



圖 4-12 三相四線式接線，現場安裝 3 具 VR 以 Y 接中性點接地方式接線

## 6. 電壓調整器之安裝地點

Energex 電力公司安裝電壓調整器之地點選擇係利用模擬系統建立饋線模型，輸入線路運轉之相關資料，如導線線阻抗、線路上負載、線路長度等，由模擬系統計算出各點之壓降後，取壓降在 5~10%之地點安裝電壓調整器，因負載電流大小影響調整器量，一旦安裝後不可能因負載些微變動而隨之調整地點，以電壓調整器最高 10%變動，故安裝於壓降在 5~10%之地點。

## 7. 同一饋線上安裝多具電壓調整器之動作時間設定

Energex 電力公司因少數饋線線路長達數十公里，所以在同一饋線上最

多安裝了 3 組的電壓調整器，其動作時間設定為：1. 離系統電源端較近的電壓調整器優先動作，越遠者越晚動作；2. 每組動作時間間隔 15 秒，即主變 ULTC 動作後 15 秒，饋線前端第 1 具再動作，再 15 秒後饋線前端第 2 具再動作，再 15 秒後饋線前端第 3 具再動作，本項設定於控制內之 time delay 項下設定。

## 8. 電壓調整器之維護

Energex 電力公司自安裝電壓調整器以來，尚無任何維護點檢紀錄，據 Cooper 澳洲分公司表示，調壓器除了故障之維修外，平時幾無維護。

## 9. 自動電壓調整器控制模式

配電線路有不同之供電型態，如常閉環路或常開等，在電壓調整器之設定選項內亦因應不同的線路型態提供數種不同之運轉模式供使用者設定，以發揮其最佳之功能。

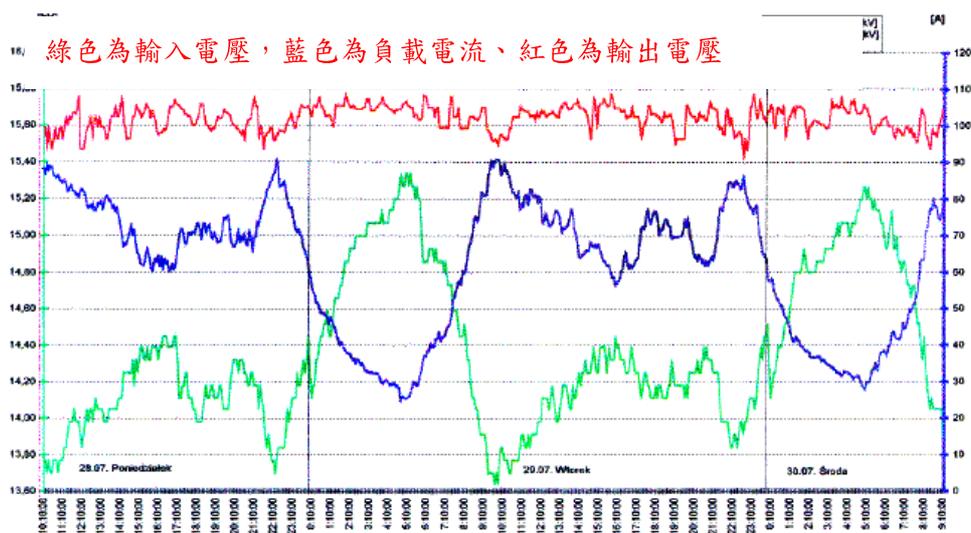


圖 4-13 電壓調整器之輸入及輸出情形

### (1) 順向閉鎖模式(Lock forward)

電力來源從電壓調整器之電源側流入、負載側流出稱為順向，本模式適用於電壓調整器負載側無逆向電源回流之放射型線路，例如無分散式電源或其他饋線之連絡轉供點於負載側。

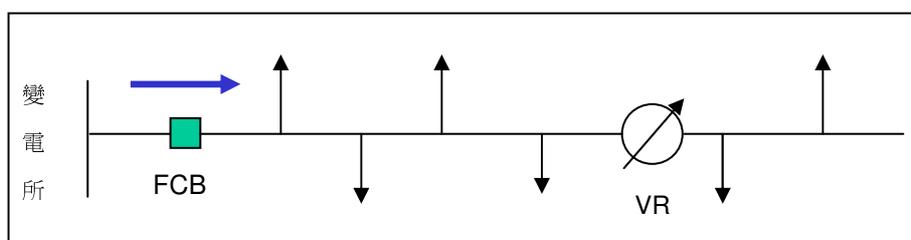


圖 4-14 放射之饋線型態

電壓調整器在電源為順向電力時動作為原則，惟線路上如有突來的逆向電源時，控制器偵測在 2%(CT 二次側電流)內的逆向電流值，仍允許電壓調整器動作，倘大於 2%之逆向電流時，控制器將閉鎖分接頭調整，直到電流小於 2%之逆向電流或電流方向恢復為順向後繼續動作。

