

บทที่ 4

ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน และ วิธีนิวตัน-ราฟสันที่รวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สองจากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการคำนวณโหลดโพล์ที่ได้จากทั้งสองวิธีเปรียบเทียบกันในแง่ของคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้ของคำตอบโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่ปรากฏจากการคำนวณในรอบสุดท้าย สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่จะใช้ในการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 สภาวะ คือ ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม (Well-conditioned systems) และ ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสม (Ill-conditioned systems) ซึ่งทั้งสองสภาวะดังกล่าวจะถูกใช้ในการวิเคราะห์โหลดโพล์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันทั้งสองวิธี เพื่อหาข้อเปรียบเทียบในแง่ของปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น และนำไปสู่การหาข้อสรุปรวมทั้งข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ที่แต่ละสภาวะของระบบ อันจะเป็นหลักเกณฑ์พื้นฐานในการตัดสินใจเลือกวิธีการคำนวณโหลดโพล์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับบางสภาวะของระบบ

หมายเหตุ : เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงถึงวิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ทั้งสองวิธี ต่อจากนี้ไปจึงขอทำความเข้าใจดังนี้ คือ วิธีนิวตัน-ราฟสัน จะใช้ชื่อเรียกว่า " First Order Newton-Raphson method (FONR) " และ วิธีนิวตัน-ราฟสันที่รวมความไม่เป็นเชิงเส้นของอนุพันธ์อันดับที่สองจากการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์ จะใช้ชื่อเรียกว่า " Second Order Newton-Raphson method (SONR) "

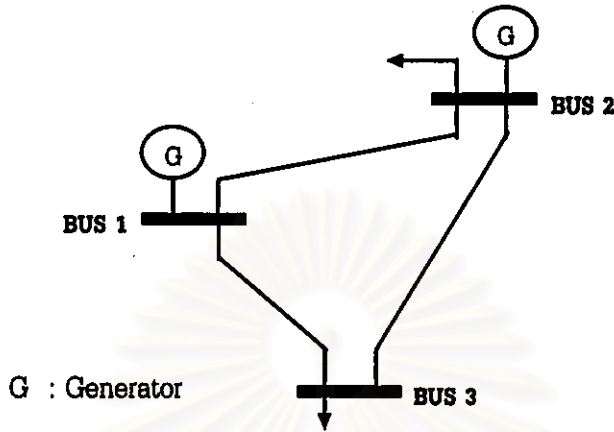
4.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสม

ระบบกำลังไฟฟ้าที่จะใช้ทดสอบโดยมีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่เหมาะสมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส , 14 บัส ตามมาตรฐาน IEEE และ 30 บัส ตามมาตรฐาน IEEE ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 (ก) และ 4.1 (ข) ตามลำดับ

4.1.2 ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 (ก) และ 4.2 (ข) ตามลำดับ

4.1.3 ระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ โหลดโพลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ก) และ 4.3 (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.1(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
			R (p.u.)	X (p.u.)			
1	L	1-->2	0.080	0.240	0.000		
2	L	1-->3	0.020	0.060	0.000		
3	L	2-->3	0.060	0.180	0.000		

L : Transmission Line
System MVA Base =100

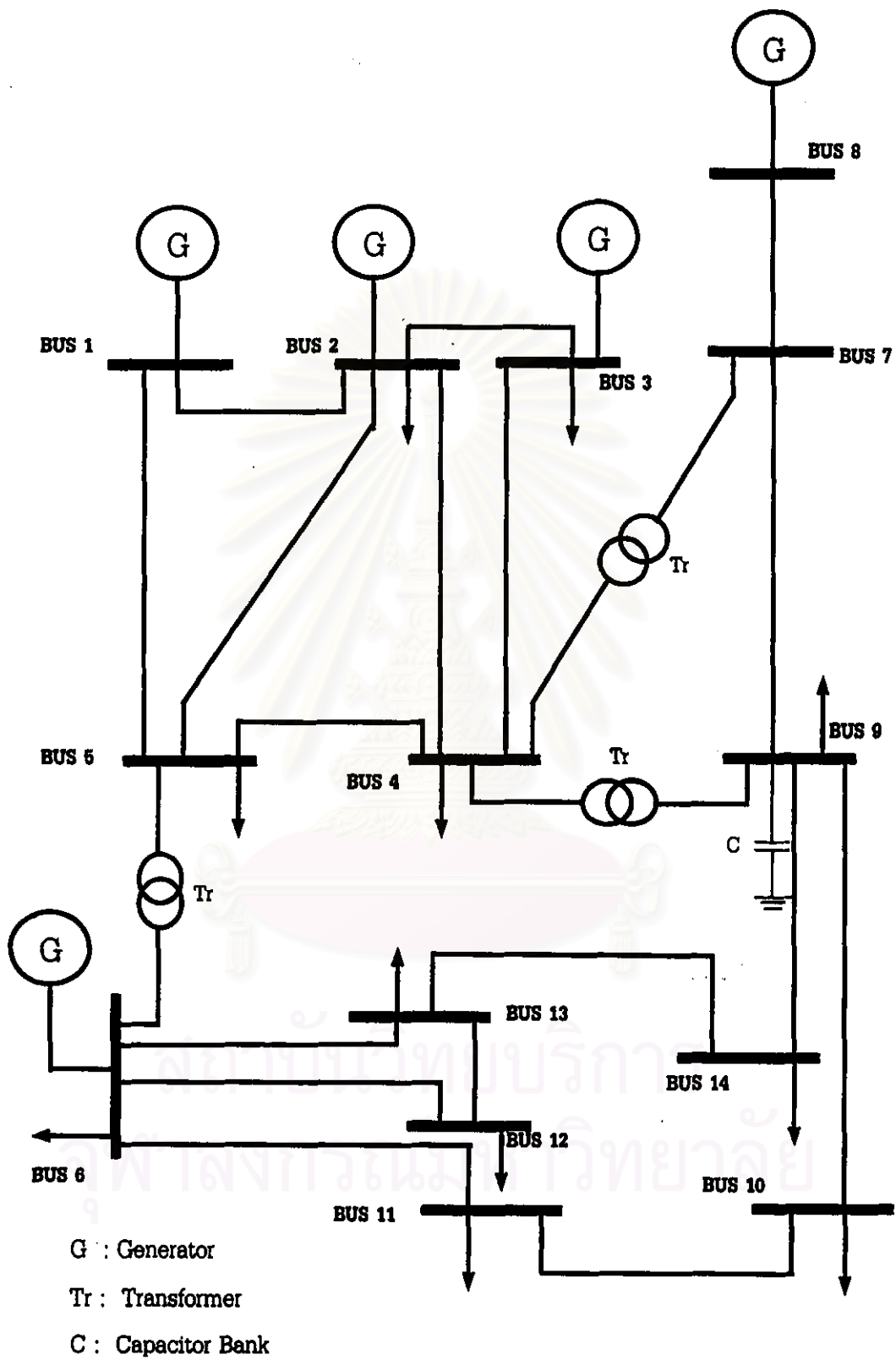
ตารางที่ 4.1(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส

Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q limit (MVar)		p.u. Shunt Susceptance
				MW	Mvar	MW	MVar	Omax	Omin	
1	2	1.050	0.00			0.00	0.00			0.0000
2	1	1.030	0.00	20.00		50.00	20.00	35.00	0.00	0.0000
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	60.00	25.00			0.0000

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส



รูปที่ 4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

ตารางที่ 4.2(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
			R (p.u.)	X (p.u.)			
1	L	1-->2	0.019	0.059	0.0264		
2	L	1-->5	0.054	0.223	0.0246		
3	L	2-->3	0.047	0.198	0.0219		
4	L	2-->4	0.058	0.176	0.0187		
5	L	2-->5	0.057	0.174	0.0170		
6	L	3-->4	0.067	0.171	0.0173		
7	L	4-->5	0.013	0.042	0.0064		
8	T	4-->7	0.000	0.209	0.0000	0.978	0.00
9	T	4-->9	0.000	0.556	0.0000	0.969	0.00
10	T	5-->6	0.000	0.252	0.0000	0.932	0.00
11	L	6-->11	0.095	0.199	0.0000		
12	L	6-->12	0.123	0.256	0.0000		
13	L	6-->13	0.066	0.130	0.0000		
14	L	7-->8	0.000	0.176	0.0000		
15	L	7-->9	0.000	0.110	0.0000		
16	L	9-->10	0.032	0.084	0.0000		
17	L	9-->14	0.127	0.270	0.0000		
18	L	10-->11	0.082	0.192	0.0000		
19	L	12-->13	0.221	0.200	0.0000		
20	L	13-->14	0.171	0.348	0.0000		

L: Transmission Line
T : Transformer
System MVA Base = 100

ตารางที่ 4.2(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส

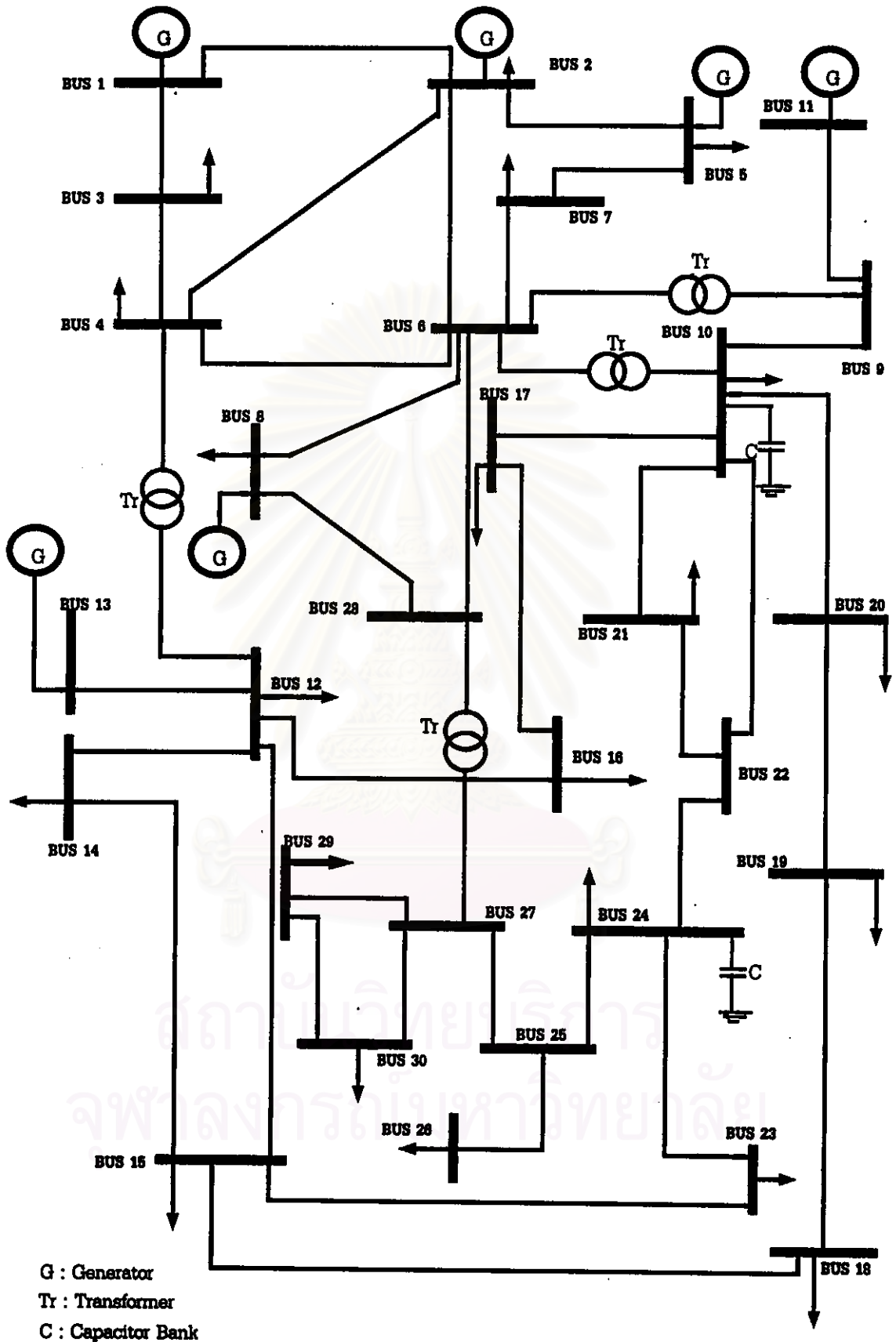
Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q limit (MVar)		p.u. Shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	MVar	Qmax	Qmin	
1	2	1.060	0.00			0.00	0.00			0.0000
2	1	1.045	0.00	40.00		21.70	12.70	50.00	-40.00	0.0000
3	1	1.010	0.00	0.00		94.20	19.00	40.00	0.00	0.0000
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	47.80	3.90			0.0000
5	0	1.000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60			0.0000
6	1	1.070	0.00	0.00		11.20	7.50	24.00	-6.00	0.0000
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
8	1	1.090	0.00	0.00		0.00	0.00	24.00	-6.00	0.0000
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	29.50	16.60			0.1900
10	0	1.000	0.00	0.00	0.00	9.00	5.80			0.0000
11	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.50	1.80			0.0000
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	6.10	1.60			0.0000
13	0	1.000	0.00	0.00	0.00	13.50	5.80			0.0000
14	0	1.000	0.00	0.00	0.00	14.90	5.00			0.0000

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

ตารางที่ 4.3(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
			R (p.u.)	X (p.u.)			
1	L	1-->2	0.019	0.058	0.0264		
2	L	1-->3	0.045	0.185	0.0204		
3	L	2-->4	0.057	0.174	0.0184		
4	L	2-->5	0.047	0.198	0.0209		
5	L	2-->6	0.058	0.176	0.0187		
6	L	3-->4	0.013	0.038	0.0042		
7	L	4-->6	0.012	0.041	0.0045		
8	T	4-->12	0.000	0.256	0.0000	1.013	0.00
9	L	5-->7	0.046	0.116	0.0102		
10	L	6-->7	0.027	0.082	0.0085		
11	L	6-->8	0.012	0.042	0.0045		
12	T	6-->9	0.000	0.208	0.0000	1.015	0.00
13	T	6-->10	0.000	0.556	0.0000	0.963	0.00
14	L	6-->28	0.017	0.060	0.0065		
15	L	8-->28	0.064	0.200	0.0214		
16	L	9-->10	0.000	0.110	0.0000		
17	L	9-->11	0.000	0.208	0.0000		
18	L	10-->17	0.032	0.084	0.0000		
19	L	10-->20	0.094	0.209	0.0000		
20	L	10-->21	0.035	0.075	0.0000		
21	L	10-->22	0.073	0.150	0.0000		
22	L	12-->13	0.000	0.140	0.0000		
23	L	12-->14	0.123	0.256	0.0000		
24	L	12-->15	0.066	0.130	0.0000		
25	L	12-->16	0.094	0.199	0.0000		
26	L	14-->15	0.221	0.200	0.0000		
27	L	15-->18	0.107	0.219	0.0000		
28	L	15-->23	0.100	0.202	0.0000		
29	L	16-->17	0.082	0.193	0.0000		
30	L	18-->19	0.064	0.129	0.0000		
31	L	19-->20	0.034	0.068	0.0000		
32	L	21-->22	0.012	0.024	0.0000		
33	L	22-->24	0.115	0.179	0.0000		
34	L	23-->24	0.132	0.270	0.0000		
35	L	24-->25	0.189	0.329	0.0000		
36	L	25-->26	0.254	0.380	0.0000		
37	L	25-->27	0.109	0.209	0.0000		
38	L	27-->29	0.220	0.415	0.0000		
39	L	27-->30	0.320	0.603	0.0000		
40	T	28-->27	0.000	0.396	0.0000	0.958	0.00
41	L	29-->30	0.240	0.453	0.0000		

L : Transmission Line
T : Transformer
System MVA Base = 100

ตารางที่ 4.3(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส

Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q limit (MVar)		p.u. Shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	Mvar	Qmax	Qmin	
1	2	1.050	0.00			0.00	0.00			0.00
2	1	1.045	0.00	40.00		21.70	12.70	50.00	-40.00	0.00
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.40	1.20			0.00
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60			0.00
5	1	1.010	0.00	0.00		94.20	19.00	40.00	-40.00	0.00
6	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	22.80	10.90			0.00
8	1	1.010	0.00	0.00		30.00	30.00	40.00	-10.00	0.00
9	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
10	0	1.000	0.00	0.00	0.00	5.80	2.00			0.19
11	1	1.082	0.00	0.00		0.00	0.00	24.00	-6.00	0.00
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	11.20	7.50			0.00
13	1	1.071	0.00	0.00		0.00	0.00	24.00	-6.00	0.00
14	0	1.000	0.00	0.00	0.00	6.20	1.60			0.00
15	0	1.000	0.00	0.00	0.00	8.20	2.50			0.00
16	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.50	1.80			0.00
17	0	1.000	0.00	0.00	0.00	9.00	5.80			0.00
18	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.20	0.90			0.00
19	0	1.000	0.00	0.00	0.00	9.50	3.40			0.00
20	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.20	0.70			0.00
21	0	1.000	0.00	0.00	0.00	17.50	11.20			0.00
22	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
23	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.20	1.60			0.00
24	0	1.000	0.00	0.00	0.00	8.70	6.70			0.04
25	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
26	0	1.000	0.00	0.00	0.00	3.50	2.30			0.00
27	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
28	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00
29	0	1.000	0.00	0.00	0.00	2.40	0.90			0.00
30	0	1.000	0.00	0.00	0.00	10.60	1.90			0.00

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส

4.2 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม

ผลการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.1 ulyay ละเอียดได้จากภาคผนวก จ สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบวิธีการที่ใช้ในการคำนวณ โหลดโพลาร์ระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR ในแง่ของคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบโดยพิจารณาจากค่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ รวมทั้งจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อหาข้อสรุป รวมทั้งข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้น ทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ

คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบ โดยนำเสนอในรูปของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละ รอบการคำนวณ เปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR ดังนี้

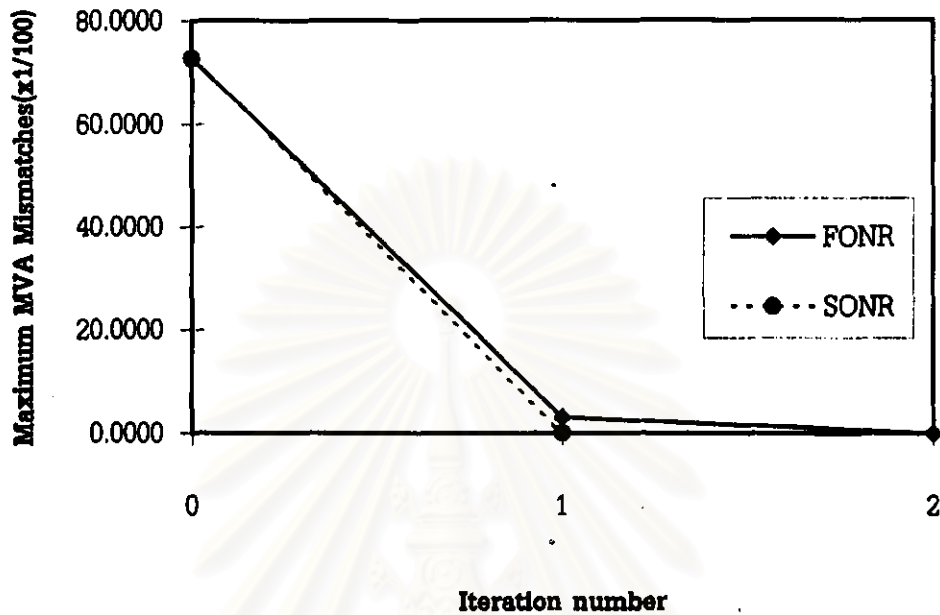
4.2.1.1 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพลาร์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.4

4.2.1.2 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพลาร์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.5

4.2.1.3 คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทาง โหลดโพลาร์ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ ระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มี ข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

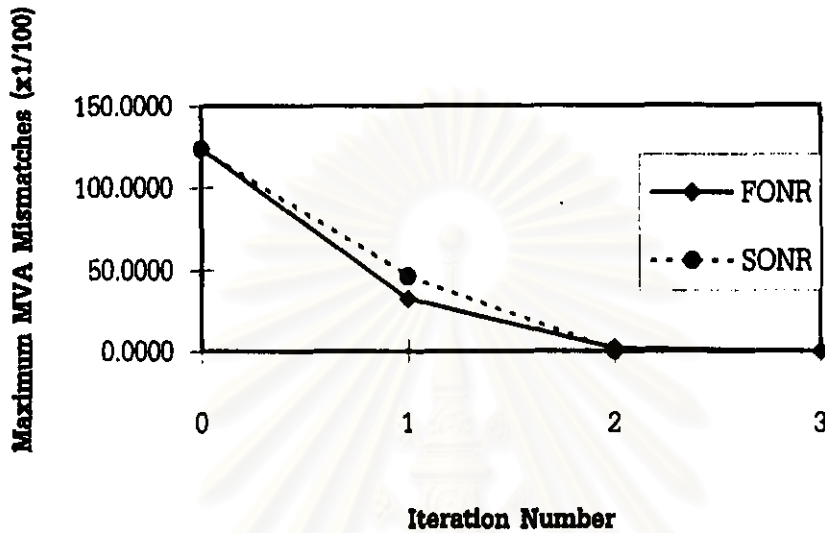
Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
	0	32.5750	32.5750	65.0000	65.0000	72.7057
1	1.6130	0.0702	2.6202	0.1233	3.0769	0.1419
2	0.0020		0.0050		0.0054	



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงคุณลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

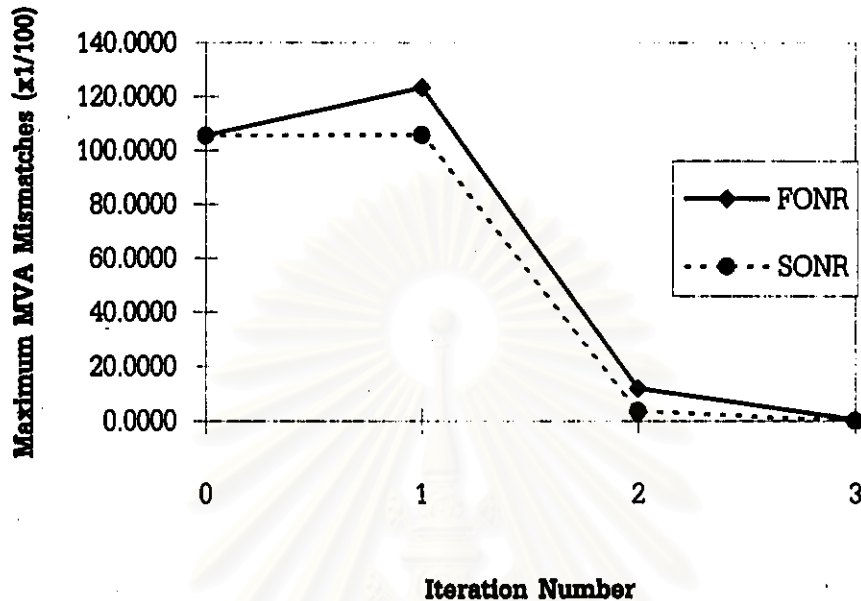
Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
0	92.1936	92.1936	82.4050	82.4050	123.6537	123.6537
1	20.0964	8.4627	25.4875	45.5185	32.4574	46.2985
2	0.6532	0.0952	1.6789	0.5732	1.8015	0.5810
3	0.0020		0.0109		0.0111	



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโวลตเฟิร์วที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโวลตเฟิร์วที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
0	93.1679	93.1679	49.3361	49.3361	105.4244	105.4244
1	21.2786	7.6922	121.6001	105.5002	123.4478	105.7802
2	2.2362	0.2807	11.6071	3.5734	11.8206	3.5845
3	0.0649	0.0003	0.4290	0.0012	0.4339	0.0012



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงคุณลักษณะการลู่เข้าของค่าตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโพลดิโพลว์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

4.2.2 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.1 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโพลดิโพลว์ที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Well-conditioned test systems	FONR method		SONR method	
	iterations	time (seconds)	iterations	time (seconds)
3 Bus	3	< 0.01	2	< 0.01
14 Bus	4	0.05	3	0.05
30 Bus	4	0.44	4	0.77

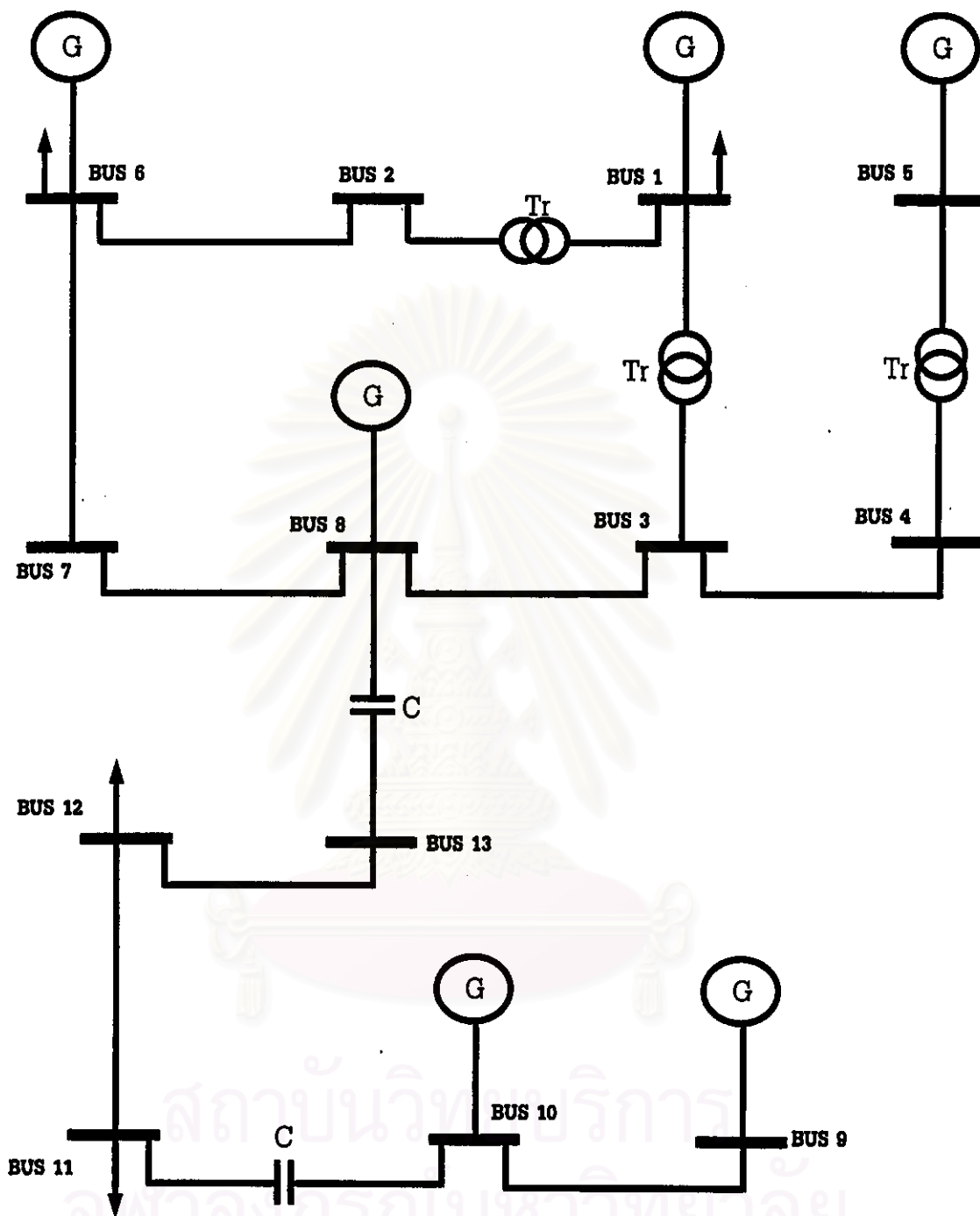
เมื่อทำการวิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์เปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR พบว่า การคำนวณโหลดโพลาร์กับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสมนั้น ทั้งสองวิธีจะให้คุณลักษณะการรู้เข้าของคำตอบได้ดีใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.4 , 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ พบว่า วิธี SONR จะให้อัตราการรู้เข้าของคำตอบที่ดีกว่าวิธี FONR เล็กน้อย ดังจะเห็นได้จากกราฟที่แสดงคุณลักษณะการรู้เข้าของคำตอบของวิธี SONR จะมีความชันมากกว่าของวิธี FONR เพียงเล็กน้อย ดังนั้นจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณของทั้งสองวิธีจึงใกล้เคียงกัน แต่วิธี SONR มีข้อเสียเปรียบในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการคำนวณ กล่าวคือ จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าวิธี FONR ดังแสดงในตารางที่ 4.7 เนื่องจากวิธี SONR มีขั้นตอนการคำนวณที่เพิ่มเติมขึ้นมาจากวิธี FONR ดังนั้นสำหรับการคำนวณโหลดโพลาร์กับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่เหมาะสม จึงควรเลือกใช้วิธี FONR จะเหมาะสมกว่าเนื่องจากคำตอบที่ได้มีความถูกต้องใกล้เคียงกันมากซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากผลการคำนวณที่แสดงไว้ในภาคผนวก จ นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า อีกทั้งอัตราการรู้เข้าของคำตอบก็ใกล้เคียงกัน

4.3 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 เกี่ยวกับลักษณะของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสมนั้น สำหรับในหัวข้อนี้ จะนำเสนอตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีลักษณะดังกล่าว โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น ความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทางโครงสร้างของระบบ และความไม่เหมาะสมทางสภาวะการทำงานของระบบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทางโครงสร้างของระบบ

ความไม่เหมาะสมของข้อกำหนดทางโครงสร้างของระบบ โดยทั่วไปจะหมายถึง ความไม่เหมาะสมเกี่ยวกับสายส่ง เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งมีค่าที่ไม่เหมาะสมแก่การคำนวณโหลดโพลาร์ด้วยวิธี FONR ดังตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่จะใช้ในการทดสอบในหัวข้อนี้ พบว่า ค่ารีแอกแตนซ์ของบางสายส่งเป็นลบ เนื่องจากการที่มีคาปาซิแตนซ์ต่ออนุกรมกับสายส่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8(ก) และ 4.8(ข) ตามลำดับ



G : Generator

Tr : Transformer

C : Line Capacitor

รูปที่ 4.7 ระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส

ตารางที่ 4.8(ก) แสดงข้อมูลของอุปกรณ์ สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส

Element No.	Type	Bus code	Impedance		Half line charging (p.u.)	Tap ratio	Phase shifting (degree)
			R (p.u.)	X (p.u.)			
1	T	1-->2	0.004	0.085	0.000	1.05	0.00
2	T	1-->3	0.004	0.095	0.000	1.10	0.00
3	L	2-->6	0.048	0.459	0.246		
4	L	3-->4	0.007	0.143	0.436		
5	L	3-->8	0.012	0.233	0.712		
6	T	5-->4	0.004	0.095	0.000	1.10	0.00
7	L	6-->7	0.009	0.108	0.016		
8	L	7-->8	0.000	0.150	0.000		
9	C	8-->13	0.000	-0.150	0.000		
10	L	9-->10	0.010	0.202	0.620		
11	C	10-->11	0.000	-0.150	0.000		
12	L	11-->12	0.009	0.167	0.508		
13	L	12-->13	0.007	0.147	0.448		

L : Transmission Line
T : Transformer
C : Series Capacitor
System MVA Base = 100

ตารางที่ 4.8(ข) แสดงข้อมูลของบัส สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส

Bus No.	Bus type	Volt (p.u.)	Angle (degree)	Generation		Load		Gen. Q limit (MVar)		p.u. Shunt Susceptance
				MW	MVar	MW	MVar	Qmax	Qmin	
1	2	1.080	0.00			1650.00	560.00			0.0000
2	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
3	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
4	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
5	1	1.000	0.00	0.00		0.00	0.00	200.00	-200.00	0.0000
6	1	1.037	0.00	500.00		50.00	30.00	200.00	-200.00	0.0000
7	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000
8	1	1.100	0.00	0.00		0.00	0.00	100.00	-100.00	0.0000
9	1	0.943	0.00	500.00		0.00	0.00	100.00	-100.00	0.0000
10	1	1.100	0.00	0.00		0.00	0.00	100.00	-100.00	0.0000
11	0	1.000	0.00	0.00	0.00	500.00	30.00			0.0000
12	0	1.000	0.00	0.00	0.00	500.00	32.00			0.0000
13	0	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.0000

Bus type 2 คือ บัสอ้างอิง

Bus type 1 คือ บัสควบคุมแรงดัน

Bus type 0 คือ โหลดบัส

4.3.2 ตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมทางสภาวะการทำงานของระบบ

ระบบกำลังไฟฟ้าที่มีความไม่เหมาะสมทางสภาวะการทำงานของระบบ ในที่นี้หมายถึง ระบบที่อยู่ในสภาวะจ่ายโหลดอย่างหนัก โดยตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่จะใช้ทดสอบยังคงเป็นระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส , 14 บัส และ 30 บัส ที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.1 มาทำการเพิ่มโหลดที่บัสใดบัสหนึ่ง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.2.1 ทำการเพิ่มโหลดที่บัส 3 ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส จาก 60.00 MW และ 25.00 MVar เป็น 600.00 MW และ 186.18 MVar ตามลำดับ โดยข้อมูลอื่นๆยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

4.3.2.2 ทำการเพิ่มโหลดที่บัส 14 ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส จาก 14.90 MW และ 5.00 MVar เป็น 85.00 MW และ 25.52 MVar ตามลำดับ โดยข้อมูลอื่นๆยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

4.3.2.3 ทำการเพิ่มโหลดจริงที่บัส 30 ของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส จาก 10.60 MW เป็น 46.37 MW โดยข้อมูลอื่นๆยังคงเหมือนเดิมทุกประการ

4.4 วิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม

ผลการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.3 ดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก จ สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบวิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพลาร์ระหว่างวิธี FONR และวิธี SONR ในแง่ของคุณลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบโดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ รวมทั้งจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อหาข้อสรุปรวมทั้งข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีในการคำนวณโหลดโพลาร์สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.4.1 คุณลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบ

คุณลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบ โดยนำเสนอในรูปของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ เปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR ดังนี้

4.4.1.1 คุณลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.8

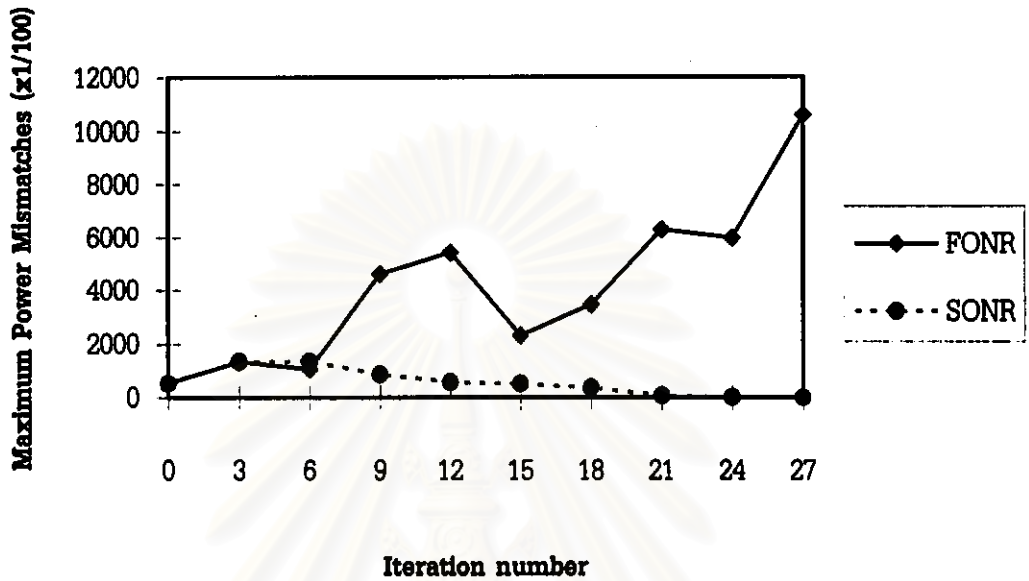
4.4.1.2 คุณลักษณะการรู่เข้าของค่าตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 3 บัส ภายหลังจากการเพิ่ม โหลดที่บัส 3 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.9

4.4.1.3 คุณลักษณะการรู่เข้าของค่าตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่ม โหลดที่บัส 14 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.10

4.4.1.4 คุณลักษณะการรู่เข้าของค่าตอบสำหรับระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่ม โหลดที่บัส 30 ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณ ระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส ที่มี ข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

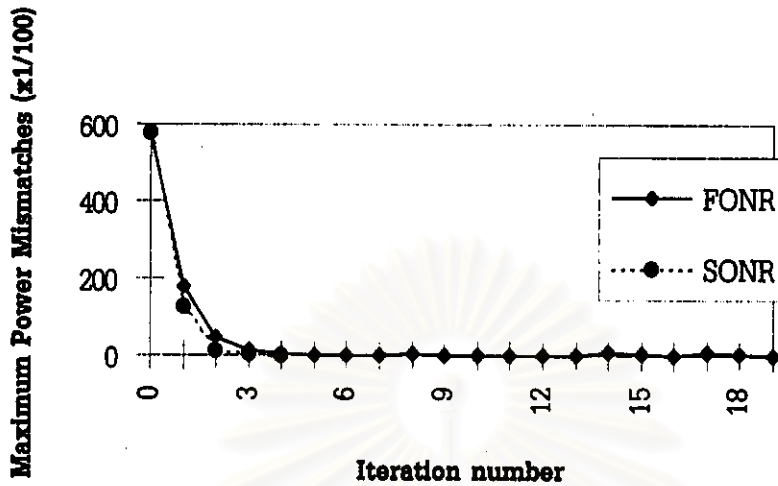
Iteration Number	Maximum Real Power		Maximum Reactive Power		Maximum Apparent Power	
	Mismatches (x1.0e-2)		Mismatches (x1.0e-2)		Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
0	503.7995	503.7995	138.4378	138.4378	522.4739	522.4739
3	1276.8755	875.6576	381.0120	1029.3852	1332.5094	1351.4474
6	977.1156	894.5434	380.1130	1000.7767	1048.4468	1342.2972
9	4588.6120	657.8796	505.3517	567.5544	4616.3558	868.8634
12	5384.0969	409.5645	635.8768	410.6654	5421.5163	579.9906
15	2139.5266	350.1234	873.3698	369.6523	2310.9195	509.1456
18	3329.2576	307.4919	899.8994	200.5645	3448.7353	367.1204
21	5388.1500	13.8895	3220.4315	65.8765	6277.2079	67.3248
24	4131.3923	0.7010	4293.8652	9.4474	5958.6643	9.4734
27	8758.0788	0.0002	5935.7876	0.0008	10580.0529	0.0008



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงคุณลักษณะการลู่เข้าของค่าตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส ที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหนดโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 3 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

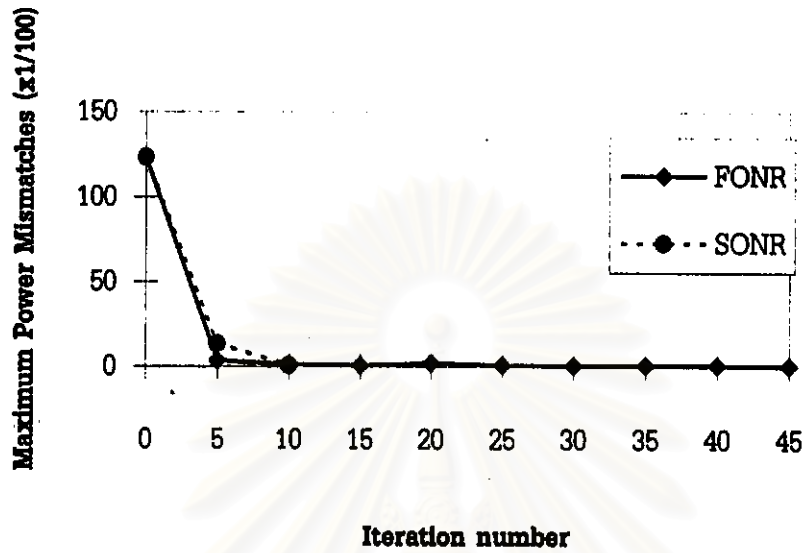
Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
	0	570.0000	570.0000	96.1800	96.1800	578.0576
1	40.5078	12.9276	172.5727	126.4418	177.2631	127.1010
2	15.9489	5.2777	43.9947	12.6042	46.7964	13.6646
3	4.2226	0.8403	12.4374	2.5298	13.1347	2.6657
4	1.1336	0.3225	3.4786	0.9984	3.6586	1.0492
5	0.3908		1.2107		1.2722	
6	0.4967		1.5389		1.6171	
7	0.3375		1.0455		1.0986	
8	1.2095		3.7475		3.9378	
9	0.4083		1.2653		1.3295	
10	0.4415		1.3676		1.4371	
11	0.3819		1.1840		1.2441	
12	0.5354		1.6586		1.7429	
13	0.3235		1.0027		1.0536	
14	2.7081		8.3908		8.8170	
15	0.7658		2.3728		2.4933	
16	0.3245		1.0052		1.0563	
17	2.4991		7.7429		8.1362	
18	0.7145		2.2139		2.3263	
19	0.3186		0.9872		1.0373	



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 3 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 3 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 14 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

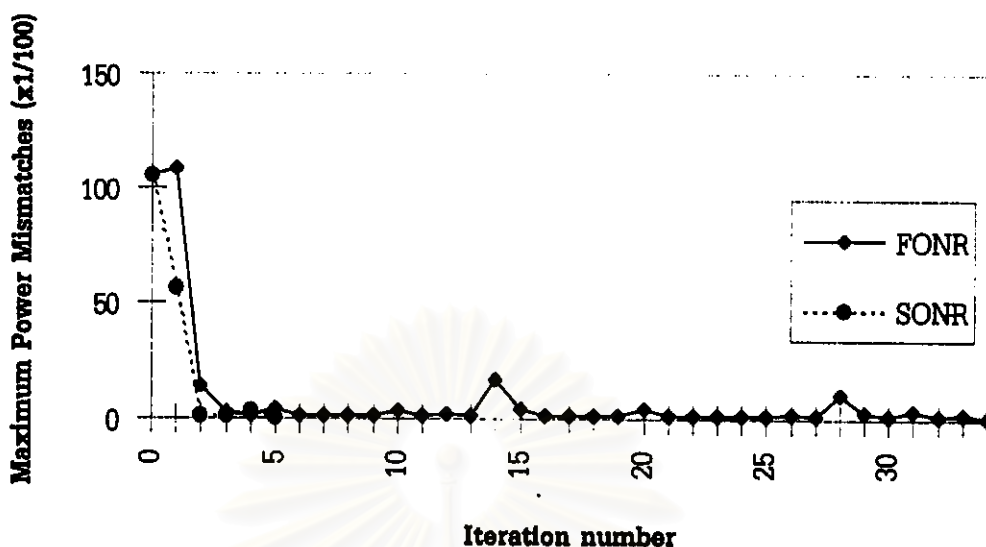
Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
0	92.1936	92.1936	82.4050	82.4050	123.6537	123.6537
5	0.6062	2.2597	3.5340	13.1674	3.5856	13.3599
10	0.2668	0.1714	1.5548	0.9986	1.5775	1.0132
15	0.1737		1.0124		1.0272	
20	0.3733		2.1754		2.2072	
25	0.1815		1.0578		1.0733	
30	0.1745		1.0171		1.0320	
35	0.1832		1.0676		1.0832	
40	0.2091		1.2189		1.2367	
45	0.1716		0.9999		1.0145	



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่โหลดสอบขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 14 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดทางกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 30 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Iteration Number	Maximum Real Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Reactive Power Mismatches (x1.0e-2)		Maximum Apparent Power Mismatches (x1.0e-2)	
	FONR	SONR	FONR	SONR	FONR	SONR
0	93.1679	93.1679	49.3361	49.3361	105.4244	105.4244
1	40.0416	14.6239	100.6179	54.4006	108.2926	56.3319
2	2.1476	0.7443	14.0478	1.4587	14.2110	1.6376
3	0.7333	0.4435	2.3720	1.3657	2.4828	1.4359
4	0.3360	1.0084	1.0451	3.2030	1.0978	3.3580
5	1.3197	0.3141	4.1816	0.9966	4.3849	1.0449
6	0.4326		1.3731		1.4396	
7	0.3945		1.2513		1.3120	
8	0.4839		1.5353		1.6098	
9	0.3446		1.0932		1.1462	
10	0.9710		3.0806		3.2300	
11	0.3588		1.1383		1.1935	
12	0.7190		2.2812		2.3918	
13	0.3192		1.0125		1.0616	
14	4.9876		15.8229		16.5904	
15	1.3307		4.2215		4.4263	
16	0.4355		1.3815		1.4485	
17	0.3906		1.2393		1.2994	
18	0.4984		1.5811		1.6578	
19	0.3369		1.0686		1.1204	
20	1.2439		3.9463		4.1377	
21	0.4160		1.3197		1.3837	
22	0.4243		1.3461		1.4114	
23	0.4081		1.2947		1.3575	
24	0.4425		1.4040		1.4721	
25	0.3810		1.2087		1.2673	
26	0.5421		1.7197		1.8031	
27	0.3222		1.0221		1.0717	
28	3.1975		10.1440		10.6360	
29	0.8864		2.8122		2.9486	
30	0.3432		1.0888		1.1416	
31	1.0102		3.2050		3.3604	
32	0.3665		1.1627		1.2191	
33	0.6403		2.0315		2.1300	
34	0.3142		0.9967		1.0451	



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงคุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลดที่บัส 30 โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

4.4.2 จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบในหัวข้อ 4.3 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR สำหรับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโพลาร์ที่ไม่เหมาะสม โดยใช้ค่าความผิดพลาด 0.01

Ill-conditioned test systems	FONR method		SONR method	
	iterations	time (seconds)	iterations	time (seconds)
3 Bus	20	< 0.01	5	< 0.01
13 Bus	*	-	28	0.55
14 Bus	46	0.60	11	0.27
30 Bus	35	4.62	6	1.37
* : divergence				

เมื่อทำการวิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการคำนวณโหลดโพล์เปรียบเทียบระหว่างวิธี FONR และ วิธี SONR พบว่า การคำนวณโหลดโพล์กับระบบกำลังไฟฟ้าที่มีข้อกำหนดเริ่มต้นทางโหลดโพล์ที่ไม่เหมาะสมนั้น ทั้งสองวิธีจะให้คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ วิธี FONR ให้คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบได้ไม่ดีเท่าที่ควรในกรณีที่มีการเพิ่มโหลด ในขณะที่วิธี SONR ให้คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบที่ดีและแน่นอนกว่ามาก แม้ว่าทั้งสองวิธีจะสามารถหาคำตอบที่เป็นจริงได้ก็ตาม แต่วิธี SONR ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด เช่น กรณีของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 14 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลด วิธี FONR ใช้เวลาในการคำนวณ 0.60 วินาที ในขณะที่วิธี SONR ใช้เวลาในการคำนวณเพียง 0.27 วินาที ซึ่งลดลงไป 55 เปอร์เซ็นต์ หรือ กรณีของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 30 บัส ภายหลังจากการเพิ่มโหลด วิธี FONR ใช้เวลาในการคำนวณ 4.62 วินาที ในขณะที่วิธี SONR ใช้เวลาในการคำนวณเพียง 1.37 วินาที ซึ่งลดลงไป 70.34 เปอร์เซ็นต์ หรือในบางกรณี พบว่า วิธี FONR ไม่สามารถหาคำตอบที่ลู่เข้าได้ ในขณะที่การคำนวณด้วยวิธี SONR สามารถหาคำตอบที่ลู่เข้าได้ด้วยเวลาเพียง 0.55 วินาที ดังตัวอย่างของระบบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบขนาด 13 บัส ที่มีคาปาซิแตนซ์ต่ออนุกรมกับสายส่ง จากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมาทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.13 และสรุปได้ว่า สำหรับสภาวะเริ่มต้นที่ไม่เหมาะสมในการคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธี FONR แล้ว การคำนวณด้วยวิธี SONR จะให้คุณลักษณะการลู่เข้าของคำตอบที่ดีกว่า อีกทั้งใช้จำนวนรอบและเวลาในการคำนวณน้อยกว่าด้วย