บทที่ 5

เทคนิคการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนากระบวนวิธีการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มเติมจากวิธีการเดิม[2]โดย ณ แต่ละจุดโหลดจะทำการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ 5 ประเภท คือ

- ค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดความล้มเหลว (Expected failure rate ;λ)
- ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาการเกิดเหตุขัดข้อง (Average outage duration ;r)
- ค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุขัดข้องประจำปี (Expected annual outage time ;U)
- ค่าเฉลี่ยของโหลดที่หลุดจากระบบ (Average load disconnected ;L)
- ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ (Average energy not supplied ;E)

วิธีการเดิมจะอาศัยหลักการวิเคราะห์แบบ failure modes , effects analysis หรือ minimum cutset [1,2,5,6,7] รวมทั้งพิจารณาเรื่องการสูญเสียความต่อเนื่องทั้งหมด (Total loss of continuity,TLOC) และ การสูญเสียความต่อเนื่องบางส่วน (Partial loss of continuity,PLOC)

วิธีการที่พัฒนาขึ้นจะทำการสร้างแบบจำลองของแต่ละส่วนประกอบโดยให้มี directed arc [14] ที่มีทิศทางตรงข้ามกันมาต่อแบบขนานกันแล้วทำการสร้างเนตเวอร์กตามลักษณะการต่อแบบเดิมของระบบ จากนั้นทำการจำลองเหตุการณ์ตามจำนวนของส่วนประกอบในระบบ โดยจะใช้วิธี maximum flow หรือ network flow [14] โดยทำการกำหนดค่า maximum capacity ของแต่ละส่วนประกอบแทนการเปลี่ยนแปลงเนตเวิร์ก ซึ่งวิธีนี้จะแก้ปัญหากรณีที่ทำการคำนวณโดยใช้วิธี AC หรือ DC loadflow แล้วไม่ลู่เข้าหาคำตอบโดยเฉพาะกรณีเหตุการณ์ที่เกิดการแยกตัวของเนตเวิร์กระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานและโหลดบัสที่สนใจและยังตัดปัญหาในการทำload shedding กรณีที่เกิดโหลดเกินในส่วนประกอบอีกด้วย ในขั้นตอนของกระบวนการถ่ายโอนโหลดกรณีของ PLOC ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการคำนวณค่าเวลาเฉลี่ยที่เกิดโหลดเกิน r_H [2] โดยทำการจำลองเหตุการณ์เดิมที่เกิดขึ้นให้มีการซ่อมแซมทีละส่วนประกอบแล้วพิจารณาว่าเป็นกรณี สถานะโหลดสูง (High-load state) หรือเป็นกรณีสถานะโหลดต่ำ (Low-load state) จากนั้นจึงทำการคำนวณตามเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นเพื่อหาเวลาเฉลี่ยที่เกิดโหลดเกินสำหรับเหตุการณ์นั้นๆ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาขั้นตอนการคำนวณการถ่ายโอนโหลด สำหรับกรณีที่ระบบสามารถทำการถ่ายโอนโหลดได้โดยการหาค่าโหลดที่ถ่ายโอนได้จริงของแต่ละเหตุการณ์จำลองที่เกิดขึ้น

5.1 แบบจำลองส่วนประกอบของระบบไฟฟ้า

ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายสำหรับวิธีการเดิม [2] จะทำการคำนวณ TLOC และ PLOC โดยใช้วิธี minimum cutset ซึ่งวิธีนี้จะมีข้อผิดพลาดเมื่อมีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Active source) ในระบบเนื่องจากในขั้นตอนของการจำลองเหตุการณ์ การไหลของกำลังไฟฟ้าจะไม่สามารถคงสภาพทิศทางการไหลได้เหมือนเช่นกรณีก่อนหน้าที่จะทำการจำลองเหตุการณ์ ดังนั้นการจำลองเหตุการณ์ตามวิธีเดิมจึงไม่สามารถใช้ได้ยกเว้นกรณีที่ไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการสร้างตารางเหตุการณ์ขัดข้องทั้งหมดที่จะเป็นไปได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของส่วนประกอบในระบบไฟฟ้า ดังที่จะอธิบายในหัวข้อต่อไป

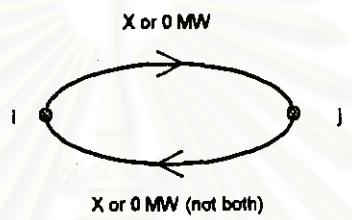
ในการคำนวณ maximum flow เพื่อป้องกันปัญหาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของเนตเวิร์กในขั้นตอนของการจำลองเหตุการณ์ เราจะทำการสร้างแบบจำลองของส่วนประกอบให้เหมือนกันทั้งหมดยกเว้นบัสซึ่งจะแทนด้วยโหนด สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ส่วนประกอบในระบบจำหน่ายจะหมายถึง เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวแยกวงจร (isolator) สายไฟหรือเคเบิล และหม้อแปลง เหตุผลที่ต้องทำการสร้างแบบจำลองของส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าเพื่อทำการสร้าง directional network flow diagram จาก single line diagram เดิมของระบบซึ่งใช้ในขั้นตอนของการจำลองเหตุการณ์ แทนที่จะทำการเปลี่ยนแปลงเนตเวิร์กเราจะทำการกำหนดค่า maximum capacity ของระบบแทนซึ่งคล้ายกับการปิด/เปิดก็อกน้ำแล้วทำการวัดปริมาณน้ำมากสุดที่ไหลได้ที่จุดโหลดที่สนใจ

สำหรับแบบจำลองของส่วนประกอบที่สร้างขึ้นนั้นเราจะแทนด้วยเส้นโค้ง(Arc) ที่มีทิศทางแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เรียกว่า directed arc จากนั้นทำการกำหนดค่า maximum capacity ของแต่ละ directed arc เพื่อใช้ในการคำนวณ maximum flow ทั้งนี้เราสามารถสร้างแบบจำลองของส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าได้สองแบบตามลักษณะการไหลได้ของกำลังไฟฟ้าดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.1 แบบจำลองส่วนประกอบแบบทิศทางเดียว(Unidirectional Component)

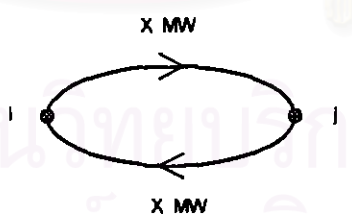
ในระบบจำหน่ายกรณีที่มีผลเนื่องจาก directional relay ซึ่งใช้ในการป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายกระแส ทิศทางของกำลังไฟฟ้าที่ยอมให้จะสามารถไหลได้ทิศทางเดียวดังนั้นเราจะทำการกำหนดค่า maximum capacity ในทิศทางนั้น สำหรับทิศทางตรงข้ามเราจะทำการกำหนดค่า maximum capacity ให้เท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองส่วนประกอบแบบทิศทางเดียว

5.1.2 แบบจำลองส่วนประกอบแบบสองทิศทาง (Bi-directional Component)

แบบจำลองนี้จะใช้กับส่วนประกอบต่างๆที่ไม่มีผลของ directional relay โดยจะทำการกำหนดค่า maximum capacity ให้เท่ากันทั้งสอง directed arc ดังแสดงในรูปที่ 5.2

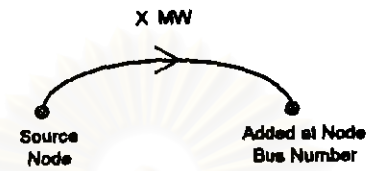


รูปที่ 5.2 แบบจำลองส่วนประกอบแบบสองทิศทาง

5.1.3 แบบจำลองโคเจนเนอเรชัน

สำหรับแบบจำลองโคเจนเนอเรชันในที่นี้หมายถึงแบบจำลองที่ใช้ในการสร้าง directional network flow diagram ซึ่งไม่เหมือนกับแบบจำลองโรงไฟฟ้าที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งใช้ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ย (X MW) ดังแสดงตัวอย่างไว้ในบทที่ 4

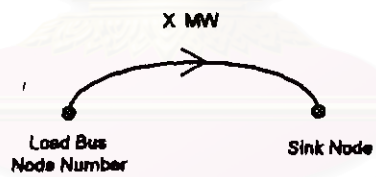
เราจะนำค่ากำลังไฟฟ้าจำลองเฉลี่ยที่ได้มากำหนดเป็นค่า maximum capacity ให้กับแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แบบจำลองส่วนประกอบโคเจนเนอเรชัน

5.1.4 แบบจำลองโหลด

แบบจำลองโหลดดังแสดงในรูปที่ 5.4 นั้นเราจะกำหนดค่าโหลดสูงสุดรวมของแต่ละโหลดบัสเป็นค่า maximum capacity (X MW) ในแบบจำลอง



รูปที่ 5.4 แบบจำลองส่วนประกอบโหลด

5.2 เทคนิคการจำลองเหตุการณ์

ในขั้นตอนของการจำลองเหตุการณ์ต่างๆ เราจะทำการสร้างตารางเหตุการณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Events table) ซึ่งขึ้นกับจำนวนส่วนประกอบในระบบจำหน่ายที่พิจารณา จากนั้นหาสมาชิกใน sample space ซึ่งเราสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้โดยกลุ่มแรกจะเป็นบัสทั้งหมดในระบบจำหน่ายยกเว้นบัสที่สมมุติเป็นแหล่งจ่ายพลังงานขนาดใหญ่ (Bulk Supply Point, B.S.P.) กลุ่มที่สองจะเป็นส่วนประกอบต่างๆในระบบได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวแยกวงจร(isolator) สายไฟหรือเคเบิล และหม้อแปลง ซึ่งจะต้องไม่รวมในส่วนที่เป็นโหลดและโคเจนเนอเรชัน จากนั้นทำการสร้างตารางเหตุการณ์ทั้งหมดที่เป็นไปได้โดยใช้วิธี combinations probability สำหรับกรณี first

order passive เราจะสร้างตาราง first-order passive event table ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นบัสและส่วนที่สองจะเป็นส่วนประกอบของระบบ สำหรับกรณี second-order passive เราจะสร้างตาราง second-order passive event table ซึ่งเราจะทำการจับคู่สมาชิกใน sample space ที่กำหนดไว้ซึ่งประกอบเป็นทั้งหมดสามส่วนคือ บัส-บัส บัส-ส่วนประกอบ และส่วนประกอบ-ส่วนประกอบ หลังจากนั้นทำการคำนวณ maximum flow ตามเหตุการณ์ทั้งหมดในตารางเหตุการณ์ที่สร้างไว้ ทั้งนี้ในแต่ละเหตุการณ์เราจะกำหนดค่า maximum capacity ของส่วนประกอบให้เท่ากับศูนย์ซึ่งเราจะสรุปวิธีการในท้ายบทนี้ จากนั้นทำการบันทึกค่า maximum flow ของแต่ละโหลดบัสที่สนใจเก็บไว้ในตารางเพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยจะทำการแยกชนิดที่เกิด TLOC และ PLOC สำหรับแต่ละโหลดบัสที่สนใจ สำหรับเหตุการณ์ที่สามารถจ่ายโหลดได้ทั้งหมดเราจะไม่นำมาพิจารณา

ความหมายของ TLOC ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะถือว่าเป็นกรณีเหตุการณ์ที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดบัสที่สนใจได้ทั้งหมด และนิยาม PLOC ว่าเป็นเหตุการณ์ขัดข้องที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดบัสที่สนใจได้บางส่วน

การคำนวณค่าผลรวมของ TLOC นั้นเราจะทำการคำนวณจากเหตุการณ์ขัดข้องทั้งสองประเภทคือ first และ second order passive events โดยเราจะพิจารณากรณี TLOC ทั้งหมดที่เกิด first order รวมกับกรณี TLOC จาก second order ซึ่งไม่รวมเหตุการณ์ TLOC ที่มาจาก first order ด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเหตุการณ์ซ้ำซ้อนกัน สำหรับกรณี PLOC เราจะเลือกทุกเหตุการณ์ทั้งกรณี first-order และ second-order passive สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราจะไม่พิจารณากรณี active failure [2]

หัวข้อต่อไปเราจะอธิบายการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายโดยพิจารณาผลของ TLOC และ PLOC ทั้งกรณีที่ไม่สามารถถ่ายโอนโหลดได้ และกรณีที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้ โดยทั้งสองกรณีนั้นการคำนวณ TLOC และ PLOC มีวิธีการคำนวณเหมือนกันเพียงแต่กรณีที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้จะมีกระบวนการในการถ่ายโอนโหลดเกิดขึ้นระหว่างโหลดบัส (Substate) ผ่าน normally open switch ที่ต่ออยู่ระหว่างโหลดบัสนั้นๆ ซึ่งเราจะต้องทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถถ่ายโอนได้จริงในแต่ละ substate ที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายได้ของระบบต่อไป

5.3 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณีที่เกิดความสูญเสียทั้งหมด (Total loss of continuity, TLOC) [2]

การคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราการเกิดความล้มเหลว (λ) ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาการเกิดเหตุขัดข้อง (r) และค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุขัดข้องประจำปี (U) สามารถใช้หลักการตามที่กล่าวไว้ในหนังสือ [2] หรือดูได้จากภาคผนวกท้ายเล่ม สำหรับค่าเฉลี่ยของโหลดที่หลุดจากระบบ (L) และค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ (E) สามารถหาได้เพียงทราบค่าเฉลี่ยโหลดของโหลดบัสที่สนใจซึ่งเป็นข้อมูลที่กำหนดให้ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} L &= L_a \\ &= L_p \times LF \end{aligned} \tag{5.1}$$

โดยที่

L = ค่าเฉลี่ยของโหลดที่หลุดจากระบบ (MW)

L_a = ค่าเฉลี่ยโหลดของโหลดบัสที่สนใจ (MW)

L_p = ค่าโหลดสูงสุดของโหลดบัสที่สนใจ (MW)

LF = load factor ของโหลดบัสที่สนใจ

$$E = L \times U \tag{5.2}$$

โดยที่

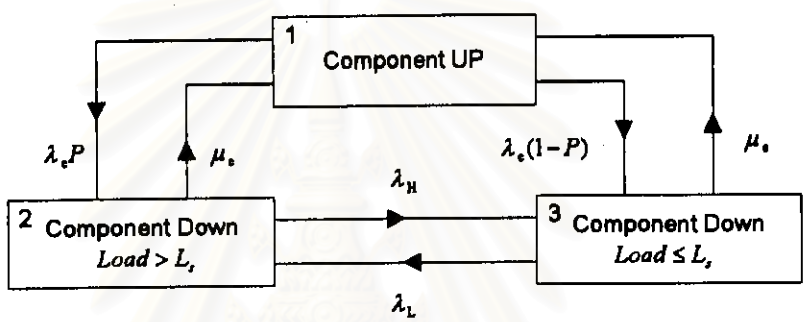
E = ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ (MWh/yr)

U = ค่าเฉลี่ยของการเกิดเหตุขัดข้องประจำปี (hr./yr)

จากนั้นคำนวณค่าดัชนี customer-orientated indices เพิ่มเติมซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ให้ไว้ในภาคผนวกท้ายเล่ม

5.4 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณีที่เกิดความสูญเสียบางส่วน (Partial loss of continuity, PLOC) [2]

การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณี PLOC เราจะพิจารณาจากแบบจำลองในรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดง state space diagram ของระบบในกรณีที่เกิดสถานะโหลดสูง (High-load state) และสถานะโหลดต่ำ (Low-load state)



รูปที่ 5.5 แสดง state-space diagram ของ PLOC

จากรูป สถานะ 1 คือสถานะปกติ สถานะ 2 คือสถานะหลังจากที่เกิดเหตุการณ์เหตุขัดข้องของส่วนประกอบในระบบแล้วทำให้ไม่สามารถจ่ายโหลด ณ โหลดบัสที่สนใจได้ทั้งหมด เราจะเรียกสถานะนี้ว่า สถานะโหลดสูง (High-load state) ซึ่งเป็นสถานะการเกิดการล้มเหลว (Failure state) สำหรับ สถานะ 3 คือสถานะที่ยังสามารถทำการจ่ายโหลดได้ถึงแม้ว่าจะเกิดเหตุการณ์เหตุขัดข้องของส่วนประกอบในระบบ เราจะเรียกสถานะนี้ว่า สถานะโหลดต่ำ (Low-load state) สำหรับตัวแปรที่แสดงในรูปที่ 5.5 มีความหมายดังต่อไปนี้

λ_e = อัตราการเกิดเหตุขัดข้อง หาได้จากบทที่ 8 ของหนังสือ [2] หรือจากภาคผนวกที่ให้ไว้ในท้ายเล่มซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราจะพิจารณาเฉพาะกรณี permanent failure หรือ total failure เท่านั้น

μ_e = ส่วนกลับค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เกิดเหตุขัดข้อง r_e

L_s = ค่าโหลดสูงสุดของโหลดบัสที่สนใจที่สามารถจ่ายได้ในขณะที่เกิดเหตุขัดข้อง

P = ค่าความน่าจะเป็นของโหลดที่เกินค่า L_s

λ_H = อัตราการเปลี่ยนสถานะจาก high-load state ไปยัง low-load state หรือมีค่าเท่ากับส่วนกลับค่าเฉลี่ยของเวลาที่เกิด high-load state ,r_H

λ_L = อัตราการเปลี่ยนสถานะจาก low-load state ไปยัง high-load state หรือมีค่าเท่ากับส่วนกลับค่าเฉลี่ยของเวลาที่เกิด low-load state ,r_L

จากการคำนวณ state-space diagram จะพบว่า อัตราการเกิดเหตุขัดข้องของเหตุการณ์ที่เป็น PLOC คำนวณได้จากสมการ [2]

$$\lambda = \lambda_e P + \lambda_e (1-P)\lambda_L \frac{r_e r_L}{r_e + r_L} \qquad (5.3)$$

สำหรับค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่เกิด PLOC คำนวณได้จากสมการ

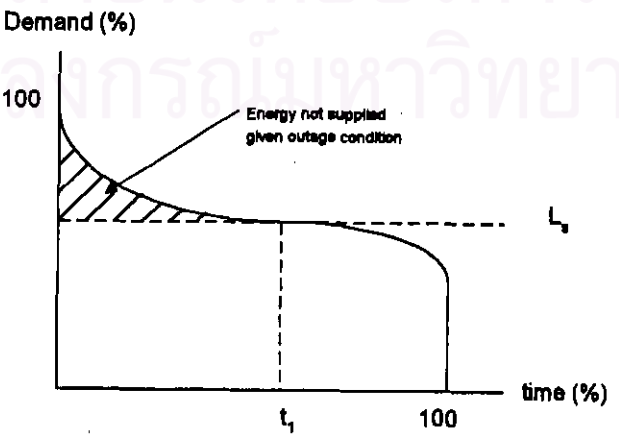
$$r = \frac{r_e r_L}{r_e + r_L} \qquad (5.4)$$

$$r = r_e \qquad (5.5)$$

สมการที่ (5.4) จะใช้เมื่อโหลดเกินนั้นถูกต่อเข้าหรือปลดออกจากระบบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก สถานะ 2 ไปยัง สถานะ 3 ซึ่งเราจะใช้วิธีนี้เมื่อสามารถทำการสวิตช์โหลดได้ง่าย เช่นกรณีที่สามารถควบคุมระยะไกลได้

สมการที่ (5.5) จะใช้เมื่อโหลดเกินนั้นเมื่อถูกปลดออกจากระบบแล้ว จะคงสภาพการปลดออกต่อไปจนกว่าจะทำการซ่อมแซมส่วนประกอบนั้นเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการนี้เป็นการป้องกันการสวิทช์โหลดด้วยมือมากเกินไปซึ่งมักจะใช้กับบริเวณชานเมืองหรือบริเวณที่ห่างไกล

สำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยโหลดที่หยุดจากระบบ ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของโหลดที่เกินค่าสูงสุดของโหลดที่สามารถจ่ายได้ (L_s) ดังรูปที่ 5.6 ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ค่า L_s หาได้จากการคำนวณ maximum flow โดยใช้ค่าโหลดสูงสุดของแต่ละโหลดบัสในการคำนวณ



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟช่วงเวลาโหลดที่ใช้ในการคำนวณค่า L และ E

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดเราสามารถสรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า λ, r, U, L และ E สำหรับเหตุการณ์ที่เกิด PLOC ได้ดังต่อไปนี้ [2]

$$\lambda = \lambda_e P + \lambda_e (1-P)\lambda_L \frac{r_e r_L}{r_e + r_L} \tag{5.6}$$

$r = \frac{r_e r_L}{r_e + r_L}$ กรณีโหลดที่มีค่าสูงเกินนั้นยังไม่ได้รับการต่อกลับเข้าสู่ระบบ จนกว่าเหตุขัดข้องถูกซ่อมแซมเสร็จ (5.7)

$r = r_e$ กรณีโหลดถูกปลดและต่อกลับเข้าระบบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดเกิดขึ้น (5.8)

$$U = \lambda r \tag{5.9}$$

$$L = \frac{\int_0^{t_1} L(t)dt - L_s t_1}{t_1} \tag{5.10}$$

$$E = LU \tag{5.11}$$

โดยที่

L(t) = กราฟช่วงเวลาโหลด (load-duration curve)

t_1 = ระยะเวลาที่เกิดสถานะโหลดสูง

สำหรับกรณีที่เกิด PLOC หลายๆเหตุการณ์ เราสามารถหาค่าดัชนีของ PLOC ทั้งหมดสำหรับโหลดบัสที่สนใจได้โดยใช้หลักการของการต่ออนุกรม [ ] ตามสมการ

$$\lambda_P = \sum \lambda \tag{5.12}$$

$$U_P = \sum U \tag{5.13}$$

$$E_P = \sum E \tag{5.14}$$

$$r_P = U_P / \lambda_P \tag{5.15}$$

$$L_P = E_P / U_P \tag{5.16}$$

5.5 กราฟส่วนขยายช่วงเวลาโหลด (Extended load-duration curve) [2]

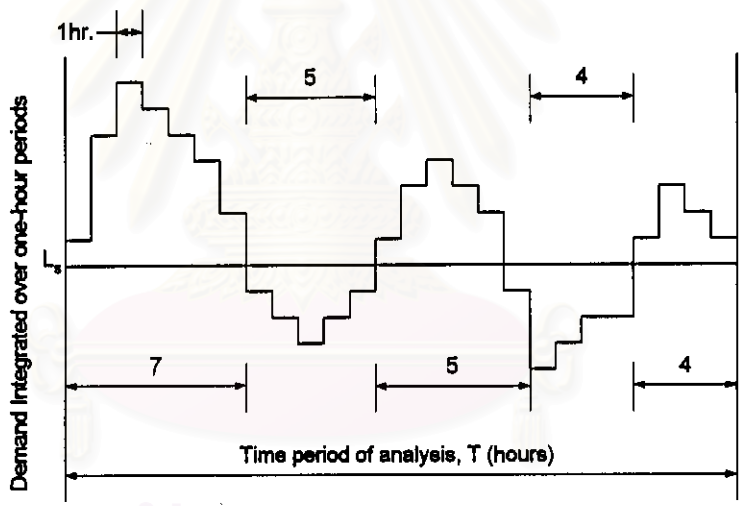
ในการคำนวณค่า L และ E สำหรับเหตุการณ์ที่เกิด PLOC ในหัวข้อก่อน จำเป็นต้องทราบกราฟช่วงเวลาโหลดของแต่ละโหลดบัสที่สนใจ ข้อมูลโดยทั่วไปเราจะไม่ทราบค่าโดยละเอียดที่จุดโหลดที่สนใจในระบบจำหน่าย แต่เราสามารถทำการประมาณให้มีค่าที่ใกล้เคียงได้เพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย

การคำนวณ λ ในสมการ (5.6) เราจำเป็นต้องทราบค่า λ_L r_L และ r_H ซึ่งแต่เหล่านี้มีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$\lambda_L = \frac{P}{1-P}\lambda_H = \frac{P}{1-P} \times \frac{1}{r_H} \qquad (5.17)$$

$$r_L = \frac{1}{\lambda_L} = \frac{1-P}{P} \times r_H \qquad (5.18)$$

จากสมการพบว่าถ้าทราบค่า r_H ซึ่งหาได้จากการเก็บข้อมูลในสนามจะสามารถคำนวณหาค่าที่เหลือได้ทั้งหมด ค่า r_H นี้หาได้จากการทำ integration ของ load demand ในช่วงเวลาสั้นๆเช่น ½ ชั่วโมง 1 ชั่วโมง ฯลฯ โดยเปรียบเทียบกับค่า L_s ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงดีมานแบบรายชั่วโมง

ถ้านิยามค่า n หมายถึงจำนวนช่วงเวลา (ชั่วโมง) ที่เกิดโหลดเกิน f หมายถึงจำนวนครั้งที่เกิดโหลดเกิน และ T หมายถึงช่วงเวลา (ชั่วโมง) ที่พิจารณาทั้งหมด ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่า r_H และ P ได้จากสมการ

$$r_H = \frac{n}{f} = \frac{7+5+4}{3} = 5.33 \ hr.$$

$$P = \frac{n}{T} = \frac{7+5+4}{7+5+5+4+4} = 0.64$$

เมื่อทำการพิจารณาจนครบทุกระดับโหลด จะได้ค่า r_H และ P ที่แท้จริง ดังนั้นเราจึงนิยามกราฟในรูปที่ 5.7 ว่า กราฟส่วนขยายช่วงเวลาโหลด (Extended load-duration curve) [2]

ความเป็นจริงแล้วข้อมูลกราฟส่วนขยายช่วงเวลาโหลดสำหรับแต่ละโหลดบัสนั้นอาจจะไม่มีอยู่จริง ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปอาจจะพอหาจากค่าตัวประกอบโหลดและค่าโหลดสูงสุดแทน ดังนั้นเราจึงทำการพัฒนาเทคนิคการคำนวณค่า r_H โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.) กรณี first-order passive

ค่า r_H ในกรณีนี้จะเท่ากับค่า r ของแต่ละส่วนประกอบนั้นๆ

$$r_H = r \qquad (5.19)$$

2.) กรณี second-order passive

กรณีนี้เราจะต้องทำการตรวจสอบ สถานะ ของแต่ละส่วนประกอบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นว่าเป็น สถานะ ชนิด high-load state หรือ low-load state เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า r_H ซึ่งเราสามารถแยกเป็นแต่ละกรณีได้ดังต่อไปนี้

สมมุติว่าเหตุการณ์ที่เกิด second-order passive มีส่วนประกอบดังนี้ {a,b}

- กรณี {a} UP เกิด High-load state และ {b} UP เกิด Low-load state

กรณีนี้เราจะใช้สมการ

$$r_H = r_{\{b\}} \qquad (5.20)$$

เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากค่า r_H คือเวลาเฉลี่ยที่เกิด high-load state ดังนั้นเมื่อทำการสมมุติให้ส่วนประกอบ {b} UP แล้วเกิด low-load state ดังนั้นเวลาซ่อมแซมของส่วนประกอบ {b} จึงเป็นค่าเวลาเฉลี่ยของ high-load state นั่นเอง

- กรณี {a} UP เกิด Low-load state และ {b} UP เกิด High-load state

กรณีนี้เราจะใช้สมการ

$$r_H = r_{\{a\}} \qquad (5.21)$$

- กรณี {a} UP เกิด Low-load state และ {b} UP เกิด Low-load state

กรณีนี้เราจะใช้สมการ

$$r_H = \frac{r_{\{a\}} \times r_{\{b\}}}{r_{\{a\}} + r_{\{b\}}} \qquad (5.22)$$

ค่า r_H นี้หาได้โดยใช้สมการแบบขนาน [1,2] เนื่องจากส่วนประกอบใดเพียงส่วนประกอบหนึ่ง UP จะทำให้เกิด low-load state

- กรณี {a} UP เกิด High-load state และ {b} UP เกิด High-load state

กรณีนี้เราจะใช้สมการ

$$r_H = \frac{\lambda_{\{a\}} r_{\{a\}} \times \lambda_{\{b\}} r_{\{b\}}}{\lambda_{\{a\}} + \lambda_{\{b\}}} \qquad (5.23)$$

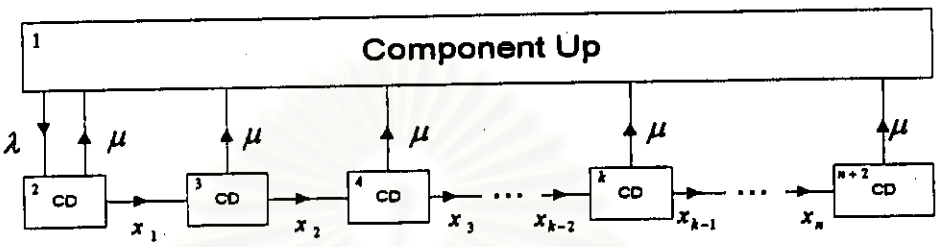
ค่า r_H กรณีนี้หาได้โดยใช้สมการ series system เนื่องจากจะต้องทำให้ทั้งสองส่วนประกอบ UP จึงจะทำให้เกิด low-load state

5.6 ผลกระทบจากการถ่ายโอนโหลดต่อค่าดัชนีความเชื่อถือได้ [2]

โหลดในระบบจำหน่ายโดยทั่วไปจะเป็นลักษณะกระจายตลอด feeder ซึ่งจ่ายมาจากโหลดบัส สำหรับระบบที่ไม่สามารถทำการถ่ายโอนโหลดได้เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายโอนโหลดเช่น normally open points ระหว่างโหลดบัส ในลักษณะนี้เราสามารถพิจารณาโหลดของแต่ละโหลดบัสเป็นโหลดรวม (lumped load) ซึ่งใช้กันทั่วไป

สำหรับกรณีระบบที่สามารถทำการถ่ายโอนโหลดได้โดยใช้ normally open points ระหว่างโหลดบัส ในลักษณะนี้เราจะพิจารณาโหลดของแต่ละโหลดบัสมีลักษณะกระจายตลอด feeder ซึ่งโดยทั่วไปจะทำการสมมุติให้การกระจายเป็นแบบต่อเนื่องตลอด ประโยชน์ที่ได้จากการถ่ายโอนโหลดระหว่างโหลดบัส จะพบว่าสามารถช่วยลดค่าเฉลี่ยพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้เมื่อเกิด TLOC และ PLOC ได้อย่างมาก ซึ่งสามารถช่วยจ่ายโหลดที่ไม่สามารถจ่ายได้ให้เหลือน้อยมาก หรือบางครั้งอาจจะสามารถจ่ายโหลดได้ทั้งหมด ดังแสดงให้เห็นในตัวอย่างของบทถัดไป

5.6.1 แบบจำลองระบบที่สามารถถ่ายโอนได้ [2]



รูปที่ 5.8 state-space diagram ของแบบจำลองกรณีระบบที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้

จากรูป แสดงกระบวนการในการถ่ายโอนโหลด โดย สถานะ แรกคือกรณีระบบอยู่ในสภาวะปกติ สถานะ ที่สองแสดงถึงกรณีที่เริ่มเกิดเหตุการณ์ขัดข้องซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียโหลดทั้งหมด (TLOC) หรือเกิดการสูญเสียโหลดบางส่วน (PLOC) จากนั้นจึงทำการถ่ายโอนโหลด สำหรับระบบที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้โดยที่ สถานะ 3 แสดงถึง สถานะ แรกที่ทำการถ่ายโอนโหลด จากนั้นจึงทำการตรวจสอบว่าโหลดที่สูญเสียสามารถจ่ายกลับคืนได้หมดหรือไม่ถ้ายังจึงทำการถ่ายโอนโหลดต่อไปตามลำดับของการถ่ายโอนโหลดที่ได้กำหนดไว้ จากรูปแสดงจำนวนการถ่ายโอนโหลดทั้งหมด n ครั้งโดยเริ่มจาก สถานะ 3 จนถึง สถานะ (n+2) ในการถ่ายโอนโหลดเราไม่จำเป็นต้องทำการถ่ายโอนโหลดให้ครบตามจำนวนทั้งหมดที่ได้กำหนดไว้ เนื่องจากอาจเกิดกรณีที่สามารถจ่ายโหลดได้ครบตามจำนวนได้ก่อน ทั้งกรณี TLOC และ PLOC ค่า x_i หมายถึงอัตราการสวิทชิ่งของการถ่ายโอนโหลดซึ่งเราสามารถหาได้จากส่วนกลับของค่าเวลาในการสวิทชิ่ง

ทุก สถานะ ที่แสดงในรูปยกเว้น สถานะ 1 เป็น failure state ของโหลดบัสดังนั้นอัตราการเกิดความล้มเหลวของโหลดบัส และค่าระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดความล้มเหลวจะมีค่าเดียวกันกับกรณีเป็นระบบที่ไม่สามารถถ่ายโอนโหลดได้ ดังนั้นขั้นตอนการคำนวณจึงต้องทำการหาค่าความพร้อมมูลของแต่ละ substate ค่าโหลดที่สามารถถ่ายโอนได้จริง และค่าพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ของแต่ละ substate แล้วใช้วิธี conditional probability เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยโหลดที่หยุดจากระบบ L และค่าเฉลี่ยพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ E การคำนวณค่าความพร้อมมูลเราสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ recursive ดังนี้ [2]

$$P_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{5.24}$$

$$P_2 = \frac{\lambda\mu}{(\lambda + \mu)(\mu + x_1)} \tag{5.25}$$

$$P_k = \frac{P_{k-1}x_{k-2}}{\mu + x_{k-1}} \tag{5.26}$$

$$P_{n+2} = 1 - \sum_{i=1}^{n+1} P_i \tag{5.27}$$

5.6.2 เทคนิคการคำนวณ

การถ่ายโอนโหลดมีข้อจำกัดที่จะต้องพิจารณา คือ

1) capacity ของ feeder ที่จะถ่ายโอน

2) capacity ของ feeder ที่ช่วยจ่ายโหลด

3) capacity ของจุดโหลดใหม่ที่ช่วยจ่ายโหลด

ข้อจำกัดสองข้อแรกเราสามารถประเมินได้จากการเปรียบเทียบ load and capacity profile [2] ของสาย feeder ส่วนข้อจำกัดสุดท้ายเราประเมินได้จากการคำนวณ loadflow ซึ่งเราจะใช้วิธี maximum flow ในการคำนวณ เพื่อตัดปัญหากรณีการวนซ้ำเนื่องจากโหลดที่ถ่ายโอนได้ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบ load and capacity profile เราจะทำการเพิ่มโหลดให้กับโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลดแล้วใช้ maximum flow คำนวณหาโหลดที่ถ่ายโอนได้จริงในแต่ละ substate ของ state space diagram วิธีการเพิ่มโหลดทำได้โดยการตั้งค่า maximum capacity ของโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลดใหม่โดยทำการลบค่าโหลดของ feeder ที่ช่วยจ่ายโหลดออกแล้วใช้ค่า maximum capacity ของ feeder นั้นแทน ดังสมการ

$$L_{a,new} = L_{a,old} - (l_f)_i + (MW_f)_i \tag{5.28}$$

โดยที่

$L_{a,new}$ = ค่า peak load ที่ปรับค่าแล้วของโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลด (MW)

$L_{a,old}$ = ค่า peak load จริงของโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลด (MW)

$(l_f)_i$ = ค่า peak load จริงของ feeder (f) ของโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลด (MW) ในแต่ละ substate i

$(MW_f)_i$ = ค่า maximum capacity ของ feeder ของโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลด (MW) ในแต่ละ substate i

i = substate number iใน state space diagram รูปที่ 5.8

จากนั้นนำไปคำนวณ maximum flow เพื่อหาโหลดที่ถ่ายโอนได้ ซึ่งเราสามารถหาได้จากการนำค่าโหลดจริงของโหลดบัสที่ช่วยถ่ายโอนโหลดไปลบออกจากค่าที่หาได้จากการคำนวณ maximum flow ดังสมการ

$$(L_{pt})_i' = \alpha - L_{a,old} \tag{5.29}$$

โดยที่

$(L_{pt})_i'$ = ค่า peak load ที่ถ่ายโอนได้จากการคำนวณ maximum flow (MW) ในแต่ละ substate i

α = ค่าโหลดสูงสุดที่จ่ายได้ของโหลดบัสที่ช่วยจ่ายโหลด (MW) ซึ่งได้จาก maximum flow

ค่า $(L_{pt})_i'$ นี้ยังไม่ใช่ค่าโหลดที่ถ่ายโอนได้จริงเราจะต้องทำการเปรียบเทียบกับค่าโหลดที่ยังไม่ได้รับการจ่ายของโหลดบัสที่สนใจโดยทำการเลือกค่าที่น้อยที่สุดซึ่งจะเป็นค่าโหลดที่ถ่ายโอนได้จริง $(L_{pt})_i$ ในแต่ละ substate นั้นจากนั้นทำการคำนวณค่าโหลดที่ยังไม่ได้รับการจ่ายที่เหลือได้จากสมการ

$$(L_{pd})_i = L_p - (L_{pt})_i - L_s \tag{5.30}$$

โดยที่

$(L_{pd})_i$ = ค่า peak load ที่ยังไม่ได้รับการจ่ายสุทธิ (MW) ในแต่ละ substate i

L_p = ค่า peak load (MW) ของโหลดบัสที่สนใจ

$(L_{pt})_i$ = ค่า peak load ที่ถ่ายโอนได้จริง (MW) ในแต่ละ substate i

L_s = ค่า peak load ที่จ่ายได้อยู่ก่อนแล้วก่อนที่จะเริ่มทำการถ่ายโอนโหลด (MW)

จากค่า $(L_{pd})_i$ ที่ได้เราสามารถทำการคำนวณค่าเฉลี่ยโหลดที่ไม่ได้รับการจ่าย (L) (MW) ในแต่ละ substate ได้จากสมการ

$$(L)_i = (L_{pd})_i \times LF \tag{5.31}$$

โดยที่

$(L)_i$ = ค่าเฉลี่ยโหลดที่ไม่ได้รับการจ่าย (MW) ในแต่ละ substate i

LF = load factor ของ โหลดบัส

สำหรับค่าเฉลี่ยพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้คำนวณได้จากสมการ

$$(E)_i = (L)_i \times P_i \times 8760 \tag{5.32}$$

โดยที่

$(E)_i$ = ค่าเฉลี่ยพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่าย (MWh/yr.) ในแต่ละ substate i

P_i = ค่า ความพร้อมมูล ของแต่ละ substate i ใน state space diagram

หลังจากนั้นทำการรวมผลของแต่ละ substate ที่เป็น failure state (i = 2,...,n+2) จะได้ค่า E และคำนวณค่า L ของเหตุการณ์ที่เกิด PLOC ได้จากสมการ

$$E = \sum_{i=2}^{n+2} (E)_i \tag{5.33}$$

$$L = E/U \tag{5.34}$$

5.7 สรุปขั้นตอนการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย

เนื่องจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้เราใช้ Scilab เวอร์ชัน 2.4.1 และใช้ toolbox Metanet ในส่วนของการคำนวณ maximum flow ดังนั้นขั้นตอนบางอย่างจำเป็นต้องทำการจัดรูปแบบให้สอดคล้องกับโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ สำหรับผู้ที่สนใจสามารถ download คู่มือการใช้ได้ที่ http://www-rocq.inria.fr/scilab สำหรับแผนผังการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายจะแสดงในรูปที่ 5.9 โดยในรายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณสามารถสรุปได้ดังนี้

1.) สร้าง directional network flow diagram โดยใช้แบบจำลองส่วนประกอบที่กล่าวไว้แทนลงใน single line diagram และพิจารณาบัสให้เป็นเสมือนโหนดในไดอะแกรม

2.) กำหนดหมายเลขโหนดให้แก่บัสก่อน แล้วทำการกำหนดหมายเลขโหนดให้กับ source node และ sink node ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงทำการกำหนดหมายเลขโหนดให้แก่ส่วนประกอบภายในที่ต่อเข้าด้วยกันของเนตเวิร์ก สำหรับบัสที่เป็น Bulk Supplied Point เราไม่จำเป็นต้องกำหนดหมายเลขโหนด

3.) กำหนดหมายเลขส่วนประกอบ โดยจะทำการกำหนดหมายเลขให้แก่ส่วนประกอบภายในเนตเวิร์กก่อน จากนั้นจึงกำหนดหมายเลขโหลด และกำหนดหมายเลขโคเจนเนอเรชันตามลำดับ

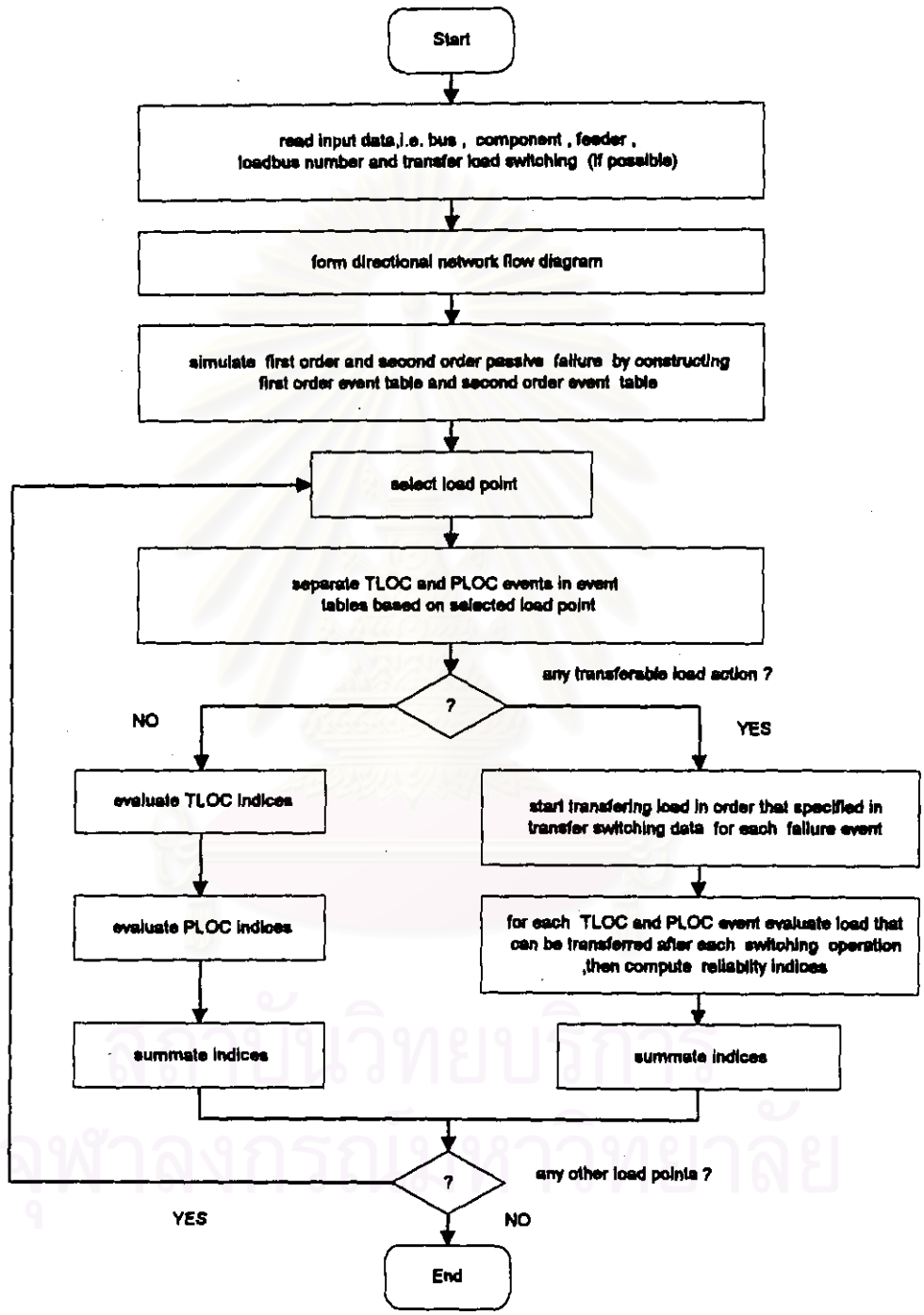
4.) พิจารณาโหลดบัสที่สนใจ เริ่มจำลองเหตุการณ์ตามตารางเหตุการณ์ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้โดยทำการกำหนดค่า maximum capacity ของสมาชิกที่ถูกจำลองให้เท่ากับศูนย์ ในการจำลองเหตุการณ์กรณีที่เป็นบัสเราจะต้องทำการหา directed-arc ที่ต่ออยู่กับบัสนั้นโดยอาศัยหลักการของ predecessor และ successor node ซึ่งจะต้องไม่รวมกรณี directed-arc ที่เป็นโหลด และโคเจนเนอเรชัน สำหรับส่วนประกอบอื่นๆ เราสามารถกำหนดค่า maximum capacity ให้เท่ากับศูนย์ได้โดยไม่ต้องตรวจสอบ

ในขั้นตอนนี้จากที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 5.2 เราจะทำการคำนวณเหตุการณ์ทั้งหมดพร้อมกันโดยทำการสร้างตารางเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ แล้วจึงทำการเลือกเหตุการณ์ที่เกิด TLOC หรือ PLOC ตามโหลดบัสที่กำลังพิจารณาอยู่

5.) พิจารณาว่าระบบสามารถถ่ายโอนโหลดได้หรือไม่ จากนั้นทำการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณี TLOC และ PLOC โดยจะพิจารณาผลการถ่ายโอนโหลดเพิ่มเติมในแต่ละเหตุการณ์ที่จำลองให้เกิดขึ้นเฉพาะกรณีระบบที่สามารถถ่ายโอนโหลดได้

6.) คำนวณซ้ำตั้งแต่ต้นจนครบทุกโหลดบัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 แสดงแผนผังการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย