

出國報告（出國類別：實習）

分散式能源併網衝擊及因應策略實習

服務機關：台灣電力股份有限公司

姓名職稱：葉名哲／主管併網管理

派赴國家：美國

出國期間：111 年 12 月 03 日～111 年 12 月 15 日

報告日期：112 年 2 月 10 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：分散式能源併網衝擊及因應策略實習

頁數：46，含附件：是否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話

台灣電力股份有限公司 人力資源處／翁玉靜／02-23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話

葉名哲／台灣電力股份有限公司 配電處／主管併網管理／02-23665873

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：111 年 12 月 03 日～111 年 12 月 15 日

出國地區：美國

分類號／目

關鍵詞：分散式能源、併網衝擊、電壓虛功調控設備(VVO)

內容摘要：再生能源的併網受到電壓變動率規範影響可併網容量及提高併網點電壓，美國電業或再生能源業者已有運用電壓虛功調控設備之案例，可調控節點之電壓，維持一定程度電力品質，減少分散式能源併網之衝擊，且間接提升可能限制之併網容量。電壓虛功優化在系統衝擊分析時會需要不同的分析方式，這對於後續可併網容量的計算與再生能源併網實務工作也會有重要的影響，本次出國期間由台電公司與 AMSC (American Superconductor, 美國超導體公司) 等人員進行交流，雙方就其商品化設備 D-VAR STATCOM 及 D-VAR VVO 技術與硬體特性進行交流，並實地參訪製造工廠、相關電業案場運用實例，作為台灣應對分散式能源對電網衝擊的參考，亦助於現正積極發展之綠能環境及 2050 淨零排放目標。

目錄

行政院及所屬各機關出國報告提要	i
目錄	ii
圖目錄	iv
壹、內容摘要	1
一、緣由與目標	1
二、行程規劃	1
貳、心得及建議事項	4
參、參訪內容及經過	7
一、背景	7
二、饋線電壓與電力品質問題與 STATCOM 小型化趨勢	8
三、AMSC D-VAR 技術介紹	9
四、AMSC D-VAR STATCOM 發展及應用情形	12
(一) 模組化產品	12
(二) 應用範例	14
(三) 案場參觀	16
五、AMSC D-VAR VVO 發展及應用情形	19
(一) 模組化產品	19
(二) 應用範例	21
(三) 案場參觀	21
六、AMSC D-VAR VVO 控制模式	25
(一) 伏乏控制模式	25
(二) 虛功控制模式	26
(三) 功因控制模式	26
(四) 虛功需量控制模式	28
七、AMSC D-VAR VVO 運用實例	28
(一) 饋線困境	28
(二) 重載下的電壓偏移	30
(三) 輕載下的電壓偏移	32
(四) 解決方案	33
八、NEPSI 公司參訪內容	37
(一) NEPSI 案例分享——大型裝甲諧波濾波器	37
(二) NEPSI 案例分享——大型電容器	38
(三) NEPSI 工廠參觀	39
九、AMSC 超導體電纜參訪內容	42
(一) 超級半導體特性介紹	42
(二) 高溫半導體電纜特性介紹	42

(三) 高溫半導體電纜設計樣態.....	43
(四) 高溫半導體電纜應用案例.....	44

圖目錄

圖 1	FACTS 相關設備	8
圖 2	饋線電壓問題	9
圖 3	與 AMSC 及 Fuji Bridex 交流照片	10
圖 4	典型電力系統應用 D-VAR STATCOM 及 D-VAR VVO 示意圖	11
圖 5	電力電子單相轉換器切換示意圖	12
圖 6	脈波寬度調變	12
圖 7	三相轉換器及其閉迴路控制方塊	12
圖 8	AMSC D-VAR STATCOM 產品	13
圖 9	AMSC D-VAR STATCOM 過載運轉能力	13
圖 10	MCE 控制櫃	14
圖 11	風場搭配 D-VAR STATCOM 範例	15
圖 12	澳洲 Tasmania 風電場系統單線圖	16
圖 13	LIPA 於長島之變電站	17
圖 14	LIPA 於長島之變電站建置 D-VAR STATCOM	17
圖 15	LIPA 於長島之變電站建置 D-VAR STATCOM	18
圖 16	LIPA 於長島之變電站建置 D-VAR STATCOM	18
圖 17	H 桿裝設 VVO 樣態	20
圖 18	AMSC 工廠單相 VVO 設備圖	20
圖 19	VVO 與步進式電壓調整器及線路高壓電容器特性比較	21
圖 20	併網量高之饋線裝設 VVO 示意圖	22
圖 21	高電感性負載裝設 VVO 示意圖	22
圖 22	國家電網公司於 North Attleboro 建置案場	23
圖 23	國家電網公司於 North Attleboro 建置案場	24
圖 24	國家電網公司於 North Attleboro 建置案場	24
圖 25	國家電網公司於 North Attleboro 建置案場	25
圖 26	AMSC D-VAR VVO 伏乏控制模式	26
圖 27	AMSC D-VAR VVO 虛功控制模式	27
圖 28	AMSC D-VAR VVO 功因控制模式	27
圖 29	AMSC D-VAR VVO 虛功需量控制模式	28
圖 30	AMSC D-VAR VVO 運用實例之饋線困境	29
圖 31	AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的電壓偏移	31
圖 32	AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的欠壓區域	31
圖 33	AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的電壓偏移	32
圖 34	AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的過壓區域	33
圖 35	AMSC D-VAR VVO 運用實例之 VVO A 的下垂控制曲線	34
圖 36	AMSC D-VAR VVO 運用實例之 VVO B 的下垂控制曲線	34

圖 37	AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的電壓偏移改善情形.....	35
圖 38	AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的欠壓區域改善情形.....	35
圖 39	AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的電壓偏移改善情形.....	36
圖 40	AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的過壓區域改善情形.....	36
圖 41	Toquepala Mine 濾波器裝置照片	38
圖 42	Toquepala Mine 濾波器單線圖	38
圖 43	Cape Scott 方廠裝設之大型電容器	39
圖 44	電容器與電抗器	40
圖 45	真空切換開關	40
圖 46	諧波濾波器設備	41
圖 47	部分放電檢測設備與諧波濾波器銘牌	41
圖 48	高溫半導體電纜部署建議	43
圖 49	AMSC 高壓半導體電纜設計樣態	44
圖 50	AEP/Bixby 高溫半導體電纜系統	45
圖 51	Long Island Power Authority Cable 介紹	45
圖 52	Long Island Power Authority Cable 安裝介紹	46

壹、內容摘要

一、緣由與目標

再生能源的併網受到可併網容量的限制，美國多家電力公司早已在饋線與輸電線上運用電壓虛功優化(Volt/VAR Optimization, VVO)技術，可以控制線路壓降，線路壓降的減少可以間接提升可併網容量，若能有效運用，對我國再生能源併網以及淨零排放的推動都是一個重要的助力。電壓虛功優化的運用方式在系統衝擊分析時會需要不同的分析方式，這對於後續可併網容量的計算與再生能源併網實務工作也會有重要的影響。

二、行程規劃

本次出國與本公司綜合研究所共同前往，期間由 AMSC (American Superconductor, 美國超導體公司) 亞太區銷售經理 John Wright-Smith 先生以及亞太區代理商 Fuji Bridex 總經理 Jasper Lim 先生、區域業務發展經理 Schen Quek 先生以及總經理特助 Ben Chen 先生會同拜會 AMSC 總公司營銷總經理 Mike Bauer 先生、超導體系統總經理 Michael Ross 先生、資深副總經理 John Kosiba 先生、D-VAR VVO 產線經理 Kane Osmarys 先生。雙方就 AMSC D-VAR STATCOM 以及 AMSC D-VAR VVO 的技術細節與硬體特性進行交流，並討論及實地參訪運用實例，以作為台灣應對分散式能源對電網衝擊的參考。

行程紀要如下：

日期	實習機構	實習內容
111-12-03 111-12-04		去程（台北—美國紐約）
111-12-05 111-12-07	AMSC	<ol style="list-style-type: none"> 1. 拜訪 AMSC 公司總部，並了解 AMSC D-VAR STATCOM 以及 AMSC D-VAR VVO 的技術細節。 2. 討論 AMSC D-VAR VVO 運用實例。 3. 參觀工廠，了解 AMSC D-VAR STATCOM 與 AMSC D-VAR VVO 的硬體特性。 4. 了解 AMSC 超導體技術與應用情境。
111-12-08	NEPSI	拜訪 NEPSI，了解 AMSC D-VAR STATCOM 金屬外殼的設計製造與硬體特性。
111-12-09	National Grid LIPA	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參觀 National Grid 的太陽光電案場，了解 AMSC D-VAR VVO 於現場的應用模式。 2. 拜訪 LIPA 的變電站，了解 AMSC D-VAR STATCOM 於現場的應用模式。

111-12-12	EPRI	與 EPRI 進行線上會議，討論 AMSC D-VAR STATCOM 與 AMSC D-VAR VVO 在系統衝擊分析上的技術細節。
111-12-13 111-12-15		返程（美國紐約—台北）

貳、心得及建議事項

- 一、我國已公布 2050 淨零排放之目標，本公司配合積極推動再生能源與儲能系統等分散式能源的併網，以期減少傳統火力之發電占比，降低整體電力系統的溫室氣體排放量，朝向環境友善及永續發展之道路前進。然再生能源發電之間歇性，以及再生能源供給超越區域負載導致逆向潮流等情境，將使饋線電壓變動較以往高。為維持電網一定程度之電力品質，探討配電級電壓調控設備及技術，因應分散式能源大量併網衝擊有其必要性。本次實習了解到美國商品化配電級 STATCOM 設備(D-VAR STATCOM 與 D-VAR VVO)之電壓調控能力，該設備響應速度為毫秒級，可研擬此類設備作為第一段電壓控制協調，減低調整變電所 OLTC、變壓器 Tap 及電容器等設備之動作次數。
- 二、配電級 STATCOM 併聯於變電所匯流排或配電線路上，倘設備發生故障無法運作，不致影響電網供電。AMSC 商品化之 D-VAR STATCOM 功用為變電所或風場調節電壓(虛功)，D-VAR VVO 則是饋線調節。以目前本國配電級分散式能源多為太陽光電併接於饋線，故類似 VVO 功能之設備係可做為後續關注項目，再與既有調控設備進行搭配，以緩解大量分散式能源下之併網衝擊。

- 三、VVO 額定電壓範圍 11kV~13.8kV，而台灣併網滲透率高之南部併網地區多為架空 11.4kV 普高電壓層級，故此類設備倘有應用需求，併網時無需再經過升壓變壓器，相對可減少電壓轉換時之損耗。
- 四、VVO 為電力電子轉換器，內部無馬達、風扇、分接頭切換器等，達 IP65 密封性，維護需求低。另 VVO 會搭配控制箱將現場狀態藉由通訊回傳，使用的電業或案場業者較不需耗費人力在現場巡檢作業。
- 五、美國電業法規亦有再生能源併網後之電壓變動率要求，現場討論知悉國外案場業者也有曾因超出規範上限，而應用 VVO 設備搭配併網滿足法規，避免從案場建置長距離線路至併網點，節省整體成本。我國亦可參考國外，若有系衝分析時電壓變動率超過法規 3%情形，可個案與設置者協商，以利最大化可併網容量。
- 六、美國使用 H 桿(wooden pole)放置 3 台總重約 3.3 噸的 VVO，雖 AMSC 表示經過妥適設計，荷重無虞；惟因各國氣候及可能面臨之天災條件不一，若考量台灣於颱風時可能面臨的強風壓、外物碰觸甚至是地震等，倘本國有建置需求，建議可先採地面建置基礎台放置 VVO，並加裝圍籬的方式來辦理，以確

保各種情況下之穩固性。

- 七、建議可先研議模擬建立配電級 STATCOM 設備之動態模型，可評估由本公司與 EPRI 合作計畫或本公司研究案進行，作為本公司配電規劃資訊系統與再生能源可併網容量查詢系統等系統衝擊分析以及再生能源可併網容量計算之精進參考。
- 八、未來實體驗證可委託研究計畫或者透過 RTDS 進行，並與模擬結果相互對照確認電壓調控能力，搭配投資成本等因素，評估設備布建效益。
- 九、本次實習於 NEPSI 公司觀摩其產製貨櫃式變電所電感及電容模組，金屬外殼賦予設備較佳的保護及安全性，惟體積十分龐大。評估應較不適用於土地有限之台灣，且目前國內配電級變電所之電容器組業以設計具相當程度耐候性，使用上已可符合需求。

參、參訪內容及經過

如同前述，本次參訪主要行程計 8 日，與綜合研究所、美國超導體公司（American Superconductor Corporation, AMSC）及其合作廠商新加坡商富士新匯股份有限公司（Fuji Bridex）、NEPSI（Northeast Power Systems, Inc.）等公司進行交流。本次參訪主要目的為了解 STATCOM 裝置小型化趨勢、AMSC 公司產品化之電壓（虛功）調節設備 D-VAR STATCOM 及 VVO 技術原理、美國當地電業或再生能源業者應用該設備情形、NEPSI 公司運轉現況及變電所級電感電抗模組貨櫃等相關內容進行實習與討論，並藉由本次參訪取得調控設備之應用技術及實務資料，作為後續本公司後續電力系統規劃及綜合研究所研究計畫參考，本報告所使用圖檔照片等均由前述相關公司提供或行程中拍攝，感謝該等公司相關人員協助使本次出國實習能有豐富的收穫。

