รายการอ้างอิง

1. Müller, N., and Quintana, V.H. Partitioning of power networks and applications to security control IEE Proceedings-C Vol.138 No.6 (November 1991): 535-545.
2. Müller, N., and Quintana, V.H. A sparse eigenvalue-based approach for partitioning power networks IEEE Transactions on Power Systems Vol.7 No.2 (May 1992): 520-527.
3. Chan, P.K., Schlag M., and Zien, J.Y. Spectral k-way ratio-cut partitioning and clustering IEEE Transaction on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems Vol.13 No.9 (September 1994): 1088-1096.
4. Habiballah, I.O., and Quintana, V.H. Integer-linear-programming eigenvector-based approach for multipartitioning power system state-estimation networks IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol.141 No.1 (January 1994): 11-18
5. Fouda, S.S., Salama, M.M.A., Vannelli, A., and Chikhani, A.Y. Eigenvalue approach clustering algorithm for building equivalent models of distribution systems IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol.142 No.3 (May 1995): 282-288
6. de Souza, A.Z., and Quintana, V.H. New technique of network partitioning for voltage collapse margin calculations IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol.141 No.6 (November 1994): 630-636
7. de Souza, A.Z., Cañizares, C.A., and Quintana V.H. New techniques to speed up voltage collapse computations using tangent vectors IEEE Transactions on Power Systems Vol.12 No.3 (August 1997): 1380-1387
8. Nuhanovic A., Glavic, M., and Prljaca, N. Validation of a clustering algorithm for voltage stability analysis on the Bosnian electric power system IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib. Vol.145 No.1 (January 1998): 21-26
9. Deckmann, S., Pizzolante, A., Monticelli, A., Stott, B., and Alsaç, O. Studies on power system load flow equivalencing IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol.PAS-99 No.6 (November/December 1980): 2301-2310.
10. Deckmann, S., Pizzolante, A., Monticelli, A., Stott, B., and Alsaç, O. Numerical testing of power system load flow equivalents IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol.PAS-99 No.6 (November/December 1980): 2292-2300.

11. Lo, K.L., Peng, L.J., Macqueen, J.F., Ekwue, A.O., and Dandachi, N.H. Extended Ward equivalent of external system for on-line security analysis IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, pp.54-59, Hong Kong, December 1993.

12. Housos, E.C., Irisarri, G., Porter, R.M., and Sasson, A.M. Steady state network equivalents for power system planning applications IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol.PAS-99 No.6 (November/December 1980): 2113-2120.

13. Dy Liacco, T.E., Savulescu, S.C., and Ramarao, K.A. An on-line topological equivalent of a power system IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol.PAS-97 No.5 (September/October 1978): 1550-1563.

14. Parlett, B.N. The symmetric eigenvalue problem NJ: Prentice-Hall, 1980.

15. Winkinson, J.H. The algebraic eigenvalue problem Oxford: Clarendon Press, 1965.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ทฤษฎีบทคูรันต์-ฟิสเชอร์

ทฤษฎีบทคูรันต์-ฟิสเชอร์ที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ใช้ในการหาค่าเฉพาะที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นอันดับที่ i ของเมทริกซ์สมมาตรค่าจริง $\mathbf{B}$ อันดับ $n \times n$ ดังนี้

$$\lambda_i = \min_{\dim(S)=i} \max_{\substack{\mathbf{x}\in S \\ \mathbf{x}\neq 0}} \frac{\mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x}}{\mathbf{x}^T\mathbf{x}}$$

โดย S เป็นปริภูมิย่อยของปริภูมิแบบยุคลิด n มิติ

<u>การพิสูจน์</u>

ให้ S^i เป็นปริภูมิย่อยที่มีมิติเท่ากับ i ของ E^n ซึ่งเป็นปริภูมิแบบยุคลิด n มิติ ดังนั้นจะมีเมทริกซ์ $\mathbf{P}_i = [\mathbf{p}_1\ \mathbf{p}_2\ \dots\ \mathbf{p}_i]$ ซึ่งมีแนวตั้งเป็นฐานหลักเชิงตั้งฉากปรกติของ S^i และจะมีเมทริกซ์ $\mathbf{Q}_{n-i} = [\mathbf{q}_1\ \mathbf{q}_2\ \dots\ \mathbf{q}_{n-i}]$ ซึ่งทำให้เมทริกซ์ $[\mathbf{P}_i\ \mathbf{Q}_{n-i}]$ เป็นเมทริกซ์เชิงตั้งฉาก

ให้ $\mathbf{x}$ เป็นเวกเตอร์ใน S^i โดย $\mathbf{x}^T\mathbf{x} = 1$ ดังนั้น $\mathbf{q}_j^T\mathbf{x} = 0$ $(j = 1, 2, \dots, n-i)$

ให้ Λ_n เป็นเมทริกซ์ทแยงมุมอันดับ $n \times n$ ที่มีสมาชิกในแนวทแยงมุมมุขสำคัญเป็นค่าเฉพาะทั้งหมดของ $\mathbf{B}$ เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ได้แก่ $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ และให้ $\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1\ \mathbf{v}_2\ \dots\ \mathbf{v}_n]$ ประกอบไปด้วยเวกเตอร์เฉพาะขนาดหนึ่งหน่วยทั้งหมดของ $\mathbf{B}$ ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉพาะใน Λ_n ได้แก่ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$ ดังนั้นจะได้ว่า $\mathbf{V}^T\mathbf{B}\mathbf{V} = \mathbf{V}^T\mathbf{V}\Lambda_n = \mathbf{I}_n\Lambda_n = \Lambda_n$

เนื่องจากเวกเตอร์เฉพาะขนาดหนึ่งหน่วยของ $\mathbf{B}$ เป็นอิสระต่อกัน จึงสามารถใช้เป็นฐานหลักของ E^n ได้ ดังนั้นจะสามารถเขียน $\mathbf{x}$ ในรูปผลบวกเชิงเส้นของแนวตั้งของ $\mathbf{V}$ ได้ นั่นคือ จะมี $\mathbf{y} = [y_1\ y_2\ \dots\ y_n]^T$ ซึ่ง $\mathbf{x} = \mathbf{V}\mathbf{y}$ ดังนั้นจะได้ $\mathbf{y} = (\mathbf{V})^{-1}\mathbf{x} = \mathbf{V}^T\mathbf{x}$

จาก $\mathbf{x}^T\mathbf{x} = 1$ จะได้ $(\mathbf{V}\mathbf{y})^T\mathbf{V}\mathbf{y} = \mathbf{y}^T\mathbf{V}^T\mathbf{V}\mathbf{y} = 1$ ดังนั้นจะได้ $\mathbf{y}^T\mathbf{y} = 1$

จาก $\mathbf{q}_j^T\mathbf{x} = 0$ จะได้ $\mathbf{q}_j^T(\mathbf{V}\mathbf{y}) = \mathbf{r}_j^T\mathbf{y} = 0$ โดย $\mathbf{r}_j^T = \mathbf{q}_j^T\mathbf{V}$ $(j = 1, 2, \dots, n-i)$

เนื่องจาก $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \dots, \mathbf{q}_{n-i}$ เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_{n-i}$ จะเป็นอิสระต่อกันด้วย จึงได้ว่า $\mathbf{r}_j^T\mathbf{y} = 0$ $(j = 1, 2, \dots, n-i)$ เป็นระบบเอกพันธ์ (homogeneous system) ที่มี n ตัวแปร ได้แก่ $y_1, y_2, \dots, y_n$ และมีสมการที่เป็นอิสระต่อกันอยู่ $n-i$ สมการ ถ้ากำหนด $y_1 = y_2 = \dots = y_{i-1}$ จะได้ระบบเอกพันธ์ที่มี $n-i+1$ ตัวแปร ได้แก่ $y_i, y_{i+1}, \dots, y_n$ และมีสมการที่เป็นอิสระต่อกันอยู่ $n-i$ สมการ ดังนั้นจะมีผลเฉลยไม่ชัด (non-trivial solution) $\mathbf{y} = [0\ 0\ \dots\ 0\ y_i\ y_{i+1}\ \dots\ y_n]^T$ ที่มีขนาดเป็น 1 สอดคล้องกับเงื่อนไข $\mathbf{y}^T\mathbf{y} = 1$

ดังนั้นสำหรับ S^i ใด ๆ จะสามารถเลือก $\mathbf{y}$ ตามวิธีข้างต้นแล้วได้ $\mathbf{x} = \mathbf{V}\mathbf{y}$ และจะได้

$$\mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} = (\mathbf{V}\mathbf{y})^T\mathbf{B}(\mathbf{V}\mathbf{y}) = \mathbf{y}^T(\mathbf{V}^T\mathbf{B}\mathbf{V})\mathbf{y} = \mathbf{y}^T\mathbf{\Lambda}_n\,\mathbf{y} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_j^2 = \sum_{j=i}^{n}\lambda_j y_j^2 \geq \lambda_i\sum_{j=i}^{n} y_j^2 = \lambda_i$$

นั่นคือสำหรับ S^i ใด ๆ จะมี $\mathbf{x}$ ขนาดหนึ่งหน่วยซึ่ง $\mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} \geq \lambda_i$

ดังนั้น $\max_{\substack{\mathbf{x}\in S^i \\ \mathbf{x}^T\mathbf{x}=1}} \mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} \geq \lambda_i$ สำหรับ S^i ใด ๆ

ต่อไปจะแสดงว่ามี S^i ซึ่งทำให้ $\max_{\substack{\mathbf{x}\in S^i \\ \mathbf{x}^T\mathbf{x}=1}} \mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} = \lambda_i$

ให้ S'^i เป็นปริภูมิย่อยที่มีมิติเท่ากับ i ของ E^n และ S'^i มีฐานหลักเชิงตั้งฉากปรกติเป็น $\mathbf{P}_i$ ซึ่งเมื่อประกอบกับ $\mathbf{Q}_{n-i}$ ที่มีแนวตั้งเป็น $\mathbf{q}_j = \mathbf{v}_{i+j}$ (j=1, 2, ..., n-i) แล้วจะได้เมทริกซ์เชิงตั้งฉาก

จาก $\mathbf{q}_j = \mathbf{v}_{i+j}$ จะได้ว่า $\mathbf{q}_j = \mathbf{V}\mathbf{e}_{i+j}$ (j=1, 2, ..., n-i) โดยที่ $\mathbf{e}_{i+j} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & \underset{\text{ตำแหน่งที่ } i+j}{1} & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$

จะได้ $\mathbf{r}_j^T = \mathbf{q}_j^T\mathbf{V} = (\mathbf{V}\mathbf{e}_{i+j})^T\mathbf{V} = \mathbf{e}_{i+j}^T$ (j = 1, 2, ..., n-i)

จาก $\mathbf{r}_j^T\mathbf{y} = 0$ (j = 1, 2, ..., n-i) จะได้ $y_k = 0$ (k = i+1, i+2, ..., n)

ดังนั้นสำหรับ $\mathbf{x}$ ขนาดหนึ่งหน่วยใด ๆ ใน S'^i จะสามารถเขียน $\mathbf{x}$ ได้เป็น $\mathbf{x} = \mathbf{V}\mathbf{y}$ โดยที่ $\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \cdots & y_i & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$ และ $\mathbf{y}^T\mathbf{y} = 1$ จะได้

$$\mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_j^2 = \sum_{j=1}^{i}\lambda_j y_j^2 \leq \lambda_i\sum_{j=1}^{i} y_j^2 = \lambda_i$$

ดังนั้น $\max_{\substack{\mathbf{x}\in S'^i \\ \mathbf{x}^T\mathbf{x}=1}} \mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} \leq \lambda_i$

ถ้าเลือก $\mathbf{y} = \mathbf{e}_i$ จะได้ $\mathbf{x} = \mathbf{V}\mathbf{e}_i = \mathbf{v}_i$ และได้ $\mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} = \lambda_i$

ดังนั้น $\max_{\substack{\mathbf{x}\in S'^i \\ \mathbf{x}^T\mathbf{x}=1}} \mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} = \lambda_i$

ดังนั้นสรุปได้ว่า $\min_{\dim(S)=i} \max_{\substack{\mathbf{x}\in S \\ \mathbf{x}^T\mathbf{x}=1}} \mathbf{x}^T\mathbf{B}\mathbf{x} = \lambda_i$ □

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และ 118 บัส

ภาคผนวก ข นี้แสดงข้อมูลของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และ 118 บัส ซึ่งถูกดัดแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมวิเคราะห์โหลดโฟลว์ MATPOWER 2 ซึ่งพัฒนาโดย Power System Engineering Research Center (PSERC) ดังนั้นข้อมูลบางอย่างจะไม่อยู่ในรูปแบบเดิม การผลิตที่เป็นลบจะถูกเปลี่ยนเป็นโหลด และข้อมูลของตัวต่อขนานที่บัสจะเขียนในรูปของโหลดเป็น MW ที่แรงดัน 1.0 per unit และการฉีดเป็น MVAR ที่แรงดันดัน 1.0 per unit

ข.1 ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ตารางที่ ข.1.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และแรงดันที่ได้จากผลการวิเคราะห์โหลดโฟลว์สำหรับกรณีฐาน

หมายเลขบัส	ประเภทบัส	การผลิต (MW)	โหลด		ตัวต่อขนาน (กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)		แรงดันสำหรับกรณีฐาน	
			P (MW)	Q (MVAR)	P_d (MW)	Q_l (MVAR)	V (p.u.)	θ (deg.)
1	บัสอ้างอิง	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0600	0.0000
2	บัสแรงดัน	40.000	21.700	12.700	0.000	0.000	1.0450	-5.5278
3	บัสโหลด	-	2.400	1.200	0.000	0.000	1.0210	-7.9872
4	บัสโหลด	-	7.600	1.600	0.000	0.000	1.0123	-9.6413
5	บัสแรงดัน	0.000	94.200	19.000	0.000	0.000	1.0100	-14.3765
6	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0106	-11.3659
7	บัสโหลด	-	22.800	10.900	0.000	0.000	1.0026	-13.1292
8	บัสแรงดัน	0.000	30.000	30.000	0.000	0.000	1.0100	-12.1094
9	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0510	-14.4166
10	บัสโหลด	-	5.800	2.000	0.000	19.000	1.0452	-16.0110
11	บัสแรงดัน	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0820	-14.4166
12	บัสโหลด	-	11.200	7.500	0.000	0.000	1.0574	-15.2784
13	บัสแรงดัน	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0710	-15.2784
14	บัสโหลด	-	6.200	1.600	0.000	0.000	1.0425	-16.1674
15	บัสโหลด	-	8.200	2.500	0.000	0.000	1.0379	-16.2560
16	บัสโหลด	-	3.500	1.800	0.000	0.000	1.0450	-15.8614
17	บัสโหลด	-	9.000	5.800	0.000	0.000	1.0398	-16.1733

ตารางที่ ข.1.1 (ต่อ)

หมายเลขบัส	ประเภทบัส	การผลิต (MW)	โหลด		ตัวต่อขนาน (กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)		แรงดันสำหรับกรณีฐาน	
			P (MW)	Q (MVAR)	P_d (MW)	Q_d (MVAR)	V (p.u.)	θ (deg.)
18	บัสโหลด	-	3.200	0.900	0.000	0.000	1.0283	-16.8640
19	บัสโหลด	-	9.500	3.400	0.000	0.000	1.0258	-17.0340
20	บัสโหลด	-	2.200	0.700	0.000	0.000	1.0299	-16.8356
21	บัสโหลด	-	17.500	11.200	0.000	0.000	1.0328	-16.4541
22	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0334	-16.4401
23	บัสโหลด	-	3.200	1.600	0.000	0.000	1.0274	-16.6407
24	บัสโหลด	-	8.700	6.700	0.000	4.300	1.0217	-16.8093
25	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0176	-16.3758
26	บัสโหลด	-	3.500	2.300	0.000	0.000	0.9999	-16.7952
27	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0235	-15.8480
28	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0071	-11.9891
29	บัสโหลด	-	2.400	0.900	0.000	0.000	1.0037	-17.0773
30	บัสโหลด	-	10.600	1.900	0.000	0.000	0.9922	-17.9597

ตารางที่ ข.1.2 ข้อมูลกิ่งของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

จากบัส	ถึงบัส	R (per unit)	X (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วนหม้อแปลง	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
1	2	0.01920	0.05750	0.05280	-	-
1	3	0.04520	0.18520	0.04080	-	-
2	4	0.05700	0.17370	0.03680	-	-
3	4	0.01320	0.03790	0.00840	-	-
2	5	0.04720	0.19830	0.04180	-	-
2	6	0.05810	0.17630	0.03740	-	-
4	6	0.01190	0.04140	0.00900	-	-
5	7	0.04600	0.11600	0.02040	-	-
6	7	0.02670	0.08200	0.01700	-	-
6	8	0.01200	0.04200	0.00900	-	-
6	9	0.00000	0.20800	0.00000	0.97800	0.00000
6	10	0.00000	0.55600	0.00000	0.96900	0.00000
9	11	0.00000	0.20800	0.00000	-	-

ตารางที่ ข.1.2 (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	R (per unit)	X (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วนหม้อแปลง	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
9	10	0.00000	0.11000	0.00000	-	-
4	12	0.00000	0.25600	0.00000	0.93200	0.00000
12	13	0.00000	0.14000	0.00000	-	-
12	14	0.12310	0.25590	0.00000	-	-
12	15	0.06620	0.13040	0.00000	-	-
12	16	0.09450	0.19870	0.00000	-	-
14	15	0.22100	0.19970	0.00000	-	-
16	17	0.08240	0.19230	0.00000	-	-
15	18	0.10730	0.21850	0.00000	-	-
18	19	0.06390	0.12920	0.00000	-	-
19	20	0.03400	0.06800	0.00000	-	-
10	20	0.09360	0.20900	0.00000	-	-
10	17	0.03240	0.08450	0.00000	-	-
10	21	0.03480	0.07490	0.00000	-	-
10	22	0.07270	0.14990	0.00000	-	-
21	22	0.01160	0.02360	0.00000	-	-
15	23	0.10000	0.20200	0.00000	-	-
22	24	0.11500	0.17900	0.00000	-	-
23	24	0.13200	0.27000	0.00000	-	-
24	25	0.18850	0.32920	0.00000	-	-
25	26	0.25440	0.38000	0.00000	-	-
25	27	0.10930	0.20870	0.00000	-	-
28	27	0.00000	0.39600	0.00000	0.96800	0.00000
27	29	0.21980	0.41530	0.00000	-	-
27	30	0.32020	0.60270	0.00000	-	-
29	30	0.23990	0.45330	0.00000	-	-
8	28	0.06360	0.20000	0.04280	-	-
6	28	0.01690	0.05990	0.01300	-	-

ข.2 ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 118 บัส

ตารางที่ ข.2.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ IEEE 118 บัส และแรงดันที่ได้จากผลการวิเคราะห์โหลดโฟลว์สำหรับกรณีฐาน

หมายเลขบัส	ประเภทบัส	การผลิต (MW)	โหลด		ตัวต่อขนาน (กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)		แรงดันสำหรับกรณีฐาน	
			P (MW)	Q (MVAR)	P_d (MW)	Q_i (MVAR)	V (p.u.)	θ (deg.)
1	บัสแรงดัน	0.000	51.000	27.000	0.000	0.000	0.9550	10.9727
2	บัสโหลด	-	20.000	9.000	0.000	0.000	0.9714	11.5126
3	บัสโหลด	-	39.000	10.000	0.000	0.000	0.9677	11.8562
4	บัสแรงดัน	0.000	39.000	12.000	0.000	0.000	0.9980	15.5741
5	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	-40.000	1.0020	16.0192
6	บัสแรงดัน	0.000	52.000	22.000	0.000	0.000	0.9900	13.2919
7	บัสโหลด	-	19.000	2.000	0.000	0.000	0.9893	12.8473
8	บัสแรงดัน	0.000	28.000	0.000	0.000	0.000	1.0150	21.0406
9	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0429	28.2947
10	บัสแรงดัน	450.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0500	35.8756
11	บัสโหลด	-	70.000	23.000	0.000	0.000	0.9851	13.0058
12	บัสแรงดัน	85.000	47.000	10.000	0.000	0.000	0.9900	12.4889
13	บัสโหลด	-	34.000	16.000	0.000	0.000	0.9683	11.6298
14	บัสโหลด	-	14.000	1.000	0.000	0.000	0.9836	11.7715
15	บัสแรงดัน	0.000	90.000	30.000	0.000	0.000	0.9700	11.4742
16	บัสโหลด	-	25.000	10.000	0.000	0.000	0.9839	12.1873
17	บัสโหลด	-	11.000	3.000	0.000	0.000	0.9951	13.9952
18	บัสแรงดัน	0.000	60.000	34.000	0.000	0.000	0.9730	11.7808
19	บัสแรงดัน	0.000	45.000	25.000	0.000	0.000	0.9620	11.3147
20	บัสโหลด	-	18.000	3.000	0.000	0.000	0.9569	12.1910
21	บัสโหลด	-	14.000	8.000	0.000	0.000	0.9577	13.7780
22	บัสโหลด	-	10.000	5.000	0.000	0.000	0.9690	16.3316
23	บัสโหลด	-	7.000	3.000	0.000	0.000	0.9995	21.2487
24	บัสแรงดัน	0.000	13.000	0.000	0.000	0.000	0.9920	21.1139
25	บัสแรงดัน	220.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0500	28.1798
26	บัสแรงดัน	314.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0150	29.9602
27	บัสแรงดัน	0.000	71.000	13.000	0.000	0.000	0.9680	15.6044
28	บัสโหลด	-	17.000	7.000	0.000	0.000	0.9616	13.8789

