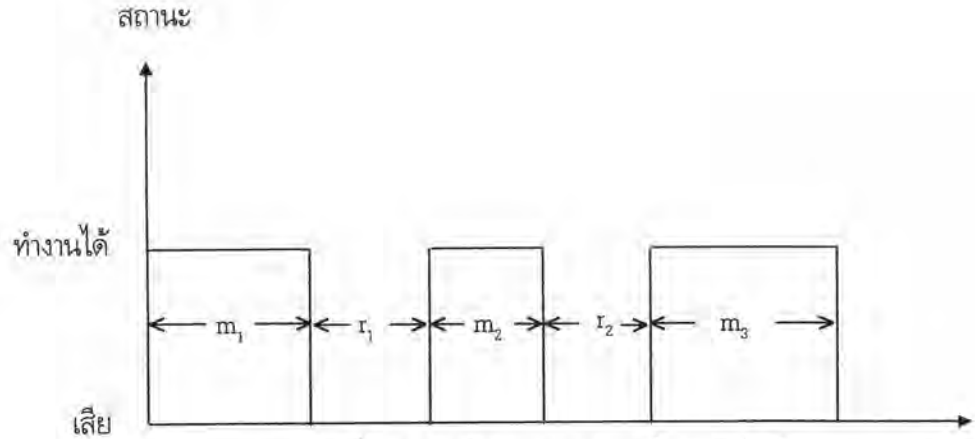
บทที่ 3

แบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้าที่พิจารณา เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง หรือหม้อแปลงนั้นมีลักษณะการทำงานเป็นคาบเวลาระหว่างสถานะที่ทำงานได้หรือทำงานไม่ได้สลับกันไป [5] โดยสถานะที่ทำงานไม่ได้นั้นมักเกิดจากการที่อุปกรณ์ขัดข้องหรือเสียหายแต่หลังจากทำการซ่อมแซมเสร็จเรียบร้อยแล้วก็สามารถใช้งานได้ต่อไป หากพิจารณาอุปกรณ์ที่มีแบบจำลองการทำงานเป็นแบบ 2 สถานะคือทำงานได้และเสียนั้น โดยทั่วไปการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้จะมีลักษณะเป็นคาบเวลาดังแสดงในรูปที่ 3.1

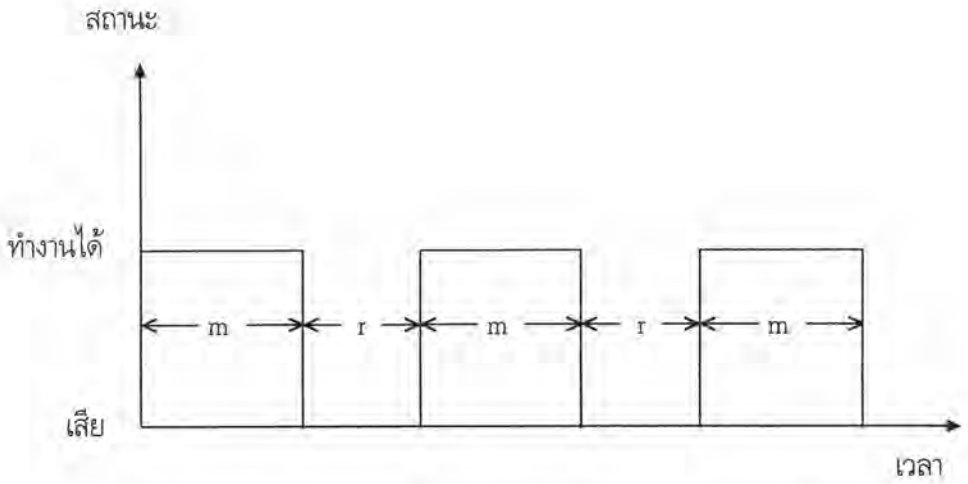


รูปที่ 3.1 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

เมื่อ m_i คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ในครั้งที่ i

r_i คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์เสียในครั้งที่ i

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่ทำงานได้กับช่วงเวลาที่เสียในแต่ละช่วงอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการพิจารณาแบบจำลองของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเพื่อแทนการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวในระยะยาวจะสามารถประมาณเป็นระยะเวลาเฉลี่ยในสถานะที่ทำงานได้ และระยะเวลาเฉลี่ยในสถานะที่ทำงานไม่ได้[5] ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเมื่อประมาณช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ใน แต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย

m คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้

r คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์เสีย

รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าเราสามารถใช้ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาในการทำงานและหยุดเครื่องเสียนั้นเป็นตัวแทนข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์เพื่อใช้ในการประเมินพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆต่อไป

3.1 แนวคิดพื้นฐานทางด้านความถี่และช่วงเวลา

แนวคิดทางด้านความถี่และช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์สามารถอธิบายได้ดีที่สุดในเทอมของอุปกรณ์ที่สามารถซ่อมได้ (Repairable component) ดังรูปที่ 2.3 ในบทที่2 จะเห็นว่า สถานะการทำงานของอุปกรณ์มี 2 สถานะคือ ดี (Operable) และสถานะเสีย (Failed) โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะดีไปยังสถานะเสียคือ λ (Failure rate) และอัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะเสียไปยังสถานะดีคือ μ (Repair rate)

หากกำหนดให้ $p(s)$ คือ ความน่าจะเป็นของภาวะที่อยู่ในสถานะ s

$m(s)$ คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่อยู่ในสถานะ s

$T(s)$ คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยเมื่อกลับมาสู่สถานะ s อีกครั้งหรือคาบของเวลา

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$p(s) = \frac{m(s)}{T(s)} \tag{3.1}$$

จากรูปที่ 3.2 ความน่าจะเป็นที่อยู่ในสถานะ 0 และสถานะ 1 แสดงได้ดังสมการที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$p_0 = \frac{m}{m+r} \tag{3.2}$$

$$p_1 = \frac{r}{m+r} \tag{3.3}$$

ในบทที่ 2 เราจะได้ว่า

$$p_0 = \frac{\mu}{\mu+\lambda} \tag{3.4}$$

$$p_1 = \frac{\lambda}{\mu+\lambda} \tag{3.5}$$

เมื่อ λ = อัตราการเสียของอุปกรณ์ (Failure rate)

μ = อัตราการซ่อมของอุปกรณ์ (Repair rate)

m = เวลาโดยเฉลี่ยของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานะดี

r = เวลาโดยเฉลี่ยของอุปกรณ์ที่อยู่ในสถานะเสีย

จากสมการที่ 3.2 ถึง 3.5 ค่า μ กับ r มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3.6

$$\mu = \frac{1}{r} \tag{3.6}$$

และค่า λ กับ m มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 3.7

$$\lambda = \frac{1}{m} \tag{3.7}$$

จากรูปที่ 3.2 ช่วงเวลา m คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์ตัวนั้นสามารถทำงานได้หรือ Mean Time To Failure (MTTF) ส่วนช่วงเวลา r คือ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์ตัวนั้นๆเสียเพื่อนำไปซ่อมและนำกลับมาใช้ได้หรือ Mean Time To Repair (MTTR) และ T คือคาบการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $m+r$ หรือเรียกว่า Mean Time Between Failure (MTBF) โดยปกติแล้วช่วงเวลา m จะมีค่ามากกว่า r เสมอเพราะว่าช่วงเวลาซ่อมจะไม่นานนัก
ดังนั้น

$$m = MTTF = 1/\lambda$$
$$r = MTTR = 1/\mu$$
$$T = MTBF = m+r = 1/f \text{ โดย } f \text{ คือ ความถี่}$$

จากสมการที่ 3.2 จะได้ว่า

$$p_0 = \frac{m}{m+r} = \frac{m}{T} = \frac{1}{\lambda T} = \frac{f}{\lambda} \tag{3.8}$$

และจากสมการที่ 3.3 จะได้ว่า

$$p_1 = \frac{r}{m+r} = \frac{r}{T} = \frac{1}{\mu T} = \frac{f}{\mu} \tag{3.9}$$

จากสมการที่ 3.8 และ 3.9 จะได้ว่า ความถี่คือ

$f = p_0\lambda$ = (ความน่าจะเป็นที่อยู่ในสถานะนั้นๆ) x (อัตราการออกจากสภานะนั้น ๆ) (3.10)

$f = p_1\mu$ = (ความน่าจะเป็นที่อยู่ไม่ได้อยู่ในสถานะนั้นๆ) x (อัตราการเข้าสู่สภานะนั้น ๆ) (3.11)

จากสมการที่ 3.3 และ 3.5 ค่า p_1 คือความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานไม่ได้ ค่าดังกล่าวหมายถึงค่า FOR (Forced Outage Rate) ของอุปกรณ์ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นในระยะยาวที่อุปกรณ์จะไม่สามารถทำงานได้ โดยปกติแล้วค่าความน่าจะเป็นของสถานะต่างๆและอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะต่างๆนั้นเราสามารถทราบได้จากสถิติการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องซึ่งโดยทั่วไปการไฟฟ้าที่รับผิดชอบจะมีการบันทึกไว้ซึ่งสามารถนำข้อมูลในส่วนนี้ไปสร้างเป็นแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า

3.2 การสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า

การคำนวณความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้านั้นในข้างต้นแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าจะถูกสร้างเป็นตารางการขาดกำลังการผลิตขนาดต่างๆกันที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบที่อาจจะเกิดเหตุขัดข้อง ตารางดังกล่าวมักประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วนคือความน่าจะเป็นและความถี่ของค่ากำลังผลิตที่อาจจะเกิดเหตุขัดข้องหรือค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้ [7-10]

3.2.1 การสร้างแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในส่วนของความน่าจะเป็น

การสร้างแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในส่วนของความน่าจะเป็นซึ่งมักจะเรียกว่าการสร้างตาราง COPT(Capacity Outage Probability Table) [8,9,10] โดยการสร้างตาราง COPT จะอาศัยวิธีรีเคอร์ซีฟ (Recursive method) โดยมีหลักการคือเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบทีละเครื่องจนครบทุกเครื่องก็จะสามารถคำนวณตาราง COPT ได้ โดยปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ 1) ประเภทที่มี 2 สถานะ (No derated states) และ 2) ประเภทที่มีมากกว่า 2 สถานะ (Derated states)

1) ประเภทที่มี 2 สถานะ

ความน่าจะเป็นสะสมของสถานะกำลังผลิตที่เกิดขัดข้อง X MW หลังจากรวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW และค่า FOR =U เข้าไปแล้วจะได้ว่า

$$P(X) = (1-U)P'(X) + UP'(X-C) \tag{3.12}$$

เมื่อ

$P'(X)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของสถานะกำลังผลิตขนาด X MW ก่อนเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW

$P(X)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของสถานะกำลังผลิตขนาด X MW หลังเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW

โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้น(Initial Condition) ดังนี้

$$P(X) = 1.0 \quad X \le 0$$
$$P(X) = 0 \quad X > 0 \tag{3.13}$$

หรือเราสามารถใช้สมการสำหรับคำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะ(Individual probability) ได้เช่นกันซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 3.14

$$p(X) = (1-U)p'(X) + Up'(X-C) \tag{3.14}$$

เมื่อ

$p'(X)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่สถานะของกำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้อง X MW ก่อนเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW

$p(X)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่สถานะของกำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้อง X MW หลังเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW

โดยกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้

$$\begin{aligned} p(X) &= 1.0 \quad X = 0 \\ p(X) &= 0 \quad X \neq 0 \end{aligned} \tag{3.15}$$

ประเภทที่ 2 เมื่อมี Derated states

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีสถานะมากกว่า 2 สถานะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.16 และสมการที่ 3.17 โดยสมการที่ 3.16 เป็นสมการที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นสะสมและสมการที่ 3.17 เป็นสมการที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานะ

$$P(X) = \sum_{i=1}^{n} p_i P'(X - C_i) \tag{3.16}$$

หรือ

$$p(X) = \sum_{i=1}^{n} p_i p'(X - C_i) \tag{3.17}$$

เมื่อ n = จำนวนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเพิ่มเข้ามา

C_i = กำลังผลิตที่เกิดขัดข้องสถานะที่ i ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเพิ่มเข้าไป

p_i = ความน่าจะเป็นของสถานะที่ i ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเพิ่มเข้าไป

$p(.)$ = ความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานะ

$P(.)$ = ความน่าจะเป็นสะสม

ตัวอย่างที่ 3.1 ระบบไฟฟ้ากำลังมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่อง มีข้อมูลดังตารางที่ 3.1 การสร้างตาราง COPT สามารถคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Unit No.	Unit capacity MW	Failure rate f/day	Repair rate r/day
1	25	0.01	0.49
2	25	0.01	0.49
3	50	0.01	0.49

จากข้อมูลดังตารางที่ 3.1 จะพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่องมีค่า λ และค่า μ เหมือนกันทุกเครื่องเพราะฉะนั้นคำนวณหาค่า FOR (Forced Outage Rate) ในที่นี้คือความน่าจะเป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเสีย

$$FOR = U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{0.01}{0.01 + 0.49} = 0.02$$

และความน่าจะเป็นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถทำงานได้คือ

$$1 - FOR = 1 - 0.02 = 0.98$$

วิธีที่ 1 ใช้วิธีความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability)

ใช้สมการที่ 3.12 ในการคำนวณ

ขั้นที่ 1 เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1

P(0) =(1-0.02) x 1 + 0.02 x1 = 1.00

P(25)=(1-0.02) x 0 + 0.02x1 = 0.02

ขั้นที่ 2 เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2

P(0) = (1-0.02) x1 +0.02x1 = 1.0000

P(25) = (1-0.02) x0.02 +0.02x1 = 0.0396

P(50) = (1-0.02) x0 +0.02x0.02 = 0.0004

ขั้นที่ 3 เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3

P(0) = (1-0.02) x1 +0.02x1 = 1.000000

P(25) = (1-0.02) x0.0396 +0.02x1 = 0.058808

P(50) = (1-0.02) x0.0004 +0.02x1 = 0.020392

P(75) = (1-0.02) x0 +0.02x0.0396 = 0.000792

P(100) = (1-0.02) x0 +0.02x0.0004 = 0.000008

วิธีที่ 2 ใช้วิธีความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะ (Individual probability)

ใช้สมการที่ 3.14 ในการคำนวณ

ขั้นที่ 1 เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1

p(0) = (0.98) x (1) + 0.02 x (0) = 0.98

p(25) = (0.98) x (0) + 0.02 x (1) = 0.02

ขั้นที่ 2 เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2

p(0) = (0.98) x (0.98) + 0.02 x (0) = 0.9604

p(25) = (0.98) x (0.02) + 0.02 x (0.98) = 0.0392

p(50) = (0.98) x (0) + 0.02 x (0.02) = 0.0004

ขั้นที่ 3 เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3

p(0) = (0.98) x (0.9604) + 0.02 x (0) = 0.941192

p(25) = (0.98) x (0.0392) + 0.02 x (0) = 0.038416

p(50) = (0.98) x (0.0004) + 0.02 x (0.9604) = 0.019600

p(75) = (0.98) x (0) + 0.02 x (0.0392) = 0.000784

p(100) = (0.98) x (0) + 0.02 x (0.0004) = 0.000008

เมื่อคำนวณความน่าจะเป็นสะสมก็จะได้ตามสมการที่ 3.18

$$P(X) = \sum_{i=1}^{n} p(x_i) \qquad X \leq x_i \qquad (3.18)$$

เพราะฉะนั้นความน่าจะเป็นสะสมที่แต่ละสถานะสามารถคำนวณได้ดังนี้

P(0) = 1.000000

P(25) = 0.058808

P(50) = 0.020392

P(75) = 0.000792

P(100) = 0.000008

จะพบว่าค่าทั้งหมดดังกล่าวมีค่าเท่ากับการใช้วิธีความน่าจะเป็นสะสม

ถ้ากรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เป็นแบบ Derated states ซึ่งมี 3 สถานะ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีสถานะ Derated states

State	Capacity out	State probability
1	0	0.960
2	20	0.033
3	50	0.007

หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 เข้าไปในระบบเรียบร้อยแล้วใช้สมการที่ 3.16 เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 จะได้ค่าความน่าจะเป็นสะสมที่สถานะต่างๆดังนี้

P(0) = 0.96 x1 +0.033x1 +0.007 x1 = 1.0000000

P(20) = 0.96 x0.0396 +0.033x1 +0.007x1 = 0.0780160

P(25) = 0.96 x0.0396 +0.033x0.0396 +0.007x1 = 0.0463228

P(45) = 0.96 x0.0004 +0.033x0.0396 +0.007x1 = 0.0463228

P(50) = 0.96 x0.0004 +0.033x0.0004 +0.007x1 = 0.0203920

P(70) = 0.96 x0 +0.033x0.0004 +0.007x0.0396 = 0.0002904

P(75) = 0.96 x0 +0.033x0 +0.007x0.0396 = 0.0007920

P(100) = 0.96 x0 +0.033x0 +0.007x0.0004 = 0.0000080

3.2.2 การสร้างตารางการขาดกำลังผลิตโดยใช้วิธีความถี่และช่วงเวลา

วิธีความถี่และช่วงเวลาคิดขึ้นโดย Halperin และ Adler ในปี 1958 แต่ในช่วงแรกนั้นวิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยมเพราะค่อนข้างจะยุ่งยากจนกระทั่งในปี 1968-69 กลุ่มการทำงานของ Ringlee,Wood และคนอื่นๆ ได้เสนอวิธีรีเคอร์ซีฟอัลกอริทึม[7-10]สำหรับสร้างแบบจำลองการขาดกำลังผลิตซึ่งเหมาะสมกับการประยุกต์และการใช้งานในเครื่องคอมพิวเตอร์

3.2.2.1 รีเคอร์ซีฟอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณความถี่และช่วงเวลา

การสร้างแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยพิจารณาในส่วนของความถี่และช่วงเวลาด้วยนั้นต้องการข้อมูลพื้นฐานเพิ่มเติมคือ อัตราการเปลี่ยนสถานะ (Transition Rate) จากสถานะหนึ่งไปยังสถานะหนึ่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการคำนวณแบบจำลองความถี่และช่วงเวลานั้นจำเป็นต้องมีอัลกอริทึมในการคำนวณซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ โดยอัลกอริทึมที่ใช้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี [8,9]

ประเภทที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มี 2 สถานะ

สมการรีเคอร์ซีฟหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW ที่มีค่า FOR = U เข้าไปในระบบ โดยมีค่า Failure rate เท่ากับ λ และ Repair rate เท่ากับ μ แสดงดังสมการที่ 3.19 และ 3.20

$$\lambda_{+}(X) = \frac{p'(X)(1-U)\lambda'_{+}(X) + p'(X-C)U(\lambda'_{+}(X-C)+\mu)}{p(X)} \tag{3.19}$$

$$\lambda_{-}(X) = \frac{p'(X)(1-U)(\lambda'_{-}(X)+\lambda) + p'(X-C)U(\lambda'_{-}(X-C))}{p(X)} \tag{3.20}$$

เมื่อ

X คือ ค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้อง

$\lambda_{+}(X)$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะที่ขนาดกำลังผลิตเกิดขัดข้องเท่ากับ X MW ไปยังสถานะที่เกิดขัดข้องน้อยกว่า X MW หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$\lambda_{+}'(X)$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะที่ขนาดกำลังผลิตเกิดขัดข้องเท่ากับ X MW ไปยังสถานะที่เกิดขัดข้องน้อยกว่า X MW ก่อนเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$\lambda_{-}(X)$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะที่ขนาดกำลังผลิตเกิดขัดข้องเท่ากับ X MW ไปยังสถานะที่เกิดขัดข้องมากกว่า X MW หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$\lambda_{-}'(X)$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะที่ขนาดกำลังผลิตเกิดขัดข้องเท่ากับ X MW ไปยังสถานะที่เกิดขัดข้องมากกว่า X MW ก่อนเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลังจากที่คำนวณหาค่า $\lambda_{+}(X)$ และค่า $\lambda_{-}(X)$ เสร็จเรียบร้อยแล้วเราจะสามารถคำนวณค่าความถี่ในแต่ละสถานะ(Individual probability : f(X)) และความถี่สะสม (Cumulative frequency : F(X))จากสมการที่ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ

$$f(X) = p(X)(\lambda_+(X) + \lambda_-(X)) \quad (3.21)$$

$$F(X) = F(Y) + p(X)(\lambda_+(X) - \lambda_-(X)) \quad (3.22)$$

เมื่อ $f(X)$ คือ ความถี่ที่กำลังผลิตที่เกิดขัดข้องเท่ากับ X MW

Y คือ กำลังการผลิตที่เกิดขัดข้องมากกว่าหรือเท่ากับ X MW

$F(X)$ คือ ความถี่สะสมที่กำลังผลิตที่เกิดขัดข้องเท่ากับ X MW

จากตัวอย่างที่ 3.1 หากใช้สมการที่ 3.19 และ 3.20 หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 25 MW เข้าไปแล้วจะได้ค่าดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นและอัตราการเปลี่ยนสถานะของแต่ละสถานะ เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 2 เข้าไปในระบบ

(1) Cap.out X (MW)	(2) p′(X)(1-U)	(3) p′(X-C)U	(4) Col(4)= Col(2) + Col(3) p(x)
0	0.98x0.98	0 x0.02	0.9604
25	0.02x0.98	0.98x0.02	0.0392
50	0 x0.98	0.02x0.02	0.0004

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

(1) Cap.out X(MW)	(5) Col(2)(λ'_+(X))	(6) Col(3)(λ'_+(X-C)+μ)	(7) Col(5)+Col(6)	(8) Col(7)/Col(4) λ'_+(X) (occ/day)
0	0.9604x 0	0 x(0 +0.49)	0	0
25	0.0196x 0.49	0.0196 x(0 +0.49)	0.019208	0.49
50	0 x 0	0.0004 x(0.49+0.49)	0.000392	0.98

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

(1) Cap.out X(MW)	(9) Col(2)(λ'(X)+λ)	(10) Col(3)(λ'(X-C))	(11) Col(9)+Col(10)	(12) Col(7)/Col(4) λ'_+(X) (occ/day)
0	0.9604x(0.01+0.01)	0 x 0	0.019208	0.02
25	0.0196x (0 +0.01)	0.0196 x 0.01	0.000392	0.01
50	0 x (0 +0.01)	0.0004 x 0	0	0

เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ผลจะได้ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นและอัตราการเปลี่ยนสถานะของแต่ละสถานะ เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เข้าไปในระบบ

(1) Cap.out X(MW)	(2) p′(X)(1-U)	(3) p′(X-C)U	(4) Col(4)= Col(2)+Col(3) p(X)
0	0.9604 x 0.98	0 x 0.02	0.941192
25	0.0392 x 0.98	0 x0.02	0.038416
50	0.0004 x 0.98	0.9604x0.02	0.019600
75	0 x 0.98	0.0392x0.02	0.000784
100	0 x 0.98	0.0004x0.02	0.000008

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

(1) Cap.out X(MW)	(5) Col(2)(λ'_+(X))	(6) Col(3)(λ'_+(X-C)+μ)	(7) Col(5)+Col(6)	(8) Col(7)/Col(4) λ_+(X)(occ/day)
0	0.941192 x 0	0 x (0 +0.49)	0	0
25	0.038416 x 0.49	0 x (0 +0.49)	0.018824	0.4900
50	0.000392 x 0.98	0.019208 x (0 +0.49)	0.009796	0.4998
75	0 x 0	0.000784 x (0.49 +0.49)	0.000768	0.9800
100	0 x 0	0.000008 x (0.98 +0.49)	0.000012	1.4700

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

(1) Cap.out X(MW)	(5) Col(2)(λ'(X)+λ)	(6) Col(3)(λ'(X-C))	(7) Col(9)+Col(10)	(8) Col(7)/Col(4) λ_-(X)(occ/day)
0	0.941192 x (0.02 +0.01)	0 x 0	0.028236	0.0300
25	0.038416 x (001 +0.01)	0 x 0	0.000768	0.0200
50	0.000392 x (0 +0.01)	0.019208 x 0.02	0.000388	0.0198
75	0 x (0 +0.01)	0.000784 x 0.01	0.000008	0.0100
100	0 x (0 +0.01)	0.000008 x 0	0	0

เมื่อทำการคำนวณค่า λ_+(X) และ λ_-(X) จากการที่เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปครบทุกเครื่อง แล้วเราสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของสถานะที่เกิดขัดข้อง X MW ความถี่และความถี่สะสมของสถานะที่เกิดขัดข้อง X MW โดยใช้สมการที่ 3.21 และ 3.22 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง

Cap.out X (MW)	Probability p(X)	λ_+(X) (occ/day)	λ_-(X) (occ/day)	Frequency (occ/day) f(X)	Cumulative Probability P(X)	Cumulative Frequency (occ/day) F(X)
0	0.941192	0	0.0300	0.028236	1.000000	0
25	0.038416	0.4900	0.0200	0.019592	0.058808	0.028236
50	0.019600	0.4998	0.0198	0.010184	0.020392	0.010180
75	0.000784	0.9800	0.0100	0.000792	0.000792	0.000772
100	0.000008	1.4700	0	0.000012	0.000008	0.000012

กรณีที่ 2 กรณีที่มีสถานะ Derated states

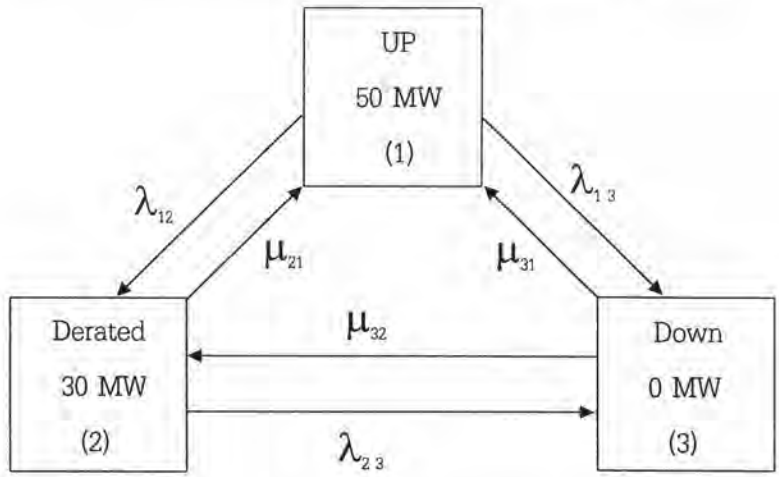
ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีมากกว่า 2 สถานะหรือมีสถานะ Derated states สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า λ_+(X) และ λ_-(X) แสดงได้ดังสมการที่ 3.23 และ 3.24

$$\lambda_{+}(X) = \frac{\sum_{i=1}^{n} p'(X-C_i)p_i(\lambda'_{+}(X-C_i)+\lambda_{+}(C_i))}{p(X)} \quad (3.23)$$

$$\lambda_{-}(X) = \frac{\sum_{i=1}^{n} p'(X-C_i)p_i(\lambda'_{-}(X-C_i)+\lambda_{-}(C_i))}{p(X)} \quad (3.24)$$

จะเห็นได้ว่าสมการที่ 3.23 และ 3.24 ถ้าแทน n =2 ก็จะได้สมการที่ 3.21 และ 3.22 นั่นเอง

จากตัวอย่างที่แล้วถ้ากำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ 3 สถานะแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 MW เมื่อมีสถานะ Derated states

λ_{13} = 0.022 occ/day
λ_{12} = 0.008 occ/day
λ_{23} = 0.019 occ/day
μ_{31} = 2.93571 occ/day
μ_{21} = 0.25 occ/day
μ_{32} = 0.171 occ/day

จากรูปที่ 3.3 เราต้องทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นที่สถานะต่างๆก่อนโดยใช้สมการที่ 2.51 และ 2.52 ในบทที่ 2

$$pA = 0$$

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -(\lambda_{12}+\lambda_{13}) & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & -(\lambda_{21}+\lambda_{23}) & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & -(\lambda_{31}+\lambda_{32}) \end{bmatrix} = 0$$

แทนค่า $\lambda_{12} = 0.008$

$\lambda_{13} = 0.022$

$\lambda_{21} = \mu_{21} = 0.25$

$\lambda_{23} = 0.019$

$\lambda_{31} = 2.93571$

$\lambda_{32} = \mu_{32} = 0.171$ จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.03 & 0.008 & 0.022 \\ 0.25 & -0.269 & 0.019 \\ 2.93571 & 0.171 & 3.10671 \end{bmatrix} = 0$$

$$-0.03p_1 + 0.25p_2 + 2.93571p_3 = 0 \quad (3.25)$$

$$0.008p_1 - 0.269p_2 + 0.171p_3 = 0 \quad (3.26)$$

$$0.022p_1 + 0.019p_2 + 3.10671p_3 = 0 \quad (3.27)$$

และ $$p_1 + p_2 + p_3 = 1 \quad (3.28)$$

แก้สมการที่ 3.26 , 3.27 และ 3.28 (จะเห็นว่าสมการ (3.25)+สมการ (3.26) มีเท่ากับ (3.27))

จะได้ว่า $p_1 = 0.960$

$p_2 = 0.033$

$p_3 = 0.007$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่สถานะที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.960

ความน่าจะเป็นที่สถานะที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.033

ความน่าจะเป็นที่สถานะที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.007

เพราะฉะนั้นเราจะได้แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ได้ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ในตัวอย่างที่ 3.1
เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่3 มีสถานะ Derated states

State i	Cap. in(MW)	Cap.out (MW)	Probability	$\lambda_+(C_i)$	$\lambda_-(C_i)$
1	50	0	0.960	0	0.030
2	30	20	0.033	0.25	0.019
3	0	50	0.007	3.10671	0

ทำการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 เข้าไปในตารางที่ 3.3 โดยใช้สมการที่ 3.23 และ 3.24 โดยรายละเอียดในการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การคำนวณค่าต่างๆเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3
ที่มีสถานะ Derated states เข้าสู่ระบบ

(1) Cap.out X(MW)	(2) $p'(X)p_1$	(3) $p'(X-20)p_2$	(4) $p'(X-50)p_3$	(5) col(2)+col(3)+col(4) p(X)
0	0.9604x0.960	0 x0.033	0 x0.007	0.9219840
20	0 x0.960	0.960 x0.033	0 x0.007	0.0316320
25	0.0392x0.960	0 x0.033	0 x0.007	0.0376320
45	0 x0.960	0.0392 x0.033	0 x0.007	0.0012936
50	0.0004x0.960	0 x0.033	0.9604x0.007	0.0071068
70	0 x0.960	0.0004 x0.033	0 x0.007	0.0000132
75	0 x0.960	0 x0.033	0.0392x0.007	0.0002744
100	0 x0.960	0 x0.033	0.0004x0.007	0.0000028

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

(6) Cap.out X(MW)	(7) col(2)[$\lambda'_+(X)+\lambda_+(0)$]	(8) col(3)[$\lambda'_+(X-20)+\lambda_+(20)$]	(9) col(3)[$\lambda'_+(X-50)+\lambda_+(50)$]	(10) ((7)+(8)+(9))/p(X) $\lambda_+(X)$
0	0.921984x(0 +0)	0 x(0+0.25)	0 x(0+3.10671)	0
20	0 x(0 +0)	0.0316932 x(0+0.25)	0 x(0+3.10671)	0.25
25	0.037632x(0.49+0)	0 x(0+0.25)	0 x(0+3.10671)	0.49
45	0 x(0 +0)	0.0012936 x(0.49+0.25)	0 x(0+3.10671)	0.74
50	0.000384x(0.98+0)	0 x(0+0.25)	0.0067228x(0+3.10671)	2.981798
70	0 x(0 +0)	0.0000132x(0.98+0.25)	0 x(0+3.10671)	1.23
75	0 x(0 +0)	0 x(0+0.25)	0.0002744x(0.49+3.10671)	3.59671
100	0 x(0 +0)	0 x(0+0.25)	0.0000028x(0.98+3.10671)	4.08671

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

(11) Cap.out X(MW)	(12) col(2)[$\lambda'_+(X)+\lambda_+(0)$]	(13) col(3)[$\lambda'_+(X-20)+\lambda_+(20)$]	(14) col(3)[$\lambda'_+(X-50)+\lambda_+(50)$]	(15) ((11)+(12)+(13))/p(X) $\lambda_+(X)$
0	0.921984x(0.02+0)	0 x(0+0.019)	0 x(0+0)	0.05
20	0 x(0+0.019)	0.0316932 x(0.0+0.019)	0 x(0+0)	0.039
25	0.037632x(0.01+0.03)	0 x(0+0.019)	0 x(0+0)	0.04
45	0 x(0+0.03)	0.0012936 x(0.01+0.019)	0 x(0+0)	0.029
50	0.000384x(0+0.03)	0 x(0+0.019)	0.0067228 x(0.02+0)	0.02054032
70	0 x(0+0.03)	0.0000132 x(0+0.019)	0 x(0+0)	0.019
75	0 x(0+0.03)	0 x(0+0.019)	0.0002744 x(0.01+0)	0.01
100	0 x(0+0.03)	0 x(0+0.019)	0.0000028 x(0+0)	0

ดังนั้นเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ค่าความน่าจะเป็นและความถี่แสดงได้ดังตารางที่ 3.8

T 17227471

ตารางที่ 3.8 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 มีสถานะ Derated states

Cap.out X (MW)	Probability p(X)	$\lambda_+(X)$ (occ /day)	$\lambda_-(X)$ (occ/day)	Frequency (occ/day) f(X)	Cumulative probability P(X)	Cumulative frequency (occ/day) F(X)
0	0.9219840	0	0.05000	0.046099	1.00000	0.000000
20	0.0316932	0.25	0.03900	0.009159	0.078016	0.046099
25	0.0376320	0.49	0.04000	0.019945	0.046323	0.039959
45	0.0012936	0.74	0.02900	0.000995	0.008671	0.023025
50	0.0071068	2.991798	0.02054	0.021408	0.007397	0.022128
70	0.0000132	1.23	0.01900	0.000016	0.000290	0.001011
75	0.0002744	3.59671	0.01000	0.000990	0.000277	0.000996
100	0.0000028	4.08671	0.00000	0.000011	0.000003	0.000011

3.3 เทคนิคการราวด์ออฟ (Round-off) แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

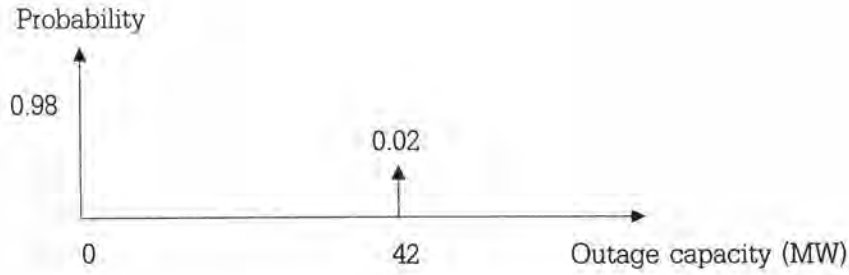
ในการคำนวณตารางการขาดกำลังผลิตหรือดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะเสียเวลาในการคำนวณอย่างมาก หากสถานะที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีจำนวนมากดังนั้นเพื่อที่จะลดเวลาในการคำนวณดังกล่าว และความแม่นยำของผลการคำนวณค่าดัชนีต่างๆอยู่ในเกณฑ์ดี จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเรียกว่าวิธีราวด์ออฟ (Round-off) ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดค่ากำลังการผลิตที่ใช้งานได้หรือกำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้องเป็นช่วงๆที่เพิ่มขึ้น (MW increment) ตามที่กำหนดไว้ ซึ่งการกำหนดค่าในแต่ละช่วงดังกล่าวจะส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณตารางการขาดกำลังผลิต โดยถ้ากำหนดค่า MW increment มีค่าสูงก็จะทำให้มีสถานะที่จะต้องทำการคำนวณอยู่น้อยดังนั้นเวลาในการคำนวณก็ต่ำตามไปด้วย อย่างไรก็ตามหากกำหนดค่าดังกล่าวสูงเกินไปค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณได้อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงเช่นกัน ทั้งนี้โดยทั่วไปแล้วค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ใช้ในการอ้างอิงจะมีค่า MW increment เท่ากับ 1 MW โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 วิธี คือ วิธี Augmented capacity model และวิธีที่ 2 คือ Efficient round-off model [11,12]

3.3.1 วิธี Augmented capacity model

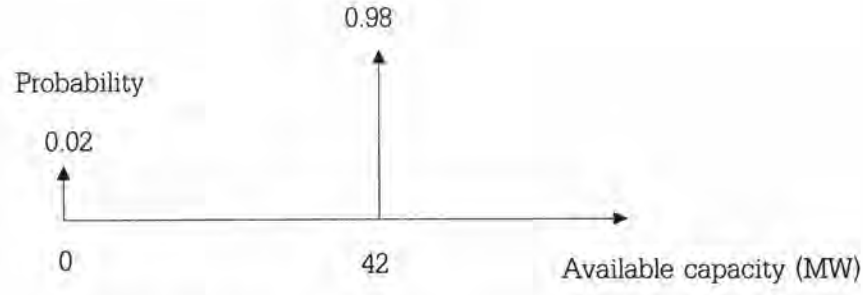
โดยแบบจำลองนี้จะทำการปรับเปลี่ยนมาจากแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พิจารณาในส่วนของค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้จริง (Available capacity)[11] โดยการรวด์ออฟแบบจำลองแบบนี้จะทำได้โดยการแทนค่าอิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้จริงด้วยค่าอิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้จริงที่ใกล้เคียง 2 ค่า โดย 2 ค่านี้จะเป็นตัวประกอบร่วมของค่า MW increment ที่ได้กำหนดมาแล้วว่าจะให้มีค่าเท่าใด และค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นมาใหม่นี้จะคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้จริงเดิมโดยจะยังคงรักษาค่าโมเมนต์อันดับหนึ่ง(First moment) เพื่อความเข้าใจขอยกตัวอย่างแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างที่ 3.2 กำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 42 MW มี 2 สถานะ โดยที่สถานะที่เกิดเหตุขัดข้องที่ 42 MW มีค่า FOR = 0.2 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

จากรูปที่ 3.4 เนื่องจากเป็นค่ากำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้อง เพราะฉะนั้นทำการแปลงเป็นค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้จริงเสียก่อนซึ่งหลังจากการแปลงแบบจำลองแล้วก็จะได้ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 อิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่เกิดขัดข้อง



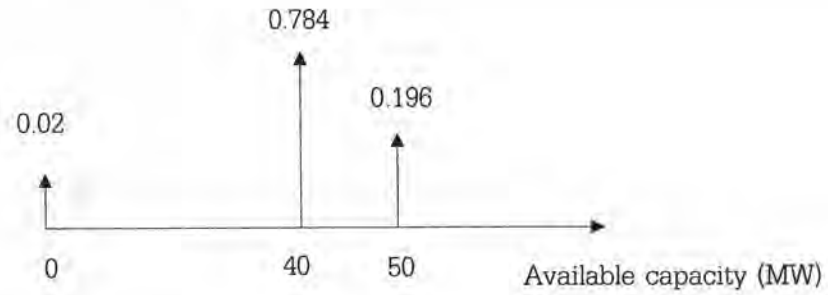
รูปที่ 3.5 อิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้

หากเรากำหนดให้ค่า MW increment มีค่าเท่ากับ 10 MW เราจะพบว่าที่ค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้ 42 MW ไม่เป็นตัวประกอบร่วมของ 10 MW เพราะฉะนั้น เราต้องปรับเปลี่ยนค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้นี้จาก 42 MW ไปเป็น 40 MW และ 50 MW ตามลำดับ ซึ่งค่า 40 MW และ 50 MW เป็นตัวประกอบร่วมของค่า 10 MW ที่เราเลือก การคำนวณค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่ 40 MW และ 50 MW สามารถทำได้โดยใช้หลักการโมเมนต์อันดับที่ 1 แสดงได้ดังนี้

$$p(40) = \frac{8}{10} \times 0.98 = 0.784$$

$$p(50) = \frac{2}{10} \times 0.98 = 0.196$$

ซึ่งเมื่อทำการราวด์ออฟแบบจำลองเสร็จแล้วจะได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 อิมพัลส์แสดงแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการราวด์ออฟแบบจำลองวิธี Augmented capacity model

การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของการราวด์ออฟจำลองโดยการใช้วิธีนี้ให้ใช้ค่ากำลังผลิตที่ได้รับหลังจากการราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในที่นี้กำลังผลิตติดตั้งที่ได้รับหลังจากการราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 50 MW

3.3.2 วิธี Efficient round-off model

วิธี Efficient round-off model [11,12] นี้จะคล้ายกับวิธี Augmented capacity model เพียงแต่แทนที่จะราวด์ออฟแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากค่ากำลังผลิตที่ใช้งานได้ ก็จะทำราวด์ออฟแบบจำลองที่พิจารณาจากค่ากำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้อง(Outage capacity) แทน โดยทำการราวด์ออฟค่ากำลัง

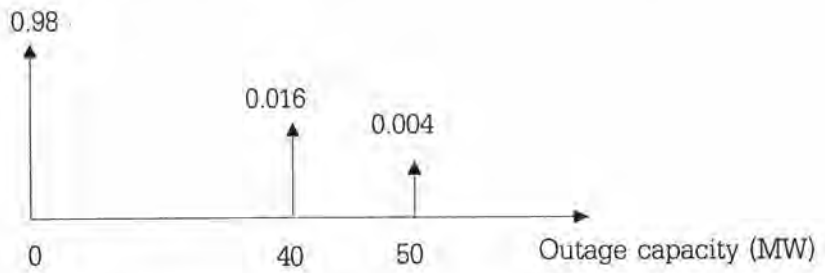
ผลิตที่เกิดเหตุขัดข้องที่ไม่ได้เป็นตัวประกอบร่วมของค่า MW increment ที่เลือกไปยังค่ากำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้องที่ใกล้เคียงกัน 2 ค่า และเป็นตัวประกอบร่วมของค่า MW increment โดยค่าความน่าจะเป็นสามารถคำนวณโดยใช้หลักการเดียวกัน คือ รักษาค่าโมเมนต์อันดับที่ 1 จากตัวอย่างที่แล้ว รูปที่ 3.4 เราสามารถราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปเป็นแบบจำลองใหม่ได้ดังนี้ เนื่องจากค่ากำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้องเท่ากับ 42 MW ซึ่งไม่เป็นตัวประกอบของ 10 MW เพราะฉะนั้นทำการกระจายอิมพัลส์ออกไปที่ 40 MW และ 50 MW ตามลำดับ

โดยค่าความน่าจะเป็นที่ 40 MW และ 50 MW สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$p(40) = 0.02 \times \frac{8}{10} = 0.016$$

$$p(50) = 0.02 \times \frac{2}{10} = 0.004$$

เมื่อทำการราวด์ออฟแบบจำลองโดยใช้วิธี Efficient round-off model เสร็จแล้วได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 อิมพัลส์แสดงแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการราวด์ออฟแบบจำลอง
วิธี Efficient round-off Model

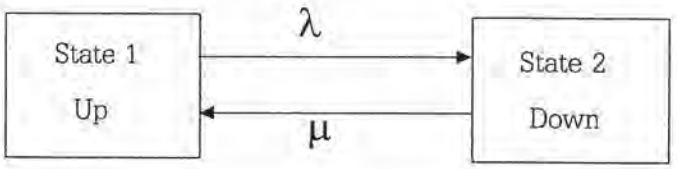
การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้นั้นจะใช้ค่ากำลังผลิตติดตั้งเดิมก่อนการราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในที่นี้กำลังผลิตติดตั้งก่อนการราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 42 MW

3.3.3 การปรับเปลี่ยนแบบจำลองเพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความถี่และเวลา

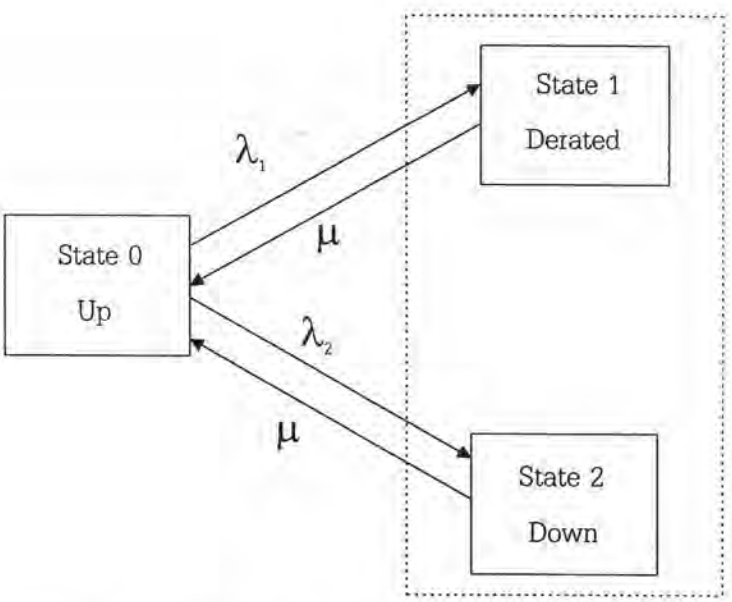
หลังจากที่ทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีดังที่ได้กล่าวไปแล้วทำให้สามารถทราบความน่าจะเป็นที่สถานะที่ใช้งานได้หรือสถานะต่างๆของสถานะที่เกิดเหตุขัดข้อง อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าว

จะไม่เพียงพอในการคำนวณดัชนีในส่วนของความถี่และช่วงเวลา เพราะในการคำนวณดัชนีความถี่และช่วงเวลาต้องทราบข้อมูลของอัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปยังสถานะหนึ่ง(Transition rate) ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้สามารถทราบได้จากข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ในการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น สถานะที่ได้หลังจากการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมากกว่าหรือเท่ากับสถานะก่อนการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้ค่า Transition rate หลังจากการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วยโดยแบบจำลองที่ราวด์ออฟนั้นอาจจะมีหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบนั้นจะใช้สมการสมดุลย์ของความถี่เป็นสำคัญ โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแบบจำลองโดยใช้แบบจำลองที่มีสถานะแบบขนาน(Stage in paralell) [5,7]

ซึ่งกำหนดให้แบบจำลองก่อนการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.8 และแบบจำลองหลังการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.9 ตามลำดับ



รูปที่ 3.8 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังการทำราว์ออฟโดยมีสถานะแบบขนาน (Stage in paralell)

จากรูปที่ 3.9 ความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานะเราสามารถทราบได้โดยใช้การราวด์ออฟแบบจำลองแบบ Augmented capacity model หรือ Efficient round-off model ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

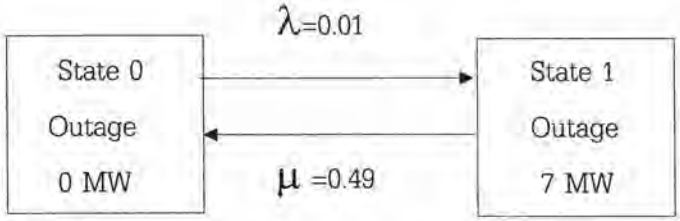
ค่า λ_1 และ λ_2 สามารถคำนวณโดยใช้หลักการสมดุลย์ความถี่ในสมการที่ 3.10 และ 3.11 ได้ดังนี้

$$\lambda_1 = \frac{p_1 \mu}{p_0} \tag{3.29}$$

$$\lambda_2 = \frac{p_2 \mu}{p_0} \tag{3.30}$$

มีข้อสังเกตอย่างหนึ่งของแบบจำลองแบบขนานคือจะมีส่วนที่สอดคล้องกับความเป็นจริงอย่างหนึ่งคือ จากรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าสถานะที่เกิดขึ้นมาใหม่คือสถานะที่ 1 และ 2 ซึ่งสถานะทั้ง 2 นี้เป็นสถานะที่ไม่ได้เกิดขึ้นจริงแต่อย่างใดเพราะเป็นสถานะที่เกิดจากการกระจายอิมพัลส์ความน่าจะเป็นของค่ากำลังผลิตที่ไม่ได้เป็นตัวประกอบร่วมของค่า MW increment ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงจากสถานะที่ 1 ไปยังสถานะที่ 2 จึงไม่มี

ตัวอย่างที่ 3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 7 MW มีค่า λ=0.01 และ μ =0.49 ซึ่งแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 7 MW

จากข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความน่าจะเป็นที่สถานะ 0 และ 1 มีค่าดังนี้

$$p_{out}(0) = 0.98 \quad \text{และ} \quad p_{out}(7) = 0.02$$

หากใช้การราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในส่วนของความน่าจะเป็นโดยใช้วิธี Efficient round-off model

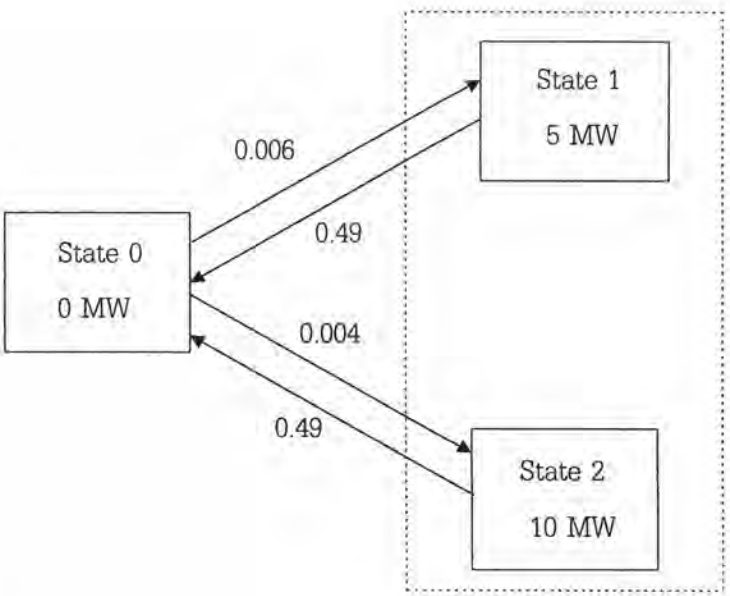
ทำการคำนวณความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานะจะได้ค่าดังนี้

$$p_{out}(0) = 0.980$$
$$p_{out}(5) = 0.012$$
$$p_{out}(10) = 0.008$$

สร้างแบบจำลองในส่วนของความถี่โดยใช้แบบจำลองแบบขนานซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 ใช้สมการสมดุลย์ของความถี่(Frequency Balance) คำนวณค่า λ_1 และ λ_2

$$\lambda_1 = \frac{(0.49)(0.012)}{0.98} = 0.006$$
$$\lambda_2 = \frac{(0.49)(0.008)}{0.98} = 0.004$$

เมื่อเขียนเป็นแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะได้ค่าตามตารางที่ 3.9



รูปที่ 3.11 การปรับเปลี่ยนแบบจำลองแบบขนานโดยใช้วิธี Efficient round-off model

ตารางที่ 3.9 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับหลังการราวด์ออฟแบบจำลองโดยใช้วิธี Efficient round-off model ร่วมกับแบบจำลองแบบขนาน

Out(MW)	p(X)	$\lambda_+(X)$	$\lambda_-(X)$	f(X)	F(X)
0	0.980	0	0.01	0.00980	0
5	0.012	0.49	0	0.00588	0.00980
10	0.008	0.49	0	0.00392	0.00392

หลังที่ทำการปรับเปลี่ยนแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งในส่วนของความน่าจะเป็นและความถี่โดยใช้วิธีที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น เราก็จะสามารถสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้หลักการในหัวข้อที่ 3.2 เมื่อคำนวณแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าเสร็จแล้วก็จะนำแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมกับแบบจำลองโหลดซึ่งจะกล่าวในบทที่ 4 ก็จะสามารถคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้า