.6	+ 61.2
Onshore Transformer	- 4.2	- 20.7
Total Q @ PCC	- 17.7	+ 40.5
Additional Q @132kV	- 31.0	+ 10.0

圖 13

由上述兩例得知 STATCOM 容量計算，在風機型式，電纜及變壓器廠商或整個系統上的組成元件的廠商，未決定前，無法有效且精準的計算 STATCOM 容量。

另外在研究穩態電力潮流，常用的軟體有 DIgSILENT PowerFactory、PSS-E 及 Matlab；在動態穩定度研究中，常用的軟體有 DIgSILENT PowerFactory 及 Matlab；而在暫態穩定度研究中，常用的軟體有 PSCAD。DIgSILENT PowerFactory 這軟體也常使用在歐洲的風機模擬上面。

(三) 混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)：

隨著越來越多的再生能源及分散式能源的掘起，併聯技術要點非常嚴格，先進國家如英國的 Grid-Code 就多達六、七百頁，在為了達到嚴格的 Grid-Code 或是系統的特殊需求，而發展出混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)，圖 14 為 STATCOM 與 SVC 的應用，前面 SVC 與 STATCOM 的比較章節，已經提到過 SVC 在高電壓時可提供較多的無效功率，而為了使系統能夠達到圖 14-D 點的無效功率，最經濟有效的方式就是 STATCOM 與 SVC 結合而成的混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)。

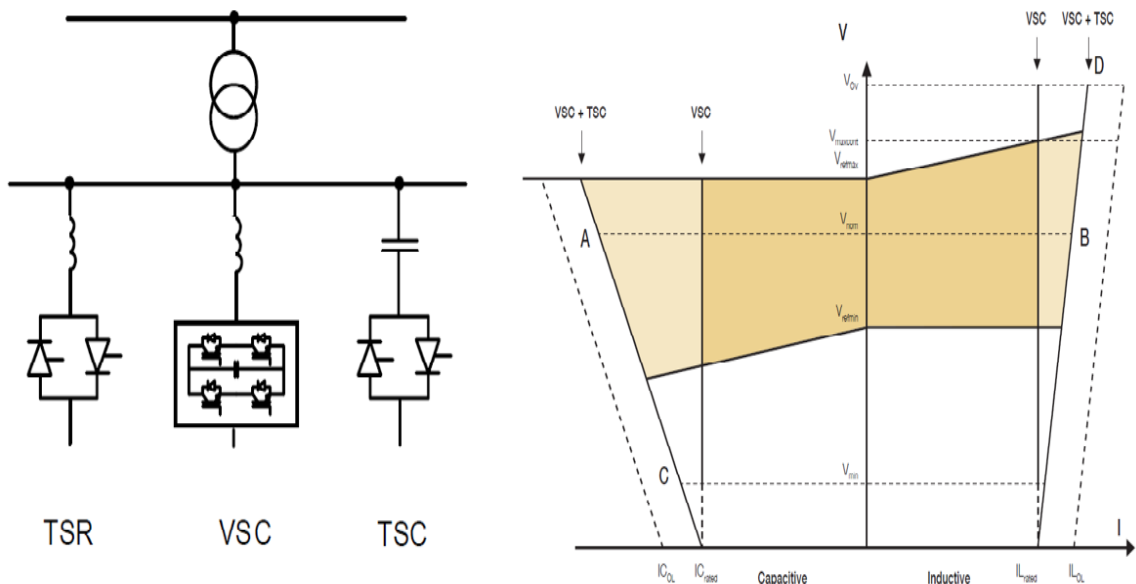
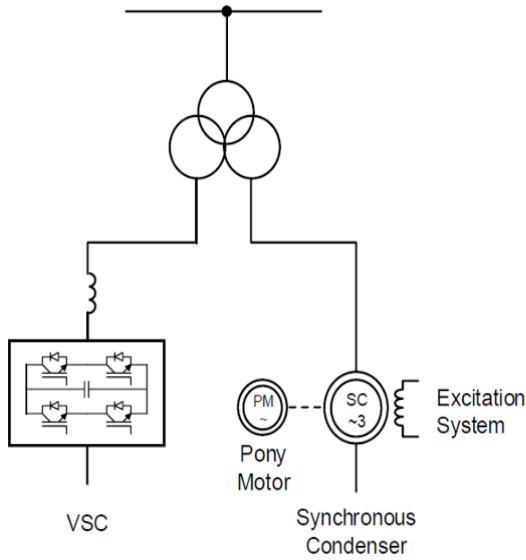


