

以 ASP.NET 研製電力潮流分析之互動式網頁

指導老師：邱天基

參賽組員：張寓程

大華技術學院電機工程系

摘 要

由於電腦的普及化加以週邊設備的齊全，因此利用電腦輔助工程設計與分析已為時代的趨勢。近十餘年來由於網際網路的迅速發展，其可及的區域更是無遠弗屆，利用網路功能所衍生的產品逐一問世，如可程式控制器附加網路套件後，可作遠端控制與電力資料擷取，進而發展出電力監控系統。網際網路雖於工程上有很好的應用，但對電力系統而言目前尚未發展可在網頁上執行之電力潮流分析、故障電流分析與經濟調度等應用程式。為迎合時代趨勢，本專題擬利用 ASP.NET 發展電力潮流分析的互動式網頁，使本系學生或外界人士可藉由此互動式網頁學習電力潮流的分析方法或理論，並可在網頁上執行電力潮流運算，而使理論與結果可互相印證。深信本互動式網頁對電力系統的教學品質提升、提高學習者對電力系統學習的興趣及引發其對程式撰寫的潛能，將有莫大的助益。

目 錄

摘 要	I
目 錄	II
圖表索引	II
前言	1
研究目的	1
研究方法	1
一、匯流排的分類	1
二、輸電線路與分抽頭變壓器的模型	2
三、電力潮流之分析方法	2
四、應用程式開發與網站製作	3
結果與討論	5
一、電力潮流分析運算例子	5
二、互動式網頁功能介紹	6
三、電力潮流網頁之執行結果	6
四、討論	8
參考文獻	8

圖表索引

表 1 各類型匯流排之已知與未知變數	2
圖 1 輸電線路的模型	2
圖 2 匝比設定為 1 : a 之分抽頭變壓器	2
圖 3 分抽頭變壓器之模型	2
圖 4 牛頓-拉弗生法分析電力潮流之流程圖	3
圖 5 ASP.NET 中的 Web 工作流程圖	4
圖 6 ASP.NET 架構圖	4
圖 7 Web Form 運作概念圖	4
圖 8 Power Flow Home Page	5
圖 9 5 個匯流排電力系統	5
圖 10 30 個匯流排電力系統	5
圖 11 26 個匯流排電力系統	5
圖 12 電力潮流分析系統操作介面	6
圖 13 顯示電力潮流分析結果之介面	6
圖 14 電力潮流分析報表	7
圖 15 資料的修改與編輯介面	7
圖 16 新增元件資料介面	7
圖 17 各方法之疊代次數比較	8
圖 18 各方法之失配實功比較	8
圖 19 各方法之運算時間比較	8

前言

自電腦問世以來，各領域皆致力於電腦輔助分析與設計；近 30 餘年來國內在學術機構、工程顧問公司及電機技師事務所努力下，目前已有諸多軟體可供工業配電系統使用[1-4]。對於電力系統的分析，國內大多採用 ETAP Power Station 與 Power World Simulator 等國外套裝軟體，其功能齊全，但價格昂貴且無法在網頁上執行。

由於網際網路的無遠弗屆，目前諸多產品增設網路功能，可作更寬廣的應用，如可程式控制器(Program Logic Controller)在附加網路套件後，具有遠端控制及資料擷取的功能[5]。工程上利用網際網路為媒介已成功達成其所要應用的目的，但對電力系統而言，目前尚未研發可在網頁上執行電力潮流分析、故障電流分析與經濟調度等應用程式，為迎合時代趨勢，本專題擬發展電力潮流分析的互動式網頁，來提升電力系統的教學。

研究目的

對於匯流排數目較多的電力潮流分析，無法由人力的費時計算達到所要的解析結果，為期於電力潮流分析時能達到省時與得到精確結果之目的，本專題採用 Visual Studio.NET 下之 ASP.NET Web 應用程式研發高斯賽德(Gauss-Seidel)疊代法、牛頓拉弗生(Newton-Raphson)法及快速解耦(Fast Decoupled)法的電力潮流分析程式，為驗證程式的正確性以文獻之 5 個、26 個及 30 個匯流排的電力系統[6-7]作測試。

由上述 3 個系統的電力潮流運算結果，可用來分析與評估各方法的收斂特性、運算時間及建議電力潮流分析時宜採用的最佳方法。另本系學生與外界人士皆可上網，經由本互動式網頁，除學習電力潮流的分析方法外，亦能在網頁執行上述系統的電力潮流分析，以使理論與結果可相互印證。

研究方法

電力潮流運算所獲得的主要資訊有各匯流排電壓大小、相角及每條輸電線路上流動的實功率與無效功率。本節分為匯流排的分類、輸電線路與分抽頭變壓器的模型、電力潮流分析方法等小節說明如下。

一、匯流排的分類

對一電力系統解析電力潮流時須對匯流排加以分類，匯流排可分為參考匯流排(Reference Bus)、發電機匯流排(Generator Bus)與負載匯流排(Load Bus)三種。

(一) 參考匯流排

參考匯流排亦稱為搖擺匯流排(Swing Bus)或鬆弛匯流排(Slack Bus)，一個電力系統可將連接有發電機之匯流排，將其中一個指定為參考匯流排，即對注入該匯流排之實功率與無效功率不予固定，但對該匯流排之電壓大小與相角則予指定。被指定為參考匯流排之發電機的發電量將隨輸電線的損失作機動調整，以使電力系統的功率達到平衡。

(二) 發電機匯流排

若匯流排接有發電機，則此匯流排稱為發電機匯流排；該匯流排的電壓大小及注入該匯流排的功率皆被設定為已知，因此又稱為 PV 匯流排。

(三) 負載匯流排

在電力系統此種匯流排所佔的數量最多，若匯流排所接的為單純負載，則均屬於此類型的匯流排；由於匯流排的實功率與無效功率為已知，因此又稱為 PQ 匯

流排。上述匯流排之已知與未知變數可整理成表 1：

表 1 各類型匯流排之已知與未知變數

匯流排形式	已知變數						未知變數			
	P_D	Q_D	P_G	Q_G	V	δ	P_G	Q_G	V	δ
參考匯流排	○	○			○	○	○	○		
發電機匯流排	○	○	○		○			○		○
負載匯流排	○	○	○	○					○	○

二、輸電線路與分抽頭變壓器的模型

解析電力潮流須建立系統的 Y_{Bus} ，組成 Y_{Bus} 的元件主要有輸電線路與變壓器。

(一) 輸電線路的模型：

圖 1 所示為輸電線路的模型，以一 π 型電路表示之。圖中之 Z 為輸電線路的總阻抗， Y 為總導納。

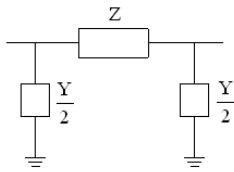


圖 1 輸電線路的模型

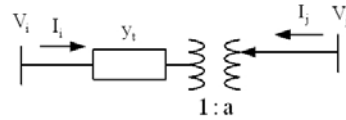


圖 2 匝比設定為 1:a 之分抽頭變壓器

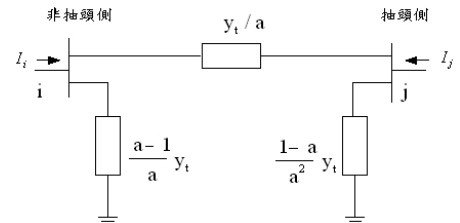


圖 3 分抽頭變壓器之模型

(二) 分抽頭變壓器

圖 2 所示為匝比設定成 1:a 之分抽頭變壓器；圖 3 所示，為其電路模型。分抽頭變壓器兩側電壓與電流之關係式，如(1)式所示：

$$\begin{bmatrix} I_i \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_t & -\frac{y_t}{a} \\ -\frac{y_t}{a^*} & \frac{y_t}{|a|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix} \quad (1)$$

三、電力潮流之分析方法

電力潮流分析的常用方法有高斯-賽德法、牛頓-拉弗生法及快速解耦法。限於篇幅僅以牛頓-拉弗生法作電力潮流分析的情形作介紹。

(一) 設匯流排 1 為參考匯流排，則在第 k 次疊代時，匯流排電壓之相角變化值 $\Delta\delta^{(k)}$ 及電壓大小變化值 $\Delta|V^{(k)}|$ ，其與電力失配值 $\Delta P^{(k)}$ 及 $\Delta Q^{(k)}$ 之關係式，如(2)式所示：

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1^{(k)} & J_2^{(k)} \\ J_3^{(k)} & J_4^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta^{(k)} \\ \Delta|V^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中

$J_1^{(k)}$ 、 $J_2^{(k)}$ 、 $J_3^{(k)}$ 與 $J_4^{(k)}$ 其分別為賈可必矩陣(Jacobian Matrix) J 的子矩陣。

由匯流排功率規劃值 P_i^{sch} 與 Q_i^{sch} 與計算值 $P_i^{(k)}$ 及 $Q_i^{(k)}$ ，可計算匯流排功率失配值

$\Delta P_i^{(k)}$ 及 $\Delta Q_i^{(k)}$ ，如(3)與(4)式所示：

$$\Delta P_i^{(k)} = \Delta P_i = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n) \quad (3)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = \Delta Q_i = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n); (i \neq pv) \quad (4)$$

利用高斯-喬登消去法(Gauss-Jordan Elimination)，解(2)式之 $\Delta\delta$ 與 $\Delta|V|$ ，則匯流排電壓之新估計值為：

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)}$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}|$$

依上述程序作疊代，直到 ΔP_i 及 ΔQ_i 均小於指定的精確度為止，即

$$|\Delta P_i| \leq \varepsilon \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

$$|\Delta Q_i| \leq \varepsilon \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n); (i \neq pv)$$

(二)牛頓-拉弗生法分析電力潮流之流程圖

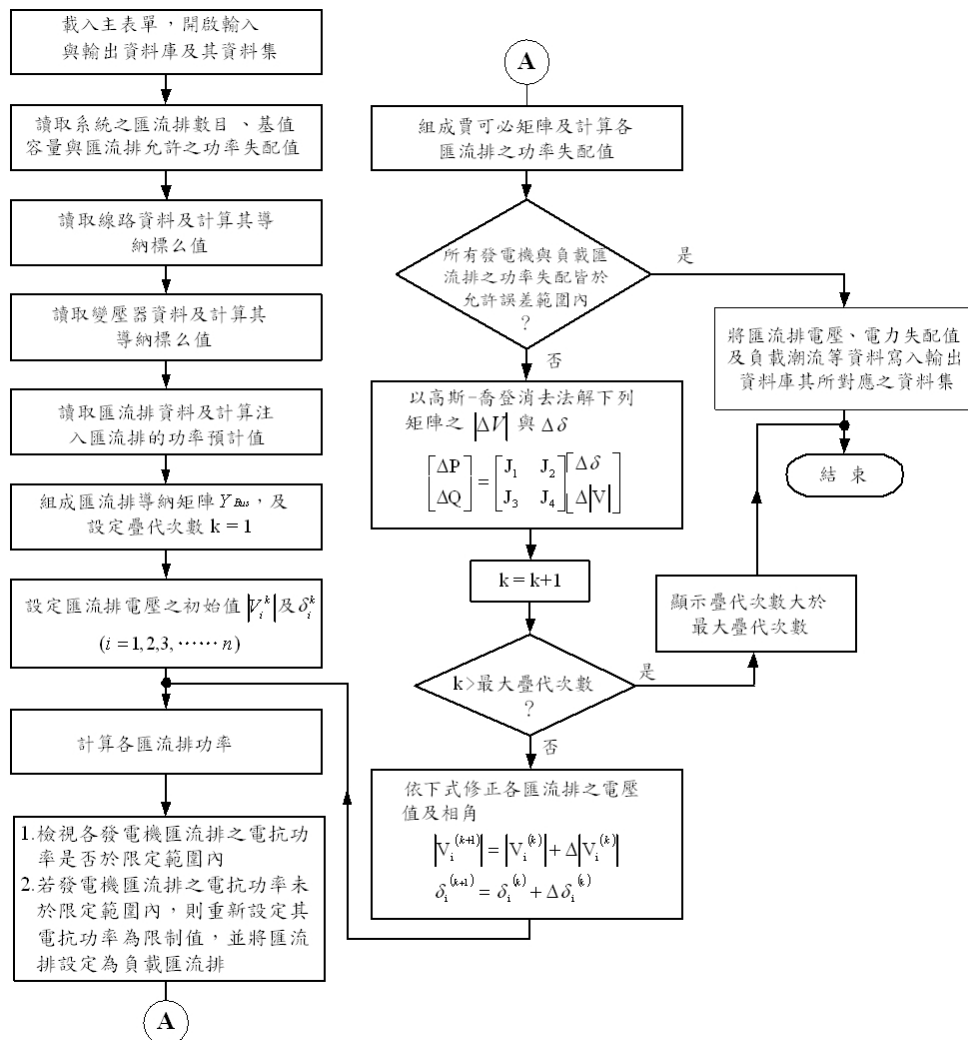


圖 4 牛頓-拉弗生法分析電力潮流之流程圖

四、應用程式開發與網站製作

依據圖 4 之流程圖，設計網頁的物件，並以 ASP.NET 開發電力潮流分析的應用程式，其特點為透過 IIS 伺服器可將網頁提供給瀏覽者，並使瀏覽者與應用程式產生互動。

上述其情形如圖 5 所示，當 Client 端對 IIS 伺服器提出 ASPX 的 Web Request 時，ASPX 網頁會先判斷 Code-Behind 程式碼是否已經編譯(Compile)，若尚未編譯，則先進行該項動作；當編譯完成後，會產生 Code-Behind Object；對 ASPX 網頁上的控制項以及 Web Form 本身在執行其程式的相關運作時，皆須藉由該物件(Object)來完成[8]。簡單來說，當使用者提出要求(Request)時，伺服器端會將 ASPX 與資料庫作編譯，並將完成之 DLL 透過 .NET Framework 加以執行並做解析，最後在回應(Reply)給使用者，上述情形如圖 6 所示。

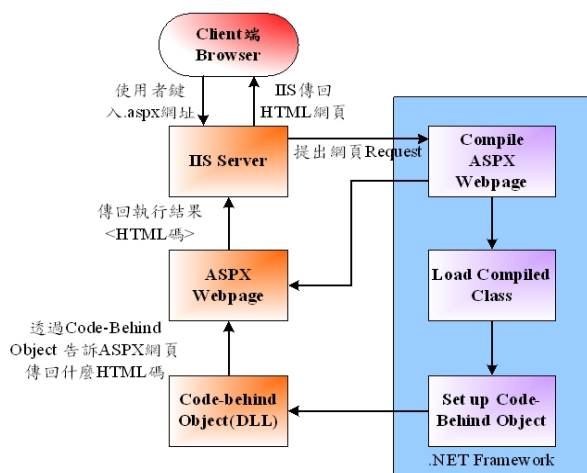


圖 5 ASP.NET 中的 Web 工作流程圖

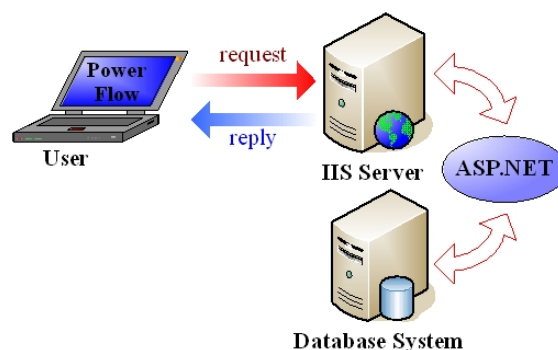


圖 6 ASP.NET 架構圖

圖 7 所示為 ASP.NET 之 Web Form 運作概念圖，其最主要有下述的特點：

- (1) 圖形化的介面，且可直接利用 Web Form 之程式碼編輯視窗撰寫程式。
- (2) 支援完整的物件導向，改良網頁的執行效能。
- (3) 程式碼和網頁分離(Code Behind)，使程式在偵錯上更加的容易

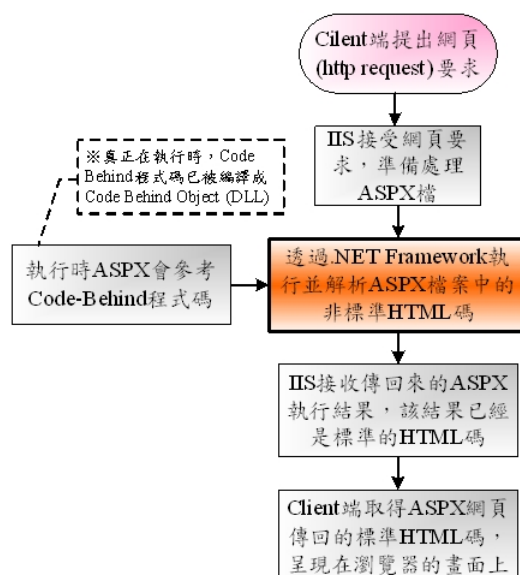


圖 7 Web Form 運作概念圖

網站規劃，如圖 8 所示，計有 Home、Power Flow Analysis、Power Flow Operation 及 E-mail 等選項，其中 Power Flow Analysis 用來連結電力潮流分析的說明文件，Power Flow Operation 則是連結至電力潮流運算網頁，其提供瀏覽者可用各種方法作 5、26 及

30 個匯流排之系統的電力潮流運算，且使用者對於電力潮流部分有任何疑問均可透過 E-mail 來與管理者討論或連絡。



圖 8 Power Flow Home Page

結果與討論

一、電力潮流分析運算例子

以文獻之 5、26 及 30 個匯流排之電力系統作為測試例子，各系統的架構如圖 9 至 11 所示。

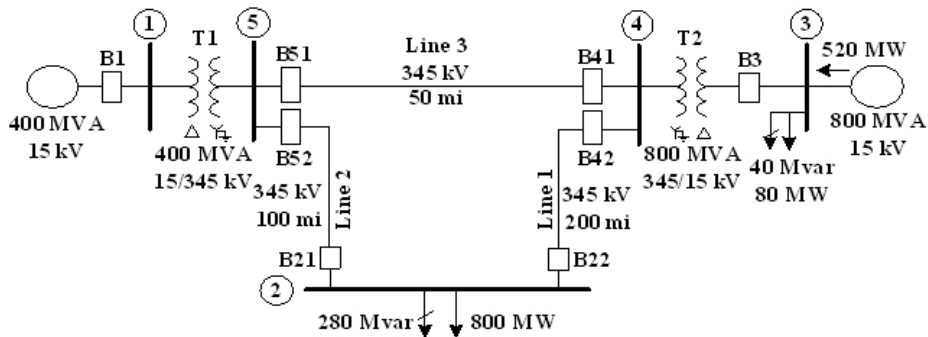


圖 9 5 個匯流排電力系統

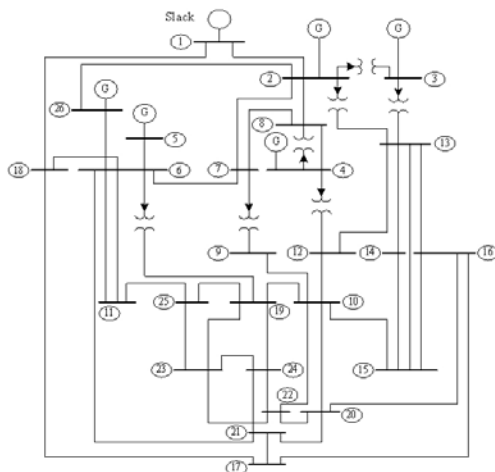


圖 10 30 個匯流排電力系統

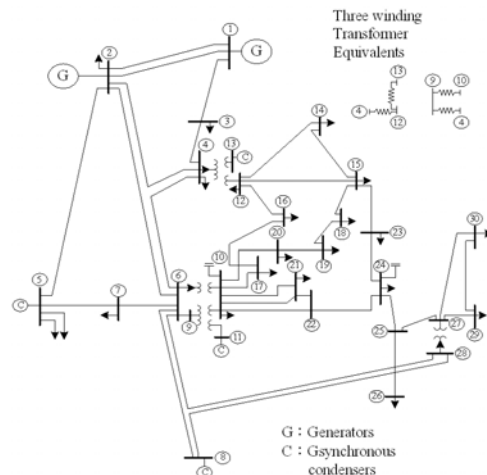


圖 11 26 個匯流排電力系統

二、互動式網頁功能介紹

以 5 個匯流排之電力系統說明各網頁界面的功能，計有主功能介面(圖 12)、運算結果介面(圖 13)、報表介面(圖 14)、資料修改與編輯(圖 15)及新增元件資料介面(圖 16)與錯誤訊息介面。在主功能介面，使用者確認匯流排數目、基值容量及最大失配功率值後，經點選系統資料確認鈕，應用程式將開啟資料庫連線，並依序讀取輸入資料庫之各資料表，將各資料表的資料加以運算，並將運算值設定給其對應的變數；經點選整體運算後，將依圖 4 所示流程圖的程序，呼叫相關的副程式，以完成電力潮流分析的工作，並將各運算結果寫入輸出資料庫其對應的資料表。運算結果的介面，可顯示 Y_{Bus} 、失配功率、線路及變壓器損失、賈可必矩陣、變壓器負載潮流、匯流排運算資料與線路負載潮流，各運算結果亦可利用報表方式作閱覽或列印。此外具有權限之管理者在登錄後，對各輸入資料，擁有編輯、修改、刪除及新增元件資料之處理權限，。

三、電力潮流網頁之執行結果

圖 12 至 16 所示為電力潮流網頁執行的畫面。圖 12 為電力潮流分析系統操作介面、圖 13 為顯示電力潮流分析結果之介面、圖 14 為電力潮流分析報表、圖 15 為資料修改與編輯介面及圖 16 為新增元件資料的介面。

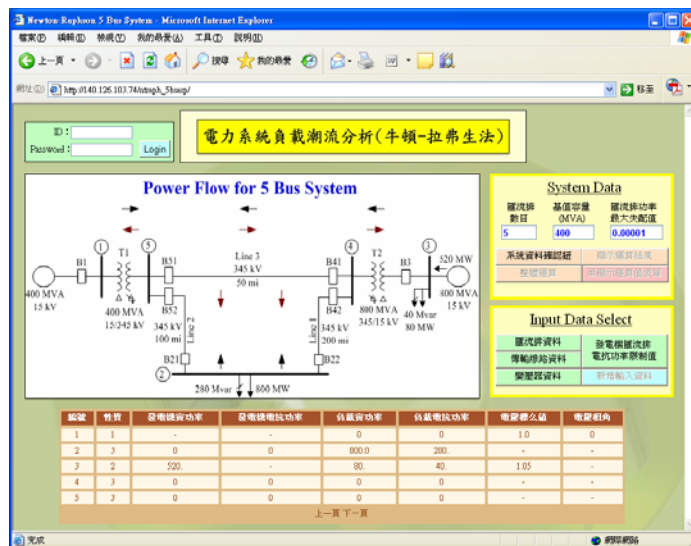


圖 12 電力潮流分析系統操作介面



圖 13 顯示電力潮流分析結果之介面

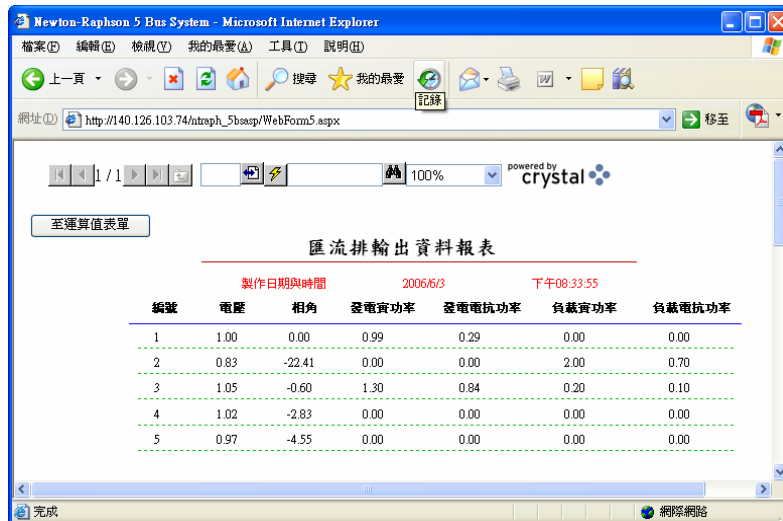


圖 14 電力潮流分析報表

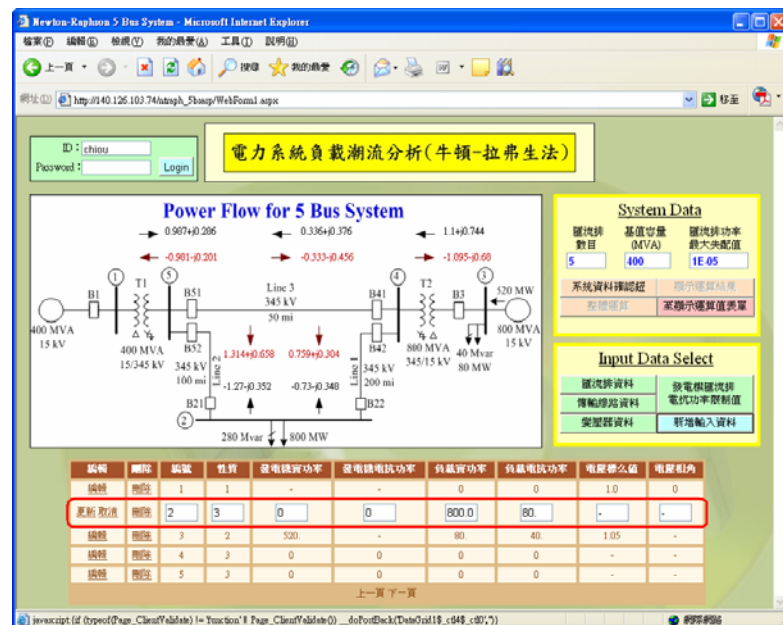


圖 15 資料的修改與編輯介面

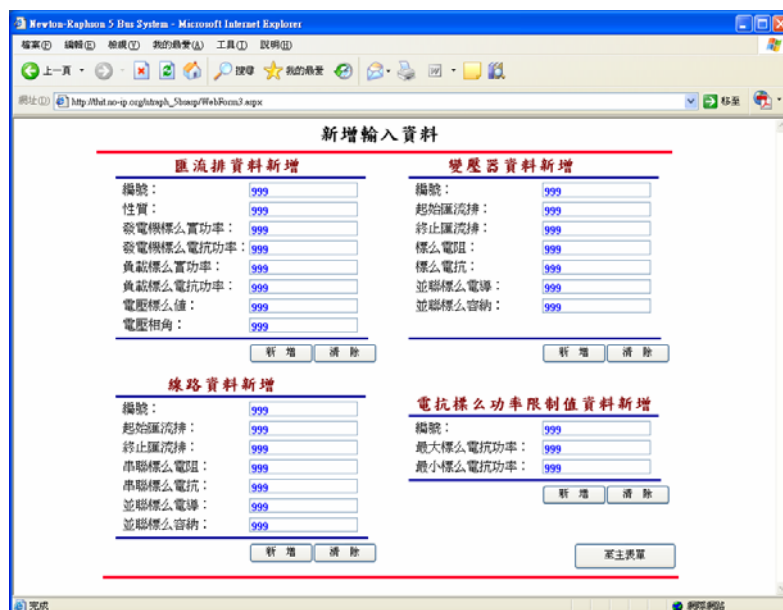


圖 16 新增元件資料介面

四、討論

本專題之各種方法對 5、26 及 30 個匯流排系統執行電力潮流分析時，為使高斯-賽德法的失配功率值能接近其它兩種方法，因此其電壓最大誤差值取 $10^{-7} pu$ ，對牛頓-拉弗生法及快速解耦法其失配功率最大值則選用 $10^{-5} pu$ ，另 5 個匯流排系統之基值容量為 400MVA，其它系統則選用 100MVA 為基值容量。經互動式網頁執行各系統之電力潮流分析所得的運算值與文獻[6-7]之值做比較，其數值極其接近或由電力失配值極小，皆可印證本專題所發展程式的正確性。

各方法之疊代次數、最大失配實功率及運算時間，如圖 17 至 19 所示。由各比較圖，知高斯-賽德疊代法之疊代次數最多，牛頓-拉弗生法有最小的失配功率，運算時間則以快速解耦法最短，綜合上述各項性能及輸電線路有很高的電抗與電阻比情形下，建議作電力潮流分析時，宜使用快速解耦法。

對圖 9 之 5 個匯流電力系統執行電力潮流分析，可得匯流排 2 之電壓為 $0.8338 pu$ ，為改善其電壓品質，於匯流排 2 裝置 200MVAR 之電容器組，經圖 12 之系統操作介面登錄後，修改匯流排 2 之電抗負載為 80MVAR，再執行電力潮流分析，可知匯流排 2 之電壓提升至 $0.968 pu$ ，並獲得很大的電壓品質改善。上述情形可證明本互動式網頁對資料有編輯與修改的功能。

經長時間努力下並成功的研發出分析電力潮流的互動式網頁，深信其對電力系統的學習成效有很大的助益外，所構思的架構亦能引用於其它領域的學習系統。

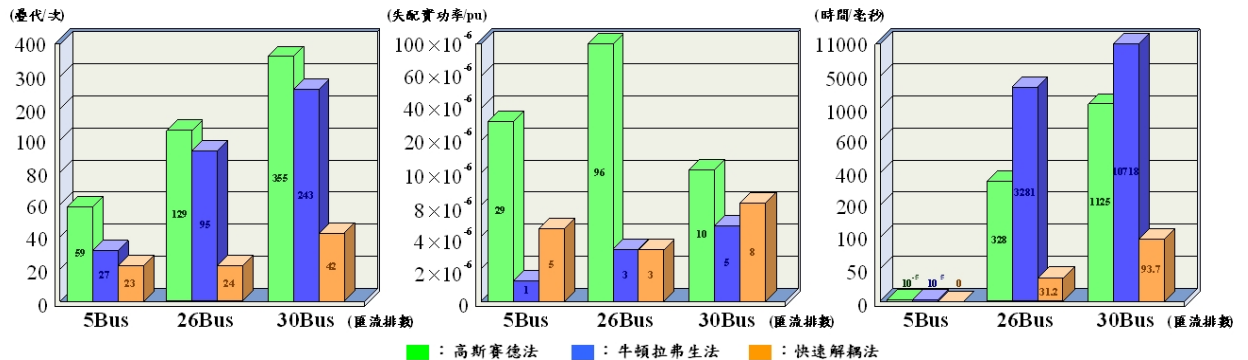


圖 17 各方法之疊代次數比較

圖 18 各方法之失配實功比較

圖 19 各方法之運算時間比較

參考文獻

- [1] 劉德政：“電腦輔助工業配電設計分析”，國立台灣中山大學電機研究所碩士論文，1983 年。
- [2] 張正山：“Auto CAD 環境下電腦輔助工業配電分析與設計”，電力研討會，1995 年
- [3] 邱天基：“以母線倒複數功率矩陣為基礎解工業配電系統母線瞬時及啟斷容量方法”台電工程月刊，Dec. 1996 年，PP.59-74。
- [4] 陳在相：“工業配電系統故障電流計算新法倒 MVA 法”，電機技術，第十二卷第二期，Jun. 1986 年，PP.98-114。
- [5] 邱天基、鄧榮斌、胡雅婷等，“校園網路應用於電力監控管理系統之設計”，2004

中華民國自動控制研討會論文集，pp.395-399。

- 【6】 A.Gross：Power System Analysis, John Wiley & Sons Inc, 1992.
- 【7】 Hadi Saadat：Power System Analysis McGraw-Hill Inc, 1999.
- 【8】 董大偉, 2004, ASP.NET 程式設計徹底研究, 文魁。
- 【9】 曹祖聖 吳明哲 黃世陽 蔡文龍, 2005, Visual Basic.NET 程式設計經典, 松崗。
- 【10】 董大偉, 2003, Visual Basic.NET 程式設計-Crystal Report 報表製作, 文魁。
- 【11】 張靜怡, 2005 年, Dreamweaver MX2004 中文版白皮書, 文魁。