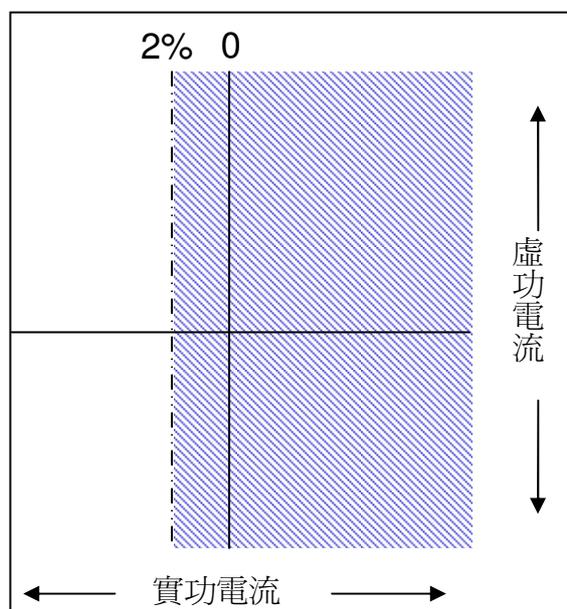


圖 4-15 順向閉鎖模式之動作範圍

## (2) 逆向閉鎖模式

電力來源由電壓調整器之負載側流入、電源側流出稱為逆向。本模式適用於電壓調整器無從電源側順向流入電源之放射型線路，例如無分散式電源或其他饋線之連絡轉供點於電源側。

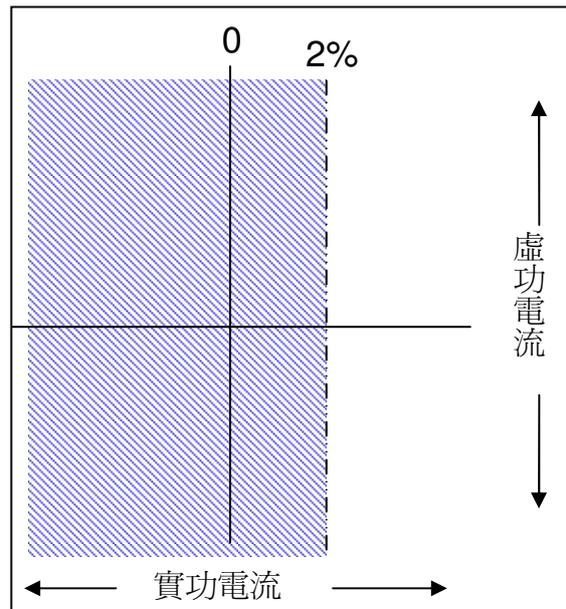


圖 4-16 逆向閉鎖模式之動作範圍

## (3) 雙向電源模式

電源可能由電壓調整器之電源側或負載側兩方向進入，例如電壓調整器之電源側為正常時之順向電源，負載側為線路轉供連絡點，轉供時則變成為逆向電源。

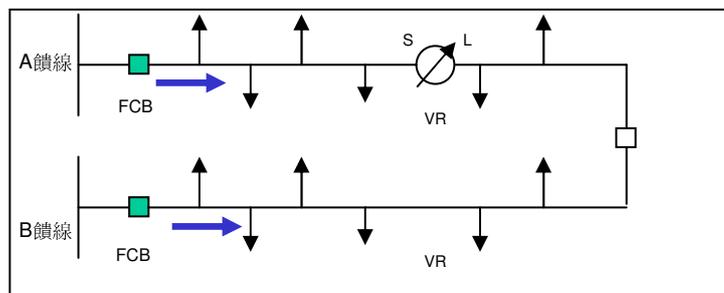


圖 4-17 雙方電源常態時為順向模式

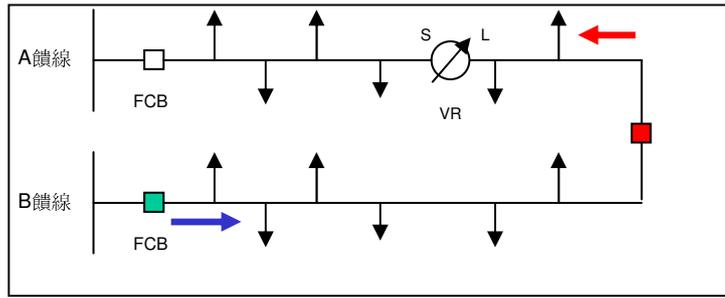


圖 4-18 雙方電源常態時為順向模式

當電源為順向且電流大於設定動作值(OT:operating threshold)時，以順向之線路壓降補償(LDC)值為計算；當電源為逆向且電流大於設定值時，以逆向之 LDC 值為計算，作為電壓補償之調整。

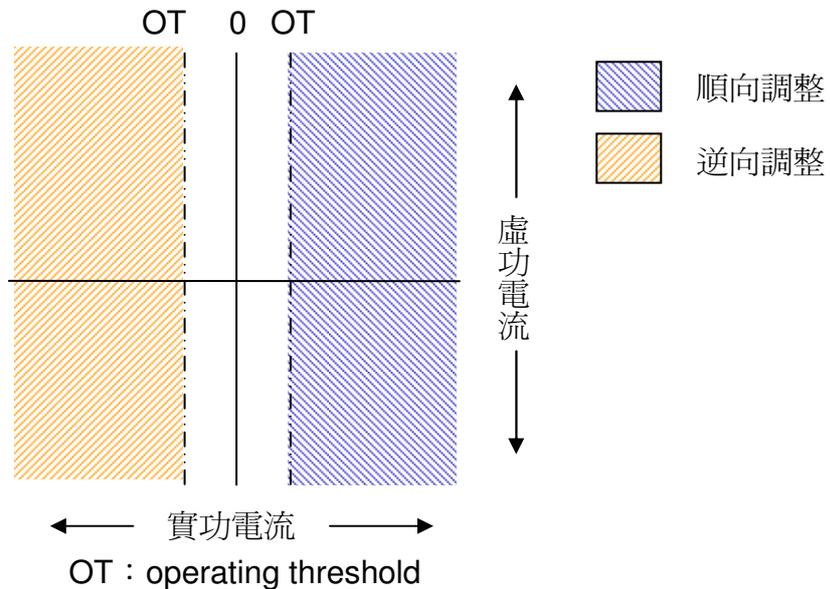


圖 4-19 雙向模式之動作區間

#### (4) 汽電共生模式(co-generation)

近年來隨著環保意識抬頭，各界倡導綠色能源以減緩地球暖化速度，世界各地之電力系統陸續有分散式電源加入，諸如風場(wind farm)、太陽能發電(photovoltaic)等，而隨著分散式電源加入後，配電線路型態也隨之改變，由單電源系統變為多重電源系統，原本電壓調

整器之工作模式也要隨著改變。Cooper 公司電壓調整器設計汽電共生模式以適用於分散式電源併入配電線路之型態，本模式不論電流方向為順向或逆向，電壓調整器均限制為順向調整，亦只調整負載側電壓。

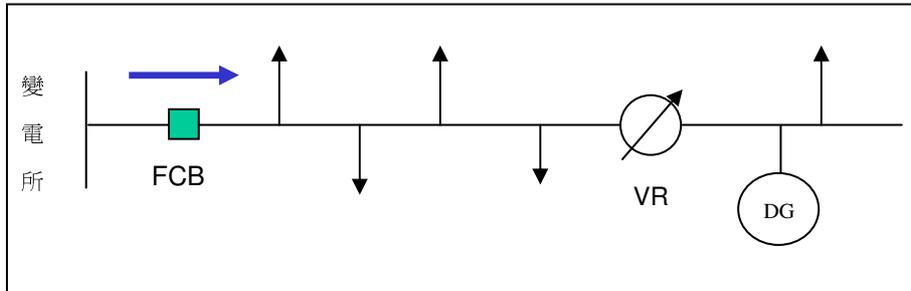


圖 4-20 分散式電源併入系統

在分散式電源模式中，如線路之電流為順向時，調壓器採順向之線路壓降補償(LDC)，如線路電流為逆向且大於 1%時，則採逆向之 LDC 為調整依據，直到線路電流轉為順向且大於 1%時恢復為採順向之 LDC。

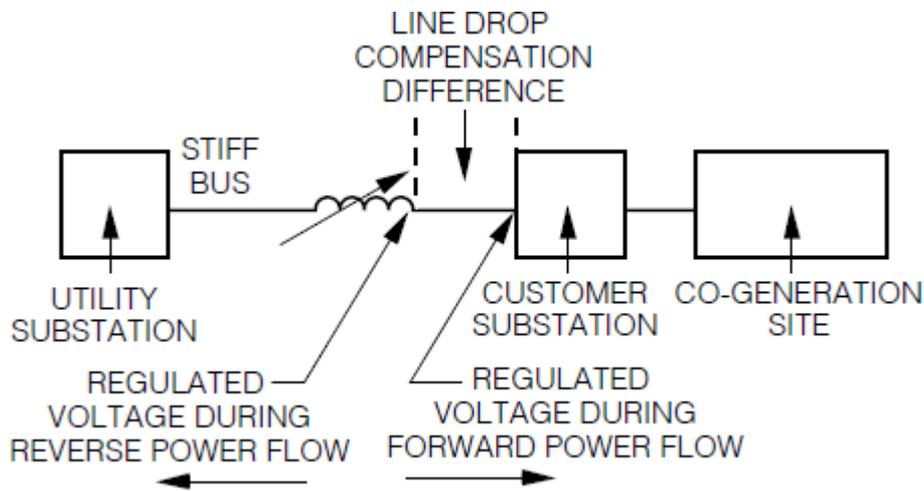


圖 4-21

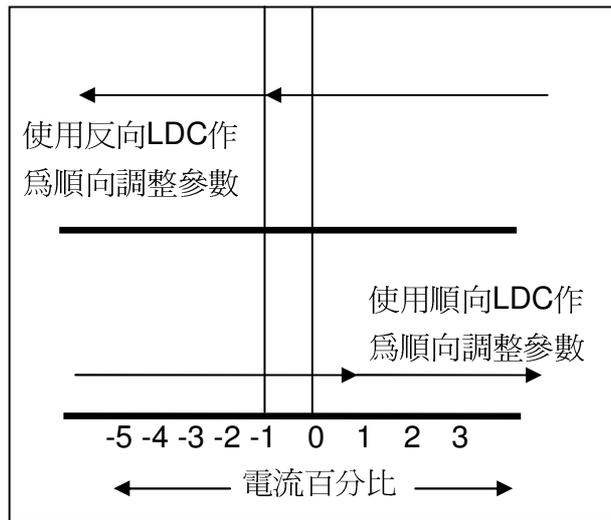


圖 4-22 分散式電源模式之動作區間

### (5) 虛功雙向模式(Reactive bi-direcion)

本模式適用於除了系統電源以外，在電壓調整器負載側可能出現逆向電源之情形。由於再生能源發電時將消耗一些電源系統的虛功率，控制器利用實際的電感性電流元件，偵測虛功率的方向後決定電壓調整器的調整方向。如圖 4-23，當由 A 饋線供電時，不論 DG 是否運作及線路的實功率方向為何，其虛功(電感)大多均由 FCB 端流向電壓調整器，此時電壓調整器只調整負載側電壓。

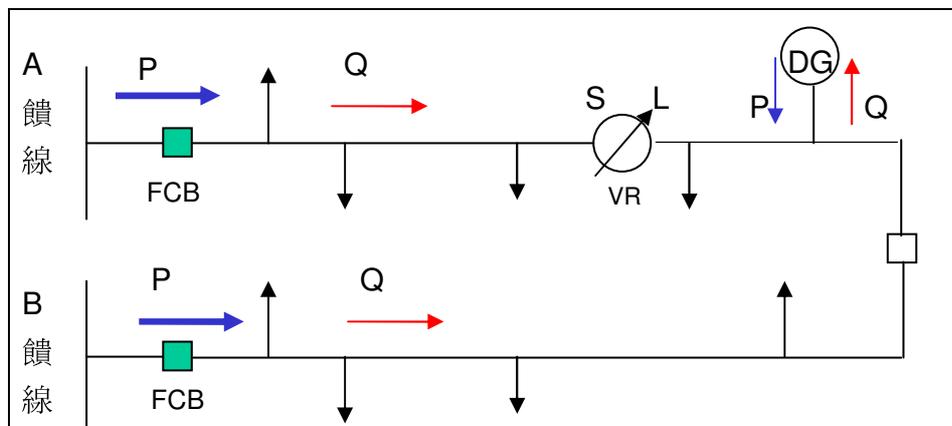


圖 4-23 饋線上併有 DG 及轉供連絡之線路(未轉供時)

如圖 4-24，當 A 饋線由 B 饋線轉供供電時，線路上之虛功均由 B 饋線 FCB 流向電壓調整器，此時電壓調整器改為調整電源側電壓。

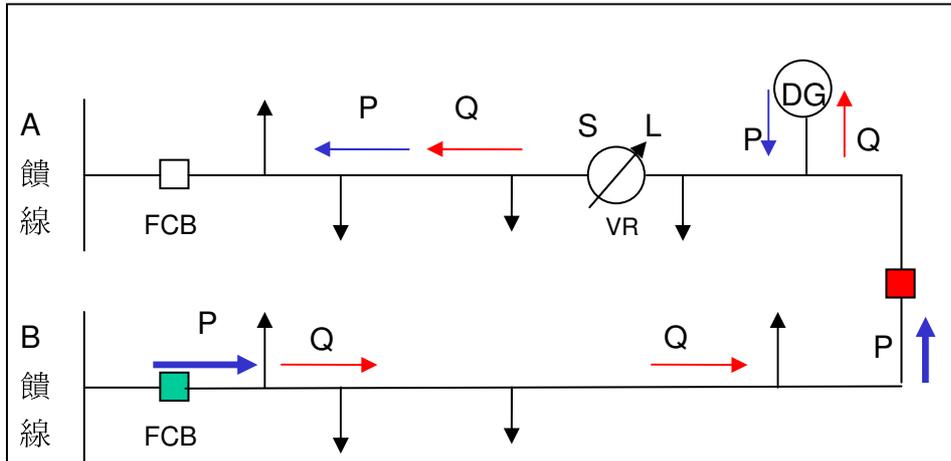


圖 4-24 饋線上併有 DG 及轉供連絡之線路(轉供時)

本模式設計使用實功及虛功電流判斷電壓調整之方向，當虛功電流大於設定之參數值且為負值(電感性)，調整器將依順向調整。當虛功電流大於設定參數值且為正值(電容性)，調整器將依逆向設定參數逆向運轉。

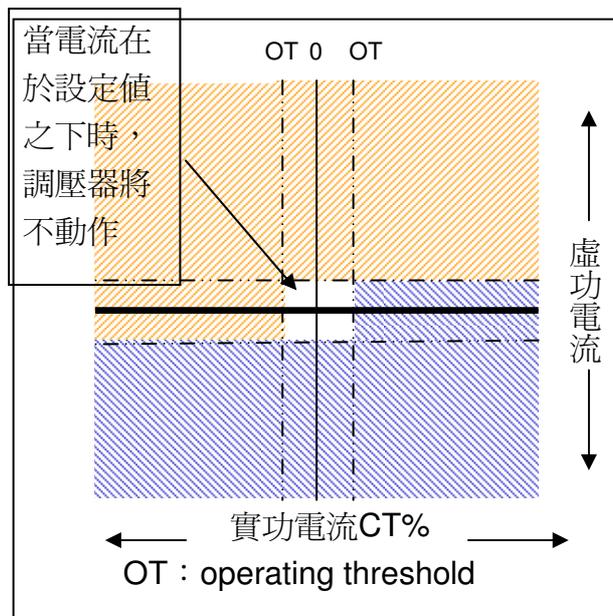


圖 4-25 感抗雙向模式之動作區間

## 五、併入再生能源後自動電壓調整器控制模式及運轉現況

Energex 電力公司供應昆仕蘭州之電力，昆仕蘭州除負載較集中之市區外，其餘非都市之區域因地廣人稀，饋線之長度亦有數十公里之長，故在饋線末端之電壓仍安裝電壓調整器來提高。澳洲政府大力推動再生能源發電，在昆仕蘭州又以太陽能發電居多，尤其在郊區之住戶因房屋即為平房式，多數人於自家屋頂裝設太陽能板，雖然澳洲政府限制每戶太陽能電力併入饋線之最大容量為 5kW，但如果某區域內之太陽能發電住戶眾多時，其發電之容量除供應鄰近負載外尚足以反饋至系統時，電壓調整器也可能發生電壓異常的問題。



圖 5-1 許多位於郊區之住宅屋頂均裝有太陽能板



圖 5-2 Energex 公司自 2010 年起太陽能電源併入情形

電壓調整器在安裝之時，其線路型態為放射型並可具其他線路之轉供點，在電壓調整器之設定選擇為雙向模式(Bi-direction)，分散式能源未加入前一切運轉良好，未接獲用戶反映電壓之相關問題。當分散式電源加入於電壓調整器之下游線路後，陸續接獲用戶反映電壓過高而燒毀電器之情形，茲就雙向模式使用於分散式電源系統電壓升高之原因分析：

當分散式電源之電力僅能供應鄰近區域，或是饋線轉供後，原饋線已不供電而由轉供饋線供電時，兩者在於雙向模式上之運轉均為正常，僅是調整的電壓方向依電力流向作調整。

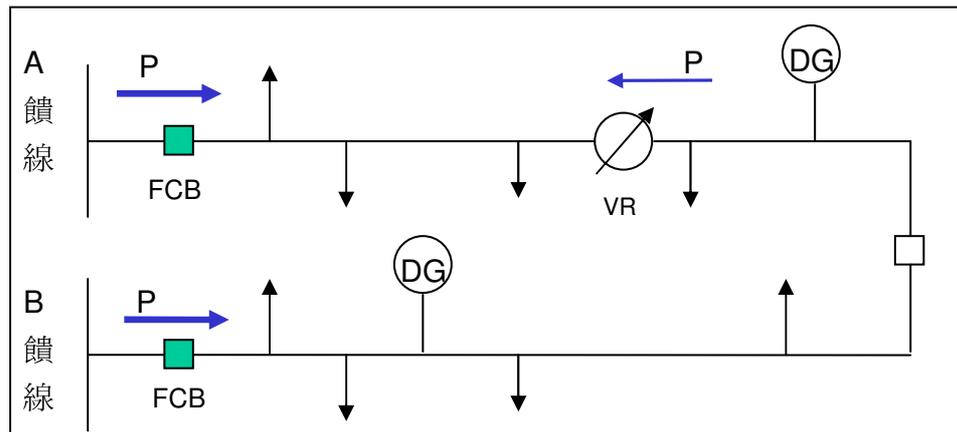


圖 5-3

發生問題之情形為分散式電源電力除足以供應鄰近區域外，亦朝系統電源方向流動，當電壓調整器偵測到電流由負載側流入時將依本模式之設定將會調整電源側之電壓，此時如果控制器將電壓設定為 120V，而實際電壓為 122V 時，電壓調整器將進行降壓動作，而電源側電壓為系統電壓，降壓後仍無法改變系統電壓，控制器發現電壓未符合設定值時，將再次調整分接頭降壓，如此持續反覆動作直至分接頭到了極限位置後停止，此時為最大調整量即 10%，在電壓調整器無法改變電源側電壓之情形下，卻提升了負載側之變比匝數，此一動作使得電壓調整器之負載側電壓升高，且可能升高了 10%，原本分散式電源加入之電壓已略高於標稱電壓，在此電壓調整器模式下，又使得負載側電壓再增加 10%，故鄰近調壓器之用戶其器具常因電壓過高而燒毀，產生了賠償問題。故本模式僅適合於可轉供但不含分散式電源之饋線型態。

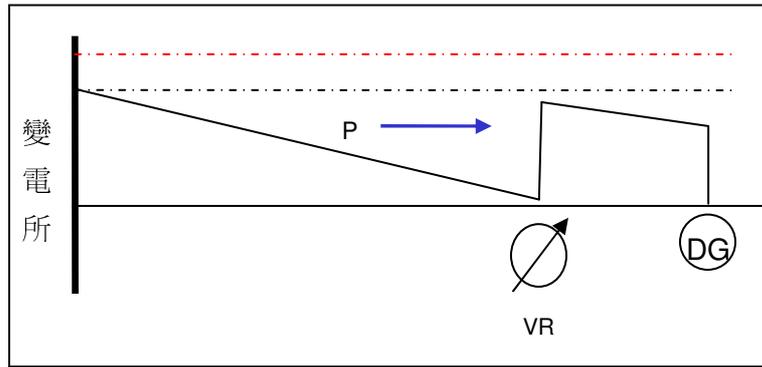


圖 5-4

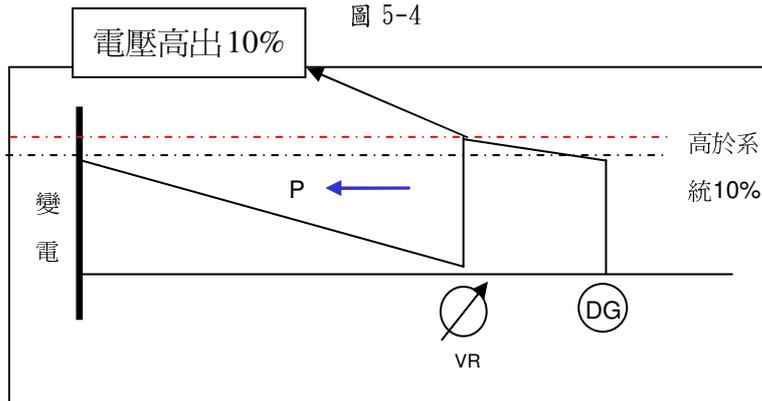


圖 5-5

當此問題發生後，Energex 公司亦積極尋找解決之道，在與 Cooper 公司討論後決定將電壓調整器採取汽電共生模式(co-generation)，此模式係運用於線路上併有分散式電源所使用。當饋線上之分散式電源未運轉供電時，電壓調整器如同順向閉鎖模式下運作，調整電壓調整器負載側電壓；當分散式能源運轉併入電力後，如果該電力供給電壓調整器負載側之用電，此時電壓調整器亦用順向設定值在順向下運作；當分散式能源電力大於電壓調整器負載側之所有負載時，其電力反饋往變電所電源系統，控制器偵測電源為逆向時，電壓調整器仍持續監測負載側電壓並以反向之線路補償計算來調整電壓調整器負載側電壓。

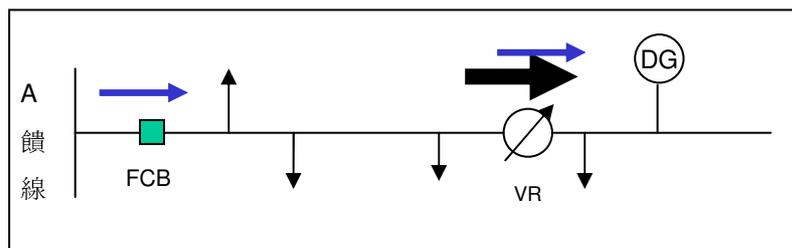


圖 5-6

此模式似乎是解決了雙模式下分散式能源反饋於饋線造成的電壓過高問題，可是試想，如需轉供時，由另一饋線供至本饋線時會有什麼情形呢？

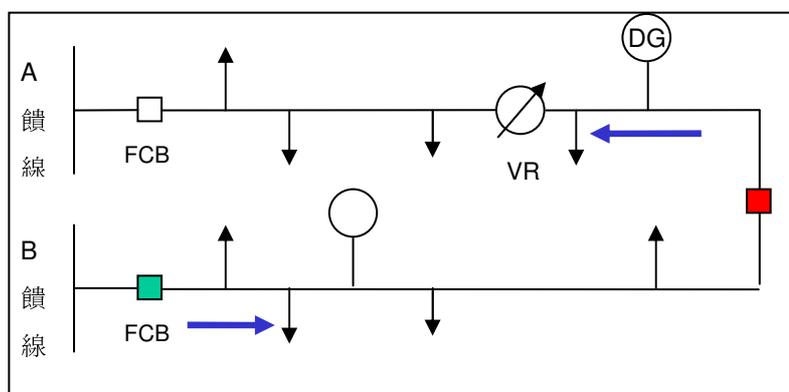


圖 5-7

如圖 5-7 所示 A 饋線由 B 饋線轉供，此時 A 饋線所有負載均由 B 饋線所供給，可將 AB 饋線視為 B 饋線，線路長度更長了，A 饋線變電所出口端變成了 B 饋線的末端，其電壓應遠低於原 B 饋線末端之電壓，此時 A 饋線之電壓調整器為汽電共生模式，僅監測其負載側電壓，如該點電壓值為 118V，而控制器設定為 120V，電壓調整器將調整其分接頭來達到該點之電壓值，惟此時電源均為反向，VR 將以反向 LDC 調整其負載側電壓，在分接頭改變後仍未提高電壓，持續的動作，最後其分接頭位置將被調整到極限值，電源側及負載側之匝比將小於 1，亦即電源側電壓被下降了。

在電力轉供時，電源側電壓被降的更低了。故探討本模式係不適用於轉供連結及分散式能源併入電壓調整器負載側之饋線型態。

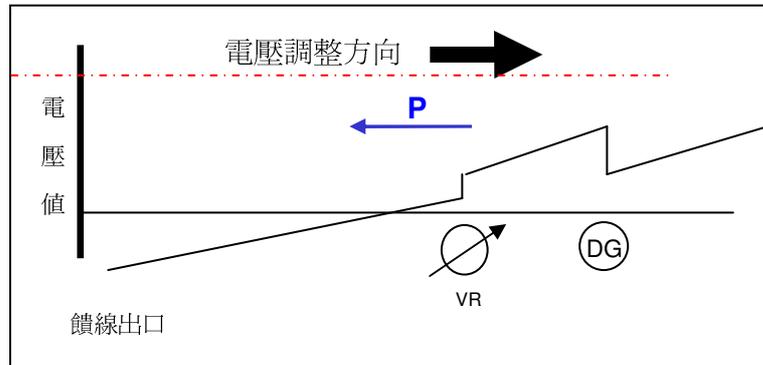


圖 5-8

最後 Cooper 公司再向 Energex 公司建議採用另一感抗雙向模式，惟仍有諸多之限制，因本模式係利用無效電力(var)方向來判別電壓調整器之順/逆向調整，如該饋線為高功率因數之饋線；或電壓調整器之負載側後方裝有電容器等均不適用。

在電壓調整器之諸多模式內，尚無法找出一個可適用於安裝電容器、併入分散式電源、具轉供點之需求，幾經檢討後，Energex 公司決定在未找出理想模式前，電壓調整器先改為順向閉鎖設定。在向 Cooper 公司提出順向閉鎖及汽電共生模式之差異性，其澳洲分公司尚無法明確回答，惟表示會將問題反應至美國公司，並一同找出電壓之調整策略。

## 六、Energex 電力公司自動化監控系統

控制中心之監控系統採用奇異(GE)公司之 PowerOn Fusion (POF)系

統，主要監控設備為 Zone substation 及配電線路上之復閉器。在 Energex 公司的架空配電線路上，每饋線均裝有 3~5 具之復閉器，在地下配電線路或饋線線路超過 30% 為地下之線路則無復閉器。當事故發生時，復閉器等待 15 秒後試送，若故障未排除而再跳脫時則再等待 15 秒後再度試送，試送 2 次後確定為事故時則將閉鎖復閉器。配電線路上之復閉器大多納入控制中心監控，以掌握線路之供電情形，其通訊方式均採用無線電之通信，將分區內所有復閉器之信號集中至變電所 RTU 後，再由光纖傳回控制中心。

控制中心主要監控設備為 Zone substation 及線路上之復閉器，該公司尚未安裝自動線路開關，僅由復閉器自動試送或閉鎖，無法隔離事故區間後復電。



圖 6-1 Energex 公司控制中心



示，亦訂了它的屬性如下圖所示。

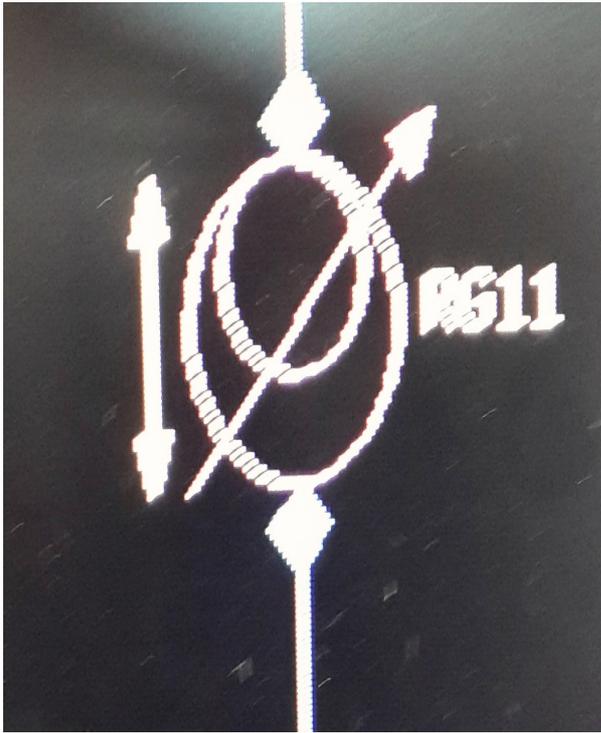


圖 6-4 控制中心電壓調整器圖示

=== Asset Attributes ===
Voltage
Short Name
Device Phases
In Service Date
Manufactured Date
Manufacturer
Model
Serial Number
Insulation Medium
Rating (A)
Power Direction
Tapchanger Rating (A)
Tapchanger Range (%)
No of Taps
Tap Step Size (%)
INFO Count
OOS Count
Operational Tags
Last Inhibit Type
Voltage Colour
New Blanket Flag

圖 6-5 控制中心電壓調整器屬性

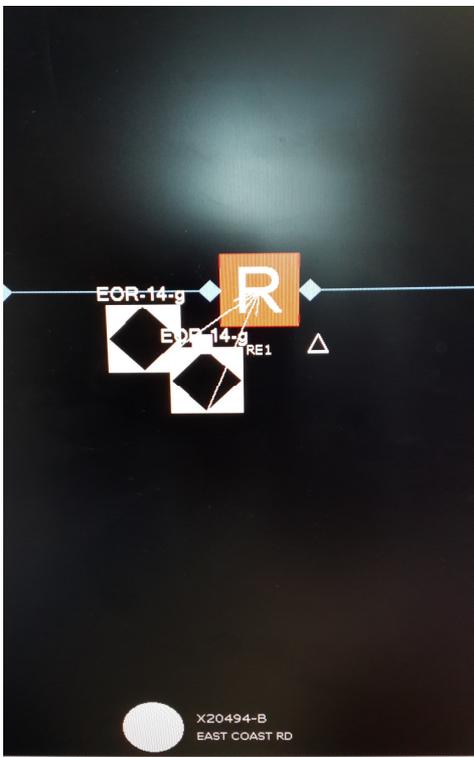


圖 6-6 復閉器之監控圖示

Energex 公司使用復閉器之作法具有快速隔離故障及縮小停電範圍等優點，然事故點下游之負載卻未能有立即轉供之功能，與本公司配電饋線自動化系統(FDCS)之 FDIR 功能略有不同。

## 七、心得

### (一)配電線路型態與自動電壓調整器之應用

根據澳洲 Energex 電力公司之電壓調整器使用經驗，電壓調整器安裝於下列型態之線路中可發揮正常功能。

1. 單放射饋線：此種型態饋線為單一電源，由變電所饋線斷路器直到最末端負載，電壓調整器設定為順向閉鎖模式即可提高饋線後端之電壓。
2. 具轉供之放射饋線：此種型態饋線亦為單一電源，由變電所饋線斷路器直到最末端負載，而可由其他饋線轉供。電壓調整器設定為雙向模式即可由電力流向提高饋線後端負載之電壓。

以上二種配電線路型態安裝電壓調整器均可符合功能需求，本專題所探討之「再生能源併入配電網路之電壓調整策略」在 Energex 公司實務運轉中尚存在因電源方向變化而影響電壓調整器應有之調控動作。惟，如本公司之電壓調整器有應用於再生能源併網之需求時，研討其作法為：先將電壓調整器納入配電饋線調度中心(FDCC)監控，利用電壓調整器回傳之實功率(P)值判斷其電流方向並配合饋線自動化系統之配電線路圖資再生能源裝置地點，由系統記錄線路電流方向，倘系統發現電流方向變化或產生

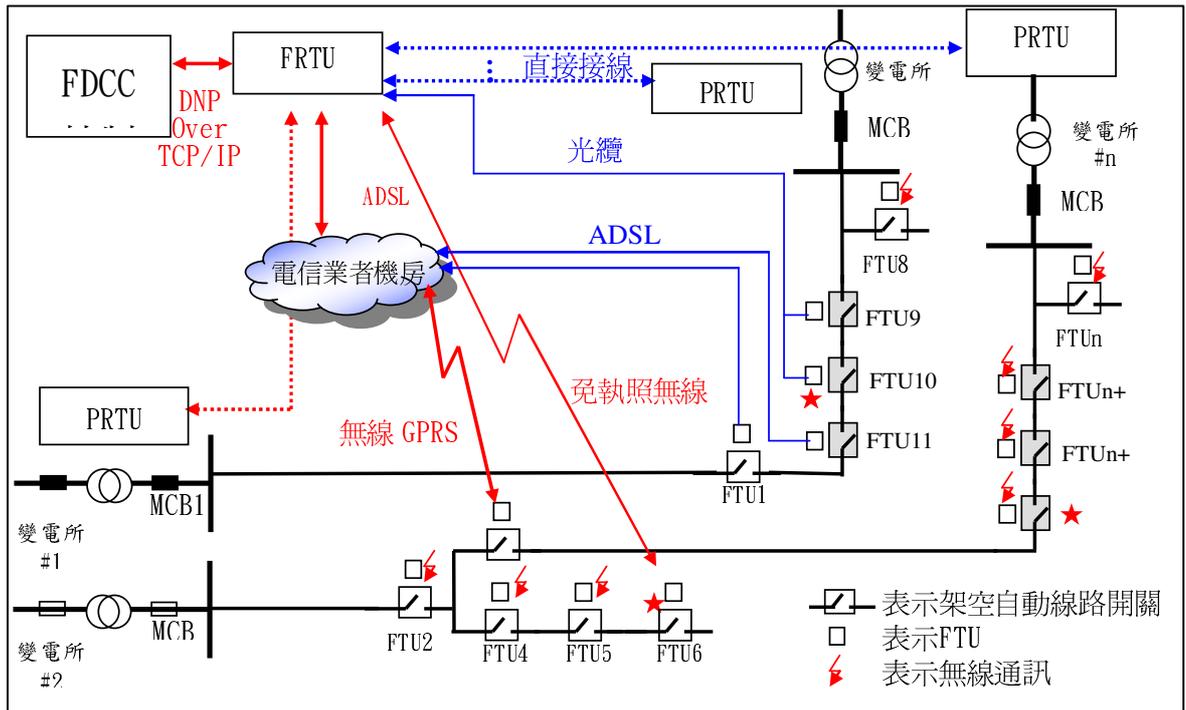
電壓調整器兩端電壓之低/高警報時，由 FDCC 將電壓調整器改以系統操作，再由系統視線路電壓值遙控升、降電壓調整器之分接頭以調整合適之電壓值。

## (二)自動電壓調整器納入饋線自動化系統之方式

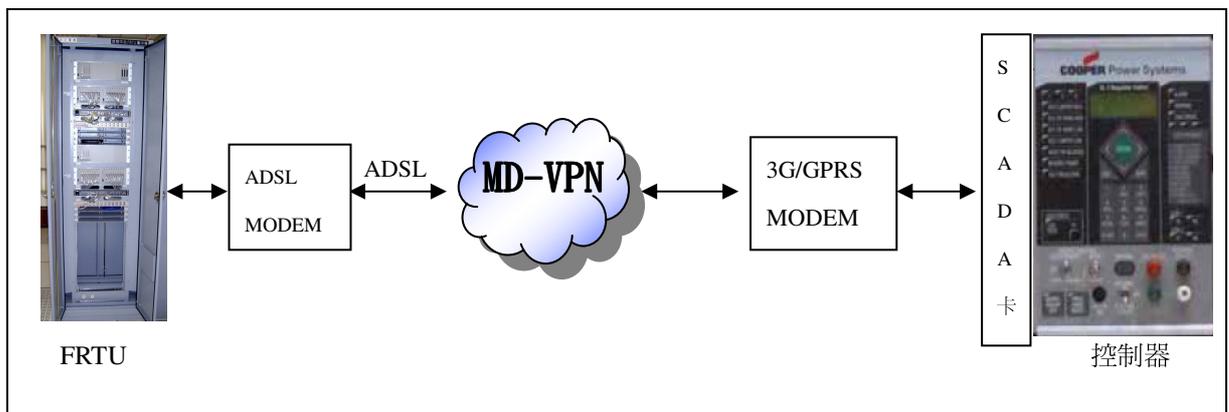
電壓調整器現今納入監控系統者在昆仕蘭尚不多見，惟電壓調整器之控制器已具備遙控功能，若能納入饋線自動化系統中監控，一方面能得知現場線路電壓，倘運轉模式設定不佳時可改由遠方操作，一方面也可當成電壓感測器(VT)，判斷線路是否有導線斷線情形。電壓調整器之控制器至今共有 CL5、CL6、CL7 等 3 種型式，每種型式均具有遠方監測功能，惟仍需再安裝通信所需之相關卡片。

其通訊可視現場需求以無線方式通信或光纖方式通信，安裝通訊用之卡片，有 Fiber/RS-232、Ethernet、RS-485 等，而電壓調整器大多裝置於線路冗長之架空線路，裝置地點大多亦屬偏遠，如以光纖通信方式所耗費之建置成本及工時遠高於無線方式，故先以探討無線方式納入電壓調整器之監控。

本公司配電饋線自動化系統之通信方式



在本公司饋線自動化系統大多架空自動線路開關採 GPRS 通訊，使用 2.5G 之數據機與 FTU 端連接，再將各具數據機蒐集的 FTU 資訊以 MD-VPN 再傳回到控制中心之 FRTU，同樣的，電壓調整器可選購 SCADA 卡，安裝於控制器內，另再安裝無線數據機與 SCADA 卡連接，一樣傳送到 MD-VPN 內再到 FRTU 中，如下圖示。



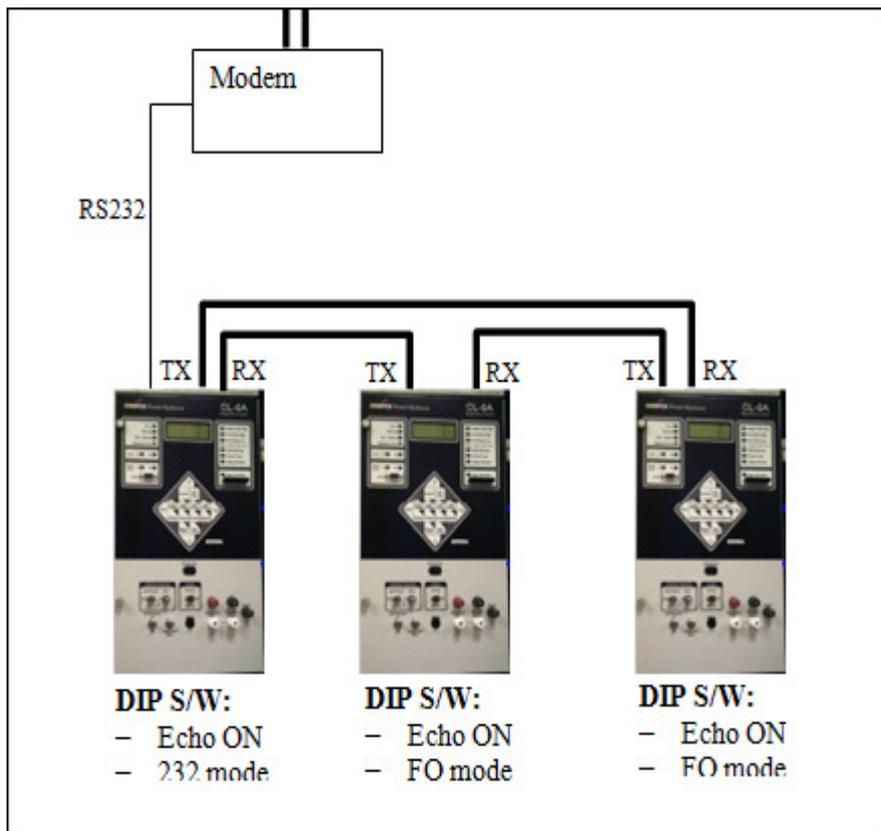
通訊協定：在本公司饋線自動化系統所使用的通訊協定為 DNP3.0 或是

DNP3.0 over TCP/IP，在 Cooper 製之電壓調整器中，支援 DNP3.0 之通訊協定。

本公司配電線路為三相四線多重接地，故電壓調整器均安裝 3 具，倘 3 具各獨自透過數據機連接至 FRTU，恐致通訊費用增加，且此 3 具安裝於同一電桿處，如 3 具先自我連結後再以 1 具數據機與 FRTU 連接，則通訊費可節省約 2/3。在連接模式有 2 種方式：

第 1 種為主從式架構，將其中 1 台設定為 Leader 角色，其餘 2 台設定為 follower 角色，當需要操作分接頭上升或下降時，leader 除了準備調整本身的分接頭外，同時它將送出一信號至另 2 台 follower 隨之上升或下降，3 具電壓調整器同時動作調整分接頭，leader 將再對 follower 監測動作情形，倘其中 1 台未完成動作定位時，3 台電壓調整器將回到未調整前的分接頭位置。本運作模式需再安裝 1 片通訊卡，且適用於控制器版本為 CL7。

第 2 種為將其中 1 台安裝數據機及 fiber/rs-232 卡，另 2 台亦安裝 fiber/rs-232 卡，第 1 台之控制器通訊卡連接數據機，再以第 1 台控制器通訊卡之光纖埠串聯第 2、3 台控制器通訊卡，完成光纖環路，如下圖所示：



本公司饋線自動化系統中，饋線資訊末端設備(FRTU)資料庫內建有數種自動線路開關之資料點，計有二路(架空)自動線路開關、四路自動線路開關、電容器等，每具開關資料點之型態有數位輸入點(binary input)、數位輸出點(binary output)、類比輸入點(analog input)、類比輸出點(analog output)四大類。

在電壓調整器控制器上其 DNP3.0 之點數 DI 有 120 點、AI 有 120 點、CO 有 120 點，而在監控上並不需要將所有監控器的點都納入監控，故須在控制器的軟體 CCS 上訂出各類型點之監控需求，再與 FRTU 通訊。

本公司現運轉之 FRTU 資料庫中均以建各式自動線路開關之資料點為主，電壓調整器納入前可先將欲監控之資料點建入 FRTU 內，對於往後全數電

壓調整器納入時將更快速，更有幫助。

### (三)電壓調整器之例行維護

Cooper 澳洲分公司雖表示調壓器除故障外無須特別維護，Energex 公司亦未安排日常之維護點檢，本公司已安裝運轉之電壓調整器亦尚未有維護計畫，反觀公司內其他線路設備均定有巡視維護項目，故電壓調整器可安排適當之例行性點檢工作，其項目如下：

1. 量測線圈電阻及匝比測試：量測各段分接頭之電阻值並計算其匝比值是否與出廠值相符。
2. 絕緣(Insulation Resistance Test)及功率因數(insulation power factor)測試：測試調整器套管、線圈之耐壓及絕緣等級是否劣化。
3. 絕緣油耐壓測試：調壓器安裝運轉後，經過了長時間之操作，其分接頭動作時難免會有電弧產生，在內部將有積碳現象，檢測絕緣油長期運轉後其耐壓能力是否降低。
4. 動作測試：以手動模式調整分接頭位置，到達最高及最低位置，觀察其指示器及控制器位置指示是否相符。

## 肆、建議事項

配電饋線自動化系統於建置前，所有與系統通訊之監控設備均已訂出一套系統運轉標準，包含各式 FTU/FRTU 資料庫標準化、使用之網路位址(IP)區段、通訊協定及各階設備可能出現各種狀況之通訊連線腳本等，以規範各自動化廠家

之設備可相容於本系統，並藉由相容性測試驗證設備於饋自系統中可正常運轉發揮應有功能，有關電壓調整器納入監控前建議項目如次：

### 一、電壓調整器之監控資料點標準化

訂定系統運轉所需監控類比點(AI)、數位輸入點(DI)、控制輸出點(CO)之資料庫，使其標準化方便日後建置時之作業。

DI table

Description	Indication Source	Logic	Point No.	Static(Class 0)		Event(Class 1)	
				Object	Variation	Object	Variation
與 FRTU 通訊狀態	FRTU Application	“0” – O.K. “1” - Fail	0				
Enable/Disable 通訊狀態	FRTU Application	“0” – Enable “1” - Disable	1				
Power Up 重新開機警示	FRTU Application (Pulse)	“1”– Power Up	2				

AI table

Description	Indication Source	Point No.	Value			Static(Class 0)		Event(Class 2)	
			Unit	Deadband	Full Scale	Object	Variation	Object	Variation

CO table

Description	Logic	Unit	Point No.	Object	Variation
Enable /Disable	Pulse ON + Trip = Enable Pulse ON + Close = Disable	ms	0		

### 二、增訂電壓調整器與 FRTU 通訊之腳本

電壓調整器納入饋線自動化系統中監控，可直接與 FRTU 通訊不必再經由 FTU，故先規劃電壓調整器之通訊位址及訂定與 FRTU 通訊之腳本，如訊息回報模式、設備啟動時之訊息回應、控制點以 SBO 或 Direct 下達命令及事件回傳等。