圖 14

另外隨著越來越多的再生能源及分散式能源的掘起，意謂著同步發電機將越來

越少，如何使維持系統的慣量，不會在單一事故發生時，引起一連串的機組跳機，最後導致系統崩潰，這時後就可以使用同步調相機(Synchronous Condenser)與 STATCOM 結合的混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)，STATCOM 可以快速反應系統動態品質需求，同步調相機可以提供系統轉動慣量，如圖 15 所示。



- Synchronous Condenser
 - Contributes to system fault level.
 - Increases the inertia.
 - Provides a stable AC voltage source

- STATCOM
 - Provides fast response reactive power following contingencies
 - Detecting and damping of active power oscillations.
 - Steady state voltage control under normal conditions

圖 15

三、ABB STATCOM 產品介紹及實績

ABB STATCOM 產品型號有 PCS 6000、SVC Light MP、SVC Light HP 三種，由容量大小作區分，PCS 6000 由 1997 年開發使用至今，SVC Light MP 則是近年來開發出來的新產品。主要是用 STATCOM 容量大小來區分產品，PCS 6000 提供範圍為 1~40MVAR，SVC Light MP 提供範圍為 40~120MVAR，SVC Light HP 提供範圍為 120~425MVAR，如圖 16 所示。

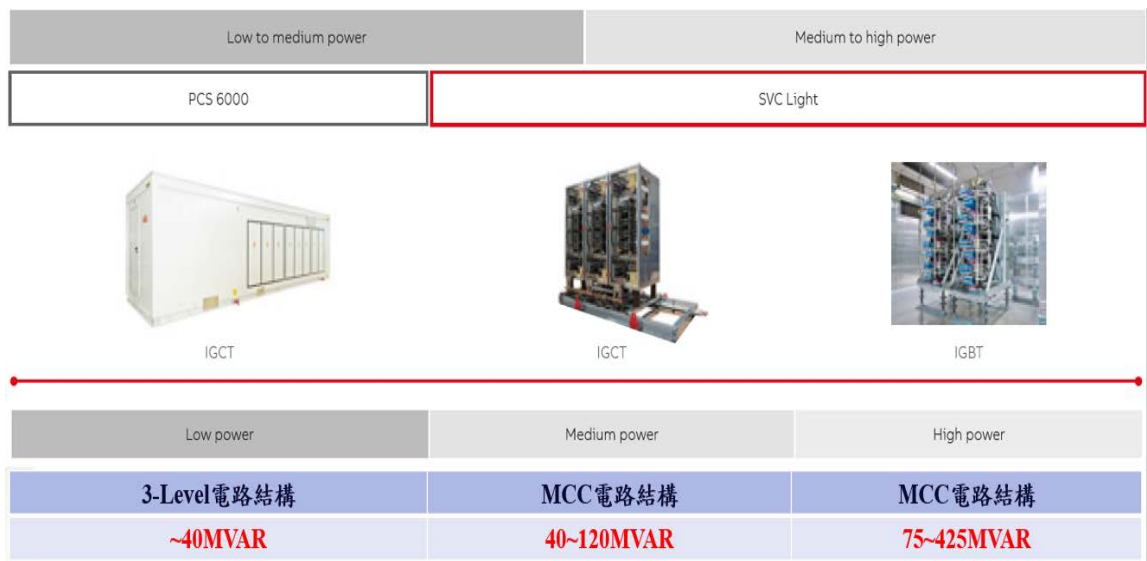


圖 16

ABB STATCOM 產品已經模組化，當單一閥元件故障會有 by-pass 電路，所以不會有爆炸的問題，另外透過監控系統可以知道哪一個元件故障，等維護時間再去更換即可，不會有故障即不能使用的問題，以下分別介紹這三種產品。

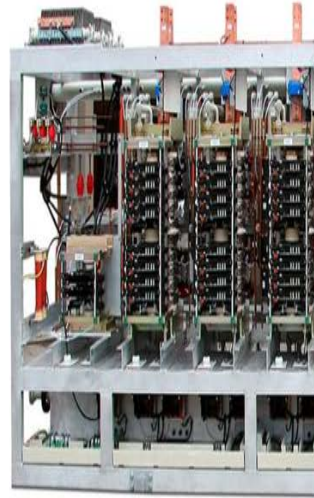
PCS 6000 閥元件為 IGCT，採用 3 層中點箝位式電路結構(3-Level NPC Module)組成的電壓源轉換器，產品如圖 17 所示。

PCS 6000 產品小，控制箱、水冷系統及輔助電力系統組裝在貨櫃屋內，無需額外建物，直接由工廠運至現場後，與升壓變壓器及冷卻風扇組裝即可，有用地面積小、組裝快速等優點，PCS 6000 與升壓變壓器及冷卻風扇配置示意圖及貨櫃屋內部配置示意圖如圖 18 所示。

PCS6000: Valve



PCS6000: Converter



IGCT technology



The IGCT PCS6000 converter

- Press-Pack technology
 - ✓ Stable SCFM, superior thermal cycling
 - ✓ High robustness and reliability
- High power density and negative sequence capability

PCS6000 - The IGCT 3-level NPC valve module; up to 40 MVar

圖 17

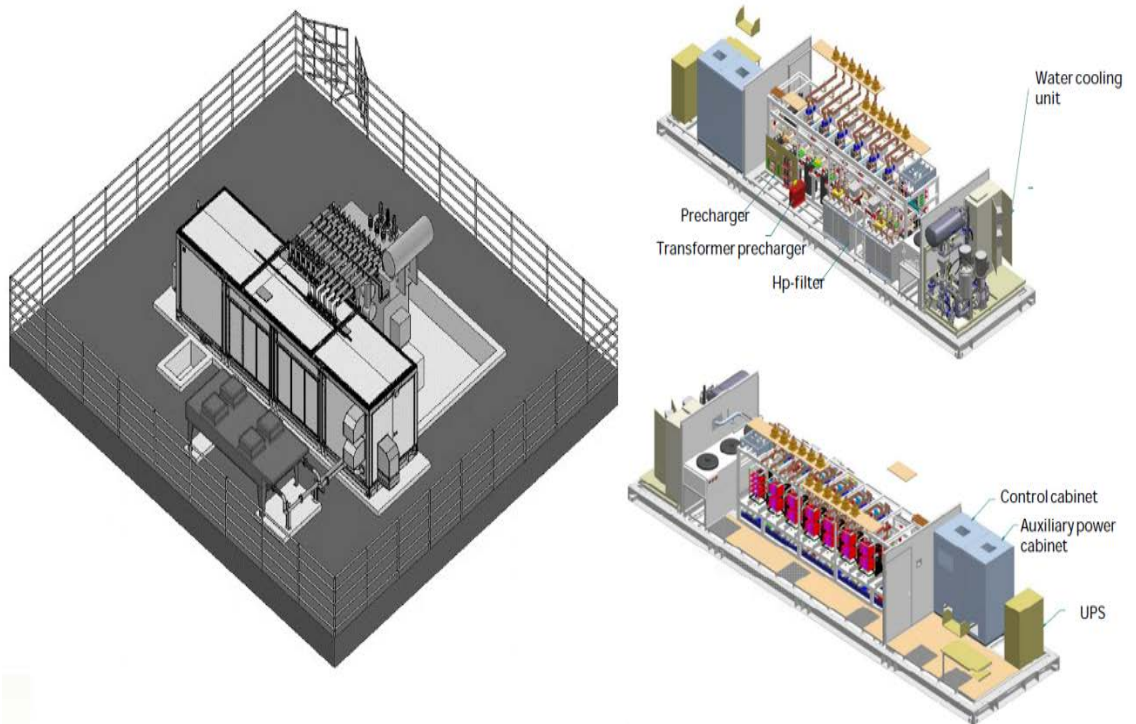


圖 18

SVC Light MP 閥元件亦為 IGCT，採用模組化多層電路結構組成的電壓源轉換器 (Modular Multilevel Converter, MMC)，產品如圖 19 所示。

SVC Light MP 基本配置與 SVC Light HP 僅閥元件不同而已，須蓋建築物分為電壓源轉換器室、控制室及保護電驛室及水冷系統室，屋外設備則有電抗器、升壓變壓器及冷卻風扇，配置如圖 20 所示。

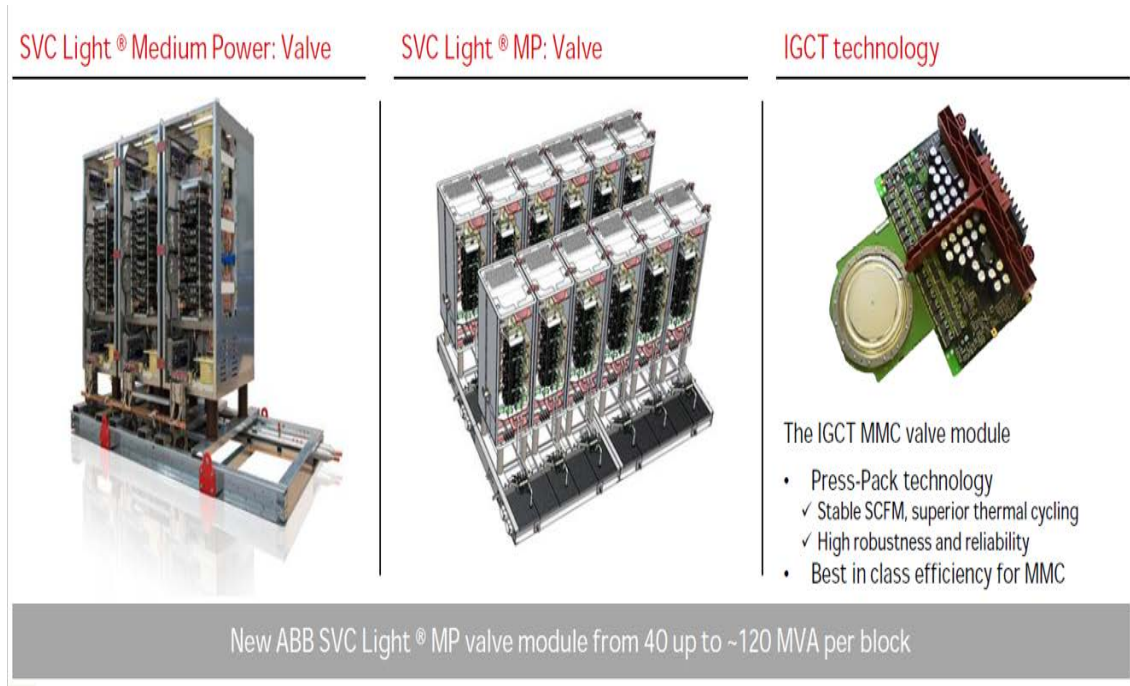


圖 19

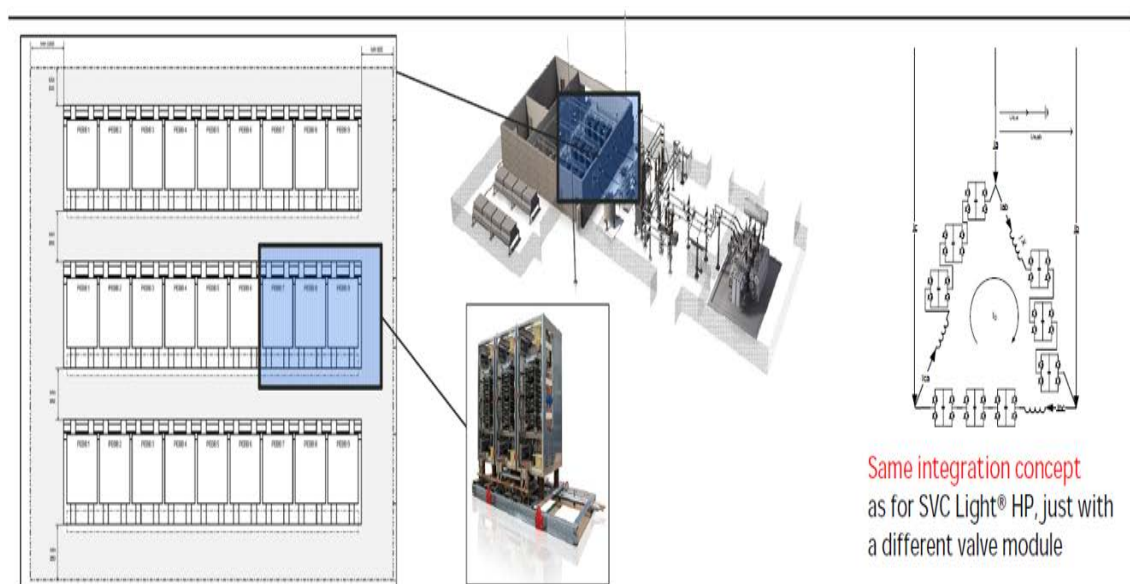


圖 20

SVC Light HP 閥元件為 IGBT，採用模組化多層電路結構組成的電壓源轉換器 (Modular Multilevel Converter, MMC)，電路結構與 SVC Light MP 相同，產品如圖 21 所示。SVC Light HP 基本配置與 SVC Light MP 相同，配置如圖 22 所示。

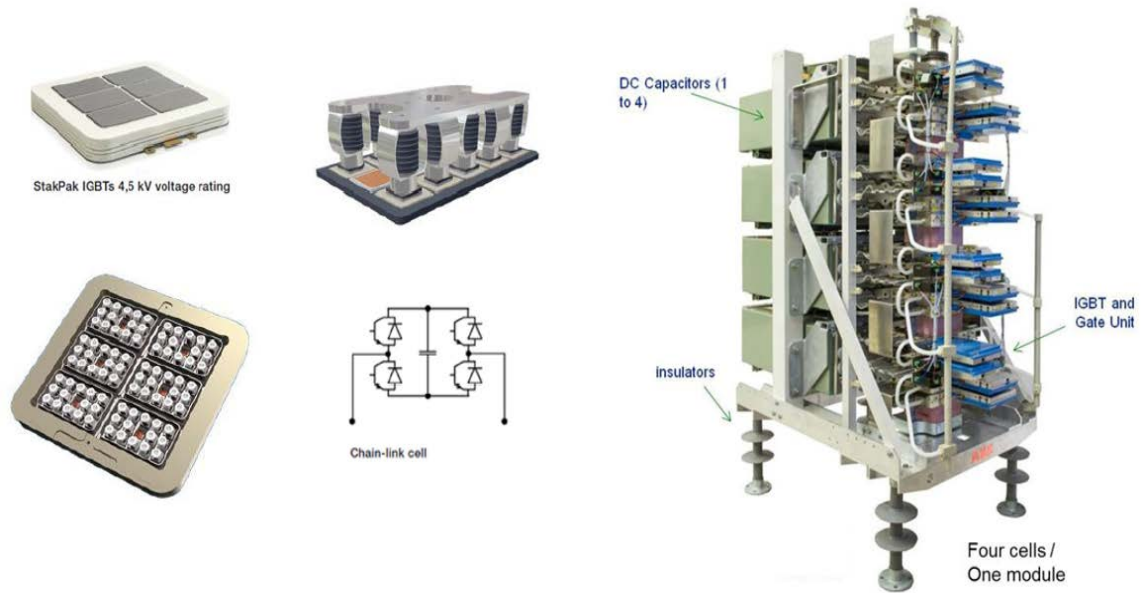


圖 21

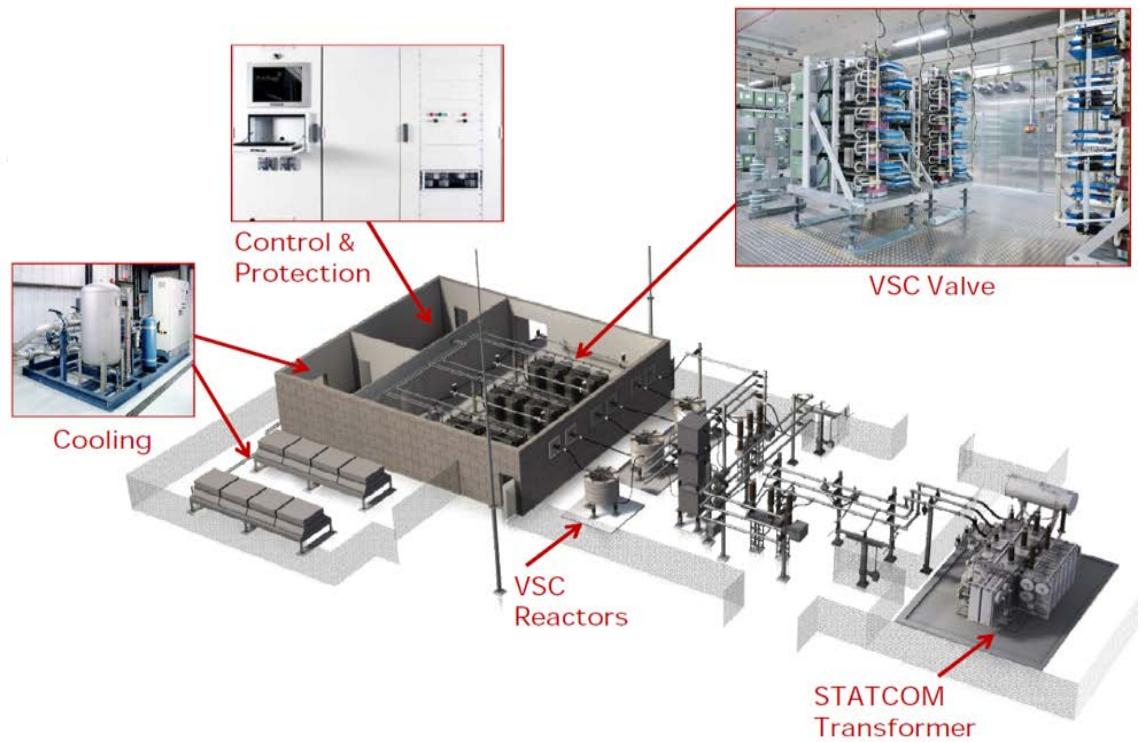


圖 22

以下介紹幾個 ABB STATCOM 實績：

(1)圖 23 為英國的 Whitelee 陸上風場，總裝置容量為 500MW，由 3 組 17MVAR 的 PCS 6000 組成，可提供 ± 51 MVAR 的無效功率，於 2012 年啟用。



圖 23

(2)圖 24 為英國的 Harestanes 陸上風場，總裝置容量為 136MW，由 2 組 34MVAR 的 PCS 6000 組成，可提供 ± 68 MVAR 的無效功率，於 2014 年啟用。



圖 24

(3)圖 25 為英國的 Westermost Rough 離岸風場，總裝置容量為 180MW，由 2 組 25MVAR 的 PCS 6000 及 3 組 16.67MVAR 的電抗器組成，STATCOM 可提供± 50MVAR 的無效功率，電抗器可額外再提供－ 50MVAR 的無效功率，於 2014 年啟用，屬於混合型無效電力補償器(Hybrid STATCOM)的應用。



圖 25

圖 26 為 ABB 近年來風場之 STATCOM 的銷售紀錄。

Project Name	Application	Country	Operation	# units	Rating total [MVAR]	Voltage [kV]
Pier IV	Onshore	MX	2019*	3	+/- 90	35
East Anglia	Offshore	UK	2019*	2	+/- 440	35
Kilgallioch	Onshore	UK	2018 *	3	+/- 100	35
Rampion	Offshore	UK	2017	4	+/- 150	35
Pen y Cymoedd	Onshore	UK	2016	2	+/- 50	132
Westermost Rough	Offshore	UK	2014	2	+/- 50	35
Harestanes	Onshore	UK	2014	2	+/- 68	35
Middlemoor Wind Farm	Onshore	UK	2012	1	+/- 26	35
Baillie Wind Farm	Onshore	UK	2012	1	+/- 12	35
Whitelee Extension phase 3	Onshore	UK	2012	3	+/- 51	35
Fullbrook Wind Farm	Onshore	UK	2011	1	+/- 12	35
Arecleoch Wind Farm	Onshore	UK	2010	2	+/- 54	35
Scout Moor Wind Farm	Onshore	UK	2008	1	+/- 24	35
Little Cheyne Court Wind Farm	Onshore	UK	2008	1	+/- 24	35
Midas Wind Farm	Onshore	Ireland	2007	1	+/- 12	25
Braes of Doune Wind Farm	Onshore	UK	2006	2	+/- 24	35

圖 26

肆、心得及建議

在瑞士期間，去了一趟 STATCOM 工廠，位於圖爾吉市(Turgi)，離蘇黎世市區約 30 分鐘的車程，主要生產 PCS 6000 及 SVC Light MP，這次的行程非常幸運遇到他們要製造設備出廠，所以整個設備的生產、製造及完成品都有看到，休息時也交換了一下當地電力公司的狀況，瑞士的電網屬國家擁有，有民間發電廠，跟台灣的模式相近，另人訝異的是電力結構主要是核能及水力電廠，沒有火力電廠。介紹產品的 ABB 經理 Simon 有來過台灣拜訪過台電，對台灣離岸風力的發展，一直都有在注意，他提到試驗是遵照 IEC 規定，如果 STATCOM 要裝在離岸變電所，STATCOM 在廠試後，運到港口要再做一次試驗，再出港安裝，避免運到離岸變電所後，才發現問題，增加時間及金錢。若本公司離岸風力發電二期計畫要建置離岸變電所，重要設備如 GIS 或是變壓器，建議出港前再作一次試驗。

在瑞典期間，銷售經理 John 介紹 ABB 及這個城市的歷史，ABB 是由瑞典 ASEA (Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget)公司與瑞士 BBC (Brown Boveri Cie) 於 1987 年合併更名為 ABB，這次去的城市韋斯特羅斯，原是 ASEA 公司的總部，成立於 1890 年，是棟非常有歷史的建物，離韋斯特羅斯車站不遠處有座瑞典第一台水力發電廠，在這個城市還有燒垃圾的發電廠並且可以提供熱水給這個城市暖氣設備使用，有很多人來這個電廠取經。韋斯特羅斯是一座開發非常早的工業城市，也因為地下管線非常多，所以管路改道就要開挖，另外 John 也提到現在瑞典電力結構主要是核能及水力電廠，也沒有火力電廠，而且瑞典也要廢核，跟台灣一樣都是一大挑戰。首席工程師 Peter 在 9 月才來過台灣，這是他第 3 次來台灣，我們也交換了一下台灣的飲食及旅遊經驗，Peter 提到在台灣發展離岸風力上面，會有很多的開發商，如果相同併接點的開發商都有自己的 STATCOM 系統，控制將會非常複雜，A 風場的系統可能認為要提供電容性虛功率，B 風場可能認為要提供電感性虛功率，最後整合將有困難，所以建議由各開發商一起建置一套 STATCOM 系統，分攤 STATCOM 系統的費用，這樣用地及投資成本會比較有利；Peter 也一直強調 STATCOM 是系統的一部份，一定要經過模擬分析，才能得到最佳的解決方案。在瑞典還去了 SVC Light House 參觀，這是 ABB 自己的 STATCOM 研究室，完整建立一套 STATCOM 系統，ABB 當地的員工也還沒去過，我這次的旅程真是太幸運了，感謝 ABB 如此的熱情的接待。

本次出訪 ABB 除了實習離岸風力發電系統之靜態型無效電力補償器(STATCOM)規劃設計資料蒐集及運用維護等技術外，出國讓我了解到了瑞士及瑞典交通的便利及鐵路 APP 結合了電車及船班資訊，也能利用 APP 買票，省去了排隊或是沒有零錢無法用機器買票的窘境。這次出國也是我第一次使用網路 chick-in，登機證會直接寄 QR-Code 到你的信箱，因為起程在德國轉機時到了轉機閘門，一直沒有拿到第二段航班的登機證，心情有點忐忑不安，還好最後在閘門的櫃台領到登機證，只是因為太晚拿到，所以機位在最後面，回國的航班我就先使用網路 chick-in，可以自己選位置，又不用擔心拿不到登機證，到了德國看到華航櫃台大排長龍，立刻用網路 chick-in 領第二段航班登機證，便利很多。這次在國外看到外國人拿手機登機或是鐵路票存在手機的人非常多，在無紙化方面已經領先台灣很多，另外另我訝異的是連托運行李都可以自助托運，大大節省航空公司人力，回國看到新聞，國內航空業者在今年也開始推出這個服務了。

很感謝長官派我出國學習才可以看到這麼多不一樣的地方，也感謝 ABB 公司熱情的接待及提供資料。總結這次的心得：當發展離岸風力時同一併接點的開發商建議由各開發商一起建置一套 STATCOM 系統，分攤 STATCOM 系統的費用，這樣用地及投資成本會比較有利；若要建置離岸變電所，重要設備如 GIS 或是變壓器，建議出港前再作一次試驗。