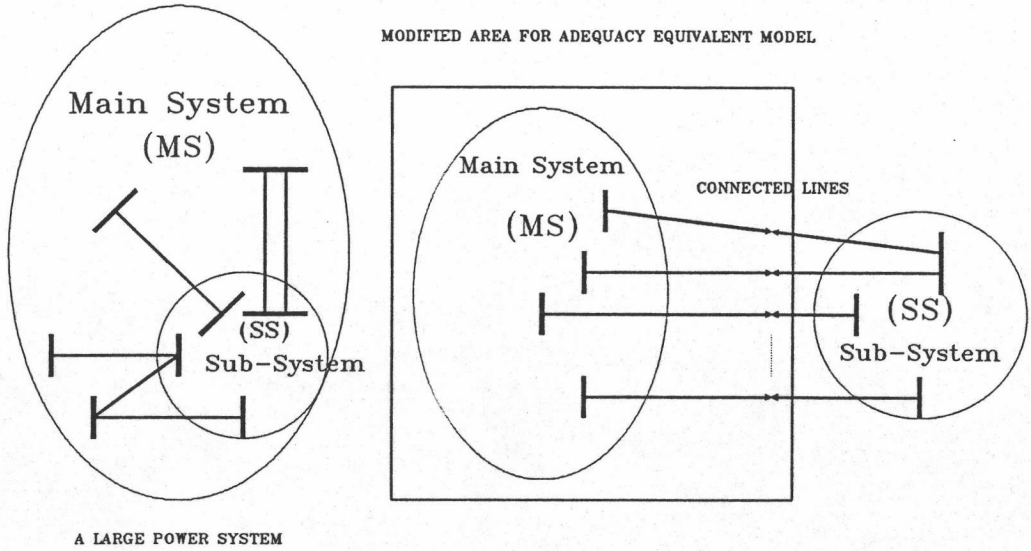
บทที่ 4

การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า โดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการเดิม (Conventional method) ดังรายละเอียดในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าในทุกสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องต้องคำนวณหาโหลดโฟลว์ของทั้งระบบทุกครั้ง วิธีการดังกล่าวไม่เหมาะสมในกรณีที่นำมาใช้หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ เฉพาะพื้นที่บางส่วนของระบบ หรือกรณีต้องการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์หรือขยายการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (Sub-system) เพราะการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เพียงเล็กน้อย ขั้นตอนการคำนวณจะต้องไปเริ่มที่จุดเริ่มต้นเสมอ ทำให้เสียเวลาในการคำนวณมาก ประกอบกับการใช้วิธีการเดิมสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ซึ่งมีองค์ประกอบย่อยมาก การกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องต่ำเพื่อลดเวลาในการคำนวณ จะทำให้ความน่าจะเป็นของสถานะที่ได้รับการพิจารณาผิดพลาดไปมาก

แนวความคิดของวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ คือการสร้างแบบจำลองสำหรับแทนส่วนของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงทำการศึกษา หรือสนใจในรายละเอียดให้อยู่ในรูปแบบจำลองง่ายซึ่งคงบรรจุไว้ด้วยข้อมูลที่จำเป็น เพื่อใช้ในขั้นตอนการคำนวณต่อไป ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาว่าแต่ละสถานะของโมเดลจะมีความพร้อมมูลในการนำเข้า หรือส่งออกกำลังไฟฟ้าไปสู่แต่ละสถานะของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยได้มากน้อยเท่าใด (Available capacity margin) ภายใต้ข้อสมมุติฐานที่เหมาะสม วิธีการดังกล่าวจะช่วยลดเวลาในการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม หรือเพิ่มความน่าจะเป็นของสถานะรวมที่ได้รับการพิจารณา กล่าวคือถ้ากำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องขององค์ประกอบย่อยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4 ในการคำนวณด้วยวิธีการเดิม การหาค่าดัชนีของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยด้วยวิธีการแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์จะได้รับการพิจารณาระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องมีค่าสูงสุดเท่ากับ 8 ซึ่งจะส่งผลให้การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าสูงและถูกต้องมากขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 รูปแบบจำลองแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

4.1 ข้อกำหนดของระบบไฟฟ้ากำลัง สำหรับการใช้วิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่ต้องการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (Sub-system, SS) หมายถึง ส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่ต้องการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ มีขนาดค่อนข้างเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งระบบ และระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (Main system, MS) หมายถึง ส่วนของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่อยู่นอกเหนือจากระบบไฟฟ้าส่วนย่อยรวมถึงสายส่ง (Connected lines) ที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าส่วนย่อย เป็นส่วนที่สมมุติว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อคำนวณค่าดัชนีความเพียงพอของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย และโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ได้ถูกสร้างเพื่อใช้แทนในส่วนนี้

เหตุผลที่กำหนดให้ระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) ควรมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) เนื่องจากสถานะหนึ่งของโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ (MS) จะถูกพิจารณาคำนวณร่วมกับทุกสถานะของการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) ดังนั้นเมื่อองค์ประกอบของระบบไฟฟ้าส่วนย่อยเพิ่มขึ้น จำนวนสถานะที่ต้องคำนวณจะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ และเวลาในการหาโหลดโฟลว์แต่ละสถานะจะนานขึ้น ขณะที่การลดขนาดของระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่ส่งผลให้จำนวนสถานะในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์เปลี่ยนแปลงลดลง เป็นสัดส่วนเพิ่มขึ้นเหมือนกับเมื่อระบบไฟฟ้าส่วนย่อยขนาดใหญ่ขึ้น กล่าวคือเมื่อระบบไฟฟ้าส่วนย่อยมีขนาดใกล้เคียงหรือไม่แตกต่างจากระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่มาก การคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์จะใช้

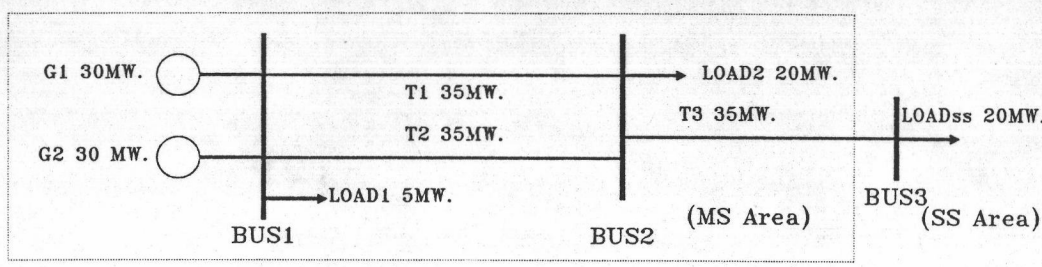
เวลาสูงกว่าการคำนวณโดยวิธีการเดิมหลายเท่า เนื่องจากจะต้องคำนวณสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องมากขึ้น เพราะระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องขององค์ประกอบย่อยที่ได้รับการพิจารณาสูงขึ้น

นอกจากนี้ การตัดแบ่งระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) ควรแยกจากระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ให้ชัดเจนและเหมาะสมแบ่งเป็นกลุ่มของบัสที่เกี่ยวเนื่องกัน เช่น อยู่ในพื้นที่บริการเดียวกัน ระบบแรงดันขนาดเท่ากัน เป็นต้น หลีกเลี่ยงการตัดแบ่งที่ทำให้ความน่าจะเป็นของการเกิด Isolation ของบัสในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยสูง เพราะจะทำให้ค่าดัชนีบางบัสที่คำนวณได้สูงผิดปกติ ส่วนวิธีการ และข้อกำหนดของแบบจำลององค์ประกอบย่อยและโหลด ระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง เนทเวอร์คโฟลว์ วิธีการตัดโหลดคงเหมือนเดิมดังแสดงในบทที่ 3

4.2 การสร้างโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ (Adequacy equivalents)

4.2.1 แนวความคิดในการสร้างโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์

ส่วนนี้จะแสดงแนวความคิดและเทคนิคเบื้องต้น ในการสร้างโมเดลแอดดิเควซีอิควิวาเล็นต์ของระบบไฟฟ้าอย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.2 สมมุติว่า โมเดลแทนระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) ประกอบด้วยบัส 1 และ 2 และระบบไฟฟ้าส่วนย่อยทางขวามือมีความต้องการโหลดสุทธิเท่ากับ 20 MW โดยแต่ละองค์ประกอบของระบบเป็นแบบจำลอง 2 สถานะ(2-state model) มีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.1 และในกรณีเกิดเหตุการณ์ขัดข้องทำให้กำลังผลิตของระบบไม่เพียงพอ กำหนดให้ค่าโหลดที่สามารถตัดลดลงได้ (Curtailable load) แต่ละโหลดบัสมีค่าเท่ากัน คือ 20% ของค่าโหลดสูงสุดที่บัสนั้น ๆ



รูปที่ 4.2 ระบบไฟฟ้าตัวอย่างขนาด 3 บัส

ตารางที่ 4.1ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสายส่งของระบบไฟฟ้าตัวอย่างขนาด 3 บัส

COMPONENTS	FAILURE-RATE per year	REPAIR-RATE per year	Forced Outage Rate (FOR)	RATING MW.
1.) Generators G1,G2	1	99	0.01	30
2.) Transmissions T1,T2	2	998	0.002	35
3.) Transmissions T3	100% RELIABLE			35

สมการที่ 3.1-3.2 ใช้สำหรับคำนวณความน่าจะเป็น (p_s) และความถี่ของการเกิด (f_s) ในสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องหนึ่ง(s)จากระบบตัวอย่าง องค์ประกอบย่อยใน MS ประกอบด้วย G_1, G_2, T_1, T_2 และ T_3 จำนวน 5 องค์ประกอบ แต่เนื่องจาก T_3 มีค่าความเชื่อถือได้ 100% ดังนั้นจำนวนสถานะของแบบจำลองดังกล่าวเท่ากับ 2^4 สถานะ และสามารถลดจำนวนที่คำนวณลงได้ เมื่อองค์ประกอบย่อยต่างๆ มีข้อมูลที่เหมือนกัน (Identical) ขั้นตอนและผลการคำนวณของระบบตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สถานะขั้นตอนการคำนวณโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นต์ระบบตัวอย่าง

STATE No.	COMPONENT OUTAGES	PROBABILITY (ps)	FREQUENCY (fs) occ/year	ALLOCATED LOAD BUS1	BUS2 in MS	AVAILABLE (MW.) CAPACITY at BUS2
1	0G,0L	(.990)(.990)(.998)(.998)	ps(1+1+2+2)			
		0.97618352	5.85710112	5	20	35
2	1G,0L	2(.O10)(.990)(.998)(.998)	ps(99+1+2+2)			
		0.01972088	2.05097144	4	13	13
3	2G,0L	(.010)(.010)(.998)(.998)	ps(99+99+2+2)			
		0.00009960	0.02011928	0	0	0(-25*)
4	1G,1L	4(.010)(.990)(.002)(.998)	ps(99+1+998+2)			
		0.00007904	0.08694576	4	13	13
5	1G,2L	2(.010)(.990)(.002)(.002)	ps(99+1+998+998)			
		0.00000008	0.00016600	5	0	0(-20*)
6	2G,1L	2(.010)(.010)(.002)(.998)	ps(99+99+998+2)			
		0.00000040	0.00047824	0	0	0(-25*)
7	2G,2L	(.010)(.010)(.002)(.002)	ps(99+99+998+998)			
		0.00000000	0.00000088	0	0	0(-20*)
8	0G,1L	2(.990)(.990)(.002)(.998)	ps(1+1+2+998)			
		0.00391256	3.92038432	5	17.5	17.5
9	OG,2L	(.990)(.990)(.002)(.002)	ps(1+1+998+998)			
		0.00000392	0.00783296	5	0	0(-20*)

* Maximum Negative Capacity Margin

การจัดสรรโหลดที่บัสต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) และการหาค่าพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่บัสต่าง ๆ ขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญของการสร้างโมเดลแอดดิเควชี-อิควิวาเล็นตส์ ถ้าพิจารณาการทำงานของระบบดังกล่าวเป็นแบบระบบเชื่อมโยง (Interconnected Systems) [5,6,7] ค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่แต่ละบัสเป็นค่ากำลังการผลิตส่วนเกินที่ได้หลังจากระบบการผลิตภายใน MS ส่งจ่ายความต้องการโหลดสูงสุดให้แก่บัสภายใน MS เองเรียบร้อยแล้ว แต่ถ้าพิจารณาการทำงานของ MS และ SS เป็นระบบเดียวกันโดยใช้ข้อกำหนดและวิธีการคำนวณดังในหัวข้อที่ 3.2-3.4 สามารถอธิบายการจัดสรรโหลดของแต่ละสถานะในตารางที่ 4.2 ได้ดังนี้

สถานะ 1: กรณีไม่เกิดขัดข้องของอุปกรณ์ใน MS ระบบจ่ายโหลดปกติ และสามารถจ่ายกำลังการผลิตส่วนเกินของระบบ 35 MW ผ่านสายส่ง T_3 เพื่อจ่ายให้กับ SS ดังนั้นค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่บัส 2 จะขึ้นอยู่กับขนาดของ T_3 ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 35 MW. (Positive capacity margin)

สถานะ 2: เมื่อเกิดการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง ทำให้กำลังการผลิตเหลือเพียง 30 MW. ขณะที่ความต้องการรวมของ MS และ SS เท่ากับ 45 MW. เหตุการณ์นี้ค่าโหลดที่จะถูกตัดออกสูงกว่า Curtailable load (45-30>0.20x45 MW.) ดังนั้นจึงต้องมีการตัดโหลดหลัก(Firm load)บางส่วนออกด้วย แต่เนื่องจากบัสหมายเลข 1ใน MS เป็นโหลดบัสที่มีระบบการผลิตต่ออยู่ด้วย ดังนั้นโหลดบัสหมายเลข 1 จะได้รับกำลังการไฟฟ้าเท่ากับค่าโหลดหลักของบัส 1 คือ 4 MW.(ข้อกำหนดในหัวข้อที่ 3.5 ข้อ 1) การจัดแบ่งกำลังผลิตที่เหลือ 26 MW. ให้กับโหลดที่บัส 2 และค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่บัส 2 จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าโหลดที่กำหนดของบัส 2 และค่าโหลดสุทธิของ SS (ค่าโหลดรวมสูงสุดของSS-ระบบการผลิตของSS) ในกรณีค่าความพร้อมมูลจะมีค่าเท่ากับ (20*26)/(20+20) หรือเท่ากับ 13 MW.

สถานะ 3: กรณีนี้กำลังการผลิตใน MS เท่ากับ 0 MW. ดังนั้นค่าความพร้อมมูลจะเท่ากับ 0 ด้วย แต่มีข้อสังเกตุว่าในกรณีนำวิธีการดังกล่าวไปใช้กับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งระบบไฟฟ้าส่วนย่อย(SS)มีระบบการผลิตประกอบอยู่ด้วย เมื่อเกิดความไม่เพียงพอของกำลังการผลิตใน MS ระบบการผลิตใน SS จะต้องมีการส่งกำลังไฟฟ้าบางส่วนเข้าสู่ MS หรือต้องมีส่วนร่วมในการถูกตัดโหลดบางส่วน เพื่อให้เกิดความสมดุลย์สำหรับกำลังการผลิตทั้งระบบใหญ่ ดังนั้น

ค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมจะมีค่าเป็นลบ(Negative capacity margin) ขนาดขึ้นอยู่กับสัดส่วนของกำลังการผลิตและโหลดภายใน MS และ SS ณ.สถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องนั้น ๆ สำหรับค่าตัวเลขในวงเล็บที่กำกับด้วยเครื่องหมาย(*)หมายถึง กรณีที่สมมุติว่าถ้าใน SS มีระบบกำลังการผลิตมาก ค่ากำลังไฟฟ้าที่ถูกป้อนเข้ามาที่บัส 2 เพื่อจ่ายโหลดใน MS จะมีค่าสูงไม่เกินค่าที่กำหนด (Maximum negative capacity margin)

สถานะ 4: เกิดการขัดข้องของสายส่งในระบบ 1 เส้น เพิ่มจากเหตุการณ์ในสถานะ 2 อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของระบบคงเหมือนในสถานะ 2

สถานะ 5: สายส่ง T_1 และ T_2 เกิดขัดข้อง ตัดระบบการผลิตออกจากจุดโหลดหลัก ดังนั้นค่าความพร้อมมูลจึงมีค่าเท่ากับ 0

สถานะ 6: ในทำนองเดียวกับสถานะ 3

สถานะ 7: ในทำนองเดียวกับสถานะ 5

สถานะ 8: กรณีเกิดขัดข้องในสายส่ง 1เส้น ทำให้เกิดทางตีบตันที่จะส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดโหลดที่ต้องการให้เพียงพอ (35 MW.) ค่าโหลดบางส่วนของบัสหมายเลข 2 และโหลดใน SS จะถูกตัดออกเป็นสัดส่วนตามค่าโหลดสูงสุด ดังนั้นค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่บัส 2 จะมีค่าเท่ากับ (35*20)/(20+20) หรือ 17.5 MW.

สถานะ 9: ในทำนองเดียวกับสถานะ 6

จากตารางที่ 4.2 สถานะในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นต์ที่มีค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมที่บัส 2 เหมือนกัน สามารถนำมารวมกันโดยใช้สมการที่ 3.4-3.5 ทำให้จำนวนสถานะในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นต์ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

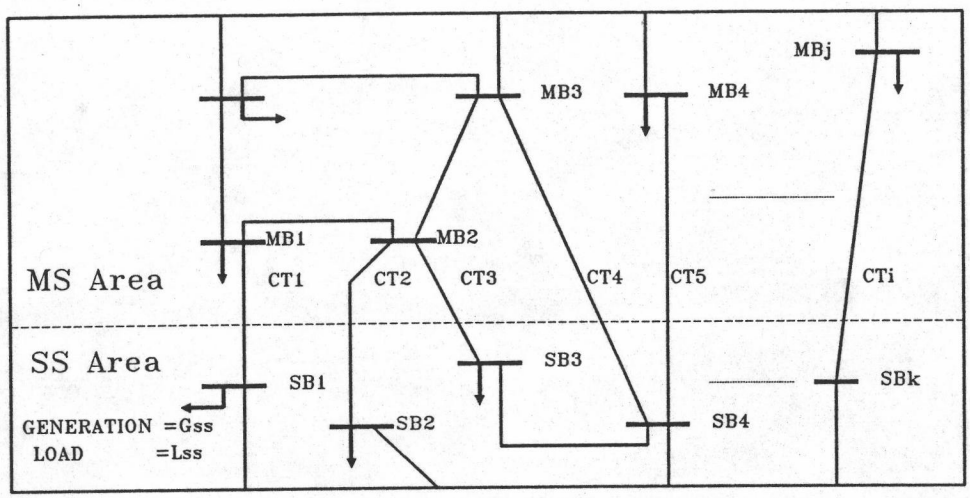
ตารางที่ 4.3 โมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นต์ของระบบไฟฟ้าตัวอย่าง

STATE No.	PROBABILITY (Ps)	FREQUENCY (Fs) occ/year	AVAILABLE (MW.) CAPACITY at BUS2	CONNECTED LINES in SERVICE
1	0.97618352	5.857101	35	T3
2	0.01979992	2.137917	13	T3
3	0.00391256	3.920384	17.5	T3
4	0.00000400	0.008000	0(-20*)	T3
5	0.00010000	0.020598	0(-25*)	T3

* Maximum Negative Capacity Margin

4.2.2 การสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นต์สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

ด้วยหลักการเบื้องต้นดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2.1 เป็นการสร้างโมเดลกรณีที่ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) มีบัสเชื่อมโยง 1 บัส และสายส่งเชื่อมโยง (Connected line) เพียงเส้นเดียว แต่ในทางปฏิบัติกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ บัสเชื่อมโยงและสายส่งเชื่อมโยงอาจมีเป็นจำนวนมากและมีความสลับซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังที่มีบัสและสายส่งเชื่อมโยงจำนวนมาก

ในกรณีดังกล่าว การคำนวณหาค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมสำหรับแต่ละบัสที่มีจุดเชื่อมโยง (MB_1-MB_i) จะเป็นไปได้หลายกรณี ทั้งนี้เนื่องจากสามารถหาคำตอบจากโหลดโฟลว์ที่เป็นไปได้หลายคำตอบ ถ้าไม่กำหนดขนาดและทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละเส้นของสายส่งเชื่อมโยงหลังจากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดบัสใน MSเป็นที่เหมาะสมแล้ว ดังนั้นปัญหาดังกล่าวก็คือ จะสามารถจัดแบ่งความพร้อมมูลของกำลังไฟฟ้า (Available capacity)ให้แก่จุดเชื่อมโยงแต่ละบัสได้อย่างไร และแน่นอนจะต้องขึ้นอยู่กับสถานภาพของสายส่งเชื่อมโยง (CT_1-CT_j)ที่ต่ออยู่กับจุดเชื่อมโยงที่บัสนั้นๆในแต่ละสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องด้วย ข้อกำหนดที่ใช้ในการจัดสรรความพร้อมมูลของกำลังไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีดังนี้

1. หลังจากการคำนวณหาโหลดโฟลว์และการตัดโหลดบางส่วนใน MS แล้ว ในลำดับแรกให้คำนวณหาการส่งค่ากำลังไฟฟ้าป้อนกลับเข้าสู่ MS (ค่าความพร้อมมูลเป็นลบ) ณ. บัสเชื่อมโยงบางจุด เพื่อให้การจัดสรรกำลังไฟฟ้าเป็นไปอย่างเหมาะสม

2. ให้จัดแบ่งความพร้อมมูลของกำลังไฟฟ้า(ค่าบวก)เป็นสัดส่วนโดยตรงขึ้นอยู่กับขนาดรวมของสายส่งเชื่อมโยง สำหรับทุกจุดเชื่อมโยงที่ไม่ได้รับการพิจารณาในข้อ 1

4.2.3 การคำนวณขนาดของโหลดที่ถูกตัดลดลงบางส่วนในระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS)

การตัดแบ่งระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ ทำให้ระบบการผลิตและความต้องการโหลดที่อยู่ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) หรือระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) ขาดความสมดุลย์ เช่น ในการตัดแบ่งระบบการผลิตส่วนใหญ่อาจอยู่ใน MS ขณะที่โหลดส่วนใหญ่อยู่ใน SS เป็นต้น ดังนั้นในการสร้างโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์โดยใช้เงื่อนไขวิธีการตัดโหลด (Load curtailment philosophy) ดังแสดงในหัวข้อ 3.5 เพียงอย่างเดียวจะไม่เป็นการถูกต้อง เพราะในทางปฏิบัติถ้าเกิดเหตุการณ์ขัดข้องอย่างรุนแรงในระบบทางด้าน MS ซึ่งมีผลให้ต้องมีการตัดโหลดหลักบางส่วนออกจากระบบ ทางด้านระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS) ควรจะได้รับผลกระทบเช่นกัน เพื่อช่วยบรรเทาสถานการณ์ความรุนแรงดังกล่าว

เนื่องจากการคำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์แยกเป็นอิสระ และใช้คำนวณร่วมกับทุกสถานะเหตุการณ์ขัดข้องที่ได้รับการพิจารณาในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย ดังนั้นในขั้นตอนการสร้างโมเดลแต่ละสถานะสามารถกำหนดให้ระบบการผลิตในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยทำงานตามปกติ และขนาดของโหลดใน MS ที่ถูกต้องลดลงจะเป็นไปตามเงื่อนไขในสมการที่ 4.1-4.3 โดยการเลือกโหลดบัสที่ถูกตัดลดลง คงเป็นไปตามข้อกำหนดเดิมในหัวข้อ 3.5

1. ถ้า $L_{MS}-P_{MS\,i}-L_{SS}+P_{SS} \geq$ (%CURTAILABLE LOAD)$*L_{MS}$

   และ $\geq$ (%CURTAILABLE LOAD)$*(L_{MS}+L_{SS})$

   ค่าโหลดใน MS ที่ถูกตัดลดลง ณ สถานะ i

   $$= (L_{MS}-P_{MS\,i}-L_{SS}+P_{SS})*L_{MS}/(L_{MS}+L_{SS}) \quad \ldots.(4.1)$$

2. ถ้า $L_{MS}-P_{MS\,i}-L_{SS}+P_{SS} \geq$ (%CURTAILABLE LOAD)$*L_{MS}$

   และ $<$ (%CURTAILABLE LOAD)$*(L_{MS}+L_{SS})$

   ค่าโหลดใน MS ที่ถูกตัดลดลง ณ สถานะ i

   $$= (\%\text{CURTAILABLE LOAD})*L_{MS} \quad \ldots.(4.2)$$

3. ถ้า $L_{MS}-P_{MS\,i}-L_{SS}+P_{SS} <$ (%CURTAILABLE LOAD)$*L_{MS}$

   ค่าโหลดใน MS ที่ถูกตัดลดลง ณ สถานะ i

   $$= (\%\text{CURTAILABLE LOAD})*L_{MS} \quad \ldots.(4.3)$$

เมื่อ L_{MS}, L_{SS} เป็นค่าโหลดรวมของ MS และ SS ตามลำดับ (MW.)

P_{MSi} เป็นค่ากำลังการผลิตรวมของ MS ณ สถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง i (MW.)

P_{SS} เป็นค่ากำลังการผลิตรวมของ SS (MW.)

4.2.4 การประมาณค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นช่วงระดับ

การประมาณค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละบัสในโมเดล ให้มีระดับที่แน่นอนสม่ำเสมอ เช่น ปรับค่าความพร้อมมูลให้เป็นจำนวนเต็ม หรือแบ่งช่วงระดับเป็นจำนวนเท่าของ 5,10 เป็นต้น จะสามารถช่วยลดจำนวนสถานะในโมเดลได้ โดยการรวมบางสถานะเข้าด้วยกันหลังจากปรับประมาณค่าแล้ว Rounding technique [2]ซึ่งใช้ในการประมาณตาราง Capacity outage probability ของการศึกษาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิต (HL1) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เช่นเดียวกันเฉพาะในกรณีที่โมเดลมีค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงบัสเดียว แต่โดยปกติในโมเดลจะประกอบด้วยค่าความพร้อมมูลหลายบัส เทคนิคดังกล่าวข้างต้นจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ ดังนั้นในที่นี้จะประมาณค่าโดยใช้หลักการปัดเศษทางคณิตศาสตร์ปกติ ส่วนการกำหนดช่วงระดับขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของขนาดสายส่งเชื่อมโยงหรือค่าสูงสุดของความพร้อมมูล การกำหนดช่วงระดับที่สูงเกินไปจะทำให้ความผิดพลาดในการคำนวณเพิ่มขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้การเลือกปรับช่วงระดับเป็นตัวแปรหนึ่งในการเปรียบเทียบผลการคำนวณ

4.3 ขั้นตอนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS)

4.3.1 การคำนวณรวมสถานะของโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ (MS) กับระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS)

สมมุติฐานของการคำนวณโดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์กำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเกิดสถานะใน MS และ SS แยกเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นเมื่อคำนวณระบบทั้ง 2 ส่วนเข้าด้วยกัน สถานะหนึ่งของโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์จะถูกพิจารณาร่วมกับทุกสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย โดยการเลือกสถานะที่ได้รับการพิจารณา การกำหนด

ระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง(Contingency level)ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยคงเป็นไปตามหลักเกณฑ์ในหัวข้อที่ 3.2 ความน่าจะเป็น และความถี่ของการเกิดสถานะร่วมสามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ 4.4-4.5

$$Pij = Pi.Pj \qquad ....(4.4)$$

$$Fij = Pi.Pj*(\lambda_{i+} + \lambda_{i-} + \lambda_{j+} + \lambda_{j-}) \qquad ....(4.5)$$

เมื่อ P_i หมายถึง ความน่าจะเป็นของสถานะ i ในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

P_j หมายถึง ความน่าจะเป็นของสถานะการเกิดเหตุการณ์ j ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย

λ_{i+}, λ_{j+} หมายถึง Departure rate to up state ของสถานะ i ,j ตามลำดับ

λ_{i-}, λ_{j-} หมายถึง Departure rate to down state ของสถานะ i และ j ตามลำดับ

4.3.2 การคำนวณรวมค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์เข้ากับสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย

ค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติม ในกรณีเป็นค่าบวก (Positive capacity margin) เปรียบเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่บัสที่เป็นจุดเชื่อมโยงในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SB_1-SB_k ในรูปที่ 4.2) กรณีเป็นค่าลบ (Negative capacity margin)เปรียบเสมือนจุดโหลดที่บัสเชื่อมโยงในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยกำลังจ่ายโหลดเข้าสู่ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ (MS) และกรณีเป็นศูนย์ไม่มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างสองระบบ

สำหรับในกรณีบัสเชื่อมโยงใน MS เชื่อมโยงกับบัสเชื่อมโยงใน SS หลายจุด หรือในกรณีตรงกันข้าม การจัดแบ่งค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แต่ละบัสเชื่อมโยงใน SS เป็นไปตามสัดส่วนของขนาดสายส่งที่เชื่อมโยงกับค่าความพร้อมมูลในการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่บัสนั้น ๆ และสายส่งเชื่อมโยงดังกล่าวอยู่ในภาวะทำงานปกติของสถานะในโมเดลที่กำลังพิจารณา

เมื่อจัดสรรค่าความพร้อมมูลให้แก่บัสเชื่อมโยงใน SS เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนการคำนวณหาโหลดโฟลว์และวิธีการตัดโหลด ดำเนินตามหลักเกณฑ์ในหัวข้อที่ 3.3-3.4 เพื่อหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต่อไป

4.3.3 การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย

สำหรับการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย โดยวิธีแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์ในที่นี้ จะเป็นการหาค่าดัชนีประจำปี (Annualized indices) ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลดที่บัสโหลดต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อยสามารถคำนวณโดยใช้สมการ 4.6-4.10 และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของพื้นที่ของระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (Sub-system area indices) คำนวณโดยใช้สมการ 4.11-4.15

$$Q_K = \Sigma_i \Sigma_j P_i P_j P_{K(i,j)} \quad ....(4.6)$$

$$F_K = \Sigma_i \Sigma_j P_i P_j *(\lambda_{i+} + \lambda_{i-} + \lambda_{j+} + \lambda_{j-})*P_{K(i,j)} \quad ....(4.7)$$

$$ELC_K = \sum_{i\epsilon X} \sum_{j\epsilon X} P_i P_j *(\lambda_{i+} + \lambda_{i-} + \lambda_{j+} + \lambda_{j-})*L_{K(i,j)} \quad ....(4.8)$$

$$EENS_K = \sum_{i\epsilon X} \sum_{j\epsilon X} P_i P_j L_{K(i,j)} *8760 \quad ....(4.9)$$

$$EDLC_K = \sum_{i\epsilon X} \sum_{j\epsilon X} P_i P_j *8760 \quad ....(4.10)$$

เมื่อ Q_K หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวที่บัส K ใน SS

F_K หมายถึง ความถี่ที่จะเกิดความล้มเหลวที่บัส K ใน SS (ครั้ง/ปี)

λ_{i+}, λ_{j+} หมายถึง Departure rate to up state ของสถานะ i และ j

λ_{i-}, λ_{j-} หมายถึง Departure rate to down state ของสถานะ i และ j

P_i หมายถึง ความน่าจะเป็นของสถานะ iในโมเดลแอดดิเควชีอิควิวาเล็นตส์

P_j หมายถึง ความน่าจะเป็นของสถานะการเกิดเหตุการณ์ j ในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย SS

$P_{K(i,j)}$ หมายถึง ความน่าจะเป็นของโหลดที่บัส K เกินค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบสามารถจะจ่ายให้ในสถานะนั้น โดยไม่เกิดความล้มเหลว

$i,j\epsilon X$ หมายถึง ผลจากสถานะเหตุการณ์ขัดข้องที่ (i,j) ซึ่งทำให้โหลดที่บัส K ได้รับการจ่ายกำลังไฟฟ้าลดลง (load curtailment)เพื่อใช้แก้ไขปัญหาโอเวอร์โหลดของสายส่ง หรือกำลังการผลิตของระบบน้อยกว่าความต้องการโหลดของระบบ

$L_K(i,j)$ หมายถึง ค่าลดลงของโหลด (load curtailment) ที่บัส K เพื่อช่วยแก้ปัญหาโอเวอร์โหลดของสายส่ง ,กำลังการผลิตของระบบน้อยกว่าความต้องการโหลดของระบบ หรือโหลดที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากเกิด Isolation ที่บัส K จากเหตุการณ์ขัดข้องที่สถานะ (i,j)

ELC_K (Expected Load Curtailment) MW/year.

หมายถึง ค่าโหลดที่คาดว่าจะถูกตัดลดลงที่บัส K

$EENS_K$ (Expected Energy Not Supplied) MWh/year.

หมายถึง ค่าพลังงานที่คาดว่าไม่สามารถจัดสรรให้โหลดได้ที่บัส K

$EDLC_K$ (Expected Duration of Load Curtailment) hours.

หมายถึง ค่าโหลดที่คาดว่าจะถูกตัดลดลงที่บัส K

$$BPII_{ss} = \Sigma_K ELC_K / L_{ss} \quad ....(4.11)$$

$$BPACI_{ss} = \Sigma_K ELC_K / F_{ss} \quad ....(4.12)$$

$$BPECI_{ss} = \Sigma_K EENS_K / L_{ss} \quad ....(4.13)$$

$$MBECI_{ss} = BPECI_{ss} / 8760 \quad ....(4.14)$$

$$SI_{ss} = BPECI_{ss} * 60 \quad ....(4.15)$$

เมื่อ L_{ss} คือ ค่าโหลดรวมสูงสุดในระบบไฟฟ้าส่วนย่อย (SS)

F_{ss} คือ ความถี่ของการเกิดความล้มเหลวที่บัสต่างๆ ใน SS

$BPII_{ss}$,$BPACI_{ss}$,$BPECI_{ss}$,$MBECI_{ss}$,SI_{ss} ดังคำจำกัดความในหัวข้อที่ 3.5.2