หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลของตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟส ต่อกำลังสูญเสียของระบบ

5.1 บทนำ

ดังที่กล่าวในบทที่ 4 เมื่อตัวเลื่อนเฟสที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้ามีมุมที่เหมาะสมจะทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบมีค่าลดลง โดยในลักษณะการติดตั้งแบบหนึ่งๆเราจะสามารถหาค่าของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัวได้ แต่ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสที่จะติดตั้งนั้นมีมากมายเช่น ต้องการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัวก็อาจติดตั้งได้ในสายส่ง 2-3 และ 2-5 หรือที่สายส่ง 2-4 และ 3-4 ฯลฯ หรือถ้าต้องการติดตั้ง 3 ตัวก็สามารถทำได้หลายกรณี ซึ่งไม่ว่าจะเป็นกรณีใดเราก็มีวิธีที่จะสามารถหาค่ามุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัวได้ ดังนั้นในบทนี้จะทำการศึกษาถึงผลของตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสที่มีมุมที่เหมาะสมว่าจะมีผลอย่างไรต่อกำลังสูญเสียของระบบ เราจะทำการศึกษาโดยติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเข้าไปในสายส่งในลักษณะต่างๆกันทุกกรณีที่เป็นไปได้ แล้ววิเคราะห์ถึงผลของกำลังสูญเสียของระบบที่ลดลงว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร มีความแตกต่างกันอย่างไรในกรณีต่างๆกันและมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสอย่างไร เพื่อจะพยายามหาแนวทางที่เป็นไปได้ในการที่เราจะสามารถกำหนดตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดโดยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

ทำการศึกษาโดยใช้ระบบทดสอบที่มีข้อมูลดังกล่าวในบทที่ 3 และทำการศึกษาในกรณีโหลดต่างๆกัน 3 กรณีคือ โหลด 100,75 และ 50 เปอร์เซนต์ โดยทำการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเข้าไปในระบบในทุกลักษณะการติดตั้ง ทุกกรณีของจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เป็นไปได้ จากผลการคำนวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างจากแนวความคิดที่กล่าวมาในบทที่ 4 จะสามารถทราบค่ามุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัวที่ติดตั้งในลักษณะหนึ่งๆและขนาดกำลังสูญเสียของระบบในกรณีนั้นๆได้ดังนี้

5.2 ผลการศึกษากรณีที่ 1

กรณีโหลด 100 เปอร์เซนต์ ข้อมูลของระบบมีในหัวข้อ 3.4.1

ค่ามุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสและกำลังสูญเสียของระบบในลักษณะการติดตั้งแบบต่างๆและจำนวนต่างๆแสดงดังตารางที่ 5.1 ถึง 5.5

ตารางที่ 5.1 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
1	1-2	0.003	7.2182
2	1-3	-0.003	7.2182
3	2-3	0.062	7.2183
4	2-4	5.385	6.5242
5	2-5	-5.504	6.4991
6	3-4	0.065	7.2185
7	4-5	5.504	6.4992

ตารางที่ 5.2 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
1	1-2	5.570	7.2182
	1-3	5.570	
2	1-2	-0.041	7.2184
	2-3	0.079	
3	1-2	-1.286	6.4783
	2-4	5.746	
4	1-2	1.313	6.4477
	2-5	-5.871	
5	1-2	0.039	7.2185
	3-4	0.079	

ตารางที่ 5.2 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
6	1-2	1.313	6.4497
	4-5	5.871	
7	1-3	0.040	7.2184
	2-3	0.079	
8	1-3	1.286	6.4784
	2-4	5.746	
9	1-3	-1.313	6.4477
	2-5	-5.871	
10	1-3	-0.039	7.2184
	3-4	0.079	
11	1-3	-1.313	6.4480
	4-5	5.871	
12	2-3	1.863	6.4134
	2-4	6.255	
13	2-3	-1.748	6.3993
	2-5	-6.318	
14	2-3	0.039	7.2184
	3-4	0.040	
15	2-3	-1.748	6.3997
	4-5	6.318	
16	2-4	4.265	6.1079
	2-5	-4.418	
17	2-4	8.683	6.1081
	3-4	4.418	
18	2-4	4.265	6.1079
	4-5	4.418	
19	2-5	-8.683	6.1079
	3-4	-4.265	

ตารางที่ 5.2 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
20	2-5	-21.216	6.5332
	4-5	-13.796	
21	3-4	-4.265	6.1075
	4-5	8.683	

ตารางที่ 5.3 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
1	1-2,1-3,2-3	no solution	
2	1-2,1-3,1-4	no solution	
3	1-2,1-3,2-5	no solution	
4	1-2,1-3,3-4	no solution	
5	1-2,1-3,4-5	no solution	
6	1-2	-4.393	6.1079
	2-3	4.432	
	2-4	8.683	
7	1-2	4.289	6.1078
	2-3	-4.251	
	2-5	-8.683	
8	1-2	9.958	7.2182
	2-3	-9.974	
	3-4	10.006	
9	1-2	4.289	6.1081
	2-3	-4.251	
	4-5	8.683	

ตารางที่ 5.3 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
10	1-2	0.039	6.1078
	2-4	4.251	
	2-5	-4.432	
11	1-2	0.039	6.1080
	2-4	8.683	
	3-4	4.432	
12	1-2	0.039	6.1079
	2-4	4.251	
	4-5	4.432	
13	1-2	0.039	6.1079
	2-5	-8.683	
	3-4	-4.251	
14	1-2	1.313	6.4643
	2-5	-21.216	
	4-5	-13.796	
15	1-2	0.039	6.1075
	3-4	-4.251	
	4-5	8.683	
16	1-3	4.393	6.1078
	2-3	4.432	
	2-4	8.683	
17	1-3	-4.290	6.1078
	2-3	-4.251	
	2-5	-8.683	
18	1-3	-4.571	7.2184
	2-3	-4.459	
	3-4	4.540	

ตารางที่ 5.3 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่งระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
19	1-3	-4.290	6.1078
	2-3	-4.251	
	4-5	8.683	
20	1-3	-0.039	6.1078
	2-4	4.251	
	2-5	-4.432	
21	1-3	-0.039	6.1081
	2-4	8.683	
	3-4	4.432	
22	1-3	-0.039	6.1078
	2-4	4.251	
	4-5	4.432	
23	1-3	-0.039	6.1078
	2-5	-8.683	
	3-4	-4.251	
24	1-3	-1.313	6.4644
	2-5	-21.216	
	4-5	-13.796	
25	1-3	-0.039	6.1075
	3-4	-4.251	
	4-5	8.683	
26	2-3	0.039	6.1078
	2-4	4.290	
	2-5	-4.393	
27	2-3	0.039	6.1079
	2-4	8.683	
	3-4	4.393	

ตารางที่ 5.3 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
28	2-3	0.039	6.1078
	2-4	4.290	
	4-5	4.393	
29	2-3	0.039	6.1078
	2-5	-8.683	
	3-4	-4.290	
30	2-3	-1.748	6.4266
	2-5	-14.202	
	4-5	-8.659	
31	2-3	0.039	6.1074
	3-4	-4.290	
	4-5	8.683	
32	2-4	-22.516	6.2319
	2-5	-33.446	
	3-4	-26.064	
33	2-4	4.265	6.2482
	2-5	-42.084	
	4-5	-34.576	
34	2-4,3-4,4-5	no solution	
35	2-5	-21.216	6.1838
	3-4	-4.265	
	4-5	-10.129	

ตารางที่ 4.4 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 4 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
1	1-2,1-3,2-3,2-4	no solution	
2	1-2,1-3,2-3,2-5	no solution	
3	1-2,1-3,2-3,3-4	no solution	
4	1-2,1-3,2-3,4-5	no solution	
5	1-2	-2.538	6.1692
	2-3	4.371	
	2-4	7.951	
	2-5	-1.216	
6	1-2	18.587	6.1074
	2-3	-18.603	
	2-4	8.683	
	3-4	23.015	
7	1-2	7.130	6.1549
	2-3	-7.087	
	2-4	-3.551	
	4-5	10.797	
8	1-2	5.595	6.1077
	2-3	-5.611	
	2-5	-8.683	
	3-4	1.409	
9	1-2	4.289	6.1591
	2-3	-4.251	
	2-5	-17.060	
	4-5	-9.640	
10	1-2,2-4,2-5,3-4	no solution	
11	1-2	0.039	6.1262
	2-4	4.251	
	2-5	-10.666	
	4-5	-6.869	

ตารางที่ 4.4 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 4 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
12	1-2	0.039	6.6024
	2-4	5.940	
	3-4	6.288	
	4-5	1.394	
13	1-2	0.039	6.1839
	2-5	-21.216	
	3-4	-4.251	
	4-5	-10.129	
14	1-2,1-3,2-4,2-5	no solution	
15	1-2,1-3,2-4,3-4	no solution	
16	1-2,1-3,2-4,4-5	no solution	
17	1-2,1-3,2-5,3-4	no solution	
18	1-2,1-3,2-5,4-5	no solution	
19	1-2,1-3,3-4,4-5	no solution	
20	1-3	2.103	6.1763
	2-3	2.124	
	2-4	6.577	
	2-5	-0.735	
21	1-3	-11.019	6.1075
	2-3	-11.019	
	2-4	8.683	
	3-4	15.478	
22	1-3	-2.697	6.1270
	2-3	-2.697	
	2-4	1.756	
	4-5	6.385	
23	1-3,2-4,2-5,3-4	no solution	

ตารางที่ 4.4 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 4 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
24	1-3	-0.039	6.2639
	2-4	4.251	
	2-5	-10.666	
	4-5	-8.659	
25	1-3	-0.039	6.6481
	2-4	-0.697	
	3-4	-8.204	
	4-5	7.856	
26	1-3	-0.039	6.1839
	2-5	-21.216	
	3-4	-4.251	
	4-5	-10.129	
27	1-3	-2.390	6.1079
	2-3	-2.278	
	2-5	-8.683	
	3-4	-1.940	
28	1-3	-4.290	6.1837
	2-3	-4.251	
	2-5	-28.143	
	4-5	-17.056	
29	1-3	-4.589	6.1078
	2-3	-4.477	
	3-4	0.254	
	4-5	8.683	
30	2-3,2-4,2-5,3-4	no solution	
31	2-3	0.039	6.1171
	2-4	4.290	
	2-5	-9.990	
	4-5	-4.403	

ตารางที่ 4.4 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 4 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
32	2-3	0.039	6.1053
	2-5	-16.035	
	3-4	-4.290	
	4-5	-6.869	
33	2-3,2-4,3-4,4-5	no solution	
34	2-4,2-5,3-4,4-5	no solution	
35	1-2	5.742	6.1114
	2-3	-5.758	
	3-4	1.199	
	4-5	8.683	

ตารางที่ 5.5 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 5 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
1	1-2,1-3,2-3, 2-4,2-5	no solution	
2	1-2,1-3,2-3, 2-4,3-4	no solution	
3	1-2,1-3,2-3, 2-4,4-5	no solution	
4	1-2,1-3,2-3, 2-5,3-4	no solution	
5	1-2,1-3,2-3, 2-5,4-5	no solution	
6	1-2,1-3,2-3, 3-4,4-5	no solution	

ตารางที่ 5.5 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 5 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่งระหว่างบัส i-j	$\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
7	1-2,1-3,2-4, 2-5,3-4	no solution	
8	1-2,1-3,2-4, 2-5,4-5	no solution	
9	1-2,1-3,2-4, 3-4,4-5	no solution	
10	1-2,1-3,2-5, 3-4,4-5	no solution	
11	1-2	-14.478	6.2430
	2-3	14.534	
	2-4	-11.100	
	2-5	-18.516	
	3-4	-27.409	
12	1-2	0.761	6.1670
	2-3	0.592	
	2-4	5.590	
	2-5	-13.459	
	4-5	-8.475	
13	1-2	6.126	6.2240
	2-3	-4.467	
	2-4	-0.487	
	3-4	-1.314	
	4-5	9.622	
14	1-2	5.641	6.1572
	2-3	-5.595	
	2-5	-17.059	
	3-4	1.393	
	4-5	-9.640	

ตารางที่ 5.5 กรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 5 ตัว

กรณีที่	ติดตั้งในสายส่ง ระหว่างบัส i-j	ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ (MW)
15	1-2,2-4,2-5, 3-4,4-5	no solution	
16	1-3,2-3,2-4, 2-5,3-4	no solution	
17	1-3	-0.620	6.5489
	2-3	-1.002	
	2-4	3.909	
	2-5	-22.195	
	4-5	-21.357	
18	1-3	2.610	6.1617
	2-3	2.610	
	2-5	-28.510	
	3-4	-7.302	
	4-5	-17.423	
19	1-3,2-3,2-4, 3-4,4-5	no solution	
20	1-3,2-4,2-5, 3-4,4-5	no solution	
21	2-3,2-4,2-5 3-4,4-5	no solution	

สำหรับกรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 6 และ 7 ตัวเข้าไปในระบบไฟฟ้านั้น เราไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสม (no solution) เพื่อทำให้กำลังสูญเสียของระบบลดลงได้

5.2.1 วิเคราะห์ผลของการศึกษา

จากผลการศึกษาในหัวข้อที่ 5.2 เราจะพบว่าสำหรับระบบทดสอบ 5 บัส 7 สายส่งที่ใช้ในการศึกษาจะมีลักษณะการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสที่เป็นไปได้ทั้ง

หมด 126 แบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะให้ลักษณะของคำตอบที่แตกต่างกันออกไป จากคำตอบที่ได้มาเราจะทำการวิเคราะห์และศึกษาถึงหัวข้อที่น่าสนใจใน 3 หัวข้อดังนี้

- ลักษณะของคำตอบที่ได้
- ผลของตำแหน่งของตัวเลื่อนเฟสต่อกำลังสูญเสียของระบบ
- ผลของจำนวนของตัวเลื่อนเฟสต่อกำลังสูญเสียของระบบ

ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1.1 ลักษณะของคำตอบที่ได้

สำหรับการหาคำตอบที่เราต้องการคือค่าของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสในลักษณะการติดตั้งแบบหนึ่งๆนั้น เราจะใช้สมการ(4.26)เป็นหลักในการหาคำตอบที่ต้องการ เมื่อเราพิจารณาสมการดังกล่าวแล้วจะพบว่าสมการดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นแบบสมการไม่เชิงเส้น(Nonlinear Equation)ซึ่งจะส่งผลให้คำตอบที่ได้อาจมีลักษณะแตกต่างกันได้ 3 แบบ ซึ่งในแต่ละลักษณะของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสนั้น ค่ามุมที่เหมาะสมที่ได้ออกมาจะมีลักษณะแบบหนึ่งแบบใดใน 3 แบบนี้ก็ได้ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการแก้สมการหาคำตอบ ลักษณะของคำตอบทั้ง 3 แบบมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบคำตอบค่าเดียว(Unique Solution)

คำตอบค่าเดียวจะมีลักษณะคือ ที่ตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสแบบหนึ่งนั้น คำตอบที่ได้คือค่าของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัวจะมีค่าที่เป็นไปได้เพียงค่าเดียวเท่านั้นที่จะทำให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุด โดยที่ค่ามุมอื่นๆจะทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าไม่เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ตัวอย่างของคำตอบค่าเดียวก็เช่น ที่การติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัวที่สายส่ง 2-3 และ 2-5 จะมีมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสแต่ละตัวเป็นค่าใดเพียงค่าเดียวเท่านั้น ในที่นี้คือ $\phi_{23} = -1.748$ และ $\phi_{25} = -6.318$ หรือที่การติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัวที่สายส่ง 1-2,2-3 และ 2-4 มุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสแต่ละตัวก็มีค่าเป็นค่าเดียวคือ $\phi_{12} = -4.393, \phi_{23} = 4.432$ และ $\phi_{24} = 8.683$ โดยมีค่ากำลังสูญเสียของระบบเป็นค่าที่ต่ำที่สุดคือ 6.1079 MW ลักษณะของคำตอบแบบค่าเดียวนี้จะส่งผลให้กำลังสูญเสียของระบบในแทบทุกกรณีมีค่าลดลงจะมีบางกรณีเท่านั้นเช่น ที่การติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัวที่สายส่ง 1-2 หรือ 1-3 ซึ่งไม่อาจลดกำลังสูญเสียลงมาได้แต่ก็ไม่ทำให้กำลังสูญเสียมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะตัวเลื่อนเฟสเพียงตัวเดียวในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจะไม่สามารถหาทางควบคุม

การไหลของกำลังจริงอย่างเหมาะสมเพื่อทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าลดลงได้ ดังนั้นคำตอบที่หาได้จึงมักมีค่าเป็นมุมน้อยๆใกล้ศูนย์ดังเช่น $\phi_{12} = 0.003$ ซึ่งก็จะให้ผลใกล้เคียงกับการไม่มีตัวเลื่อนเฟสติดตั้งอยู่ในสายส่ง สำหรับกรณีที่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัวในตำแหน่งใดๆแล้วไม่ทำให้กำลังสูญเสียของระบบลดลงเช่น ที่สายส่ง 2-3 และ 3-4 สาเหตุก็เหมือนกันคือตัวเลื่อนเฟสไม่สามารถหาทางควบคุมการไหลของกำลังจริงให้เหมาะสมได้เพื่อลดกำลังสูญเสียของระบบลงมา มุมของตัวเลื่อนเฟสที่ได้มาจึงมีค่าน้อยๆในกรณีนี้ก็คือ $\phi_{23} = 0.039$ และ $\phi_{34} = 0.040$

ลักษณะของคำตอบแบบคำตอบค่าเดียวจะสังเกตุเห็นว่ามักจะเกิดกับกรณีที่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวนไม่มากตัวนักเช่น 2 หรือ 3 ตัว ถ้ามีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเป็นจำนวนมากๆตัวแล้ว มักจะพบว่าลักษณะของคำตอบจะเป็นแบบหนึ่งแบบใดในอีก 2 แบบที่จะกล่าวต่อไป

2) แบบคำตอบหลายค่า(Multi Solution)

คำตอบหลายค่าจะมีลักษณะคือ ที่ตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสแบบหนึ่งนั้นคำตอบที่ได้คือค่าของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัว จะมีค่าที่เป็นไปได้มากกว่า หนึ่งค่าโดยจะให้กำลังสูญเสียของระบบเท่ากันสำหรับทุกค่าของคำตอบ ตัวอย่างของคำตอบแบบหลายค่าก็เช่น ที่ตำแหน่งของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 4 ตัวที่สายส่ง 1-2,2-3,2-4 และ 2-5 เราจะได้คำตอบที่เป็นไปได้คือ $\phi_{12} = 0.786$ หรือ -2.538, $\phi_{23} = 1.048$ หรือ 4.371, $\phi_{24} = 4.627$ หรือ 7.951 และ $\phi_{25} = -4.540$ หรือ -1.216 ค่าของมุมทั้ง 2 แบบนี้จะให้คำตอบคือกำลังสูญเสียของระบบเป็นค่าเดียวกันเท่ากับ 6.1692 MW นอกจากตำแหน่งดังกล่าวที่มีลักษณะคำตอบเป็นแบบคำตอบหลายค่าแล้วก็ยังมีอีกหลายกรณีที่ให้คำตอบเป็นแบบนี้เช่น ที่ตำแหน่งการติดตั้ง 1-2,2-3,2-4 และ 4-5 หรือ 1-2,2-3,2-5 และ 3-4 ฯลฯ การที่สามารถหาคำตอบที่เป็นไปได้หลายค่าที่จะทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดก็เนื่องมาจากเทคนิคการคำนวนแบบโปรแกรมไม่เชิงเส้นที่เราใช้ในการหาคำตอบรวมทั้งการที่สมการที่เราใช้ในการคำนวนหาคำตอบคือสมการ(4.26)เป็นสมการชนิดสมการไม่เชิงเส้นนั่นเอง

ลักษณะคำตอบแบบคำตอบหลายค่าจะสังเกตุเห็นว่ามักจะเกิดในกรณีที่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเป็นจำนวนหลายๆตัวเช่น 3 หรือ 4 ตัวขึ้นไป แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าจะไม่เกิดกับกรณีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวนไม่มากตัว และสำหรับการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวนหลายๆตัวก็สามารถมีคำตอบเป็นแบบคำตอบค่าเดียวก็ได้เช่น ที่ตำแหน่ง 1-2,2-5,3-4 และ 4-5 การที่เทคนิคการ

คำนวนที่ใช้เป็นแบบโปรแกรมไม่เชิงเส้นนี้นอกจากทำให้เกิดลักษณะคำตอบแบบคำตอบหลายค่าแล้วยังอาจทำให้เกิดลักษณะคำตอบอีกแบบหนึ่งดังจะกล่าวต่อไป

3) แบบไม่มีคำตอบ(No Solution)

กรณีไม่มีคำตอบจะมีลักษณะคือ เราไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่จะทำให้สมการเป้าที่ต้องการเป็นจริงได้ สำหรับในเรื่องที่เราทำการศึกษาก็คือในลักษณะของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสที่ตำแหน่งนั้นเราไม่สามารถควบคุมการไหลของกำลังจริงให้เหมาะสมเพื่อจะลดกำลังสูญเสียของระบบลงมา จึงทำให้ไม่สามารถหาคำตอบคือค่าของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสได้ ตัวอย่างของกรณีไม่มีคำตอบก็เช่น ที่ตำแหน่งการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสที่สายส่ง 1-2, 1-3 และ 4-5 หรือที่ตำแหน่ง 1-3, 2-4, 2-5 และ 3-4

ลักษณะของกรณีไม่มีคำตอบนี้จะมี 2 ชนิดคือ ชนิดแรกจะไม่สามารถหาค่ามุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสได้ ซึ่งก็มีสาเหตุมาจากการที่ไม่สามารถแก้สมการ(4.28)ได้ ส่วนชนิดที่สองก็คือแม้ทางคณิตศาสตร์เราจะสามารถแก้สมการหามุมออกมาได้แต่ค่าของมุมเหล่านั้นไม่สมเหตุสมผลเช่นมีค่าสูงมากๆ ซึ่งมีผลทำให้การคำนวนโหลดโฟลว์ไม่ converse นั้นคือถึงแม้ทางคณิตศาสตร์จะสามารถหาคำตอบได้แต่คำตอบนั้นไม่เหมาะสมต่อการทำการคำนวนโหลดโฟลว์

5.2.1.2 ผลของตำแหน่งของตัวเลื่อนเฟสต่อกำลังสูญเสียของระบบ

เนื่องจากขนาดของกำลังสูญเสียในสายส่งใดๆมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดการไหลของกำลังจริงในสายส่งนั้น ดังนั้นเมื่อเราต้องการลดกำลังสูญเสียลงมาด้วยการจัดสรรการไหลของกำลังจริงในสายส่งให้มีขนาดที่เหมาะสมด้วยตัวเลื่อนเฟสจำนวนใดๆเช่น ถ้าต้องการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัว เราควรต้องพิจารณาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดว่าที่ใดน่าจะให้ผลออกมาดีที่สุดคือทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าน้อยที่สุด ถ้าเราพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียในสายส่งต่อขนาดกำลังจริงในสายส่งนั้นก็จะทำให้เราทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังสูญเสียในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหนึ่งหน่วยของการเปลี่ยนแปลงของกำลังจริงในสายส่ง ซึ่งถ้าในสายส่งใดมีค่าอัตราส่วนดังกล่าวนี้สูงก็หมายความว่าสายส่งนั้นมีความไวของการเปลี่ยนแปลงกำลังสูญเสียต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังจริงในสายส่งนั้นสูงด้วย ซึ่งก็น่าจะเหมาะสมต่อการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเช่น ในกรณีที่เราติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัวเราก็ควรติดตั้งที่สายส่ง 2-5 เพราะที่สายส่งนี้มีค่าอัตราส่วนดังกล่าวสูงที่สุด และจากผลการศึกษาก็พบว่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มที่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัว

ค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียในสายส่งกับกำลังในสายส่งนั้นแสดงดังตารางที่ 5.6

สายส่ง	line loss/power flow
1-2	0.0285
1-3	0.0402
2-3	0.0152
2-4	0.0065
2-5	0.0465
3-4	0.0020
4-5	0.0054

ตารางที่ 5.6 อัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียกับกำลังจริงในสายส่ง

แต่เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นทุกๆจุดในระบบจะมีความสัมพันธ์กับจุดอื่นๆการเปลี่ยนแปลงที่จุดใดๆในระบบจะมีผลกระทบต่อส่วนที่เหลือไม่มากก็น้อยเสมอ ดังนั้นการที่เราติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเข้าไปที่จุดใดจุดหนึ่งอาจทำให้กำลังสูญเสียในสายส่งนั้นลดลงไปได้แต่ขณะเดียวกันก็อาจทำให้กำลังสูญเสียในสายส่งอื่นๆเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังในกรณีที่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสที่สายส่ง 1-3 ถึงแม้ที่สายส่งนี้จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียกับกำลังจริงมีค่าสูงก็จริงแต่ก็ไม่สามารถทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าลดลงไปได้ ดังนั้นวิธีการพิจารณาตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยค่าอัตราส่วนดังกล่าวจึงเป็นแนวทางที่น่าจะมีแนวโน้มที่พอจะเป็นไปได้แต่ก็มิใช่ว่าจะต้องถูกต้องเสมอไป

เมื่อมีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสหลายๆตัวเช่น 3 ตัว เราพบว่าที่กลุ่มของสายส่งที่มีค่าอัตราส่วนกำลังสูญเสียต่อกำลังจริงสูงเช่นที่สายส่ง 1-2,1-3 และ 2-5 ถ้าติดตั้งตัวเลื่อนเฟสที่ตำแหน่งทั้ง 3 ดังกล่าวจะทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัว โดยกำลังสูญเสียของระบบจะมีค่าประมาณ 6.108 MW หรือในกลุ่มของสายส่ง 1-3,2-3 และ 2-5 ซึ่งทุกสายส่งก็มีค่าอัตราส่วนดังกล่าวสูง ถ้าติดตั้งตัวเลื่อนเฟสที่สายส่งกลุ่มนี้ก็จะได้กำลังสูญเสียของระบบต่ำที่สุดเหมือนกันคือประมาณ 6.108 MW แต่ทั้งนี้ก็ไม่ได้หมายความว่านอกเหนือจากกลุ่มที่มีอัตราส่วนกำลังสูญเสียต่อกำลังจริงสูงแล้วที่สายส่งกลุ่มอื่นจะไม่สามารถทำให้กำลังสูญเสียของระบบลดลงมาต่ำที่สุดได้เพียงแต่ที่ในกลุ่มของสายส่งที่มีอัตราส่วนดังกล่าวสูงมีโอกาศเป็นไปได้สูงเท่านั้น

เพราะจากผลการศึกษาเราก็พบว่าที่กลุ่มสายส่งแบบอื่นเช่น 2-3,2-4,4-5 หรือ 2-3,2-4,4-5 ก็สามารถทำให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าลดลงต่ำสุดคือประมาณ 6.108 MW ได้เช่นกัน ดังนั้นแนวคิดในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสด้วยการพิจารณาค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียกับกำลังจริงในสายส่งจึงมีแนวโน้มที่จะเป็นไปได้และก็มีโอกาศสูงพอสมควร ขณะที่ตำแหน่งอื่นๆ ก็อาจเหมาะสมด้วยเช่นกันโดยไม่จำเป็นต้องมีอัตราส่วนดังกล่าวสูงๆทุกตัว อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้แนวความคิดนี้มีแนวโน้มว่าน่าเป็นไปได้ก็คือในกลุ่มสายส่งใดๆที่ให้คำตอบเป็นกำลังสูญเสียของระบบที่ต่ำที่สุดนั้นมักมีสายส่งที่มีค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่มีค่าสูงประกอบเป็นสมาชิกในกลุ่มนั้นอยู่เป็นจำนวนหนึ่งเสมอ ดังเช่นในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสในกลุ่ม 3 หรือ 4 ตัวที่ทำให้กำลังสูญเสียของระบบต่ำที่สุดคือประมาณ 6.108 MW จะพบว่าสมาชิกในกลุ่มมักมีสายส่ง 1-2,1-3 หรือ 2-5 ประกอบอยู่ด้วยเสมอ ซึ่งสายส่งเหล่านี้เป็นสายส่งที่มีค่าอัตราส่วนกำลังสูญเสียต่อกำลังจริงในสายส่งสูงทั้งสิ้น

นอกเหนือจากตำแหน่งของตัวเลื่อนเฟสที่มีผลต่อกำลังสูญเสียของระบบยังมีตัวแปรอีกตัวหนึ่งที่มีผลต่อกำลังสูญเสียของระบบด้วยก็คือ จำนวนของตัวเลื่อนเฟสซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

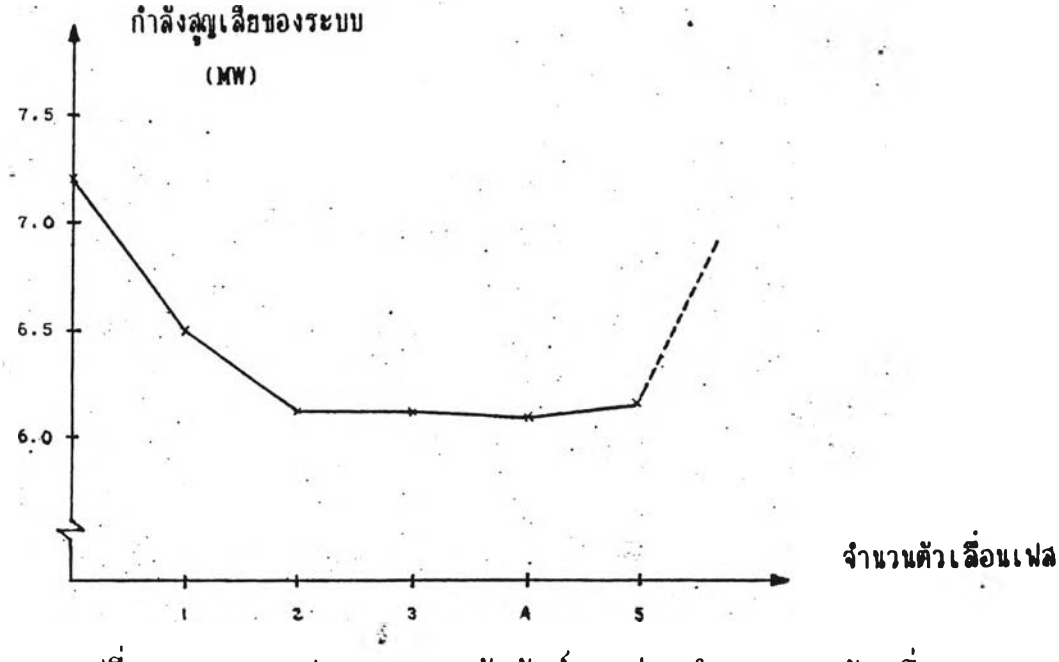
5.2.1.3 ผลของจำนวนของตัวเลื่อนเฟสต่อกำลังสูญเสียของระบบ

เนื่องจากตัวเลื่อนเฟสเป็นอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีราคาไม่น้อย ดังนั้นจำนวนของตัวเลื่อนเฟสจึงเกี่ยวข้องกับเงินที่ต้องลงทุนไปในระบบ ซึ่งถ้าเราทำการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเข้าไปในระบบแล้วทำให้กำลังสูญเสียของระบบลดลงโดยไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่ต้องใช้ในการซื้อตัวเลื่อนเฟสแล้วจะเป็นการลงทุนที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นเราจึงควรศึกษาถึงเรื่องจำนวนของตัวเลื่อนเฟสเพื่อหาแนวทางในการใช้ตัวเลื่อนเฟสอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด คือใช้ตัวเลื่อนเฟสให้น้อยตัวที่สุดโดยให้ได้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุด จากผลการศึกษาสามารถสรุปเป็นตารางที่แสดงถึงจำนวนตัวเลื่อนเฟสกับกำลังสูญเสียของระบบที่มีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มจำนวนตัวเลื่อนเฟสนั้นๆได้ดังตารางที่ 5.7

จำนวน ตัวเลื่อนเฟส	กำลังสูญเสียของระบบ ที่ต่ำที่สุด (MW)	เปอร์เซนต์การลด ของกำลังสูญเสีย
1	6.4991	9.962
2	6.1075	15.387
3	6.1075	15.387
4	6.1053	15.418
5	6.1572	14.699

ตารางที่ 5.7 จำนวนตัวเลื่อนเฟสกับขนาดกำลังสูญเสียของระบบ

จากตารางที่ 5.7 เราพบว่าในกรณีที่เราติดตั้งตัวเลื่อนเฟสแค่ 1 ตัว จะทำให้กำลังสูญเสียลดลงไปแค่ 9.962 เปอร์เซนต์ แต่ขณะที่เราติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 หรือ 3 ตัวจะสามารถลดลงไปได้ถึง 15.387 เปอร์เซนต์ และถ้าเราเพิ่มเป็น 4 ตัวกำลังสูญเสียของระบบจะลดลงไปจากกรณีที่เราติดตั้ง 2 หรือ 3 ตัวอีกเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถ้าเราพิจารณาถึงการที่เราเพิ่มตัวเลื่อนเฟสจากเดิมอีกตัวแล้วกำลังสูญเสียลงไปได้อีกเล็กน้อยก็จะเห็นว่าไม่คุ้มค่ากับการเพิ่มตัวเลื่อนเฟส ส่วนกรณีที่ติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 5 ตัวกลับทำให้กำลังสูญเสียลดลงไปได้น้อยกว่ากรณีที่ติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2,3 และ 4 ตัวเสียอีก



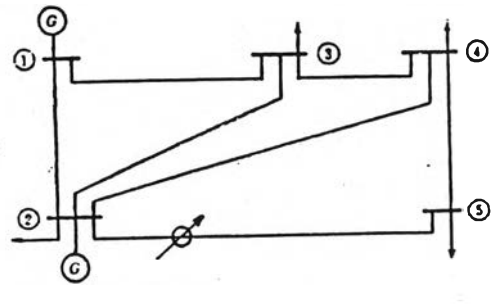
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของตัวเลื่อนเฟสกับกำลังสูญเสียของระบบ

จากตารางที่ 5.7 ซึ่งได้จากการทดสอบระบบทดสอบสามารถแสดงผลให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของตัวเลื่อนเฟสกับค่ากำลังสูญเสียของระบบที่มีค่าต่ำที่สุดสำหรับจำนวนตัวเลื่อนเฟสนั้นๆได้ดังรูปที่ 5.1

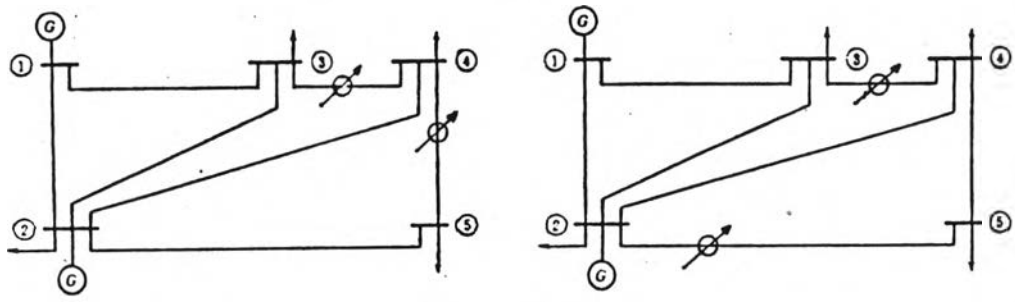
จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสในตำแหน่งที่เหมาะสมจะสามารถลดกำลังสูญเสียของระบบลงมาได้ โดยจำนวนของตัวเลื่อนเฟสจะมีผลต่อกำลังสูญเสียของระบบด้วย คือเมื่อเราเพิ่มจำนวนของตัวเลื่อนเฟสขึ้นจะพบว่ากำลังสูญเสียของระบบจะมีค่าลดลงเรื่อยๆและจะไปหยุดหรือมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากที่ค่าๆหนึ่ง ดังในรูปที่ 5.1 นี้กำลังสูญเสียของระบบจะลดลงมาที่ค่าประมาณ 6.108 MW ที่จำนวนของตัวเลื่อนเฟสราว 2 ถึง 3 ตัว และจะลดลงไปอีกเล็กน้อยเมื่อจำนวนตัวเลื่อนเฟสเพิ่มเป็น 4 ตัว และกลับเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มจำนวนตัวเลื่อนเฟสเป็น 5 ตัวดังนั้นเราจะเห็นว่าจำนวนของตัวเลื่อนเฟสจะมีผลอย่างมากต่อการลดลงของกำลังสูญเสียของระบบ ซึ่งจำนวนที่เหมาะสมที่สุดของตัวเลื่อนเฟสก็คือจำนวนที่สมเหตุสมผลที่สุดระหว่างค่ากำลังสูญเสียของระบบกับจำนวนของตัวเลื่อนเฟส

ในกรณีที่ติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัวกำลังสูญเสียของระบบลดลงมาได้แค่ 9.962 เปอร์เซนต์ แสดงว่าจำนวนตัวเลื่อนเฟสแค่ 1 ตัวไม่สามารถควบคุมการไหลของกำลังจริงได้อย่างเหมาะสมเต็มที่ เพราะเมื่อเราติดตั้งเป็น 2 ตัวสามารถลดกำลังสูญเสียของระบบลงมาได้อีก ซึ่งแสดงว่าจำนวนตัวเลื่อนเฟส 2 ตัวนั้นสามารถควบคุมกำลังจริงได้ดีพอเพียงและเหมาะสมกว่าจำนวน 1 ตัวและเมื่อเราเพิ่มจำนวนตัวเลื่อนเฟสเป็น 3 และ 4 ตัวก็ตามกำลังสูญเสียก็ไม่ได้ลดลงไปอย่างเห็นได้อีก ดังนั้นจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมสำหรับระบบนี้ก็คือ 2 ตัว

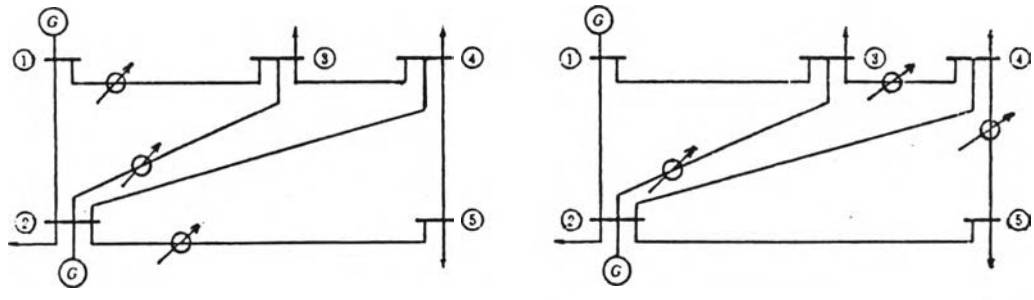
สำหรับตำแหน่งที่เราทำการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเพื่อทำการทดสอบเกี่ยวกับจำนวนของตัวเลื่อนเฟสดังกล่าวมาข้างต้นที่ให้ผลดังตารางที่ 5.2และรูปที่ 5.1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2 ถึง 5.6



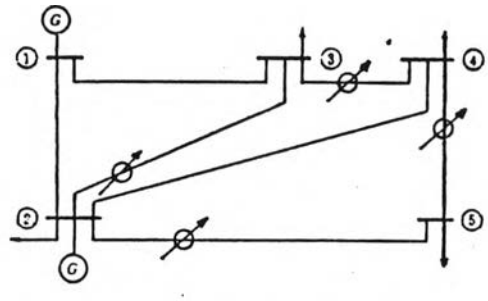
รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัว



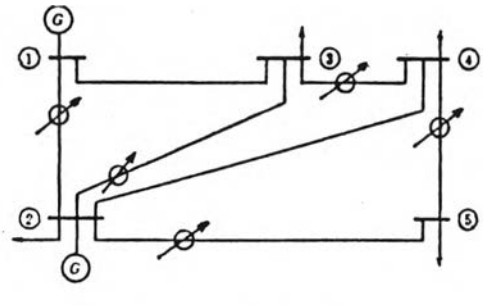
รูปที่ 5.3 ตำแหน่งของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 2 ตัว



รูปที่ 5.4 ตำแหน่งของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 3 ตัว



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 4 ตัว



รูปที่ 5.6 ตำแหน่งของการติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 5 ตัว

รูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวน 1 ตัวที่ให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดสำหรับการติดตั้งจำนวน 1 ตัวคือ ประมาณ 9.962 MW โดยตำแหน่งในการติดตั้งอยู่ที่สายส่ง 2-5 รูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวน 2 ตัวที่ให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดสำหรับการติดตั้งจำนวน 2 ตัวคือประมาณ 6.108 MW โดยตำแหน่งในการติดตั้งอยู่ที่สายส่ง 2-5,3-4 หรือ 4-5,3-4 รูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวน 3 ตัวที่ให้กำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดสำหรับการติดตั้งจำนวน 3 ตัวคือประมาณ6.108 MW โดยตำแหน่งในการติดตั้งอยู่ที่สายส่ง 1-3,2-3,2-5 หรือ 2-3,3-4,4-5รูปที่ 5.5 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวน 4 ตัวที่ให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดสำหรับการติดตั้งจำนวน 4 ตัวคือประมาณ 6.105 MW โดยตำแหน่งในการติดตั้งอยู่ที่สายส่ง 2-3,2-5,3-4,4-5 และรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งในการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวน 5 ตัวที่ให้ค่ากำลังสูญเสียของระบบมีค่าต่ำที่สุดสำหรับการติดตั้งจำนวน 5 ตัวคือประมาณ 6.157 MW โดยตำแหน่งในการติดตั้งอยู่ที่สายส่ง 1-2,2-3,2-5,3-4,4-5

จากตารางที่ 5.1 ถึง 5.5 สามารถสรุปจำนวนและตำแหน่งของตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมแก่การติดตั้งในลักษณะต่างๆสำหรับกรณีโหลด100เปอร์เซนต์ ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 จำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมในกรณีโหลด 100 เปอร์เซนต์

จำนวน ตัวเลื่อนเฟส	ตำแหน่ง i-j	มุม $\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบที่ต่ำที่สุด (MW)
1	2-5	-5.504	6.499
2	2-5	-8.683	6.107
	3-4	-4.265	
3	1-3	-4.290	6.107
	2-3	-4.251	
	2-5	-8.863	
4	2-3	0.039	6.106
	2-5	-16.035	
	3-4	-4.290	
	4-5	-6.869	

จำนวน ตัวเลื่อนเฟส	ตำแหน่ง i-j	มุม ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ ที่ต่ำที่สุด (MW)
5	1-2	5.641	6.157
	2-3	-5.595	
	2-5	-17.059	
	3-4	1.393	
	4-5	-9.640	

ตารางที่ 5.8 จำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมในกรณีโหลด 100 เปอร์เซนต์

5.3 ผลการศึกษากรณีที่ 2

กรณีโหลด 75 เปอร์เซนต์ของระบบที่ใช้ทดสอบ

สามารถสรุปจำนวนและตำแหน่งของตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมแก่การติดตั้งในลักษณะต่างๆสำหรับกรณีโหลด 75 เปอร์เซนต์ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 จำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมในกรณีโหลด 75 เปอร์เซนต์

จำนวน ตัวเลื่อนเฟส	ตำแหน่ง i-j	มุม ϕ_{ij} (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ ที่ต่ำที่สุด (MW)
1	2-5	-4.128	4.246
2	2-5	-6.545	4.016
	3-4	-3.243	
3	1-3	-3.289	4.016
	2-3	-3.215	
	2-5	-6.545	
4	2-3	0.074	4.014
	2-5	-13.816	
	3-4	-3.289	
	4-5	-6.941	

จำนวน ตัวเลื่อนเฟส	ตำแหน่ง i-j	มุม $\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ ที่ต่ำที่สุด (MW)
5	1-2	9.412	4.108
	2-3	-9.323	
	2-5	-12.615	
	3-4	6.091	
	4-5	-7.945	

ตารางที่ 5.9 จำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมในกรณีโหลด 75 เปอร์เซนต์

จากผลการศึกษาเรื่องผลของตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสต่อกำลังสูญเสียของระบบที่กรณีโหลด 75 เปอร์เซนต์ พบว่าเมื่อโหลดลดลงเหลือ 75 เปอร์เซนต์กำลังสูญเสียของระบบเมื่อไม่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจะมีค่า 4.639 MW เมื่อทำการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเข้าไปในระบบในลักษณะต่างๆแล้วศึกษาถึงจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การติดตั้งที่จะลดกำลังสูญเสียให้ต่ำที่สุดในลักษณะจำนวนและตำแหน่งต่างๆของตัวเลื่อนเฟสพบว่าจะมีลักษณะของตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมเป็นไปในแนวเดียวกันหรือเหมือนกับในกรณีการศึกษาในกรณีที่ 1 ที่โหลดมีค่า 100 เปอร์เซนต์เช่น ตำแหน่งที่เหมาะสมแก่การติดตั้งตัวเลื่อนเฟส 1 ตัวก็คือที่สายส่ง 2-5 หรือจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะแก่การติดตั้งที่สุดคือจำนวน 2 ตัว ขนาดของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นไม่ได้ส่งผลต่อเรื่องของตำแหน่งหรือจำนวนที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟส เพียงแต่ที่ขนาดโหลดต่างๆกันนั้นขนาดของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสในแต่ละลักษณะก็จะเปลี่ยนแปลงไป ตามขนาดของโหลดในกรณีนั้นๆและที่มุมที่เหมาะสมเหล่านั้นก็สามารถลดกำลังสูญเสียของระบบในกรณีนั้นลงให้ต่ำที่สุดได้ตามแต่ละลักษณะของการติดตั้ง

5.4 ผลการศึกษากรณีที่ 3

กรณีโหลด 50 เปอร์เซนต์ของระบบที่ใช้ทดสอบ

สามารถสรุปจำนวนและตำแหน่งของตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมแก่การติดตั้งในลักษณะต่างๆสำหรับกรณีโหลด 50 เปอร์เซนต์ดังตารางที่ 5.10

จำนวน ตัวเลื่อนเฟส	ตำแหน่ง i-j	มุม $\phi_{i,j}$ (deg.)	กำลังสูญเสียของระบบ ที่ต่ำที่สุด (MW)
1	2-5	-2.757	2.965
2	2-5	-4.400	2.851
	3-4	-2.205	
3	1-3	-2.255	2.851
	2-3	-2.174	
	2-5	-4.400	
4	2-3	0.081	2.850
	2-5	-9.506	
	3-4	-2.255	
	4-5	-4.914	
5	1-2	0.443	2.867
	2-3	-0.320	
	2-5	-9.778	
	3-4	-1.912	
	4-5	-6.057	

ตารางที่ 5.10 จำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมในกรณีโหลด 50 เปอร์เซนต์

จากผลการศึกษาเรื่องผลของตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสต่อกำลังสูญเสียของระบบที่กรณีโหลด 50 เปอร์เซนต์ พบว่าเมื่อโหลดลดลงเหลือ 50 เปอร์เซนต์กำลังสูญเสียของระบบเมื่อไม่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจะมีค่า 3.139 MW และพบว่าเรื่องผลของตำแหน่งและจำนวนของตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมคงเป็นไปในแนวเดียวกันหรือเหมือนกับในกรณีโหลด 100 และ 75 เปอร์เซนต์ แสดงให้เห็นว่าในเรื่องของการพิจารณาตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสตามแนวคิดดังกล่าวในการศึกษากรณีที่ 1 นั้นภาวะของโหลดไม่มีผลเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟส แต่ขนาดของโหลดจะมีผลต่อขนาดของมุมที่เหมาะสมที่คำนวนได้ในกรณีขนาดโหลดนั้น ดังนั้นเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงโหลดไปจึงต้องมีการกำหนดขนาดของมุมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัวที่ติดตั้งในระบบใหม่เพื่อให้ตัวเลื่อนเฟสสามารถลดกำลังสูญเสียลงมาให้ได้ต่ำที่สุดในกรณีโหลดแบบนั้นๆ

5.5 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาในกรณีต่างๆข้างต้นสามารถสรุปเกี่ยวกับตำแหน่งที่น่าจะเหมาะสมแก่การติดตั้งตัวเลื่อนเฟสได้ดังนี้

1) ควรติดตั้งตัวเลื่อนเฟสในสายส่งที่มีอัตราส่วนระหว่างกำลังสูญเสียในสายส่งกับขนาดกำลังจริงในสายส่งนั้นเป็นค่าสูงๆ

2) การพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งด้วยค่าอัตราส่วนดังกล่าวนี้เป็นแนวทางที่มีแนวโน้มในความน่าจะเป็นไปได้สูงเท่านั้นอาจไม่ถูกต้องในทุกกรณีเสมอไป

3) ในตำแหน่งอื่นที่มีอัตราส่วนดังกล่าวไม่สูงก็อาจจะเหมาะแก่การติดตั้งตัวเลื่อนเฟสด้วยก็ได้ แต่มีโอกาศที่จะพบได้น้อยกว่าตำแหน่งที่มีอัตราส่วนดังกล่าวสูงๆ

4) กรณีที่มีการติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเป็นจำนวนหลายๆตัวเช่น 3 หรือ 4 ตัวในกลุ่มที่สามารถลดกำลังสูญเสียให้ต่ำที่สุดนั้น มักพบว่าจะมีสายส่งที่มีอัตราส่วนดังกล่าวสูงประกอบเป็นสมาชิกอยู่เป็นจำนวนหนึ่งเสมอ

สำหรับเรื่องจำนวนที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสนั้น ในระบบหนึ่งๆ การติดตั้งตัวเลื่อนเฟสเป็นจำนวนน้อยตัวเกินไปจะทำให้ไม่สามารถควบคุมกำลังจริงได้อย่างพอเพียงและเหมาะสม ทำให้ไม่สามารถลดกำลังสูญเสียของระบบลงมาได้อย่างเต็มที่ และถ้าติดตั้งตัวเลื่อนเฟสจำนวนมากตัวเกินไปนอกจากจะต้องลงทุนสูงแล้วก็อาจไม่สามารถลดกำลังสูญเสียลงมาเท่าที่ควรหรืออาจลดกำลังสูญเสียลงมาได้น้อยกว่าเมื่อมีจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่น้อยกว่าและเหมาะสมหรือถึงแม้สามารถลดกำลังสูญเสียลงมาได้อีกแต่ก็อาจไม่คุ้มกับการลงทุนที่ต้องเพิ่มจำนวนตัวเลื่อนเฟสเข้าไปในระบบอีก นอกจากนี้การติดตั้งตัวเลื่อนเฟสมากเกินไปจะมีผลทำให้ระบบถูกบังคับมากเกินไปจนอาจทำให้เกิดผลที่ไม่น่าพอใจขึ้นได้เช่น ทำให้ระบบไม่เสถียร หรืออาจทำให้การคำนวนโหลดโฟลว์ไม่ converse สำหรับจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมในแต่ละระบบนั้นก็แตกต่างกันออกไปขึ้นกับขนาดของระบบและองค์ประกอบอีกหลายอย่าง แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะเรื่องขนาดของระบบแล้วถ้าระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นโดยเทียบกับระบบทดสอบ จำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมก็จะต้องมากขึ้นด้วยเช่น อาจต้องใช้ถึง 3 หรือ 4 ตัว ทั้งนี้เพราะในระบบที่ใหญ่ขึ้นจำนวนสายส่งก็จะมีมากขึ้น ถ้าเราใช้ตัวเลื่อนเฟสน้อยตัวไปแล้วจะไม่สามารถควบคุมกำลังจริงในสายส่งต่างๆได้อย่างเพียงพอและอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้กำลังสูญเสียของระบบไม่อาจลดลงไปได้อย่างที่ควรทำได้และในระบบใหญ่นั้นจะพบว่าเปอร์เซนต์การลดลงของกำลังสูญเสียก็จะมีค่าไม่สูงเหมือนกับในระบบขนาดเล็ก แต่ไม่ว่าระบบจะเป็นแบบใดหรือมีขนาดใดก็จะมีจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง โดยจำนวนตัวเลื่อนเฟสขนาดนั้นจะให้

ผลคุ้มค่าที่สุดเมื่อคิดเทียบระหว่างขนาดกำลังสูญเสียของระบบที่ลดลงกับจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่ใช้หรืออาจกล่าวว่าจำนวนตัวเลื่อนเฟสที่เหมาะสมที่สุดคือจำนวนที่ให้ประสิทธิภาพทางการลงทุนสูงที่สุด

ในกรณีของโหลดขนาดต่างๆกันค่าของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสที่มีลักษณะการติดตั้งแบบหนึ่งก็จะแตกต่างกันออกไปตามขนาดของโหลดนั้น แต่ขนาดของโหลดไม่มีผลกระทบต่อตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟส ดังนั้นถ้าขนาดของโหลดในระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไป ขนาดของมุมที่เหมาะสมของตัวเลื่อนเฟสทุกตัวต้องคำนวนใหม่เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในขนาดโหลดใหม่นั้นๆจึงจะสามารถลดกำลังสูญเสียให้มีค่าน้อยที่สุดได้