ตารางที่ ข.2.1 (ต่อ)

หมายเลขบัส	ประเภทบัส	การผลิต (MW)	โหลด		ตัวต่อขนาน (กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)		แรงดันสำหรับกรณีฐาน	
			P (MW)	Q (MVAR)	P_d (MW)	Q_d (MVAR)	V (p.u.)	θ (deg.)
29	บัสโหลด	-	24.000	4.000	0.000	0.000	0.9632	12.8854
30	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9853	19.0338
31	บัสแรงดัน	7.000	43.000	27.000	0.000	0.000	0.9670	13.0019
32	บัสแรงดัน	0.000	59.000	23.000	0.000	0.000	0.9630	15.0606
33	บัสโหลด	-	23.000	9.000	0.000	0.000	0.9709	10.8538
34	บัสแรงดัน	0.000	59.000	26.000	0.000	14.000	0.9840	11.5114
35	บัสโหลด	-	33.000	9.000	0.000	0.000	0.9805	11.0551
36	บัสแรงดัน	0.000	31.000	17.000	0.000	0.000	0.9800	11.0555
37	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	-25.000	0.9907	11.9667
38	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9613	17.1076
39	บัสโหลด	-	27.000	11.000	0.000	0.000	0.9700	8.5766
40	บัสแรงดัน	0.000	66.000	23.000	0.000	0.000	0.9700	7.4955
41	บัสโหลด	-	37.000	10.000	0.000	0.000	0.9668	7.0516
42	บัสแรงดัน	0.000	96.000	23.000	0.000	0.000	0.9850	8.6529
43	บัสโหลด	-	18.000	7.000	0.000	0.000	0.9771	11.4604
44	บัสโหลด	-	16.000	8.000	0.000	10.000	0.9844	13.9433
45	บัสโหลด	-	53.000	22.000	0.000	10.000	0.9864	15.7726
46	บัสแรงดัน	19.000	28.000	10.000	0.000	10.000	1.0050	18.5757
47	บัสโหลด	-	34.000	0.000	0.000	0.000	1.0171	20.7991
48	บัสโหลด	-	20.000	11.000	0.000	15.000	1.0206	20.0185
49	บัสแรงดัน	204.000	87.000	30.000	0.000	0.000	1.0250	21.0216
50	บัสโหลด	-	17.000	4.000	0.000	0.000	1.0011	18.9829
51	บัสโหลด	-	17.000	8.000	0.000	0.000	0.9669	16.3642
52	บัสโหลด	-	18.000	5.000	0.000	0.000	0.9568	15.4109
53	บัสโหลด	-	23.000	11.000	0.000	0.000	0.9460	14.4362
54	บัสแรงดัน	48.000	113.000	32.000	0.000	0.000	0.9550	15.3481
55	บัสแรงดัน	0.000	63.000	22.000	0.000	0.000	0.9520	15.0582
56	บัสแรงดัน	0.000	84.000	18.000	0.000	0.000	0.9540	15.2449
57	บัสโหลด	-	12.000	3.000	0.000	0.000	0.9706	16.4492
58	บัสโหลด	-	12.000	3.000	0.000	0.000	0.9590	15.5925
59	บัสแรงดัน	155.000	277.000	113.000	0.000	0.000	0.9850	19.4485

ตารางที่ ข.2.1 (ต่อ)

หมายเลขบัส	ประเภทบัส	การผลิต (MW)	โหลด		ตัวต่อขนาน (กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)		แรงดันสำหรับกรณีฐาน	
			P (MW)	Q (MVAR)	P_d (MW)	Q_l (MVAR)	V (p.u.)	θ (deg.)
60	บัสโหลด	-	78.000	3.000	0.000	0.000	0.9932	23.2301
61	บัสแรงดัน	160.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9950	24.1215
62	บัสแรงดัน	0.000	77.000	14.000	0.000	0.000	0.9980	23.5048
63	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9687	22.8274
64	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9837	24.5934
65	บัสแรงดัน	391.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0050	27.7191
66	บัสแรงดัน	392.000	39.000	18.000	0.000	0.000	1.0500	27.5587
67	บัสโหลด	-	28.000	7.000	0.000	0.000	1.0197	24.9190
68	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0033	27.5978
69	บัสอ้างอิง	-	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0350	30.0000
70	บัสแรงดัน	0.000	66.000	20.000	0.000	0.000	0.9840	22.6179
71	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9868	22.2069
72	บัสแรงดัน	0.000	12.000	0.000	0.000	0.000	0.9800	21.1086
73	บัสแรงดัน	0.000	6.000	0.000	0.000	0.000	0.9910	21.9954
74	บัสแรงดัน	0.000	68.000	27.000	0.000	12.000	0.9580	21.6686
75	บัสโหลด	-	47.000	11.000	0.000	0.000	0.9673	22.9302
76	บัสแรงดัน	0.000	68.000	36.000	0.000	0.000	0.9430	21.7988
77	บัสแรงดัน	0.000	61.000	28.000	0.000	0.000	1.0060	26.7506
78	บัสโหลด	-	71.000	26.000	0.000	0.000	1.0034	26.4466
79	บัสโหลด	-	39.000	32.000	0.000	20.000	1.0092	26.7454
80	บัสแรงดัน	477.000	130.000	26.000	0.000	0.000	1.0400	28.9901
81	บัสโหลด	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9968	28.1449
82	บัสโหลด	-	54.000	27.000	0.000	20.000	0.9886	27.2717
83	บัสโหลด	-	20.000	10.000	0.000	10.000	0.9844	28.4640
84	บัสโหลด	-	11.000	7.000	0.000	0.000	0.9797	31.0003
85	บัสแรงดัน	0.000	24.000	15.000	0.000	0.000	0.9850	32.5556
86	บัสโหลด	-	21.000	10.000	0.000	0.000	0.9867	31.1862
87	บัสแรงดัน	4.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0150	31.4454
88	บัสโหลด	-	48.000	10.000	0.000	0.000	0.9875	35.6904
89	บัสแรงดัน	607.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0050	39.7483
90	บัสแรงดัน	0.000	163.000	42.000	0.000	0.000	0.9850	33.3384

ตารางที่ ข.2.1 (ต่อ)

หมายเลขบัส	ประเภทบัส	การผลิต (MW)	โหลด		ตัวต่อขนาน (กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)		แรงดันสำหรับกรณีฐาน	
			P (MW)	Q (MVAR)	P_d (MW)	Q_i (MVAR)	V (p.u.)	θ (deg.)
91	บัสแรงดัน	0.000	10.000	0.000	0.000	0.000	0.9800	33.3506
92	บัสแรงดัน	0.000	65.000	10.000	0.000	0.000	0.9900	33.8808
93	บัสโหลด	-	12.000	7.000	0.000	0.000	0.9854	30.8491
94	บัสโหลด	-	30.000	16.000	0.000	0.000	0.9898	28.6822
95	บัสโหลด	-	42.000	31.000	0.000	0.000	0.9803	27.7096
96	บัสโหลด	-	38.000	15.000	0.000	0.000	0.9923	27.5426
97	บัสโหลด	-	15.000	9.000	0.000	0.000	1.0112	27.9158
98	บัสโหลด	-	34.000	8.000	0.000	0.000	1.0235	27.4334
99	บัสแรงดัน	0.000	42.000	0.000	0.000	0.000	1.0100	27.0668
100	บัสแรงดัน	252.000	37.000	18.000	0.000	0.000	1.0170	28.0588
101	บัสโหลด	-	22.000	15.000	0.000	0.000	0.9914	29.6469
102	บัสโหลด	-	5.000	3.000	0.000	0.000	0.9891	32.3650
103	บัสแรงดัน	40.000	23.000	16.000	0.000	0.000	1.0100	24.3178
104	บัสแรงดัน	0.000	38.000	25.000	0.000	0.000	0.9710	21.7478
105	บัสแรงดัน	0.000	31.000	26.000	0.000	20.000	0.9650	20.6436
106	บัสโหลด	-	43.000	16.000	0.000	0.000	0.9612	20.3834
107	บัสแรงดัน	0.000	50.000	12.000	0.000	6.000	0.9520	17.5827
108	บัสโหลด	-	2.000	1.000	0.000	0.000	0.9662	19.4435
109	บัสโหลด	-	8.000	3.000	0.000	0.000	0.9670	18.9909
110	บัสแรงดัน	0.000	39.000	30.000	0.000	6.000	0.9730	18.1440
111	บัสแรงดัน	36.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.9800	19.7891
112	บัสแรงดัน	0.000	68.000	13.000	0.000	0.000	0.9750	15.0448
113	บัสแรงดัน	0.000	6.000	0.000	0.000	0.000	0.9930	13.9926
114	บัสโหลด	-	8.000	3.000	0.000	0.000	0.9601	14.7264
115	บัสโหลด	-	22.000	7.000	0.000	0.000	0.9600	14.7181
116	บัสแรงดัน	0.000	184.000	0.000	0.000	0.000	1.0050	27.1628
117	บัสโหลด	-	20.000	8.000	0.000	0.000	0.9738	10.9479
118	บัสโหลด	-	33.000	15.000	0.000	0.000	0.9494	21.9419

ตารางที่ ข.2.2 ข้อมูลกิ่งของระบบทดสอบ IEEE 118 บัส

จากบัส	ถึงบัส	R (per unit)	X (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วน	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
1	2	0.03030	0.09990	0.02540	-	-
1	3	0.01290	0.04240	0.01082	-	-
4	5	0.00176	0.00798	0.00210	-	-
3	5	0.02410	0.10800	0.02840	-	-
5	6	0.01190	0.05400	0.01426	-	-
6	7	0.00459	0.02080	0.00550	-	-
8	9	0.00244	0.03050	1.16200	-	-
8	5	0.00000	0.02670	0.00000	0.98500	0.00000
9	10	0.00258	0.03220	1.23000	-	-
4	11	0.02090	0.06880	0.01748	-	-
5	11	0.02030	0.06820	0.01738	-	-
11	12	0.00595	0.01960	0.00502	-	-
2	12	0.01870	0.06160	0.01572	-	-
3	12	0.04840	0.16000	0.04060	-	-
7	12	0.00862	0.03400	0.00874	-	-
11	13	0.02225	0.07310	0.01876	-	-
12	14	0.02150	0.07070	0.01816	-	-
13	15	0.07440	0.24440	0.06268	-	-
14	15	0.05950	0.19500	0.05020	-	-
12	16	0.02120	0.08340	0.02140	-	-
15	17	0.01320	0.04370	0.04440	-	-
16	17	0.04540	0.18010	0.04660	-	-
17	18	0.01230	0.05050	0.01298	-	-
18	19	0.01119	0.04930	0.01142	-	-
19	20	0.02520	0.11700	0.02980	-	-
15	19	0.01200	0.03940	0.01010	-	-
20	21	0.01830	0.08490	0.02160	-	-
21	22	0.02090	0.09700	0.02460	-	-
22	23	0.03420	0.15900	0.04040	-	-
23	24	0.01350	0.04920	0.04980	-	-
23	25	0.01560	0.08000	0.08640	-	-

ตารางที่ ข.2.2 (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	*R* (per unit)	*X* (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วน	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
26	25	0.00000	0.03820	0.00000	0.96000	0.00000
25	27	0.03180	0.16300	0.17640	-	-
27	28	0.01913	0.08550	0.02160	-	-
28	29	0.02370	0.09430	0.02380	-	-
30	17	0.00000	0.03880	0.00000	0.96000	0.00000
8	30	0.00431	0.05040	0.51400	-	-
26	30	0.00799	0.08600	0.90800	-	-
17	31	0.04740	0.15630	0.03990	-	-
29	31	0.01080	0.03310	0.00830	-	-
23	32	0.03170	0.11530	0.11730	-	-
31	32	0.02980	0.09850	0.02510	-	-
27	32	0.02290	0.07550	0.01926	-	-
15	33	0.03800	0.12440	0.03194	-	-
19	34	0.07520	0.24700	0.06320	-	-
35	36	0.00224	0.01020	0.00268	-	-
35	37	0.01100	0.04970	0.01318	-	-
33	37	0.04150	0.14200	0.03660	-	-
34	36	0.00871	0.02680	0.00568	-	-
34	37	0.00256	0.00940	0.00984	-	-
38	37	0.00000	0.03750	0.00000	0.93500	0.00000
37	39	0.03210	0.10600	0.02700	-	-
37	40	0.05930	0.16800	0.04200	-	-
30	38	0.00464	0.05400	0.42200	-	-
39	40	0.01840	0.06050	0.01552	-	-
40	41	0.01450	0.04870	0.01222	-	-
40	42	0.05550	0.18300	0.04660	-	-
41	42	0.04100	0.13500	0.03440	-	-
43	44	0.06080	0.24540	0.06068	-	-
34	43	0.04130	0.16810	0.04226	-	-
44	45	0.02240	0.09010	0.02240	-	-
45	46	0.04000	0.13560	0.03320	-	-

ตารางที่ ข.2.2 (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	R (per unit)	X (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วน	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
46	47	0.03800	0.12700	0.03160	-	-
46	48	0.06010	0.18900	0.04720	-	-
47	49	0.01910	0.06250	0.01604	-	-
42	49	0.07150	0.32300	0.08600	-	-
42	49	0.07150	0.32300	0.08600	-	-
45	49	0.06840	0.18600	0.04440	-	-
48	49	0.01790	0.05050	0.01258	-	-
49	50	0.02670	0.07520	0.01874	-	-
49	51	0.04860	0.13700	0.03420	-	-
51	52	0.02030	0.05880	0.01396	-	-
52	53	0.04050	0.16350	0.04058	-	-
53	54	0.02630	0.12200	0.03100	-	-
49	54	0.07300	0.28900	0.07380	-	-
49	54	0.08690	0.29100	0.07300	-	-
54	55	0.01690	0.07070	0.02020	-	-
54	56	0.00275	0.00955	0.00732	-	-
55	56	0.00488	0.01510	0.00374	-	-
56	57	0.03430	0.09660	0.02420	-	-
50	57	0.04740	0.13400	0.03320	-	-
56	58	0.03430	0.09660	0.02420	-	-
51	58	0.02550	0.07190	0.01788	-	-
54	59	0.05030	0.22930	0.05980	-	-
56	59	0.08250	0.25100	0.05690	-	-
56	59	0.08030	0.23900	0.05360	-	-
55	59	0.04739	0.21580	0.05646	-	-
59	60	0.03170	0.14500	0.03760	-	-
59	61	0.03280	0.15000	0.03880	-	-
60	61	0.00264	0.01350	0.01456	-	-
60	62	0.01230	0.05610	0.01468	-	-
61	62	0.00824	0.03760	0.00980	-	-
63	59	0.00000	0.03860	0.00000	0.96000	0.00000

ตารางที่ ข.2.2 (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	*R* (per unit)	*X* (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วน	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
63	64	0.00172	0.02000	0.21600	-	-
64	61	0.00000	0.02680	0.00000	0.98500	0.00000
38	65	0.00901	0.09860	1.04600	-	-
64	65	0.00269	0.03020	0.38000	-	-
49	66	0.01800	0.09190	0.02480	-	-
49	66	0.01800	0.09190	0.02480	-	-
62	66	0.04820	0.21800	0.05780	-	-
62	67	0.02580	0.11700	0.03100	-	-
65	66	0.00000	0.03700	0.00000	0.93500	0.00000
66	67	0.02240	0.10150	0.02682	-	-
65	68	0.00138	0.01600	0.63800	-	-
47	69	0.08440	0.27780	0.07092	-	-
49	69	0.09850	0.32400	0.08280	-	-
68	69	0.00000	0.03700	0.00000	0.93500	0.00000
69	70	0.03000	0.12700	0.12200	-	-
24	70	0.00221	0.41150	0.10198	-	-
70	71	0.00882	0.03550	0.00878	-	-
24	72	0.04880	0.19600	0.04880	-	-
71	72	0.04460	0.18000	0.04444	-	-
71	73	0.00866	0.04540	0.01178	-	-
70	74	0.04010	0.13230	0.03368	-	-
70	75	0.04280	0.14100	0.03600	-	-
69	75	0.04050	0.12200	0.12400	-	-
74	75	0.01230	0.04060	0.01034	-	-
76	77	0.04440	0.14800	0.03680	-	-
69	77	0.03090	0.10100	0.10380	-	-
75	77	0.06010	0.19990	0.04978	-	-
77	78	0.00376	0.01240	0.01264	-	-
78	79	0.00546	0.02440	0.00648	-	-
77	80	0.01700	0.04850	0.04720	-	-
77	80	0.02940	0.10500	0.02280	-	-

ตารางที่ ข.2.2 (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	*R* (per unit)	*X* (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วน	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
79	80	0.01560	0.07040	0.01870	-	-
68	81	0.00175	0.02020	0.80800	-	-
81	80	0.00000	0.03700	0.00000	0.93500	0.00000
77	82	0.02980	0.08530	0.08174	-	-
82	83	0.01120	0.03665	0.03796	-	-
83	84	0.06250	0.13200	0.02580	-	-
83	85	0.04300	0.14800	0.03480	-	-
84	85	0.03020	0.06410	0.01234	-	-
85	86	0.03500	0.12300	0.02760	-	-
86	87	0.02828	0.20740	0.04450	-	-
85	88	0.02000	0.10200	0.02760	-	-
85	89	0.02390	0.17300	0.04700	-	-
88	89	0.01390	0.07120	0.01934	-	-
89	90	0.05180	0.18800	0.05280	-	-
89	90	0.02380	0.09970	0.10600	-	-
90	91	0.02540	0.08360	0.02140	-	-
89	92	0.00990	0.05050	0.05480	-	-
89	92	0.03930	0.15810	0.04140	-	-
91	92	0.03870	0.12720	0.03268	-	-
92	93	0.02580	0.08480	0.02180	-	-
92	94	0.04810	0.15800	0.04060	-	-
93	94	0.02230	0.07320	0.01876	-	-
94	95	0.01320	0.04340	0.01110	-	-
80	96	0.03560	0.18200	0.04940	-	-
82	96	0.01620	0.05300	0.05440	-	-
94	96	0.02690	0.08690	0.02300	-	-
80	97	0.01830	0.09340	0.02540	-	-
80	98	0.02380	0.10800	0.02860	-	-
80	99	0.04540	0.20600	0.05460	-	-
92	100	0.06480	0.29500	0.04720	-	-
94	100	0.01780	0.05800	0.06040	-	-

ตารางที่ ข.2.2 (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	R (per unit)	X (per unit)	Total line charging (per unit)	อัตราส่วน	มุมเลื่อนเฟส (องศา)
95	96	0.01710	0.05470	0.01474	-	-
96	97	0.01730	0.08850	0.02400	-	-
98	100	0.03970	0.17900	0.04760	-	-
99	100	0.01800	0.08130	0.02160	-	-
100	101	0.02770	0.12620	0.03280	-	-
92	102	0.01230	0.05590	0.01464	-	-
101	102	0.02460	0.11200	0.02940	-	-
100	103	0.01600	0.05250	0.05360	-	-
100	104	0.04510	0.20400	0.05410	-	-
103	104	0.04660	0.15840	0.04070	-	-
103	105	0.05350	0.16250	0.04080	-	-
100	106	0.06050	0.22900	0.06200	-	-
104	105	0.00994	0.03780	0.00986	-	-
105	106	0.01400	0.05470	0.01434	-	-
105	107	0.05300	0.18300	0.04720	-	-
105	108	0.02610	0.07030	0.01844	-	-
106	107	0.05300	0.18300	0.04720	-	-
108	109	0.01050	0.02880	0.00760	-	-
103	110	0.03906	0.18130	0.04610	-	-
109	110	0.02780	0.07620	0.02020	-	-
110	111	0.02200	0.07550	0.02000	-	-
110	112	0.02470	0.06400	0.06200	-	-
17	113	0.00913	0.03010	0.00768	-	-
32	113	0.06150	0.20300	0.05180	-	-
32	114	0.01350	0.06120	0.01628	-	-
27	115	0.01640	0.07410	0.01972	-	-
114	115	0.00230	0.01040	0.00276	-	-
68	116	0.00034	0.00405	0.16400	-	-
12	117	0.03290	0.14000	0.03580	-	-
75	118	0.01450	0.04810	0.01198	-	-
76	118	0.01640	0.05440	0.01356	-	-

ประวัติผู้เขียน

นายพิชัย เกรียงศักดิ์เจริญ เกิดวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรของนายสมชัย และนางรุ่งนภา เกรียงศักดิ์เจริญ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540 โดยได้รับทุนการศึกษาจากศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย