

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：自動電壓調整器控制技術實現再生能源發電擴大併網應用實習	
出國計畫主辦機關名稱：台灣電力公司	
出國人姓名/職稱/服務單位：羅讚賢/電機工程師/業務處	
出國計畫 主辦機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整 <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> (1) 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> (2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> (3) 內容空洞簡略容 <input type="checkbox"/> (4) 未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> (5) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 其他處理意見
層轉機關 審核意見	<input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 _____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 退回補正，原因： _____ (填寫審核意見編號) <input type="checkbox"/> 其他處理意見：

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、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。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：	單位 主管：	主管處 主管：	總經理 副總經理：
------	-----------	------------	--------------

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：自動電壓調整器控制技術實現再生能源發電擴大併網應用實習

頁數 46 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/ (02) 23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

羅讚賢/台灣電力公司/業務處/電機工程師/ (02) 23667662

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：102.12.02~102.12.13 出國地區：澳大利亞

報告日期：103.02.10

分類號/目

關鍵詞：

CB(Circuit breaker)	斷路器
Co-generation	汽電共生
Distribution	具開關、變壓器、導體等設備傳輸電力之配電系統
DG(Distribution Generator)	分散式電源
Feeder	變電所引出供單一區域之配電饋線

FCB(Feeder Circuit Breaker)	饋線斷路器
FDCC(Feeder Dispatch Control Center)	配電饋線調度中心
FDSC(Feeder Dispatch Control System)	配電饋線調度系統
FDIR(Fault Detection Isolation Restoration)	故障偵測、自動隔離與復電
Generator	發電機
MV(Medium Voltage)	AC 電壓大於 1000 V 小於 36000 V.
RPDC(Reactive Power Device Control)	利用應用軟體功能控制電力系統虛功率和電壓
ULTC(Under Load Tap Changer)	有載分接頭切換器
Voltage Regulator	電壓調整器

內容摘要：(二百至三百字)

- (一)學習自動電壓調整器控制技術，評估利用於擴大再生能源發電併網應用可行性。
- (二)本公司已採購配電線路自動電壓調整器並已安裝運轉中，惟目前均設定為自動調整運轉，其動作情形及線路電壓調整狀況未能即時掌握，藉由本次出訪研習國外之自動電壓調整器如何結合末端資訊設備(如 FTU)加入饋線自動化系統中之監控運用及再生能源併入配電系統後自動電壓調整器之調整策略。
- (三)參訪自動電壓調整器製造廠商學習設備之設計、工作原理及運轉後之維護項目；另參訪當地電力公司研習國外之使用模式及實務遭遇之問題與排除方法。
- (四)藉由國外自動電壓調整器於配電線路之應用及再生能源發電之電壓控制等經驗，作為本公司日後安裝電壓調整器運轉及納入饋線調度系統中監控之參考。

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

目 錄

壹、實習任務-----	1
貳、出國行程-----	1
參、實習內容及心得 -----	1
一、前言 -----	1
二、澳洲昆仕蘭 Energex 公司電力系統簡介-----	2
三、配電線路壓降及改善方法-----	9
四、自動電壓調整器概述 -----	12
五、併入再生能源後自動電壓調整器控制模式及運轉現況 -----	31
六、Energex 電力公司自動化監控系統-----	36
七、心得 -----	40
肆、建議事項-----	45
一、電壓調整器之監控資料點標準化-----	46
二、增訂電壓調整器與 FRTU 通訊之腳本 -----	46

壹、實習任務

至澳洲參加「自動電壓調整器」監控與併聯再生能源作法實習。

貳、出國行程

102 年 12 月 2 日至 102 年 12 月 13 日為期 12 天，於澳大利亞史丹佛市參訪 Cooper 公司學習自動電壓調整器之設計原理及機構動作情形，另赴布里斯本市 Energex limited 電力公司研習自動電壓調整器安裝於現場後之通訊控制技術及再生能源(太陽光電)加入配電系統併聯後之現行狀況及調控策略。

參、實習內容及心得

一、前言

控制電壓變動率為在配電線路上的幾個主要議題之一，各電力供應業者儘可能的要將配電線路上的電壓保持在標稱電壓值，只是配電線路的長短、線路上的負載等外在複雜因素，往往影響配電線路上的末端電壓大小，而對於線路電壓的調整以往大多是透過變電所內的有載分接頭切換器(ULTC)及線路上安裝的電容器來改善線路末端的電壓，此舉雖可改善部分線路壓降，惟對於偏遠郊區冗長之線路其末端電壓提升有限，為改善前述情形，本公司已採購一批配電線路自動電壓調整器及並交由各區處安裝，藉由自動電壓調整

器內部電壓偵測及控制器之設定，將電壓作一適當調整，而自動電壓調整器安裝地點攸關對系統的影響；另現今自動電壓調整器運轉情形需至現場下載歷史資料供技術部門分析瞭解電壓調整結果，倘能增加通訊裝置，監控電壓調整器之即時運轉資訊，如分接頭位置狀態、電壓值、電流值等，並將其資訊加入饋線自動化系統中記錄分析，對整體線路電壓調整、壓降、線損計算，及線路的改善應更有助益，若能再整合變電所主變壓器之 ULTC 及所屬饋線之各具電壓調整器，則應可以發揮更佳效益。

全球暖化議題促使再生能源加入系統蔚為風潮，本公司之配電線路上已加入諸多分散式電源如風力、太陽能等再生能源，改變了原配電線路單一電源型態，使電壓調整面臨多電源不定性的另一種挑戰，再則由於再生能源係藉由大自然能量所轉換，當氣候驟變時，再生能源之併聯電力可能瞬時減為零，面臨其電力輸出突增或突減之變化時，如何制定此時電壓變動調整策略亦為本次出訪議題之一。

二、澳洲昆仕蘭 Energex 公司電力系統簡介

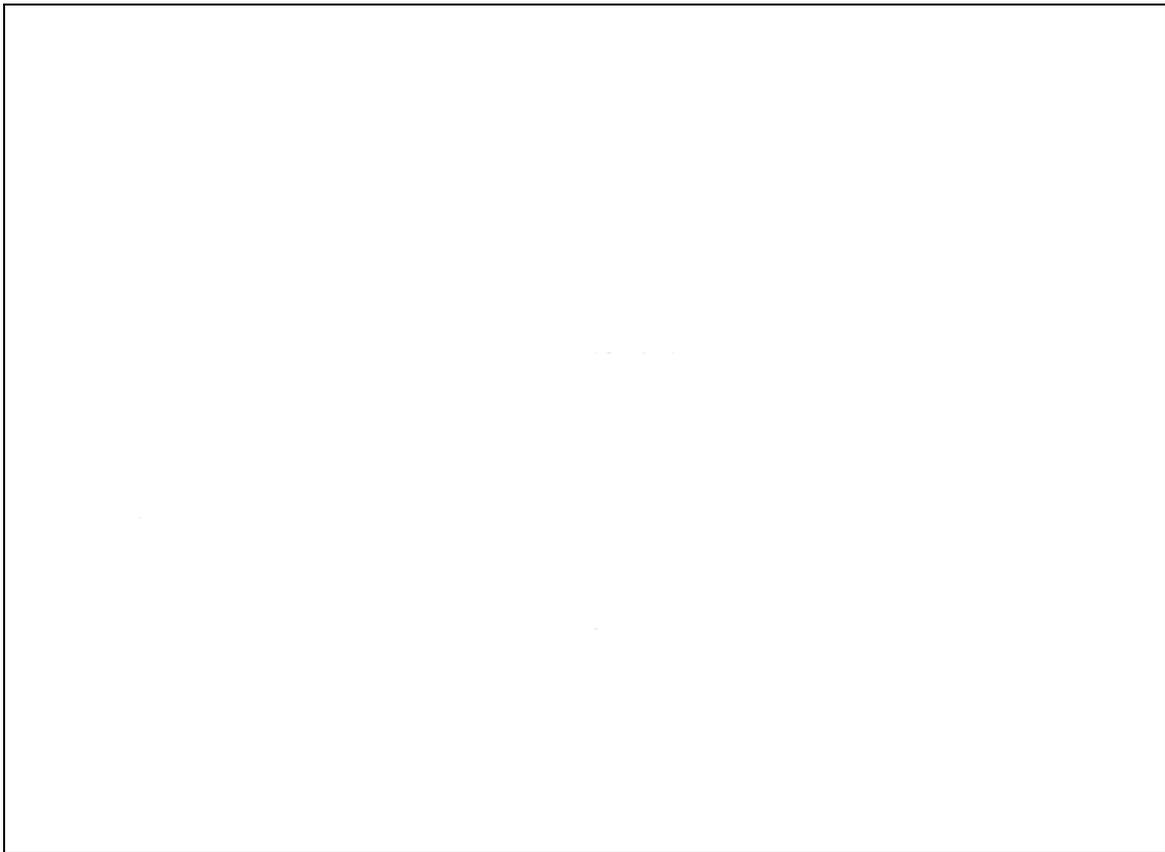


圖 2-1 昆士蘭電力供應階層

Energex 公司為澳洲昆士蘭州的一家配電公司，主要將輸電業之電力降壓後配送到用戶使用。在昆士蘭州，傳統大型發電廠之電力在經由輸電線傳輸至 Bulk supply substation 降壓後，再經由輸電線傳送到各 Zone substation，Energex 公司接收由 Powerlink Queensland 公司的 Bulk supply substation 供應之電力(電壓等級為 132kV、110kV、33kV)再送到各 Zone substation。在 Zone substation 將電壓降為 11kV 供配電線路後，再經由架空線路或地下電纜至配電變壓器，配電變壓器再將此 11kV 電壓轉由一個適合家庭及商業都可使用的 230V 電壓。

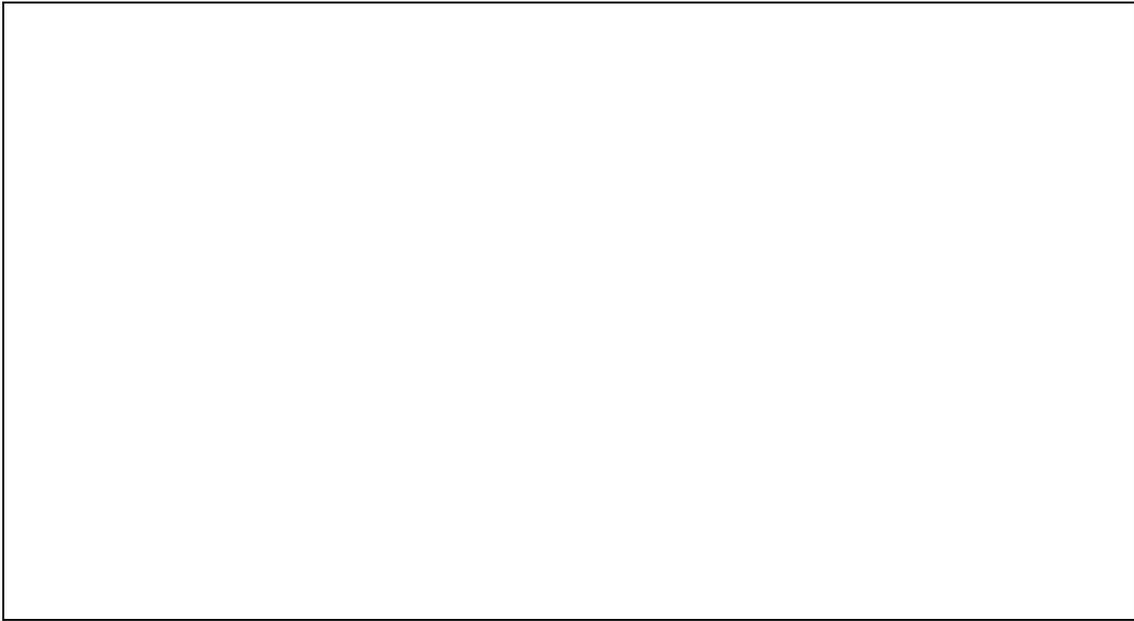


圖 2-2 昆仕蘭洲電力供應鏈

Energex 公司之電力網路分佈於昆仕蘭州的東南部約 25,000 平方公里，包含了布里斯本、黃金海岸及陽光海岸等地區，在過去十年內在這些地區內的人口呈大幅度的增加，經統計約有 30% 的用戶數成長及電力需求的提升，使得電力網路供電設備容量也呈現為過去的兩倍了，預估在未來幾年內，電力需求及能源消費的將是持續大幅度的成長，而 Energex 公司也將持續於投資在於建設及維持健全的電力網路，改善供電可靠度，並仍訂以最快的步伐在澳洲快速的成長。

澳洲政府在電力供應在實體上電力的供應劃分為三個階段，發電、輸電及配電，除了這些實體設備的分別外，尚有一些商業因素的考量，包含

了發電業與電力配售的交易，或是諸如一些發電業和大電力用戶。茲就發電、輸電及配電簡單說明：

發電—大多的發電廠都是傳統大型使用天然資源的發電業者，如燃煤、天然氣等，在澳洲境內，發電業者可以競標使電力輸出到一個電力池塘調度，像是境內東部及南部洲份的電力市場或是在西澳的躉售的電力市場。電力配售是由一個獨立的市場運轉管理，電力能源除了傳統的大型發電廠外，現今在配電線上也增加了許多的發電業者，這些是典型的再生能源電力業者，它們在廠區內生產及利用蒸汽、甲烷等設備及燃煤、風場、沼氣、太陽能等裝置來發電。

輸電—由於考量到距離為主要需求，許多傳統的大型電廠都設立在靠近燃料來源地，故大多數電力需由輸電線路傳輸至各重要地點的變電所，輸電線電壓等級從 132kV 到 500kV，且可能連接跨越州際，在經濟面考量上為減少長距離輸電的損失，大量的電力輸送需為高電壓，但是因電壓遠高於用戶使用的電壓，最後在終端需透過變電所將電壓降低後供給配電線路。

配電系統—包含次級輸配電(subtransmission)及配電功能，電壓等級為 132kV、66kV、33kV 常使用在次輸電系統中輸送電力，Zone substation 再把它從次輸電等級電壓轉為中級電壓(MV)如 22kV 或 11kV，此電壓等級

供應許多大型工業到小規模商業用戶，次級輸電線及中級電壓饋線可以是架空的電力線或是地下電纜，配電變壓器將高壓轉換到低壓(230/400V)網路給大部份的住宅、商店、醫院、學校等用戶。



圖 2-3 Energex 公司 Zone substation 之主變壓器



圖 2-4 Energex 公司 Zone substation 之控制室及開關場

系統運轉—保護配電系統的兩目的，第一在正常條件下，它們維持電力網路連續性及供應所有的用戶；第二在發生故障的時候，它們必須中斷供應電力，藉由隔離或是排除故障降低人們或設備的風險。除了在鄉村地

區外，配電等級有一混合系統，就是所謂的環路及放射狀系統。環路系統是指有超過一個以上的電源，當發生事故時，電力供應可藉由網路內開關切換達到快速復原，大部分的用戶供電不必受修復時間影響。放射型系統為單一電源，當發生故障後，通常需要長時間修復，在復電前用戶都受影響。大多的澳洲用戶選擇低電壓供電，低電壓標稱電壓值為 230V(相電壓)、400V(線電壓)，在用戶的區域內用戶可依負載及可用性由下列電壓擇一供應：

- 單相 2 線 230V
- 2 相 3 線 230/400V
- 3 相 4 線 230/400V
- 2 回路單相 3 線 230/460V

澳洲配電業者之供電信賴指數(Reliability Indices)

(a) 系統平均停電時間(SAIDI: System Average Interruption Duration Index) -

平均每一用戶1年中未供應電力之時間，實際值為15到500分鐘。

(b) 系統平均停電次數(SAIFI: System Average Interruption Frequency Index) -

平均每一用戶在1年中的斷電次數，實際值為0.4到5次。

(c) 用戶平均斷電時間(CAIDI: Customer Average Interruption Duration Index) -

平均每一用戶斷電時間，本指數代表發生事故後，用戶必須等待的復電

時間，實際值為30到300分鐘。

- (d) 平均短時間停電次數(MAIFI: Momentary Average Interruption Frequency Index) –
1年內停電時間小於1分鐘之平均停電次數，實際值為0.1到15次。

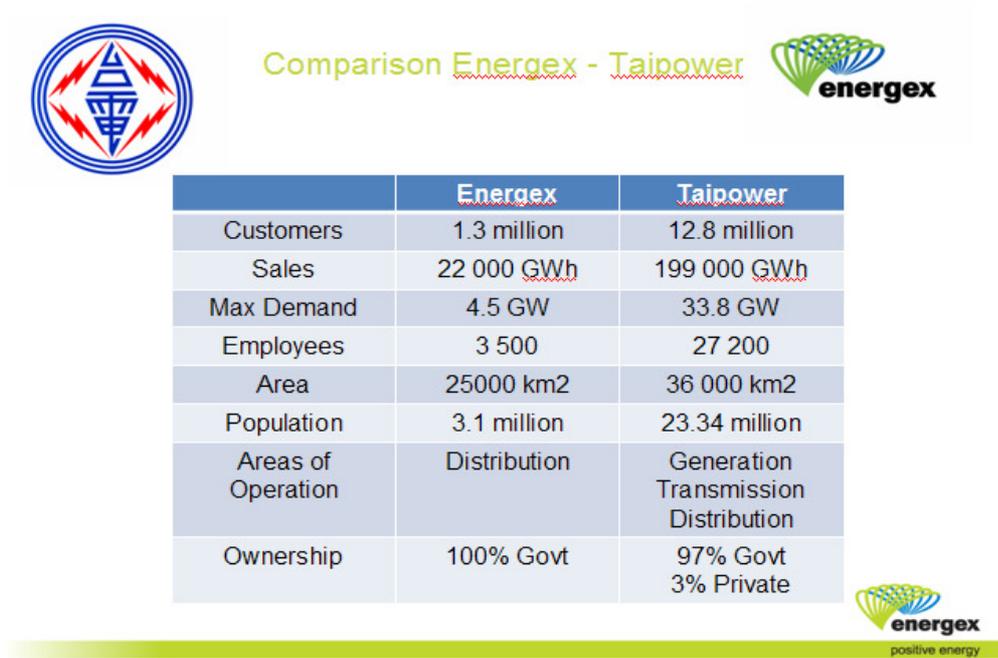


圖2-5 Energex電力公司特別製作了一張圖表，區分本公司與該公司之差異



圖2-6 與Energex電力公司人員合影

三、配電線路壓降及改善方法

一個理想的電力系統應供應系統標稱電壓在一定值內給予用戶之各項電器設備，但事實上在電力輸送到用戶家中時，須經由各樣電力設備如變壓器、匯流排、導線及電纜等器材傳送，當電流流過這些器材時，其內的阻抗造成了電壓降，使得電源端與負載端的電壓值出現高低不同的情形，其差異依照線路的距離、負載的大小及導線阻抗等產生不等的壓降，使用戶端(負載端)的電壓低於電源端電壓。

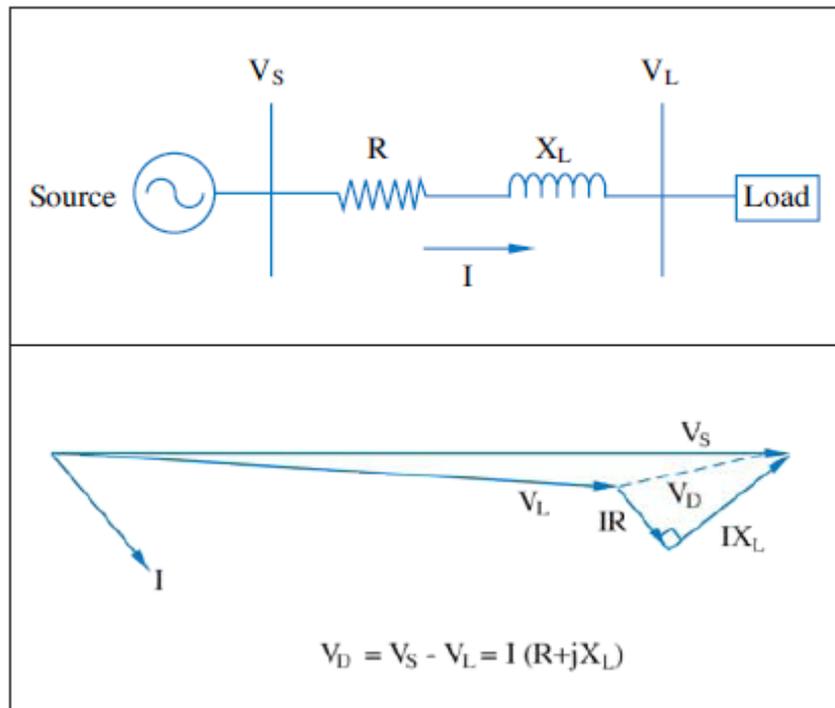


圖 3-1 壓降因素負載端電壓低於電源端電壓

如果電力系統不能供應一個固定範圍的電壓，在現代化的電氣設備的電壓變動容許值在一特定的限制值，當超過了設備所限定的電壓值後，也許該電器的性能受影響或縮短其使用壽命。

配電線路在設計時以當時的負載保守計算，在線路的末端足以滿足電壓

變動率，然而當用戶陸續增加，負載持續成長，為了服務用戶申請迅速供電於縮短時間及經費的考量下，饋線的長度亦隨之延伸，因此，長久時間後，部分的饋線可能出現電壓降超過規定的範圍。

