ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ระบบทดสอบ

ในภาคผนวก ก จะได้แสดงถึงข้อมูลของระบบทดสอบที่ได้นำมาใช้ในการทดสอบอัน ประกอบไปด้วย ระบบทดสอบ 4 บัส , ระบบทดสอบ 9 บัส , ระบบทดสอบ 14 บัส และระบบ ทดสอบ 30 บัส โดยในแต่ละระบบทดสอบเราจะแสดงถึงข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้าฐาน ข้อมูลบัส ของระบบ ข้อมูลการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้า

ก.1 ระบบทดสอบ 4 บัส

ข้อมูลบัส ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และข้อมูลสายส่งในระบบ ไฟฟ้าในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ตารางที่ ก.1 – ก.3 ตามลำดับ โดยค่า per unit ของ พารามิเตอร์ในตารางคำนวณจากค่าแรงดันไฟฟ้าฐานเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของบัส และค่า กำลังไฟฟ้าฐานเท่ากับ 100 MVA

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 4 บัส

บัส	ประเภท	แรงดัน	ความต้องการใช้ไฟฟ้า		ตัวต่อขนาน(กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)	
			P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	1	230	40	15	0	0
2	3	230	25	10	0	0
3	2	230	60	30	0	0
4	1	230	70	25	0	0

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 4 บัส

บัส	กำลังการผลิต		กำลังการผลิตสูงสุด		กำลังการผลิตต่ำสุด	
	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
2	88.6	19.22	200	150	50	-150
3	108.24	67.43	200	150	50	-150

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 4 บัส

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน(p.u.)	รีแอคแตนซ์ (p.u.)	ตัวอัดประจุสายส่ง(p.u.)
1	2	0.2	0.6	0.002
1	2	0.2	0.6	0.002
1	3	0.1	0.2	0.002
2	3	0.07	0.2	0.002
2	4	0.05	0.25	0.002
3	4	0.04	0.2	0.002
3	4	0.04	0.2	0.002

ก.2 ระบบทดสอบ 9 บัส

ข้อมูลบัส ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.4 – ก.6 ตามลำดับ โดยค่า per unit ของพารามิเตอร์ในตารางคำนวณจากค่าแรงดันไฟฟ้าฐานเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของบัส และค่ากำลังไฟฟ้าฐานเท่ากับ 100 MVA

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 9 บัส

บัส	ประเภท	แรงดัน	ความต้องการใช้ไฟฟ้า		ตัวต่อขนาน(กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)	
			P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	3	345	0	0	0	0
2	2	345	15	10	0	0
3	2	345	20	5	0	0
4	1	345	0	0	0	0
5	1	345	90	30	0	0
6	1	345	0	0	0	0
7	1	345	100	35	0	0
8	1	345	0	0	0	0
9	1	345	125	50	0	0

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 9 บัส

บัส	กำลังการผลิต		กำลังการผลิตสูงสุด		กำลังการผลิตต่ำสุด	
	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	105.76	0	250	300	10	-300
2	163	0	300	300	10	-300
3	85	0	270	300	10	-300

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 9 บัส

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน(p.u.)	รีแอคแตนซ์ (p.u.)	ตัวอัดประจุสายส่ง(p.u.)
1	4	0	0.0576	0
4	5	0.017	0.092	0.158
5	6	0.039	0.17	0.358
3	6	0	0.0586	0
6	7	0.0119	0.1008	0.209
7	8	0.0085	0.072	0.149
8	2	0	0.0625	0
8	9	0.032	0.161	0.306
9	4	0.01	0.085	0.176

ก.3 ระบบทดสอบ 14 บัส

ข้อมูลบัส ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.7 – ก.9 ตามลำดับ โดยค่า per unit ของพารามิเตอร์ในตารางคำนวณจากค่าแรงดันไฟฟ้าฐานเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของบัส และค่ากำลังไฟฟ้าฐานเท่ากับ 100 MVA

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลบัสของระบบทดสอบ 14 บัส

บัส	ประเภท	แรงดัน	ความต้องการใช้ไฟฟ้า		ตัวต่อขนาน(กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)	
			P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	3	138	0	0	0	0
2	2	138	22	13	0	0
3	2	138	44	19	0	0
4	1	138	48	4	0	0
5	1	138	8	2	0	0
6	2	138	11	8	0	0
7	1	138	0	0	0	0
8	2	138	0	0	0	0
9	1	138	30	17	0	19
10	1	138	9	6	0	0
11	1	138	4	2	0	0
12	1	138	6	2	0	0
13	1	138	14	6	0	0
14	1	138	15	6	0	0

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 14 บัส

บัส	กำลังการผลิต		กำลังการผลิตสูงสุด		กำลังการผลิตต่ำสุด	
	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	52.07	0	250	250	10	-100
2	65	0	200	50	10	-40
3	50	0	60	40	5	0
6	45	0	50	24	5	-6
8	0	0	60	24	5	-6

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 14 บัส

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน(p.u.)	รีแอคแตนซ์ (p.u.)	ตัวอัดประจุสายส่ง(p.u.)
1	2	0.01938	0.05917	0.0528
1	5	0.05403	0.22304	0.0492
2	3	0.04699	0.19797	0.0438
2	4	0.05811	0.17632	0.0374
2	5	0.05695	0.17388	0.034
3	4	0.06701	0.17103	0.0346
4	5	0.01335	0.04211	0.0128
4	7	0.0000	0.2045	0
4	9	0.0000	0.5389	0
5	6	0.0000	0.2349	0
6	11	0.0950	0.1989	0
6	12	0.1229	0.2558	0
6	13	0.0662	0.1303	0
7	8	0.0000	0.1762	0
7	9	0.0000	0.1100	0
9	10	0.0318	0.0845	0
9	14	0.1271	0.2704	0
10	11	0.0821	0.1921	0
12	13	0.2209	0.1999	0
13	14	0.1709	0.3480	0

ก.4 ระบบทดสอบ 30 บัส

ข้อมูลบัส ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าในระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.10 – ก.12 ตามลำดับ โดยค่า per unit ของพารามิเตอร์ในตารางคำนวณจากค่าแรงดันไฟฟ้าฐานเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของบัส และค่ากำลังไฟฟ้าฐานเท่ากับ 100 MVA

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลบัสในระบบทดสอบ 30 บัส

บัส	ประเภท	แรงดัน	ความต้องการใช้ไฟฟ้า		ตัวต่อขนาน(กำลังที่แรงดัน 1.0 p.u.)	
			P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	3	135	0	0	0	0
2	2	135	21.7	12.7	0	0
3	1	135	2.4	1.2	0	0
4	1	135	7.6	1.6	0	0
5	1	135	0	0	0	0.19
6	1	135	0	0	0	0
7	1	135	22.8	10.9	0	0
8	1	135	30	30	0	0
9	1	135	0	0	0	0
10	1	135	5.8	2	0	0
11	1	135	0	0	0	0
12	1	135	11.2	7.5	0	0
13	2	135	0	0	0	0
14	1	135	6.2	1.6	0	0
15	1	135	8.2	2.5	0	0
16	1	135	3.5	1.8	0	0
17	1	135	9	5.8	0	0
18	1	135	3.2	0.9	0	0
19	1	135	9.5	3.4	0	0
20	1	135	2.2	0.7	0	0
21	1	135	17.5	11.2	0	0
22	2	135	0	0	0	0
23	2	135	3.2	1.6	0	0
24	1	135	8.7	6.7	0	0.04
25	1	135	0	0	0	0
26	1	135	3.5	2.3	0	0
27	2	135	0	0	0	0
28	1	135	0	0	0	0
29	1	135	2.4	0.9	0	0
30	1	135	10.6	1.9	0	0

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ 30 บัส

บัส	กำลังการผลิต		กำลังการผลิตสูงสุด		กำลังการผลิตต่ำสุด	
	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)	P(MW)	Q(Mvar)
1	25.97	0	80	150	0	-20
2	60.97	0	80	60	0	-20
22	21.59	0	50	62.5	0	-15
27	27	0	55	49	0	-15
23	19	0	30	40	0	-10
13	37	0	40	45	0	-15

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 30 บัส

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน(p.u.)	รีแอคแตนซ์ (p.u.)	ตัวอัดประจุสายส่ง(p.u.)
1	2	0.02	0.06	0.03
1	3	0.05	0.19	0.02
2	4	0.06	0.17	0.02
3	4	0.01	0.04	0
2	5	0.05	0.2	0.02
2	6	0.06	0.18	0.02
4	6	0.01	0.04	0
5	7	0.05	0.12	0.01
6	7	0.03	0.08	0.01
6	8	0.01	0.04	0
6	9	0	0.21	0
9	11	0	0.21	0
9	10	0	0.11	0
4	12	0	0.26	0
12	13	0	0.14	0
12	14	0.12	0.26	0
12	15	0.07	0.13	0
12	16	0.09	0.2	0
14	15	0.22	0.2	0
16	17	0.08	0.19	0
15	18	0.11	0.22	0

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลสายส่งในระบบไฟฟ้าของระบบทดสอบ 30 บัส (ต่อ)

จากบัส	ถึงบัส	ความต้านทาน (p.u.)	รีแอคแตนซ์ (p.u.)	ตัวอัดประจุสายส่ง (p.u.)
18	19	0.06	0.13	0
19	20	0.03	0.07	0
10	20	0.09	0.21	0
10	17	0.03	0.08	0
10	21	0.03	0.07	0
10	22	0.07	0.15	0
21	22	0.01	0.02	0
15	23	0.1	0.2	0
22	24	0.12	0.18	0
23	24	0.13	0.27	0
24	25	0.19	0.33	0
25	26	0.25	0.38	0
25	27	0.11	0.21	0
28	27	0	0.4	0
27	29	0.22	0.42	0
27	30	0.32	0.6	0
29	30	0.24	0.45	0
8	28	0.06	0.2	0.02
6	28	0.02	0.06	0.01