一、背景

最近幾年全球的電網型態正在進行顯著的改變，造成電網改變的三個主要因素包括了減碳化、電氣化和市場自由化，在發電方面，傳統火力電廠與核能電廠漸漸關閉，越來越多的分散式能源，尤其有間歇性的發電特性的太陽能與風能，使電網運行變得更加困難，以及電網末端也有越來越多的電力電子設備，這將造成電力系統整體的慣量

減少，另外全球的電力需求增加與越來越多的電網互連需求，也加劇了以上的問題，電網目前面對的挑戰可區分為三個面向，包含了電壓穩定度、頻率穩定度與負載管理，其中彈性交流輸電系統（FACTS）是提高交流電網可靠性、確保電壓穩定性和提高輸電效率的完美解決方案。通過這些裝置於系統上的 FACTS 相關設備（如圖 1），可以防止輸電系統電壓與頻率波動，減輕再生能源與大量負載引起的干擾。

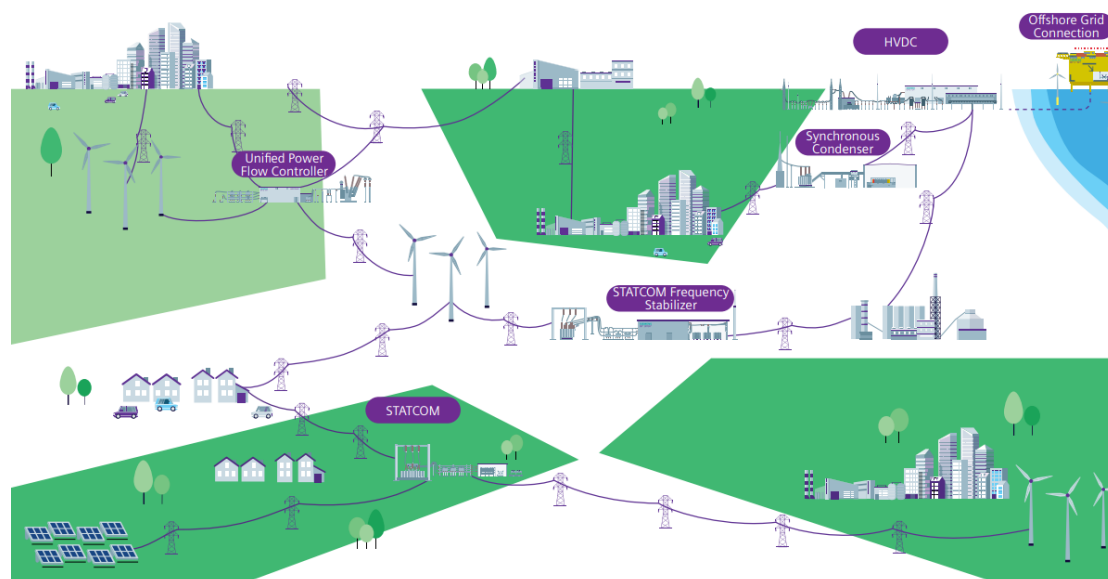


圖1 FACTS 相關設備

二、饋線電壓與電力品質問題與 STATCOM 小型化趨勢

據 AMSC 的技術人員表示，多家電力公司已經發現到電網的改變不但造成輸電系統電壓穩定度問題，更有可能造成饋線電壓與電力品質問題，如圖 2 所示，饋線末端已漸漸產生負載高電壓、電壓閃爍、不正規電壓、快速電壓變動、再生能源造成的末端電壓過高、低功因、諧波、電壓不平衡等問題，故 AMSC 正在發展有關饋線端 STATCOM

裝置，並不斷改善 STATCOM 裝置大小與生產規模與定價，以符合多家電力公司的需求，而饋線電壓問題也正是在台灣未來 2050 淨零碳排放的情境將會面對到的問題。

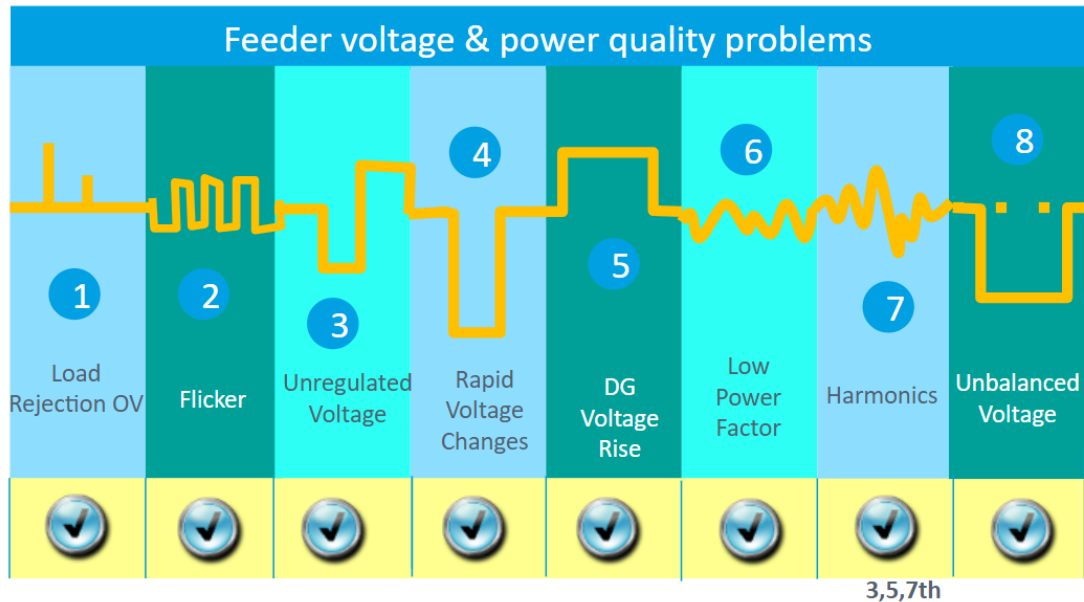


圖2 饋線電壓問題

三、AMSC D-VAR 技術介紹

AMSC 為美國電力設備公司，成立於 1987 年，專門設計和製造電源系統、超導體線材及風扇渦輪等先進電力產品，於美國及歐洲、亞洲及澳洲均有營運據點。參訪首日前往 AMSC 位於波士頓的工廠，雙方先就各自公司組織架構及營運現況相互分享交流後（如圖 3），AMSC 安排技術人員介紹該公司電壓（虛功）調控設備，該設備為靜態同步補償器 STATCOM（Static Synchronous Compensator）原理。

STATCOM 原先主要應用於輸電系統或者大型風場(wind farm)，而近年由於各國因應氣候變遷，陸續宣告淨零排放（Net Zero

Emissions) 目標，積極發展低碳或者零碳能源，造成分散式之再生能源大量併接於配電電網，因其間歇性發電特性造成線路電壓變動較大，故衍生出體積及容量較小，可彈性布建於配電級變電所或饋線之 STATCOM，AMSC 將所發展之設備稱為 D-VAR STATCOM (配電級變電所等級) 及 D-VAR VVO (饋線等級)。典型應用如圖 4 所示，變電所側、太陽光電案場、工廠、饋線端均有其功能目的，如電業或特定工廠維持一定程度用電穩定，甚至太陽光電案場用以改善案場電力品質，以符合併網法規通過電業審查。



圖3 與 AMSC 及 Fuji Bridex 交流照片

STATCOM 為併聯於電力系統之電力電子轉換器，元件包含如 IGBT 的功率開關、LC 濾波器、PWM 控制迴路等。操作原理可從圖 5 的單相轉換器所知，由 (1A、2B) 及 (1B、2A) 開關互為反向操作，數 kHz 高頻切換後經過低通濾波器即可產生如圖 6 之正弦波電

壓。三相轉換器及其閉迴路控制方塊如圖 7 所示，藉由控制輸出端注入或吸收精確虛功電流至電網，進而調整電壓、虛功率或功率因數。

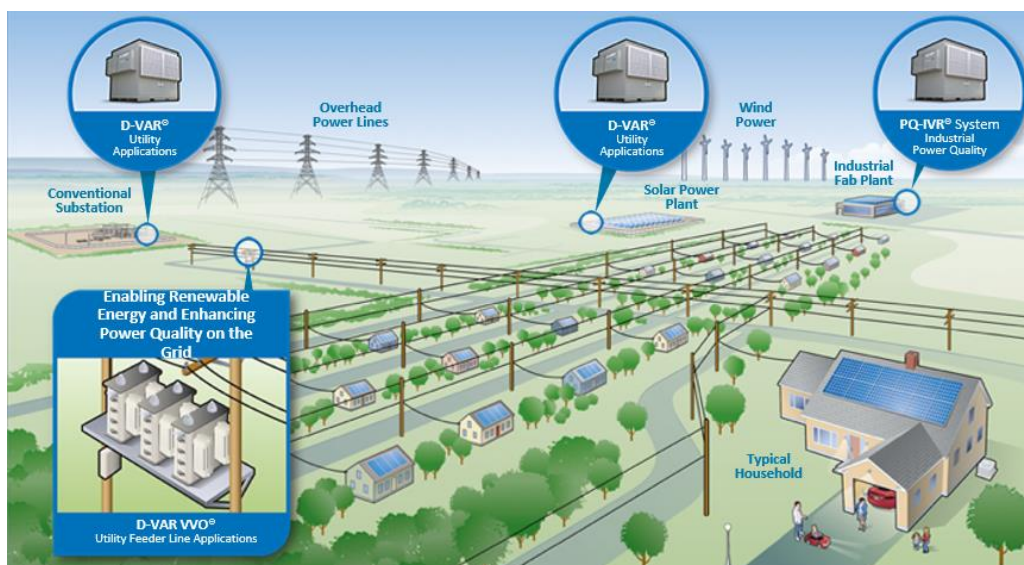


圖4 典型電力系統應用 D-VAR STATCOM 及 D-VAR VVO 示意圖

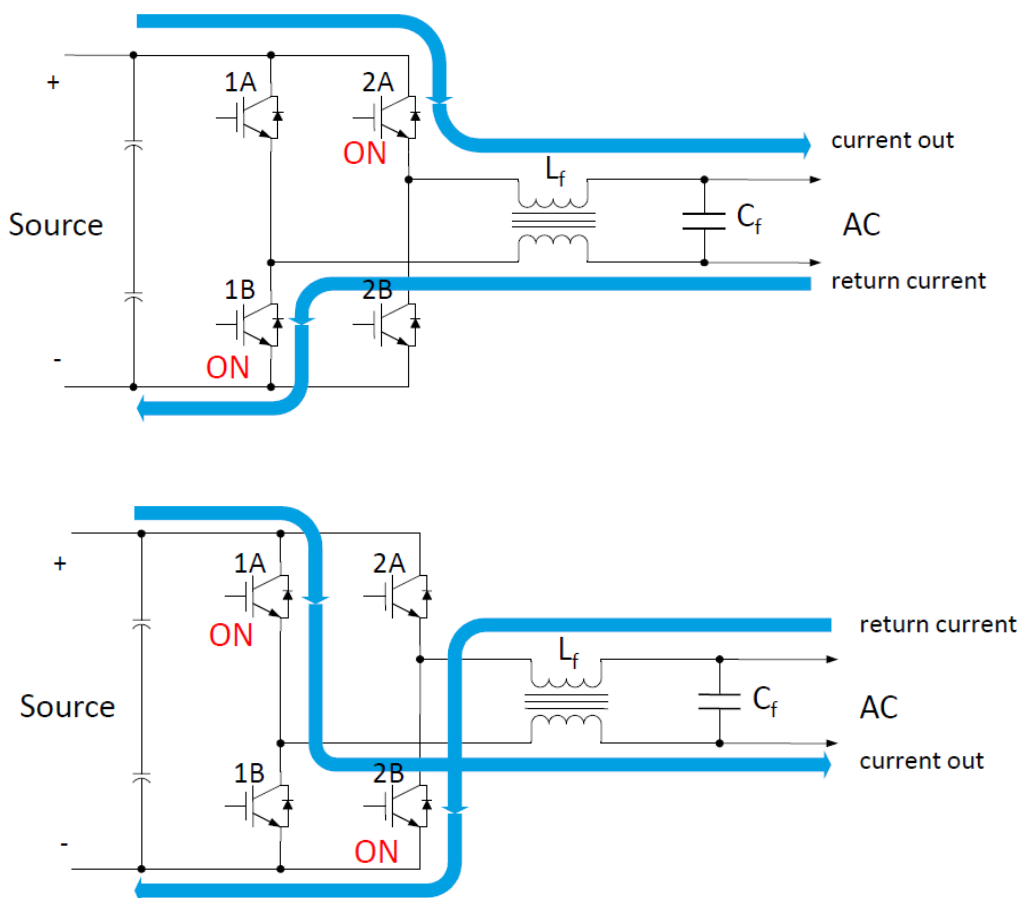
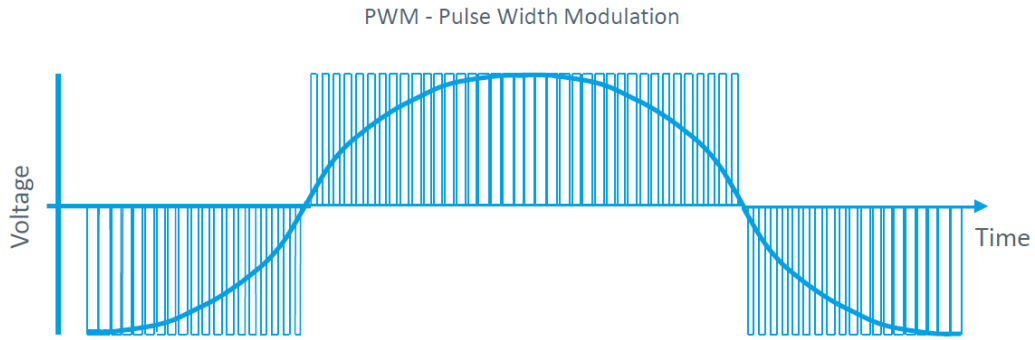


圖5 電力電子單相轉換器切換示意圖



Switching frequency is about 4 kHz

圖6 脈波寬度調變

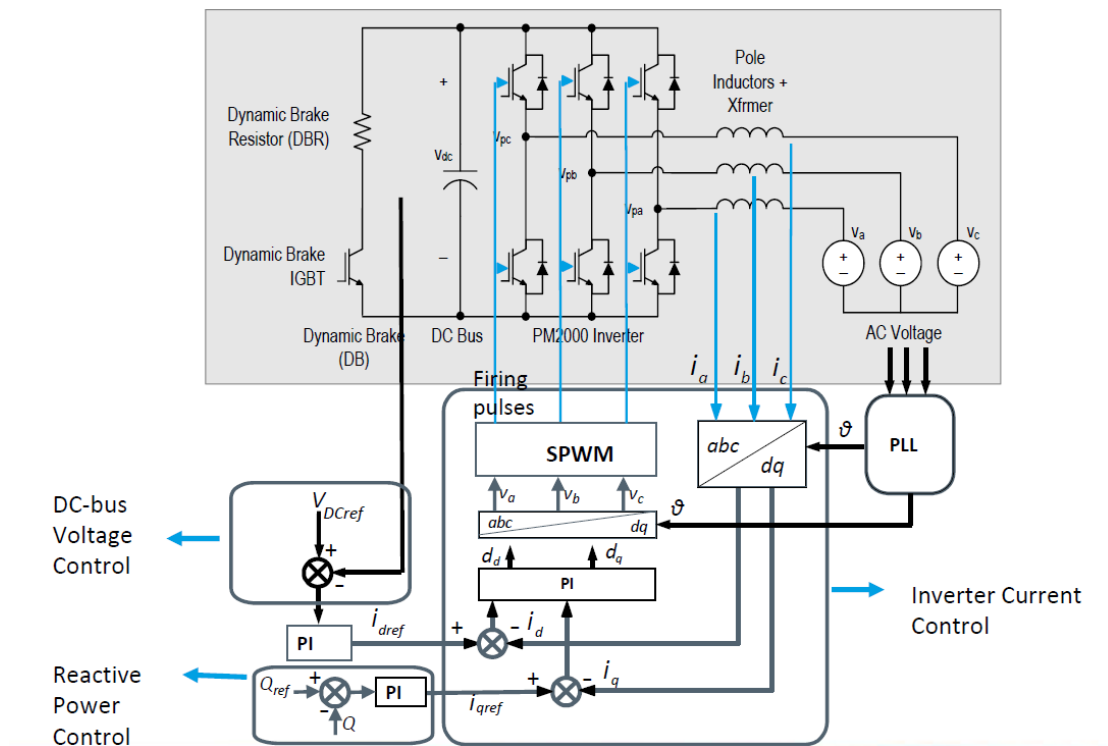


圖7 三相轉換器及其閉迴路控制方塊

四、AMSC D-VAR STATCOM 發展及應用情形

(一) 模組化產品

AMSC D-VAR STATCOM 設計為 4MVA 可建構式模組(如圖 8)，

內部置有扇葉強制排風進行散熱。如同前面章節所述，該設備可提供超前（leading）或落後（lagging）的虛功率，且過載容量為額定運轉容量的 3 倍，具有超載仍可短時持續運轉的操作區間（如圖 9）。而在控制中心還會有主控制櫃（Master Control Enclosure, MCE），包含控制迴路、回授 AI 及 DI 狀態點、觸控顯示器及狀態燈號，如圖 10 所示。



圖8 AMSC D-VAR STATCOM 產品

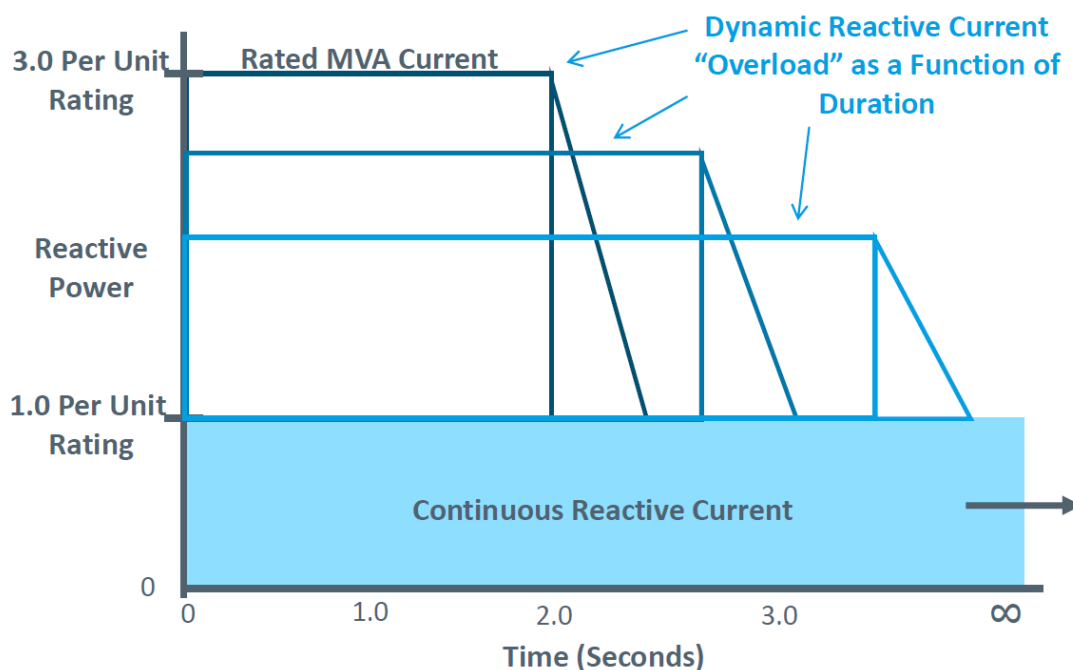


圖9 AMSC D-VAR STATCOM 過載運轉能力

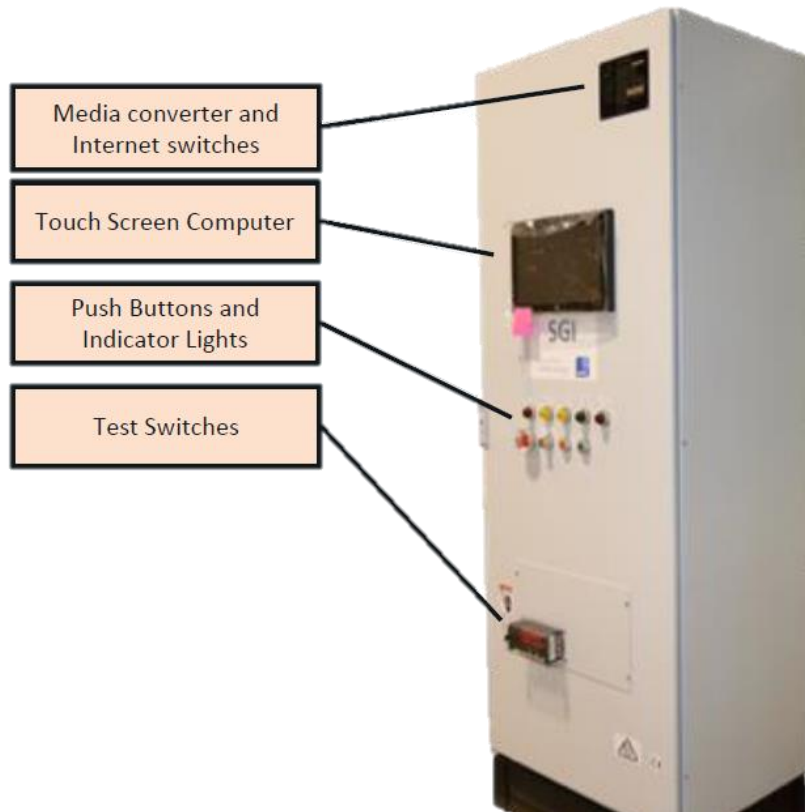


圖10 MCE 控制櫃

(二) 應用範例

圖 11 為 AMSC 提供 D-VAR STATCOM 於中壓系統建置範例，MCE 作為中樞大腦，監測 BUS 電壓等資訊，並計算欲注入/吸收虛功率多寡，即時送出開關命令給 D-VAR STATCOM、電容（電抗）器組甚至是可控的風機案場。

澳洲風電場為南半球最多的風電場之一，據悉澳洲中南部的南澳州（SA）在 2022 年就曾創下短暫紀錄，其風力發電高達負載需求的 146%，剩餘的電源則送往隔壁州。澳洲公用電力事業對於電網法規制定了虛功調節要求，如此由虛功調節系統電壓，確保風場跟大電網間

的一致、安全及穩定運行。

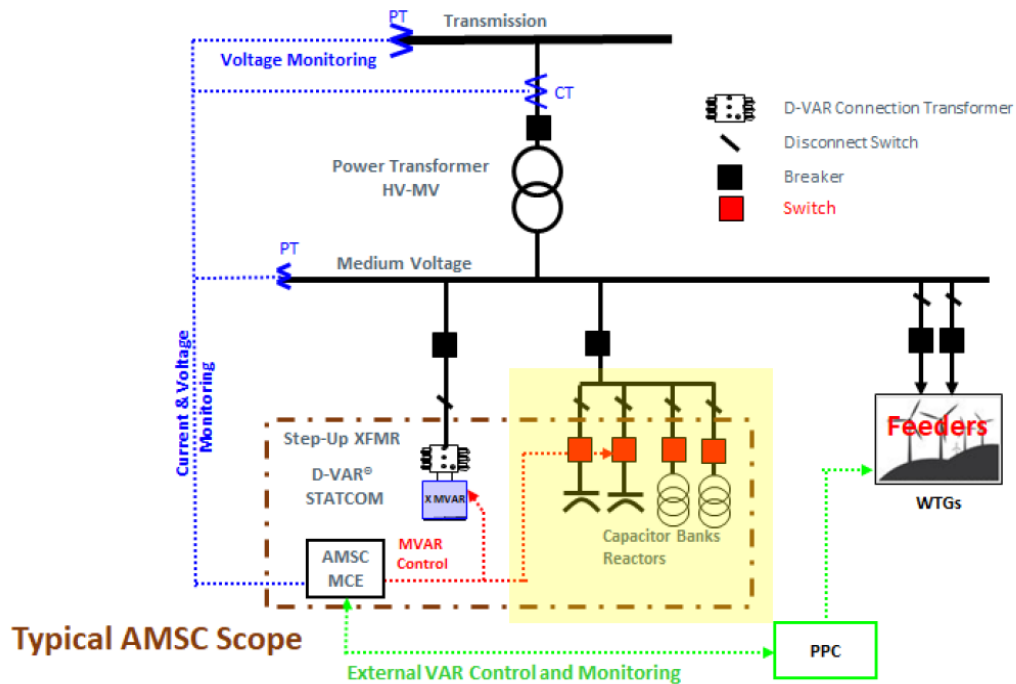


圖11 風場搭配 D-VAR STATCOM 範例

圖 12 為澳洲塔斯馬尼亞 (Tasmania) 的風電場系統單線圖，該風場擁有 56 座風力發電機，藉由 54 公里的 110kV 線路連接到輸電系統。D-VAR STATCOM 系統拆分安裝於 2 條 33kV 匯流排上，每條匯流排具有：

1. 8MVAR D-VAR STATCOM
2. 20MVAR 電容器組
3. 同步調相機

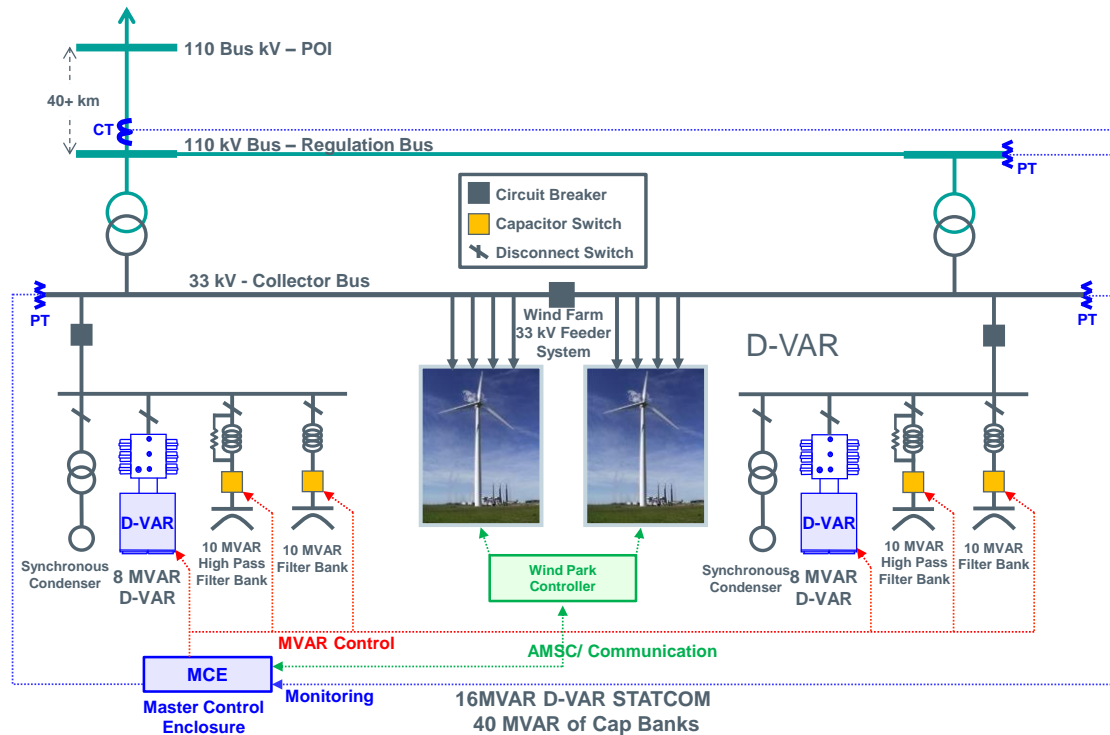


圖12 澳洲 Tasmania 風電場系統單線圖

(三) 案場參觀

本次實習過程中安排至紐約州長島（Long Island）參觀當地電業實務應用 AMSC D-VAR STATCOM 情形，長島是美國人口最密集的地區之一，從紐約港延伸至北大西洋，長度約 190 公里，寬度約 20~30 公里。因地理因素導致線路布放需要很長，於饋線末段的電壓降以及電壓變動率偏高。當地電力公司——長島電力局（Long Island Power Authority, LIPA）——為改善此現象，於線路末端的變電站裝設 D-VAR STATCOM，現場照片如圖 13~圖 16。

LIPA 於該變電站建置 8MVAR 的 STATCOM，設備外觀如屋簷的表面有加熱設備，可防止當地嚴寒時下雪堆積於設備表面。LIPA 表

示一年會請設備商定期來維護檢查一次(包含控制室內 MCE 弱電盤)。



圖13 LIPA 於長島之變電站



圖14 LIPA 於長島之變電站建置 D-VAR STATCOM



圖15 LIPA 於長島之變電站建置 D-VAR STATCOM

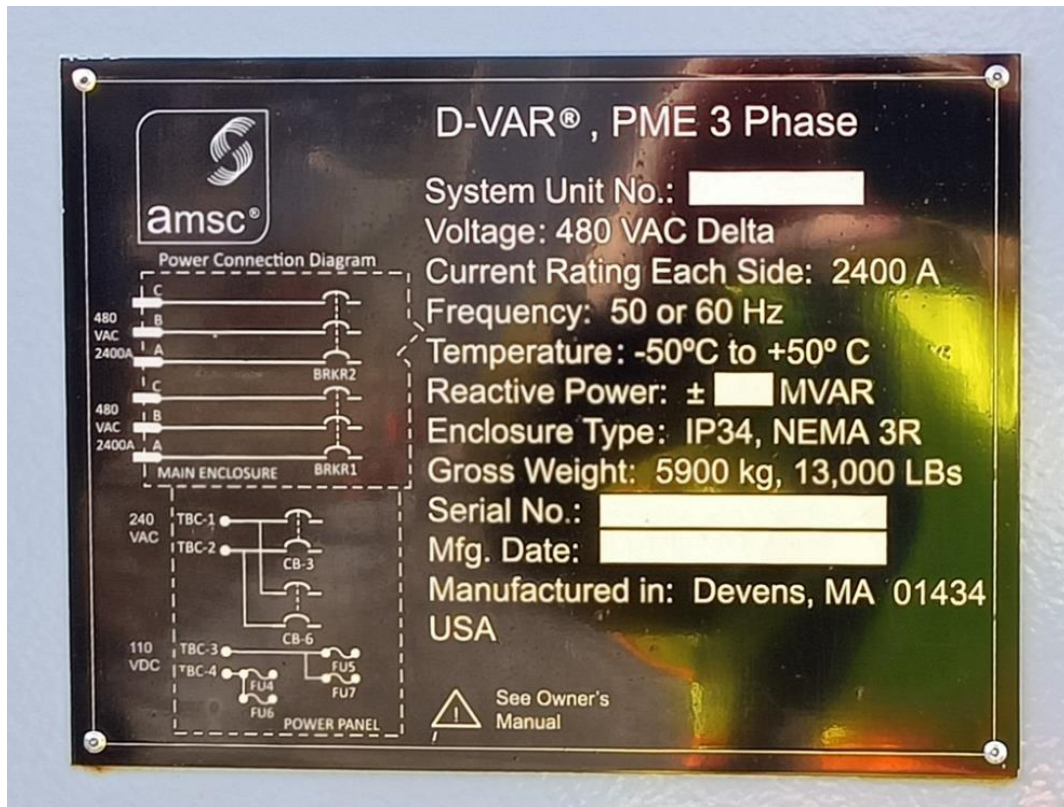


圖16 LIPA 於長島之變電站建置 D-VAR STATCOM

五、AMSC D-VAR VVO 發展及應用情形

(一) 模組化產品

如同遍布於饋線的分散式能源一般，AMSC 將 STATCOM 小型化設計出配電等級饋線裝設的設備（AMSC D-VAR VVO STATCOM），如圖 17 為普遍美國 H 桿裝設三相 VVO 方式，由 3 台單相額定 333kVAR 組成 1MVAR 的三相 VVO。而圖 18 是在 AMSC 波士頓製造工廠拍攝的 1MVAR 單相 VVO 及其內部圖，主要具有優點如下：

1. 提供或吸收虛功
2. 電壓/虛功連續控制
3. 可單相或三相應用
4. 無需經過升壓變壓器即可併接 11kV~13.8kV 中壓線路
5. 無馬達、風扇、分接頭切換器，IP65 密封性，定期維護需求低

VVO 同樣為線路併聯設備，若發生設備故障不會影響供電，而電力電子的高頻開關切換賦予 VVO 較佳的響應速度，VVO 與步進式電壓調整器及線路高壓電容器特性比較如圖 19。惟因 VVO 內部注入絕緣油，且有電感器及電容器濾波元件，以 1 具單相 1MVAR VVO 來說重量即高達 1.1 噸。



圖17 H 桿裝設 VVO 樣態



圖18 AMSC 工廠單相 VVO 設備圖

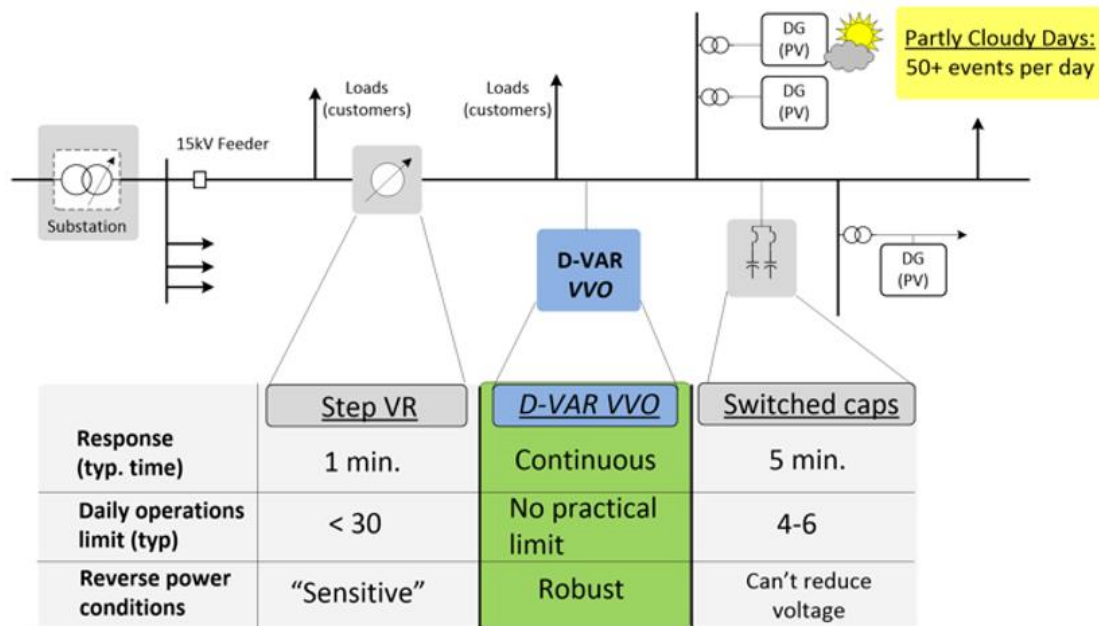


圖19 VVO 與步進式電壓調整器及線路高壓電容器特性比較

(二) 應用範例

再生能源高滲透率帶來的電力品質變動，可由 VVO 針對併網量高的饋線做 Volt/Var 補償，而非變電所側裝設 STATCOM 對整體供電區域之補償方式，相對節省成本及變電所可利用空間，如圖 20 所示。

如圖 21 電感性負載（如馬達）會造成落後性的電流，因此若線路功率因數較低，則會增加變壓器及線路的損失，另傳統馬達運轉時也會有啟動電流大之現象，這些可透過裝設 VVO 來調節功因及啟動電流大引起的電壓降。

(三) 案場參觀

實際參觀 VVO 案場來到位於麻州的 North Attleboro，案場包含 2MW 太陽光電、1MW 儲能系統及 1MVAR 的 VVO，現場設置照片

如圖 22~圖 24 所示。

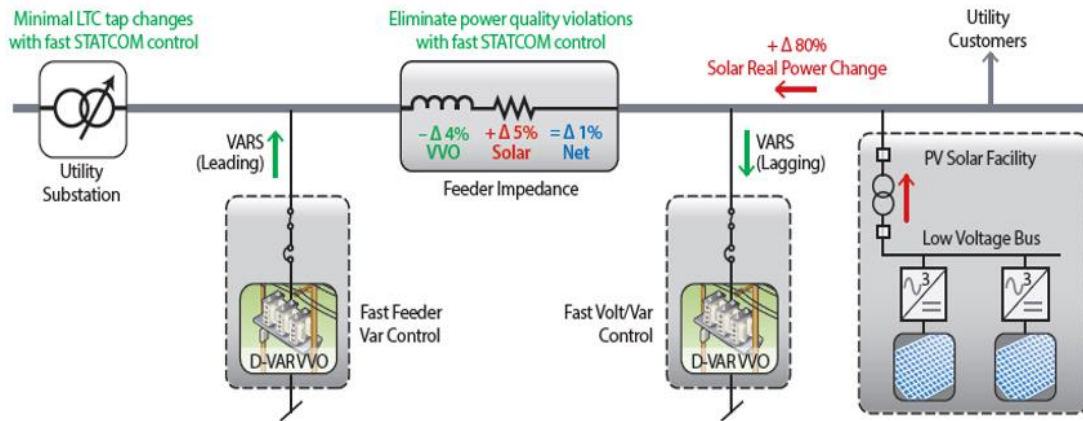


圖20 併網量高之饋線裝設 VVO 示意圖

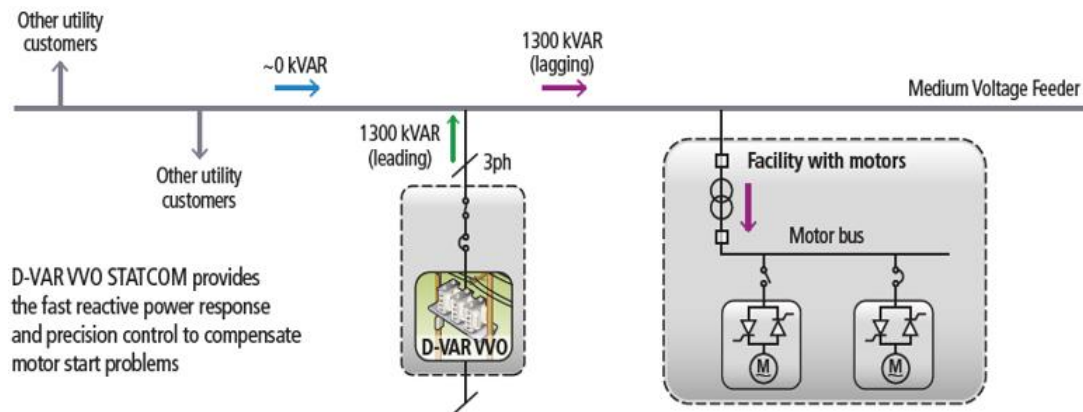


圖21 高電感性負載裝設 VVO 示意圖

本案場是當地營運電業——國家電網公司（National Grid）——自建案場，儲能系統是用以 peak shaving 平滑負載曲線，而 VVO 則操作在 Volt/VAR 自動控制模式，改善當地電壓變動率較高及再生能源間歇發電可能引起的變動。VVO 會透過圖 25 的控制箱將現場運轉狀態傳回國家電網公司的管理平台，資料也會儲存在雲端（通訊斷線時資料會暫存於記憶卡）。

現場目測木桿約 15 米高，用 H 桿放置 3 台重量約 3.3 噸的 VVO，

雖荷重能力經過計算及測試無虞，惟考量各國氣候條件及可能面臨天災不一，若類似於國內颱風來臨時可能引起的強風壓或天災，經與 AMSC 討論是可將 VVO 放置於地面基礎台，並加裝圍籬的方式來辦理。

另外綜合研究所目前也正在執行有關配電系統末端電壓模擬與控制策略等相關研究，針對再生能源末端電壓之問題，已進行末端電壓監視並盤點問題，也與此次行程與 AMSC 公司一同討論如何建立系統模型並模擬末端電壓狀況，以利後續於系統模擬部分建置有關 AMSC D-VAR VVO 之 OpenDSS 模型，以利增加再生能源併網容量，並解決末端饋線電壓變動問題。



圖22 國家電網公司於 North Attleboro 建置案場



圖23 國家電網公司於 North Attleboro 建置案場



圖24 國家電網公司於 North Attleboro 建置案場



圖25 國家電網公司於 North Attleboro 建置案場

六、AMSC D-VAR VVO 控制模式

AMSC D-VAR VVO 控制模式分為：伏乏控制模式（Volt/VAR control mode）、虛功控制模式（reactive power control mode）、功因控制模式（power factor control mode）以及虛功需量控制模式（reactive demand mode）。

（一）伏乏控制模式

伏乏控制模式用於動態穩壓（dynamic voltage regulation）。AMSC D-VAR VVO 根據下垂控制（droop control）曲線，依照饋線電壓的不同調整輸出虛功。在 AMSC D-VAR VVO 的下垂控制曲線中，欠壓時輸出電容性虛功，過壓時輸出電感性虛功，過欠壓的判斷則可以依照使用者設定的參考點來計算，如圖 26 中的設定值（set point）。參考

點可以透過 SCADA (supervisory control and data acquisition, 資料採集與監控系統) 進行遠端更新。

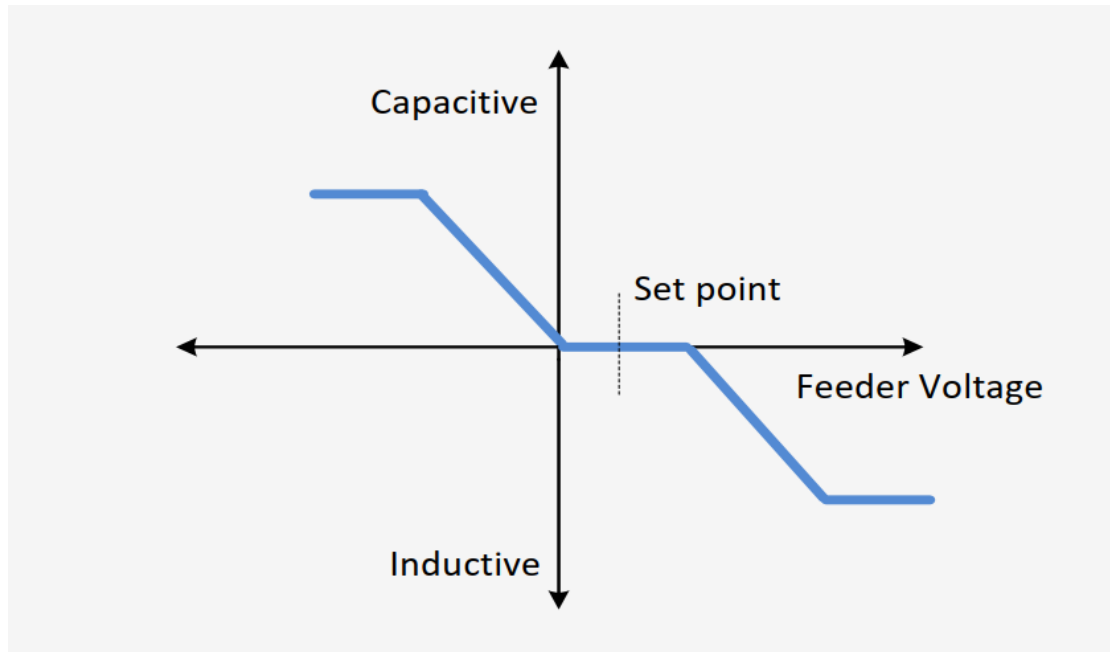


圖26 AMSC D-VAR VVO 伏乏控制模式

(二) 虛功控制模式

虛功控制模式適合用來以 AMSC D-VAR VVO 的過載能力支援電動機的啟動。在虛功控制模式中，AMSC D-VAR VVO 會固定 tap line 上的電流值，這個電流值的大小以及電容性、電感性可以由使用者設定，如圖 27 中的設定值，設定值可以透過 SCADA 進行遠端更新。運作在虛功控制模式時，需要自備一個外部的 line post sensor。

(三) 功因控制模式

功因控制模式中 AMSC D-VAR VVO 會自動調整吸收的虛功使得功因維持在一個定值。功因的大小和超前、落後可以由使用者設定，

如圖 28，設定值可以透過 SCADA 進行遠端更新。運作在功因控制模式時，需要自備一個外部的比流器（current transformer，CT）。

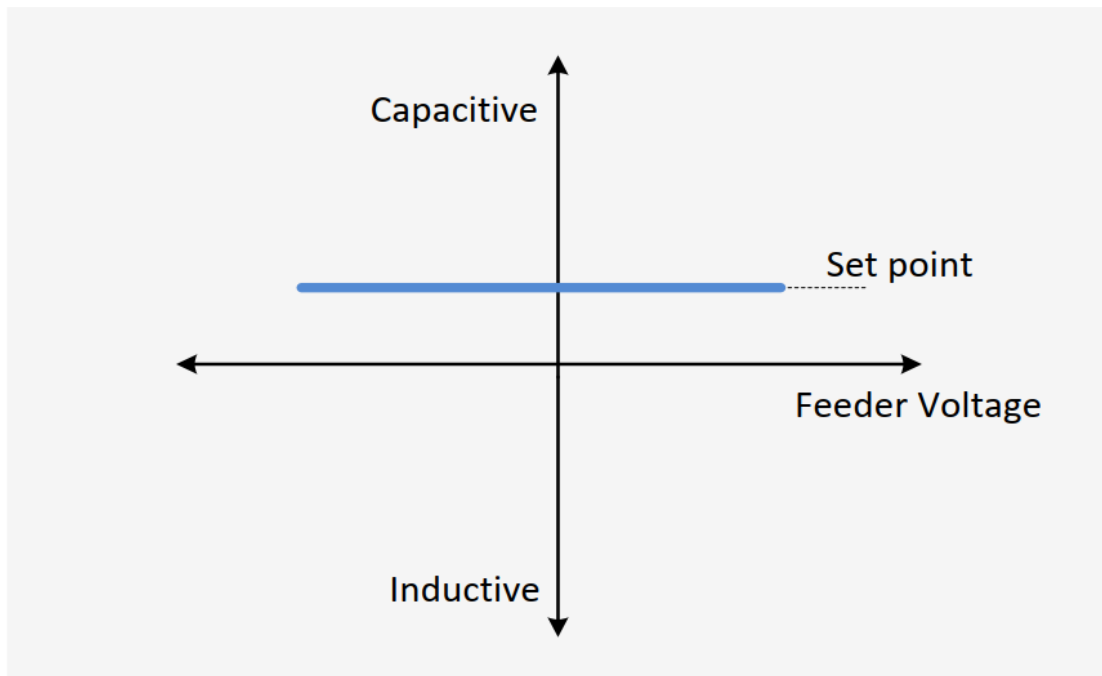


圖27 AMSC D-VAR VVO 虛功控制模式

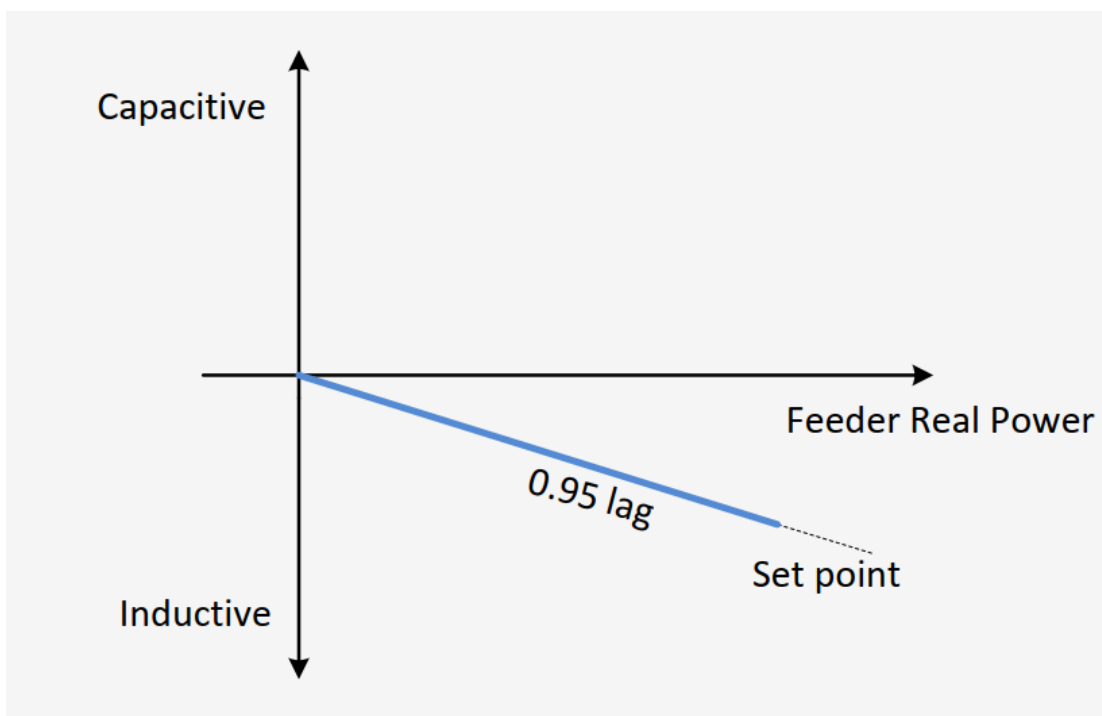


圖28 AMSC D-VAR VVO 功因控制模式

(四) 虛功需量控制模式

虛功需量控制模式適合用在電容器組 (capacitors bank) 對電力品質造成負面影響的情境下。AMSC D-VAR VVO 會固定自己吸收的虛功值，虛功的大小和電容性、電感性可以由使用者設定，如圖 29 中的設定值，設定值可以透過 SCADA 進行遠端更新。虛功需量控制模式和虛功模式很相似，但運作在虛功需量控制模式時不需要 line post sensor。

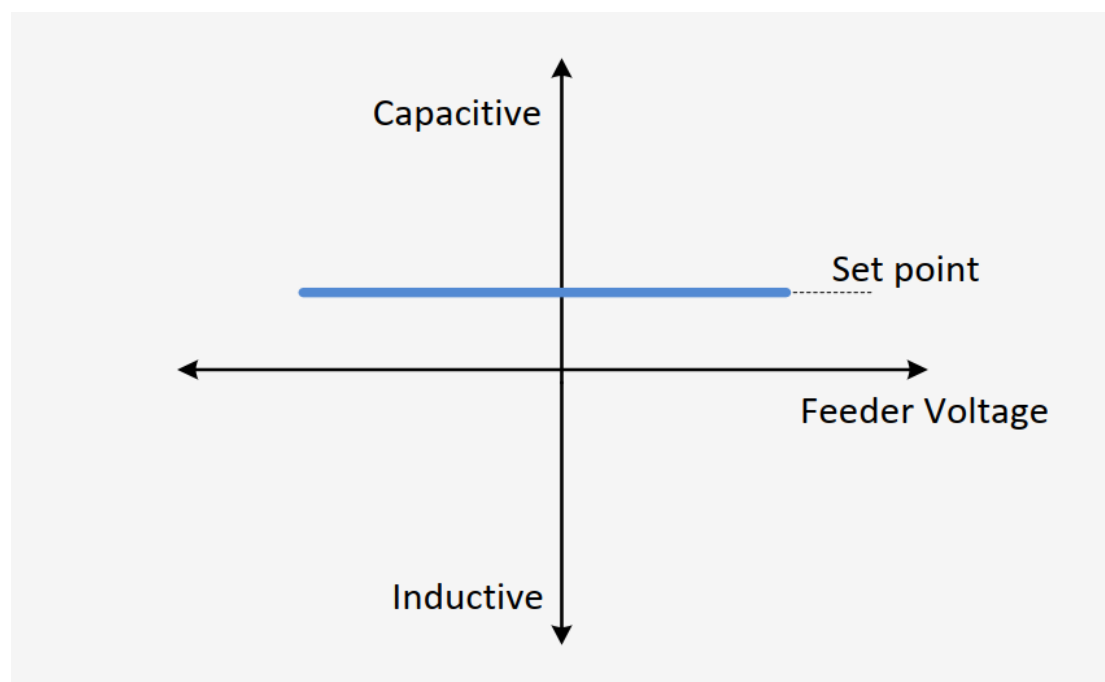


圖29 AMSC D-VAR VVO 虛功需量控制模式

七、AMSC D-VAR VVO 運用實例

(一) 饋線困境

AMSC 提供了一個運用 AMSC D-VAR VVO 解決分散式能源對饋線電壓造成的衝擊的案例。在這個案例中，一條饋線上同時存在著

多種設備，如圖 30 所示，其中綠色圖標為電壓調整器 (regulators)，紫色圖標為燃氫發電機 (hydro synchronous generators)，洋紅色圖標為風力發電機 (wind induction generators)，藍色圖標為變電所，黃色圖標為 AMSC D-VAR VVO 的建議安裝位置。

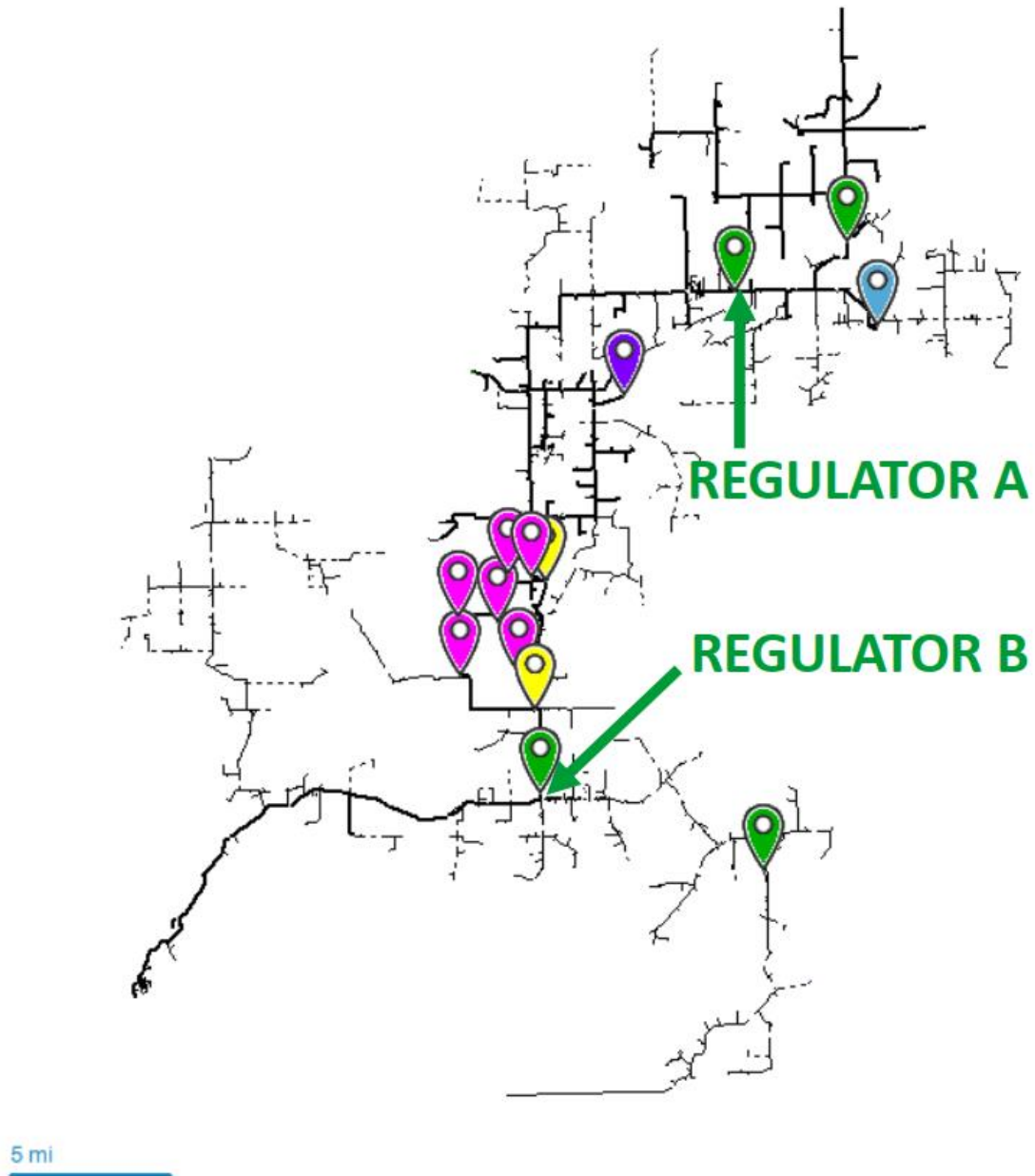


圖30 AMSC D-VAR VVO 運用實例之饋線困境

粗線是此條饋線的主幹線，全長 73 公里。由於負載和分散式能

源的變化，主幹線的電壓出現嚴重的偏移。在主幹線上已經有兩個電壓調整器，電容器在輕載的時候反而會加速惡化過壓的情形，雖然可以更換電纜（reconductoring），但不符合經濟效益。

在這個案例中，AMSC 建議在上述的兩個位置安裝 AMSC D-VAR VVO，目標是減少既存電壓調整器切換分接頭（tap）的頻率、將電壓曲線（voltage profile）平滑化、將電壓限制在 0.9583 到 1.06 標么、緩和分散式能源帶來的衝擊、提升可併網容量以及延後更換電纜等投資成本。

（二）重載下的電壓偏移

當饋線上發生最大負載且分散式能源輸出為 0 的時候（以下簡稱為重載），饋線電壓會隨著距離（指的是與源頭間的線路距離）的增加而快速下降，如圖 31 所示，饋線在大約 8 公里處透過電壓調整器 A（REG A）升壓（boost）到 1.04 標么，在大約 45 公里處透過電壓調整器 B（REG B）再次升壓到 1.04 標么，儘管如此，饋線電壓隨著距離增加而下降的幅度十分劇烈，因此多處饋線末端的電壓都降到 0.9583 標么以下，甚至到了將近 0.90 標么，如圖 32 所示，紅色部分是饋線上發生欠壓（undervoltage）的區域。

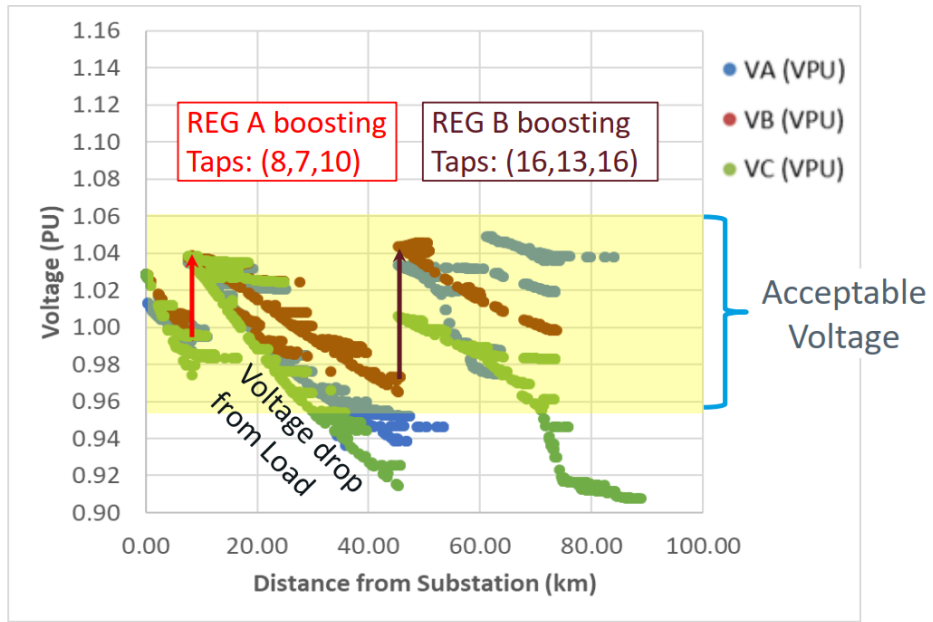


圖31 AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的電壓偏移

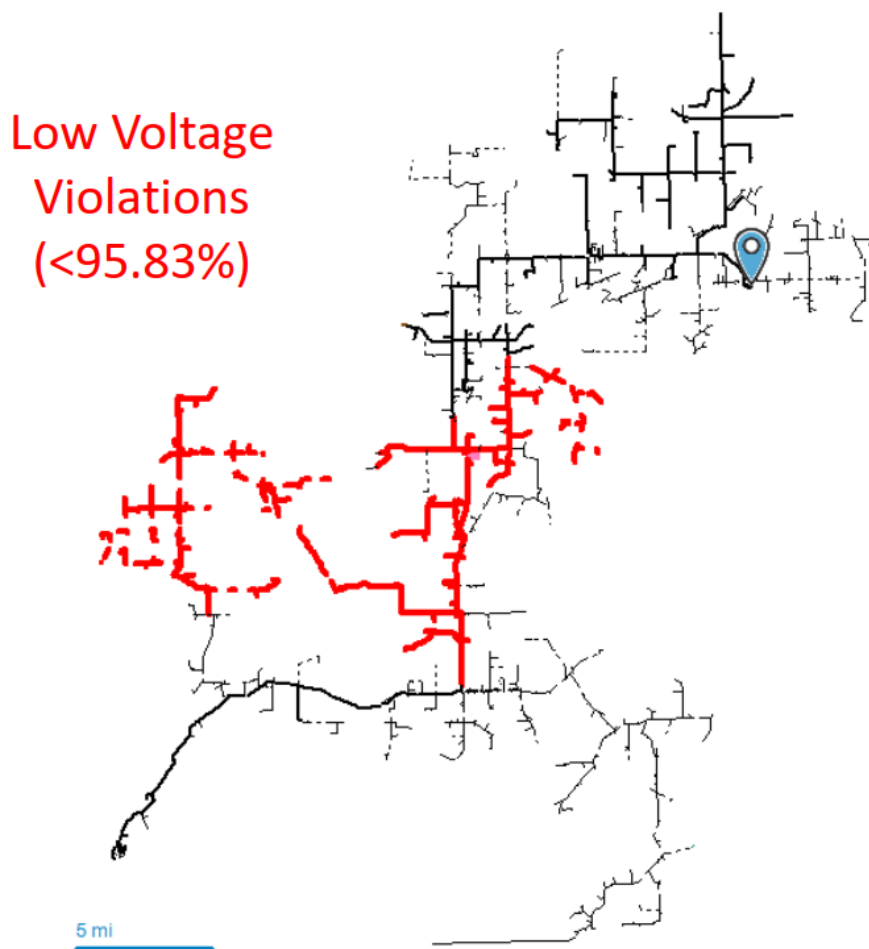


圖32 AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的欠壓區域

(三) 輕載下的電壓偏移

當饋線上的負載為輕載（以最大負載的 20% 計）且分散式能源皆為滿載輸出的時候（以下簡稱為輕載），饋線電壓受到饋線各處分散式能源逆向潮流（reverse power）的影響，會隨著距離的增加而快速上升，如圖 33 所示，由於電壓調整器 A（REG A）的分接頭限制，無法協助降壓，在大約 45 公里處透過電壓調整器 B（REG B）降壓（buck）到 1.04 標么後，饋線電壓便維持在可接受範圍內，但在 45 公里以前的區域因為電壓調整器能力的不足，幾乎整條饋線上電壓都超過 1.06 標么，甚至到了將近 1.15 標么，如圖 34 所示，綠色部分是饋線上發生過壓（overvoltage）的區域。

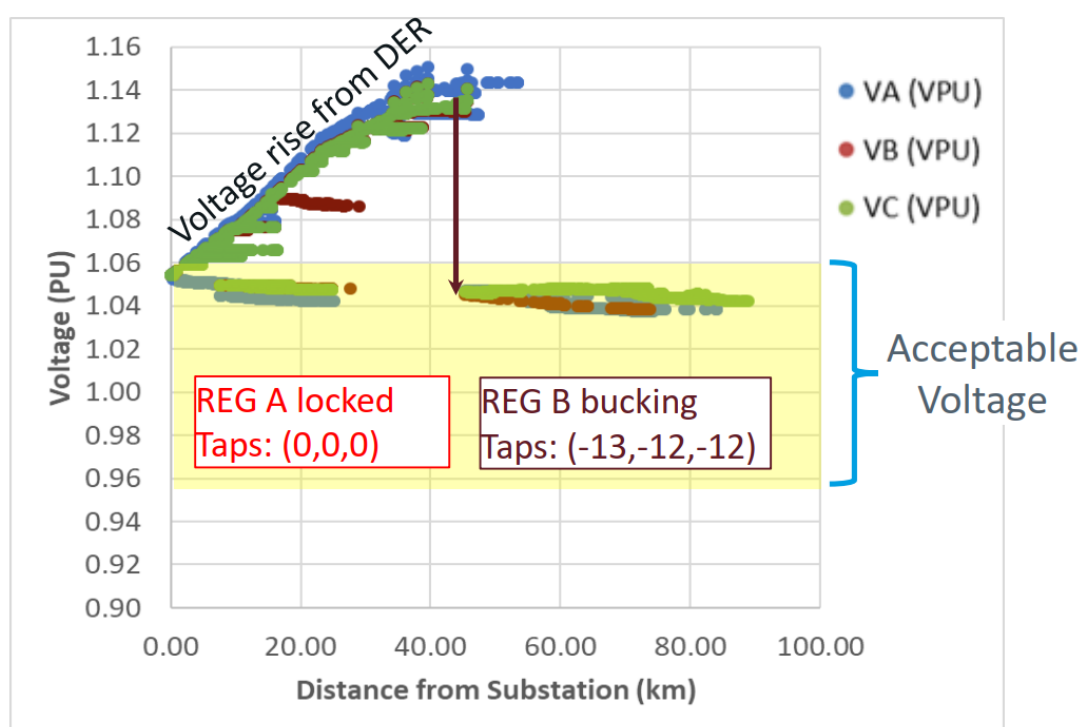


圖33 AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的電壓偏移

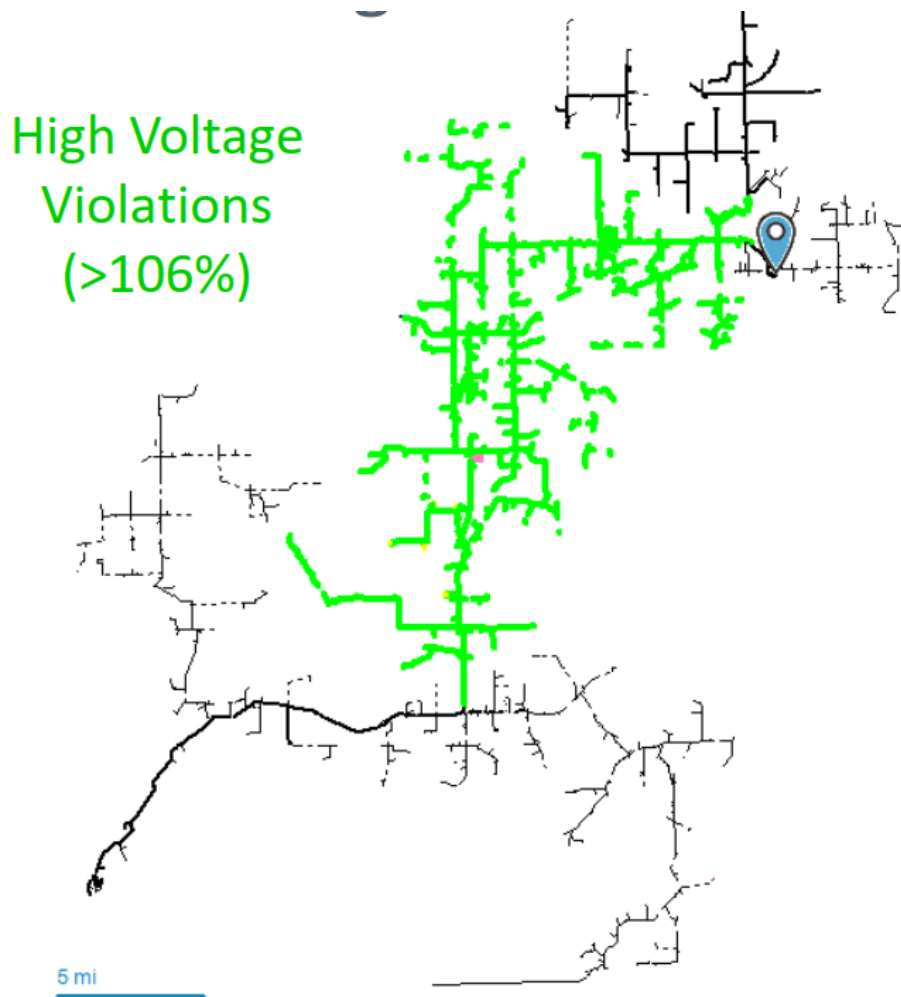


圖34 AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的過壓區域

(四) 解決方案

在這個案例中，為了解決電壓偏移的問題，在饋線上兩個位置安裝 AMSC D-VAR VVO，圖 30 中上下兩個黃色標記分別是 VVO A 和 VVO B，在兩者的下垂控制（droop control）曲線中，VVO A 與 VVO B 的死區（deadband）設定在 1.01 到 1.02 標么，但 VVO A 的斜率較大，在饋線電壓 0.99 標么和 1.04 標么時達到最大輸出，如圖 35 所示；而 VVO B 的斜率較小在饋線電壓 0.98 標么和 1.05 標么時才達到最大輸出，如圖 36 所示。

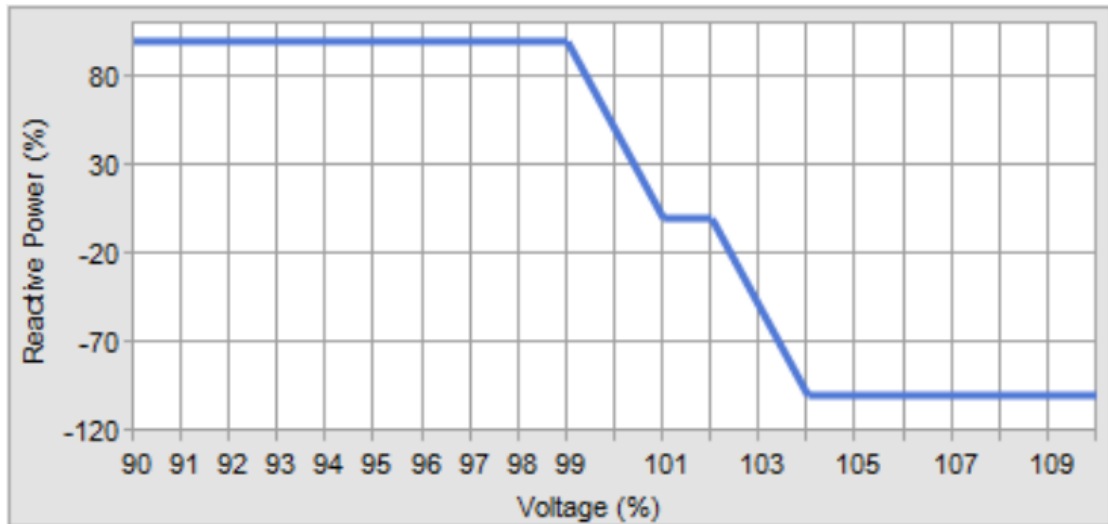


圖35 AMSC D-VAR VVO 運用實例之 VVO A 的下垂控制曲線

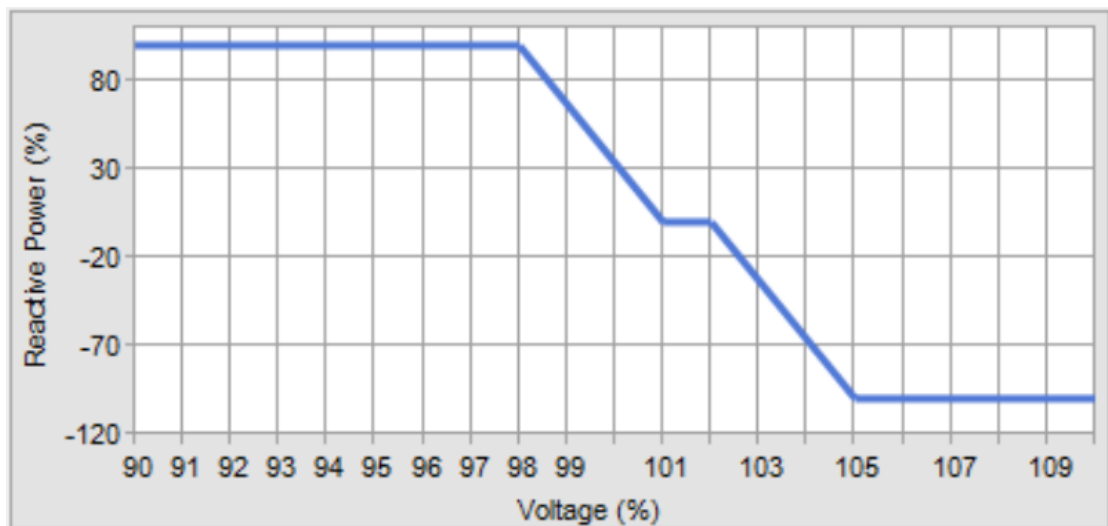


圖36 AMSC D-VAR VVO 運用實例之 VVO B 的下垂控制曲線

由於 AMSC D-VAR VVO 可以將安裝點的饋線電壓控制在目標值，VVO A 和 VVO B 分別在大約 35 公里處和大約 40 公里處進行穩壓，使得電壓調整器 B 在重載下可以有效地提升饋線末端電壓，如圖 37 所示，使得欠壓區域大幅縮小，如圖 38 所示；在輕載下兩個 AMSC D-VAR VVO 可以抵消分散式能源逆向潮流造成的壓升，如圖 39 所示，使得過壓區域大幅縮小，如圖 40 所示。

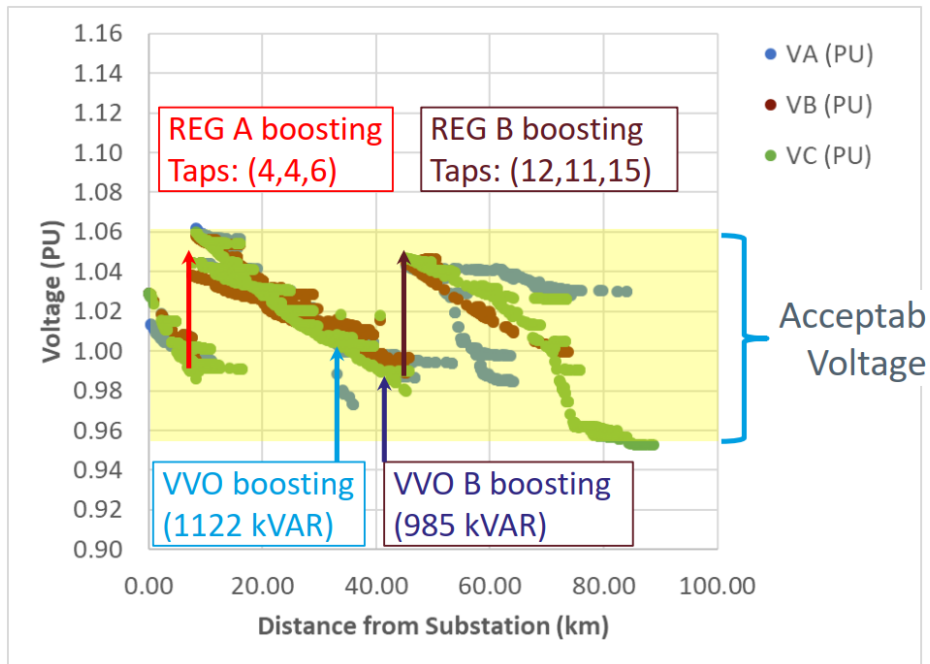


圖37 AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的電壓偏移改善情形

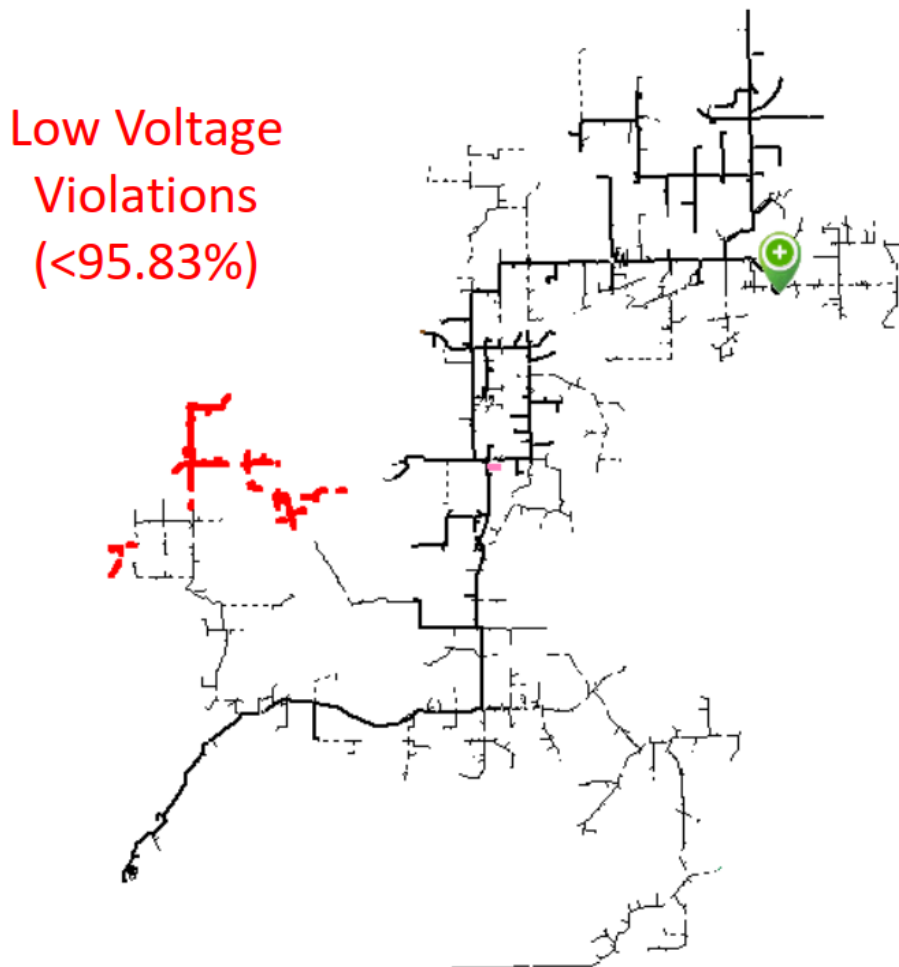


圖38 AMSC D-VAR VVO 運用實例之重載下的欠壓區域改善情形

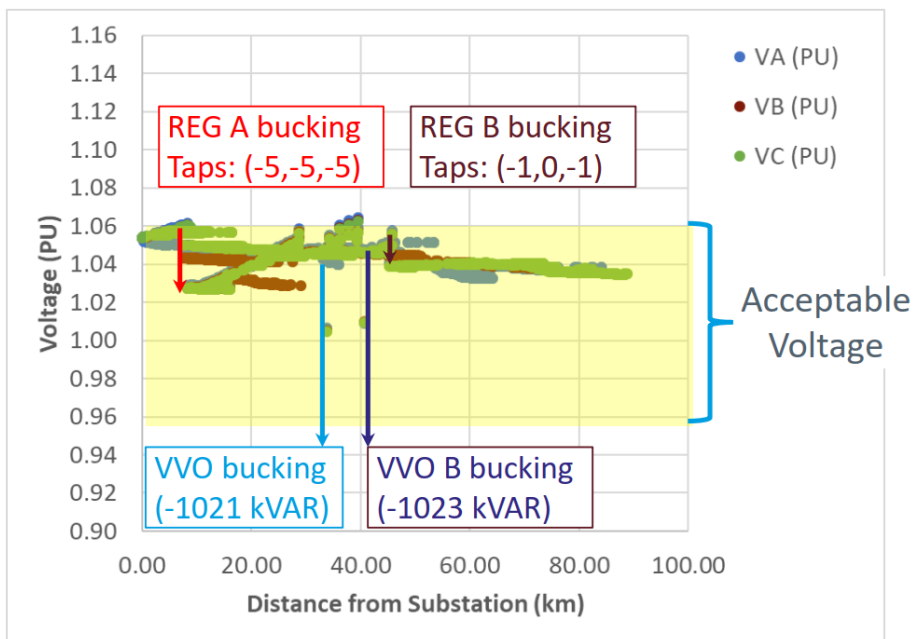


圖39 AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的電壓偏移改善情形

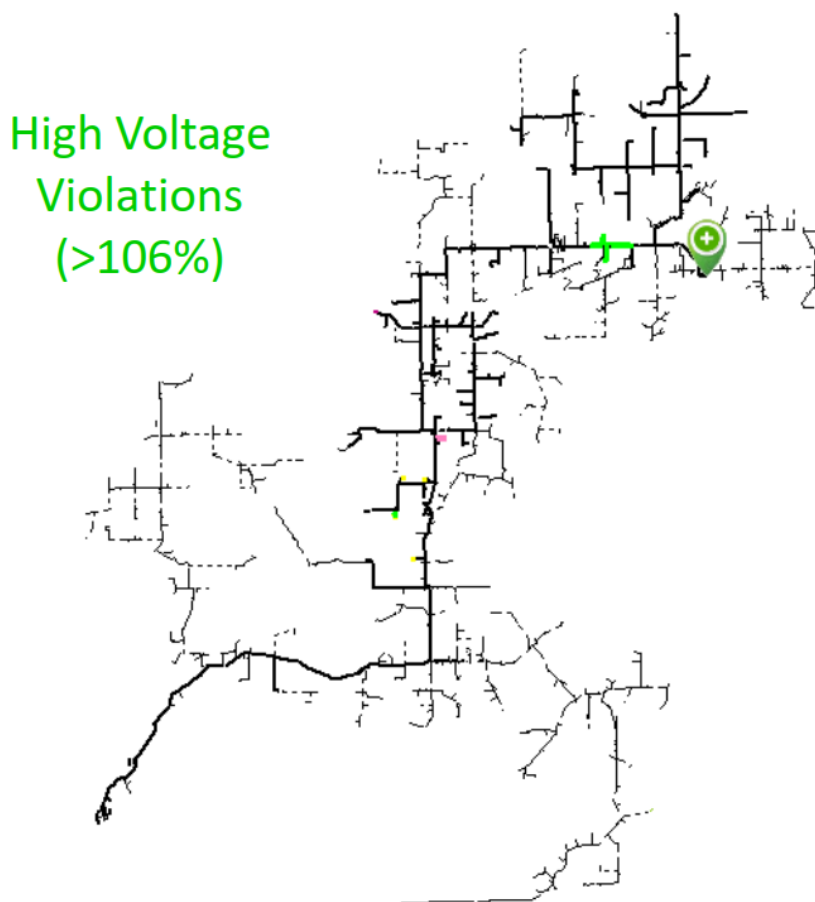


圖40 AMSC D-VAR VVO 運用實例之輕載下的過壓區域改善情形

八、NEPSI 公司參訪內容

NEPSI (Northeast Power Systems) 公司建立於 1995 年，所在地為紐約昆士貝禮洲，主要產品為

1. 中壓裝甲開關箱 (2.4kV~38kV) 200kV VIL MAX
2. 並聯電力電容器
3. 諧波濾波器
4. 並聯電力電抗器

並針對眾多行業的客戶，如礦業、分散式能源、石化產業、煉鋼業、軍事基地、醫院、大學等大用戶進行負載監測、諧波分析、功率因素優化與馬達啟動監測等電力分析工作，並協助評估裝設可改善用戶與區域電力品質相關電力設備，

(一) NEPSI 案例分享——大型裝甲諧波濾波器

NEPSI 在 Toquepala Mine 礦場，位於 Moquegua Peru，安裝了兩個濾波器，一個濾波器達 23MVAR，總共 46MVAR，如圖 41，此濾波器設計是為了消除礦場煉銅所造成的諧波，NEPSI 的檢測人員可先安裝諧波偵測儀器，計算出諧波的大小，再計算出所需的濾波器大小，之後再安裝濾波器，其中，濾波器有含高通與帶通兩種形式，如單線圖所示（如圖 42）。



圖41 Toquepala Mine 濾波器裝置照片

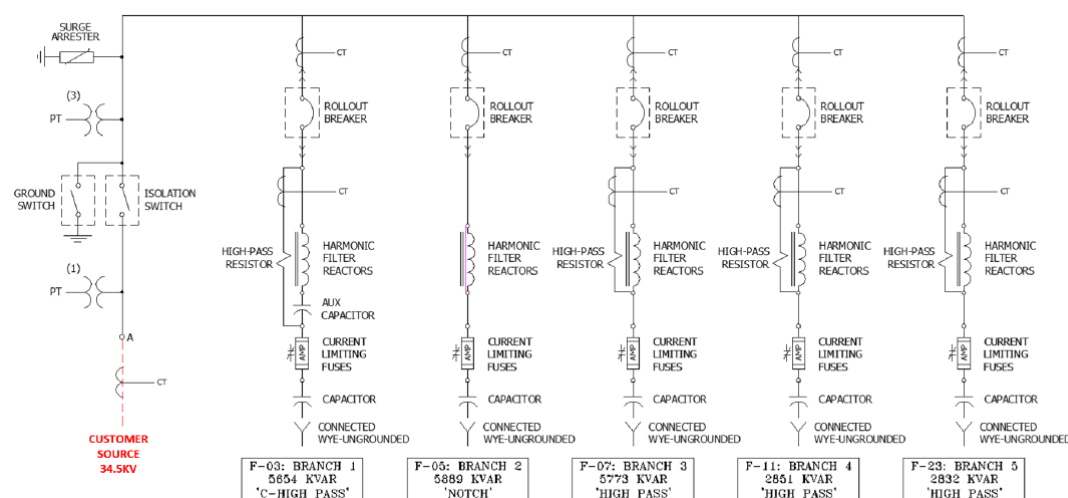


圖42 Toquepala Mine 濾波器單線圖

(二) NEPSI 案例分享——大型電容器

NEPSI 在 Cape Scott 風場，位於加拿大，安裝了大型電容器併聯 STATCOM，容量共 18MVAR，耐受電壓 34.5kV，耐衝擊電壓為 150kV BIL，如圖 43，此電容器的設計可調整風機虛功輸出，並可減少 STATCOM 的設計容量，是經濟又實惠的選擇。



圖43 Cape Scott 方廠裝設之大型電容器

(三) NEPSI 工廠參觀

本次與 NEPSI 進行意見交流並參觀工廠所製造的設備，其中包括電容器、電抗器、真空切換開關，以及將真空開關切換開關、電容器、電抗器、熔絲開關及裝甲開關箱結合之諧波濾波器設備，另外 NEPSI 在出廠前也會使用部分放電檢測儀器進行出廠前的測試，如圖 44~圖 50。



圖44 電容器與電抗器



圖45 真空切換開關



圖46 諧波濾波器設備



圖47 部分放電檢測設備與諧波濾波器銘牌

九、AMSC 超導體電纜

AMSC 原先是配合美國軍方製造超導電纜的公司，實習期間也順道觀摩超導電纜的製造工廠，並與 AMSC 公司針對超導電纜的特性與應用層面進行技術交流。

(一) 超級半導體特性介紹

超級半導體 (Superconductors) 有零電阻、高電流密度、高電磁屏蔽等特性，但需要在極低溫(約攝氏-200°)與特定的電流量與磁場量才有此特性，並且在超過特定的電流量與或磁場時則會有瞬間將電流截止的功能，其中高溫半導體(high temperature superconductor ,HTS) 材料已於 1986 年被發現，此材料可以使用液氮冷卻裝置，以減少成本，並推廣應用於軍方設施或研究設施。

(二) 高溫半導體電纜特性介紹

高溫半導體電纜有非常高的電力傳輸容量，不僅可以解決傳統 345KV 電力電纜部署問題(如圖 48)，並且可以大幅解決電纜效率降低、電纜裝置複雜與申請路證等問題，另外其關鍵的特性為

1. 高耐受電流 (每相 4000A)
2. 接近零電阻
3. 非常小的電磁效應
4. 沒有溫度限制

5. 可以進行故障電流管理
6. 較傳統電力電纜細
7. 需要有液氮冷卻裝置

Simplifying Transmission Siting



One MV HTS Cable can replace:

- Many conventional underground circuits
- Overhead transmission line



Photo courtesy Consolidated Edison

HTS Cables Offer New Options to Siting Power Lines

圖48 高溫半導體電纜部署建議

(三) 高溫半導體電纜設計樣態

高溫半導體電纜在工廠或海軍用途方面（3相 AC、雙向 DC 或單向 DC）則適用於低壓，在電力公司方面則用於高壓三相 AC 或 HVDC 之用途，設計方面可將三相 AC 放置於一條電亦或是分開，皆可以客製化設計，如圖 49。

HTS Cable System Designs

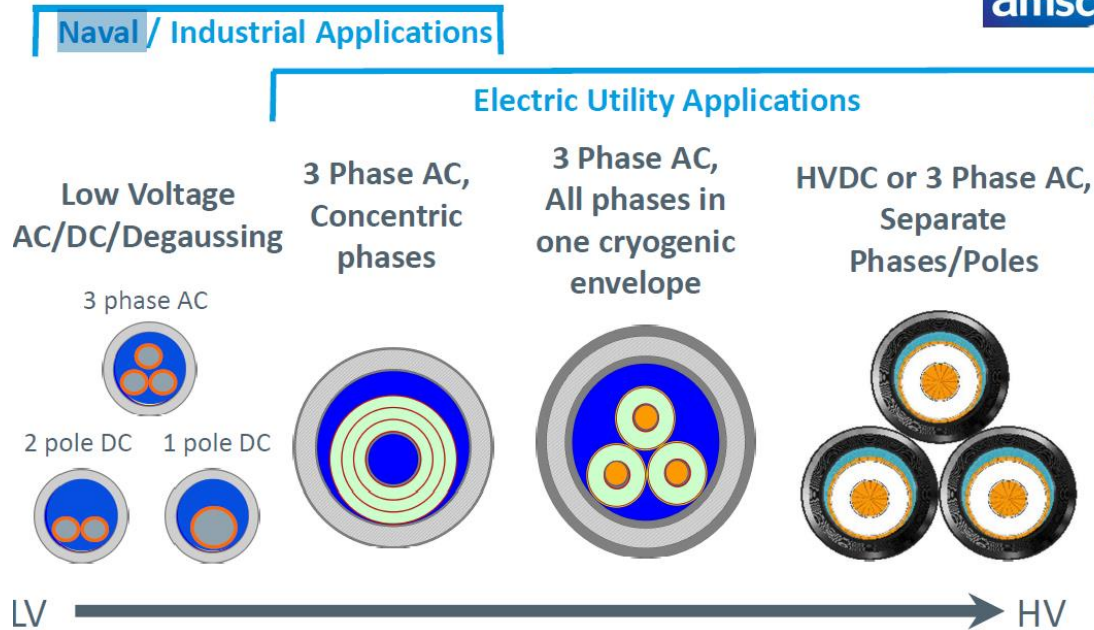


圖49 AMSC 高壓半導體電纜設計樣態

(四) 高溫半導體電纜應用案例

1. AEP/Bixby Cable System

於 2006 年建置，為世界上第一座高壓半導體三相電壓電纜系統，其規格為 13.8kV,60MVA，並於 40 次故障事件發生時，皆未發生不利影響，如圖 50。

2. Long Island Power Authority Cable

於 2008 年建置，為世界上第一座高壓半導體電纜傳輸系統，並且目前也是世界上最長且最具有電力傳輸，該電纜規格為 138kV 可傳輸 574MW，其特點為可自己調控電纜溫度，以防電力傳輸能力下降，且建置空間僅需要寬 2 公尺的管道溝即可，如圖 51~圖 52。

AEP/Bixby Cable System



- Energized in August 2006
- World's first HTS tri-axial voltage cable system in the grid
- Rated 13.8kV, 60MVA, averages 70-80% of rated MVA
- Experienced over 40 through faults with no adverse effects



Photo courtesy: Ultera



- Long term, uneventful operation proven

圖50 AEP/Bixby 高溫半導體電纜系統

Long Island Power Authority Cable



- Energized in April 2008
- World's first HTS transmission voltage cable system in the grid
- Longest, most powerful superconductor cable in the world
- Able to carry 574 MW of power in a four-foot-wide right of way
- Landmark cable installation proving high power, transmission level applications



Over 15 years of superconductor cable experience

圖51 Long Island Power Authority Cable 介紹

Superconductor Example: 138 kV, 575MW Capacity



- *Self contained thermal envelope*
 - ↳ *No thermal de-rating*
- *Minimal magnetic field*
 - ↳ *No parallel line de-rating*
- *Lower Impedance*
 - ↳ *Longer practical distance*

Simplify placement and offer new options to line siting

圖52 Long Island Power Authority Cable 安裝介紹