

行政院及所屬各機關出國報告  
(出國類別：) 實習

(裝訂線)

## 抑制諧波或共振對變電所電力設備影響之技術

服務機關：台灣電力公司

出國人 職 稱：八等變電器材審查員

姓 名：游志聖

出國地區：日本

出國日期：89.11.13. 89.11.26

報告日期：90.01.15

# 目 錄

壹、前言與實習行程內容簡介-----	2
一、前言-----	2
二、實習行程內容簡介-----	3
貳、心得與感想-----	7
一、何謂高諧波-----	7
二、諧波相關專有名詞之定義-----	7
三、諧波源-----	8
四、諧波對電力系統設備造成之危害-----	12
五、諧波量測與測量儀器-----	14
六、本公司與日本之諧波管制標準-----	15
七、共振-----	18
八、電力品質改善設備-----	19
九、日本電力公司於變電所安裝電力品質改善設備實例--	24
參、綜合結論-----	33
肆、建議-----	35

# 壹、前言與實習行程內容簡介

## 一、前言

維持良好的供電品質是電力公司永續營運的不二法門。

近年來由於電力電子技術快速發展，電力轉換設備（如變壓器、電容器、閘流體整流器、變頻器及交換式電源供應器...）及其他大容量非線性負載設備（電弧爐、軋鋼機...）被廣泛應用於工業及民生的用途上；由於此類非線性負載設備所產生的諧波電流，會反注入電力系統，除將造成系統電壓波形畸變外，甚者更會造成共振結果；如此，除影響本公司供電品質外，亦將導致變電所電力設備過熱或過載等事故的產生。

現值政府大力推廣要將台灣建設成為綠色矽島之際，穩定的電力品質供應將是此一計劃的最重要因素；但目前國內電力公司及各電機業者尚缺乏此類的經驗與技術，因此本出國計劃的主要目的為實習抑制諧波或共振對變電所電力設備影響之技術及實地參觀已運用此類電力品質改善設備之變電所，以供本公司日後若需此類設備時之參考。

## 二、實習行程內容簡介

(1) 89年11月13日至89年11月18日

至日立公司國分工廠及東京電力公司參訪。日立公司國分工廠位於茨城縣日立市，由東京搭乘常盤線電車約90分鐘車程抵達，當地非常接近太平洋，是個典型的工業小鎮。據陪同的日立人員說，當地的70%居民都是日立的員工。國分工廠專門製造有關重電方面的設備，如電力變壓器，氣體絕緣開關（GIS）...等，國內重電製造廠家如中興電工、華城電機等，皆與此廠有技術合作的關係。當然，電力補償設備亦是此廠的產品之一。不過，參訪期間，除電力變壓器、氣體絕緣開關外，該廠的電力補償設備並無成品在廠內可參觀，但日立公司安排了系統部門的兩位主任技師帶了許多豐富的資料介紹該廠的產品，讓職對抑制諧波設備有更深一層的認識。本次行程中，原請日立公司代為安排參觀東京電力公司所屬的新信濃變電所之電力補償設備，此間變電所主要功用在電力頻率切換時的電力補償用（因東、西日本電力頻率不同，一為50Hz，一為60Hz），不過，因東電方面臨時無法調派人員陪同因而取消。聽說此間變電所的電力補償設備各家都有提供，彼此競爭，互相比較誰的品質較好，煞是有趣，希望日後能有機會實地參訪此間變電所。

在這禮拜停留東京期間，亦前往拜訪東京電力總公司，由其國際部人員與二位專業工程師（一為變電設計、一為建築師）與我們討論，我們此行的目的在瞭解目前東電方面對於多目標變電所的規劃原則，相關的消防安全規定及目前地下變電所使用的電力設備；同時，於討論後東電亦安排參觀世田谷多目標變電所，世田谷多目標變電所地下一~三層為變電所，地面一~四層為世田谷區服務所，第五層為世田谷制御所（控制中心），為一典型的變電所多目標建築；本公司目前已設計完成之信南變電所（位於捷運中和線南勢角站旁），亦屬於同樣的架構（地下層為信南變電所、地面層為北南區處信南服務所）。

(2) 89年11月19日至89年11月26日

至日新電機公司總廠（京都）及關西電力公司所屬之枚方變電所、犬山開閉所及中部電力公司所屬之松枝多目標變電所參訪。

日新電機總廠位於京都市郊，該公司所生產之開關設備、電容器組、電抗器組及電力補償設備..等，在日本國內非常知名，佔有率亦相當的高；此次在日新的參訪行程由該公司技師長工籐先生負責帶領及解說，參觀該公司最新研發的槽式電容器組、大容量的並聯電抗器組及靜態虛功率補償設備（SVC）...等等。工籐先生在日新服務近三十年，在電力系統設備研發方面功力十分深厚，在其解說下，讓職受益良多。

本次行程中有關諧波抑制設備的變電所實績方面，日新公司亦安排參訪了關西電力公司所屬之枚方變電所（位於大阪市郊），該變電所由於饋供附近多座鋼鐵廠及一東海新幹線專用之變電所，以至於電力品質極不穩定，因此必須裝設電力補償設備，來改善供電品質；本報告後續有專章說明枚方變電所電力品質改善情況。

11月22日由三菱公司安排參觀關西電力公司所屬犬山開閉所（位於名古屋市郊），因本變電所肩負長途輸電的電力品質，因此亦需電力補償設備改善，藉此提高輸電容量。本報告後續有專章說明犬山開閉所電力品質改善情況。（犬山開閉所情況十分類似本公司位於南投縣之中寮開閉所）

11月24日由多田電機安排參觀中部電力公司所屬之松枝多目標變電所（位於名古屋市內），該變電所地下六層（深度達三十五米），地面十五層，頂部並有一將近三十米的通信鐵塔；同樣地，地下層部份供變電所使用，地面層則供中部電力辦公大樓用。

最後值得附帶一提的是11月23日是日本的勤勞感謝日，全國放假一天，亦即我國的勞動節；所慶祝的事物一樣，不同的是勤勞感謝日聽起來就像是僱主主動地感謝勞工一年來的辛勞，但勞動節則好像是因為勞工向僱主爭取後才有的福利；事物的本質一樣，只因文字表面不同，而有如此大的差別，讓職不得不佩服日本人的聰明之處。

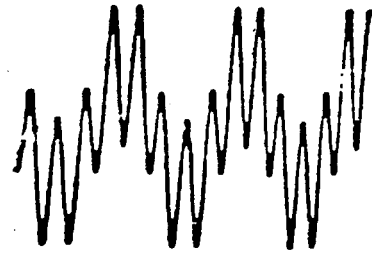
## 貳、心得與感想

### 一、何謂高諧波

高諧波（Harmonics）是指具有基本頻率（50Hz或60Hz）的整數倍頻率之電流或電壓。含有高諧波的電流如下圖所示；與未含高諧波時的正弦波比較，後者的波形呈現畸變波形。換句話說，若電壓或電流的波形為非正弦波時，就可將其視為含有高諧波。



圖(a)未含高諧波的波形



圖(b)含高諧波的波形  
(第五諧波的含有率為基本波的100%時)

高諧波，通常以第五諧波或第七諧波等稱呼之，這是對具有商用頻率的五倍或七倍頻率的稱呼。一般電力系統中，以第三諧波以上的奇數次諧波較為顯著。含有高諧波時，電源、受電設備及負載設備都會引起種種困擾。

### 二、諧波相關專有名詞之定義

下面所列為國內之諧波管制標準中比較有關鍵性之專有名詞定義，特列出以供參考：

#### 甲、諧波（Harmonic）

除基頻以外之基頻整數倍交流週期性訊號。如三次諧波為180Hz，五次諧波為300Hz。

#### (2) 特性諧波（Characteristic Harmonic）

為閘流體整流設備在正常運轉下所引起之諧波；如6級脈衝整流設備其特性波為  $6k \pm 1 = 5, 7, 11, 13, \dots$ （ $pk \pm 1$  級諧波： $p = 6, 12, 18, 24, \dots$  級脈衝激發整流設備： $k = 1, 2, 3, 4, \dots$ 。）

#### (3) 非線性負載（Nonlinear load）



負載供應電壓為線性，引入負載電流為非線性，則稱此負載為非線性負載。

(4) 線電壓凹陷 (Line voltage notch)

整流設備換相過程中，發生瞬間短路時受電電壓凹陷之現象。

(5) 短路比 (Short-circuit ration  $I_{sc}/I_L$ )

對擁有閘流體負載之用戶，用戶短路容量與用戶額定負載容量之比值。

(6) 總諧波失真率 (Total harmonic distortion, THD)

諧波成分均方根和與基頻成分均方根比值，如下式所示為總諧波失真率之通式，此式適用電壓諧波電流之表示

$$THD = \sqrt{\frac{\text{各級諧波平方和}}{\text{基頻成份平方}}} \times 100\%$$

$$= \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} C_h^2}}{C_1} \times 100\%$$

$C_1$  : 基頻成份 ;  $C_h$  : h級諧波成份

### 三、諧波源

電力系統諧波源起因於非線性負載。非線性負載大致可分為下列幾類：

大型負載

(1) 電弧爐

交流電弧爐 ( AC arc furnace, AC EAF )

直流電弧爐 ( AC arc furnace, DC EAF )

精煉爐 ( Ladle furnace, LF )

(2) 軋鋼馬達設備 ( Motor drives in rolling mills )

閘流體轉換器與 DC 馬達

AC 變頻馬達 ( AC drives with cyclo-converters )

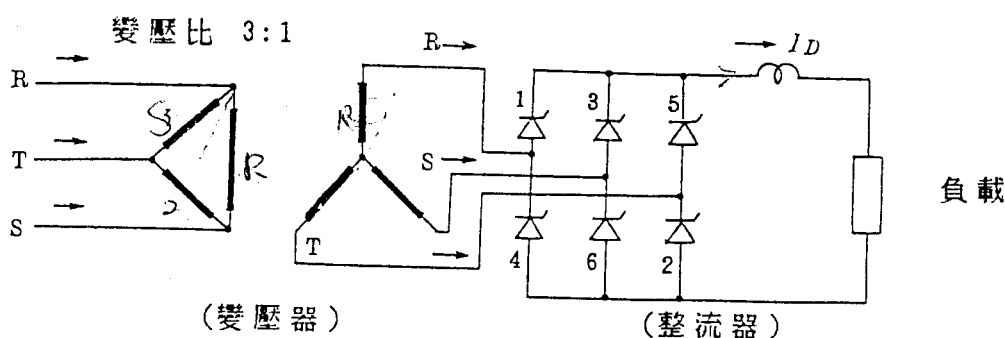
(3) 感應爐 ( Induction furnaces )

## 其他非線性負載

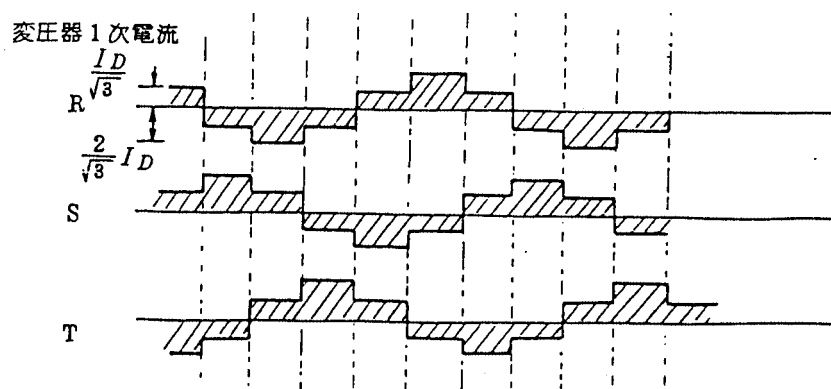
- (1) 焊接機 ( Welding machines )
- (2) 打鐵錘和撞槌 ( Forge harmonics and hammers )
- (3) 整流設備
- (4) 螢光燈設備 ( Fluorescent lamp installations )

根據日本電器學會配電專門委員會調查之報告，發現日本國內引起諧波困擾的發生源要以閘流體轉換設備及電弧爐為最多，以下即根據此二者作介紹。

### a. 閘流體轉換器

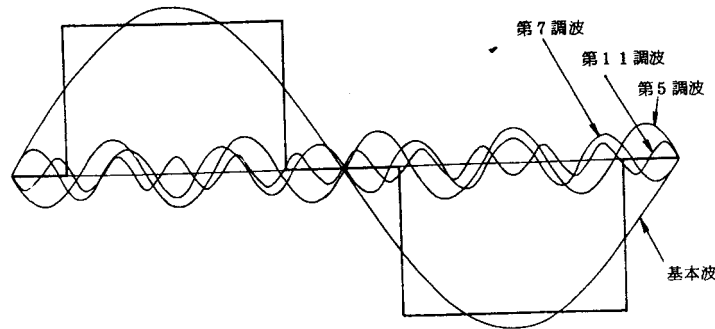


典型的六項為閘流體整流電路



整流後變壓器的一次測電流

由上圖可知，整流後變壓器一次側會形成矩形波狀電流。此電流若用傅立葉級數（Fourier Series）分析後可知，矩形波電流是由商用頻率成分的電流與更高頻率（即高諧波電流）的電流重疊而成的。

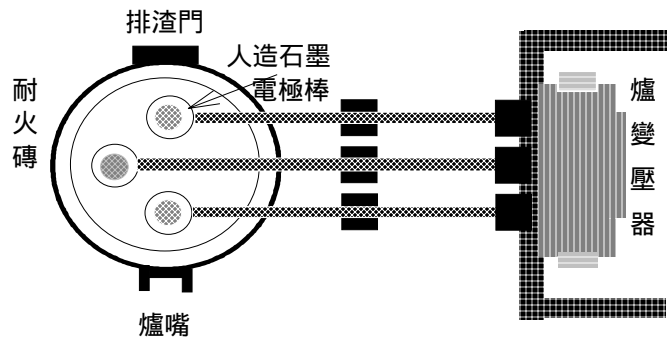
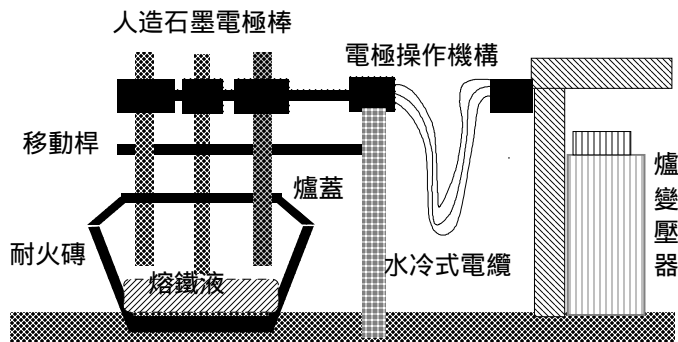


注) 第13調波以上は便宜上省略した。

矩形波電流、正弦波電流與高諧波電流間的關係

### b. 電弧爐

電弧爐係以電弧產生之高溫冶煉廢鐵原料製成鋼，為台灣鋼鐵工業的重要型態，運轉和操作維護均較容易，容量自6 100噸（爐變容量1 80MVA）都有，故廣為一般中小規模之煉鋼廠所採用。



電弧爐的基本架構圖

上圖為典型電弧爐的基本架構。爐體內層材質為耐火磚料 (Refractory)，爐用變壓器二次側導線以伸縮電纜連接銅導體至末端的人造石墨電極棒(Graphite Electrode)，因通過的電流相當大，故電纜外殼有冷卻水循環散熱，三支電極棒穿過爐蓋圓孔插入爐體內之廢鐵原料，電極通電後極間便引發電弧而產生高溫溶解廢鐵。爐體內部溫度約在1500 1700 左右，產生的鋼水溫度以1600 1650 為最佳，故爐體和爐蓋內層均鋪設高溫耐火磚及氧化鎂以維護爐體壽命。廢鐵原料熔化後，內部熔鐵渣滓由排渣門流出，再由爐嘴倒出熔化完成的鋼水，隨後冷卻製成鋼胚供日後軋鋼機加工之用。

電弧爐的負載特點是在運轉過程中功率會隨機或非週期性地大幅變動，是為產生高頻諧波及電壓閃爍的主要原因。電弧爐溶解初期稱為溶解期，因負載電流遽變，會形成三相不平衡與不對稱之現象，使得諧波成份涵蓋非整數倍諧波與偶次級諧波，諧波成份分佈在2級至7級之間，且諧波大小會與頻率成反比。完成溶解之後進入精鍊期，由於負載電流不再遽變，非整數與偶次諧波會消失。

電弧爐負載電流狀態	基本波中高諧波的含有率				
	諧波級數				
	2	3	4	5	7
溶解期	7.7	5.8	2.5	4.2	3.1
精鍊期	0.0	2.0	0.0	2.1	0.0

典型電弧爐兩工作週期諧波測量值

由上表可明顯看出溶解期諧波成份遠高於精鍊期，且以第2級諧波電流最高，其次為第3級諧波電流，這是由於三相不平衡與不對稱的現象而產生。

## 四、諧波對電力系統設備造成的影響

過量的諧波電壓及諧波電流會導致電力設備過熱或過電壓，而使得設備壽命減短，或發生立即的事故。在IEEE/Std 519-1992中有分析諧波對電力設備可能造成之危害，以下是從中摘錄的重點：

### (1) 馬達和發電機

發電機中的旋轉部份，會因諧波電壓與諧波電流產生額外的鐵損與銅損，進而影響轉動電機的機械效率和穩定轉矩；而且諧波電流亦會引起額外的轉動噪音，阻擾發電機的平穩運轉。此外，發電機的汽機軸承及馬達與負載間的耦合軸承，皆可能因諧波對產生的合成磁場與基頻磁場產生機械共振，而導致軸承之機械破壞。

### (2) 變壓器

諧波電流將會增加變壓器銅損和漏磁損；諧波電壓將會增加變壓器鐵損。同時，電力諧波亦提高了變壓器工作噪音和增加變壓器額外的溫昇，尤其是頻率越高的諧波成份，噪音與溫昇的現象特別明顯。根據 IEEE/C57.12.00-1987美國國家標準規範，規範內建議變壓器諧波電流上限值為額定電流的5%，同時亦建議變壓器於滿載工作時，應能承受5%的過電壓；而無載時亦能承受10%的過電壓。

### (3) 電力電纜

由於諧波電流為基頻電流以外的異常電流，因此導體中如有過量的諧波電流容易因過載而導致過熱，發生導體絕緣破壞而燒燬；再者，由於導體對高頻率之諧波電流有集膚效應和鄰近（Proximity）效應，因此交流阻抗會隨頻率增加而使額定載流量減少。

### (4) 電容器

根據 IEEE/Std 18-1992 標準，電容器之瞬間過壓容許時間與容許電容器暫態過電流倍率與次數皆有明確的規定。列表如下所示：

持續時間	最大允許額定電壓(ms)倍率
6 cycles	2.20
15 cycles	2.00
1 sec	1.70
15 sec	1.40
1 min	1.30
30 min	1.25

IEEE/Std 18-1992 規定電容器之瞬間過電壓容許時間

每年容許暫態次數	最大允許額定電流(ms)倍率
6 cycles	2.20
15 cycles	2.00
1 sec	1.70
15 sec	1.40
1 min	1.30
30 min	1.25

IEEE/Std 18-1992 規定電容器之暫態過電流倍率與次數

電容器組諧波事故常因與電力系統發生並聯共振擴大諧波污染，產生過大的諧波電壓所致，一般的改善方法為串接適當之電抗器於電容器組上，使共振點能避開諧波源，如此一來，除可免於擴大諧波污染外，亦可適度地濾除諧波（如本公司於一次配電變電所內之 11.95KV/23.9KV 電容器組，每相串聯 6% 電抗器即為此一緣故）。

一般電力系統上常見的電容性負載，除濾波器電容器組、改善功因用電容器組外，尚需考慮輸電線路之充電電容、分相馬達啟動電容

器及整流設備的穩壓電容器，上述這些電容性負載設備，都有可能因諧波而引起過熱或過壓等事故。

#### (5) 開關設備和電驛

諧波會引起開關設備額外的溫昇及損失，將導致正常額定容量與絕緣壽命的降低。電驛的種類繁多，對諧波的敏感度亦有所不同，即使相同大小的諧波量但不同諧波角，對電驛亦會產生不同的影響。根據國外研究文獻指出，小於5%之諧波成份對大部份的電驛沒有影響；但若大於10%時，就必須加以詳細評估。

#### (6) 計量表

計量表和測量儀器可能因諧波污染而影響其正常運轉，特別是在發生諧波產生共振而放大時，但通常總諧波失真率要很大時(>20%)，才會發生表計明顯誤差。

## 五、諧波量測與測量儀器

在 IEC-1000 中推荐進行電力品質資料量測工作時，應視量測對象及量測資料決定所需量測時間。其推荐四種可考慮的量測時間供參考採用，如下所示：

(a) 超短時段(Very short time interval, TVs): 3 Sec.

(b) 短時段(Short interval, Tsh): 10 min.

(c) 一日時段(One day interval, Td): 24 hours.

(d) 一週時段(One Week interval, Twh): 7 days.

此外並推荐長時段量測取 95%之統計值為可採用值，與本公司目前做法相同。

一般諧波測量的設備有下列幾種：

(a) 示波器 (Oscilloscope)，可立即顯示電壓和電流時域波形，瞭解波形畸變程度。

(b) 頻譜分析儀 (Spectrum analyzers)，可分析各整數或非整數倍的諧

波成份。

- (c) 諧波分析儀或波形分析儀 ( Harmonic analyzers or wave analyzers ) 此類分析儀可分析諧波大小，並有記錄與列印功能。
- (d) 失真率分析儀 ( Distortion analyzers ) ，只顯示總諧波失真率。
- (e) 數位諧波測量設備 ( Digital Harmonics measuring equipment ) ，利用數位濾波器(Digital filters)或傅立葉快速轉換(Fast fourier transformer, FFT)技術可快速且大量截取測量資料。傅立葉快速轉換技術，可配合個人電腦作即時(Real-time)資料存取與記錄。

## 六、本公司與日本之諧波管制標準

本公司參考美國 IEEE/Std 519-1992 諧波標準，於81年11月25日公告實施「電力系統諧波管制暫行標準」，並於82年6月24日完成第一次修訂；因諧波管制標準以電力公司立場而言，在限制用戶注入電力系統的諧波電流，以確保電力系統不受污染，影響電力品質，因此本管制標準係以管制諧波電流為主，下表為管制標準：



## 電力系統諧波管制暫行標準

### 1. 用戶注入其責任分界點之諧波電流

81年11月25日公告實施

82年6月4日完成第一次修訂

#### (1). 3.3 - 22.8KV系統

諧波電流失真率(%)限制值						
Isc/IL	各級諧波個別值					綜合諧波 THD%
	<11	11≤n<17	17≤n<23	23≤n<35	35≤	
*<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	1.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

註：偶次諧波為上述限制值之25%。

\*：自備發電設備之用戶，一律採用Isc/IL 小於20之限制值。

Isc：用戶責任分界點短路電流。

IL(rms)：對既設用戶取12個月最大負載電流平均值。對新設或增設用戶，取主變額定電流值。

(2). 對於34.5 - 161KV系統為上述限制值之50%。

2、本管制暫行標準得定期及視需要檢討修訂。

## 日本官方公佈之諧波抑制對策準則

- 高諧波流出電流的計算

從特定用戶流入系統的高諧波電流依下述規定計算。

- (1)、高諧波流出電流係高諧波發生機器在額定運轉狀態下產生高諧波電流的合計。
- (2)、高諧波流出電流依各次高諧波分開合計。
- (3)、高諧波計算至40次。
- (4)、特定用戶廠內若有高諧波電流抑制設備時，其抑制效果應予檢討。

- 高諧波流出電流之上限值

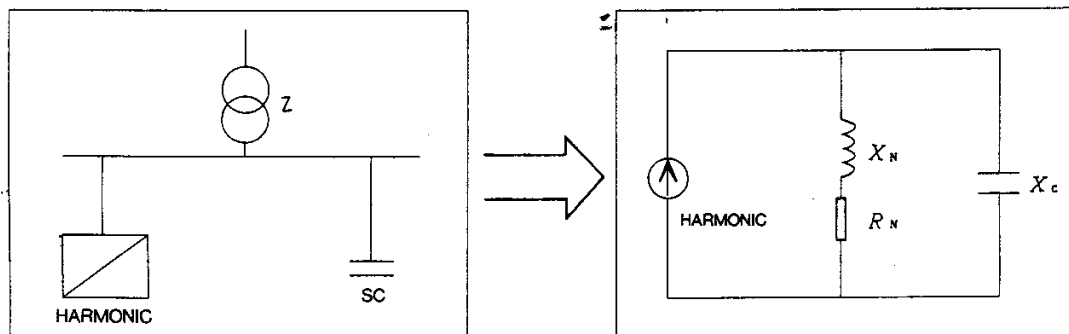
從特定用戶流入系統之高諧波電流之容許值，依下表所示值乘以大用戶之契約電力。

契約電力每kW容許流出諧波電流上限值 (單位: mA/kW)

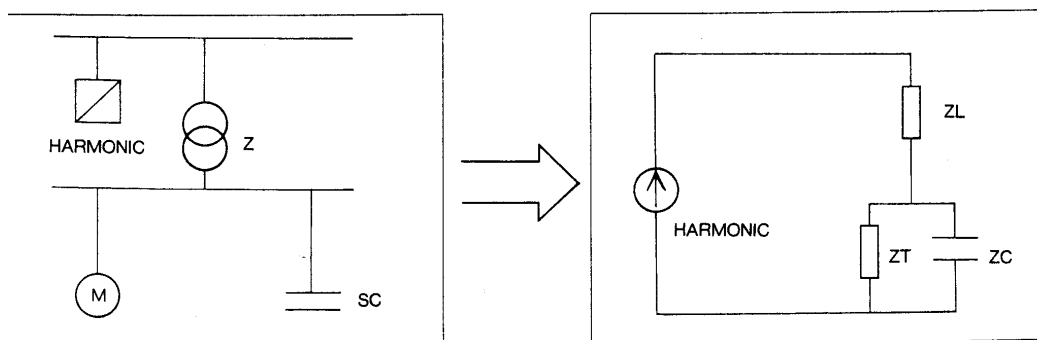
受電電壓 (kV)	諧波級數							
	5	7	11	13	17	19	23	>23
6.6	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.9	0.76	0.7
22	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
33	1.2	0.86	0.55	0.46	0.35	0.32	0.26	0.24
66	0.59	0.42	0.27	0.23	0.17	0.16	0.13	0.12
77	0.5	0.36	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10
110	0.35	0.25	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.07
154	0.25	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
220	0.17	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
275	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02

## 七、共振

電力系統上有諧波負載，若在加入電容器組會造成並聯共振或串聯共振的結果，對電力系統的影響更為嚴重。以下二圖分別代表並聯共振及串聯共振的電路形式。



並聯共振：並聯共振的結果，將使得諧波電流放大，造成電容器過電流而故障及變壓器的損失增加。



串聯共振：串聯共振的結果，將使得電容器因過電壓而故障。

## 八、電力品質改善設備

一般說來，電力品質改善設備大致分為：

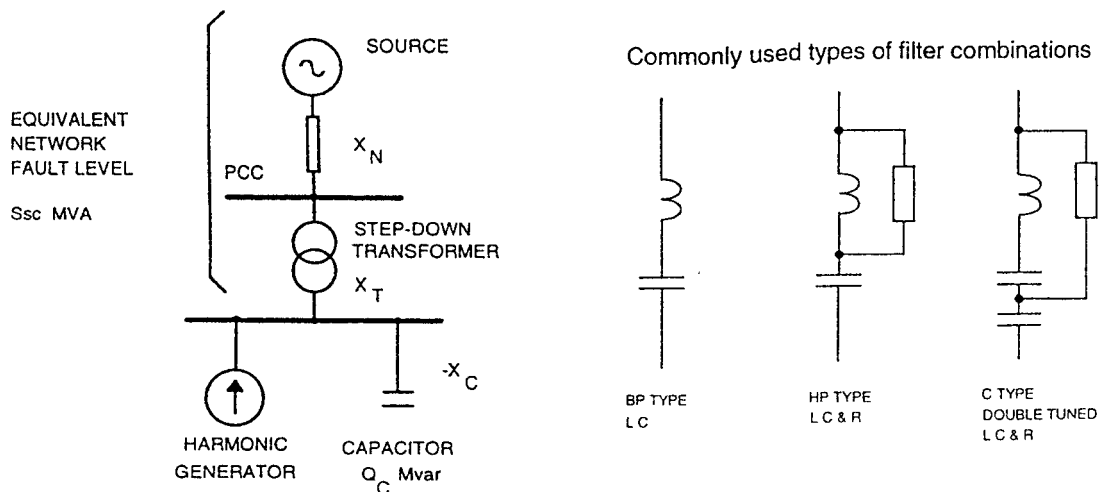
(1) 諧波濾波器 (Harmonics Filter)

(2) 靜態虛功率補償系統 (Static Var Compensator)

以下我們即根據此二者作介紹。

### (1) 諧波濾波器 (Harmonics Filter)

日本國內的用電設備與我國大同小異，從小型負載如個人電腦到大型負載如電弧爐等，皆是諧波污染的主要來源。因此，若使用功因改善電容器組時，在含有少量諧波電流的系統中是不能被使用的，因為電容器組會與網路形成並聯共振使諧波電流放大，以致於電壓及電流的畸變率更為嚴重。因此電容器組大都會以諧波濾波器來取代，一方面兼顧到功因改善問題，另一方面亦達到諧波抑制的效果。

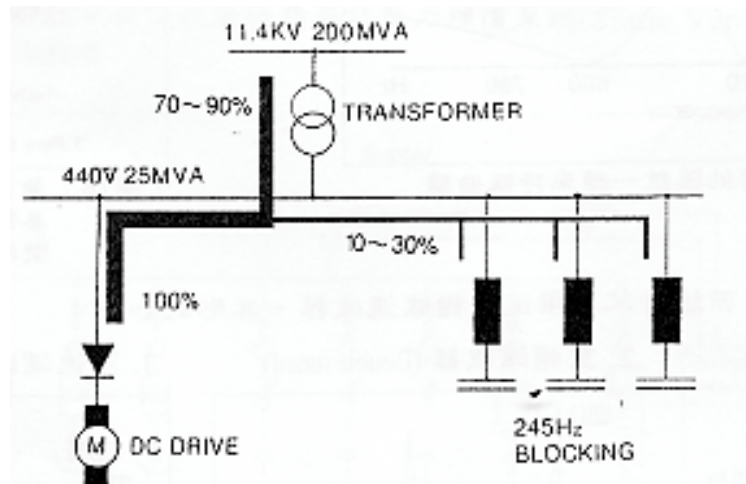


典型安裝電容器組之系統單線圖

各類型諧波濾波器

一般工業界常用的諧波濾波器大都為 BP Type 型濾波器，即電容器阻串接調諧電抗器 (Blocking Reactor) 所組成 (如本公司於變電所內用之電容器組每相串接一6%電抗器，亦為此一模式)，如此一來，便能把網路的串聯共振頻率調諧低於最低次諧波 (通常為第五諧波)。使其在基本頻率 (60Hz) 電容性，以提供無效功率來改善功率因數，而在諧波頻率時

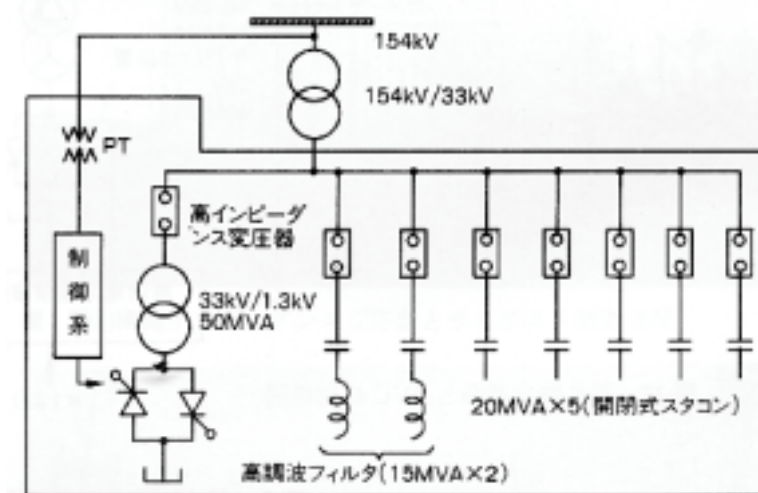
(第五諧波頻率為300Hz)呈電感性，以防止並聯共振的發生。下圖為一安裝實例



電容器組串聯6%電抗器時，其電容器組串聯共振頻率為245Hz，因此能避開系統中的第五諧波（300Hz），可避免產生共振。

## (2) 靜態虛功率補償器 (Static Var Compensator)

閘流體控制靜態虛功率補償器是一種靜態並聯電抗的設計，由雙向閘流體閘串聯一固定電抗器，再藉著控制閘流體激發角度之改變相位，以調整電抗器上的電流大小，可產生或吸收電感性虛功率。一般稱為閘流體電感控制式 (TCR, Thyristor Controlled Reactor)，但在變電所的實際運用中，因電感值大容量的需求，通常都會以一高阻抗變壓器來取代，因此又稱為閘流體變壓器控制式 (TCT, Thyristor Controlled Transformer)。



安裝SVC實例之電力系統單線圖

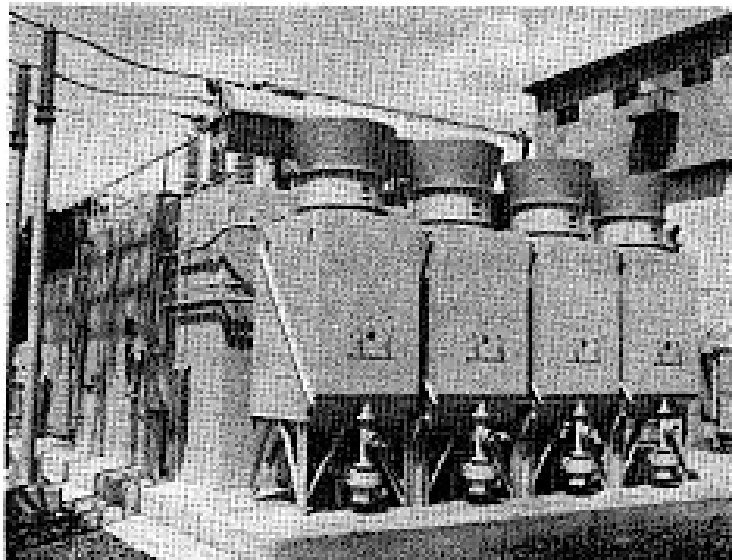
電力系統加入SVC，一般來說有下列幾個目的：

- a. 控制電壓並提昇微弱匯流排（weak bus）電壓。
- b. 控制虛功減少傳輸損失。
- c. 增加輸電線路電力傳輸容量。
- d. 增強系統穩定度。
- e. 控制電壓以改善電壓變動。
- f. 對電力系統搖擺產生阻尼作用。
- g. 對次同步共振（SSR）產生阻尼作用：傳統固定式串聯電容器亦與線路電容器易與線路電感產生振盪（頻率約為20Hz），此振盪頻率易與發電轉軸之扭轉頻率（10-55Hz）相近而形成共振，造成轉軸斷裂。

現將構成SVC設備的四項主要器具之功用略述如下：

- a. 電抗器或高阻抗變壓器：

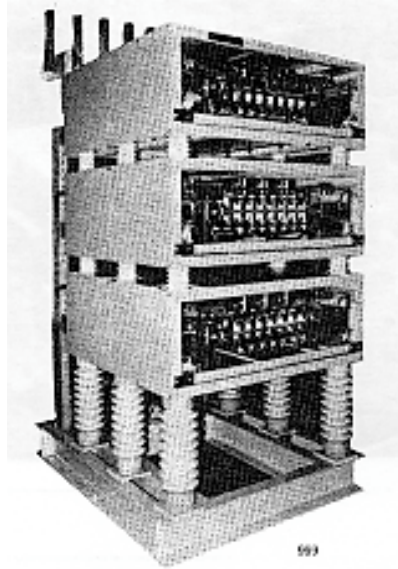
此等阻抗經由閘流體的控制使其落後虛功率與負載的變動虛功率之和，經常保持為一固定值，以保持電壓的穩定。



高阻抗變壓器

b. 閘流體：

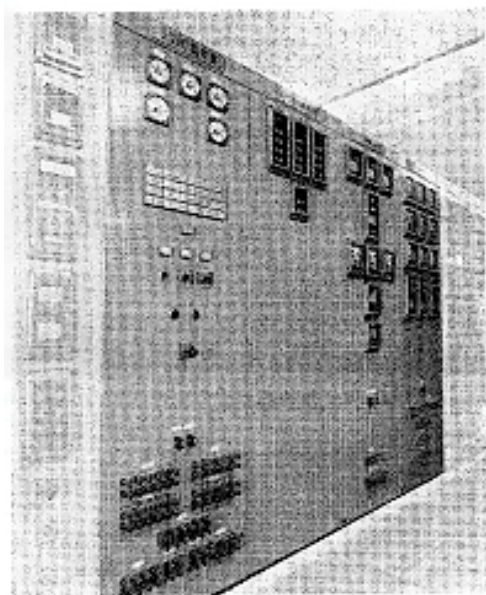
閘流體與電抗器（或高阻抗變壓器）串聯，並依控制盤送出的信號進行開關電抗器。



閘流體組

c. 控制盤：

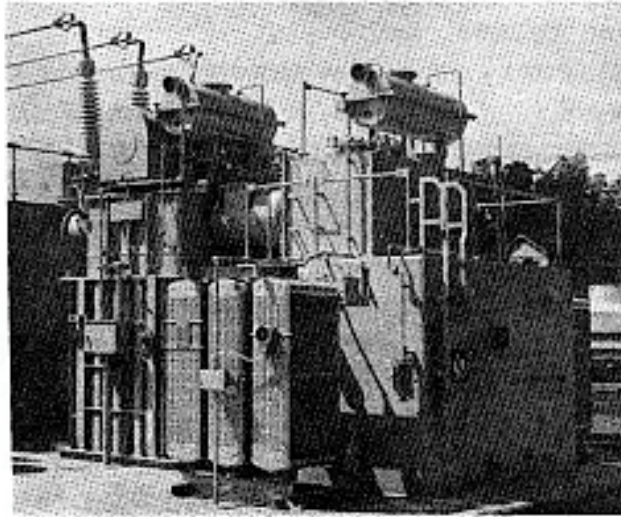
由CT與PT檢出變動負載的虛功率值，併發出控制相角的指令至閘流體，使電抗器產生落後的虛功率值。



控制盤

d. 濾波器兼功因改善設備：

此設備用以吸收SVC本身及系統上產生的諧波電流。在基本波的情形下，此設備可當功因改善用。



第三諧波濾波器



## 九、日本電力公司於變電所安裝電力品質改善設備實例

目前在日本電力公司中，需要加裝電力補償設備的變電所約分為四類：

- 一、變電所附近有大容量的非線性負載用戶（如煉鋼廠）。
- 二、位於頻率切換區域附近之變電所。
- 三、長途輸電用之開閉所。
- 四、新幹線電車供電用之變電所。

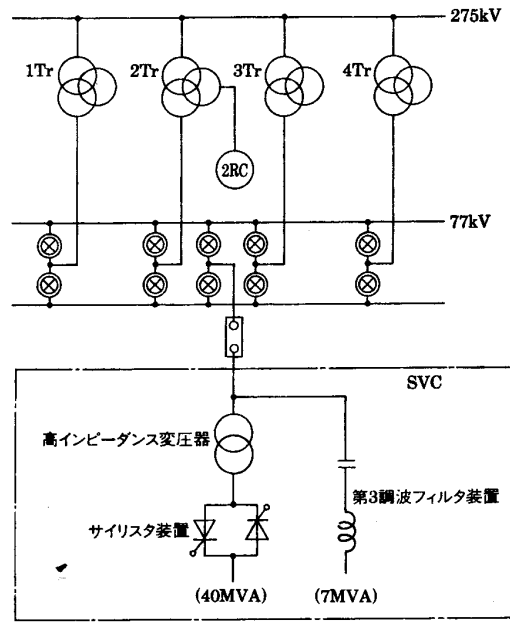
下面將分別介紹實地參訪之日本關西電力公司（Kansai Electric Power Company）於變電所裝設電力品質補償設備之實例。

- a. 枚方變電所（Hirakata Substation）：屬第一類，加裝靜態虛功率補償設備（SVC）；日新公司製。
- b. 犬山開閉所（Inuyama Substation）：屬第三類，加裝靜態虛功率產生設備（SVG）；三菱公司製。

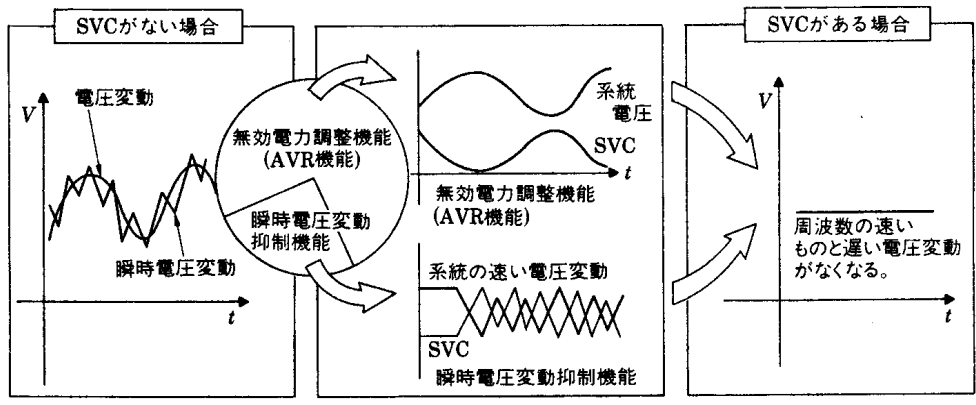
現分別下列介紹：

### a. 關西電力枚方變電所（Hirakata Substation）裝設 SVC 與 LC filter 之實例

枚方變電所為 277KV 變 77KV 之一次變電所，供電轄區涵蓋大板、京都 23 個二次變電所，其中因有電弧爐廠及東海新幹線專用變電所，因此早在 1952 年既有兩台合計 30MVA 之水冷式同步電容機（Rotary Condenser, RC）之設置，藉以改善系統電壓變動及虛功率補償。但由於同步電容機老化及維修困難，關西電力決定以現代化之 SVC 取而代之。1988 年關西電力於枚方變電所 77KV 側裝設完成 40MVA 之 SVC 並於 7 月加入運轉，SVC 之電力系統單線圖如下圖所示。



枚方變電所 SVC 系統單線圖



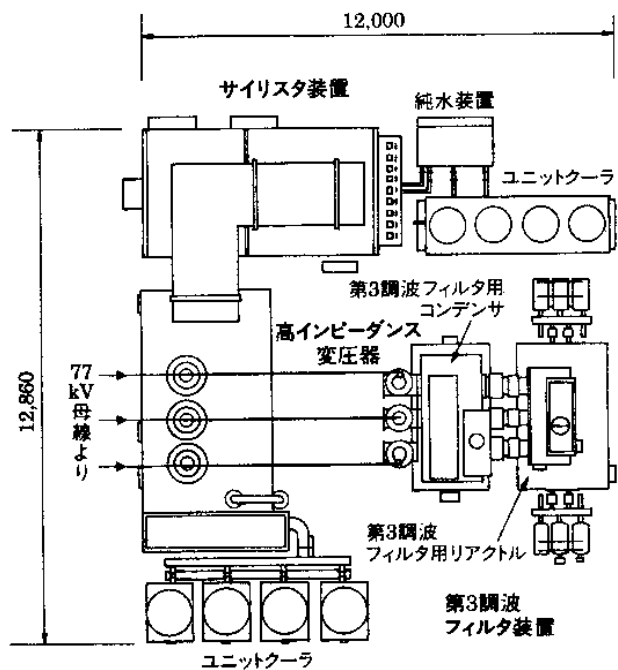
(注) SVC の動作は進み無効電力 (補償無効電力) で表現している。

枚方變電所用 SVC 設備欲達到之效能

此 SVC 為日本日新電機公司製造，規格為三相、60Hz、77KV，落後功率補償容量 40MVA (其中無效功率補償為 30MVA、抑制瞬時電壓變動功率為 10MVA)、超前功率補償容量 7MVA，總諧波失真率 (THD) 不超過 2%，各級諧波失真率不超過 1%。

SVC 設備由 TCR (Thyristor-Controlled Reactor)、高阻抗變壓器 (High-Impedance Transformer)、第三諧波濾波器及水冷設備所組成；

配置如下圖所示。



枚方變電所用 SVC 配置圖

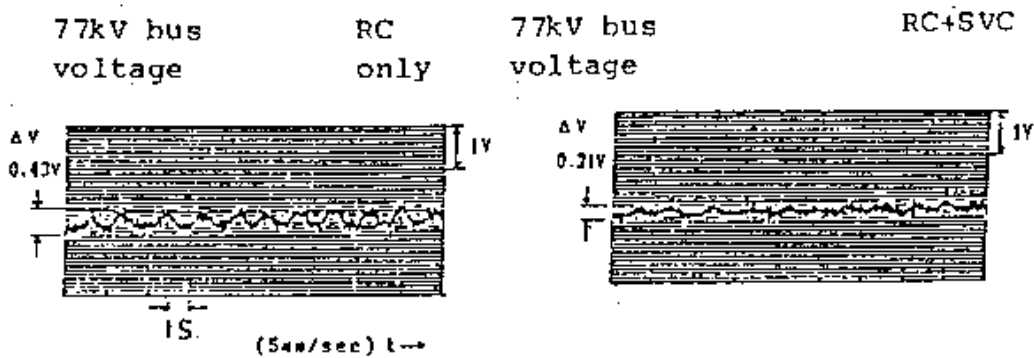
枚方變電所加入電力補償設備後的改善實績：

經改善後於 77KV 側計算總諧波失真率得下表

高諧波級數	第 3	第 5	第 7	第 9	第 11	第 13	總諧波失真率
各級諧波電壓失真率	0.69	0.42	0.32	0.20	0.16	0.32	0.96%

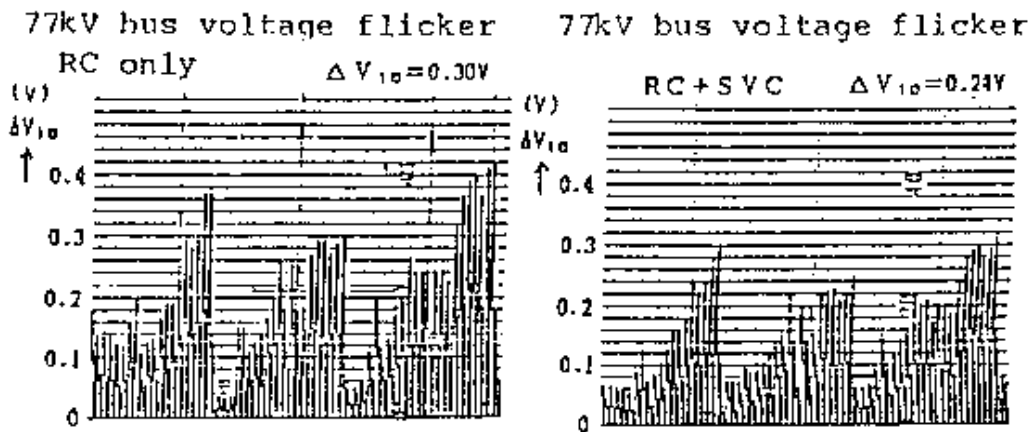
由上可知達到欲設計的要求。（總諧波失真率不超過 2%，各級諧波失真率不超過 1%）

下圖(a)所示為單獨 2 台同步電容器運轉時之 77KV 側電壓變動  $\Delta V$  約 0.43V；下圖(b)所示為除同步電容器外 SVC 亦運轉下之 77KV 側電壓動變動約為 0.21V，因此 SVC 有 51%之  $\Delta V$  改善率。



(a) 單獨 2 台同步電容器運轉 (b) 同步電容器與 SVC 同時運轉  
關西電力枚方變電所 77KV 側電壓變動比較

至於電壓閃爍由下圖(a)所示同步電容器運轉下第四大之 $\Delta V_{10}$ 約為 0.3V；由下圖(b)所示當 SVC 加入運轉後第四大之 $\Delta V_{10}$ 約為 0.24V，亦有 21%之改善率。



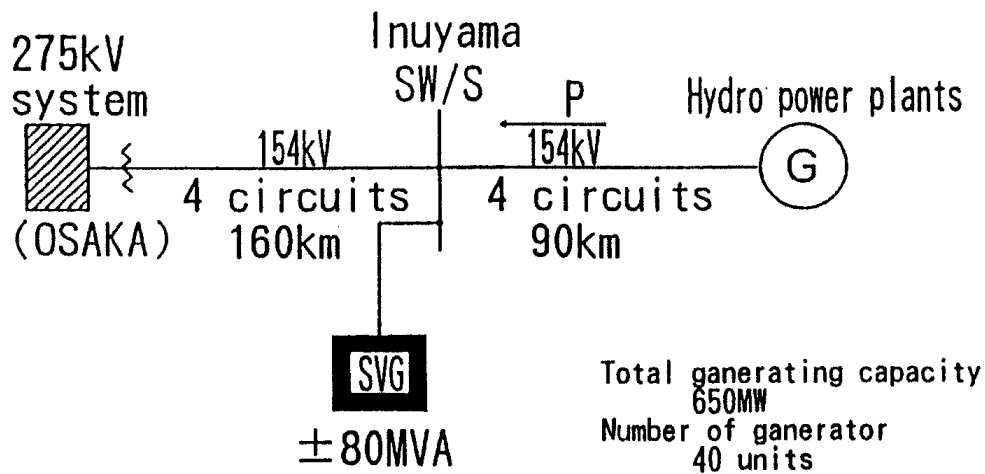
(a) 單獨 2 台同步電容器運轉

(b) 同步電容器與 SVC 同時運轉

關西電力枚方變電所 77KV 側電壓閃爍比較

b. 關西電力犬山開閉所 (Inuyama Substation) 裝設電力補償設備改善電力品質實例

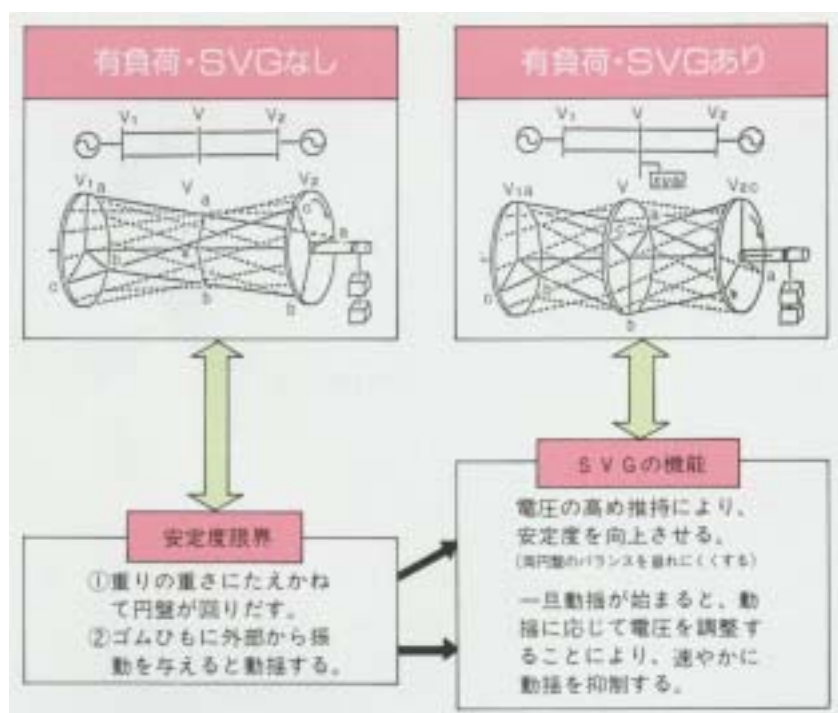
前面枚方變電所裝設電力補償設備是為了取代老舊同步電容器之汰舊換新。至於犬山開閉所，裝設電力補償設備之理由，乃為長途輸電的電力品質的改善需要。



犬山開閉所系統單線圖

由於木曾川水力發電廠輸送至東大阪變電所的輸電線路長達 250 公里，且犬山開閉所約位於線路中心位置，因此在此開閉所加裝靜態虛功率產生器 (SVG, SVC 的其中一種)，來補償長途輸電後的電力損失及抑制輸電線路產生的諧波。

下圖可清楚解釋為何長途輸電需要電力補償設備。

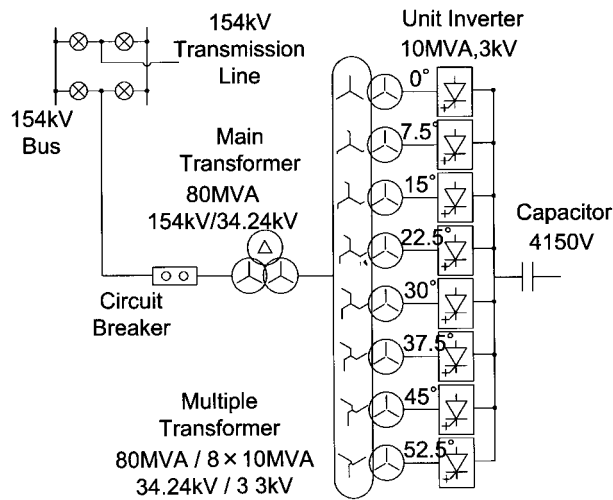


左圖說明因無電力補償設備（沒有中間的圓盤），因此只要兩端的負載加重時（加上鉛錘），電力系統將會呈現不穩定的狀態（圓盤中間的引線會糾結在一起）；但如在系統中加入補償設備（加入中間的圓盤），系統則會如右圖般地呈現穩定狀態（圓盤中間的引線不會糾結在一起）。

這是關西電力公司放在變電所介紹內，向一般民眾介紹電力系統穩定設備的廣告，非常淺顯易懂，值得本公司學習。

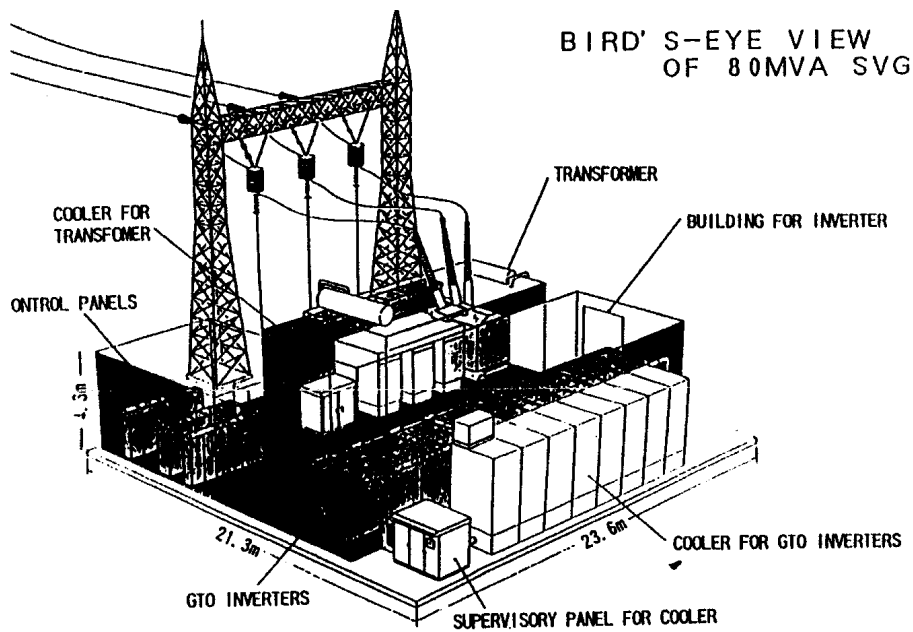
犬山開閉所使用之電力補償設備為日本三菱製靜態虛功率產生器（SVG，或稱為靜態同步補償器STATCOM），規格為154KV、300A、補償功率為 $\pm 80$ MVA，與前文所介紹之SVC的補償方式稍有不同，現將其介紹如下：

## System Configuration of 80MVA SVG



6

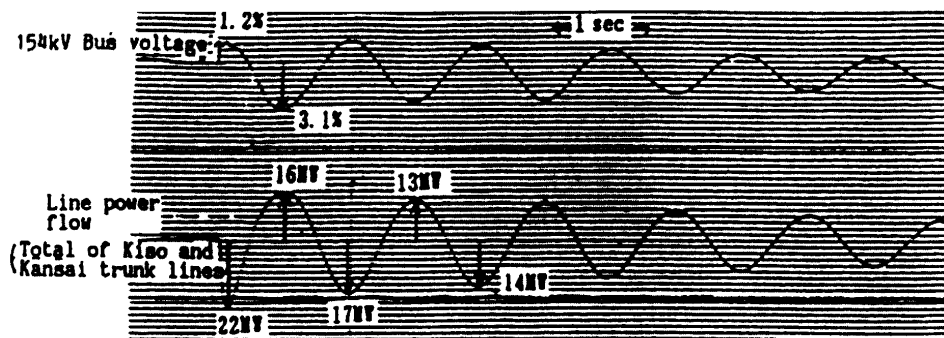
SVG 是由降壓變壓器（即上圖之主變壓器及多繞阻變壓器）、電壓源轉換器（即上圖之 Unit Inverter）和儲存式直流電源組合而成。SVG 的動作原理是從電壓源轉換器產生的電壓大小與系統電壓作比較，來控制產生或吸收虛功率（大於系統電壓則產生虛功、反之則為吸收）。SVG 另外一個功用更在於可作為主動式濾波器，改善電力品質。



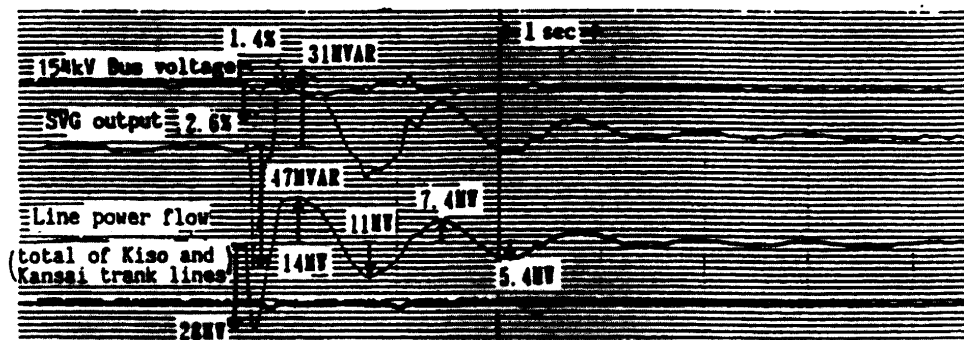
犬山開閉所 SVG 設備配置圖



## 犬山開閉所加入 SVG 設備後的改善成效



No SVG operation



SVG operation

## 參、綜合結論

近年來由於電力電子技術蓬勃發展，電力系統上的諧波污染源除原有的大容量非線性負載外（如電弧爐、軋鋼機..等），電力轉換設備亦已廣泛地應用於工業及民生用途上。由於此類負載所產生之諧波電流反注入電力系統，會造成系統電壓波形畸變，除影響供電品質，干擾電力設備之正常運轉，亦可能破壞變電所電力設備，造成如電容器組燒損、電力變壓器及輸電電纜過載等事故的產生。

此時正值新政府大力推廣將台灣建設為綠色矽島之際，穩定的電力品質供應將是此計畫的最重要因素；因此，為了有效防止因電力轉換設備及其他非線性負載之應用而引起的諧波污染擴大，以及提升電力系統之供電品質，本公司除積極致力於電力品質測量技術與管制標準等相關領域研究外，更向世界其他先進國家尋求如何抑制系統諧波等技術及改善供電品質之對策。本次出國實習的主要目的為實地瞭解日本電力公司及民間電機廠家對於改善電力品質的對策及新式設備，以作為日後面對此類問題時之參考。現將實習之綜合結論分述如下：

1. 本次出國行程中所拜訪的各電機廠家，電力品質改善設備研發經驗皆相當豐富，所開發出的電力改善設備亦遍及各國；此次實習除瞭解其電力改善設備的最新發展外，亦實地瞭解日本各電力公司於變電所內加裝電力品質補償設備如靜態虛功補償器（SVC）與濾波器（AC Filter）之實例及改善成果。
2. 目前在日本的電力公司中，需裝設電力補償設備（含諧波抑制）的變電所約分為四類：一為變電所附近有大容量的非線性負載用戶（如煉鋼廠），二為位於頻率切換區域（50Hz ↔ 60Hz）附近之變電所，三為長途輸電用之開閉所，四為新幹線鐵路電車供電用之變電所；本公司在目前系統上雖尚無需要裝設此等電力補償設備，但隨日後各家獨立電業公司（IPP）及台灣高速鐵路系統即將陸續完成，面對電力系統日趨複雜，本公司應即刻著手蒐集有關電力品質改善之相關資訊，以因應日後系統上的實際需要，維

持高品質的電力供應。

3. 從各電機廠家所提供之實績資料中發現，對於某些造成諧波污染之用戶，各電力公司的因應對策，一為採專線饋供，將其與其他用戶線隔離；二為要求此用戶自行加裝濾波設備改善，倘使因其廠內無空間或因電力專業能力不足而無法加裝時，亦可由用戶付費，而由電力公司從變電所內加裝諧波抑制設備來改善此一情況。
4. 因目前國內變電所及輸電線路的施設困難，對於某些高科技廠家用戶，有時無法以專線饋供，因此目前皆以環路及雙回路供電來解決此類問題；環路上若某一廠家的受電設備發生問題時，其餘廠家可立即由第二回路取得電源，但因此類廠家對於電力品質的要求非常高，在此電力切換的瞬間，亦可能對其生產流程造成莫大的損失。因此職於本次實習行前，單位長官特別交代蒐集有關協助高科技廠家解決瞬間電力低下 (Transient Voltage Dip) 的問題，經詢問日本各相關電機業者後，發現除不斷電系統 (UPS) 外，各家公司相繼都有更高性能的電力電子產品來解決此類問題，日後如高科技廠商用戶有需要，亦可提供相關資訊供其參考。
5. 職從過去認知中，SVC 設備僅僅提供系統虛功率補償用，經由此次出國實習與日本各電機業者實際討論及參觀變電所後，才發現 SVC 一詞乃為一統稱，其設備功能是由客戶所面對之系統情況 (如受諧波污染嚴重、電壓變動率或電壓閃爍值過大...等問題)，來彈性組合客戶所需之電力補償設備，因此其應用範圍十分廣泛。

## 肆、建議

- 1.因目前家用電腦普及，已漸漸成為一般家庭所必備的家用電器之一，然其所使用之交換式電源供應器亦為諧波污染源之一，為防患於未然，擬建議諧波之管制對象應包括一般家電等級。
- 2.因各家電機業者所運用在電力補償設備上的電力電子技術突飛猛進，除各有優點外，所組成的電力補償設備應用範圍也日益廣泛；為獲得更新及更專業的資訊，擬經由在台代理商或技術合作公司邀請各家業者來台介紹類似設備，除可讓公司其他同仁瞭解目前最新趨勢外，並可精進同仁在提高電力品質方面的知識。
- 3.日後系統若面對受污染較嚴重之用戶線時，電力公司方面除要求造成污染之用戶改善污染源外，如用戶無空間或無電力專業能力裝設電力補償設備時，亦可考量倣效日本電力公司作法，向污染源用戶收費，於變電所內安裝電力補償設備改善供電品質，也可維護其他受電用戶的權益。
- 4.諧波管制應嚴格執行。

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：抑制諧波或共振對變電所電力設備影響之技術

頁數 1 含附件： 是  否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

游志聖/台電公司/輸變電工程處/八等變電器材審查員/02-23229767

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究  4 實習 5 其他

出國期間：89.11.13. 89.11.26. 出國地區：日本

報告日期：90.01.15.

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：（二百至三百字）

1. 介紹赴日實習抑制諧波或共振對變電所電力設備影響之技術的緣起，並簡介赴日實習之行程。
2. 介紹何為諧波、諧波之相關專有名詞之定義、易成為諧波源的設備及諧波對本公司之電力設備會造成哪些危害，藉此對電力諧波有深一層的瞭解。
3. 介紹目前本公司及日本對相關諧波管制的標準，及目前日本電力公司方面最常使用之諧波抑制設備：一為諧波濾波器(Harmonic Filter)、二為靜態虛功率補償設備(Static Var Compensator)。
4. 介紹關西電力公司之枚方(Hirakata)變電所及犬山(Inuyama)開閉所裝設電力補償設備實例。
5. 綜合結論及建議。