

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

赴美國奇異公司參加電力系統研習班

服務機關：台電公司 電力調度處
出國人職 稱：九等電機工程師
姓 名：蔡文達
出國地區：美國
出國日期：89年9月5日至90年4月22日
報告日期：90年6月19日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國奇異公司參加電力系統研習班

頁數 50 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/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡文達/台灣電力公司/電力調度處/九等電機工程師/2366-6610

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：89.9.5 - 90.4.22 出國地區：美國

報告日期：90.6.19

分類號/目

關鍵詞：奇異電能顧問部門 (GEPSEC)、電力系統研習班 (PSEC)

內容摘要：(二百至三百字)

美國奇異公司(GE)係世界知名且為主要的電機設備製造與電力技術研發機構，其舉辦之電力系統訓練課程，至今已有五十二年歷史。課程主要為電力系統分析、調度運轉、最新電力技術及全球電業趨勢之傳授，內容涵蓋發、輸、變、配電及控制、保護設備及電力系統模擬軟體等相關先進電力知識。受訓期間並實地參觀發電廠、獨立調度中心、設備製造廠及電力研究中心，期使理論與實務相結合。近年來發生大規模停電事件後，深切體會電力專業知識須加強之必要，以期對日益龐大且複雜的電力系統，作出更有效之分析。參加該項訓練課程，除學習其先進電力系統技術及全球電業趨勢外，並能與其他國家電力工程師交換經驗與心得。如此將有助於提昇電力調度技術與運用績效。

目 錄

	頁次
一、 緒論	1
二、 電力系統研習班課程說明	4
三、 電力系統研習班課程分析	23
四、 課程期間參觀訪問活動	28
五、 建議	42
六、 附件	45

一、 緒論

電力為工業之母，是經濟發展的生產動力，也是現代社會日常生活不可或缺的要件。在科技日益發達的今日，舉凡農業、工業和商業，包括審計、生產或政府部門的一切經濟活動，均與電力的使用息息相關，尤其現代人生活的食、衣、住、行和育樂，種種活動所需的各種電氣化產品，皆有賴電力供應其動力。際此知識經濟時代，人類所賴以交換訊息的機器與設備，尤須全面倚靠電力的供應。

近年國內電力事業發展，遭受空前未有的阻力，新建發電廠受到民眾以環保因素抗爭受阻外，興建輸電線與變電所亦遭受嚴重阻力，除進度延宕外，然用電需求幾乎每年固定幅度成長，如此情況已持續數年，預計未來幾年亦有相同困境。而本公司採取之因應之道，僅能在原有電廠之多餘空間增建可快速興建完成之複循環發電機組，如南部、興達與林口電廠等之複循環機組。此型機組係以天然氣為燃料，通常是運用於用電尖峰時之快速啟動機組，但其燃料成本昂貴，導致電價將有調漲之隱憂；另一方面，南電北送情況嚴重，此係負載中心與電源相距過遠，南部電源必須靠三迴路超高壓線路傳送至北部負載中心，如此，除在傳送中有線路損失外，亦增加電力系統之不穩定性。

今日電力系統的複雜度已提高許多，欲作出更精確的系統模擬分析，除需具備功能強大分析軟體外，更需要具電力背景人才。而美國奇異公司之 PSEC 課程自 1949 年開課以來，已培養超過 1500 名來自超過 50 個國家電機工程師。甚至先進國家如日本，每年皆派遣約 10 名工程師參加此課程，其中電機界重量級公司 TOSHIBA 亦在名列之中。故參加此課程將對電力系統分析工作有極大的助益。

本次出國目的係參加奇異公司之電力系統工程學課程
(Power System Engineering Course ; PSEC) , 上課地點位於紐約州 Schenectady 郡之 GE 電力系統部門 , 如下圖所示



出國行程：

89.9.5 89.9.6 台北 Newark,NJ Albany, NY

89.9.7 90.4.19 GE Schenectady, NY

90.4.20 90.4.22 Albany, NY Newark,NJ 台北

本報告內容共分成六部分：

- 第一部分 緒論：主要闡明該出國計劃之背景、動機及內容；
- 第二部分 奇異公司 PSEC 課程說明：針對 GE PSEC 課程重點式瀏覽，包括每一課程名稱、授課老師背景、重要相關理論之瞭解，此部分為本報告主要重點所在；
- 第三部分 奇異公司 PSEC 課程分析：針對第二部分歸納出 GE PSEC 課程特性，主要以表格呈現；
- 第四部分 課程期間參訪活動：參訪地點有：GE 公司 TNA 實驗室、發電機與渦輪機工廠、EPRI 高壓實驗室、NY ISO、GLEHEIM-GILBOA 抽蓄發電廠與 PTI 公司；
- 第五部分 建議：對本報告之作一總結與建議，以供後續同仁更順利學習及參考；
- 第六部分 附件：GE PSEC 課程學習結果，包括 PSEC 結業證書、學習成績、學員名冊、PSEC 經理感謝函與學員照片等。

二、奇異公司 PSEC 課程說明

美國奇異公司所開設電力系統訓練課程，共分四部分，為期約七個半月之三十週密集課程，每年九月開課至翌年四月結束，以下為課程內容：

(一) 第一部份(The first quarter)：輸電系統分析與規劃 (Transmission Analysis & Planning)

1. 基本電路分析複習(Circuit Analysis Review)：

由 Union College 電機系 Ekram Hassib 教授負責指導，內容包含電路元件特性、複數相量、基本電路理論之 KCL 與 KVL、正弦穩態電路、串/並聯共振電路、理想變壓器與三相系統功率之計算；在網路分析方面，分別介紹分壓及分流技巧、戴維寧及諾頓定理之電壓與電流源轉換與應用於節點電壓和迴路電流等分析方法；之後教授拉氏與反拉氏 (Laplace & Inverse Laplace) 轉換及應用於電路之微分方程式求解。接著對週期函數使用傅立葉級數分析進而求解亦有詳細之說明；離散系統之數位信號處理方面，介紹 Z 及 Inverse Z 轉換特性及其處理方法、最後說明數位信號之取樣理論。本課程主要目的係喚起與加強電機工程師基本電路分析觀念，以便接續下一課程。

2. 電力系統之基本分析 (Power System Analysis)：

此課程由奇異公司電力系統能源顧問 (Power System Energy Consulting ; GEPSEC) 資深工程師 Joe Plewinski 先生負責指導，首先對輸電線模型提出說明，係依短程、中程、長程輸電線分別定義不同模型，接著說明平衡與不平衡故障電流分析，不平衡故障電流方面，使用對稱成分法求正序、負序與零序成分，再

依線對地、線對線及兩線對地故障，組成對應之網路圖進而求解故障電流值。平衡三相系統可用單相等效電路及標么值的方法得到簡便的計算。另外電力潮流亦屬於電力系統中重要課題，因其對系統特性分析扮演重要角色，電力潮流主要由網路中各發電機電壓、總電源供給量與總負載量決定後，利用電力潮流方程式求出負載匯流排電壓、相角及線路之實、虛功率。求解電力潮流問題，常用高斯塞德法（Gauss-Seidal）或牛頓拉福森法（Newton-Raphson），通常牛頓拉福森法收斂快而效率較佳。本課程主要目的係加強電力工程師之電力系統分析觀念，以對整個課程產生最佳概念。

3. GE 電力系統分析軟體 PSLF 簡介（PSLF Seminar）：

此課程由奇異公司電力系統能源顧問（Power System Energy Consulting；GEPSEC）資深工程師 Brian Jacobsen 先生負責指導，PSLF（Positive Sequence Load Flow）照字面意思為正相序負載潮流，但其實是電力系統分析模擬套裝軟體，計算電力潮流、故障電流與模擬暫態穩定度。此軟體與目前本公司系規處、調度處所使用之 PTI PSSE 係出自同一人之手，故 PSLF 可讀取 PSSE 格式且操作方式亦類似，但 PSLF 偏向 DOS 環境下運作，不過其動態特性較佳，GE 近年大力以低價推行 PSLF 軟體，已獲許多顧問公司與電力公司採用，然其市場佔有率仍落後 PTI 之 PSSE。本課程主要目的係對 PSLF 操作更加熟練，以應用在下一課程 - 輸電線分析與定價。

4. 輸電線分析與定價 (Transmission Analysis and Pricing):

此課程由奇異公司電力系統能源顧問 (Power System Energy Consulting ; GEPSEC) 資深工程師 Ronald Hauth 先生負責指導，首先介紹全球電力市場概況，並針對近年來世界各國電力市場解除管制後之環境，主要重點是美國本地電力環境，加以說明運轉與規劃的改變。接著概述解制後整個輸電線之定價模式，然後分組競賽，利用上週 PSLF 軟體執行電力潮流及穩定度，以符合競賽規定，達到課程學習目的。

5. 突波現象 (Surge Phenomena):

此課程由奇異公司電力系統能源顧問 (Power System Energy Consulting ; GEPSEC) Liz Practico 與 John Skliutas 二位資深工程師負責指導，本課程主要目的係增進電機工程師輸電系統之絕緣協調能力，以最低成本設計具可靠性之系統絕緣。內容包含：

- (1) 輸電線之進行波方程式 (Transmission Line Equations & Traveling Waves)
- (2) 進行波在線路接合點之行為特性 (Behavior of Traveling Waves at Junctions)
- (3) 進行波在線路多重端點與分歧點之行為特性 (Complex Terminals , Line Bifurcation)
- (4) 晶格圖之應用 (Lattice Diagram)
- (5) 進行波衰減與失真 (Attenuation and Distortion of Traveling Waves)
- (6) 輸電線遭雷擊之概述 (Lightning Performance of Transmission lines – General Concepts)
- (7) 避雷器基本原理及應用 (Surge Arresters – Fundamentals ,

Application)

- (8) 系統接地 (System Grounding)
- (9) 鐵磁共振 (Ferroresonance)
- (10) 回復電壓 (Recovery Voltage)
- (11) 開關突波之控制 (Switching Surge Control)
- (12) 絕緣協調 (Insulation Coordination)

以上內容將使工程師具備對突波現象的分析能力，以降低電力系統的過電壓至適當範圍，而減少損害。

(二) 第二部份(The second quarter)：進階電力系統議題
(Advanced Power Systems Topics)

1. 同步機 (Synchronous machines):

由 Rassenlaer Polytech Institute (RPI) 電力系 Dr. Shepherd Salon 教授負責指導，同步機械是電力系統最重要元件之一，故本課程主要目的係加強電機工程師同步機運轉及分析的能力，內容包含

- (1) 同步機的概念 (Introduction)
- (2) 三相系統同步機之等效電路方程式 (Equivalent Circuits)
- (3) 三相系統與 dq 軸之轉換 (dq Transformation)
- (4) 以標么值表示之派克方程式 (Park's Equation in Per Unit)
- (5) 穩態運轉 (Steady State Operation)
- (6) 同步機設計與建造 (Design & Construction of Synchronous Machines)
- (7) 飽和現象 (Saturation)
- (8) 應用於穩定度之模擬模型 (Simulation Models in Stability Constants)

以上內容約可分成數學模型與效能分析兩大部份。

2. 電力系統暫態穩定度 (Transient stability):

此課程由 GE PSEC 資深工程師 Dr. Wenchun Zhu (朱文純博士) 負責指導，朱博士係中國清華大學畢業、美國奧勒岡大學電機博士，GE 資歷約七年，目前於奇異公司 PSLF 程式發展小組任職，上課講授內容主要有穩定度理論推演、電廠實務投影片，同時以奇異公司所發展之 PSLF 程式進行模擬，說明電力系統受到擾動後所產生的現象，及各式設備在電力系統受擾動後，對系統穩定

度之影響。課程主要探討主題如下：

- (1) 電力系統穩定度簡介(Introduction to Power System Stability)
- (2) 電力系統穩定度與擺動方程式及電力角之關係
(Understanding Power System Stability via Swing Equation and Power-angle Relationship)
- (3) 穩態時有效電力之控制(Real Power Control during Steady-State)
- (4) 暫態穩定度(Transient Stability)
- (5) 等面積評斷法(Equal Area Criterion ; EAC)
- (6) 可影響暫態穩定度之控制設備(Controls Which Can Affect Transient Stability)
- (7) 使用數位模擬方式分析多機系統之暫態穩定度(Multi-machine System Transient Stability Analysis Using Digital Simulations)

電力系統穩定度係系統運轉的基本原則保持電力平衡，即發電量與負載，損失及線路潮流平衡，當電力系統遭受一干擾，包括故障發生，機組跳脫時，每一機組之轉子速度、角度及端電壓皆產生變動，發電機—渦輪機之力矩不再平衡，轉子轉速將隨著渦輪機的淨機械輸入功率與發電機的淨電氣輸出功率變化而加速或減速，如果機組遭受擾動後，仍能回復正常保持同步運轉則稱之為穩定。本課程依穩定度分類說明穩態穩定度、暫態穩定度及動態穩定度，利用簡單兩組系統及等面積法則來介紹穩定度基本概念及臨界清除角度，臨界清除角定義是指系統可維持穩定之最大轉子角。但本課程重點是暫態穩定度。課程中對影響系統穩定度之因素及如何加強電力系統穩定度的各種方法亦予討論，其方法簡述如下：

- (1) 快速復閉(High Speed Reclosing)
- (2) 單相切換(Single Pole Switching)
- (3) 動態煞車(Dynamic Breaking)
- (4) 蒸氣閥提前控制(Early Valve Actuation)
- (5) 串聯電容器之投入(Series Capacitor Reinsertion)
- (6) 相位移控制(Phase shifting)

本課程結束後與系規處林華民君安排朱博士至本公司免費展示 GE PSLF 軟體。

3. 電力系統小信號穩定度 (Small signal stability):

指導者 Dr. Juan J. Sanchez-Gasca 係奇異公司軟體應用小組成員，課程著重在數學模式之理論推演，主要內容說明動態穩定度分析，其需考慮同步轉矩及阻尼轉矩之貢獻，利用線性化技巧，解析出系統之轉移函數及頻率響應，透過此程序了解動態穩定度之特性，進而分析電力系統穩定器(PSS ; Power System Stabilizer)，原動機及調速機對系統之影響。最後對負載特性模型作一基本介紹，目前較常使用之負載模型為定阻抗、定電流與定電力之組合模型，且負載特性對系統穩定度有極重要之影響。

4. 電壓補償與彈性交流輸電系統 (Voltage Compensation & FACTs):

指導者 Ronald L. Hauth。Ronald 自 1979 年起已於 PSEC 課程講授系統穩定度等相關主題，理論及實務經驗豐富，PSEC 課程負責人特地延攬，有關電壓補償及彈性交流輸電系統課程，除以理論介紹，另輔以實務操作效果之經驗作為補充。本課程首先介紹負載補償，其目的在於(1)改善功率因素(2)改善電壓調整率(3)平衡三相負載，進而達到最經濟之電力系統及滿足電壓位準與系統同步穩定。接著介紹三類基本補償裝置如：(1)串聯電容器(2)並聯電容器(3)並聯電抗器之特性。串聯電容器有增加電力傳輸能力，降低電壓變動，增加暫態穩定度及提升瞬間過載能力等特性。並聯電容器有改善輸配電系統電壓，增加電力傳輸能力及降低電力傳輸能力及降低線路開關突波之特性。並進一步分析輸電線補償前及補償後之特性。最後對靜態無效電力補償器(SVC：Static Var Compensation)之補償方式加以討論。另一主題 FACTS(Flexible AC Transmission System)彈性交流輸電系統是屬於固態電子設備，旨在快速控制系統電壓、阻抗及相位角，而達到控制有效/無效電力潮流，增加系統阻尼及穩定度。其中並聯補償器以 STATCON、SVC 代之，而串聯補償器以 TCSC 代之，相角移以 TCPR 代之。STATCON(Static Condenser):有減少電壓變化及閃爍，改善電壓調整，快速暫態反應特性，而 TCSC (Thyristor-Controlled Series Capacitor) 閘控串聯電容器，有增加系統穩定度，減少次同步共振，提高電力傳輸能力等功能。

(三) 第三部份(The third quarter)：策略性的規劃與運轉
(Strategic Planning & Operation)

1.電力系統運轉 - 控制 (Power System Operation-Control):

本課程指導者 William W. Price 係 GE PSEC 資深工程師，課程講授主要著重於熱力學及數學模式之理論推演。電力系統運轉課程，上課講授主要內容有：

- (1) 課程及能源控制中心簡介(Introduction to Course and Energy Control Centers)
- (2) 動態系統模組(Dynamic System Modeling)
- (3) 各式控制系統之特性與績效 (Characteristics and Performance of Control Systems)
- (4) 慣性、負載及速度控制等各調速特性(Inertia , Load and Speed Control Governing Characteristics)
- (5) 原動機動態模組(Prime Mover Dynamic Models)
- (6) 自動發電控制(Automatic Generation Control)
- (7) 長時間之電力系統動態分析(Long-Term Power System Dynamics)
- (8) 各種電力系統擾動(Power System Disturbances)
- (9) 電力系統狀態預估(Power System State Estimation)

電力系統操作需考慮電力品質、系統安全、經濟性。為應付時刻變動的用電需求，保持供電品質，有賴於有效功率/頻率之控制及無效功率/電壓之控制。前者旨在使系統頻率維持於正常同步頻率 $\pm 0.05\%$ ，後者在使系統電壓維持於額定電壓 $\pm 5\%$ 。有效功率/頻率控制方面，正常運轉下係透過調速機(Speed Governor)，自動發電控制(AGC：Automatic Generation Control)，經濟調度控制(EDC;Economic Dispatch Control)，緊

急運轉下係透過卸載(Load Shedding)，發電機解聯(Generation tripping)運作。

另於無效功率/電壓控制方面，正常運轉下係透過控制變壓器接點調整，發電機匯流排電壓(激磁系統)，靜動態並聯補償(電容，電感，靜態虛功率補償器，同步調相機)來達成。緊急運轉下透過卸載，增減發電量，動態並聯補償完成。按著介紹動態系統模型化，其中說明轉移函數分析，狀態變數及線性，非線性系統，按著說明控制系統之特性反應，一階、二階系統之時域反應及比例，積分及微分控制器之行為。另解析發電機慣量，調速機，負載特性及水力，蒸氣及氣體渦輪機之動態模型，最後就自動發電控制作一扼要說明。

2. 電力系統運轉：考量經濟因素 (Power System Operations : Economics):

指導者 Kim Arthur Wirgau 係 GE PSEC 高級工程師，課程講授方式除數學模式之理論推演，並以應用程式模擬電力系統於不同條件下之運轉情形。電力系統的基本原理是必須在固定頻率，電力平衡下運轉，發電量，負載損失及線路潮流必須相等，滿足以上情形之各發電機出力組合有無限多種，經濟調度旨在配合負載之變動，分配各發電機之出力，而達到最經濟之運轉。上課講授主要內容有：

- (1) 電力系統互聯後系統運轉之簡介(Introduction)
- (2) 電力資訊系統開放聯結與衝擊(Open Access and its Impact)
- (3) 水力電廠之各種特性(Hydro Plant Characteristics)
- (4) 火力電廠之各種特性(Thermal Plant Characteristics)
- (5) 互聯後之電力系統(Interconnected Power System)
- (6) 經濟調度數學模式(Economic Dispatch Formulation)

- (7) 經濟調度求解技術 (Economic Dispatch Solution Techniques)
- (8) 輸電損失考量因素 (Transmission Loss Consideration)
- (9) 最佳電力潮流 (Optimal Power Flow)
- (10) 自動發電控制 (Automatic Generation Control)
- (11) 互聯後電力系統之運轉 (Operation of Interconnected Power System)

3. 公用事業經濟學 (Utility Economics) :

指導者為 Richard M. Sigley 君，Sigley 君自 1972 年起便於奇異公司 PSEC 課程中指導有關事業經濟方面議題，並曾任 PSEC 課程經理，目前雖已自奇異公司退休，然於 PSEC 課程主辦單位邀請之下繼續指導，課程講授方式除介紹財務管理觀念，並佐以數學模式之理論推演。講授主要內容有：

- (1) 簡介 (經濟決策與財務數學) (Introduction , Economic Decisions , and Financial Mathematics)
- (2) 財務數學之工具 (不同數列之各等化值) (Tool of Financial Mathematics [Series Factors , Equivalence])
- (3) 資金成本, 會計原則, 物價上漲及稅賦減免 (Cost of Capital , Accounting Principles , Inflation , and Discount Rates)
- (4) 折舊與資金回收 (Depreciation and Capital Recovery)
- (5) 進一步折舊考量與資金潮流 (Further Depreciation Considerations and Funds Flow)
- (6) 加速折舊減稅, 營業收入稅及財產稅 (Tax Depreciation , Income Taxes , Property Tax)
- (7) 營運收入方程式, 交替案比較及多種交替方案 (Revenue Equation , Comparison of Alternatives , Multiple

Alternatives)

- (8) 營運收入需求，年度成本與固定費用比率 (Revenue Requirement, Annual Cost, and Fixed Charge Rates)
- (9) 現值，不同使用年限及物價上漲之影響 (Present Worth, Unequal Lives and Inflation Effects)
- (10) 貼現現金流量及資金回收比率 (Discounted Cash Flow and Rate of Return)
- (11) 租用或購買及其他議題模式 (Lease vs. Purchase and Modeling Issues)
- (12) 無盡年之年資金收益，決策樹，風險與不確定性 (Revenue Requirement to Infinity, Decision Trees, Risk and Uncertainty)

4. 策略性的輸電與發電規劃 (Strategic Transmission and Generation Planning):

指導者 Gary Jordan 與 Richard Szczepanski 均為 GE PSEC 資深工程師，課程以講授電源規劃並考量電網因素，並以分組方式應用 PSLF 程式模擬十年的電力系統以達到學習的目的。上課講授主要內容有：

- (1) 北美電力網路總覽 (Overview of Electric Utility Market)
- (2) 發電可靠性 (Generation Reliability)
- (3) 電力生產因素之模擬 (Production Simulation)
- (4) 調度準則 (Dispatch Criteria)
- (5) 失負載機率 (Loss Of Load Probability ; LOLP)
- (6) 緊急調度程序 (Emergency Operating Procedures)
- (7) 發電規劃 (Generation Planning)
- (8) 輸電規劃 (Transmission Planning)

- (9) 負載預測(Load Forecasting)
- (10) 財務會計(Financial Accounting)
- (11) 分組方式應用 PSLF 程式模擬遊戲 (Utility Business Game)

課程中亦傳授最少成本規劃(Least Cost Planning)之計算，另結合發電成本之估計，考慮發電機組運轉 優先順序及輸出大小，以及電廠擴建投資成本，做為輸電系統規劃方面：首重何地可建新輸電線，何時需完成以供需求，何種型式線路如電壓等級，交流或直流輸電線(HVDC)，採用一或二迴路線路，是否需要加裝串聯補償器，其次線路所需費用及效益之評估，進而研討穩態負載潮流，電壓變化和嚴重事故情形下之暫動態穩定度分析。除了以上增進新線路外也需考慮新線路，有困難時之替代方案以增加線路傳輸能力。其替代方案概括如下：加上串聯補償器、並聯補償器、直流輸電線、靜態無效補償器、單相切換技術、電力系統穩定器及相位移相器。學員採分組方式，透過電腦程式進行規劃模擬，同時於規劃期間加入狀況：如機組故障檢修，線路停用，燃料成本增加等，以考驗學員之應變能力等。

4. 具競爭性的發電事業 (Competitive Power Generation):

指導者為 Bill Palmer 及 Richard S. Szczepanski 二位電力專家，Richard 君已於前次報告中介紹，Bill Palmer 君曾先後擔任奇異公司發電部門之單位經理、奇異公司所投資之子公司副總經理等要職，於發電端領域經驗十分豐富，課程講授係以觀念介紹為主，並將上課學員分為四小組，以 IPP 之角色自居，並使用 GTPRO 軟體程式 (熱力學) 模擬、加上工程經濟之考量，建造 IPP 電廠，達到課程學習的目的。

上課講授主要內容有：

- (1) 簡介及概論 (Introduction And Overview)
- (2) 機械工程－O－(熱力學基本概念) (ME-101 Thermodynamic Basics)
- (3) 蒸氣渦輪機之熱循環 (Steam Turbine Cycles)
- (4) 蒸氣渦輪機與系統考量 (Steam Turbines And System Considerations)
- (5) 氣渦輪機(熱循環與期望運轉時間) (Gas Turbines , Cycles And Operational Expectations)
- (6) 蒸氣發電機之重要原則及設備 (Steam Generation Principles And Equipment)
- (7) 排熱系統及電廠輔助設備 (Heat Rejection Systems And Power Plant Auxiliaries)
- (8) 複循環機組 (Combined Cycles)
- (9) 汽電共生 (Cogeneration)
- (10) 專案成本預估 (Project Cost Estimating)
- (11) 電廠計劃經濟評估 (Power Plant Project Economic Evaluation)
- (12) 氣渦輪機維修成本 (Gas Turbine Maintenance Costs)
- (13) 可靠度 - 可使用度 - 可維修性 (Reliability - Availability - Maintainability)
- (14) 目前熱門議題 (Emission Issues)
- (15) 績效測試 (Performance Testing)
- (16) 低於設計條件下之運轉測試 (Off Design Operation)

(四) 第四部份(The fourth quarter)：工業及配電系統之應用
(Industrial & Distribution System Application)

1. 旋轉機械 (Rotating Machines)：

指導者為 Dr. Sheppard Salon 教授，Dr. Salon 君曾服務於西屋公司，實務經驗十分豐富，目前係 RPI (Rensselaer Polytechnic Institute) 學院電力工程系教授，上課時理論與實務並重，每位同學並於課堂上製作了玩具旋轉機，非常愉快地達到課程學習目的。

上課講授主要內容有：

- (1) 磁路 (Magnetic Circuits)
- (2) 電機機械之磁動勢與力距 (MMF and Torque in Electric Machines)
- (3) 電動機控制之基本理論 (Fundamentals of Electric Motor Control)
- (4) 直流機 (Direct Current Machines)
- (5) 同步機 (Synchronous Machines)
- (6) 感應機 (Induction Machines)
- (7) 無刷直流電動機之驅動 (Brushless DC Motor Drives)
- (8) 電力系統中電動機啟動之議題 (Power System Issues With Motor Starting)
- (9) 交流電動機之啟動設備與應用實例 (Alternative Motor Starting Equipment & Application Examples)
- (10) 交流機之選擇 (AC Motor Selection)
- (11) 特殊機械 (Special Purpose Machines)
- (12) 相間與接地事故 (Phase and Ground Faults)

課程一開始介紹電磁場之基本定理、Maxwell 公式、Faraday 定理、Lenz 定理、磁通密度與磁路之磁阻定律。然後應用上述電

磁理論說明直流電機動作原理及轉矩/電壓關係式，依其連接型式可分為分激式、串激式、自激式與複激式四類。了解直流電機特性後，進一步說明交流同步機之功率、轉矩/轉速之關係與同步機當作電動機、同步調相機及發電機之應用。同時繼續探討感應機之速率/轉矩特性及感應馬達速率控制與起動特性。最後概略簡介特殊功能之旋轉電機及其應用。

2.高壓直流輸電 (HVDC Transmission):

指導者為 Murray Eitzmann 君，Murray Eitzmann 君為 GE PSEC 部門資深工程師，上課係以 Seminar 方式進行，非常迅速地介紹該領域內所應用之理論與實務之現況。

講授主要內容有：

- (1) 高壓直流輸電之簡介 (Introduction)
- (2) 高壓直流輸電之應用 (HVDC Application)
- (3) 轉流器之操作 (Converter Operation)
- (4) 轉流器之方程式 (Converter Equation)
- (5) 高壓直流輸電之控制和系統功效(HVDC Control and System Performance)
- (6) 系統整合 (System Integration)

高壓直流輸電與傳統之交流輸電比較，除具經濟性，環保之優點外，尚具有下列技術上的優點：(1)可降壓運轉。(2)不同頻率之電力聯結，如日本 60HZ 與 50HZ 系統連結。(3)電纜輸電，可減低如 AC 系統需無效電力補償。(4)電力潮流控制。(5)降低短路電流。(6)改善系統穩定度。另介紹 HVDC 整流器(Converter)與換流器(Inverter)之運作原理，公式計算及有效無效電力的控制。

3.電力電子 (Power Electronics) :

指導者為 Carl Wegner 君，為 GE PSEC 部門資深工程師，上課亦以 Seminar 方式進行，非常迅速地介紹該領域內所應用之理論與實務之現況。

上課講授主要內容有：

- (1) 簡介與半導體物理 (Introduction)
- (2) 電力電子裝置特性 (Device Characteristics)
- (3) 諧波之控制與保護 (Harmonics Control and Protection)
- (4) 電力事業上之應用 - 相位控制 (Selected Utility Applications – Phase Control)
- (5) 電力事業上之應用 - 脈衝寬度調變 (Selected Utility PWM Applications – BESS、SSVR)

4.配電設備與應用 (Distribution Equipment & Applications) :

指導者為 Paul Steciuk 與 Walt Ros 君，Paul Steciuk 君為 Northeast Power Company 負責人、係一配電設計顧問公司，曾經擔任 GE 公司資深工程師。Walt Ros 君為 IEC 副總裁，目前為 IEEE Member。二者均為奇異公司自業界請來授課的講師。

上課講授主要內容有：

- (1) 電壓調整 (Voltage Regulation)
- (2) 配電系統之過流保護 (Distribution Systems Overcurrent Protection)
- (3) 電力品質之瀏覽 (An Overview of Power Quality)
- (4) 計算損失之基本觀念 (Fundamental of Loss Evaluation)
- (5) 無效功率補償與電容器應用 (Kilovar Supply and Capacitor Application)
- (6) 電壓調整器應用之根本 (Fundamentals of Regulator

Application)

(7) 可靠度 (Reliability)

配電系統網路型式，可大略區分二種，一為美國所採用三相四線式(二次側 Y 接，中性點接地)，二為歐洲地區所採用，三相三線式(二次側 A 或 Y 接)，除以上二種系統之變壓器接線，變壓器容量選定，損失之計算外，另介紹配電系統之特性，如電壓降，電壓閃爍，電壓調整率及低電壓與過電壓對系統之影響，進而考慮裝設串聯電容器補償無效電力，改善電壓調整及功因。最後介紹配電系統過電壓及過電流之保護方式如使用避雷器(Arrester)保護過電壓，使用熔絲 (Fuse)保護過電流及避雷器電壓之選定。另一主題電力品質，首先定義影響電力品質因素，如：

Sag：電壓偏低下期間少於 2 秒之現象

Spike：電壓大幅突變之暫態現象

Swell：電壓升高之現象

Interruption：電壓中斷期間少於 2 分鐘之現象

Harmonic Distortion：電壓與電流波形扭曲之現象

Flicker：連續週期之電壓異常變動之現象

Noise：連續週期之高頻信號干擾之現象

由於電力品質之惡化將導致連續流程之製造業、資訊業、資料處理、通信、銀行及醫院與軍事設施等造成嚴重影響。其中電壓低下現象可因事故、負載大馬達起動或點焊變動所引起，解決方式可以電壓補償為之。電壓閃爍現象可因軋鋼，電弧爐週期變動負載所引起，造成電燈閃爍及設備誤動作，解決方式可以改善負載週期，降低系統阻抗及加裝 SVC，STATCON 為之。最後諧波可因靜態補償器，變壓器飽和，交直流馬達，電弧爐及電視所引起，造成設備誤動作及變壓器，電容器過載，解決方式可以諧波濾波器消除之。

5. 保護電驛 (Protective Relaying) :

指導者為 Mike Reichard 與 Louie Powell 君,兩者均為 GE PSEC 部門資深工程師,本課程首先介紹電力系統基本元件之保護觀念,儀器變壓器和電驛用來偵測電流和電壓,並決定是否需切離故障。儀器變壓器有兩種基本型式:比壓器(PT)和比流器(CT),而 CT 飽和問題影響電驛可靠度甚鉅,若選用錯誤可能導致電驛無法發揮其保護功能。電驛是電力系統保護之主要元件,電驛需具備下列特性:可靠性、選擇性、靈敏性、速度及瞬時性。電驛依構造上分類可分為電磁式電驛、靜態及數位電驛等。接著探討各項電力系統設備保護如:匯流排保護、變壓器保護、發電機保護與線路保護。

其中保護電驛依功能分類可分為:

- (1) 瞬間過定流電驛(Instantaneous Relay)
- (2) 延時過電流電驛(The-Delay Overcurrent Relay)
- (3) 方向電驛(Directional Relay)
- (4) 測距(阻抗)電驛(Distance(Impedance)Relay)
- (5) 副線電驛(Pilot Relay)

其中副線電驛通信頻道可利用電話線,電力線載波及微波等通信介質傳送資料。

總結上課內容有:

- (1) 國際電力組織之簡介 (Standardizing Bodies)
- (2) 儀器變壓器 (Instrument Transformers)
- (3) 電驛動作原理 (Relay Operating Principles)
- (4) 變壓器與母線保護 (Transformer and Bus Protection)
- (5) 線路與發電機保護 (Line and Generator Protection)

三、 奇異公司 PSEC 課程分析

本部分內容係第二部分的歸納，以表格方式呈現，包括：四學期課程名稱、參加學員名單及書籍，如下：

各學期名稱

第一學期 輸電系統分析與規劃 (Transmission Analysis & Planning)	第三學期 策略性的規劃與運轉 (Strategic Planning & Operation)
第二學期 進階電力系統議題 (Advanced Power Systems Topics)	第四學期 工業及配電系統之應用 (Industrial & Distribution System Application)

第一學期名稱及內容

第一學期：輸電系統分析與規劃 (Transmission Analysis & Planning)
1.基本電路分析複習(Circuit Analysis Review) 2.電力系統之基本分析(Power System Analysis) 3.GE 分析軟體 PSLF 簡介 (PSLF Seminar) 4.輸電線分析與定價(Transmission Analysis & Pricing) 5.突波現象 (Surge Phenomena)

第二學期名稱及內容

第二學期：進階電力系統議題 (Advanced Power Systems Topics)
1. 同步機 (Synchronous Machines)
2. 電力系統暫態穩定度 (Transient Stability)
3. 電力系統小信號穩定度 (Small Signal Stability)
4. 電壓補償與彈性交流輸電系統 (Voltage Compensation & FACTS)

第三學期名稱及內容

第三學期：策略性的規劃與運轉 (Strategic Planning & Operation)
1. 電力系統運轉 - 控制 (Power System Operation-Control)
2. 電力系統運轉：考量經濟因素 (Power System Operations: Economics)
3. 公用事業經濟學 (Utility Economics)
4. 策略性的輸電與發電規劃 (Strategic Transmission and Generation Planning)
5. 具競爭性的發電事業 (Competitive Power Generation)

第四學期名稱及內容

第四學期：工業及配電系統之應用(Industrial & Distribution System Application)	
1.	旋轉機械 (Rotating Machines)
2.	高壓直流輸電 (HVDC Transmission)
3.	電力電子 (Power Electronics)
4.	電廠控制介面 (Power Plant Control Interaction)
5.	配電設備與應用(Distribution Equipment & Applications)
6.	保護電驛 (Protective Relaying)

2000~2001 PSEC 人數統計

國籍 學期	委內瑞拉 哥倫比亞	日本 南韓	阿拉伯	台灣 印尼	參加 人數
一	5 1	9 2	5	1 1	24
二	5 0	9 2	5	2 1	24
三	5 0	10 2	3	2 1	23
四	5 0	10 2	3	1 1	22

GE 公司之電力系統訓練課程之相關資訊：

課程名稱	講師出處	書籍	講義
基本電路分析複習 (Circuit Analysis Review)	UNION COLLEGE	Circuit Analysis McGraw Hill, 1999	
電力系統之基本分析 (Power System Analysis)	GE	POWER SYSTEM ANALYSIS, GRAINGER & STEVENSON, McGraw Hill, 1994	
GE 分析軟體 PSLF 簡介 (PSLF Seminar)	GE	NONE	
輸電線分析與定價 (Transmission Analysis & Pricing)	GE	NONE	
突波現象 (Surge Phenomena)	GE	Surge Phenomena ,HILEMAN	
同步機 (Synchronous Machines)	RPI	Power System Stability and Control, KUNDUR, McGraw Hill, 1994	
電力系統暫態穩定度 (Transient Stability)	GE	Power System Stability and Control, KUNDUR, McGraw Hill, 1994	
電力系統小信號穩定度 (Small Signal Stability)	GE	Power System Stability and Control, KUNDUR, McGraw Hill, 1994	
電壓補償與彈性交流輸 電系統 (Voltage Compensation & FACTs)	GE	NONE	
電力系統運轉 - 控制 (Power System Operation-Control)	GE	POWER GENERATION OPERATION AND CONTROL, Allen Wood, Bruce Wollenberg, WILEY- INTERSCIENCE 2ed,1996	
課程名稱	講師出處	書籍	講義
電力系統運轉：考量經濟 因素 (Power System	GE	Least-Cost Electric Utility Planning, Harry Stoll,	

Operations: Economics)		WILEY- INTERSCIENCE ,1989	
公用事業經濟學 (Utility Economics)	GE 退休	Least-Cost Electric Utility Planning, Harry Stoll, WILEY- INTERSCIENCE ,1989	
策略性的輸電與發電規 劃(Strategic Transmission and Generation Planning)	GE	NONE	
具競爭性的發電事業 (Competitive Power Generation)	GE 退休	NONE	
旋轉機械 (Rotating Machines)	RPI	NONE	
高壓直流輸電 (HVDC Transmission)	GE	Power System Stability and Control, KUNDUR, McGraw Hill, 1994	
電力電子 (Power Electronics)	GE	NONE	
電廠控制介面 (Power Plant Control Interaction)	GE	NONE	
配電設備與應用 (Distribution Equipment & Applications)	GE 退休	NONE	
保護電驛 (Protective Relaying) Protective Relaying	GE	Protective Relaying, Principles and Applications,2 nd ed.Blackburn	

四、課程期間參訪活動：

於受訓期間，GE 主動安排（1）（5）參訪活動，均可與所學相印證，由於 PTI 亦位於 Schenectady，故（6）PTI 公司係職個人以 E-mail 與電話聯繫之私人參訪，詳細內容如下：

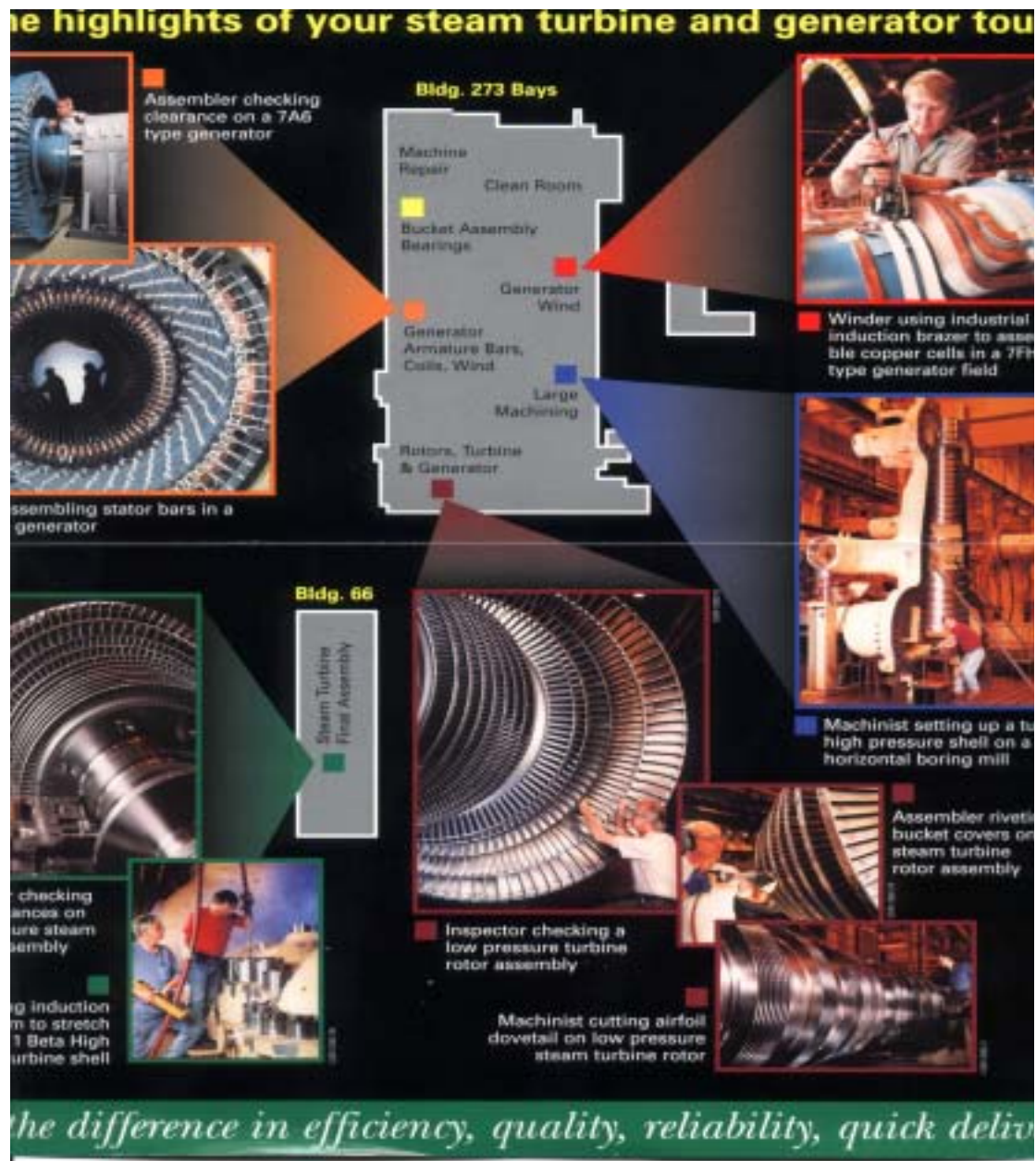
(1) GE 公司 TNA 實驗室

本課程結束後，參觀 TNA (Transient Network Analyzer) 實驗室，位於 GE Schenectady Building 5，離上課地點 Building 36 只有數十公尺遠，TNA 其實為一縮小化電力系統實驗室，使用類比 (Analogue) 的方式來模擬電力系統現象，與一般透過電腦軟體 (如 PTI PSS/E、GE PSLF 等) 數位模擬方式不同，類比方式真正存有發電機、輸電線與馬達負載，甚至電容器及電抗器均按照比例縮小製作，是一個實體縮小化電力系統模型，用來模擬故障或不穩定時現象，測得信號接至個人電腦以做統計與分析之用。雖實用性頗高、但現場接線複雜，須有特定專人負責維護是一大問題。

(2) GE 汽輪機與發電機工廠

位於 SCHENECTADY 廠區 BLDG. 273 內，佔地 25 英畝，相當 40 個足球場大，廠區內有 72 架高空起重機，因應龐大發電機組施工之需，目前 Schenectady 廠區約有五千名員工，而該工廠就佔三千人，以三班制輪值趕建機組，因為美國各地均建造發電機組，絕大部份是屬於 IPP 的。此係為世界最大且最先進汽輪機與發電機工廠製造工廠。整個 BLDG. 273 分成七個部份，分別為 Machine Repair、Clean Room、Bucket Assembly Bearings、Generator Wind、Generator Armature Bars Coil Wind、Large

Machinery 與 Rotor Turbine & Generator。如下圖所示：



廠區內呈現電機和機械工程的宏偉工藝品，巨大的發電機轉子、定子電樞、汽輪機與氣渦輪機，真是讚嘆電機與機械工藝技術的偉大。該廠已製造出 8000 部以上的汽輪發電機，最大容量達 1359MW，裝機容量超過 400GW 且遍及 90 國家，其所需之創新技術係由 GE R & D Center 所提供。

(3) EPRI 高壓實驗室

經由奇異公司 PSEC 課程主辦單位籌劃，安排 PSEC 課程學員拜訪 EPRI 位在 Massachusetts 州 Lenox，之高壓輸電研究中心。車程離 Schenectady 約二小時，拜訪位在麻州 Lenox 之 EPRI 高壓輸電研究中心，依該中心人員介紹，主要探討主題如：

- (一) 輸電線路各種不同幾何分佈方式影響線路阻抗實驗場。
- (二) 輸電線路對地產生電磁場測試實驗場。
- (三) SF₆ 氣體偵漏實驗站。
- (四) 模擬鹽害、霧害、浮塵污染環境之高電壓設備實驗場。
- (五) 定點設備長期監錄實驗場。
- (六) 非磁礙子高張力模擬環境實驗站。
- (七) 高電壓閃絡實驗場。
- (八) 直流高電壓輸電實驗場。
- (九) 豪雨礙子實驗室。
- (十) 電暈現象觀測實驗場。

印象深刻是 SF₆ 氣體偵漏實驗站，一台專門偵測 SF₆ 攝影機在一定距離內就可偵測斷路器氣體有無洩漏，維護人員無需至現場作偵測，保障維護人員的安全。

如下圖所示：塑膠瓶內裝有 SF₆ 氣體，透過此專用攝影機拍攝塑膠瓶，並輸出至電視，於電視畫面可觀察出瓶口有氣體升起。



另一為電暈現象觀測實驗場，類似的攝影機在一定距離內就可偵測輸電線上有無電暈現象，可加強輸電線安全維修。但此種機器只租不售，且價格昂貴，一台 SF₆ 攝影機一天約三千美元，若再加上專門技術人員費用，將更加昂貴。



(4) NYISO 紐約獨立調度中心

1990 年代中期,FERC 與紐約州立公共服務委員會引進新的政策,重新定義新的規則,電力可被產生、調度、傳送、購買及銷售。1993 年紐約電力池 (New York Power Pool, NYPP) 的八個會員系統,依照紐約電力事業已發生主要的改變,開始計劃改進原有電力池的經濟調度方式。1997 年 NYPP 向 FERC 提出申請,成立紐約獨立調度中心 (New York Independent System Operator, NYISO),以取代原有之電力池結構。在此期間,紐約州內許多民間擁有的公用事業開始出售其發電設備資產,於是乎紐約州內為數可觀的發電設備便不再屬於輸電網路業者。

NYISO 是由十位不同專業背景人士組成之董事會管理,董事會成員與紐約州電力市場之交易業者完全不相關。董事會底下有數個控制管理委員會 (Governance committees),由包括在躉售及零售市場買方與賣方同一位階的 NYISO stockholders,以及在市場上並未擁有 commercial stake 的代表所組成。這些委員會包括管理委員會 (Management Committee)、營運委員會 (Operating Committee) 及企業事務委員會 (Business Issues Committee) 等。而在紐約州的 Guilderland (靠近首府 Albany) 有一群專業的分析師與工程師幕僚們,利用最新式的電腦系統,負責電力市場的運作,即時監督與調度電力市場,並對 NYISO 的用戶們提供支援與服務。未表示調度中心的獨立性,NYISO 所有工作人員皆與參與紐約電力市場的交易商無財務關係。

電力一經產生,就必須傳送出去,最後分配到用戶所在。在電力送達配電網路前,NYISO 負責協調發電與輸電。經由尖端的控制中心,NYISO 監視的電力網路超過 10,775 哩的高壓輸電線 (high-voltage transmission line),以及約 800 部的發電機組。為了應付日漸增加的電力需求,目前紐約維持裝置容量在

35,636 MW。1999 年每小時尖峰最高用電量為 7 月 6 日的 30,311 MW, 今(2000)年尖峰最高用電量為 29,000 MW(NYISO 訪談得知)。NYISO 每日運轉 24 小時, 一年運轉 365 天, 透過公平、競爭的電能市場, 確保紐約超過一千八百萬住戶儘可能接受到最可靠的電力。

紐約州的電力躉售市場的設計乃朝向在售電方面加強競爭, 同時對買方提供選擇。對於以競標為基礎, 許多市場內的產品與服務, NYISO 扮演類似票據交換所 (clearing house) 的角色, 並負責維持電力系統安全與可靠地運轉。藉由促進每日市場交易, NYISO 保證電業自由化在紐約州是行得通的。紐約的電力市場可提供各式各樣的交易, 電能與容量 (energy and capacity) 買方與賣方的私人契約可經由 NYISO 在電力系統的撮合交易而完成。買方與賣方亦可向 NYISO 的協調市場 (coordinated markets) 內競標電能與某種輔助服務 (ancillary services)。更像扮演商品期貨交易所 (commodity exchange), NYISO 撮合市場交易與決定買賣價錢。這些競標為基礎的市場共分兩時期開放, 允與顧客以已知價格確保隔日所需電能, 或是到每日現貨市場逐一小時以清算價格 (clearing price) 購買。

原有的紐約電力池 (New York Power Pool, NYPP) 既已被 NYISO 取代, 於是 NYISO 成為一個非營利的紐約股份有限公司 (A not-for-profit NY Corporation)。NYISO 為美國東北部三大 ISO 之一, 其他二個為 ISO-New England、PJM Interconnection。廣義的東北部 ISO 尚且包括加拿大的安大略省的 IMO 以及魁北克省的 Hydro Quebec, 這些 ISO 的用戶負載總和相當於整個西部地區的聯合, 是世界政治、金融及文化的中心, 包括 25% 的美國人口及 62% 的加拿大人口。NYISO 正好位於這些 ISO 的交叉路上 (Crossroad), 其主要任務 (mission

statement) 如下 :

- ◆ 確保紐約州電力系統可靠運轉
- ◆ 負責紐約州的輸電線路系統與電力躉售市場的運轉，建立公開、公平及有效的競爭市場
- ◆ 改善區域間運轉與規劃的合作
- ◆ 符合或超越所有地區顧客的期望

紐約發電構成比 (Generation Sources) 如下 :

- ◆ 天然氣 30.0%
- ◆ 水力 19.8%
- ◆ 燃煤 18.4%
- ◆ 核能 18.3%
- ◆ 購電 (向紐約州外) 6.1%
- ◆ 燃油 5.8%
- ◆ 其他 (包括廢氣、燃木等) 1.5%

輸電線路擁有人 (Transmission Owner) 扮演角色 :

- ◆ 維持正常運轉輸電 (線路) 系統，執行切換及 tagging。
- ◆ 提供輸電容量出售
- ◆ 區域系統的運轉操作與維護
- ◆ 區域控制中心的運轉
- ◆ 必要時執行系統復電 (System Restoration) 操作

此外，負載服務實體（Load Serving Entity）對零售客戶提供電能、裝置容量以及輔助服務，再付款給 NYISO，並可獨自簽訂裝置容量合約。電力市場參與者（Power Marketer）主要活動則不外乎買賣電力、實際取得（take possession）購得電力，安排參與交易者間的輸電服務，最後再安排輔助服務。至於電力交易所的工作包括：撮合及促進裝置容量、電能及輔助服務等三大市場買方與賣方間的交易；電能競標處理；計費結算等。

市場參與者在一日前市場（Day-Ahead Market）競標的好處為可事先鎖定他們的買賣價格，然後可放心持續地執行各自的排程，以避免在即時市場可能發生的價格巨大波動。目前整個市場交易情形為紐約州外的雙邊合約（bilateral contract）占 50%，一日前市場占 40-50%，即時市場不到 5%。NYISO 另外有裝置容量市場（ICAP）、輸電壅塞合約市場（Transmission Congestion Contracts, TCC'S）、備用容量市場（Reserves, 10 分鐘備轉、10 分鐘非備轉、30 分鐘非備轉）及調整市場（Regulation）。

紐約州可靠度委員會所要求的備用容量裝置裕度為尖峰預測值得 18% 以上（約 35,636MW），而 NYISO 自行要求則為運轉時的備用容量裕度為並聯中最大單一機組容量的 1.5 倍，目前的要求為 1,800MW，其中 1,200MW 必須在 10 分鐘內提供，其餘 600MW 必須在 30 分鐘內提供。最近五年尖峰負載如下：

- ◆ 1996 年：25,287 MW
- ◆ 1997 年：28,700 MW
- ◆ 1998 年：28,166 MW
- ◆ 1999 年：30,311 MW
- ◆ 2000 年：30,200 MW（預估值，實際 29,000 MW）

NYISO 控制中心簡介

NYISO 控制中心位於 ALBANY 附近之 Schenectady，主要監視紐約州之輸電網路，共有 5 台電腦操作台，值班人員每班 5 人，每天 2 班輪值，每值 12 小時，早上七點及下午七點交接班。來賓參觀中央調度台，先至二樓簡報室聽取相關資訊，後由公關經理揭開後面牆壁窗簾，中央調度台即映入眼簾，是一非常好的設計，訪客能得需要資訊，而值班人員亦完全不受影響。NYISO 外觀及相關圖片如下：





(5) Glenheim-Gilboa 抽蓄發電廠



位於紐約州 SCHOHARIE 郡，因橫跨該郡 Glenheim 與 Gilboa Town，故取名之。距首府 ALBANY 郡 40 英里，車程約一小時。該電廠有四部機組，總發電量為 1040MW，抽水用電量為 1200MW，與本公司大觀二廠容量相當，上池容量可使四部機組連續運轉 12 小時，發電效率為 67%-80%，藉由三路六條 345KV 輸電線送往紐約州各地。該電廠相關資料如下：

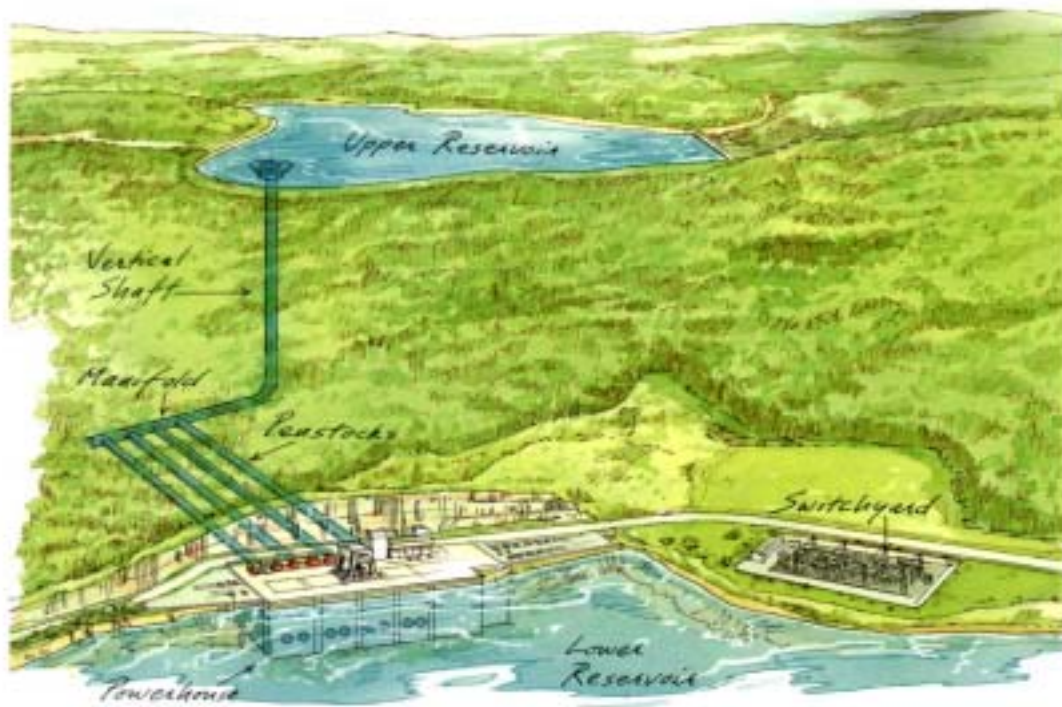
上池：位於 Brown Mountain 山上，可用儲水量 49 億加侖，可使四部機組連續發電 12 小時。滿水位是 2003ft，低水位為 1995ft。

下池：位於 Schoharie 溪上，發電機廠房於該溪下游 1.1 英里處，總儲水量 53.3 億加侖，滿水位時 2003ft (海平面)，下池壩由三座寬 38ft X 長 45ft 閘門組成。

大修情形：每部機組 18 月大修一次，每次約三星期。每十年全電廠整套大修一次，發電機形式：四組改良型 Francis-Type 可逆轉水力抽序機組。

建廠及發電：1969.7.12 動工、1973.7.5 第一部機組發電、1973.12.17 四部機組全數發電。

發電時上池水透過一條寬 28ft、長 1042ft 混泥土管道井 (shaft)，垂直下降接至 460ft 長歧管隧道 (manifold)，再接每條約 1915ft 長壓力鋼管。如此完成發電。如下圖





Artist's rendering shows water's journey through Brown Mountain. Each of the project's four turbine-generators can produce up to 260,000 kilowatts of electricity.

該電廠為紐約州電力局所擁有，以下為其簡介：紐約州電力局提供該州四分之一以上電力，負責運轉 12 發電機組 1400 迴線-英里輸電線，於聯邦法令許可下，售電予政府機構、社區系統、大用戶、鄰州及不取利益賣給私人電力公司供其再轉賣。此局係一非營利且大眾利益之公有能源機構。紐約州電力局運作，並未使用納稅人的稅金，或者向州政府融資，而是以發行債券方式向投資者募集款項，再以發電機組運轉售電收入，來支付利息於債券持有人。

(6) PTI 公司；

PTI (Power Technology Inc) 創立於 1969 年，目前為全球電力系統分析軟體領導廠商，該公司致力於高度專業軟體及能源顧問業務，並且號稱於電力顧問領域上已執世界牛耳，如最佳電力潮流整體分析電力潮流動態及輸配電規劃的業務上。

電力系統工程模擬軟體 PSS/E(Power System Simulator for Engineering) 於 1976 年問世，PSS/E 已是世界最普遍使用之電力系統分析之商用軟體，許多往後發展電力軟體，皆必須能讀取 PSS/E 輸入格式，才有可能在該領域生存，PSS/E 主要包含以下功能，

1. 電力潮流 Power Flow
2. 資訊公開與定價 Open Access and Pricing
3. 更新版最佳電力潮流 Optimal Power Flow Updated
4. 長期動態分析 Extended Term Dynamic Simulation
5. 平衡與不平衡故障分析 Balanced or Unbalanced Fault Analysis
6. 轉移限制分析 Transfer Limit Analysis
7. 動態模擬 Dynamic Simulation
8. 網路簡化 Network Reduction

PSS/E 已超過 20 年的商業化使用經驗，加上廣納使用者建議，使得最新版 PSS/E 功能更加強大，無論是在模型定義，網路容量，分析，甚至是使用者便利上。

參訪 PTI 時，與技術部門經理 Mr. Feltes 討論台電系統近年遭遇之難題，包括南電北送及電力自由化，以及個人使用 PSS/E 分析故障電流時，無法自動產生 R_0/X_1 、 X_0/X_1 ，增加本處之困擾，故本處於計算故障電流時仍沿用自行開發之程式。但 Mr. Feltes 表示將正視此類問題，並認為台電為 PTI 長期客戶，希望繼續批評與指教。

五、建議

感謝公司提供職如此絕佳學習機會，亦感謝處內長官與同仁協助，才能圓滿達成此趟任務。此次 GE PSEC 學習期間，除電力專業能力再加強外，尚有如下建議事項：

(一) 建請繼續派員參訓奇異公司 PSEC 課程：

電力系統分析技術係每一電力公司必備核心技術之一，本公司亦是非常仰賴，因其可預防未來運轉所遭遇的問題，加上電力系統日益複雜，欲獲致更精確分析結果，除仰靠功能強大軟體外，就是分析人員電力專業背景再加強，本公司自第一位 1963 年錢協理至 1994 年已派訓 25 名同仁，截至 2000 年，已中斷 6 年未派同仁前往，喪失接受電力新知機會，殊為可惜，2000 年職參訓後，深感 PSEC 課程對目前電力分析工作有極大助益，反觀鄰國日本，每年皆派遣約 10 名工程師參加，其中甚至有 TOSHIBA 如此電機界巨擘公司，亦派員參加，故請繼續派員參訓奇異公司 PSEC 課程。

(二) 評估成立電力技術諮詢顧問部門可行性：

本公司執國內電力業技術之牛耳，專業人才不計其數，舉凡電機、機械、土木、化工、財務管理等領域皆有專精，際此經濟知識時代，知識即是金錢觀念下，仿照奇異公司設有電力系統能源顧問部門(Power System Energy Consulting)，東京電力公司亦有類似之電力技術顧問業務，職之看法為，若能先評估國內對電力技術需求程度，以及已進入該市場業者，作一整體分析，衡量本公司可提供的業務，如電廠運轉，電力設施維護，以及電力分析資料的提供(如短路容量等)，

甚至仿照奇異公司 PSEC 課程，開設電力技術分析課程，如此除增加公司營收外，尚可使同仁於教學相長情境下，更增進其專業能力，以期對公司作出最大貢獻。

(三) 建議提供長期因公出國人員筆記型電腦及出國預算編製國際網路通訊費：

目前網際網路 (INTERNET) 已非常普及，無論於國內或國外聯繫公司業務皆非常便利，且費用低廉，公司規定出國超過二星期同仁，每二星期需傳真出國工作內容回服務單位，利用網際網路可順利達成任務，職此次於 GE 研習期間，加入美國線上 (American On Line ; AOL) 網際網路服務，每月上網不限時數，費用約 27 美元，故網際網路通訊費，建議編製每月 30 美元，如此長期出國人員可與公司保持通暢溝通管道。

(四) 議順道參訓 PTI 電力系統相關課程

本公司系規處與調度處係採用 PTI 之 PSS/E 電力系統分析軟體，已行之多年且功效良好，主要作為電力潮流與暫態穩定度分析，多數美國電力公司與獨立調度中心 (ISO)，也是採 PSS/E，且 PTI 本身亦有電力技術顧問與軟體業務，以及開設相關課程，而 PTI 與 GE 同位於 Schenectady，兩者相距約 3 英里，故建議順道參加。

(五) 以較優渥條件吸引電力人才

職於 GE 受訓期間，驚見許多印度裔工程師服務 GE，甚至上課講師亦有印度裔與華裔工程師，耳聞美國本土學子甚少主修電力工程，國內亦有類似情形。國內大學電機系雖為熱門

科系，但只有少數主修電力，因電力工程為一穩定且較不成長的產業，絕大多數電機系學生主修通訊、半導體、電腦科學等熱門領域。目前公司雖有提供獎學金予各科技大學電機系學生，但有些同學並未修過電機機械及電力系統科目，故職建議：每一年度各科技大學獎學金公告時，即載明曾修過電機機械及電力系統學生，可獲得較優渥獎學金。如此將可實質鼓勵進入本公司學生修習電力工程基礎科目，長期下來，這批新血輪必為公司必有重大貢獻。

六、附件

此部分為 GE PSEC 課程學習結果，包括 PSEC 結業證書、學習成績、學員名冊、PSEC 經理感謝函與學員照片等。