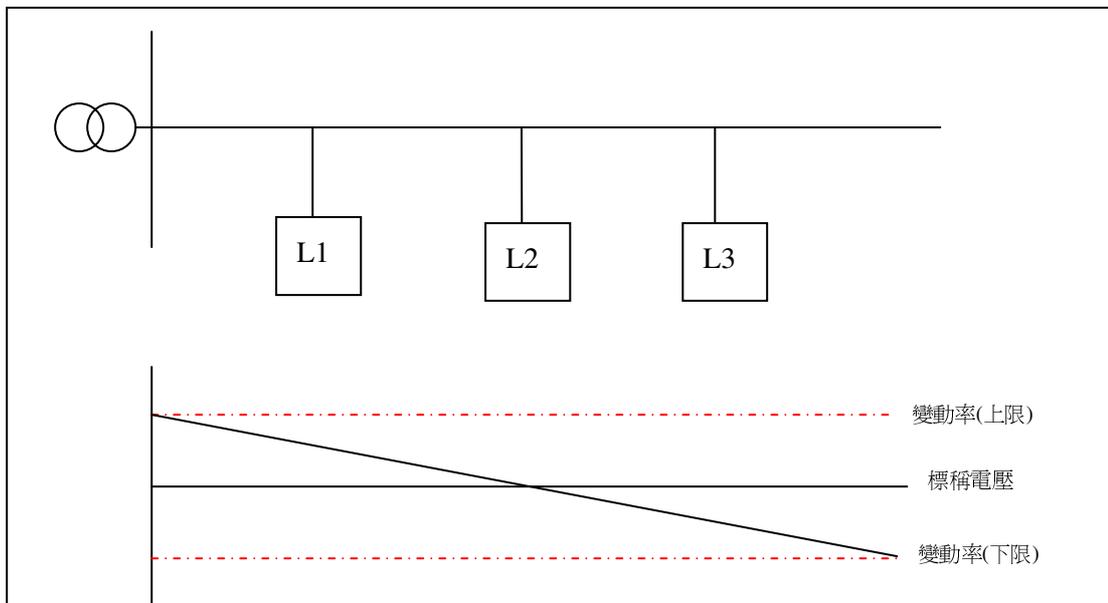


圖 3-2 線路原設計負載符合電壓變動率

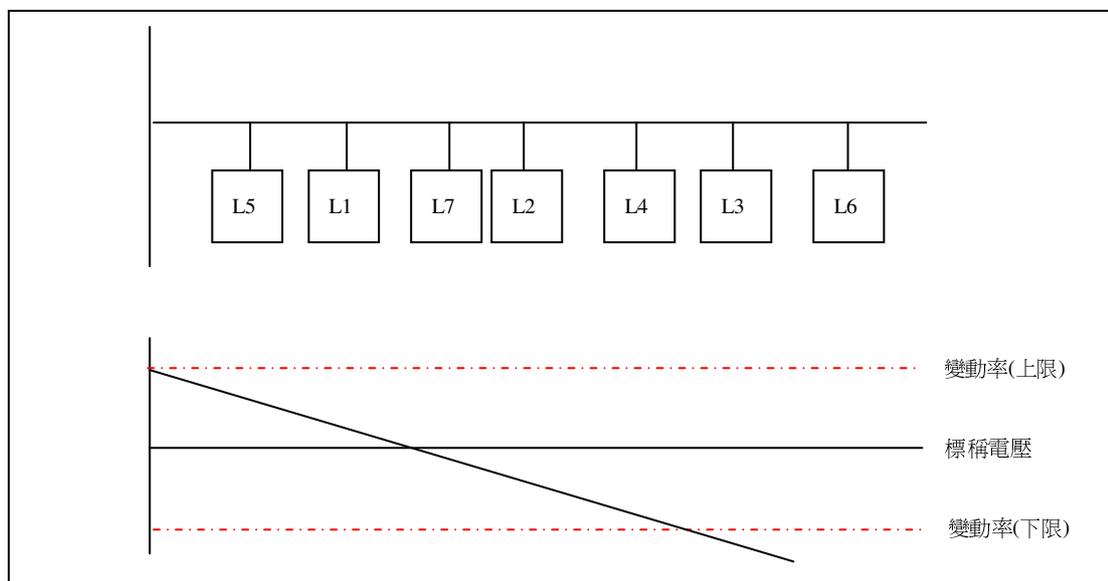


圖 3-3 負載及線路長度增加後線路末端電壓降低於限值

對於系統壓降常使用之改善方法

1. 有載分接頭切換器：變電所主變壓器均含有有載分接頭切換器 (ULTC)，可使其自動調整主變壓器二次側之輸出電壓，一般可設定為自動調整或是由配電調度中心(DDCC)遙控調整其分接頭位置，適度調整線路電壓。
2. 桿上(亭置式)變壓器分接頭：配電變壓器內部均設有 2~3 個分接頭調整桿上變壓器之二次側輸出電壓，分接頭數量不多故電壓的調整範圍有限。
3. 靜態電容器：成本低廉，具使用及維護容易等特性，在各變電所內及配電線路上均廣泛運用，因其可補償線路的感抗與電感性負載，改善線路功率因數後，將助於電壓的提升。
4. 規劃新變電所：大部分電壓降問題在於線路太長，因導線長度越長其電阻成正比增加，消耗在線路上的損失及壓降亦成正比增加，如果當地之負載迅速增加，可考慮於當地增設新變電所。
5. RPDC：此為控制中心系統軟體功能，利用變電所主變壓器之無效功率值及電壓值透過系統計算後，調整 OLTC 分接頭之升降或是電容器組之投切，改善線路電壓及功率因素。
6. 安裝線路自動電壓調整器：諸多配電線路供應於山區偏遠地區之用戶，有時線路綿延十餘公里長，而該地區負載卻不足以興建新變電所，此時可考慮在該饋線上加裝自動電壓調整器，提升線路末端電

壓。

四、自動電壓調整器概述

本次參訪 COOPER 公司學習該公司電壓調整器之設計、構造、參數設定及維護等事項，其電壓調整器動作原理及運轉模式，簡述如次：

1. 自動電壓調整器之原理

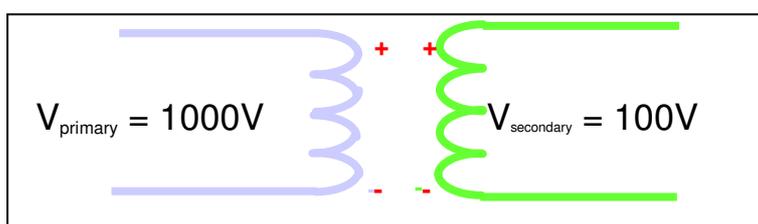


圖 4-1

利用變壓器之基本原理，即一次側與二次側之匝數比來對應一次側電壓與二次側電壓值，如圖 4-1 一次側電壓為 1000V，二次側為 100V，其電壓比值為 10，亦變壓器之匝數比亦為 10，透過匝比之變化來達到電壓調整之應用。

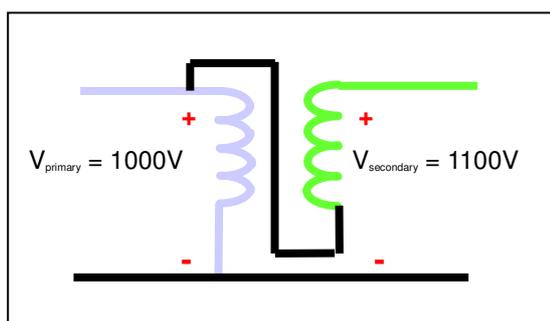


圖 4-2

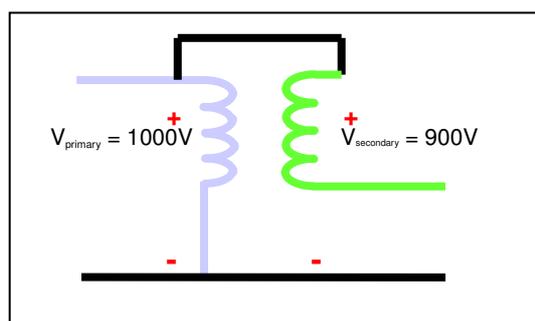


圖 4-3

圖 4-2 以變壓器一次側線圈(+)引接至二次側之(-)，原一次側電位加上二次側線圈感應出電位使輸出改變為 1100V。圖 4-3 以變壓器一次

側線圈(+)引接至二次側之(+), 原一次側電位減去二次側線圈感應出電位使輸出電位改變為 900V。

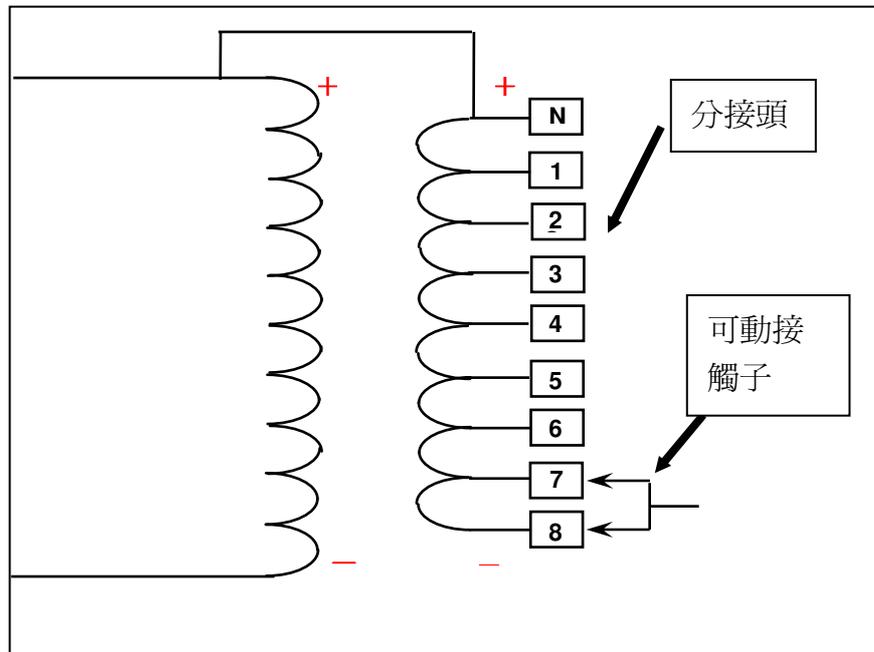


圖 4-4

自動電壓調整器內設有許多分接頭，再由可動接觸子移動到不同的分接頭位置使二次側的輸出電壓改變，用以提升或降低電壓值。



圖 4-5 單具線路電壓調整器內部構造與引出點

Cooper 公司製之電壓調整器設計為 8 個分接頭，加上升降之切換開關則可為 16 段調整，又接觸子如置於分接頭及分接頭間則可有 32 步級之電壓調整，每動作 1 次調整的電壓為 0.625 %。電壓調整器內部亦有安裝比壓器(PT)，一方面為偵測負載側之電壓，一方面藉由 PT 供給自身操作電源，控制器內負載側電壓設定為 120V，當負載側電壓變動大於設定之波段寬度(band width)時，例如波段寬度設定為 2V，控制器偵測到 PT 電壓為低於 119V，控制器則開始依時間延遲參數延遲後，調升負載側電壓，倘動作一次後偵測到的電壓仍低於 119V 時，調整器將繼續調整，直到合乎系統設定值(119~121V)或已達調整器之極限分接頭時停止。

2. 自動電壓調整器之組成

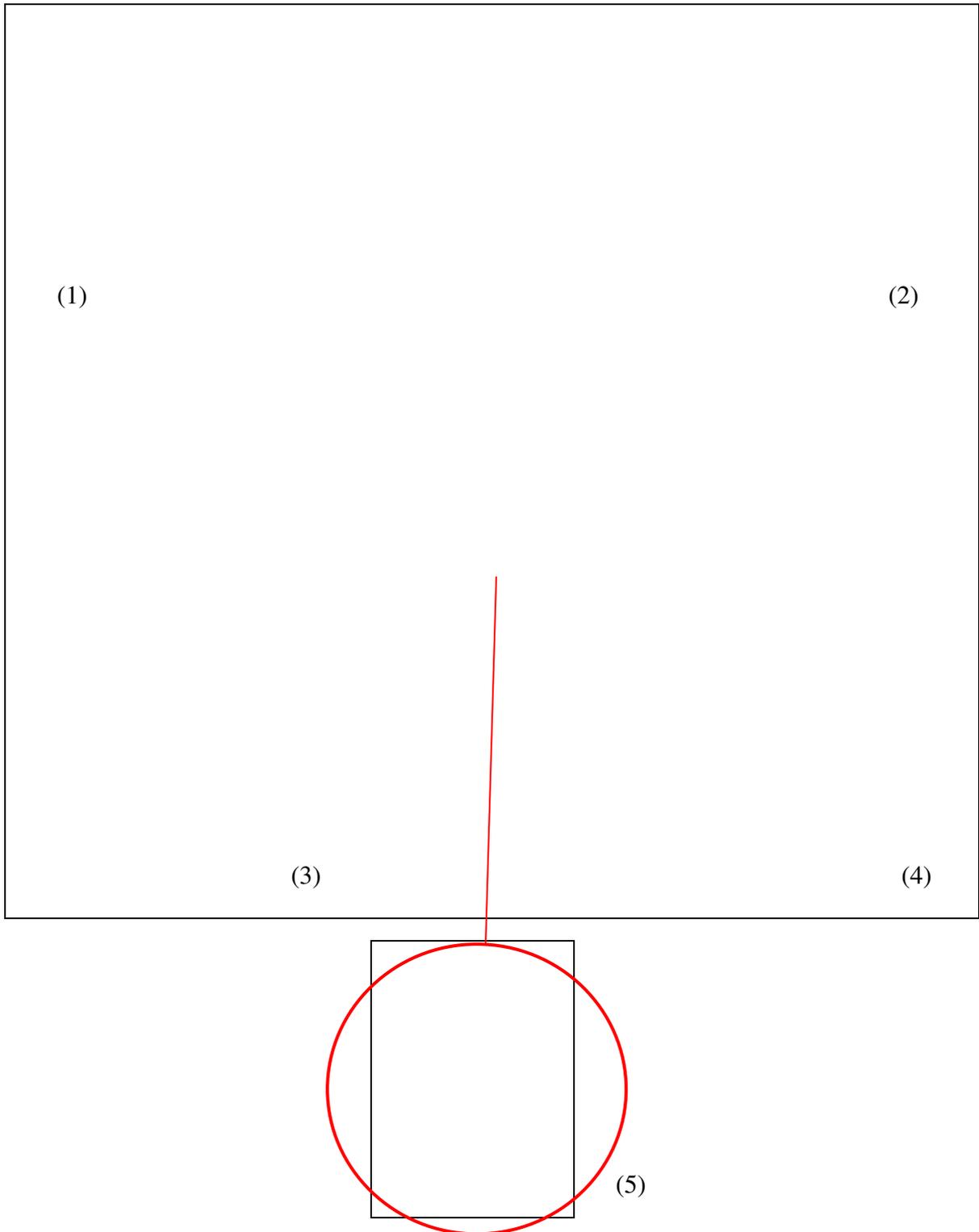


圖 4-6 電壓調整器組成

(1) 套管(Bushing)及旁路避雷器(LA)：每具電壓調整器均有 3 隻套管，

分別為電源側、負載側及接地端。並在負載側套管及接地側套管間設有 1 只旁路避雷器。

(2)分接頭位置指示器(position indicator)：裝置於電壓調整器之最上方，提供現場人員判讀分接頭位置，表計內部並有紀錄器可記錄其動作之最高及最低分接頭位置。並可限定縮小電壓之調整範圍以增加負載電流容量。

(3)密封式箱體：調整器之內部有 shunt wind 等線圈；並填充絕緣油，絕緣油須為耐壓 30kV 等級以上；箱體外部並附有散熱片。

(4)分接頭切換裝置：由馬達及彈簧等裝置組成，當接收控制器信號時，利用馬達驅動彈簧，升降其分接頭。

(5)控制器：為電壓調整器之核心，調整器之動作設定及外部連接通訊數據機等均透過本裝置運作。

3. 自動電壓調整器容量之計算

以線路之電流為基值，計算公式如下：

$$\text{KVA rating} = V_{L-N} \times \text{current} \times 0.1$$

例：線路電流為 300A 時，該線路上應選定之調壓器容量為

$$\text{KVA} = 6.9 \times 300 \times 0.1 = 207$$

另亦可由表 4-1 快速選出適用之調壓器規格。

自動電壓調整器之接線為三相三線△接線，現場如安裝 3 具時，其電

壓可調整範圍為±15%，但如安裝 2 具以開△接線時，將與三相四線式 Y 接相同，其可調整範圍為±10%。

表 4-1 60Hz，11/22Kv 級適用之電壓調整器規格表

線路 電壓	調壓 器容 量 (KVA)	線路電流 (Y 接線或開△接線)				
		電壓調整範圍				
		10%	8.75%	7.5%	6.25%	5%
7620	38.1	50	55	60	68	80
	57.2	75	83	90	101	120
	76.2	100	110	120	135	160
	114.3	150	165	180	203	240
	167	219	241	263	296	350
	250	328	361	394	443	525
	333	438	482	526	591	668
	416	548	603	658	668	668
	500	656	668	668	668	668
13800	69	50	55	60	68	80
	138	100	110	120	135	160
	207	150	165	180	203	240
	276	200	220	240	270	320
	414	300	330	360	405	480
	500	362	398	434	489	579
	552	400	440	480	540	640

表4-2 各分接頭所對應之電壓值

16L	108.0 V	16R	132.0 V
15L	108.75 V	15R	131.25 V
14L	109.5 V	14R	130.5 V
13L	110.25 V	13R	129.75 V
12L	111.0 V	12R	129.0 V
11L	111.75 V	11R	128.25 V
10L	112.5 V	10R	127.5 V
9L	113.25 V	9R	126.75 V
8L	114.0 V	8R	126.0 V

7L	114.75 V	7R	125.25 V
6L	115.5 V	6R	124.5 V
5L	116.25 V	5R	123.75 V
4L	117.0 V	4R	123.0 V
3L	117.75 V	3R	122.25 V
2L	118.5 V	2R	121.5 V
1L	119.25 V	1R	120.75 V
N	120 V		

4. 控制器之主要功能及設定項目

基本功能：

- 線路壓降補償(Line Drop Compansention)
- 電壓限制(Voltage Limited)
- 降低電壓(Voltage Reduction)
- 反向電力操作(Reverse power flow operation)
- 量測(Metering)
- 資料傳輸(Data port)

進階功能：

- 電源側電壓計算
- 日曆/時間功能
- 最大/最小值紀錄
- 分接頭位置
- 軟體設定增加電流
- 自我診斷

控制器參數設定項目

電壓設定：設定符合線路上所需求的電壓值，電壓調整器將線路電壓調整至該電壓值，出廠設定值為 120V。

波段寬度：波段定義在電壓值周圍的一整個電壓範圍，在此範圍內控制器將認為是正常狀態。例如，在 120V 情形下設定一個 2V 的波段寬度意味控制器偵測電壓在 119V 或高於 121V 時才動作。波段設定的大小將決定調整的次數及電壓的控制，波段小的，分接頭的調整次數將較多，電壓變動也將較小；波段大的，分接頭調整次數將較少，電壓變動也將較大。

時間延遲：在控制器監測到電壓已超過波段設定值到送出信號給馬達轉動的等待時間。如果電壓一變化須立即反應時則需設定一個較小的值，如果同一線路上有多具電壓調整器需配合，應進行不同之時間設定，以便正確的依電源端順序調整。出廠時之設定為 45 秒。

線路補償：電壓調整器大多安裝在距離電源很遠的地方，在此之間經過的線路造成了損耗，產生了壓降，負載越大時其損失越大(I^2R)，電壓也降得越低。為了讓電壓調整器能在安裝地點獲得如同電源端的電壓，控制器提供了電阻及感抗所造成電降補償計算。

接線方式：每一具電壓調整器均為單相，如需使用於三相系統時，可依電

源系統供電方式選擇 Y 接線或是 Δ 接線。

系統電壓：控制器軟體進行電壓比值校正，需輸入電壓供 PT 比值計算，這

個電壓值是介於 L 及 SL 兩端子上的單相電壓值。

CT 比值：控制器 CT 額定電流為 200mA，再視銘牌上 CT 一次側之等級換算

後輸入。

5. 電壓調整器之接線

Cooper 公司製造之電壓調整器均為單相式，其示意圖如下；

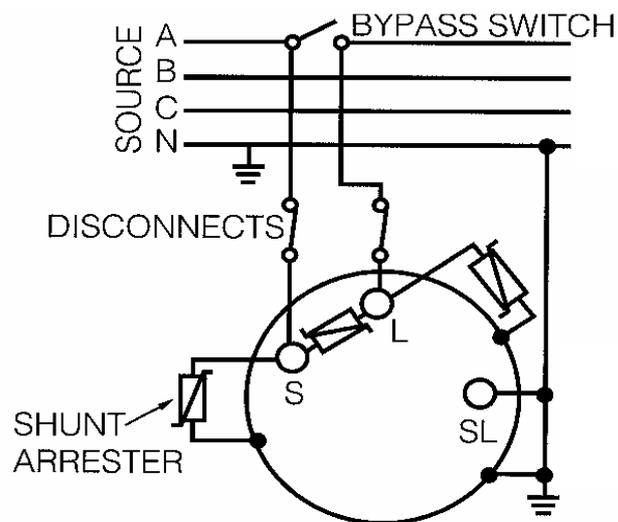


圖 4-7 單具單相電壓調整器連接

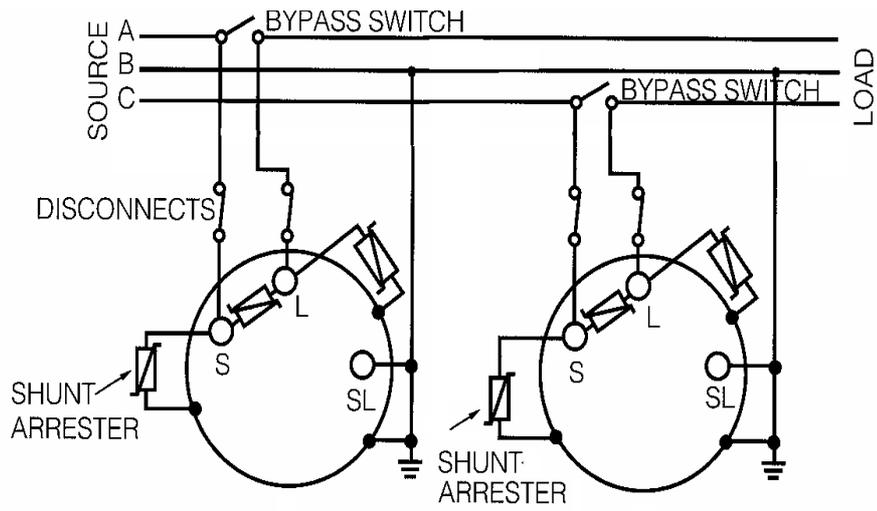


圖 4-8 2 具單相電壓調整器連接成三相三線式(開△)



圖 4-9 Energex 電力公司調壓器安裝現場



圖 4-10 Energex 電力公司在電壓調整器前後桿均安裝分段開關(DS)

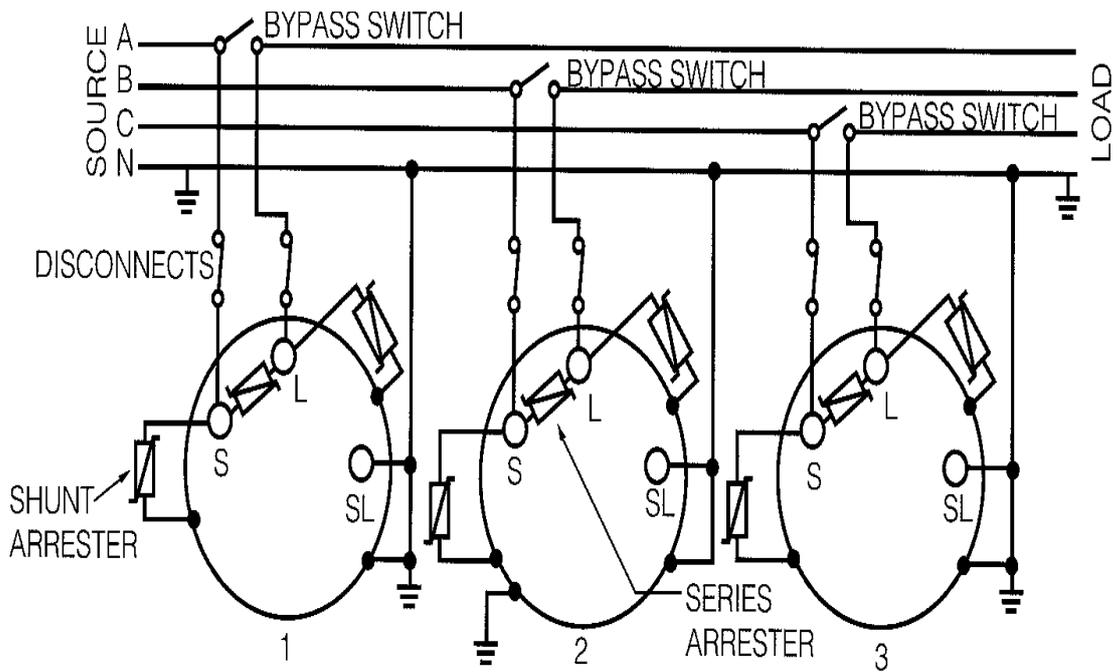


圖 4-11 3 具單相電壓調整器連接成三相四線式(Y 接中性點接地)