

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實 習)

東京電力、韓電與星電 PowerGrid
解決輸電電纜造成線路端過電壓問題之借鏡

服務機關：台電系統規劃處

出 國 人 職 稱：電機工程監

姓 名：陳 建 堂

出國地區：日本、韓國、新加坡

出國期間：90.8.22~90.8.31

報告日期：90.10.23

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：東京電力、韓電與星電 PowerGrid 解決輸電電纜造成
線路端過電壓問題之借鏡

頁數 33 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/2366-7685

出國人員：姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

陳建堂/台灣電力公司/系統規劃處/電機工程監/2366-6897

出國類別： 1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：洽公

出國期間：90年8月22日~90年8月31日

出國地區：日本、韓國、新加坡

報告日期：90年10月23日

分類號/目

關鍵詞：**並聯電抗器**

內容摘要：(二百至三百字)

第六輸變電計畫完成後，屆時大量地下電纜所引起之過電壓情形，將影響系統運轉與設備操作之安全，東京電力、韓電與星電 PowerGrid 等公司裝設並聯電抗器之運用經驗，可為本公司借鏡。

裝設並聯電抗器，須作適當之系統過電壓分析，並依成本、安全與運轉方式等方面來考量；線路側並聯電抗器裝設較匯流排側費用便宜，額定電壓較低之並聯電抗器製造成本較便宜，線路側並聯電抗器較無運用彈性，線路端過電壓情形是決定線路側並聯電抗器容量之主要依據；建議 345KV 地下電纜以裝設線路側並聯電抗器為主，至於 161KV 系統，則宜視需要，彈性選擇裝設於線路側或匯流排側。

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：東京電力、韓電與星電 PowerGrid 解決輸電電纜造成線路端過電壓問題之借鏡	
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：(陳建堂/電機工程監/系統規劃處)	
出國計畫	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整 <input checked="" 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
主辦機關	<input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因：
審核意見	<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國資料為內容 <input type="checkbox"/> ③ 內容空洞簡略 <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及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 其他處理意見
層轉機關	<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)
審核意見	<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、 審核作業應於出國報告提出後二個月內完成。

總經理
副總經理

李甘常

單位
主管



直接
主管



報告人



目 錄

<u>一、 出國緣由與目的</u>	1
<u>二、 出返國行程</u>	2
<u>三、 心得與建議</u>	3
<u>四、 東京電力之作法與經驗</u>	8
<u>五、 韓電之作法與經驗</u>	15
<u>六、 新加坡電力之作法與經驗</u>	19
<u>七、 參考資料：</u>	24
<u>八、 附錄：</u>	25

圖表目錄

圖一．大東京都會區 275KV 輸電系統圖	13
圖二．東電輸電系統圖	14
圖三．韓電 345KV 輸電系統圖	18
圖四．星電 PowerGrid 輸電系統圖	23
<u>附錄一 東京電力可靠度定義</u>	26
<u>附錄二 東京電力 550KV 並聯電抗器及相關斷路器規範表</u>	27
<u>附錄三 東京電力 275KV 並聯電抗器及相關斷路器規範表</u>	28
<u>附錄四 東芝公司東京電力委製並聯電抗器一覽表</u>	29

一、 出國緣由與目的

由於本公司在都會區之輸電線路已逐步走入地下化，且執行中之第六輸變電計畫（期間 90.7 ~ 95.12）預計將新建完成 50 回線公里之 345KV 地下電纜、1,140 回線公里之 161KV 地下電纜，屆時當系統輕載或線路端打開時，地下電纜所引起之大量充電電容效應將造成端電壓過高情形，過高之端電壓將影響系統運轉與設備操作之安全，實有必要研擬適當之因應對策。

東京電力（TEPCO）、韓電（KEPCO）與星電子公司 PowerGrid 等公司，目前均已有在其系統上鋪設超高壓地下電纜使用之經驗，故前往研習前述公司在裝設並聯電抗器以解決大量地下輸電電纜造成線路端過電壓問題之對策與經驗，並進一步瞭解系統裝設並聯電抗器時之系統分析、設備規範、容量需求與運轉保護等應進行探討之相關課題，俾在本公司 345KV 與 161KV 地下電纜工程設計階段時，對裝設並聯電抗器之相關規範與設備需求之研訂能有所助益。

二、出返國行程

■ 8/22 台北(13:05) 東京(17:20)

■ 8/23 8/25 東京電力公司(TEPCO)8/26 東京(18:00)

漢城(20:15)8/27 8/28 韓國電力公司(KEPCO)8/29 漢

城(09:40) 新加坡(14:40)

■ 8/30 星電子公司 PowerGrid8/31 新加坡(13:10) 台北

(17:25)

三、心得與建議

(一) 觀乎東京電力、韓電與星電 PowerGrid 等公司之經驗與作法，本公司在大量 345KV 與 161KV 地下電纜加入系統之同時，也應在線路側或匯流排側裝設適量並聯電抗器以補償地下電纜提供至系統之充電電容，以避免造成線路端過電壓，影響系統運轉與設備操作之安全。對系統規劃而言，對下列各項之系統異常情況應適度的進行過電壓分析：

1. 單相接地故障。
2. 受電端負載跳脫。
3. 費南迪效應 (Ferranti effect)
4. 開關突波。
5. 雷擊突波。
6. 零點錯失電流現象 (zero-miss current phenomena)

(二) 並聯電抗器裝設之地點、容量、保護方式之選擇，可依設置成本、系統安全與運轉方式等方面來考量：

1. 線路側並聯電抗器裝設費用較匯流排側並聯電抗器便宜；額定電壓較低之並聯電抗器製造成本較便宜。
2. 線路側並聯電抗器於線路停用時，亦隨同線路切離系統，故相較於匯流排側並聯電抗器，較無運用彈性。

3. 模擬分析系統中地下電纜線路加壓後，將地下電纜線路任一端開路，其線路端過電壓情形是決定超高壓地下電纜線路側並聯電抗器容量之主要依據。
4. 參酌東京電力、韓電與新加坡 PowerGrid 之經驗與作法，建議 345KV 地下電纜充電電容之補償，以裝設線路側並聯電抗器為宜，至於 161KV 地下電纜充電電容之補償，對已構成 161KV 地下環路之系統，則宜視系統分析結果，再依需要選擇於線路側或匯流排側裝設並聯電抗器，以方便系統彈性運用。
5. 基於節省費用，匯流排側並聯電抗器建議優先考量裝設於主變三次側（tertiary）。
6. 關於零點錯失電流現象（zero-miss current phenomena）之對策。東京電力為了預防零點錯失期間，線路發生單相故障時，未故障相之斷路器無法打開，在 Shin-Toyuso 500KV 地下電纜線路的斷路器，改採單相開關斷路器（each phase switching CB）取代慣用的三相開關斷路器（three phase switching CB），俾於打開線路側並聯電抗器後再打開未故障相斷路器，並研擬出一套相關之斷路器開關操作控制程序。

韓電表示其開關設備已根據 IEC-694 最嚴苛之五項條件檢討，並未對零點錯失電流現象作特別之分析。星電 PowerGrid 雖表示未考慮零點錯失電流現象，但對於線路側並聯電抗器投入或切離，所可能產生之電壓暫態問題，亦採取了一套開關的操作程序因應。

(三) 此行東京電力公司同時安排參訪東芝 (Tosiba) 濱川崎重電場及關電工 (Kandenko) 公司，東芝是一家歷史悠久的大公司，重電場內每個大廠房分別是鉅大的 GIS、變壓器及電抗器生產線，席間亦提到該公司正與國內廠家合作製造南科 E/S 的主變壓器。關電工則為一獨立於東京電力的輸配電工程公司，除電力設備部外，亦跨足情報通信設備、建築設備等多元業務，成為一擁有上萬名員工之大型工程公司，據稱目前與台灣汽電公司有合作關係並已在台北成立連絡辦公室。本公司執行中之第六輪變電計畫工程量龐大，囿於公司本身輸變電工程處之施工執行能力，亟思採取統包發包的方式，以加速工程之進行，參訪上述兩公司後覺得，若國內承包商能適度統合國外資源，則統包發包未嘗不是可行之構想。

(四) 抵達行程第一站之東京成田機場 (NARITA AIRPORT)，外

頭雖微雨且時近黃昏，但視線尚稱清楚，從行進中的機場巴士望向窗外，延綿的超高壓架空線路映入眼簾，某些地方甚至以特別加高之鋼管鐵塔使數路架空線交錯而過，想想架空輸電線路尚能被堪稱首善的東京地區的居民接受，而回顧台灣，民眾無分城郊，經常對架空線路權抗爭與要求下地，以致國家基礎建設長期延誤與造成耗費大量社會成本，相較於日本的開發程度，尚有一段距離待追趕的台灣，又值此景氣低迷之際，實在沒有本錢一再耗弱下去，日本的想法或作法，也許值得台電與社會群體深思甚或以為借鏡。

(五) 最後建議事項，實屬老生常談，記得十幾年前首次奉派出國即曾建議提及，就是個別參訪數個國家或公司時（尤其是電力公司），雖然有既定研習目標與議題，唯受訪對方往往亦有可能提出其他議題，單獨派遣一人出國完成類似任務，非常辛苦。因此，基於互惠或滿足對方對本公司之興趣，建議：

1. 派遣人員出國時，最好有兩人同行，一則可相互照顧，安全較有保障，二來在行前資格即考慮兩人專業能力可以互補或基於培養後進新血的原則下，對於出國任務之達成，

較可收事半功倍之效。

2. 若僅能單獨派遣一人出國時，對於參訪同行（電力公司或相關機構）的類似行程，建議派遣資歷豐富人員可能較易達成出國的目標，惟單位內應能適度執行輪調制度，俾同仁在資深之餘，平時即能增加在本單位專業上的廣度，奉派出國時也就較能發揮。

四、東京電力之作法與經驗

東京電力自 1971 年鋪設第一條 275KV 地下電纜起至 1991 年止，差不多就完成了東京都會區 275KV 地下輸電系統，其大東京都會區 275KV 輸電系統圖如圖一所示，為應付高密度的負載需求，2000 年 11 月全長達 39.8 公里的第一條 500KV 地下電纜加入系統運轉，同時也完成了全世界第一座的 500KV 級地下變電所，目前各級地下變電所達 193 所，其中 500KV S/S 1 所、275KV S/S 15 所 154KV S/S 13 所 66KV 及 22KV S/S 164 所，在在顯示東京電力在地下輸電系統之運用技術與經驗上領先許多其他公司。茲就有關此行主要目的 並聯電抗器之補償運用，分項敘述參訪所得如下：

(一) 規劃地下電纜時應檢討可能造成過電壓及安全問題之異常情況。

1. 東京電力每年均進行檢討次年尖載及輕載時之系統電壓，再據以規劃裝設需要之無效電力補償設備，使系統電壓維持在規定電壓內。(按經詢問其無效電力補償設備裝設工期，表示需時約十個月)

2. 為裝設適量並聯電抗器以補償具有大量充電電流之線路

提供至系統之無效電力，東京電力會進行下述之各類過

電壓檢討：

- ◆ 單相接地故障。
- ◆ 負載跳脫。
- ◆ 費南迪效應。
- ◆ 開關突波。
- ◆ 雷擊突波。

(二) 對零點錯失電流現象 (zero-miss current phenomena) 之對策。

1. 東京電力針對 Shin-Toyuso 500KV 地下電纜線路分析，零點錯失電流現象發生在無載及輕載系統投入線路側並聯電抗器時，因並聯電抗器投入後產生一直流電流與負載電流複合，以致在直流成分衰減前負載電流波形無法通過零點。
2. 為了預防零點錯失期間，線路發生單相故障時，未故障相之斷路器無法打開，東京電力的 Shin-Toyuso 500KV 地下電纜線路斷路器，改採單相開關斷路器(each phase switching CB) 取代慣用的三相開關斷路器 (three phase

switching CB), 俾於打開線路側並聯電抗器後再打開未故障相斷路器。其相關斷路器之開關操作控制程序如下：

時間	開 關 操 作
0ms	線路發生單相故障
65ms	故障相斷路器打開
244ms	線路側並聯電抗器打開
360ms	受電端 (Shin-Toyuso S/S) 未故障相斷路器打開
460ms	送電端 (Shin-Keiyo S/S) 未故障相斷路器打開

(三) 並聯電抗器之裝設位置

1. 東京電力於 Shin-Toyuso 500KV 地下電纜線路側及 275KV 地下電纜系統與架空線系統間 (border) 之地下電纜線路側裝設並聯電抗器。275KV 地下電纜系統則於一次側匯流排裝設並聯電抗器，以便系統切分時，在無效電力補償上較具運用彈性。
2. 東京電力在匯流排一次、二次、三次側上都有裝設並聯電抗器之情形，原則上有大量之無效電力需補償時，採用較大容量並聯電抗器裝設在一次側補償之，需補償之無效電力較小量時，則於三次側裝設較小容量之並聯電抗器。

(四) 並聯電抗器之裝設容量

1. 東京電力目前裝設之線路側並聯電抗器容量如下表：

電壓等級	容量 (MVAR)
500KV cable	300
275KV cable	150 , 200
66KV cable	30

2. 東京電力目前裝設之匯流排側並聯電抗器容量如下表：

S/S 類別	容量 (MVAR)		
	一次側	二次側	三次側
500/275 KV			80
500/154 KV			40 , 80
275/154 KV	200		30 , 40 , 60 , 80
275/66 KV	150	30	20 , 30
154/66 KV	80	20	10 , 20 , 30
154/22 KV		10 , 20	
66/22 KV	10 , 20		

(五) 並聯電抗器之選擇

1. 線路側並聯電抗器裝設費用較匯流排側並聯電抗器便宜；額定電壓較低之並聯電抗器製造成本較便宜。因此較小容量之並聯電抗器可選擇裝設在匯流排三次側上，以節省成本。
2. 由於電壓變動上的限制，大容量之並聯電抗器不可能裝

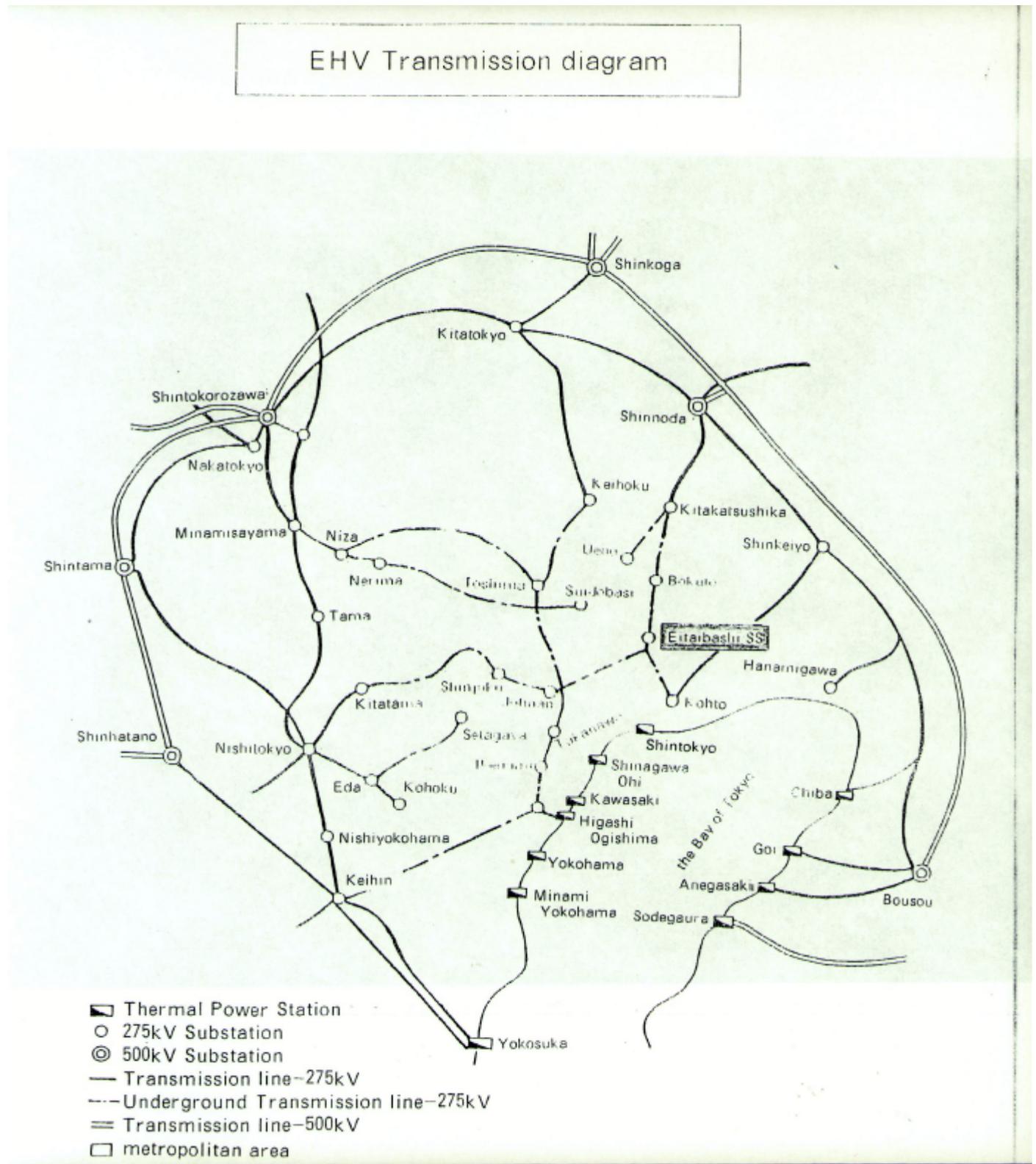
設在匯流排二、三次側上，只適於裝設在匯流排一次側或線路側上，而兩者可參酌下列差別比較表依個案作適當選擇：

線路側並聯電抗器	匯流排一次側並聯電抗器
即使線路打開，電抗器仍可補償電纜之充電電流。	當線路打開時，電抗器無法補償電纜之充電電流。
當線路打開或投入時，由於無效電力的改變較小，電壓變動相對較小。	當線路打開或投入時，由於無效電力的改變較大，電壓變動相對也較大。
當線路停用，電抗器也就難以再作其他運用。	當線路停用，電抗器還可容易運用。

(六) 東電至 1999 年發電機組總裝置容約 6,928 萬瓩，輸電線 39,419 回線公里(架空線 28,817 回線公里、地下電纜 10,602 回線公里)，東電既有輸電系統圖如圖二.所示。

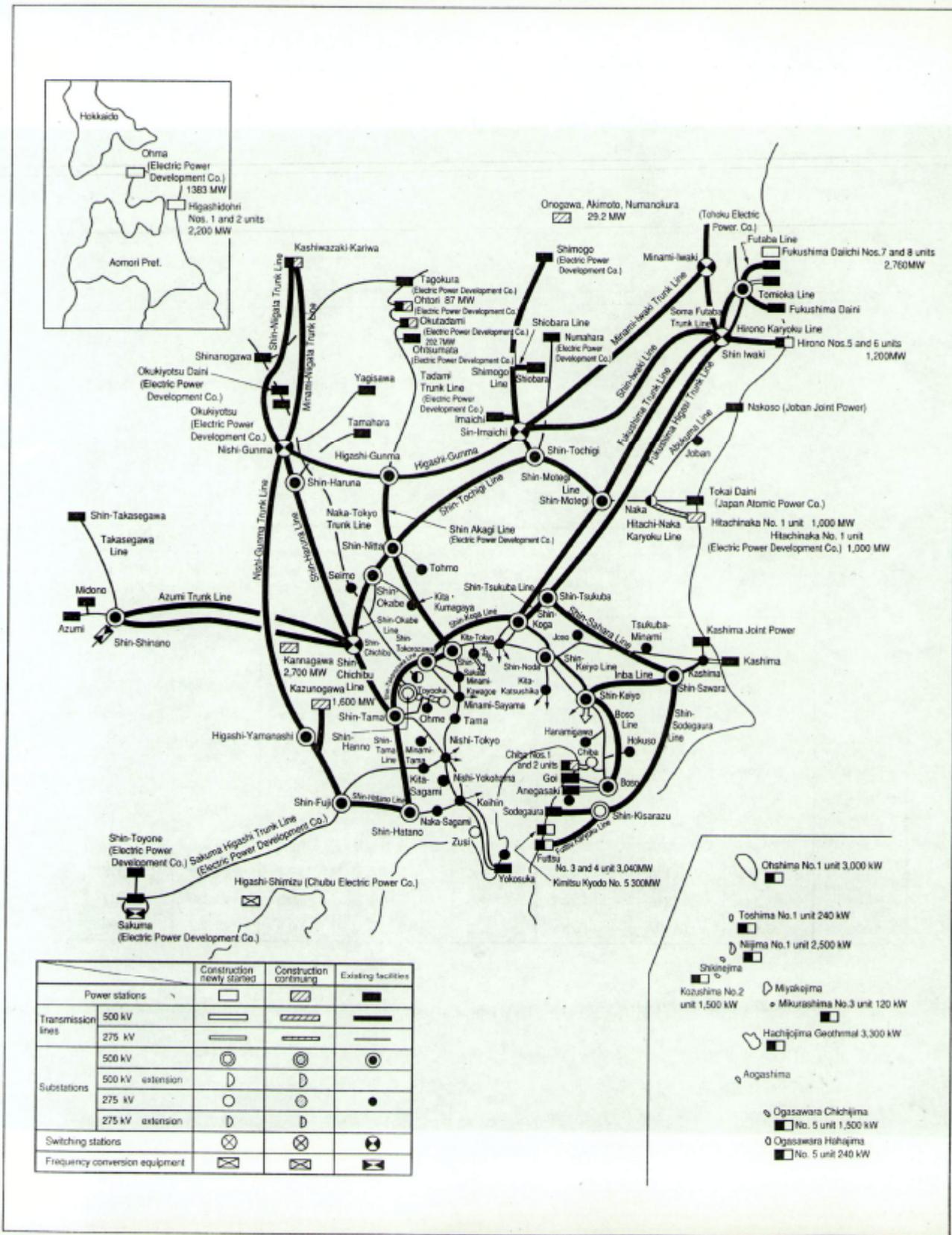
目前東京電力有幾條架空輸電線是採 1000KV 設計 500KV 運轉，其委託東芝公司建造的 1000KV 變電所亦在試運轉中，正有計劃的將輸電電壓與輸電容量推向另一個新的紀元。

圖一.大東京都會區 275KV 輸電系統圖



圖二.東電輸電系統圖

(as of March 31, 2000)



五、韓電之作法與經驗

韓電原為韓國唯一的電力事業，在政府推動自由化民營化的結果下，總裝置容量達 4,493 萬瓩的發電機組目前分屬六個發電子公司，輸電線 26,582 回線公里（架空線 24,974 回線公里、地下電纜 1,608 回線公里），變電所 483 所（345KV S/S 44 所、154KV S/S 399 所、66KV S/S 32 所、及 22KV S/S 8 所）總變電容量 125,700MVA，既有 345KV 地下電纜三路 93 回線公里乃近一兩年才完成加入系統，至 2003 年將陸續完成其計畫中的 345KV 地下電纜，韓電既有輸電系統圖如圖三所示。

韓電可說是充滿成長活力的公司，目前有幾條架空輸電線已採 765KV 設計 345KV 運轉，765KV 變電所亦在試運轉中，除積極簡化 66KV 系統外，並計劃將輸電電壓提昇至 765KV，以增加輸電容量及加強穩定度，號稱此為其 21 世紀輸電線路的紮根工程，茲就有關此行主要目的 並聯電抗器之補償運用，分項敘述參訪所得如下：

- (一) 對於系統過電壓問題韓電通常根據 N-1 或 N-2 準則作異常情況的分析，對於異常情況之分類如下表列：

系統設備	N-1 contingency	N-2 contingency
765KV 架空線		
345KV & 154KV 地下電纜		
345KV 兩回線 共架架空線		(一路異常)
重要 154KV 兩回線 共架架空線		(一路異常)
其他 154KV 架空線		
變壓器		
發電機		

狀況特殊時韓電亦進行暫態電壓分析，其利用程式為 EMTP、EMTDC、RTDS 等。

(二) 韓電未對零點錯失電流現象 (zero-miss current phenomena) 作特別之分析，唯認為其開關設備已根據 IEC-694 最嚴苛之五項條件檢討。

(三) 並聯電抗器之裝設容量

韓電 345KV 並聯電抗器裝設容量分 100MVAR 與 200MVAR 兩種。而其 345KV 東城線地下電纜線路側並聯電抗器，有採一側以兩只 100MVAR 電抗器並聯裝設之情形。

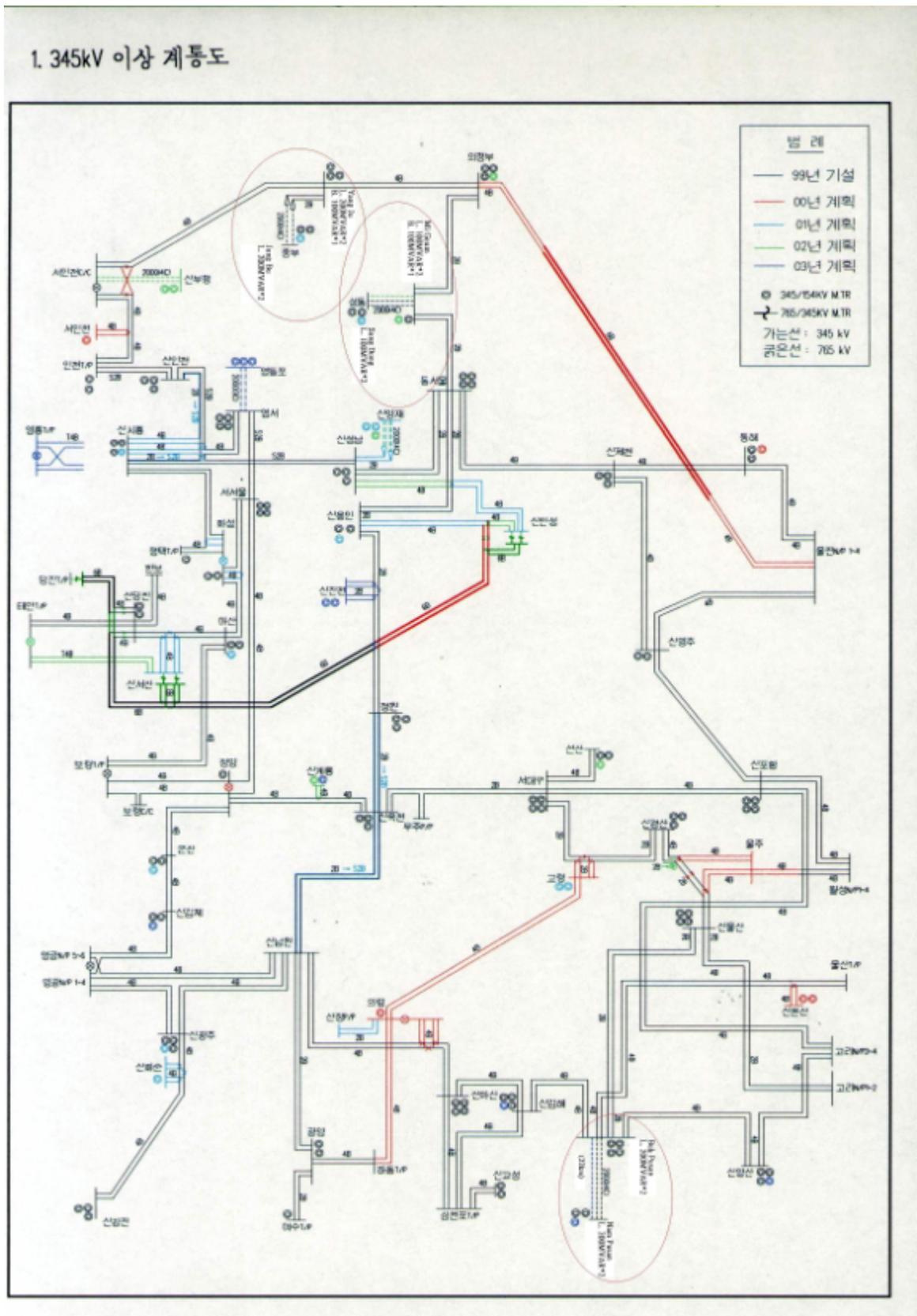
(四) 並聯電抗器之裝設位置

韓電在 345KV 地下電纜線路側或匯流排側裝設並聯電抗器，唯對長距離提供大量充電電流之線路，則在線路側裝設並聯電抗器予以補償，俾確保斷路器在任何情況下均能成功切斷線路電流。

(五) 並聯電抗器之選擇

韓電如何選擇在線路側或匯流排側裝設並聯電抗器，乃視情況而定。舉例來講，假使地下電纜非常長，提供大量充電電流，則為確保斷路器在任何情況下均能成功切斷線路電流，在線路側裝設並聯電抗器予以補償認為是必需的。

圖三.韓電 345KV 輸電系統圖



六、新加坡電力之作法與經驗

PowerGrid 是星電子公司之一，唯其經管的乃包含輸配電系統之全部供電網路，因此 PowerGrid 算是星電中員額較多較大的子公司，PowerGrid 全部輸配電網路均為地下系統，也由於新加坡各種管線地下化極為徹底，其公用事業法案對地面之挖掘施工規定嚴格，違者會被課處一百萬以下之罰鍰或被判處五年以下之刑責。星電系統雖非龐大，但營運方式極為現代化，1998 年更完成第一期的 400KV 地下電纜系統，依其規劃，待第二期的 400KV 地下系統擴充完成，即足可符合 21 世紀之成長需求。

星電 PowerGrid 輸電系統圖如圖四所示。

茲就有關此行主要目的 並聯電抗器之補償運用，分項敘述參訪所得如下：

- (一) 規劃地下電纜時應檢討可能造成過電壓及安全問題之異常情況。

星電 PowerGrid 為一全系統地下化之輸配電網路，對於地下電纜之運轉經驗豐富，特別對於超高壓地下電纜大量充電電流之補償，亦審慎進行單相接地故障、受電端負載跳脫、開關突波及費南迪效應等各項過電壓檢討分析。

(二) 星電 PowerGrid 雖未考慮零點錯失電流現象 (zero-miss current phenomena) , 但對於線路側並聯電抗器投入或切離 , 所可能產生之電壓暫態問題 , 亦採取了一套開關的操作程序因應。

1. 切離線路側並聯電抗器操作程序 :

Step	operation
1	打開線路兩端之斷路器(讓充電電流流經並聯電抗器)
2	打開並聯電抗器之隔離器 (isolator)
3	線路兩端之斷路器恢復閉合

2. 投入線路側並聯電抗器 (電纜頭有電磁 PT 接地):

step	operation
1	打開線路兩端之斷路器(讓充電電流流經電磁 PT 放電)
2	閉合並聯電抗器之隔離器 (isolator)
3	線路兩端之斷路器恢復閉合

3. 投入線路側並聯電抗器 (電纜頭無電磁 PT 接地):

step	operation
1	打開線路兩端之斷路器
2	打開線路隔離器 (circuit isolator)
3	閉合並聯電抗器之隔離器 (isolator)
4	線路隔離器恢復閉合 (circuit isolator)
5	線路兩端之斷路器恢復閉合

(三) 並聯電抗器之裝設容量

1. 新加坡 PowerGrid 目前裝設之線路側並聯電抗器容量如

下表：

電壓等級	容量 (MVAR)
400KV cable	100
230KV cable	50 , 100

2. 匯流排側並聯電抗器僅裝設於 230KV 系統，容量分為 50MVAR、100MVAR 兩種。

(四) 並聯電抗器之裝設位置

1. 原則上在線路側裝設並聯電抗器之主要目的為：

- ◆ 限制電纜投入或切離系統時產生之過電壓。
- ◆ 控制系統開關動作時產生之電壓變動。

2. 匯流排側裝設並聯電抗器之目的在調整網路電壓在要求範圍內 ($\pm 5\%$ for 400KV , $\pm 6\%$ for 230KV and below)。匯流排側並聯電抗器日常之投入或切離，均由電力控制中心遙控操作。

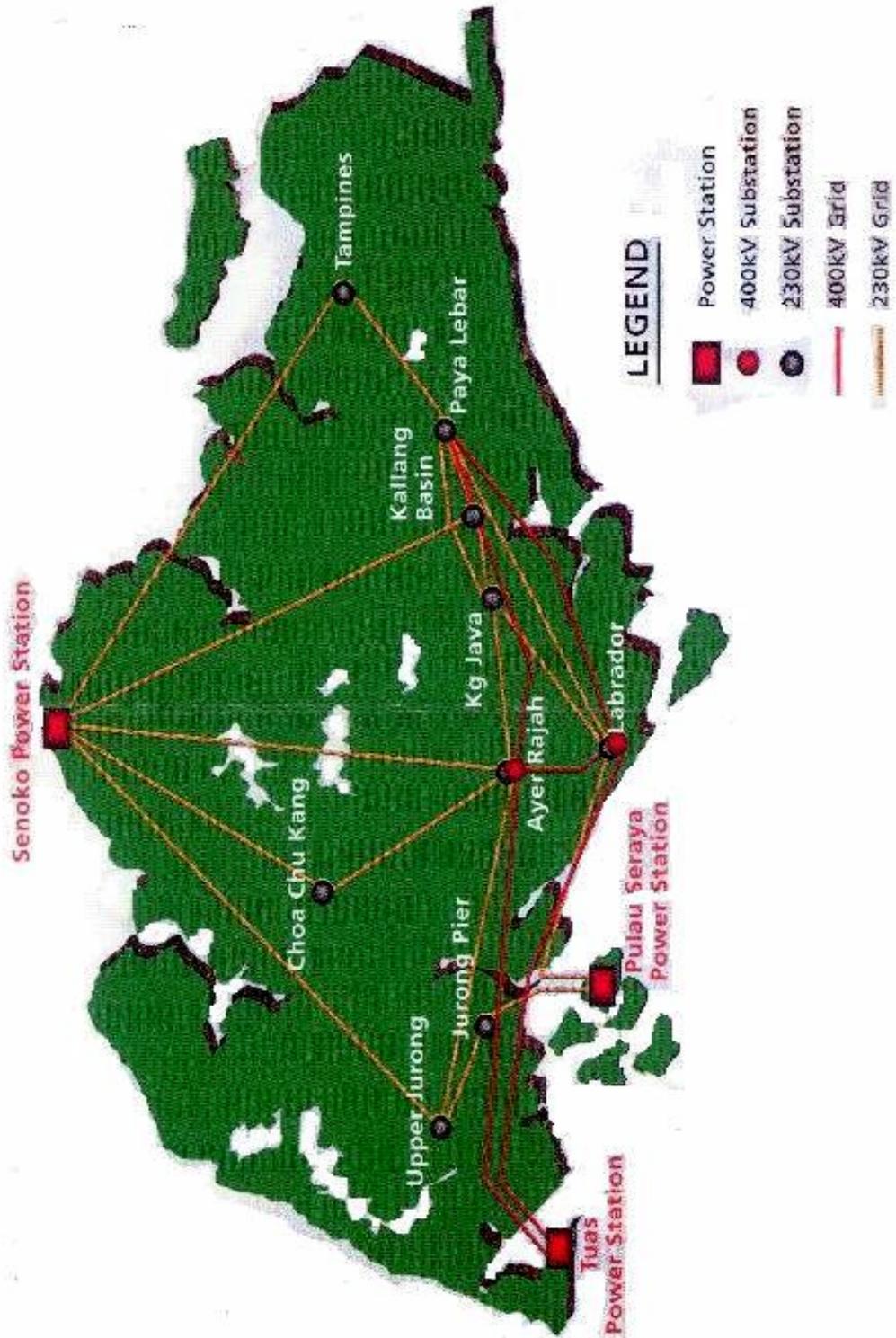
(五) 並聯電抗器之選擇

1. 線路側與匯流排側裝設並聯電抗器，有不盡相同的目的，對於長距之線路，則在線路側裝設並聯電抗器控制

線路開關時的電壓是必要的。從規劃觀點，假使兩者都能達到電壓調整的目的，則由於較便宜的關係，線路側並聯電抗器也就較被屬意。

2. 假使系統要求多種型態的補償，則必需採用匯流排側並聯電抗器。正常情況下，由於匯流排側並聯電抗器較有切換彈性，故在滿足系統動態的需求上，較為運轉人員所屬意。

圖四.星電 PowerGrid 輸電系統圖



七、 參考資料：

1. TEPCO 會社案内 2000。
2. TEPCO ILLUSTRATED 2000。
3. KEPCO annual report 2001。
4. Singapore Power annual report 2000。
5. Distribution Engineering of TEPCO (Ver.E-2.1) June 2000。
6. IEC 694 1st. edition 1980。

八、 附錄：

（本次出國，東京電力提供許多參考資料，特擇要納為本報告附錄）

附錄一 東京電力可靠度定義。

附錄二 東京電力 550KV 並聯電抗器及相關斷路器規範表。

附錄三 東京電力 275KV 並聯電抗器及相關斷路器規範表。

附錄四 東芝公司東京電力委製並聯電抗器一覽表。

附錄一 東京電力可靠度定義

Definition of Power Supply Reliability

(1) Target of Reliability

<p>Bulk Power System</p> <p>275kV and above Transmission and substation</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. The bulk power system should remain intact with no loss of load during any single contingency of fault. In the case that loss of load is limited to small area outside of Tokyo Metropolitan and supply is recovered automatically within 1 minute, the above rule is not necessarily applied. 2. The bulk power system should be able to avoid wide-area outages in case of double contingencies of fault.
<p>Local Power System</p> <p>154kV and below Transmission and substation</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Loss of load should be eliminated within relatively short period of time in case of any single contingency of fault. 2. Any single contingency of fault should not cause outage for very important customers or areas.
<p>Distribution System</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. In case of single contingency of fault in 6.6 kV distribution system, power supply to the customers located outside of the faulted section should be recovered within short period of time. 2. 22 kV distribution system configuration should be planned so as to recover loss of load within short period. 3. Any single contingency of fault should not cause outage for very important customers or areas. 4. Planned outage by construction or maintenance should not make reliability worse.

(2) Indices of Reliability

- SAIFI : Frequency of black-outs
System Average Interruption Frequency Index
(Number of outages/customers/year)
- SAIDI : Duration of black-outs
System Average Interruption Duration Index
(Minutes/customers/year)
- Scale of black-outs
Non-transferable load due to h-1 contingency (kW)

附錄二 東京電力 550kV 並聯電抗器及相關斷路器規範表

Main specification of 275kV Shunt Reactor

Items	Specifications
Rated Capacity	200MVA, 150MVA
Rated Loss	less than 0.35% of rated capacity less than 0.4% of rated capacity
Rated Insulation level	250kV (1h) ~ 330kV (1min) ~ 250kV (1h)
Lightning impulse withstand level	1,050kV 1,155kV
Long-duration power frequency withstand voltage	less than 85dB less than 80dB less than 75dB
Sound Level	55K 60K When oil in main tank is not in contact with air outside
Temperature Rise Limit	Natural thermosiphon oil flow Forced oil circulation
Oil	When oil in main tank is not in contact with air outside
Distortion Level	110% of rated voltage 115% of rated voltage
Tolerance	Distortion ratio less than 1% Distortion ratio less than 2% 0~-5%

※We do not have 154kV shunt reactors

Main Specification of Circuit Breakers associated with 275kV Shunt Reactor

Items	Specifications
Rated Normal Current	2,000A
Rated Interrupting Current	50kA
Rated Interrupting time	2 cycles
Rated Insulation level	250kV (30min) ~ 330kV (1min) ~ 250kV (30min)
To earth	Long-duration power frequency withstand voltage Lightning impulse withstand level
Across open circuit breaker	1,050kV (950kV) 250kV (30min) ~ 330kV (1min) ~ 250kV (30min)
Rated Short-time Withstand Current	over 1,050kV (950kV)
Rated Transient Recovery Voltage (Rate of rise)	50kA 2.0kV/μs

※ For circuit breakers for 275kV shunt reactors, we apply interrupting phase controlling systems.

附錄三 東京電力 275KV 並聯電抗器及相關斷路器規範表

Main specification of 550kV Shunt Reactor

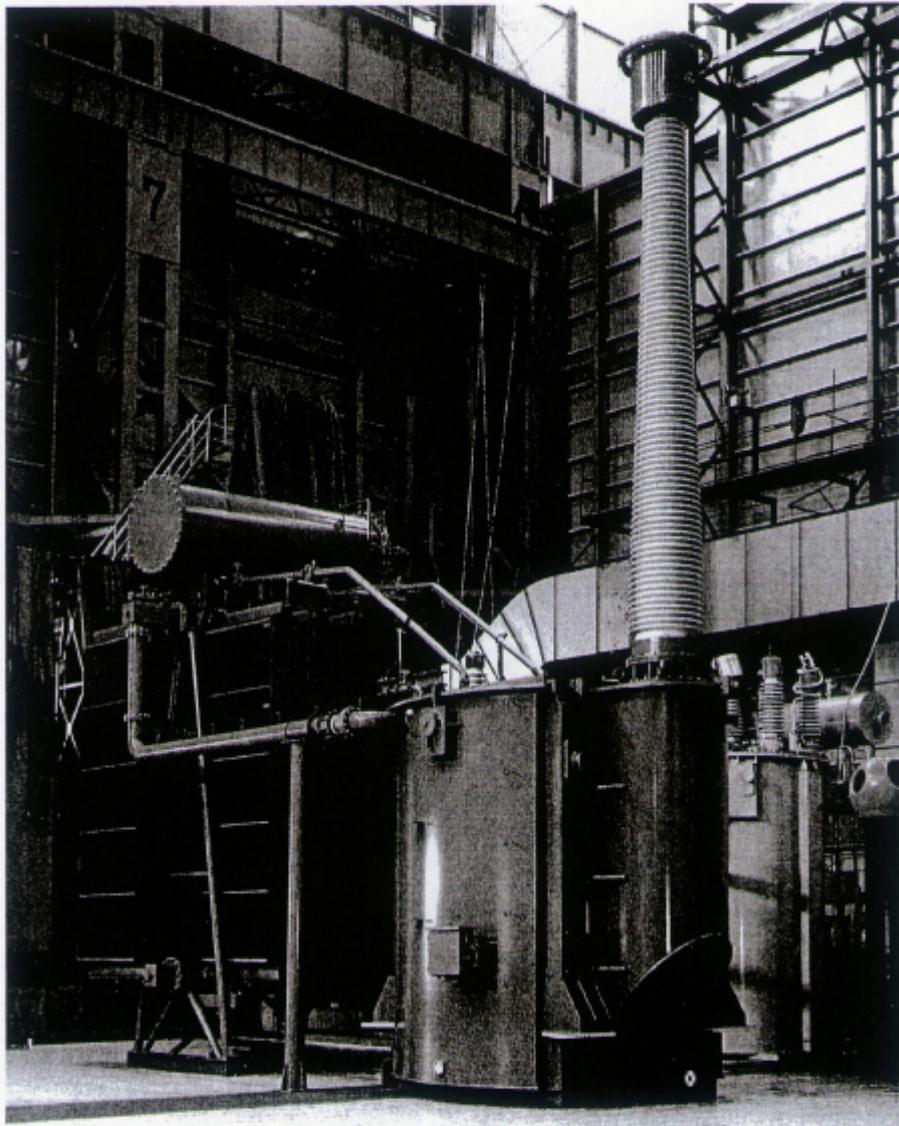
Items	Specifications
Rated Capacity	300MVA
Rated Loss	less than 0.35% of rated capacity
Rated Insulation level	475kV(5min)~635kV(1min)~475kV(5min)
Lightning impulse withstand level	1,300kV(1,050kV)
Sound Level	less than 65dB (85dB)
Temperature Rise Limit	55K
Winding	Natural thermosiphon oil flow
Oil	Forced oil circulation When oil in main tank is not in contact with air outside
Distortion Level	110% of rated voltage
	115% of rated voltage
Tolerance	Impedance 0~-5%
	Distortion ratio less than 1%
	Distortion ratio less than 2%

Main Specification of Circuit Breakers associated with 550kV Shunt Reactor

Items	Specifications
Rated Normal Current	2,000A
Rated Interrupting Current	63kA
Rated Interrupting time	2 cycles
Rated Insulation level	475kV(30min)~635kV(1min)~475kV(30min)
To earth	Long-duration power frequency withstand voltage Lightning impulse withstand level
Across open circuit breaker	Long-duration power frequency withstand voltage Lightning impulse withstand level
Rated Short-time Withstand Current	475kV(30min)~635kV(1min)~475kV(30min)
Rated Transient Recovery Voltage (Rate of rise)	One side:1,800kV (1,425kV) Other side:550kV $\sqrt{2/\sqrt{3}}$
	63kA
	2.0kV/ μ s.

※ For circuit breakers for 550kV shunt reactors, we apply interrupting phase controlling systems.

REFERENCE LIST SHUNT REACTORS



[1] 10,000 kVAR and Above

Customer	Installed at	Q'ty	Capacity (kVAR)	Freq. (Hz)	Voltage (kV)	Cooling	Year of Manufacture	Remarks
Tokyo Electric Power Co.	Shin-Toyosu	2	300,000	50	500	OFWF	1998	
Electric Power Development Co.	Sakaide	1	250,000	60	500	ONAN	1993	
Chubu Electric Power Co.	Umemori	2	200,000	60	275	ONAN	1988	
Tokyo Electric Power Co.	Kita-Tama	2	200,000	50	275	OFAF	1994	
Tokyo Electric Power Co.	Kita-Tama	1	150,000	50	275	OFAN	1976	
Tokyo Electric Power Co.	Kita-Tama	1	150,000	50	275	OFAN	1977	
Tokyo Electric Power Co.	Kita-Tama	1	150,000	50	275	OFAN	1978	
Tokyo Electric Power Co.	Suidobashi	1	150,000	50	275	OFWF	1980	
Tokyo Electric Power Co.	Nihonbashi	1	150,000	50	275	OFWF	1986	
Tokyo Electric Power Co.	Suidobashi	1	150,000	50	275	OFWF	1986	
Tokyo Electric Power Co.	Eitaibashi	1	150,000	50	275	OFWF	1986	
Tokyo Electric Power Co.	Eitaibashi	1	150,000	50	275	OFWF	1990	
Tokyo Electric Power Co.	Suidobashi	1	150,000	50	275	OFWF	1993	
Tokyo Electric Power Co.	Kohoku	1	150,000	50	275	OFAF	1994	
Tokyo Electric Power Co.	Katsunan	3	150,000	50	275	GFWF	1994	
Tokyo Electric Power Co.	Kohoku	1	150,000	50	275	OFAF	1995	
Electricity Supply Commission (South Africa)	Beta	10	400,000/3	50	765/ $\sqrt{3}$	ONAN	1985	
Kyushu Electric Power Co.	Kita-Kyushu	1	100,000	60	66	OFAF	1979	
Kyushu Electric Power Co.	Buzen	1	100,000	60	66	ONAN	1985	
Kyushu Electric Power Co.	Buzen	1	100,000	60	60	ONAN	1986	
CL & P (Hong Kong)	Lai Chi Kok	1	100,000	50	400	ONAN	1986	
Tokyo Electric Power Co.	Shin-Koga	1	100,000	50	20	OFAF	1988	
Tokyo Electric Power Co.	Shin-Tama	1	100,000	50	20	OFAF	1988	
Tokyo Electric Power Co.	Shin-Tokorozawa	1	100,000	50	20	OFAF	1988	
Tokyo Electric Power Co.	Shin-Tokorozawa	1	100,000	50	20	OFAF	1988	
Kyushu Electric Power Co.	Buzen	1	100,000	60	60	ONAN	1992	
Tokyo Electric Power Co.	Shin-Keljo	6	300,000/3	50	500/ $\sqrt{3}$	OFAF	1999	
Tenaga Nasional Berhad (Malaysia)	Air Tawar	2	90,400	50	500	ONAN	○	
Tenaga Nasional Berhad (Malaysia)	Bukit Tarek	2	90,400	50	500	ONAN	○	

[1] 10,000 kVAR and Above

Customer	Installed at	Q'ty	Capacity (kVAR)	Freq. (Hz)	Voltage (kV)	Cooling	Year of Manufacture	Remarks
Tokyo Electric Power Co.	Johnan	2	40,000/80,000	50	60	OFWF	1972	
Tokyo Electric Power Co.	Johnan	1	80,000	50	60	OFWF	1974	
DSI (Turkey)	Carsamba	1	80,000	50	380	OFAF	1977	
Tokyo Steel Mfg. Co.	Okayama	1	78,200	60	12.903	OFAF	1991	
BC. Hydro (Canada)	Ingledow	2	75,000	60	12	ONAF	1968	
Saiam-Strip-Mill (Thailand)	Rayong	1	71,600	50	12.903	OFAF	1997	
NPC (Philippines)	Karayan Naga	1	70,000	60	245	ONAN	1987	
Hokkaido Electric Power Co.	Oono	1	70,000	50	10	OFAF	1992	
National Thermal Power Corporation (India)	Singrauri etc.	2	63,000	50	420	ONAN	1984	
Electricity Corporation (Saudi Arabia)	Hail II	2	60,000	60	380	ONAN	2000	
TAVANIR (Iran)	Tabriz	4	50,800	50	400	ONAN	1989	
TAVANIR (Iran)	Karoon	1	50,800	50	400	ONAN	1989	
TAVANIR (Iran)	Arak	1	50,800	50	400	ONAN	1989	
CADAFE (Venezuela)	El Tablazo	4	50,000	60	400	ONAF	1983	
CADAFE (Venezuela)	Buena Vista	3	50,000	60	400	ONAF	1983	
Kyushu Electric Power Co.	Nishi-Fukuoka	1	50,000	60	66	ONAN	1984	
National Thermal Power Corporation (India)	Farakka etc.	2	50,000	50	420	ONAN	1984	
National Thermal Power Corporation (India)	Farakka etc.	4	50,000	50	420	ONAN	1985	
TAVANIR (Iran)	Fasa	2	50,000	50	400	ONAN	1985	
HIDRONOR (Argentina)	Choele Choel	1	50,000	50	$500/\sqrt{3}$	ONAN	1989	
Tokyo Electric Power Co.	Tabata	1	50,000	50	10	OFAN	1989	
WED (Abu Dhabi)	Al-Ain	6	48,000	50	19.98	ONAN	1991	
MEW (Kuwait)	Sabah Al Salem	4	45,000	50	33	ONAN	1986	
MEW (Kuwait)	Sabah Al Salem	1	45,000	50	33	ONAN	1997	
MEW (Kuwait)	West Jaleeb	4	45,000	50	33	ONAN	○	
MEW (Kuwait)	Ahmadi	4	45,000	50	33	ONAN	○	
WAPDA (Pakistan)	Multan	4	111,300/3	50	$550/\sqrt{3}$	ONAN	1986	
WAPDA (Pakistan)	Multan	3	111,300/3	50	$550/\sqrt{3}$	ONAN	1989	
WED (Abu Dhabi)	Al-Ain	4	36,000	50	36	ONAN	1992	

[1] 10,000 kVAR and Above

Customer	Installed at	Q'ty	Capacity (kVAR)	Freq. (Hz)	Voltage (kV)	Cooling	Year of Manufacture	Remarks
Kyushu Electric Power Co.	Yamaie	1	30,000	60	66	ONAN	1957	
P.U.B. (Singapore)	Jurong	4	30,000	50	10	ONAN	1968	
Comision Tecnica Mixta de Salto Grande (Uruguay)	Palmer	2	30,000	50	31.5	ONAN	1978	
Comision Tecnica Mixta de Salto Grande (Uruguay)	Montevideo	2	30,000	50	13.8	ONAN	1978	
Tokyo Electric Power Co.	Kudan	1	30,000	50	20	OFWF	1980	
Tokyo Electric Power Co.	Suidobashi	1	30,000	50	21	OFWF	1982	
SCECO (Saudi Arabia)	Majmaah Road	2	30,000	60	33	ONAN	1983	
Tokyo Electric Power Co.	Suidobashi	1	30,000	50	21	OFWF	1987	
Tokyo Electric Power Co.	Eidaibashi	1	30,000	50	21	OFWF	1987	
Tokyo Electric Power Co.	Eidaibashi	1	30,000	50	21	OFWF	1988	
Tokyo Electric Power Co.	Eidaibashi	1	30,000	50	21	OFWF	1991	
Tokyo Electric Power Co.	Eidaibashi	1	30,000	50	21	OFWF	1993	
Kansai Electric Power Co.	Shin-Aimoto	1	27,500	60	11	OFAN	1957	
Tohoku Electric Power Co.	Sendai	3	25,000	50	33	OFAN	1960	
Ministry of Works Power and Water Electricity Directorate (Bahrain)	Isa Town North	2	25,000	50	66	ONAN	1981	
Ministry of Works Power and Water Electricity Directorate (Bahrain)	Busaitin	1	25,000	50	66	ONAN	1981	
NPC (Philippines)	Hermosa	1	25,000	60	230	ONAN	1990	
Kansai Electric Power Co.	Osaka	2	20,000	60	77	ONAN	1960	
Tokyo Electric Power Co.	Kameido	1	20,000	50	10/20	ONAN	1964	
Tokyo Electric Power Co.	Minami-Ohta	1	20,000	50	20	OFAN	1965	
Chugoku Electric Power Co.	Okayama	1	20,000	60	66	ONAN	1967	
TEK (Turkey)	Etibank	2	20,000	50	170	ONAN	1969	
Kansai Electric Power Co.	Osaka	1	20,000	60	77	ONAN	1982	
Kansai Electric Power Co.	Osaka	2	20,000	60	77	ONAN	1989	
WAPDA (Pakistan)	Multan	4	54,000/3	50	550/ $\sqrt{3}$	ONAN	1989	
Comision Tecnica Mixta de Salto Grande (Uruguay)	Salto Grande	16	50,000/3	50	500/ $\sqrt{3}$	ONAN	1978	
Comision Tecnica Mixta de Salto Grande (Uruguay)	Salto Grande	10	50,000/3	50	500/ $\sqrt{3}$ /31.5/ $\sqrt{3}$	ONAN	1978	with secondary
TAVANIR (Iran)	B/Lengeh etc.	8	16,540	50	21	ONAN	1986	
Kansai Electric Power Co.	Hirakata	2	15,000	60	77	ONAN	1952	

[1] 10,000 kVAR and Above

Customer	Installed at	Q'ty	Capacity (kVAR)	Freq. (Hz)	Voltage (kV)	Cooling	Year of Manufacture	Remarks
EGAT (Thailand)	Sirindhorn Surat Thani	2	15,000	50	115	ONAN	1985	
Tokyo Electric Power Co.	Nishi-Sagami	2	10,000	50	20	ONAN	1965	
TEK (Turkey)	Etibank	4	10,000	50	170	ONAN	1969	
Japan National Railways	Tsunashima	1	10,000	60	77	ONAN	1976	

Note:

1. Abbreviation for cooling system

- ONAN ----- Oil - immersed self - cooled
- ONWF ----- Oil - immersed forced - water cooled
- ONAF ----- Oil - immersed forced - air cooled
- OFWF ----- Forced - oil forced - water cooled
- OFAF ----- Forced - oil forced - air cooled
- OFAN ----- Forced - oil self - cooled
- GFWF ----- Forced - gas forced - water cooled

2. Abbreviation for cooling system

- ----- Under manufacturing