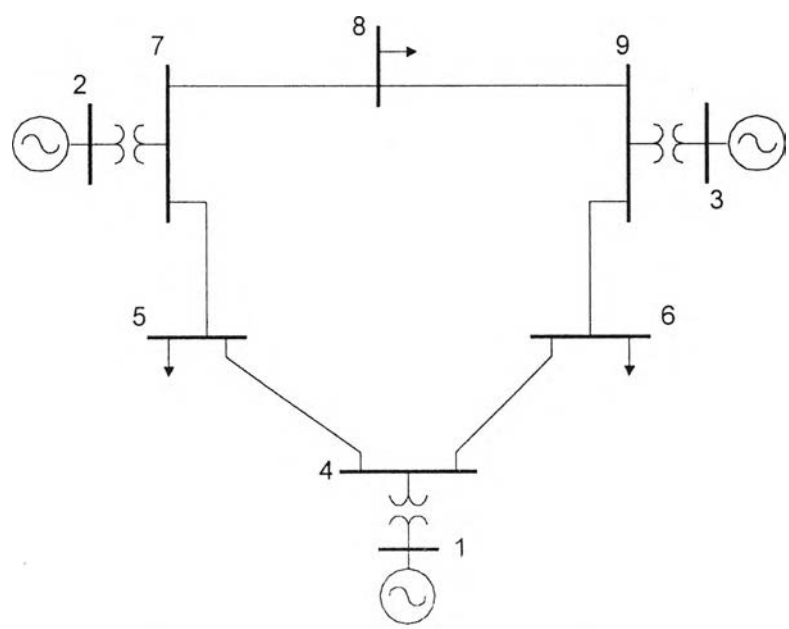
บทที่ 2

การวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าในสภาวะปกติ

ทุกวันนี้ความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีขอบเขต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการวิเคราะห์ในหลาย ๆ ด้าน ในแต่ละด้านที่วิเคราะห์มีความสำคัญในแต่ละมุมมองที่แตกต่างกันออกไปยกตัวอย่างเช่น ด้านเศรษฐศาสตร์มุ่งเน้นไปที่การจัดสรรกำลังผลิตให้มีค่าใช้จ่ายประหยัดที่สุด ด้านเสถียรภาพมุ่งเน้นไปที่ผลตอบสนองของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติ ที่ต้องมีการวิเคราะห์ในหลาย ๆ ด้านเนื่องจากระบบกำลังไฟฟ้ามีการลงทุนที่สูงมากผลทางเศรษฐศาสตร์จึงต้องนำมาพิจารณา และระบบกำลังไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในกิจการอื่นไม่ว่าจะเป็นกิจการภาครัฐ กิจการภาคเอกชน ที่อยู่อาศัย ดังนั้นเรื่องของการวิเคราะห์เสถียรภาพจึงไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ระบบในสภาวะปกติเราจะสนใจในเรื่องเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญซึ่งได้แก่การจัดสรรกำลังการผลิตของแต่ละโรงจักรไฟฟ้าให้เสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ,ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัสอยู่ในเกณฑ์ปกติ ,การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ระบบกำลังไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ อันได้แก่ ระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย พิจารณารูปที่ 2.1 ระบบผลิตมี 3 โรงจักรไฟฟ้าคือโรงจักรไฟฟ้าที่บัส 1 บัส 2 และบัส 3 ส่งจ่ายกำลังเข้ามาในระบบส่งที่บัส 4 บัส 7 และบัส 9 โดยระบบส่งมีหน้าที่ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปสู่ระบบจำหน่ายที่บัส 5 บัส 6 และบัส 8 และระบบจำหน่ายมีหน้าที่ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังจุดที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบกำลังไฟฟ้าขนาด 9 บัส

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัส

ในขณะที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติเราจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบซึ่งก็คือการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) เป้าหมายของการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าก็คือคำนวณหาค่าศักดาไฟฟ้าทุก ๆ บัสในระบบกำลังไฟฟ้า

บัส	บัส	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)
1	4	0.0000	0.0576	0.0000
2	7	0.0000	0.0625	0.0000
3	9	0.0000	0.0586	0.0000
7	8	0.0085	0.0720	0.0745
8	9	0.0119	0.1008	0.1045
5	7	0.0320	0.1610	0.1530
4	5	0.0100	0.0850	0.0880
4	6	0.0170	0.0920	0.0790
6	9	0.0390	0.1700	0.1790

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลของสายส่ง และหม้อแปลง

บัส	โหลด (MW)	โหลด (Mvar)	กำลังผลิต (MW)	กำลังผลิต (Mvar)
1	0	0	-	-
2	0	0	163	6.7
3	0	0	85	-10.9
4	0	0	0	0
5	125	50	0	0
6	90	30	0	0
7	0	0	0	0
8	100	35	0	0
9	0	0	0	0

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลของแต่ละบัส

จากระบบกำลังไฟฟ้าในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 **โดยสมมติ**ว่าเราทราบกำลังผลิต และโหลดทุก ๆ บัสยกเว้นกำลังผลิตที่บัส 1 จากนั้นจะทำการหาศักดา**ไฟฟ้า**ในแต่ละบัสโดยวิธีของ เกาส์-ไซเดิล

$$I_p = \frac{P_p - jQ_p}{E_p^*} \tag{1}$$

$$[I_{BUS}] = [Y_{BUS}][E_{BUS}] \tag{2}$$

$$E_p = \frac{1}{Y_{pp}}\left(\frac{P_p - jQ_p}{E_p^*} - \sum_{q=1,q\neq p}^{n} Y_{pq}E_q\right) \tag{3}$$

โดย E_p คือศักดาไฟฟ้าที่บัส p

P_p และ Q_p คือกำลังผลิตที่บัส p ลบด้วยโหลดที่บัส p

Y_{pp} และ Y_{pq} คือสมาชิกต่าง ๆ ในแอดมิตแตนท์เมตริกซ์ (Y_{bus})

บัส	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0 -17.3611i	0	0	0 +17.3610i	0	0	0	0	0
2	0	0 -16.0000i	0	0	0	0	0 +16.0000i	0	0
3	0	0	0 -17.0648i	0	0	0	0	0	0 +17.0648i
4	0 +17.3611i	0	0	3.0374 -39.3089i	-1.3652 +11.6041i	-1.9422 +10.5107i	0	0	0
5	0	0	0	-1.3652 +11.6041i	2.5528 -17.3382i	0	-1.1876 +5.9751i	0	0
6	0	0	0	-1.9422 +10.5107i	0	3.2242 -15.8409i	0	0	-1.2820 +5.5882i
7	0	0 +16.0000i	0	0	-1.1876 5.9751i	0	2.8047 -35.4456i	-1.6171 +13.6980i	0
8	0	0	0	0	0	0	-1.6171 +13.6980i	2.7722 -23.3032i	-1.1551 -9.7843i
9	0	0	0 +17.0648i	0	0	-1.2820 +5.5882i	0	-1.1551 +9.7843i	2.4371 -32.1539i

ตารางที่ 2.3 แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ของระบบกำลังไฟฟ้า

จากระบบในรูปที่ 2.1 กำหนดให้บัส 1 เป็นบัสอนันต์โดยมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับ 1.04+j0.00 pu. โดยไม่จำเป็นต้องทราบกำลังการผลิต เมื่อทำการคำนวณหาค่าศักดาไฟฟ้าทุกบัสได้ผลลัพธ์ดังนี้

บัส	ขนาดศักดาไฟฟ้า (pu)	มุมศักดาไฟฟ้า (Degree)
1	1.040	0.0
2	1.025	9.3
3	1.025	4.7
4	1.026	-2.2
5	0.996	-4.0
6	1.013	-3.7
7	1.026	3.7
8	1.016	0.7
9	1.032	2.0

ตาราง 2.4 ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัส

2.2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง

เมื่อได้ค่าศักดาไฟฟ้าในทุก ๆ บัสแล้วต่อไปจะคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ไหลจากบัส p ไปบัส q จากสมการที่ 6 และได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 2.5

$$i_{pq} = \left(E_p - E_q\right)y_{pq} + E_p\frac{y_{pq}}{2} \tag{4}$$

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^{\cdot} i_{pq} \tag{5}$$

$$P_{pq} - jQ_{pq} = E_p^{\cdot}\left(E_p - E_q\right)y_{pq} + E_p^{\cdot}E_p\frac{y_{pq}}{2} \tag{6}$$

โดย

y_{pq} คือ แอดมิตแตนซ์ของสายส่งระหว่างบัส p กับบัส q

y_{pq} คือ แอดมิตแตนซ์ลงดินของสายส่งระหว่างบัส p กับบัส q

บัส	บัส	MW	Mvar
1	4	71.6	27.0
4	1	-71.6	23.9
2	7	163.0	6.7
7	2	-163.0	9.2
3	9	85.0	-10.9
9	3	-85.0	15.0
7	8	76.4	-0.8
8	7	-75.9	-10.7
8	9	-24.1	-24.3
9	8	24.2	3.0
5	7	-84.3	-11.3
7	5	86.6	-8.4
4	5	40.9	22.9
5	4	-40.7	-38.7
4	6	30.7	1.0
6	4	-30.55	-16.54
6	9	-59.45	-13.46
9	6	60.8	-18.0

ตารางที่ 2.5 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง

2.3 สรุป

โดยสรุปแล้วระบบที่ศึกษามานี้ในสภาวะปกติมีโหลดทั้งหมด 315 MW กำลังผลิต 319.6 MW ค่าความสูญเสียในสายส่ง 4.6 MW , ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัสอยู่ในเกณฑ์ปกติ (+,- ไม่เกิน 5 %) , ปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ก็คือโรงจักรทั้ง 3 ควรจะจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละโรงจักรเท่าไรเพื่อให้พอเพียงกับโหลดและเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดโดยให้ศักดาไฟฟ้าในแต่ละบัสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่ปัญหาทางเสถียรภาพก็คือในสภาวะที่ระบบถูกรบกวนอย่างรุนแรงเช่น เกิดฟอลต์ที่บัส 2 ทำให้โรงจักรที่ 2 ทริฟ หรือเกิดฟอลต์ที่บัส 8 ทำให้สายส่ง 8 – 9 และสายส่ง 8 – 7 ทริฟ เราจะสนใจว่าระบบจะยังคงกลับมายังสภาวะปกติดังที่ได้วิเคราะห์ไปแล้วได้หรือไม่ ซึ่งการวิเคราะห์ในลักษณะนี้เรียกว่าการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้า เมื่อเราได้ลองศึกษา

เสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าในแต่ละเหตุการณ์ที่เราสนใจแล้วเราจะทราบเสถียรภาพของระบบ และจะต้องหามาตราการป้องกันไม่ให้ระบบเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ หรือยับยั้งเพื่อจำกัดเหตุการณ์นั้นให้มีผลกระทบต่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้น้อยที่สุด ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ระบบกำลังไฟฟ้าในสภาวะผิดปกตินั้นจำเป็นต้องอาศัยพื้นฐานของการป้องกันระบบกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะสามารถออกแบบปรับตั้งค่า (Setting) รีเลย์เพื่อป้องกันอุปกรณ์และป้องกันการสูญเสียเสถียรภาพของระบบกำลังไฟฟ้าซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป