



บทที่ 4

ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์

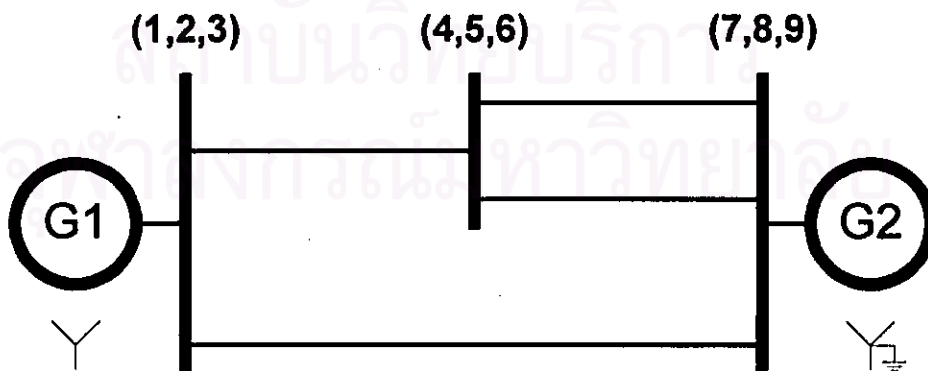
ในบทนี้จะกล่าวถึงการใช้โปรแกรม FAPC (Fault Analysis using Phase Coordinates) ในการวิเคราะห์ความผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแง่ต่างๆ กับวิธีองค์ประกอบสมมาตร ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์จะมี 3 ตัวอย่าง โดยเป็นระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส 6 บัส และ 14 บัส

4.1 การจัดเตรียมข้อมูล

โปรแกรม FAPC มีรายละเอียดการเตรียมข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในบทที่ 3 ส่วนวิธีการใช้โปรแกรมและการป้อนข้อมูลได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข โดยลักษณะข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆ จะเป็นค่าสมมูลย์ต่อหน่วย ซึ่งเป็นข้อมูลทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติของระบบกำลังไฟฟ้า

4.2 ตัวอย่างการคำนวณ

4.2.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส



รูปที่ 4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส ดังแสดงใน รูปที่ 4.1 เป็นระบบกำลังไฟฟ้าที่มี 3 บัส สายส่ง 4 เส้น และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัว โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติแสดงใน ตารางที่ 4.1

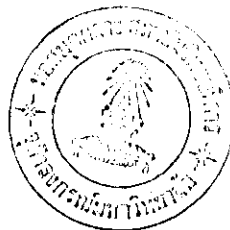
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Equip	Type	No.	Bus	Bus	Impedance	
					Positive	Zero
GEN	Y	G1	(1,2,3)		j0.2	j0.03
GEN	YG	G2	(7,8,9)		j0.16	j0.02
LINE		TL1	(1,2,3)	(4,5,6)	j0.08	j0.14
LINE		TL2	(1,2,3)	(7,8,9)	j0.13	j0.17
LINE		TL3	(4,5,6)	(7,8,9)	j0.06	j0.10
LINE		TL4	(4,5,6)	(7,8,9)	j0.06	j0.12

ผลของการวิเคราะห์ความผิดปกติ ชนิดสามสายลงดิน และ ชนิดหนึ่งสายลงดิน (บนเฟสอ้างอิง A) โดยใช้ระบบพิกัดเฟส สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ดังได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.6 ว่าในระบบพิกัดเฟสนั้น บัสบาร์แต่ละบัสบาร์ จะประกอบด้วยตัวเลข 3 ตัว เช่น (1,2,3) โดย 1 แทนเฟส A 2 แทนเฟส B 3 แทนเฟส C ที่บัสบาร์นั้นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(1,2,3)	9.5541/-90.0000	9.5539/149.9993	9.5539/30.0007
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(4,5,6)	0.1973/0.0000	0.1973/-120.0007	0.1973/120.0007
(7,8,9)	0.2713/0.0000	0.2713/-120.0000	0.2713/120.0007
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G1	5.0000/-90.0000	4.9999/149.9993	4.9999/30.0007
TL1	2.4668/-90.0000	2.4667/149.9993	2.4667/30.0007
TL2	2.0873/-90.0000	2.0872/149.9993	2.0872/30.0007

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(4,5,6)	8.9115/-90.0000	8.9113/149.9993	8.9113/30.0007
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.2513/-0.0000	0.2513/-120.0007	0.2513/120.0007
(4,5,6)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(7,8,9)	0.1731/0.0000	0.1731/-120.0007	0.1731/120.0007
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL1	3.1416/-90.0000	3.1415/149.9993	3.1415/30.0007
TL3	2.8850/-90.0000	2.8849/149.9993	2.8849/30.0007
TL4	2.8850/-90.0000	2.8849/149.9993	2.8849/30.0007

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความผิดพ้องชนิดสามสายลงดินที่โหนด (7,8,9)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(7,8,9)	10.1023/-90.0000	10.1021/149.9993	10.1021/30.0007
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.2295/-0.0000	0.2295/-120.0007	0.2295/120.0007
(4,5,6)	0.0626/0.0000	0.0626/-120.0007	0.0626/120.0007
(7,8,9)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G2	6.2500/-90.0000	6.2499/149.9993	6.2499/30.0007
TL2	1.7657/-90.0000	1.7656/149.9993	1.7656/30.0007
TL3	1.0433/-90.0000	1.0433/149.9993	1.0433/30.0007
TL4	1.0433/-90.0000	1.0433/149.9993	1.0433/30.0007

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(1,2,3)	9.3734/-90.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.0000/0.0000	1.0096/-120.9301	1.0096/120.9301
(4,5,6)	0.3331/0.0000	0.9455/-113.6622	0.9455/113.6622
(7,8,9)	0.4609/0.0000	0.9247/-110.5239	0.9247/110.5239
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G1	3.2704/-90.0000	1.6350/90.0000	1.6350/90.0000
TL1	3.0704/-90.0000	0.6503/-90.0000	0.6503/-90.0000
TL2	3.0326/-90.0000	0.9848/-90.0000	0.9848/-90.0000

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A

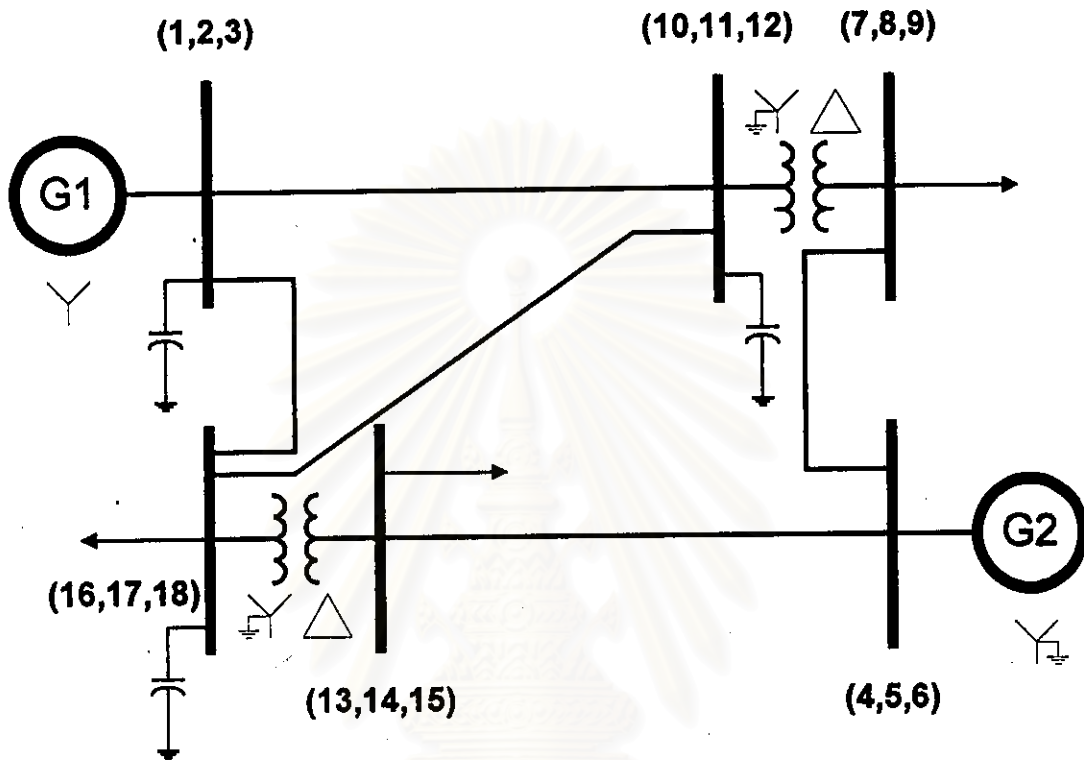
Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(4,5,6)	10.3159/-90.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.2660/-0.0000	0.9407/-112.9861	0.9407/112.9861
(4,5,6)	0.0000/0.0000	0.9312/-111.5731	0.9312/111.5731
(7,8,9)	0.2931/-0.0000	0.9013/-106.0841	0.9013/106.0841
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL1	2.9390/-90.0000	0.6977/90.0000	0.6977/90.0000
TL3	3.8214/-90.0000	0.4818/-90.0000	0.4818/-90.0000
TL4	3.5556/-90.0000	0.2159/-90.0000	0.2159/-90.0000

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(7,8,9)	13.7631/-90.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.2085/-0.0000	0.8991/-105.6045	0.8991/105.6045
(4,5,6)	0.0569/0.0000	0.8818/-100.8548	0.8818/100.8548
(7,8,9)	0.0000/0.0000	0.8769/-99.0303	0.8769/99.0303
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G2	10.2642/-90.0000	1.7494/-90.0000	1.7494/-90.0000
TL2	1.6037/-90.0000	0.8018/90.0000	0.8018/90.0000
TL3	0.9476/-90.0000	0.4738/90.0000	0.4738/90.0000
TL4	0.9476/-90.0000	0.4738/90.0000	0.4738/90.0000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส



รูปที่ 4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ดังแสดงใน รูปที่ 4.2 เป็นระบบกำลังไฟฟ้าที่มี 6 บัส สายส่ง 5 เส้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความผิดพลาดดังแสดงใน ตารางที่ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 รายละเอียดข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Equip	Type	No.	Bus	Bus	Impedance	
					Positive	Zero
GEN	Y	G1	(1,2,3)		$0.02+j0.24$	$j0.032$
GEN	YG	G2	(4,5,6)		$0.03+j0.48$	$j0.032$
LINE		TL1	(1,2,3)	(16,17,18)	$0.246+j1.036$	$0.984+j2.084$
LINE		TL2	(1,2,3)	(10,11,12)	$0.16+j0.74$	$0.8+j1.85$
LINE		TL3	(10,11,12)	(16,17,18)	$0.194+j0.814$	$0.9+j2.06$
LINE		TL4	(4,5,6)	(13,14,15)	$0.564+j1.28$	$2.82+j3.84$
LINE		TL5	(4,5,6)	(7,8,9)	$1.446+j2.1$	$3.78+j5.26$
TR	D-Y	TR1	(7,8,9)	(10,11,12)	$j0.266$	$j0.266$
TR	D-Y	TR2	(13,14,15)	(16,17,18)	$j0.6$	$j0.6$

ผลของการวิเคราะห์ความผิดพ่วง ชนิดสามสายลงดิน และ ชนิดหนึ่งสายลงดิน (บนเฟสอ้างอิง A) โดยใช้ระบบพิกัดเฟส สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(1,2,3)	4.1113/-78.5607	4.1112/161.4389	4.1112/41.4404
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(10,11,12)	0.1963/92.4185	0.1963/-27.5808	0.1963/-147.5822
(16,17,18)	0.2383/87.6906	0.2383/-32.3087	0.2383/-152.3102
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G1	4.1523/-85.2364	4.1522/154.7629	4.1522/34.7644
TL1	0.2238/11.0482	0.2238/-108.9511	0.2238/31.0474
TL2	0.2593/14.6190	0.2593/-105.3803	0.2593/134.6183

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(4,5,6)	2.2392/-100.2770	2.2392/139.7218	2.2392/19.7230
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(7,8,9)	0.6064/-103.1877	0.6064/136.8136	0.6064/16.8122
(13,14,15)	0.4343/-106.1108	0.4343/133.8899	0.4343/13.8885
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G2	2.0793/-86.4237	2.0792/153.5756	2.0792/33.5571
TL4	0.3105/-172.3313	0.3105/67.6694	0.3105/-52.3320
TL5	0.2378/-158.6369	0.2378/81.3638	0.2378/-38.6377

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (7,8,9)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(7,8,9)	0.8911/-148.7837	0.8912/91.2157	0.8911/-28.7855
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.7577/-14.2873	0.7577/-134.2882	0.7577/105.7132
(7,8,9)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(10,11,12)	0.2352/11.9480	0.2352/-108.0523	0.2352/131.9491
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL5	0.2972/-69.7371	0.2972/170.2620	0.2672/50.2634
TL1	0.8842/-168.0515	0.8842/71.9488	0.8842/-48.0526

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (10,11,12)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(10,11,12)	1.4362/-87.2217	1.4362/152.7776	1.4362/32.7789
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.6857/-5.4029	0.6857/-125.4035	0.6857/114.5979
(7,8,9)	0.0720/19.2864	0.0720/-100.7145	0.0720/139.2869
(10,11,12)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(16,17,18)	0.2907/23.7190	0.2906/-96.2803	0.2907/143.7205
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL2	1.6010/-99.7263	1.6010/140.2737	1.6010/20.2737
TL3	0.3473/-52.8759	0.3473/-172.8751	0.3473/67.1256
TR1	0.2706/-160.7138	0.2706/79.2870	0.2706/-40.7144

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (13,14,15)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(13,14,15)	0.7795/-132.4792	0.7796/107.5194	0.7795/-12.4809
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.7118/-15.1451	0.7118/-135.1460	0.7118/104.8554
(13,14,15)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(16,17,18)	0.3643/6.7922	0.3643/-113.2083	0.3643/126.7932
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL4	0.5089/-813656	0.5089/158.6335	0.5089/38.6349
TR2	0.6071/-173.2074	0.6071/66.7930	0.6071/-53.2085

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (16,17,18)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(16,17,18)	1.3534/-97.9991	1.3534/141.9997	1.3534/22.0011
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.7139/-5.7269	0.7139/-125.7276	0.7139/114.2739
(10,11,12)	0.3212/7.8554	0.3212/-112.1445	0.3212/127.1354
(13,14,15)	0.2269/5.1348	0.2269/-114.8660	0.2269/125.1354
(16,17,18)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL1	1.3412/-97.0968	1.3412/142.9032	1.3412/22.9032
TL3	0.3839/128.7378	0.3839/8.7379	0.3839/248.7382
TR2	0.3781/-174.8653	0.3781/65.1355	0.3781/-54.8659

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(1,2,3)	1.6871/-60.9700	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.0000/0.0000	1.2130/-144.0863	1.2916/140.6863
(10,11,12)	0.4625/16.0372	0.7341/-104.0860	0.7116/134.7205
(16,17,18)	0.4251/23.8346	0.7508/-103.2384	0.7425/142.5009
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G1	1.4173/-79.2508	0.8891/128.4889	0.7535/67.4468
TL1	0.2640/-7.8558	0.4960/-68.9221	0.2838/-142.6244
TL2	0.2965/-9.0367	0.5916/-67.3889	0.3539/-137.4550

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(4,5,6)	3.2387/-101.5271	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.0000/0.0000	0.7627/-113.9954	0.7512/73.8951
(7,8,9)	0.6035/-105.1674	0.5373/167.6137	0.7613/40.2690
(13,14,15)	0.4322/-108.0911	0.4473/-166.0061	0.7164/49.3836
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G2	3.0664/-92.1767	0.8760/-135.2233	0.5012/94.4139
TL4	0.3090/-174.3116	0.4301/35.6579	0.2240/-100.7971
TL5	0.2367/-160.6172	0.3294/49.3523	0.1716/-87.1027

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(7,8,9)	0.2555/-129.9496	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.8434/-19.5721	0.8688/-139.4046	0.8648/99.3965
(7,8,9)	0.0000/0.0000	0.9791/141.0136	1.0509/70.8580
(10,11,12)	0.7272/14.8135	0.6779/-110.4876	0.6470/136.0437
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL5	0.2813/-52.0365	0.3359/-143.9370	0.2330/106.3498
TR1	0.3381/175.6081	0.3359/36.0630	0.2330/-73.6502

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (10,11,12) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(10,11,12)	1.7888/-101.3379	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.6473/-7.4154	0.8843/-118.3805	0.8697/120.1766
(7,8,9)	0.6744/-71.1785	0.2866/128.6949	0.4164/95.2880
(10,11,12)	0.0000/0.0000	0.6829/-90.4403	0.6270/121.4664
(16,17,18)	0.3292/22.3170	0.6892/-88.6722	0.6362/129.0941
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL2	0.8225/-85.9962	0.5969/115.0323	0.3321/44.7953
TL3	0.3280/-52.0302	0.0451/130.3025	0.1660/125.3598
TR1	0.9102/-132.1551	2.3519/13.6623	2.0597/-155.2850

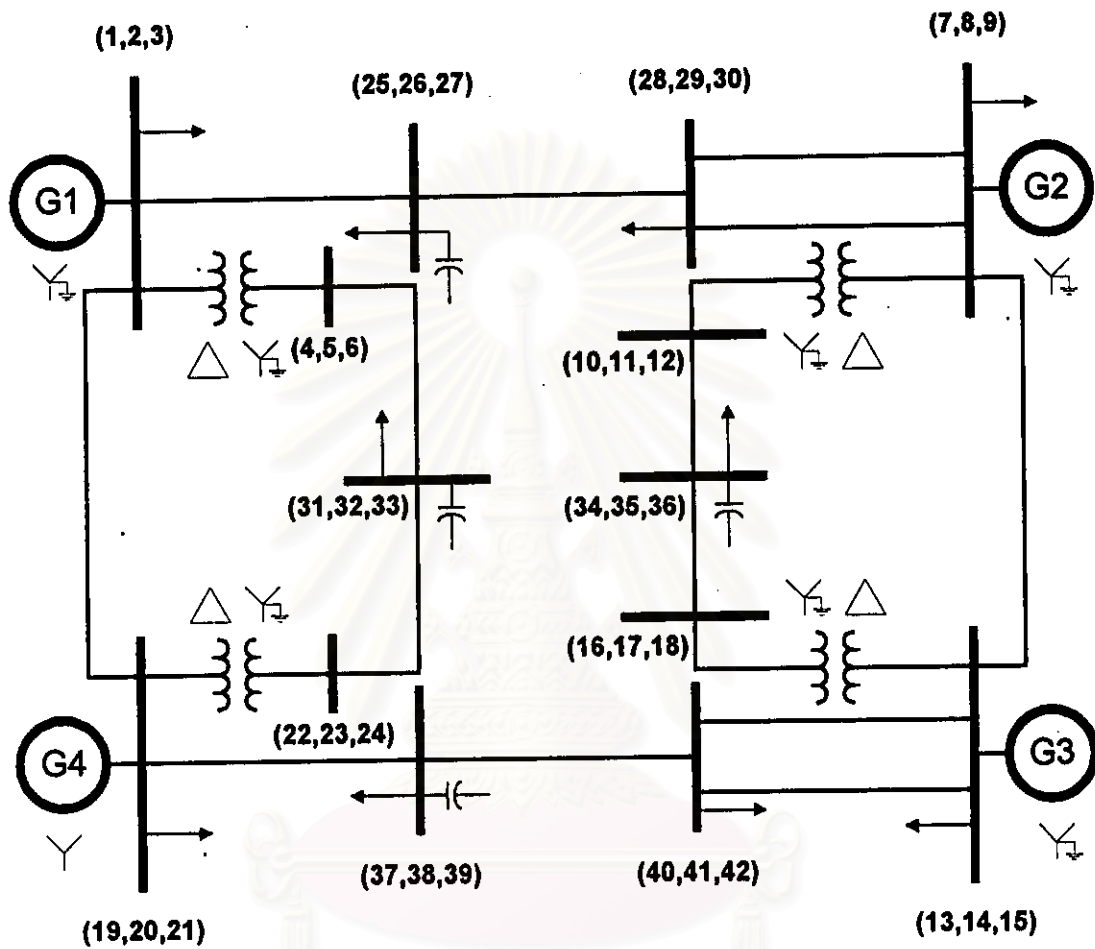
ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (13,14,15) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(13,14,15)	0.3044/-114.2094	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.8235/-19.9349	0.8631/-138.9433	0.8619/98.8272
(13,14,15)	0.0000/0.0000	0.8678/159.2766	0.9632/84.7139
(16,17,18)	0.7242/19.4262	0.6862/-106.7628	0.6391/139.3660
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL4	0.4519/-63.0922	0.3996/-154.3932	0.2997/84.0553
TR2	0.3524/159.1605	0.3996/25.6068	0.2997/-95.9447

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (16,17,18) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(16,17,18)	1.4736/-69.3921	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.6687/-8.1944	0.9159/-120.2145	0.8795/122.9090
(10,11,12)	0.4016/9.9700	0.6783/-95.7798	0.6686/125.7238
(13,14,15)	0.6418/-54.0887	0.2919/176.2879	0.5081/99.6529
(16,17,18)	0.0000/0.0000	0.7128/-94.3255	0.6668/134.9295
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL1	0.5846/-86.2503	0.4358/114.4613	0.2474/25.4067
TL3	0.3552/-68.3776	0.1389/99.0653	0.0578/38.8843
TR2	0.5824/-53.1149	1.0780/24.3354	0.8255/-128.8980

4.2.3 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส



รูปที่ 4.3 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส

ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส ดังแสดงใน รูปที่ 4.3 เป็นระบบกำลังไฟฟ้าที่มี 14 บัส สายส่ง 14 เส้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้า 4 ตัว โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงพร้อมดังแสดงใน ตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 รายละเอียดข้อมูลของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส

Equip	Type	No.	Bus	Bus	Impedance	
					Positive	Zero
GEN	YG	G1	(1,2,3)		$j0.01$	$0.001+j0.06$
GEN	YG	G2	(7,8,9)		$j0.01$	$0.001+j0.07$
GEN	YG	G3	(13,14,15)		$j0.01$	$0.001+j0.05$
GEN	Y	G4	(19,20,21)		$0.002+j0.1$	$0.001+j0.08$
LINE		TL1	(1,2,3)	(19,20,21)	$0.067+j0.2$	$0.135+j0.65$
LINE		TL2	(1,2,3)	(25,26,27)	$0.067+j0.2$	$0.134+j0.6$
LINE		TL3	(4,5,6)	(31,32,33)	$0.35+j0.42$	$0.134+j0.6$
LINE		TL4	(7,8,9)	(13,14,15)	$0.067+j0.2$	$0.17+j0.6$
LINE		TL5	(7,8,9)	(28,29,30)	$0.067+j0.2$	$0.15+j0.7$
LINE		TL6	(7,8,9)	(28,29,30)	$0.067+j0.2$	$0.15+j0.7$
LINE		TL7	(10,11,12)	(34,35,36)	$0.35+j0.42$	$0.7+j1.2$
LINE		TL8	(13,14,15)	(40,41,42)	$0.067+j0.2$	$0.15+j0.65$
LINE		TL9	(13,14,15)	(40,41,42)	$0.067+j0.2$	$0.175+j0.7$
LINE		TL10	(16,17,18)	(34,35,36)	$0.35+j0.42$	$0.75+j1.2$
LINE		TL11	(19,20,21)	(37,38,39)	$0.067+j0.2$	$0.15+j0.655$
LINE		TL12	(22,23,24)	(31,32,33)	$0.35+j0.42$	$0.7+j1.25$
LINE		TL13	(25,26,27)	(28,29,30)	$0.034+j0.1$	$0.085+j0.35$
LINE		TL14	(37,38,39)	(40,41,42)	$0.034+j0.1$	$0.075+j0.3$
TR	D-Y	TR1	(1,2,3)	(4,5,6)	$j0.12$	$j0.12$
TR	D-Y	TR2	(7,8,9)	(10,11,12)	$j0.12$	$j0.12$
TR	D-Y	TR3	(13,14,15)	(16,17,18)	$j0.12$	$j0.12$
TR	D-Y	TR4	(19,20,21)	(22,23,24)	$j0.12$	$j0.12$

ผลของการวิเคราะห์ความผิดพลาด ชนิดสามสายลงดิน และ ชนิดหนึ่งสายลงดิน (บนเฟสอ้างอิง A) โดยใช้ระบบพิกัดเฟส สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้



ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(1,2,3)	105.9155/-89.0877	105.9132/150.9116	105.9132/30.9130
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(4,5,6)	0.0648/116.9974	0.0648/-3.0019	0.0648/-123.0033
(19,20,21)	0.6953/-5.9518	0.6953/-125.9525	0.6953/114.0489
(25,26,27)	0.4892/-0.3352	0.4891/-120.3360	0.4891/119.6655
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G1	100.0000/-90.0000	99.9978/149.9993	99.9978/30.0007
TL1	3.2964/-77.4310	3.2964/162.5683	3.2964/42.5698
TL2	2.3191/-71.8144	2.3191/168.1849	2.3191/48.1863
TR1	0.5402/-63.0026	0.5402/176.9967	0.5402/56.9981

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(4,5,6)	4.1672/140.1666	4.1672/20.1670	4.1673/-99.8335
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.9255/-0.0496	0.9255/-120.0503	0.9255/119.9512
(4,5,6)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(31,32,33)	0.4309/84.0951	0.4309/-35.9042	0.4309/-155.9056
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL3	0.7882/33.9007	0.7882/-86.0986	0.7882/153.8999
TR1	4.4527/149.9504	4.4527/29.9512	4.4528/-90.0496

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (7,8,9)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(7,8,9)	107.1630/-88.6802	107.1607/151.3191	107.1607/31.3205
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(10,11,12)	0.0887/121.9122	0.0887/1.9129	0.0887/-118.0885
(13,14,15)	0.9516/-1.0370	0.9516/-121.0377	0.9516/118.9637
(28,29,30)	0.2446/-0.3815	0.2445/-120.3822	0.2445/119.6192
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G2	100.0000/-90.0000	99.9978/149.9993	99.9978/30.0007
TL4	4.5117/-72.5161	4.5116/167.4831	4.5116/47.4846
TL5	1.1594/-71.8607	1.1594/168.1386	1.1594/48.1401
TL6	1.1594/-71.8607	1.1594/168.1386	1.1594/48.1401
TR2	0.7394/-58.0878	0.7394/-178.0885	0.7394/61.9129

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (10,11,12)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(10,11,12)	7.0670/176.1171	7.0671/56.1179	7.0671/-63.8836
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.9273/0.0651	0.9273/-119.9357	0.9273/120.0658
(10,11,12)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(34,35,36)	0.4558/85.9668	0.4558/-34.0324	0.4558/-154.0339
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL7	0.8337/35.7724	0.8337/-84.2269	0.8337/155.7717
TR2	7.7272/-179.9349	7.7273/60.0658	7.7273/-59.9357

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (13,14,15)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(13,14,15)	106.9221/-88.7550	106.9197/151.2442	106.9197/31.2457
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.9517/-1.0170	0.9517/-121.0178	0.9517/118.9837
(13,14,15)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(16,17,18)	0.0887/121.9322	0.0887/1.9329	0.0887/-118.0686
(40,41,42)	0.2160/-2.2213	0.2160/-122.2220	0.2160/117.7794
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G3	100.0000/-90.0000	99.9978/149.9993	99.9978/30.0007
TL4	4.5120/-72.4962	4.5119/167.5031	4.5119/47.5045
TL8	1.0243/-73.7004	1.0243/166.2988	1.0243/46.3003
TL9	1.0243/-73.7004	1.0243/166.2988	1.0243/46.3003
TR3	0.7395/-58.0678	0.7394/-178.0686	0.7394/61.9329

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (16,17,18)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(16,17,18)	7.0663/176.0961	7.0664/56.0968	7.0664/-63.9046
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(13,14,15)	0.9272/0.0474	0.9271/-119.9533	0.9271/120.0481
(16,17,18)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(34,35,36)	0.4558/85.9812	0.4558/-34.0181	0.4558/-154.0195
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL10	0.8336/35.7868	0.8337/-84.2125	0.8337/155.7860
TR3	7.7261/-179.9526	7.7263/60.0481	7.7263/-59.9533

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (19,20,21)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(19,20,21)	17.3377/-81.1305	17.3344/158.8688	17.3374/38.8703
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.9518/-1.0108	0.9517/-121.0115	0.9517/118.9899
(19,20,21)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(22,23,24)	0.0887/121.9384	0.0887/1.9391	0.0887/-118.0623
(37,38,39)	0.4893/-0.3220	0.4892/-120.3227	0.4892/119.6787
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G4	9.9980/-88.8542	9.9978/151.1450	9.9978/31.1465
TL1	4.5124/-72.4900	4.5123/167.5093	4.5123/47.5108
TL11	2.3196/-71.8012	2.3195/168.1981	2.3195/48.1996
TR4	0.7395/-58.0616	0.7395/-178.0623	0.7395/61.9391

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (22,23,24)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(22,23,24)	4.8896/176.4970	4.8897/56.4977	4.8897/-63.5038
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(19,20,21)	0.6664/1.8723	0.6664/-118.1284	0.6664/121.8730
(22,23,24)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(31,32,33)	0.4506/85.8323	0.4506/-34.1669	0.4506/-154.1684
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL12	0.8241/35.6379	0.8242/-84.3614	0.8242/155.6372
TR4	5.5532/-178.1277	5.5534/61.8730	5.5534/-58.1284

ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (25,26,27)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(25,26,27)	9.0853/-72.1967	9.0851/167.8026	9.0851/47.8041
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.9583/-0.8085	0.9583/-120.8092	0.9583/119.1922
(25,26,27)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(28,29,30)	0.4797/-0.8837	0.4797/-120.8844	0.4797/119.1170
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL2	4.5435/-72.2877	4.5434/167.7116	4.5434/47.7131
TL13	4.5417/-72.1056	4.5416/167.8936	4.5416/47.8951

ตารางที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (28,29,30)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(28,29,30)	11.7974/-72.6676	11.7971/167.3317	11.7971/47.3332
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.9204/-1.4394	0.9204/-121.4402	0.9204/118.5613
(25,26,27)	0.3243/-0.7321	0.3243/-120.7328	0.3243/119.2686
(28,29,30)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL5	4.3637/-72.9186	4.3636/167.0807	4.3636/47.0822
TL6	4.3637/-72.9186	4.3636/167.0807	4.3636/47.0822
TL13	3.0704/-71.9541	3.0703/168.0452	3.0703/48.0466

ตารางที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (31,32,33)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(31,32,33)	2.9556/31.2244	2.9557/-88.7748	2.9557/151.2237
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.8367/82.5324	0.8367/-37.4669	0.8367/-157.4684
(22,23,24)	0.7795/80.2237	0.7795/-39.7756	0.7795/-159.7771
(31,32,33)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL3	1.5304/32.3379	1.5304/-87.6613	1.5304/152.3372
TL12	1.4258/30.0292	1.4258/-89.9700	1.4258/150.0285

ตารางที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (34,35,36)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(34,35,36)	3.0685/32.4775	3.0686/-87.5217	3.0686/152.4768
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(10,11,12)	0.8388/82.6795	0.8388/-37.3198	0.8388/-157.3212
(16,17,18)	0.8388/82.6645	0.8388/-37.3348	0.8388/-157.3363
(34,35,36)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL7	1.5342/32.4851	1.5343/-87.5142	1.5343/152.4843
TL10	1.5343/32.4700	1.5343/-87.5292	1.5343/152.4693

ตารางที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (37,38,39)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(37,38,39)	8.1522/-73.3367	8.1520/166.6625	8.1520/46.6640
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(19,20,21)	0.7620/-3.4062	0.7620/-123.4070	0.7620/116.5945
(37,38,39)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
(40,41,42)	0.4797/-0.8829	0.4797/-120.8837	0.4797/119.1178
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL11	3.6128/-74.8854	3.6128/165.1139	3.6128/45.1154
TL14	4.5417/-72.1049	4.5416/167.8944	4.5416/47.8958

ตารางที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดสามสายลงดินที่โหนด (40,41,42)

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(40,41,42)	11.3415/-73.1865	11.3413/166.8128	11.3413/46.8142
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(13,14,15)	0.9204/-1.4387	0.9204/-121.4395	0.9204/118.5620
(37,38,39)	0.2762/-2.8612	0.2762/-122.8620	0.2762/117.1395
(40,41,42)	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL8	4.3636/-72.9179	4.3636/167.0814	4.3636/47.0829
TL9	4.3636/-72.9179	4.3636/167.0814	4.3636/47.0829
TL14	2.6146/-74.0832	2.6146/165.9161	2.6146/45.9175

ตารางที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ความผิดพียงชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (1,2,3) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(1,2,3)	40.0496/-88.5111	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.0000/0.0000	1.4151/-142.4902	1.4197/142.1803
(4,5,6)	1.0005/89.9134	0.8260/-36.9801	0.8313/-142.7111
(19,20,21)	0.4169/-3.0799	1.2911/-139.0727	1.3015/137.2475
(25,26,27)	0.4521/-0.3505	1.2166/-134.6537	1.2171/134.5967
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G1	37.6656/-89.3075	0.0872/76.8436	0.1852/90.1223
TL1	1.1955/-78.9955	0.0946/93.2549	0.0114/29.5059
TL2	1.1174/-74.4279	0.2484/-86.0390	0.2463/-86.2695
TR1	0.1359/-65.1105	4.0044/127.2730	4.7864/0.6241

ตารางที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ความผิดพียงชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (4,5,6) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(4,5,6)	7.3367/177.2355	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	1.0001/-0.0332	0.9623/-121.3203	0.9626/121.2848
(4,5,6)	0.0000/0.0000	1.0023/-29.0286	0.9837/-150.5445
(31,32,33)	0.3808/87.6023	1.0003/-32.9387	1.0388/-149.0975
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL3	0.6829/31.0458	0.1265/-136.8653	0.1126/-134.4269
TR1	7.9132/179.9879	9.1385/46.4348	9.2305/-75.4133

ตารางที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (7,8,9) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(7,8,9)	7.7436/-87.7298	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.0000/0.0000	1.4344/-143.1545	1.4414/142.7802
(10,11,12)	1.0000/89.9977	0.8385/-36.0615	0.8462/-143.2403
(13,14,15)	0.9339/-1.0606	1.0347/-122.0795	1.0164/122.6963
(28,29,30)	0.2541/-0.0296	1.3045/-138.6998	1.3110/138.3607
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G2	34.4103/-89.1816	0.8111/96.6741	0.8153/96.7930
TL4	2.1975/-73.6434	0.6110/-78.9522	0.6128/-78.9064
TL5	0.5460/-74.5631	0.1401/-85.0142	0.1411/-84.8207
TL6	0.5460/-74.5631	0.1401/-85.0142	0.1411/-84.8207
TR2	0.1736/-57.1823	0.0870/122.8313	0.0867/122.8040

ตารางที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (10,11,12) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(10,11,12)	7.3799/177.1303	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	1.0000/-0.0013	0.9630/-121.2014	0.9642/121.3176
(10,11,12)	0.0000/0.0000	1.0071/-29.2169	0.9846/-150.0528
(34,35,36)	0.4625/87.2340	0.9913/-29.4734	0.9965/-150.7094
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL7	0.6731/34.4272	0.1680/-142.5418	0.1677/-142.5474
TR2	7.9258/-179.9200	8.2384/61.2459	8.2285/-61.2108

ตารางที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (13,14,15) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(13,14,15)	46.5944/-88.0419	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.9183/-1.2858	1.0427/-122.5442	1.0209/123.3248
(13,14,15)	0.0000/0.0000	1.3687/-141.0548	1.3756/140.6746
(16,17,18)	1.0000/89.9865	0.8014/-37.8065	0.8124/-141.2266
(40,41,42)	0.1822/-2.0808	1.3035/-138.6507	1.3056/138.1996
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G3	43.2372/-89.2217	0.3158/86.0424	0.3590/87.6999
TL4	2.3385/-73.5768	0.3796/-83.0595	0.3778/-83.1535
TL8	0.4757/-76.1742	0.0218/-103.2746	0.0440/-91.0329
TL9	0.4623/-75.7346	0.0087/-123.0940	0.0301/-91.0654
TR3	0.2148/-57.3210	0.1073/122.6677	0.1076/122.6902

ตารางที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (16,17,18) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(16,17,18)	7.3795/177.1114	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(13,14,15)	1.0000/-0.0144	0.9629/-121.2195	0.9641/121.3052
(16,17,18)	0.0000/0.0000	1.0070/-29.2261	0.9846/-150.0673
(34,35,36)	0.4657/86.6736	0.9941/-29.1884	0.9908/-150.7230
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL10	0.6731/34.4479	0.1678/-142.4929	0.1681/-142.4875
TR3	7.9252/-179.9361	8.2382/61.2348	8.2287/-61.2273

ตารางที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (19,20,21) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(19,20,21)	5.1308/-77.3852	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.9273/-0.8307	1.0372/-122.6414	1.0244/123.0323
(19,20,21)	0.0000/0.0000	1.4759/-145.3280	1.4891/143.3092
(22,23,24)	0.9981/89.3975	0.8644/-35.6938	0.8668/-145.2850
(37,38,39)	0.4892/-0.0384	1.2140/-135.4232	1.2257/134.2069
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
G4	1.9808/-84.0201	0.8928/97.3767	1.0877/94.8387
TL1	1.9958/-74.6639	0.7295/-87.9765	0.6403/-89.0661
TL11	1.0388/-73.2916	0.3849/-85.0531	0.3388/-85.8080
TR4	0.1465/-53.2265	0.0661/128.1667	0.0805/125.6299

ตารางที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (22,23,24) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(22,23,24)	5.6770/177.5972	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(19,20,21)	0.9985/-0.6558	0.8074/-126.7055	0.8367/128.0651
(22,23,24)	0.0000/0.0000	0.9751/-24.4095	0.9245/-155.4045
(31,32,33)	0.5084/85.4778	0.9640/-23.7706	0.9290/-155.9795
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL12	0.7299/33.0580	0.1759/-139.5666	0.1901/-140.8102
TR4	6.2857/-178.5402	7.9673/66.1281	7.7546/-66.7639

ตารางที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (25,26,27) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(25,26,27)	5.1675/-75.9446	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(1,2,3)	0.9313/-1.0011	1.0316/-121.9078	1.0148/122.4336
(25,26,27)	0.0000/0.0000	1.2982/-135.9304	1.2476/138.3496
(28,29,30)	0.4684/-1.4098	1.1571/-129.5196	1.1165/131.2411
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL2	2.6487/-76.0840	0.0629/-77.2640	0.0652/-76.6849
TL13	2.5188/-75.7981	0.0629/102.7360	0.0652/103.3151

ตารางที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (28,29,30) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(28,29,30)	6.4128/-76.6571	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(7,8,9)	0.8760/-1.5934	1.0548/-123.3729	1.0301/124.2780
(25,26,27)	0.3401/-1.0439	1.1964/-131.5585	1.1530/133.4659
(28,29,30)	0.0000/0.0000	1.3169/-136.6684	1.2662/139.1399
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL5	2.3406/-76.9785	0.0308/109.2879	0.0320/109.6468
TL6	2.3406/-76.9785	0.0308/109.2879	0.0320/109.6468
TL13	1.7319/-75.7882	0.0616/-70.7121	0.0639/-70.3532

ตารางที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (31,32,33) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(31,32,33)	2.5708/24.5456	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(4,5,6)	0.8318/84.8336	1.0057/-30.8096	1.0090/-149.4758
(22,23,24)	0.8346/84.1723	0.9700/-28.6428	0.9846/-153.0131
(31,32,33)	0.0000/0.0000	1.1568/-33.6753	0.9941/-140.5969
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL3	1.4705/23.2456	0.1610/0.8453	0.1475/-1.4312
TL12	1.1012/26.2816	0.1610/-179.1547	0.1475/178.5688

ตารางที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (34,35,36) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(34,35,36)	2.1365/30.4827	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(10,11,12)	0.8855/85.5828	0.9970/-29.9424	1.0006/-150.1827
(16,17,18)	0.8868/85.5288	0.9970/-29.8721	0.9994/-150.2343
(34,35,36)	0.0000/0.0000	1.1997/-42.0977	1.1642/-136.3187
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL7	1.0711/30.2155	0.0061/-29.6752	0.0060/-32.4900
TL10	1.0654/30.7512	0.0061/150.3248	0.0060/147.5100

ตารางที่ 4.48 ผลการวิเคราะห์ความผิดพ่วงชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (37,38,39) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(37,38,39)	4.2145/-76.2208	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(19,20,21)	0.5778/-3.1418	1.1851/-132.9166	1.1669/132.4212
(37,38,39)	0.0000/0.0000	1.3269/-138.1327	1.2926/139.1700
(40,41,42)	0.4541/-1.0650	1.1762/-131.5049	1.1501/132.3087
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL11	1.7159/-78.1332	0.1757/96.9610	0.1295/95.7047
TL14	2.5003/-74.9085	0.1757/-83.0390	0.1295/-84.2953

ตารางที่ 4.49 ผลการวิเคราะห์ความผิดพ่วงชนิดหนึ่งสายลงดินที่โหนด (40,41,42) บนเฟสอ้างอิง A

Bus	Bus Current		
	IA	IB	IC
(40,41,42)	6.0602/-76.2978	0.0000/0.0000	0.0000/0.0000
Bus	Bus Voltage		
	VA	VB	VC
(13,14,15)	0.8963/-1.4289	1.0420/-122.5701	1.0215/123.2800
(37,38,39)	0.2151/-3.3438	1.2650/-135.5486	1.2292/136.5842
(40,41,42)	0.0000/0.0000	1.3168/-137.3726	1.2781/138.9311
Equip	Line Current		
	IA	IB	IC
TL8	2.4076/-76.1039	0.0887/-86.9309	0.0658/-89.5331
TL9	2.3433/-75.7337	0.0228/-79.9186	0.0004/125.1261
TL14	1.3098/-77.6637	0.1114/94.5029	0.0655/90.2797

4.3 วิเคราะห์ผลการคำนวณความผิดพลาดโดยใช้ระบบพิกัดเฟส กับวิธีองค์ประกอบสมมาตร

หัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสามสายลงดิน ชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย และชนิดสองสายลงดิน โดยใช้ระบบพิกัดเฟส กับวิธีองค์ประกอบสมมาตร ในระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส และ 6 บัส

4.3.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.50 ถึง 4.53 แสดงผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดิน ชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย และชนิดสองสายลงดิน ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.50 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Three Phase to Ground	Fault Current	
Fault at Node	Symmetrical Components	Phase Coordinates
(1,2,3)	9.554/-90.00	9.5541/-90.0000
(4,5,6)	8.912/-90.00	8.9115/-90.0000
(7,8,9)	10.102/-90.00	10.1023/-90.0000

ตารางที่ 4.51 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Single Line to Ground	Fault Current	
Fault at Node	Symmetrical Components	Phase Coordinates
1	9.377/-90.00	9.3734/-90.0000
4	10.315/-90.00	10.3159/-90.0000
7	13.762/-90.00	13.7631/-90.0000

ตารางที่ 4.52 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสองสายโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Line to Line Fault at Node	Fault Current	
	Symmetrical Components	Phase Coordinates
(2,3)	8.274/180.00	8.2738/-180.0000
(5,6)	7.718/180.00	7.7174/180.0000
(8,9)	8.749/180.00	8.7486/-180.0000

ตารางที่ 4.53 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Double Line to Ground Fault at Node	Fault Current	
	Symmetrical Components	Phase Coordinates
(2,3)	9.468/150.91	9.4665/150.9287
(5,6)	9.851/141.58	9.8513/141.5717
(8,9)	13.891/129.04	13.8929/129.0292

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่ากระแสผิดพลาดทุกชนิดในการคำนวณทั้ง 2 วิธีแทบจะไม่มี ความแตกต่างกันเลย

4.3.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

ตารางที่ 4.54 ถึง 4.57 แสดงผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดิน ชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย และชนิดสองสายลงดิน ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ตามลำดับ

ตารางที่ 4.54 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Three Phase to Ground Fault, at Node	Fault Current	
	Symmetrical Components	Phase Coordinates
(1,2,3)	4.6251/-84.02	4.1113/-78.5607
(4,5,6)	2.6076/-83.38	2.2392/-100.2770
(7,8,9)	1.3214/-77.61	0.8911/-148.7837
(10,11,12)	1.6892/-77.05	1.4362/-87.2217
(13,14,15)	1.2146/-78.39	0.7795/-132.4792
(16,17,18)	1.6002/-77.96	1.3534/-97.9991

ตารางที่ 4.55 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Single Line to Ground Fault at Node	Fault Current	
	Symmetrical Components	Phase Coordinates
1	1.8789/-75.16	1.6871/-60.9700
4	3.7557/-83.64	3.2387/-101.5271
7	0.3789/-58.77	0.2555/-129.9496
10	2.1101/-78.93	1.7888/-101.3379
13	0.4742/-60.12	0.3044/-114.2094
16	1.7409/-80.00	1.4736/-69.3921

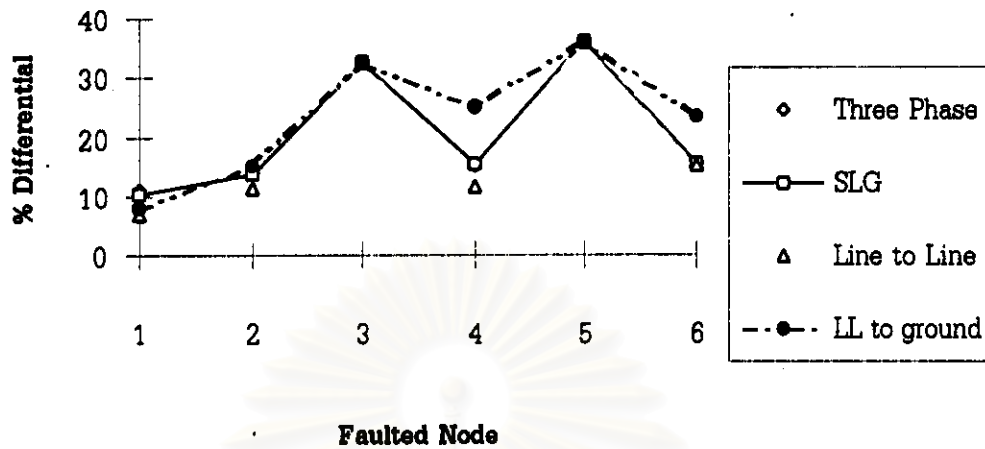
ตารางที่ 4.56 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดของชนิดสองสายโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Line to Line Fault at Node	Fault Current	
	Symmetrical Components	Phase Coordinates
(2,3)	4.0055/-174.02	3.7322/-168.8691
(5,6)	2.2582/-173.38	2.0023/170.1674
(8,9)	1.1444/-167.61	0.7718/121.2147
(11,12)	1.4629/-167.05	1.2939/-119.0218
(14,15)	1.0518/-168.39	0.6751/137.5188
(17,18)	1.3858/-167.96	1.1752/-160.9177

ตารางที่ 4.57 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความผิดพลาดของชนิดสองสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟส
กับวิธีองค์ประกอบสมมาตรของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Double Line to Ground Fault at Node	Fault Current	
	Symmetrical Components	Phase Coordinates
(2,3)	4.1586/178.02	3.8378/-176.0534
(5,6)	4.0129/129.92	3.4108/111.4128
(8,9)	1.1895/-172.50	0.8022/116.3179
(11,12)	1.9357/146.78	1.4524/153.9295
(14,15)	1.1156/-175.29	0.7160/130.6192
(17,18)	1.6194/156.12	1.2432/158.6428

ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดทุกชนิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดระหว่าง
วิธีระบบพิกัดเฟสกับวิธีองค์ประกอบสมมาตร

จากผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าขนาดกระแสผิดพลาดทุกชนิดของการคำนวณทั้ง 2 วิธีจะมีค่าแตกต่างกันพอสมควรโดยจะแตกต่างกันอยู่ในระดับเฉลี่ยประมาณ 10-20% ยกเว้นค่ากระแสผิดพลาดที่โหนด (7,8,9) และ (13,14,15) ซึ่งเป็นด้านเดลตาของหม้อแปลงแบบเดลตา-สตาร์ ที่จะมีความแตกต่างมากถึงระดับ 30 % ส่วนมุมเฟสของกระแสผิดพลาดก็จะมีค่าแตกต่างกันไปในการคำนวณทั้ง 2 วิธี เนื่องจากวิธีที่ใช้ระบบพิกัดเฟสมีความแตกต่างจากวิธีองค์ประกอบสมมาตรดังต่อไปนี้

- ใช้แบบจำลองของหม้อแปลง 3 เฟสที่มีความยืดหยุ่นกว่าวงจรสมมูลลำดับศูนย์ ที่ใช้ในวิธีองค์ประกอบสมมาตร ทั้งในด้านการต่อกันของขดลวด โครงสร้างทางแกนเหล็ก อัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวด และการเลื่อนมุมเฟสระหว่างระดับแรงดันที่แตกต่างกัน

- จุดนิวทรอลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 1 (G1) ที่ต่อแบบสตาร์ (Ungrounded) จะพิจารณาเป็นการต่อลงดินโดยผ่านอิมพีแดนซ์ค่าสูง (เช่น $j1000$) ทำให้มีแรงดันที่จุดนิวทรอลด้วย ในขณะที่วิธีองค์ประกอบสมมาตรจะไม่คำนึงถึงแรงดันที่จุดนิวทรอล

- วิธีระบบพิกัดเฟสจะหาผลตอบเป็นแรงดันที่ทุกๆ บัสในระบบ แล้วจึงค่อยนำไปหาค่ากระแสผิดพลาด ทำให้แรงดันที่ทุกๆ บัสส่งผลกระทบถึงกัน แต่วิธีองค์ประกอบสมมาตรจะหากระแสผิดพลาดก่อน โดยสมมติให้แรงดันที่จุดเกิดความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 1 p.u. (ก่อนเกิดความผิดพลาด)

4.4 วิเคราะห์ผลการคำนวณความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสายและชนิดสองสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสที่เฟสอ้างอิงอื่นๆ

ผลการคำนวณความผิดพลาดแบบไม่สมดุลย์ ชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย ชนิดสองสายลงดิน ที่เฟสอ้างอิง A ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส 6 บัส และ 14 บัส ได้แสดงไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.2 ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการคำนวณความผิดพลาดทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว ที่เฟสอ้างอิงอื่นๆ (เฟสอ้างอิง B และ เฟสอ้างอิง C) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณบนเฟสอ้างอิง A โดยจะแสดงเฉพาะระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส และ 6 บัส

โดยผลของการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสาย และ ชนิดสองสายลงดินของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส และ 6 บัส ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

4.4.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย และ ชนิดสองสายลงดิน (บนทุกๆ เฟสอ้างอิง) ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส แสดงในตารางที่ 4.58 ถึง 4.60

ตารางที่ 4.58 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Single Line to Ground Fault at Node	Reference Phase		
	A	B	C
(1,2,3)	9.3734/-90.0000	9.3732/149.9993	9.3732/30.0007
(4,5,6)	10.3159/-90.0000	10.3157/149.9993	10.3157/30.0007
(7,8,9)	13.7631/-90.0000	13.7628/149.9993	13.7628/30.0007

ตารางที่ 4.59 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายบนทุกๆ เฟสอ้างอิง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Line to Line Fault at Node	Reference Phase		
	A	B	C
(1,2,3)	8.2738/-180.0000	8.2740/-119.9993	8.2740/-60.0007
	8.2738/0.0000	8.2740/60.0007	8.2740/119.9993
(4,5,6)	7.7174/180.0000	7.7175/-119.9993	7.7175/-60.0007
	7.7174/0.0000	7.7175/60.0007	7.7175/119.9993
(7,8,9)	8.7486/-180.0000	8.7488/-119.9993	8.7488/-60.0007
	8.7486/0.0000	8.7488/60.0007	8.7488/119.9993

ตารางที่ 4.60 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Double Line to Ground Fault at Node	Reference Phase		
	A	B	C
(1,2,3)	9.4665/150.9287	9.4667/-90.9293	9.4667/-89.0707
	9.4665/29.0713	9.4665/30.9301	9.4665/149.0679
(4,5,6)	9.8513/141.5717	9.8515/-81.5727	9.8515/-98.4273
	9.8513/38.4283	9.8512/21.5731	9.8512/158.4269
(7,8,9)	13.8929/129.0292	13.8931/-69.0306	13.8931/-110.9694
	13.8929/50.9708	13.8927/9.0303	13.8931/170.9697

4.4.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน ชนิดสองสาย และ ชนิดสองสายลงดิน (บนทุกๆ เฟสอ้างอิง) ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส แสดงในตารางที่ 4.61 ถึง 4.63

ตารางที่ 4.61 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติพร้อมชนิดหนึ่งสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Single Line to Ground Fault at Node	Reference Phase		
	A	B	C
(1,2,3)	1.6871/-60.9700	1.6870/179.0295	1.6870/59.0309
(4,5,6)	3.2387/-101.5271	3.2387/138.4718	3.2387/18.4729
(7,8,9)	0.2555/-129.9496	0.2555/110.0497	0.2555/-9.9514
(10,11,12)	1.7888/-101.3379	1.7888/138.6609	1.7888/18.6618
(13,14,15)	0.3044/-114.2094	0.3044/125.7893	0.3044/5.7890
(16,17,18)	1.4736/-69.3921	1.4736/170.6079	1.4736/50.6079

ตารางที่ 4.62 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติพร้อมชนิดสองสายบนทุกๆ เฟสอ้างอิง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Line to Line Fault at Node	Reference Phase		
	A	B	C
(1,2,3)	3.7322/-168.8691	3.3887/-108.2197	3.7323/-48.8700
	3.3886/11.7798	3.7323/71.1313	3.3886/131.7787
(4,5,6)	2.0023/170.1674	1.8762/-130.7517	2.0024/-69.8326
	1.8762/-10.7529	2.0023/50.1685	1.8762/109.2470
(7,8,9)	0.7718/121.2147	0.7717/-178.7847	0.7718/-118.7853
	0.7718/-58.7853	0.7717/1.2153	0.7718/61.2165
(10,11,12)	1.2939/-119.0218	1.8704/-153.2310	1.2939/0.9782
	1.8704/-33.2329	1.2939/120.9771	1.8704/86.7683
(13,14,15)	0.6751/137.5188	0.6751/-162.4799	0.6751/-102.4796
	0.6751/-42.4812	0.6751/17.5201	0.6751/77.5204
(16,17,18)	1.1752/-160.9177	1.4072/-137.6126	1.1752/-40.9185
	1.4072/-17.6142	1.1752/79.0823	1.4073/102.3861

ตารางที่ 4.63 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสองสายลงดินบนทุกๆ เฟสอ้างอิง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Double Line to Groun Fault at Node	Reference Phase		
	A	B	C
(1,2,3)	3.8378/-176.0534	3.3533/-99.9769	3.8379/-56.0540
	3.3532/20.0232	3.8379/63.9473	3.3533/140.0218
(4,5,6)	3.4108/111.4128	3.5745/-75.9933	3.4107/-128.5859
	3.5744/44.0077	3.4107/-8.5869	3.5744/164.0066
(7,8,9)	0.8022/116.3179	0.7474/-173.5272	0.8022/-123.6805
	0.7474/-53.5282	0.8022/-3.6818	0.7474/66.4737
(10,11,12)	1.4524/153.9295	1.3193/-119.4108	1.4524/-86.0705
	1.3193/0.5882	1.4524/33.9295	1.3194/120.5877
(13,14,15)	0.7160/130.6192	0.6451/-154.8170	0.7160/-109.3792
	0.6451/-34.8188	0.7160/10.6201	0.6451/85.1828
(16,17,18)	1.2432/158.6428	1.1371/-119.3134	1.2432/-81.3566
	1.1370/0.6856	1.2432/38.6441	1.1371/120.6849

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่า ค่ากระแสผิดพลาดที่คนละเฟสอ้างอิงกันจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีมุมเฟสแตกต่างกันออกไปตามแต่เฟสอ้างอิง

4.5 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ โดยใช้ระบบพิกัดเฟส

ดังได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่า ความผิดพลาดสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ดังนั้นในหัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส และ 6 บัส

4.5.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส แสดงได้ในตารางที่ 4.64 (ค่าอิมพีแดนซ์ Z ใช้ค่า $j0.1$)

ตารางที่ 4.64 ผลการวิเคราะห์ความผิด พ่วงชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้า
ตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Type of Fault	Fault Current at Node		
	(1,2,3)	(4,5,6)	(7,8,9)
Single Line to Ground Fault	9.3734/-90.0000	10.3159/-90.0000	13.7631/-90.0000
Single Line to Ground Fault through Z	4.8392/-88.4604	2.7199/-159.6523	10.9904/-77.8699
Line to Line Fault	8.2738/-180.0000	7.7174/180.0000	8.7486/-180.0000
Line to Line Fault through Z	5.5994/-179.0756	3.0301/97.0223	8.2442/157.7250
Double Line to Ground Fault	9.4665/150.9287	9.8513/141.5717	13.8929/129.0292
Three Phase to Ground Fault	9.5541/-90.0000	8.9115/-90.0000	10.1023/-90.0000

จะเห็นได้ว่าในระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส ค่ากระแสผิดพ่วงชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3) จะมีค่ามากกว่า ค่ากระแสผิดพ่วงชนิดหนึ่งสายลงดิน แต่ค่ากระแสผิดพ่วงชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6) และ (7,8,9) จะมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสผิดพ่วงชนิดหนึ่งสายลงดิน เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G2 ต่อลงดินโดยตรง

4.5.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

ผลการวิเคราะห์ความผิดพ่วงชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9) แสดงได้ในตารางที่ 4.65 ส่วนโหนด (10,11,12) ถึงโหนด (16,17,18) จะแสดงในตารางที่ 4.66

ตารางที่ 4.65 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้า
ตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)

Type of Fault	Fault Current at Node		
	(1,2,3)	(4,5,6)	(7,8,9)
Single Line to Ground Fault	1.6871/-60.9700	3.2387/-101.5271	0.2555/-129.9496
Single Line to Ground Fault through Z	1.5740/-70.8614	2.7880/-100.4914	0.2475/-131.0397
Line to Line Fault	3.7322/-168.8691	2.0023/170.1674	0.7718/121.2147
Line to Line Fault through Z	3.2811/-159.1241	1.9705/164.2350	0.7249/120.4514
Double Line to Ground Fault	3.8378/-176.0534	3.4108/111.4128	0.8022/116.3179
Three Phase to Ground Fault	4.1113/-78.5607	2.2392/-100.2770	0.8911/-148.7837

ตารางที่ 4.66 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้า
ตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18)

Type of Fault	Fault Current at Node		
	(10,11,12)	(13,14,15)	(16,17,18)
Single Line to Ground Fault	1.7888/-101.3379	0.3044/-114.2094	1.4736/-69.3921
Single Line to Ground Fault through Z	0.4710/-142.2245	0.2923/-115.5093	0.6711/-127.3954
Line to Line Fault	1.2939/-119.0218	0.6751/137.5188	1.1752/-160.9177
Line to Line Fault through Z	1.0991/-112.2102	0.6372/136.8579	0.4061/-165.1871
Double Line to Ground Fault	1.4524/153.9295	0.7160/130.6192	1.2432/158.6428
Three Phase to Ground Fault	1.4632/-87.2217	0.7795/-132.4792	1.3534/-97.9991

ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ซึ่งมีอุปกรณ์ที่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้ารวมอยู่ด้วย ค่ากระแสผิดพลาดชนิดสามสายลงดินที่โหนด (1,2,3),(7,8,9) และ (13,14,15) จะมีค่ามากกว่าค่ากระแสผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน แต่ค่ากระแสผิดพลาดชนิดสามสายลงดินที่โหนด (4,5,6) และโหนด (10,11,12) กับ (16,17,18) จะมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G2 ต่อลงดินโดยตรงและเกิดความผิดพลาดที่ด้านสตาร์ที่ต่อลงดินของหม้อแปลงแบบเดลตา-สตาร์

4.6 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ ของระบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดในระบบกำลังไฟฟ้าโดยมีการรวมเอาสภาวะต่างๆ เช่น โหลด ค่าความจุไฟฟ้าของสายส่ง และการตั้งค่าเก็บของหม้อแปลงเข้าไว้ด้วย นอกจากนี้ยังจะรวมความไม่สมดุลต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้า เช่น ค่าคัปปลิงอิมพีแดนซ์ระหว่างเฟสต่างๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากัน การต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการวางไม่สลับที่ของสายส่ง

4.6.1 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.67 แสดงผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.67 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Condition	Fault Current at Node		
	(1,2,3)	(4,5,6)	(7,8,9)
Normal	9.5541/-90.0000	8.9115/-90.0000	10.1023/-90.000
G1,G2 unbalanced	7.8524/-90.0000	7.4360/-90.0000	8.2302/-90.0000
Load	9.6839/-91.9927	9.0219/-91.8793	10.2589/-92.0618
G1 grounded	9.5541/-90.0000	8.9115/-90.0000	10.1023/-90.0000
Total	7.9617/-92.0357	7.5608/-92.9352	8.3790/-93.2584

โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสผิดพลาดในสภาวะปกติกับค่ากระแสผิดพลาดที่รวมผลของสภาวะต่างๆ ของระบบดังแสดงในตาราง จะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 16%

ตารางที่ 4.68 แสดงผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.68 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Condition	Fault Current at Node		
	1/(1,2,3)	4/(4,5,6)	7/(7,8,9)
Normal	9.3734/-90.0000	10.3159/-90.0000	13.7631/-90.0000
G1,G2 unbalanced	9.3808/-90.0000	10.3166/-90.0000	13.7732/-90.0000
Load	9.4784/-93.1015	10.4740/-93.9830	14.0001/-93.8348
G1 grounded	12.8789/-90.0000	10.8640/-90.0000	13.9449/-90.0000
Total	13.2653/-98.7099	11.1593/-99.4235	14.2836/-98.3940

โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสผิดพลาดในสภาวะปกติกับค่ากระแสผิดพลาดที่รวมผลของสภาวะต่างๆ ของระบบที่โหนด (1,2,3) จะมีค่าแตกต่างกันมากถึงเกือบ 30% เนื่องจากการต่อลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 ส่วนที่โหนด (4,5,6) และ (7,8,9) จะแตกต่างกันเล็กน้อย

หมายเหตุ : Normal คือ สภาวะที่สมดุลย์โดยไม่คิดผลอย่างอื่น

G1,G2 unbalanced คือ Z1 และ Z2 ของ G1 เท่ากับ $j0.25$ และ 0.15 ตามลำดับ ส่วน Z1 และ Z2 ของ G2 เท่ากับ $j0.2$ และ $j0.12$

Load คือ คิดผลของโหลด โดยโหลดที่บัส (4,5,6) = $(0.5+j0.2)$ และโหลดที่บัส (7,8,9) = $(0.8+j0.4)$

G1 grounded คือ G1 ต่อลงกราวด์โดยตรง

Total คือ คิดทั้งผลความไม่สมดุลย์ของ G1,G2 ผลของโหลด และการกราวด์ของ G1

4.6.2 ระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

ตารางที่ 4.69 และ 4.70 แสดงผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9) และโหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.69 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)

Condition	Fault Current at Node		
	(1,2,3)	(4,5,6)	(7,8,9)
Normal	4.1113/-78.5607	2.2392/-100.2770	0.8911/-148.7837
Only X	4.1975/-83.0508	2.1621/-105.5151	1.0303/-152.0907
Line Charging	4.1118/-78.5273	2.2411/-100.5451	0.8998/-148.9913
Load	4.1637/-79.2973	2.0294/-102.0074	0.9634/-170.4201
Tap Setting	4.1106/-78.3447	2.2398/-100.4933	0.8530/-147.3176
G1 grounded	4.1113/-78.5606	2.2392/-100.2769	0.8911/-148.7836
TL4,5 untransposed	4.0988/-81.2602	2.1756/-94.4305	0.8737/-163.1196
Total	4.0746/-81.6559	1.9963/-96.3521	0.9909/179.2825

ตารางที่ 4.70 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดสามสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส ที่โหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18)

Condition	Fault Current at Node		
	(10,11,12)	(13,14,15)	(16,17,18)
Normal	1.4362/-87.2217	0.7795/-132.4792	1.3534/-97.9991
Only X	1.3711/-94.3207	0.8891/-138.9675	1.3764/-101.5499
Line Charging	1.4350/-87.1952	0.7862/-132.9675	1.3478/-98.0018
Load	1.4785/-96.0371	0.8119/-155.9069	1.4072/-105.7251
Tap Setting	1.4414/-88.2787	0.7752/-131.5229	1.3364/-98.3584
G1 grounded	1.4362/-87.2216	0.7795/-132.4791	1.3534/-97.9990
TL4,5 untransposed	1.4362/-84.5518	0.6438/-153.6617	1.4207/-91.6976
Total	1.4267/-94.1992	0.8127/-174.4420	1.4120/-101.9026

โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสผิดพลาดในสภาวะปกติกับค่ากระแสผิดพลาดที่รวมผลของสภาวะต่างๆ ของระบบที่โหนด (4,5,6) และ (7,8,9) จะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 10% ส่วนที่โหนดอื่นๆ จะแตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 4.71 และ 4.72 แสดงผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9) และโหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.71 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (1,2,3) ถึง (7,8,9)

Condition	Fault Current at Node		
	1/(1,2,3)	4/(4,5,6)	7/(7,8,9)
Normal	1.6871/-60.9700	3.2387/-101.5271	0.2555/-129.9476
Only X	1.6776/-83.0508	3.1107/-105.5151	0.3299/-152.0907
Line Charging	1.6677/-60.4749	3.2420/-101.7920	0.2601/-130.3231
Load	1.7833/-69.3242	3.2100/-104.9126	0.2784/-156.9277
Tap Setting	1.6958/-60.6808	3.2407/-101.7328	0.2662/-129.5498
G1 grounded	5.3762/-80.2981	3.2387/-101.5270	0.2555/-129.9495
TL4 untransposed	1.7388/-63.8079	3.3998/-95.5849	0.2915/-142.8822
Total	5.6834/-83.8891	3.3912/-99.3060	0.3547/-166.3046

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.72 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินโดยใช้ระบบพิกัดเฟสในสภาวะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส ที่โหนด (10,11,12) ถึง (16,17,18)

Condition	Fault Current at Node		
	(10,11,12)	(13,14,15)	(16,17,18)
Normal	1.7888/-101.3379	0.3044/-114.2094	1.4736/-69.3921
Only X	1.6915/-101.5714	0.3889/-138.5143	1.5557/-74.5996
Line Charging	1.7720/-101.5714	0.3086/-114.8360	1.4551/-69.7596
Load	2.0940/-104.8488	0.3194/-142.8070	1.6628/-70.9935
Tap Setting	1.8274/-103.7789	0.3058/-113.4023	1.4626/-70.9935
G1 grounded	1.8850/-96.6329	0.3044/-114.2093	1.5235/-64.3252
TL4 untransposed	1.3876/-96.3963	0.3231/-134.6171	1.2336/-58.6675
Total	1.4402/-98.9040	0.3831/-159.1681	1.3336/-61.9327

โดยจะเห็นได้ว่าค่ากระแสผิดพลาดในสภาวะปกติกับค่ากระแสผิดพลาดที่รวมผลของสภาวะต่างๆ ของระบบที่โหนด (1,2,3) จะมีค่าแตกต่างกันถึง 236% เนื่องจากการต่อลงดินโดยตรงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G1 ที่โหนด (7,8,9) จะแตกต่างกันถึงเกือบ 40% เนื่องจากเกิดความผิดพลาดที่ด้านเดลตาของหม้อแปลงที่ต่อแบบเดลตา-สตาร์ ที่โหนด (10,11,12) และ (13,14,15) จะแตกต่างกันประมาณ 20% ซึ่งโหนดทั้งสองก็ต่ออยู่กับหม้อแปลงแบบเดลตา-สตาร์ด้วย ส่วนที่โหนดอื่นๆ จะแตกต่างกันเล็กน้อย

หมายเหตุ : Normal คือ สภาวะที่สมดุลโดยไม่คิดผลอย่างอื่น

Only X คือ คิดเฉพาะส่วนจินตภาพของพารามิเตอร์ต่างๆ

Line Charging คือ รวมผลของความจุไฟฟ้าของสายส่ง ซึ่งมีค่าครึ่งหนึ่งของความจุไฟฟ้าของสายส่งดังนี้ TL1 = 0.0099 TL2 = 0.007 TL3 = 0.0076

Load คือ คิดผลของโหลด โดยโหลดที่บัส (7,8,9) = $(0.275+j0.065)$ โหลดที่บัส (13,14,15) = $(0.15+j0.09)$ และโหลดที่บัส (16,17,18) = $(0.25+j0.025)$

Tap Setting คือ คิดผลการตั้งค่าเก็บของหม้อแปลงโดย TR1 $\alpha = 0.909$ และ TR2 $\alpha = 0.976$

G1 grounded คือ G1 ต่อลงกราวด์โดยตรง

TL4,5 untransposed คือ คิดผลของสายส่งที่ไม่วางสลับที่ โดยทั้ง TL4 และ TL5 จะให้ $Z1=2.5Z, Z2=0.5Z$

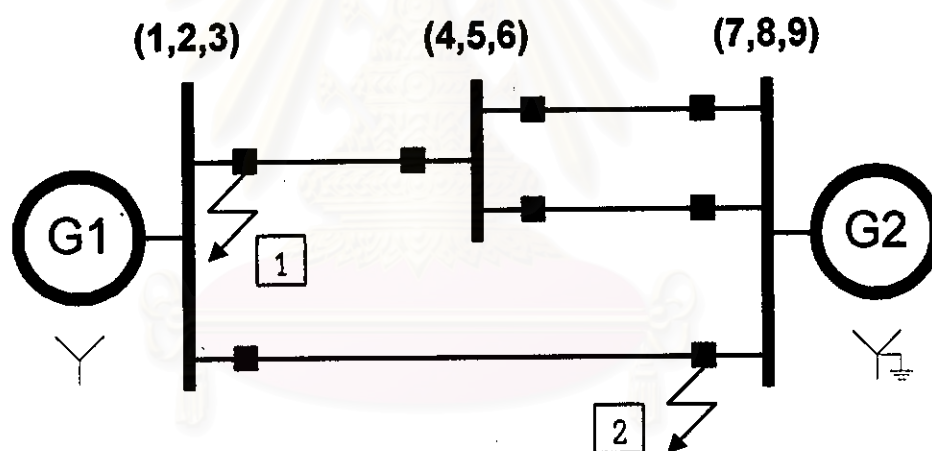
4.7 ผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน โดยจะแสดงผลเฉพาะความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่งของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส และ 6 บัส ซึ่งผลของการวิเคราะห์ความผิดพลาดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.73 และ 4.74 จะแสดงกระแสผิดพลาดของโหนดที่เกิดความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน และแรงดันของโหนดที่เกิดการเปิดวงจรของสายส่ง ในระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐานขนาด 3 บัส และ 6 บัส ตามลำดับ

Node หมายถึง โหนดที่เกิดความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน (บนเฟสอ้างอิง A)

Side หมายถึง หมายเลขโหนดที่อยู่กับโหนดที่เกิดความผิดพลาดด้านที่เกิดการเปิดวงจรของสายส่ง



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง

รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดชนิดหนึ่งสายลงดิน ที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง 2 ตำแหน่ง โดย

- ตำแหน่งที่ 1 แทนความผิดพลาดที่ (1,2,3)/(4,5,6)
- ตำแหน่งที่ 2 แทนความผิดพลาดที่ (7,8,9)/(1,2,3)

ตารางที่ 4.73 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 3 บัส

Simultaneous Fault at Node / Side	Result	
	Fault Current	Open Node Voltage
(1,2,3)/(4,5,6)	7.9304/-90.0000	0.1888/-180.0000
(1,2,3)/(7,8,9)	8.0321/-90.0000	0.3307/-180.0000
(4,5,6)/(1,2,3)	8.9253/-90.0000	0.1788/180.0000
(4,5,6)/(7,8,9)	7.0429/-90.0000	0.1562/180.0000
(7,8,9)/(1,2,3)	12.8804/-90.0000	0.1609/180.0000
(7,8,9)/(4,5,6)	12.8041/-90.0000	0.0363/-180.0000

ตารางที่ 4.74 ผลการวิเคราะห์ความผิดปกติของชนิดหนึ่งสายลงดินที่เกิดพร้อมกับการเปิดวงจรของสายส่ง
ของระบบกำลังไฟฟ้าตัวอย่างมาตรฐาน IEEE ขนาด 6 บัส

Simultaneous Fault at Node/Side	Result	
	Fault Current	Open Node Voltage
(1,2,3)/(10,11,12)	1.6114/-64.2816	0.1868/-112.1126
(1,2,3)/(16,17,18)	1.6208/-63.9448	0.2430/-113.5150
(4,5,6)/(7,8,9)	3.1996/-100.9237	0.5459/71.3682
(4,5,6)/(13,14,15)	3.1929/-100.0287	0.3617/67.5624
(7,8,9)/(4,5,6)	0.2448/-153.1449	0.7869/-179.2043
(7,8,9)/(10,11,12)	0.1996/-90.6957	0.3081/72.4874
(10,11,12)/(1,2,3)	0.4582/-112.0782	0.6011/168.9259
(10,11,12)/(7,8,9)	1.1156/-26.8944	0.3550/-72.9708
(10,11,12)/(16,17,18)	0.7105/-108.8730	0.2405/-157.0736
(13,14,15)/(4,5,6)	0.2119/-145.7518	0.6487/-178.6353
(13,14,15)/(16,17,18)	0.2618/-78.9126	0.6918/82.7542
(16,17,18)/(1,2,3)	0.5935/-120.5476	0.6046/167.1101
(16,17,18)/(10,11,12)	0.6854/-119.2073	0.2669/-172.9340
(16,17,18)/(13,14,15)	0.7761/-48.8760	0.7406/-73.2574