

電力潮流分析互動式網頁

對電力系統未來的發展規劃與設計及現有系統最佳運轉決策而言，電力潮流(Power Flow)的研究具有相當的重要性。電力潮流運算所獲得的主要資訊有各匯流排電壓的大小與相角，與每條輸電線路上流動的實功率與無效功率。

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，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)。

(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，即將注入該匯流排之實功率與無效功率不予固定，但該匯流排之電壓大小與相角皆予指定。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占的數量最多，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 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 為輸電線路總導納。

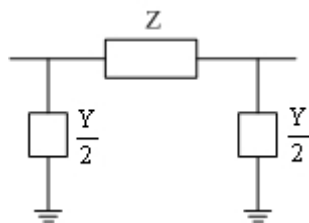


圖 1 輸電線路的模型

(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：

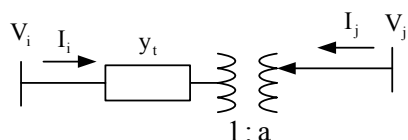


圖 2 匝比設定為 $1:a$ 之分抽頭變壓器

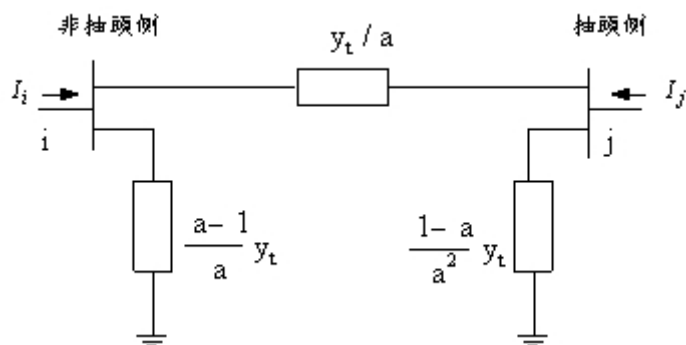


圖 3 分抽頭變壓器之模型

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、電力潮流之解析方法

電力系統解析電力潮流的常用的方法有高斯-賽德法、牛頓-拉弗生法及快速解耦法。牛頓-拉弗生法較高斯-賽德法有較好的收斂特性；在輸電線路之電感很大於其電阻時，快速解耦法則較牛頓-拉弗生法有更優異的執行特性。於此僅就牛頓-拉弗生法與快速解耦法作一介紹。

(一) 高斯-賽德法

設電力系統有 n 個匯流排，將匯流排 1 指定為參考匯流排，利用高斯-賽德疊代法，對匯流 i 之電壓 V_i 之求解通式，如(2)式所示：

$$V_i^k = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{(V_i^{k-1})^*} - \sum_{m=1}^{i-1} Y_{im} V_m^{k-1} - \sum_{m=i+1}^n Y_{im} V_m^{k-1} \right] \quad (2)$$

($i = 2, 3, \dots, n$)

由高斯-賽德疊代法解電力潮流之經驗，若將匯流排之修正電壓乘上一個常數以加大每次的修正量，以使匯流排電壓更接近欲求的值，而使疊代次數減少。此改善收斂特性的乘數稱為加速因子(Acceleration Factor) α ，一般 α 之推薦值為 1.6，採用加速因子之 $V_{i,acc}^k$ 可寫成(3)式：

$$V_{i,acc}^k = V_{i,acc}^{k-1} + \alpha(V_i^k - V_{i,acc}^{k-1}) \quad (3)$$

($i = 2, 3, \dots, n$)

(二) 牛頓-拉弗生法

匯流排電壓之相角變化 $\Delta\delta^{(k)}$ 及大小變化 $\Delta|V^{(k)}|$ 與電力失配值 $\Delta P^{(k)}$ 及 $\Delta Q^{(k)}$ 之關係式如(4)式所示：

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1^{(k)} & J_2^{(k)} \\ J_3^{(k)} & J_4^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta^{(k)} \\ \Delta|V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中：

J_1^k 之對角線及非對角線元素為

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

J_2^k 之對角線及非對角線元素為

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

J_3^k 之對角線及非對角線元素為

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

J_4^k 之對角線及非對角線元素為

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i$$

由第 k 次疊代的匯流排電壓，可計算匯流排的實功率與無效功率，如(5)與(6)式所示：

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}||V_j^{(k)}||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

$$Q_i^{(k)} = -\sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}||V_j^{(k)}||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6)$$

匯流排功率規劃值 P_i^{sch} 與 Q_i^{sch} 與計算值 $P_i^{(k)}$ 及 $Q_i^{(k)}$ 間的差值，稱為功率失配值 $\Delta P_i^{(k)}$

及 $\Delta Q_i^{(k)}$ ，其可表示為(7)及(8)式：

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (7)$$

$$(i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (8)$$

$$(i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

$$(i \neq pv)$$

採用高斯-喬登消去法，解(4)式之 $\Delta\delta$ 與 $\Delta|V|$ ，則匯流排電壓之新估計值為：

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (9)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (10)$$

$$(i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

依上述程序作疊代直到 $\Delta P_i^{(k)}$ 及 $\Delta Q_i^{(k)}$ 均小於指定的精確度為止，即

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (11)$$

$$(i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (12)$$

$$(i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

$$(i \neq pv)$$

(三) 快速解耦法

當電力系統之輸電線有很高的 X/R 比值，則此系統中實功率之改變 ΔP ，相對於電壓大小的改變較不靈敏，但相對於相角的改變 $\Delta\delta$ ，則極為靈敏。同理無效功率之改變 ΔQ ，相對於相角的改變較不靈敏，而主要取決於電壓大小的改變 $\Delta|V|$ 。因此令賈可必矩陣元素之 J_2 與 J_3 為零，應屬合理。即(4)式，可改寫為(13)式：

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1^{(k)} & 0 \\ 0 & J_4^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (13)$$

或

$$\Delta P^{(k)} = J_1^{(k)} \Delta \delta^{(k)} = \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]^{(k)} \Delta \delta^{(k)} \quad (14)$$

$$\Delta Q^{(k)} = J_4^{(k)} \Delta |V|^{(k)} = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|} \right]^{(k)} \Delta |V|^{(k)} \quad (15)$$

對一有 n 個匯流排電力系統，其賈可必矩陣之 J_1 的元素，可如下述程序作簡化：

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) - |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii}$$

典型電力系統中，自電納 $B_{ii} \gg Q_i$ ，因此 Q_i 可忽略。且 $|V_i|^2 \approx |V_i|$ ，所以上式，可進一步簡化為：

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| B_{ii} \quad (16)$$

正常運轉情況下， $\delta_j - \delta_i$ 非常小，且設 $\theta_{ii} - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ii}$ 及 $|V_j| \approx 1$ ，所以 J_1 的非對角線元件可寫為：

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| B_{ij} \quad (17)$$

同理 J_4 的主對角線元件可寫為：

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) - |V_i| |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} = Q_i - |V_i| B_{ii}$$

由於 $B_{ii} \gg Q_i$ ， Q_i 可予忽略，因而上式，可簡化為：

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i| B_{ii} \quad (18)$$

設 $\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ij}$ ，同理對 J_4 的非對角線元件可簡化為：

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| B_{ij} \quad (19)$$

由(14)與(15)解 $\Delta \delta^{(k)}$ 與 $\Delta |V|^{(k)}$ 之值，並依牛頓-拉弗生法分析電力潮流的程序作疊代，直至所有匯流排之功率失配絕對值，皆小於所設定之誤差值為止。

四、電力潮流分析流程圖

圖 4 所示為高斯-塞德法分析電力潮流之流程圖、圖 5 所示為牛頓-拉弗生法分析電力潮流之流程圖、圖 6 所示為快速解耦法分析電力潮流之流程圖。

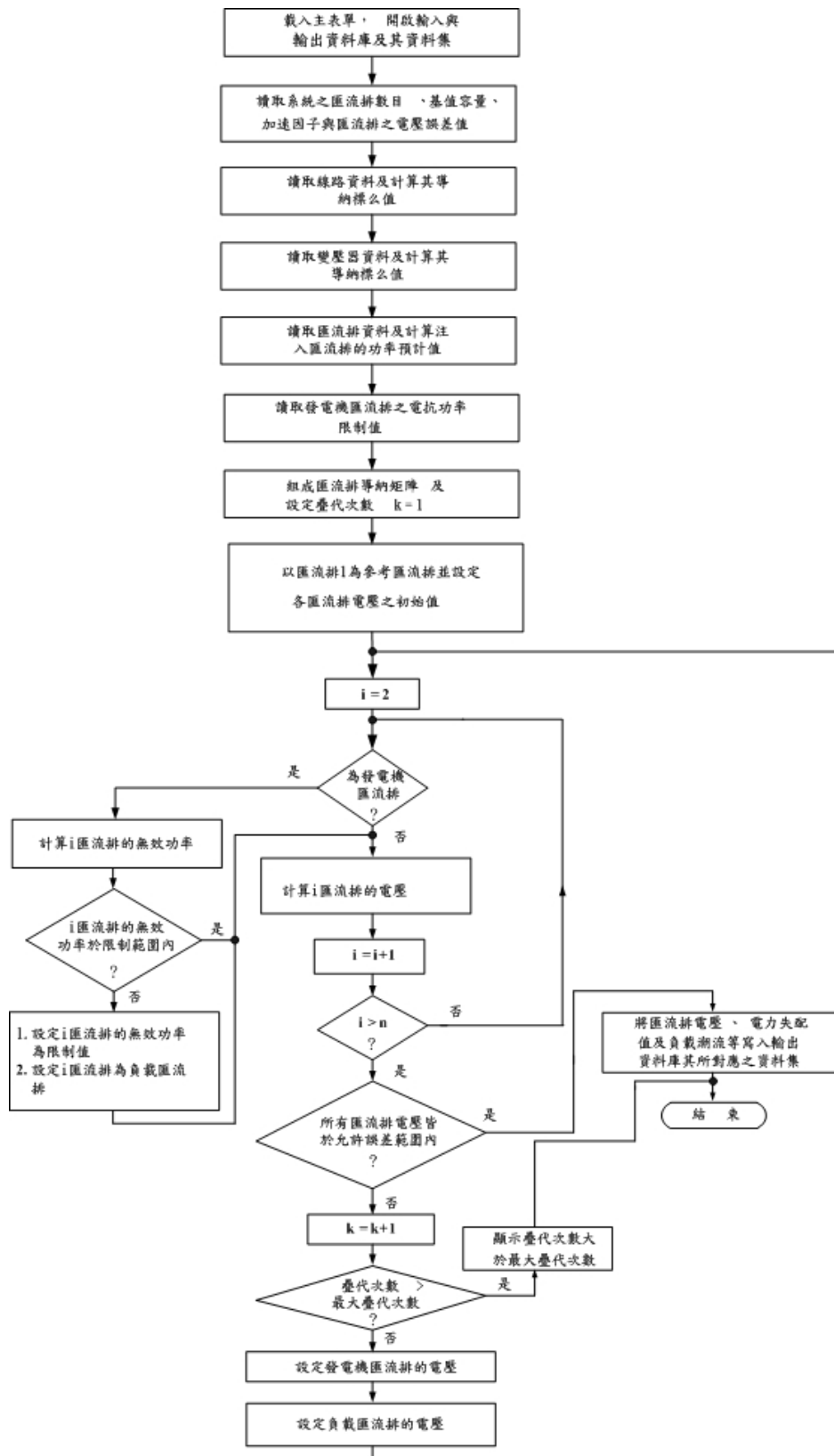


圖 4 高斯-塞德法分析電力潮流之流程圖

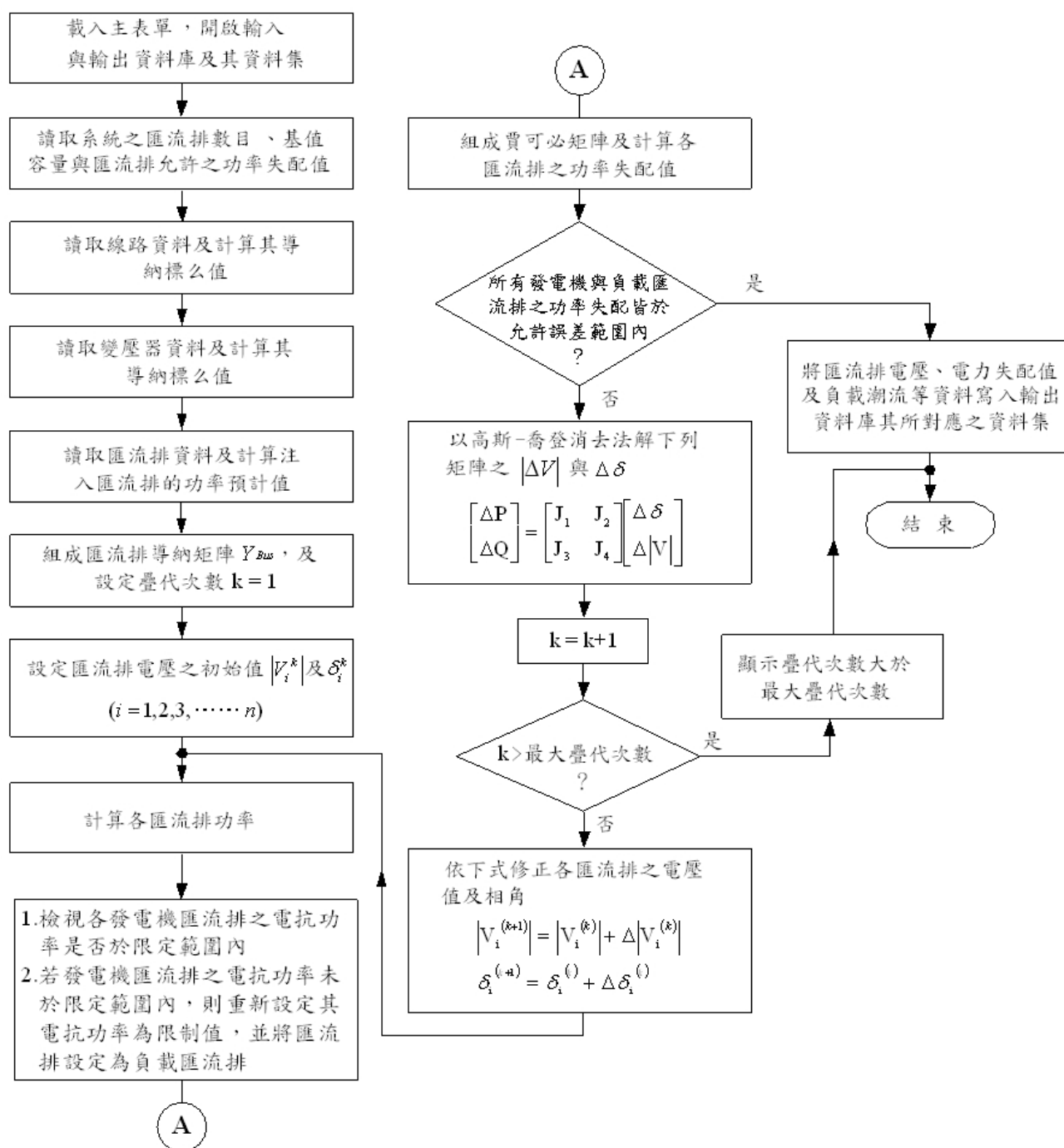


圖 5 牛頓-拉弗生法分析電力潮流之流程圖

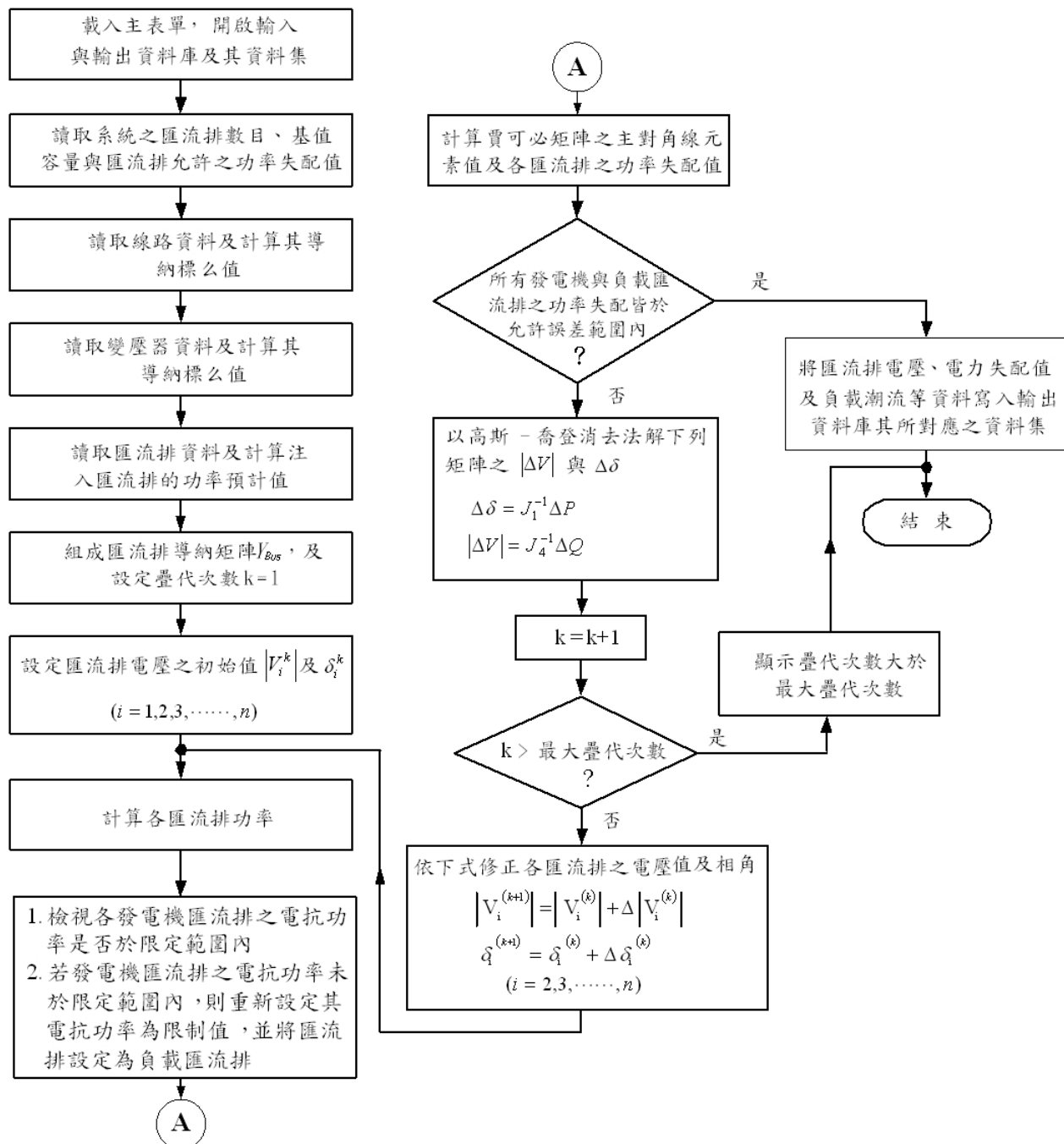


圖 6 快速解耦法分析電力潮流之流程圖

五、電力潮流分析運算例子

以“Power System Analysis & Design”一書(全華圖書公司編譯)第七章之 5 個匯流排電力系統如圖 7 所示，與“Power System Analysis”一書(東華圖書公司編譯)第六章之 26 及 30 個匯流排電力系統如圖 8 與 9 所示。

各系統之容量基值皆為 100MVA，5、26 及 30 個匯流排電力系統分析電力潮流之資料分別如表 2 至表 4 所示。

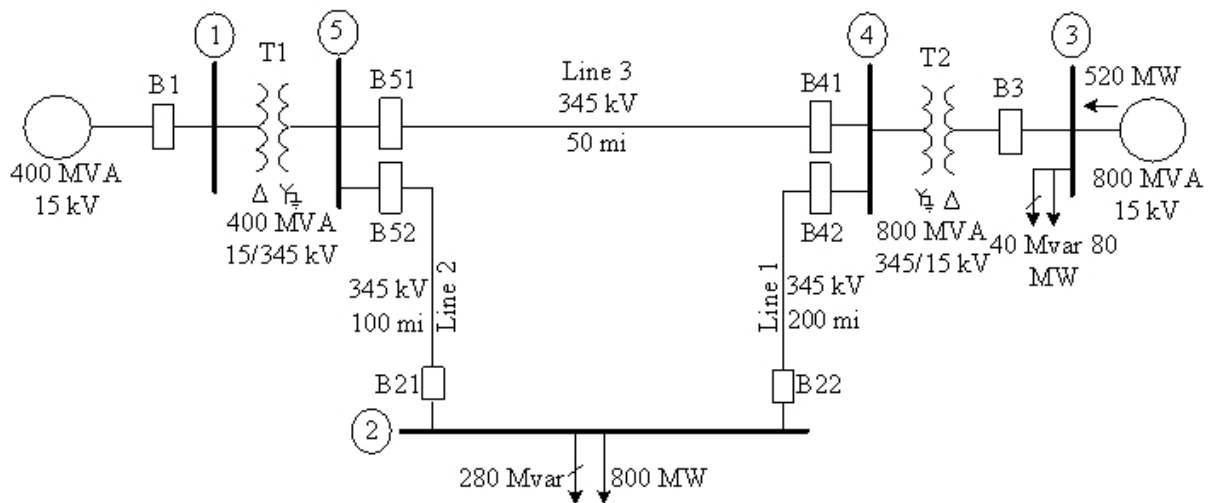


圖 7 5 個匯流排電力系統

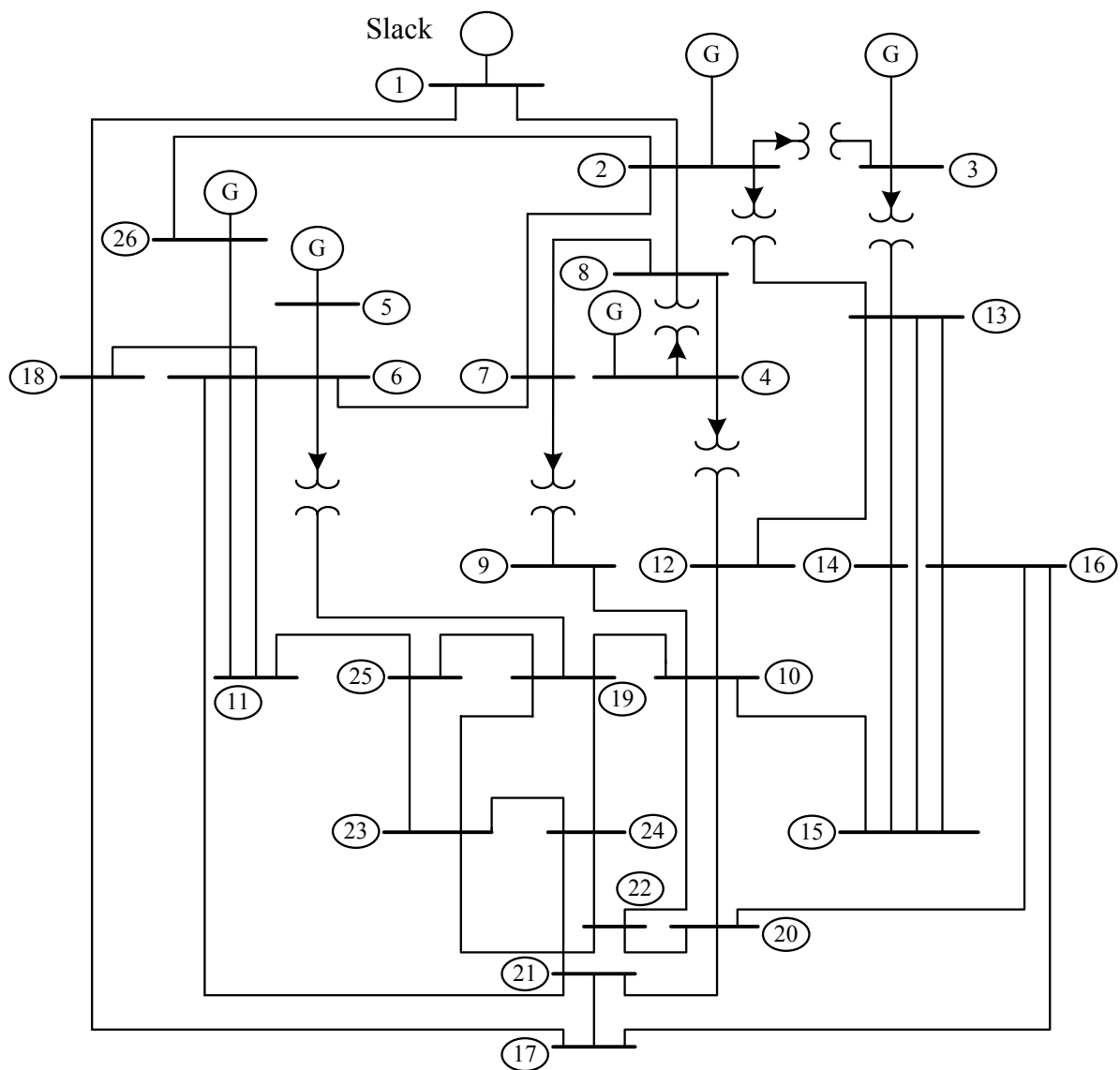


圖 8 26 個匯流排電力系統

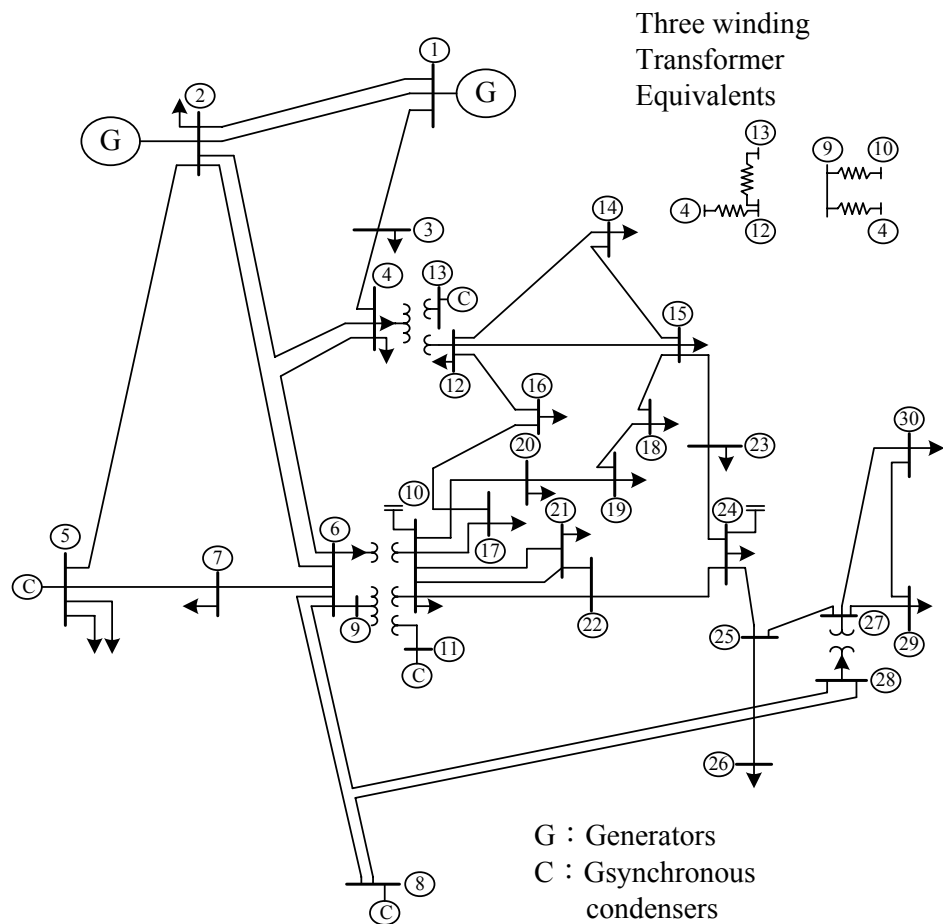


圖 9 30 個匯流排電力系統

表 2-1 5 個匯流排電力系統之匯流排資料

編號	型式	電壓值 (P.U)	相角 (度)	P_G (MW)	Q_G (MVAR)	P_L (MW)	Q_L (MVAR)	$Q_{G,max}$ (MVAR)	$Q_{G,min}$ (MVAR)
1	參考	1.0	0	-	-	0	0	-	-
2	負載	-	-	-	-	800.0	280.	-	-
3	發電機	1.05	-	520	-	80	40	400	-280
4	負載	-	-	0	0	0	0	-	-
5	負載	-	-	0	0	0	0	-	-

表 2-2 5 個匯流排電力系統之輸電線路資料

起始匯 流排	終止匯 流排	電阻 (p.u)	電抗 (p.u)	電導 (p.u)	0.5 倍容納 (p.u)
2	4	0.009	0.1	0	0.86
2	5	0.0045	0.05	0	0.44
4	5	0.00225	0.025	0	0.22

表 2-3 5 個匯流排電力系統之變壓器資料

起始匯 流排	終止匯 流排	電阻 (p.u)	電抗 (p.u)	電導 (p.u)	0.5 倍容納 (p.u)
1	5	0.0015	0.02	0	0
3	4	0.00075	0.01	0	0

表 3-1 26 個匯流排電力系統之匯流排資料

編號	型式	電壓值 (P.U)	相角 (度)	P_G (MW)	Q_G (MVAR)	P_L (MW)	Q_L (MVAR)	$Q_{G,max}$ (MVAR)	$Q_{G,min}$ (MVAR)	並聯電容 器(MVAR)
1	參考	1.025	0	-	-	51	41	-	-	4.0
2	發電機	1.02	-	79	-	22	15	250	40	0.0
3	發電機	1.025	-	20	-	64	50	150	40	0.0
4	發電機	1.05	-	100	-	25	10	80	40	2.0
5	發電機	1.045	-	300	-	50	30	160	40	5.0
6	負載	-	-	0	0	76	29	-	-	2.0
7	負載	-	-	0	0	0	0	-	-	0.0
8	負載	-	-	0	0	0	0	-	-	0.0
9	負載	-	-	0	0	89	50	-	-	0.0
10	負載	-	-	0	0	0	0	-	-	0.0
11	負載	-	-	0	0	25	15	-	-	1.5
12	負載	-	-	0	0	89	48	-	-	2.0
13	負載	-	-	0	0	31	15	-	-	0.0
14	負載	-	-	0	0	24	12	-	-	0.0
15	負載	-	-	0	0	70	31	-	-	0.5
16	負載	-	-	0	0	55	27	-	-	0.0
17	負載	-	-	0	0	78	38	-	-	0.0
18	負載	-	-	0	0	153	67	-	-	0.0
19	負載	-	-	0	0	75	15	-	-	5.0
20	負載	-	-	0	0	48	27	-	-	0.0
21	負載	-	-	0	0	46	23	-	-	0.0
22	負載	-	-	0	0	45	22	-	-	0.0
23	負載	-	-	0	0	25	12	-	-	0.0
24	負載	-	-	0	0	54	27	-	-	0.0
25	負載	-	-	0	0	28	13	-	-	0.0
26	發電機	1.015	-	60	-	40	20	50	15	0.0

表 3-2 26 個匯流排變壓器抽頭設定

起始匯流排	終止匯流排	抽頭設定
2	3	0.960
2	13	0.960
3	13	1.017
4	8	1.05
4	12	1.05
6	19	0.95
7	9	0.95

表 3-3 26 個匯流排電力系統之變壓器資料

起始匯 流排	終止匯 流排	電阻 (p.u)	電抗 (p.u)	電導 (p.u)	0.5 倍容納 (p.u)
2	3	0.0014	0.05	0	0.05
2	13	0.0035	0.025	0	0.025
3	13	0.0007	0.0005	0	0.0005
4	8	0.0008	0.0001	0	0.0001
4	12	0.0016	0.0150	0	0.0150
6	19	0.0035	0.0450	0	0.0450
7	9	0.0009	0.0250	0	0.0250

表 3-4 26 個匯流排電力系統之輸電線路資料

起始 匯流排	終止 匯流排	電阻 (p.u)	電抗 (p.u)	電導 (p.u)	0.5 倍容納 (p.u)
1	2	0.0005	0.0048	0	0.0300
1	18	0.0013	0.0110	0	0.0600
2	7	0.0103	0.0586	0	0.0180
2	8	0.0074	0.0321	0	0.0390
2	26	0.0323	0.1967	0	0.0000
5	6	0.0069	0.0300	0	0.0990
6	7	0.0053	0.0306	0	0.0010
6	11	0.0097	0.0570	0	0.0001
6	18	0.0037	0.0222	0	0.0012
6	21	0.0050	0.0900	0	0.0226
7	8	0.0012	0.0069	0	0.0001
8	12	0.0020	0.0180	0	0.0200
9	10	0.0010	0.0493	0	0.0010
10	12	0.0024	0.0132	0	0.0100
10	19	0.0547	0.2360	0	0.0000
10	20	0.0066	0.016	0	0.0010
10	22	0.0069	0.0290	0	0.005
11	25	0.0960	0.2700	0	0.010
11	26	0.0165	0.0970	0	0.004
12	14	0.0327	0.0802	0	0.000
12	15	0.018	0.0598	0	0.000
13	14	0.0046	0.0271	0	0.001
13	15	0.0116	0.0610	0	0.000
13	16	0.0179	0.0888	0	0.001
14	15	0.0069	0.0382	0	0.000
15	16	0.0209	0.0512	0	0.000
16	17	0.0990	0.0600	0	0.000
16	20	0.0239	0.0585	0	0.000
17	18	0.0032	0.0600	0	0.038
17	21	0.2290	0.4450	0	0.000
19	23	0.0300	0.1310	0	0.000
19	24	0.0300	0.1250	0	0.002
19	25	0.1190	0.2249	0	0.004
20	21	0.0657	0.1570	0	0.000
20	22	0.0150	0.0366	0	0.000
21	24	0.0476	0.1510	0	0.000
22	23	0.0290	0.0990	0	0.000
22	24	0.0310	0.0880	0	0.000
23	25	0.0987	0.1168	0	0.000

表 4-1 30 個匯流排變壓器抽頭設定

起始匯流排	終止匯流排	抽頭設定
4	12	0.932
6	9	0.978
6	10	0.969
28	27	0.968

表 4-2 30 個匯流排電力系統之匯流排資料

編號	型式	電壓值 (P.U)	相角 (度)	P_G (MW)	Q_G (MVAR)	P_L (MW)	Q_L (MVAR)	$Q_{G,max}$ (MVAR)	$Q_{G,min}$ (MVAR)	並聯電容 器(MVAR)
1	參考	1.06	0	-	-	-	0	-	-	0.0
2	發電機	1.043	-	40	-	21.7	12.7	50	-40	0.0
3	負載	-	-	0	0	2.4	1.2	-	-	0.0
4	負載	-	-	0	0	7.6	1.6	-	-	0.0
5	發電機	1.010	-	0	-	94.2	19.0	40	-40	0.0
6	負載	-	-	0	0	0.0	0.0	-	-	0.0
7	負載	-	-	0	0	22.8	10.9	-	-	0.0
8	發電機	1.010	-	0	-	30.0	30.0	40	-10	0.0
9	負載	-	-	0	0	0.0	0.0	-	-	0.0
10	負載	-	-	0	0	5.8	2.0	-	-	19.0
11	發電機	1.082	-	0	-	0.0	0.0	24	-6	0.0
12	負載	-	-	0	0	11.2	7.5	-	-	0.0
13	發電機	1.071	-	0	0	0.0	0.0	24	-6	0.0
14	負載	-	-	0	0	6.2	1.6	-	-	0.0
15	負載	-	-	0	0	8.2	2.5	-	-	0.0
16	負載	-	-	0	0	3.5	1.8	-	-	0.0
17	負載	-	-	0	0	9.0	5.8	-	-	0.0
18	負載	-	-	0	0	3.2	0.9	-	-	0.0
19	負載	-	-	0	0	9.5	3.4	-	-	0.0
20	負載	-	-	0	0	2.2	0.7	-	-	0.0
21	負載	-	-	0	0	17.5	11.2	-	-	0.0
22	負載	-	-	0	0	0.0	0.0	-	-	0.0
23	負載	-	-	0	0	3.2	1.6	-	-	0.0
24	負載	-	-	0	0	8.7	6.7	-	-	4.3
25	負載	-	-	0	0	0.0	0.0	-	-	0.0
26	負載	-	-	0	0	3.5	2.3	-	-	0.0
27	負載	-	-	0	0	0.0	0.0	-	-	0.0
28	負載	-	-	0	0	0.0	0.0	-	-	0.0
29	負載	-	-	0	0	2.4	0.9	-	-	0.0
30	負載	-	-	0	0	10.6	1.9	-	-	0.0

表 4-3 30 個匯流排電力系統之變壓器資料

起始匯 流排	終止匯 流排	電阻 (p.u)	電抗 (p.u)	電導 (p.u)	0.5 倍容納 (p.u)
6	9	0.0	0.208	0.0	0.0
6	10	0.0	0.556	0.0	0.0
9	11	0.0	0.208	0.0	0.0
9	10	0.0	0.110	0.0	0.0
4	12	0.0	0.256	0.0	0.0
12	13	0.0	0.140	0.0	0.0
28	27	0.0	0.396	0.0	0.0

表 4-4 30 個匯流排電力系統之輸電線路資料

起始 匯流排	終止 匯流排	電阻 (p.u)	電抗 (p.u)	電導 (p.u)	0.5 倍容納 (p.u)
1	2	0.0192	0.0575	0.0	0.02640
1	3	0.0452	0.1852	0.0	0.02040
2	4	0.0570	0.1737	0.0	0.01840
3	4	0.0132	0.0379	0.0	0.00420
2	5	0.0472	0.1983	0.0	0.02090
2	6	0.0581	0.1763	0.0	0.01870
4	6	0.0119	0.0414	0.0	0.00450
5	7	0.0460	0.1160	0.0	0.01020
6	7	0.0267	0.0820	0.0	0.00850
6	8	0.0120	0.0420	0.0	0.00450
12	14	0.1231	0.2559	0.0	0.00000
12	15	0.0662	0.1304	0.0	0.00000
12	16	0.0945	0.1987	0.0	0.00000
14	15	0.2210	0.1997	0.0	0.00000
16	17	0.0824	0.1923	0.0	0.00000
15	18	0.1073	0.2185	0.0	0.00000
18	19	0.0639	0.1292	0.0	0.00000
19	20	0.0340	0.0680	0.0	0.00000
10	20	0.0936	0.2090	0.0	0.00000
10	17	0.0324	0.0845	0.0	0.00000
10	21	0.0348	0.0749	0.0	0.00000
10	22	0.0727	0.1499	0.0	0.00000
21	22	0.0116	0.0236	0.0	0.00000
15	23	0.1000	0.2020	0.0	0.00000
22	24	0.1150	0.1790	0.0	0.00000
23	24	0.1320	0.2700	0.0	0.00000
24	25	0.1885	0.3292	0.0	0.00000
25	26	0.2544	0.3800	0.0	0.00000
25	27	0.1093	0.2087	0.0	0.00000
27	29	0.2198	0.4153	0.0	0.00000
27	30	0.3202	0.6027	0.0	0.00000
29	30	0.2399	0.4533	0.0	0.00000
8	28	0.0636	0.2000	0.0	0.02140
6	28	0.0169	0.0599	0.0	0.06500

六、電力潮流網頁

為提高本系學生對電力系統學習的興趣，以上列各電力系統為例子，並利用 ASP.NET 撰寫電力潮流的應用程式。如此可透過 IIS 伺服器將網頁提供給瀏覽者且與瀏覽者產生互動，其情形如圖 10 至 11 所示。

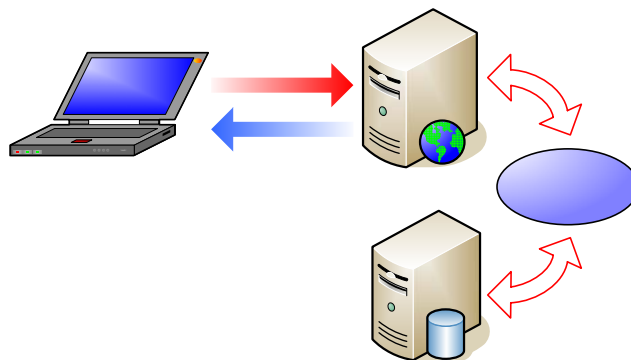


圖 10 ASP.NET 架構圖

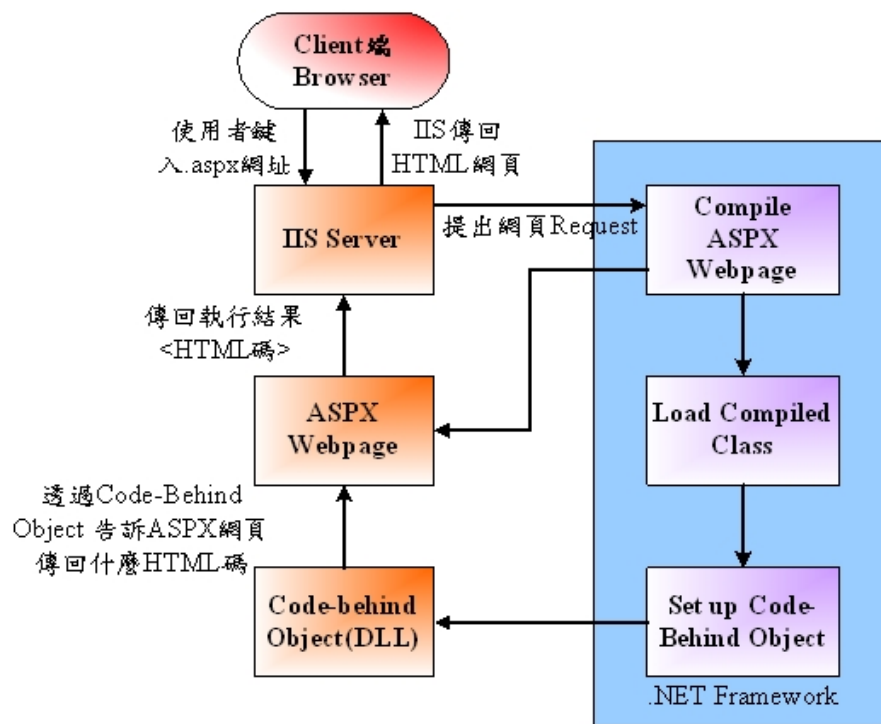


圖 11 ASP.NET中的Web工作流程圖

電力潮流網頁執行時，所顯示的部分頁面，如圖 12 至圖 13 所示。

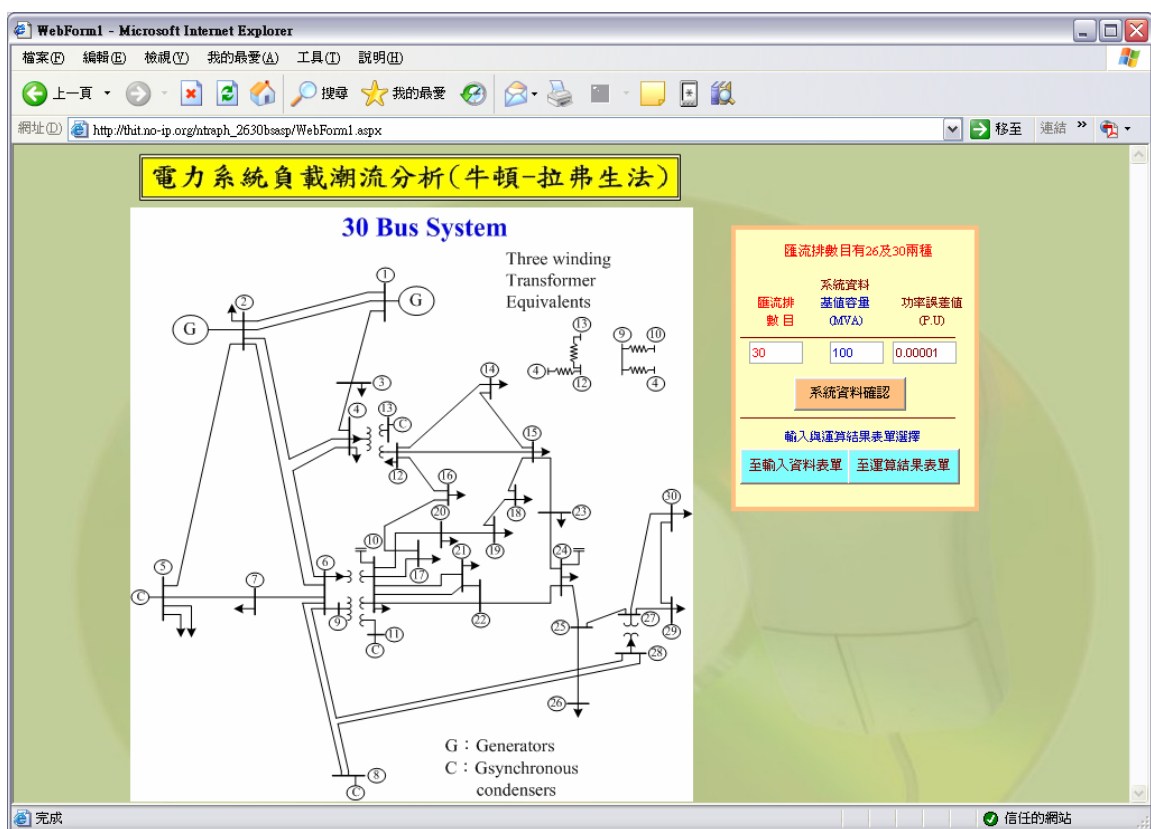


圖 12 系統單線圖與輸入資料



圖 13 各輸入資料之顯示與電力潮流運算



圖 14 電力潮流分析結果

七、結論

以各種方法對 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 $10^{-7} p.u$ ，對牛頓-拉弗生法及快速解耦法其失配功率最大值則選用 $10^{-5} p.u$ ，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 15 至 17 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。

經長時間測試與分析得以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。

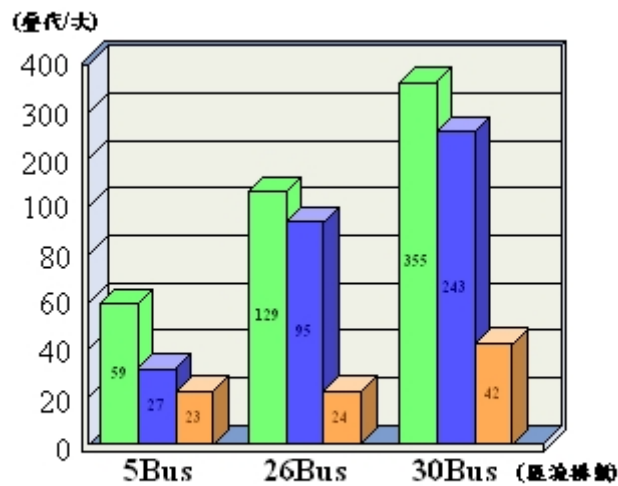


圖 15 各種方法疊代次數比較圖

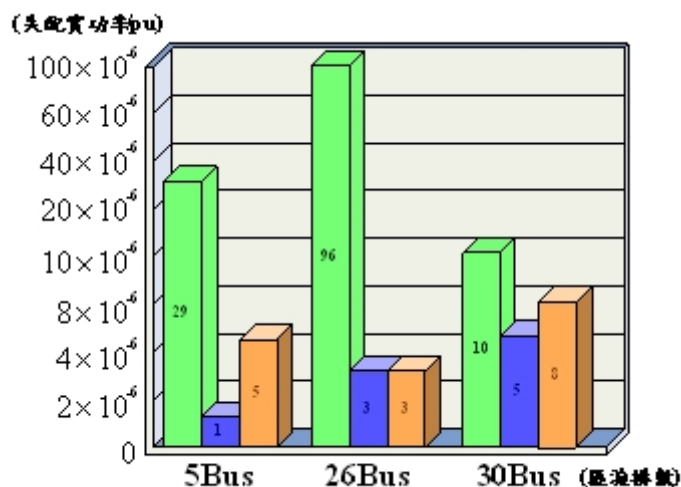


圖 16 各種方法實功率失配值比較圖

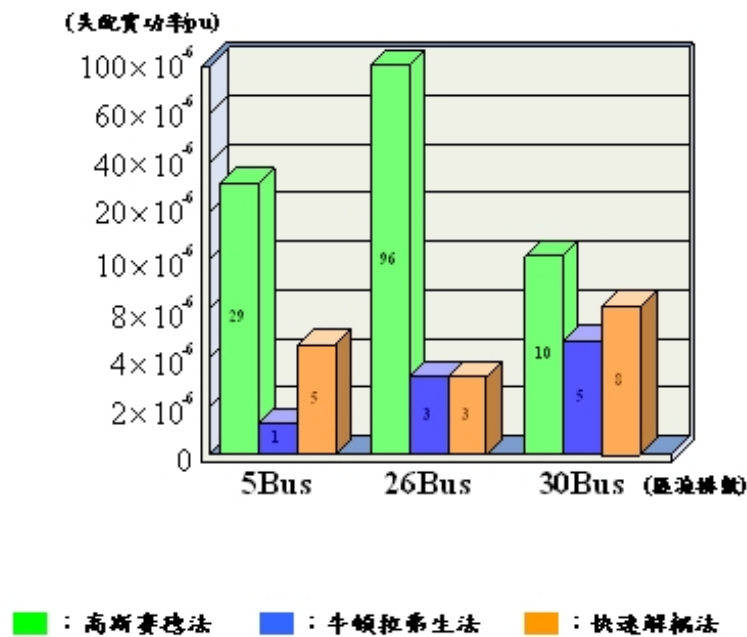


圖 17 各種方法運算時間比較圖

八、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