ภาคผนวก ข

ข้อมูลจากเครื่องมือวัด

ในภาคผนวก ข จะกล่าวถึงข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องวัด โดยในการคำนวณข้อมูลจากเครื่องวัดนั้นจะเป็นการนำผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลของระบบดังที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลจากเครื่องวัดจากระบบทดสอบแบบต่างๆเป็นดังนี้

ข.1 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 4 บัส

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 4 บัส

บัส	โหลด		ขนาดแรงดัน (p.u.)	lead – lag*	ความแม่นยำ
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ(MVAR)			
1	40.00	15.00	1.0122	-1	0.01
2	25.00	10.00	1.0500	-1	0.01
3	60.00	30.00	1.0500	-1	0.01
4	70.00	25.00	1.0219	-1	0.01

ข.2 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 9 บัส

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 9 บัส

บัส	โหลด		ขนาดแรงดัน (p.u.)	lead – lag*	ความแม่นยำ
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ(MVAR)			
1	0.00	0.00	1.0000	0	0.01
2	15.00	10.00	1.0000	1	0.01
3	0.00	0.00	1.0000	0	0.01
4	0.00	0.00	0.9894	0	0.01
5	90.00	30.00	0.9783	-1	0.01
6	0.00	0.00	1.0035	0	0.01
7	100.00	35.00	0.9863	-1	0.01
8	0.00	0.00	0.9972	0	0.01
9	125.00	50.00	0.9614	-1	0.01

*ข้อมูล lead – lag จะมีค่าเป็น -1 สำหรับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังแบบล้าหลัง , 1 สำหรับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังแบบนำหน้า และ 0 สำหรับตำแหน่งที่ไม่มีโหลด

ข.3 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 14 บัส

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 14 บัส

บัส	โหลด		ขนาดแรงดัน (p.u.)	lead – lag*	ความแม่นยำ
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ(MVAR)			
1	0.00	0.00	1.0600	0	0.01
2	21.70	12.70	1.0500	-1	0.01
3	44.20	19.00	1.0100	-1	0.01
4	47.80	3.90	1.0327	-1	0.01
5	7.60	1.80	1.0412	-1	0.01
6	11.20	7.50	1.0700	-1	0.01
7	0.00	0.00	1.0548	0	0.01
8	0.00	0.00	1.0900	0	0.01
9	29.50	16.60	1.0454	-1	0.01
10	9.00	5.80	1.0417	-1	0.01
11	3.50	1.80	1.0516	-1	0.01
12	6.10	1.60	1.0545	-1	0.01
13	13.50	5.80	1.0481	-1	0.01
14	14.90	5.60	1.0273	-1	0.01

*ข้อมูล lead – lag จะมีค่าเป็น -1 สำหรับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังแบบล้าหลัง และ 1 สำหรับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังแบบนำหน้า และ 0 สำหรับตำแหน่งที่ไม่มีโหลด

ข.4 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 30 บัส

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลจากเครื่องวัดของระบบทดสอบ 30บัส

บัส	โหลด		ขนาดแรงดัน (p.u.)	lead – lag*	ความแม่นยำ
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ(MVAR)			
1	0.00	0.00	1.0000	0	0.01
2	21.70	12.70	1.0000	-1	0.01
3	2.40	1.20	0.9831	-1	0.01
4	7.60	1.60	0.9801	-1	0.01
5	0.00	0.00	0.9824	0	0.01
6	0.00	0.00	0.9732	0	0.01
7	22.80	10.90	0.9674	-1	0.01
8	30.00	30.00	0.9606	-1	0.01
9	0.00	0.00	0.9805	0	0.01
10	5.80	2.00	0.9844	-1	0.01
11	0.00	0.00	0.9805	0	0.01
12	11.20	7.50	0.9855	-1	0.01
13	0.00	0.00	1.0000	0	0.01
14	6.20	1.60	0.9767	-1	0.01
15	8.20	2.50	0.9802	-1	0.01
16	3.50	1.80	0.9774	-1	0.01
17	9.00	5.80	0.9769	-1	0.01
18	3.20	0.90	0.9684	-1	0.01
19	9.50	3.40	0.9653	-1	0.01
20	2.20	0.70	0.9692	-1	0.01
21	17.50	11.20	0.9934	-1	0.01
22	0.00	0.00	1.0000	0	0.01
23	3.20	1.60	1.0000	-1	0.01
24	8.70	6.70	0.9886	-1	0.01
25	0.00	0.00	0.9902	0	0.01
26	3.50	2.30	0.9722	-1	0.01
27	0.00	0.00	1.0000	0	0.01
28	0.00	0.00	0.9747	0	0.01
29	2.40	0.90	0.9796	-1	0.01
30	10.60	1.90	0.9679	-1	0.01

*ข้อมูล lead – lag จะมีค่าเป็น -1 สำหรับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังแบบล้าหลัง และ 1 สำหรับโหลดที่มีค่าตัวประกอบกำลังแบบนำหน้า และ 0 สำหรับตำแหน่งที่ไม่มีโหลด

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบความครอบคลุมและการเชื่อมโยงถึงกันของข้อมูล

ในภาคผนวก ค นี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการตรวจสอบความครอบคลุมและความเชื่อมโยงของรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยรายละเอียดมีดังนี้

ค.1 การตรวจสอบความครอบคลุม

ความครอบคลุมของรูปแบบการติดตั้ง (Observable) คือ การที่ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ทำการติดตั้งทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรสถานะทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ โดยข้อมูลที่กล่าวถึงในที่นี้คือ โหลดกำลังจริงและโหลดกำลังรีแอคทีฟ ในการตรวจสอบความครอบคลุมนั้นเราจะทำการตรวจสอบเซตยูเนียน (Set Union) ของบัสที่เชื่อมต่อกับบัสที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดแต่ละตำแหน่ง หากเซตยูเนียนนั้นมีตำแหน่งบัสครบทุกตำแหน่งในระบบ นั่นหมายถึงรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดนั้นมีความครอบคลุมของข้อมูล แต่ถ้ามีตำแหน่งบัสไม่ครบทุกตำแหน่งในระบบย่อมแสดงถึงว่าตำแหน่งบัสที่ไม่ได้เป็นสมาชิกของเซตยูเนียนนั้นเป็นตำแหน่งที่ยังไม่มีข้อมูลจากเครื่องมือวัดใดเชื่อมโยงไปถึง การคำนวณหาเซตยูเนียนดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดัง (ค.1)

$$Observed = \bigcup_{i=1}^{N_{data}} connect_i \qquad \text{(ค.1)}$$

โดยที่ $Observed$ คือ เซตยูเนียนของตำแหน่งบัสที่รูปแบบการวัดที่พิจารณาครอบคลุมไปถึง

$connect_i$ คือ เซตของตำแหน่งบัสที่เชื่อมต่ออยู่กับข้อมูลที่ i

N_{data} คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดจากเครื่องมือวัดและข้อมูลจากโครงสร้างของระบบ

ค.2 การตรวจสอบการเชื่อมโยงกันของข้อมูล

การเชื่อมโยงกันของข้อมูล คือ การที่เครื่องมือวัดแต่ละตำแหน่งเมื่อทำการพิจารณาการต่อเชื่อมกับบัสอื่นๆแล้วพบว่ามีจุดร่วม หรืออาจเรียกได้ว่าจุดเชื่อมต่อของข้อมูลอย่างน้อย 1 ตำแหน่งกับเครื่องมือวัดในตำแหน่งอื่นๆและข้อมูลจากโครงสร้างของระบบ โดยการตรวจสอบการเชื่อมโยงกันของข้อมูลของรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดนั้น จะทำการพิจารณาเครื่องมือวัดแต่ละตำแหน่งว่ามีการเชื่อมโยงไปถึงตำแหน่งบัสอื่นๆในระบบเหมือนกับการเชื่อมโยงไปถึงของข้อมูลอื่นๆอย่างน้อย 1 ตำแหน่งหรือไม่ หากมีตำแหน่งที่เหมือนกันอย่างน้อย 1 ตำแหน่งหมายถึง

เครื่องมือวัดที่พิจารณานั้นมีการเชื่อมโยงถึงกันของข้อมูล แต่ในทางกลับกันหากไม่มีตำแหน่งใดที่เหมือนกันเลยนั่นหมายถึงเกิดการแยกส่วนกันของข้อมูลขึ้น (Isolation) การตรวจสอบการเชื่อมโยงกันของข้อมูลของเครื่องมือวัดตำแหน่งที่ i สามารถอธิบายได้ดัง (ค.2)

$$Overlap = connect_i \cap \left\{ \bigcup_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{data}} connect_j \right\} \qquad \text{(ค.2)}$$

โดยที่ $Overlap$ คือ เซตของตำแหน่งที่เป็นจุดต่อเชื่อมของข้อมูล

$connect_i$ คือ เซตของตำแหน่งที่ข้อมูลที่ i เชื่อมต่อไปถึง

$connect_j$ คือ เซตของตำแหน่งที่ข้อมูลที่ j เชื่อมต่อไปถึง

N_{data} คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดจากเครื่องมือวัดและข้อมูลจากโครงสร้างของระบบ

จาก (ค.2) หากข้อมูลที่ i คำนวณค่าเซตของ $Overlap$ แล้วไม่เป็นเซตว่างหมายความว่าข้อมูลที่ i มีการเชื่อมโยงกับข้อมูลอื่นๆ แต่หากเซตของ $Overlap$ เป็นเซตว่างหมายความว่าข้อมูลที่ i เกิดการแยกส่วนกันขึ้น

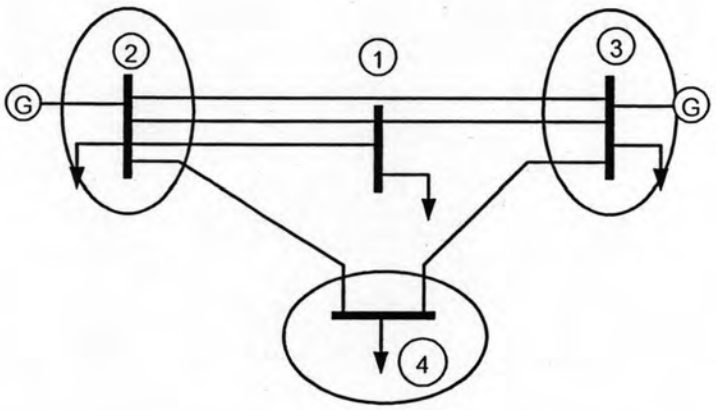
ภาคผนวก ง

ผลการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอ

ในภาคผนวก ง นี้จะแสดงถึงผลการคำนวณการประมาณค่าตัวแปรสถานะด้วยวิธีที่นำเสนอกับระบบทดสอบทั้ง 4 ระบบอันประกอบไปด้วย ระบบทดสอบ 4 , 9 , 14 และ 30 บัส โดยแต่ละระบบทดสอบจะทำการคำนวณการประมาณค่าตัวแปรสถานะแบบไม่มีข้อจำกัด และภายใต้ข้อจำกัด รายละเอียดผลการประมาณค่าตัวแปรสถานะเป็นดังนี้

ง.1 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 4 บัส

ในการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 4 บัส ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ตำแหน่งบัสที่ 2 , 3 และ 4 จากวิธีการเลือกรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 4 บัส

โดยในการคำนวณเราได้ทำการคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัดและภายใต้ข้อจำกัดเพื่อให้เห็นถึงผลของการพิจารณาข้อจำกัดในการคำนวณ ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ ง.1 – ง.2

ตารางที่ ง.1 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 4 บัส

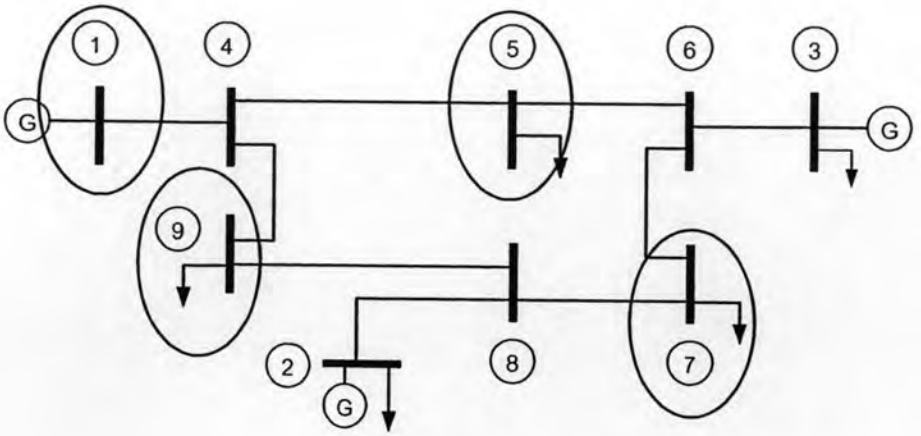
บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)
1	1.0427	-3.7295	1.0300	-3.4822	1.0122	-3.1206
2	1.0500	0.0000	1.0500	0.0000	1.0500	0.0000
3	1.0500	-1.5226	1.0500	-1.5485	1.0500	-1.5850
4	1.0219	-3.5701	1.0219	-3.5886	1.0219	-3.6148

ตารางที่ ง.2 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 4 บัส

บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)
1	-40.1200	10.9200	-40.1500	0.0000	-40.0000	-15.0000
2	63.6000	-1.9500	63.6000	2.4100	63.5900	8.5600
3	48.2400	20.9200	48.2400	27.4000	48.2400	36.5600
4	-70.0000	-25.0000	-70.0000	-25.0000	-70.0000	-25.0000

ง.2 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 9 บัส

ในการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 9 บัส ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ตำแหน่งบัสที่ 1 , 5 , 7 และ 9 จากวิธีการเลือกรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 9 บัส

โดยในการคำนวณเราได้ทำการคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัดและภายใต้ข้อจำกัดเพื่อให้เห็นถึงผลของการพิจารณาข้อจำกัดในการคำนวณ ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ ง.3 – ง.4

ตารางที่ ง.3 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 9 บัส

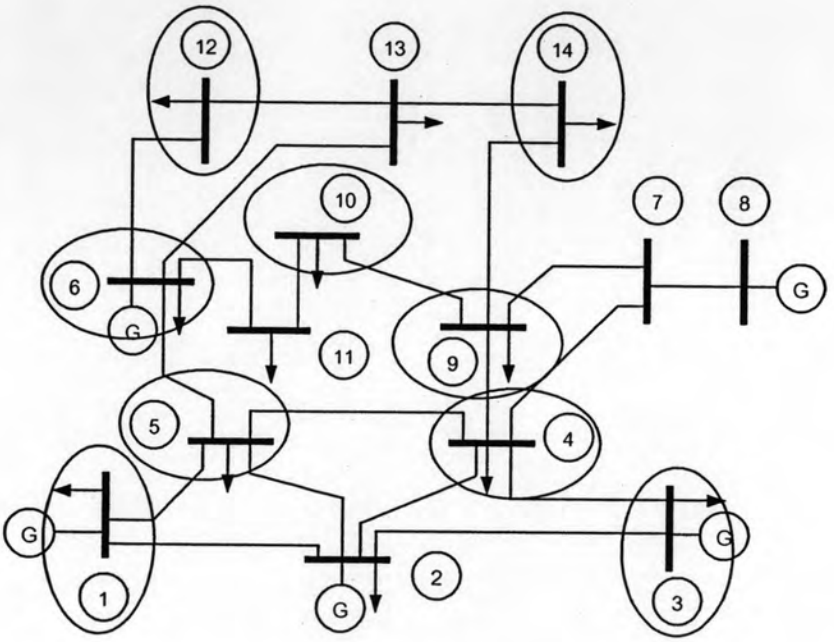
บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	5.4481	1.0000	5.4413	1.0000	5.4425
3	1.0000	0.2010	1.0000	0.2076	1.0000	0.2054
4	0.9894	-3.5299	0.9894	-3.5299	0.9894	-3.5301
5	0.9783	-6.1044	0.9783	-6.1032	0.9783	-6.1038
6	1.0035	-1.9720	1.0035	-1.9685	1.0035	-1.9698
7	0.9863	-3.1437	0.9863	-3.1442	0.9863	-3.1446
8	0.9972	0.1232	0.9972	0.1197	0.9972	0.1201
9	0.9614	-6.3234	0.9614	-6.3246	0.9614	-6.3246

ตารางที่ ง.4 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 9 บัส

บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)
1	105.7600	21.6500	105.7600	21.6500	105.7600	21.6500
2	148.0700	11.3600	147.9800	11.3500	148.0000	11.3500
3	64.9300	-4.7700	65.0200	-4.7600	65.0000	-4.7600
4	0.0000	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-90.0000	-30.0000	-90.0000	-30.0000	-90.0000	-30.0000
6	0.0000	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	-100.0000	-35.0000	-100.0000	-35.0000	-100.0000	-35.0000
8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	-125.0000	-50.0000	-125.0000	-50.0000	-125.0000	-50.0000

ง.3 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 14 บัส

ในการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 14 บัส ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ตำแหน่งบัสที่ 1 , 3 , 4 , 5 , 6 , 9 ,10 , 12 และ 14 จากวิธีการเลือกรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ง.3



รูปที่ ง.3 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 14 บัส

โดยในการคำนวณเราได้ทำการคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัดและภายใต้ข้อจำกัดเพื่อให้เห็นถึงผลของการพิจารณาข้อจำกัดในการคำนวณ ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ ง.5 – ง.6

ตารางที่ ง.5 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 14 บัส

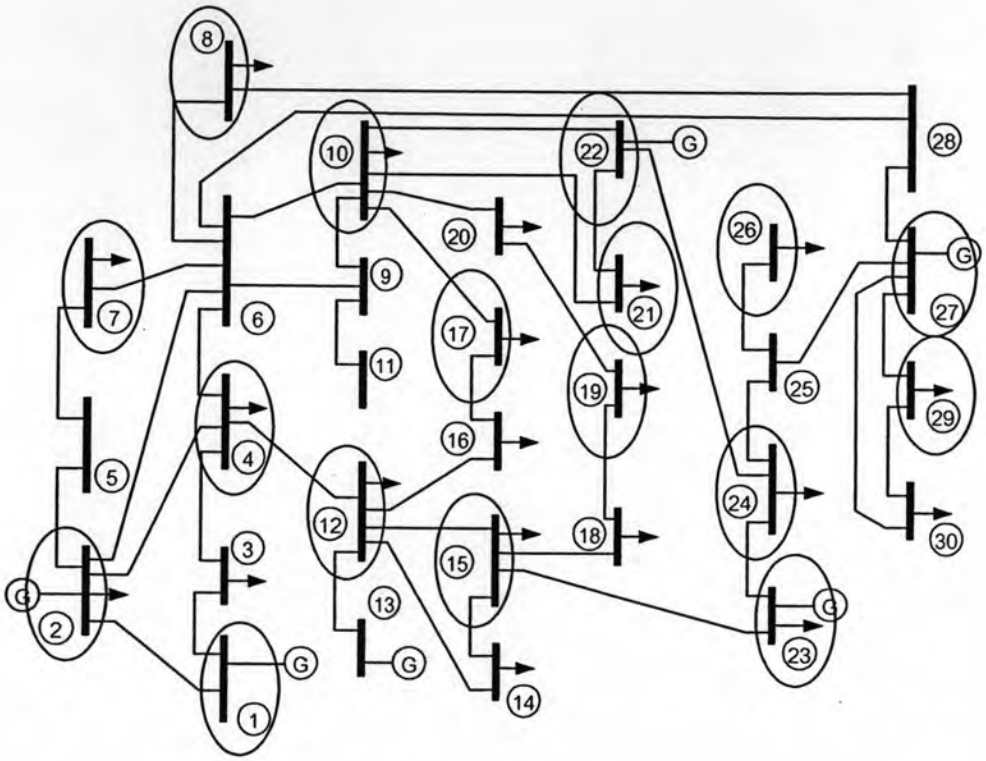
บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)
1	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000	1.0600	0.0000
2	1.0450	-0.5879	1.0450	-0.5879	1.0450	-0.5827
3	1.0100	-1.3687	1.0100	-1.3686	1.0100	-1.3766
4	1.0326	-3.6507	1.0326	-3.6505	1.0325	-3.6692
5	1.0413	-3.0109	1.0413	-3.0106	1.0412	-3.0284
6	1.0700	-4.3476	1.0700	-4.3462	1.0700	-4.4071
7	1.0548	-5.8235	1.0548	-5.8233	1.0548	-5.8688
8	1.0900	-5.8226	1.0900	-5.8224	1.0900	-5.8688
9	1.0453	-6.9790	1.0453	-6.9789	1.0454	-7.0371
10	1.0417	-6.7802	1.0417	-6.7806	1.0418	-6.8572
11	1.0518	-5.6484	1.0518	-5.6503	1.0516	-5.7684
12	1.0545	-5.3444	1.0545	-5.3419	1.0545	-5.3991
13	1.0480	-5.5521	1.0480	-5.5486	1.0481	-5.6028
14	1.0273	-7.3475	1.0273	-7.3459	1.0274	-7.4022

ตารางที่ ง.6 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 14 บัส

บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)
1	52.0700	16.0500	52.0700	16.0500	52.0700	16.1100
2	42.5500	-19.0300	42.5400	-19.0200	43.3000	-19.1300
3	5.8000	-38.6300	5.8000	-38.6300	5.8000	-38.5900
4	-47.8000	-3.9000	-47.8000	-3.9000	-47.8000	-3.9000
5	-7.6000	-1.8000	-7.6000	-1.8000	-7.6000	-1.8000
6	33.8000	25.8400	33.8000	25.8400	33.8000	25.7200
7	0.0100	0.0200	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0100	21.7800	0.0100	21.7900	0.0000	21.7900
9	-29.5000	-16.6000	-29.5000	-16.6000	-29.5000	-16.6000
10	-9.0000	-5.8000	-9.0000	-5.8000	-9.0000	-5.8000
11	-2.6000	-2.0800	-2.6400	-2.0500	-3.5000	-1.8000
12	-6.1000	-1.6000	-6.1000	-1.6000	-6.1000	-1.6000
13	-13.6900	-5.7900	-13.6400	-5.8100	-13.5000	-5.8000
14	-14.9000	-5.6000	-14.9000	-5.6000	-14.9000	-5.6000

ง.4 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 30 บัส

ในการคำนวณค่าตัวแปรสถานะกับระบบทดสอบ 30 บัส ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ตำแหน่งบัสที่ 1 , 2 , 4 , 7 , 8 , 10 , 12 , 15 , 17 , 19 , 21 , 22 , 23 , 24 , 26 , 27 และ 29 จากวิธีการเลือกรูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอสามารถแสดงได้ดังรูปที่ ง.4



รูปที่ ง.4 รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือวัดที่นำเสนอของระบบทดสอบ 30 บัส

โดยในการคำนวณเราได้ทำการคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัดและภายใต้ข้อจำกัดเพื่อให้เห็นถึงผลของการพิจารณาข้อจำกัดในการคำนวณ ผลการคำนวณเป็นดังตารางที่ ง.7 – ง.8

ตารางที่ ง.7 ผลการคำนวณค่าตัวแปรสถานะของระบบทดสอบ 30 บัส

บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)	ขนาดแรงดัน (p.u.)	มุมแรงดัน (องศา)
1	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
2	1.0000	-0.3438	1.0000	-0.2535	1.0000	-0.4155
3	0.9814	-1.7196	0.9796	-1.9743	0.9831	-1.5221
4	0.9801	-1.6153	0.9797	-1.5370	0.9801	-1.7947
5	0.9824	-1.7576	0.9824	-1.5702	0.9824	-1.8638
6	0.9732	-2.1235	0.9736	-1.8364	0.9732	-2.2670
7	0.9674	-2.5232	0.9676	-2.2758	0.9674	-2.6518
8	0.9606	-2.5944	0.9610	-2.2947	0.9606	-2.7258
9	0.9805	-2.6964	0.9800	-1.7181	0.9805	-2.9969
10	0.9844	-2.9931	0.9834	-1.6567	0.9844	-3.3749
11	0.9805	-2.6964	0.9800	-1.7181	0.9805	-2.9969
12	0.9855	1.4600	0.9867	2.3344	0.9855	-1.5369
13	1.0000	5.9377	1.0000	9.5953	1.0000	1.4762
14	0.9700	-6.1188	0.9629	-0.4105	0.9767	-2.3080
15	0.9802	-1.7194	0.9794	0.5257	0.9802	-2.3118
16	0.9980	8.8996	0.9807	0.4969	0.9774	-2.6445
17	0.9769	0.2928	0.9768	-1.2554	0.9769	-3.3923
18	0.9579	-3.2288	0.9702	-0.8749	0.9684	-3.4784
19	0.9653	-9.2114	0.9656	-1.7102	0.9653	-3.9582
20	0.9800	-11.9644	0.9689	-1.8140	0.9692	-3.8710
21	0.9934	-3.1294	0.9932	-1.7874	0.9934	-3.4884
22	1.0000	-3.0404	1.0000	-1.6975	1.0000	-3.3927
23	1.0000	-1.1503	1.0000	0.7465	1.0000	-1.5892
24	0.9886	-2.3941	0.9888	-0.9265	0.9886	-2.6315
25	0.9902	-1.9150	0.9902	-0.7764	0.9902	-1.6900
26	0.9722	-2.3643	0.9722	-1.2257	0.9722	-2.1393
27	1.0000	-1.3380	1.0000	-0.4024	1.0000	-0.8284
28	0.9744	-2.1953	0.9750	-1.8344	0.9747	-2.2659
29	0.9796	-3.1824	0.9796	-2.1042	0.9796	-2.1285
30	0.9683	-4.6997	0.9682	-3.4634	0.9679	-3.0415

ตารางที่ ง.8 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบทดสอบ 30 บัส

บัส	การคำนวณแบบไม่มีข้อจำกัด		การคำนวณภายใต้ข้อจำกัด		การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยค่าจากการวัดจริงจากทุกตำแหน่ง	
	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)	กำลังจริง (MW)	กำลังรีแอคทีฟ (MVAR)
1	25.9700	0.0800	25.9700	1.2500	25.9700	-1.0000
2	39.2700	19.2000	39.2700	19.0700	39.2700	19.3000
3	-20.1700	-1.8400	-36.4100	-2.0200	-2.4000	-1.2000
4	-7.6000	-1.6000	-7.6000	-1.6000	-7.6000	-1.6000
5	0.0000	0.0100	0.0000	-0.1000	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1000	0.0000	0.0000
7	-22.8000	-10.9000	-22.8000	-10.9000	-22.8000	-10.9000
8	-30.0000	-30.0000	-30.0000	-30.0000	-30.0000	-30.0000
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-5.8000	-2.0000	-5.8000	-2.0000	-5.8000	-2.0000
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	-11.2000	-7.5000	-11.2000	-7.5000	-11.2000	-7.5000
13	54.9600	12.5100	89.0700	15.1800	37.0000	11.3500
14	-59.2200	32.8900	-25.0400	0.0000	-6.2000	-1.6000
15	-8.2000	-2.5000	-8.2000	-2.5000	-8.2000	-2.5000
16	128.1000	-28.3300	0.0000	-0.0200	-3.5000	-1.8000
17	-9.0000	-5.8000	-9.0000	-5.8000	-9.0000	-5.8000
18	47.7100	-32.6400	-0.0100	0.0000	-3.2000	-0.9000
19	-9.5000	-3.4000	-9.5000	-3.4000	-9.5000	-3.4000
20	-106.0500	71.1700	-3.9000	-0.5400	-2.2000	-0.7000
21	-17.5000	-11.2000	-17.5000	-11.2000	-17.5000	-11.2000
22	21.5900	39.3800	21.5900	41.3400	21.5900	39.5700
23	16.0000	6.3800	16.0000	6.8200	16.0000	6.3500
24	-8.7000	-6.7000	-8.7000	-6.7000	-8.7000	-6.7000
25	0.0100	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
26	-3.5000	-2.3000	-3.5000	-2.3000	-3.5000	-2.3000
27	26.9100	9.3700	26.9100	10.5000	26.9100	10.5400
28	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1100	0.0000	0.0000
29	-2.4000	-0.9000	-2.4000	-0.9000	-2.4000	-0.9000
30	-14.7000	0.6500	-13.6300	-0.0300	-10.6000	-1.9000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐพล ตาทิคุณ เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในมหาวิทยาลัยเดียวกัน