บทที่ 6

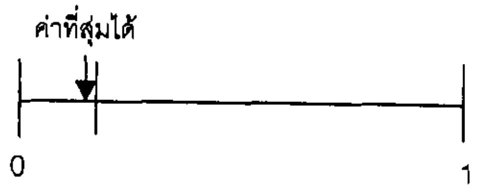
การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยพิจารณาผลความไม่พร้อมมูลของสถานีไฟฟ้า

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งเป็น 2 วิธีหลัก คือ วิธีวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์ รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในบทที่ 2 วิธีวิเคราะห์ยังมีจุดด้อยเนื่องจากจำนวนสถานะของระบบที่ต้องพิจารณาในการประเมินความเชื่อถือได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากเมื่อระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลซึ่งเป็นวิธีที่ยังคงมีประสิทธิภาพสูงแม้ว่าขนาดของระบบจะใหญ่ขึ้นมากก็ตาม

การจำแนกประเภทของการสุ่มแบบมอนติคาร์โลนั้นหากจำแนกตามความสัมพันธ์ของแต่ละสถานะที่สุ่มได้จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือชนิดที่ไม่มีความเกี่ยวเนื่องกัน(Non-sequential) และชนิดที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน(Sequential) ในบทนี้จะกล่าวถึงการสุ่มแบบมอนติคาร์โล 3 แบบได้แก่ การสุ่มสถานะ(State sampling approach) ซึ่งเป็นการสุ่มแบบที่แต่ละสถานะไม่เกี่ยวเนื่องกัน จากนั้นจะกล่าวถึงการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน และการสุ่มการเปลี่ยนสถานะซึ่งเป็นการสุ่มซึ่งแต่ละสถานะเกี่ยวเนื่องกัน

6.1 การสุ่มสถานะ[14,15]

การสุ่มสถานะเป็นการสุ่มตัวเลข(U)ในช่วง [0,1] หนึ่งตัวสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวหากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าค่าดัชนีความเสี่ยงของอุปกรณ์ หมายความว่าอุปกรณ์ไม่ล้มเหลว แต่หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีความเสี่ยงของอุปกรณ์ก็หมายความว่าอุปกรณ์เกิดเหตุขัดข้องหรือล้มเหลว ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงวิธีการสุ่มสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์

ข้อดีของการสุ่มโดยการสุ่มสถานะของระบบคือ วิธีการสุ่มไม่ยุ่งยาก และข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ก็มีเพียงค่าความไม่พร้อมมูลของแต่ละอุปกรณ์ ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอัตราการล้มเหลว(λ) ระยะเวลาซ่อมแซม(μ)ของอุปกรณ์(หากไม่ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับความถี่) และ ข้อมูลโหลดรายชั่วโมง

6.2 การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน[9]

การสุ่มช่วงเวลาการทำงานเป็นการสุ่มโดยมีสมมติฐานให้ช่วงเวลาการทำงาน(T)ในแต่ละสถานะของอุปกรณ์เป็นการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล(Exponential distribution)

เนื่องจากการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียลมีฟังก์ชันความหนาแน่น(Density function) ดังสมการ (1)

$$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{6.1}$$

โดย λ = อัตราความล้มเหลว

t = เวลา

ดังนั้นค่าความไม่พร้อมมูล(U)ที่เวลา T คำนวณได้จาก

$$U = F_T(T) = \int_0^T \lambda e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\lambda T} \tag{6.2}$$

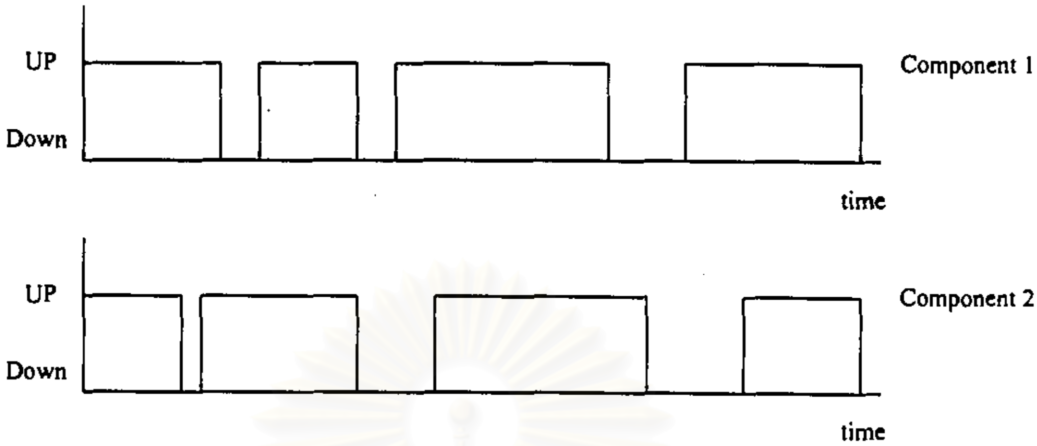
จะได้

$$T = -\frac{1}{\lambda}\ln(1-U) \tag{6.3}$$

แต่ 1-U มีการกระจายเช่นเดียวกับ U ดังนั้น

$$T = -\frac{1}{\lambda}\ln(U) \tag{6.4}$$

ด้วยวิธีการดังกล่าวจะสามารถสุ่มระยะเวลาที่แต่ละอุปกรณ์อยู่ในสถานะหนึ่ง ๆ จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะ และเมื่อทำซ้ำจนครบทุกอุปกรณ์จนครบระยะเวลาที่ต้องการจะได้ข้อมูลของระบบดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 6.2 แสดงตัวอย่างในกรณีที่ระบบมีอุปกรณ์เพียง 2 อุปกรณ์



รูปที่ 6.2 ช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์ 2 อุปกรณ์ที่สุ่มได้

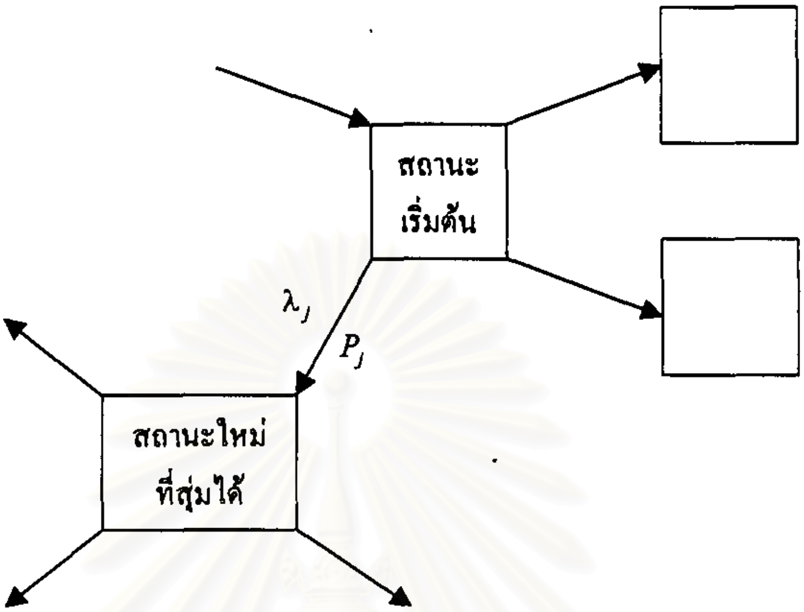
วิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงานในแต่ละสถานะของแต่ละอุปกรณ์มีข้อดีคือ[14] สามารถจำลองลักษณะการกระจายของสถานะการทำงานของอุปกรณ์โดยใช้การกระจายแบบใดก็ได้ และสามารถคำนวณดัชนีเกี่ยวกับความถี่และระยะเวลาได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ แต่มีข้อเสียที่ต้องใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สูงกว่า ใช้เวลาการคำนวณมากกว่า และมีความซับซ้อนสูง

6.3 การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ[14,20]

การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบเป็นวิธีการสุ่มเน้นการเปลี่ยนสถานะของระบบมิใช่การเปลี่ยนสถานะของแต่ละอุปกรณ์ ดังแสดงดังรูปที่ 6.3

หากพิจารณาระบบที่มีอุปกรณ์ทั้งสิ้น m อุปกรณ์ โดยมีสมมติฐานว่าช่วงเวลาที่แต่ละอุปกรณ์จะคงอยู่ในแต่ละสถานะมีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล ระบบจะมีสถานะเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ $\left\{S^{(1)},S^{(2)},\ldots,S^{(n)}\right\}$ หากสถานะปัจจุบันของระบบคือ $S^{(k)}$ และอัตราการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ทุกอุปกร์ที่สอดคล้องกับสถานะดังกล่าวคือ λ_i $(i = 1,\ldots,m)$ โดย λ_i จะหมายถึงอัตราซ่อมแซมของอุปกรณ์ตัวที่ i อยู่ในสถานะล้มเหลว และ λ_i จะหมายถึงอัตราการล้มเหลวหากอุปกรณ์ตัวที่ i อยู่ในสถานะปกติ

ดังนั้นช่วงเวลาในแต่ละสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ i ในระบบ(T_i) ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีฟังก์ชันความหนาแน่น $f_i(t) = \lambda_i e^{-\lambda_i t}$ สำหรับการเปลี่ยนสถานะของระบบจะถูกกำหนดโดยการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ตัวแรกในระบบ กล่าวคือช่วงเวลา T ที่ระบบจะอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะเป็นไปตามสมการ 6.5



รูปที่ 6.3 แสดงแบบจำลองการสุ่มการเปลี่ยนสถานะ

$$T = \min_{i} \{T_i\} \tag{6.5}$$

และเนื่องจาก ช่วงเวลาในแต่ละสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ i ในระบบ(T_i) มีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล ดังนั้น ช่วงเวลา T ที่ระบบจะอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียลเช่นเดียวกัน โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นดังสมการ 6.6

$$f(t) = \left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i\right) e^{-\left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i\right) t} \tag{6.6}$$

หากการเปลี่ยนสถานะของระบบจากสถานะที่ $S^{(k)}$ ไปสู่สถานะที่ $S^{(k+1)}$ เกิดขึ้นที่เวลา t_o ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเปลี่ยนสถานะนี้มีสาเหตุจากการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ j (P_j) ในระบบจะเป็นไปตามสมการความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข(Conditional probability) ดังแสดงในสมการ 6.7

$$P_j = P(T_j = t_0 / T = t_0) \tag{6.7}$$

และจากทฤษฎีของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขจะสามารถเขียนสมการ 6.7 ได้ใหม่ดังสมการที่ 6.8 ถึง 6.11

$$P_j = P(T_j = t_0 / T = t_0) \tag{6.8}$$

$$= \frac{P(T_j = t_0 \cap T = t_0)}{P(T = t_0)} \tag{6.9}$$

$$= \frac{P(T_j = t_0 \cap (Ti \geq t_0, i = 1,\ldots,m))}{P(T = t_0)} \tag{6.10}$$

$$= \frac{P(T_j = t_0) \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{m} P(T_i \geq t_0)}{P(T = t_0)} \tag{6.11}$$

และเนื่องจากทั้ง $T_i \quad (i = 1,\ldots,m)$ และ T ต่างก็กระจายแบบเอกโพเนนเชียลดังนั้น

$$P(T_i \geq t_0) = \int_{t_0}^{\infty} \lambda_i e^{-\lambda_i t_0} dt = e^{-\lambda_i t_0} \tag{6.12}$$

$$P(T_i = t_0) = \lim_{\Delta t \to 0} \lambda_j e^{-\lambda_j t_0} \Delta t \tag{6.13}$$

$$P(T = t_0) = \lim_{\Delta t \to 0} \left\{ \left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \right) e^{-\left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \right) t_0} \right\} \Delta t \tag{6.14}$$

เมื่อแทนสมการ 6.12, 6.13 และ 6.14 ลงในสมการ 6.11 จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในสมการที่ 6.15

$$P_j = P(T_j = t_0 / T = t_0) = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^{m} \lambda_i} \tag{6.15}$$

และ

$$\sum_{j=1}^{m} P_j = 1 \tag{6.16}$$

สำหรับช่วงเวลา D_k ที่ระบบจะคงอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล ดังนั้นจะสามารถคำนวณช่วงเวลาดังกล่าวได้ในทำนองเดียวกับที่แสดงไว้ในสมการ 6.4 จะได้สมการดังแสดงไว้ในสมการ 6.17

$$D_k = -\frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \lambda_i} \ln(U') \tag{6.17}$$

โดย U' คือตัวเลขสุ่มในช่วง [0,1]

และสำหรับการสุ่มสถานะต่อไปของระบบสามารถสุ่มโดยสุ่มตัวเลขสุ่ม U ในช่วง [0,1] ดังแสดงในรูปที่ 6.4

รูปที่ 6.4 แสดงการสุ่มสถานะถัดไปของระบบสำหรับวิธีการสุ่มการเปลี่ยนสถานะ

6.4. การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้

การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ทุกชนิดโดยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล สามารถคำนวณได้โดยใช้ฟังก์ชันตรวจสอบ(Test Function:F(x)) ดังแสดงในสมการ(6.18) ให้สอดคล้องกับค่าดัชนีต่างๆ ที่ต้องการคำนวณเช่น EPNS(Expected Power Not Supplied), LOLP (Loss Of Load Probability), LOLF(Loss of Load Frequency) เป็นต้น[6]

$$E(F) = \sum_{x \in X} F(x)P(x) \qquad (6.18)$$

โดย x = เวคเตอร์สถานะของระบบ

= $(x_1, x_2, \ldots, x_m)$

m = จำนวนอุปกรณ์ทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ

x_i = สถานะของอุปกรณ์ลำดับที่ i ในระบบ

X = เขตที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ x (State space)

ในกรณีที่ต้องการคำนวณ EPNS ให้แทน F(x) ด้วย ปริมาณโหลดต่ำสุดที่จำเป็นต้องตัดออกจากระบบ (MLC(x)) เพื่อให้ระบบสามารถทำงานต่อไปได้ตามปกติโดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขบังคับ(Constrain) ของระบบ ดังแสดงในสมการ (6.19)

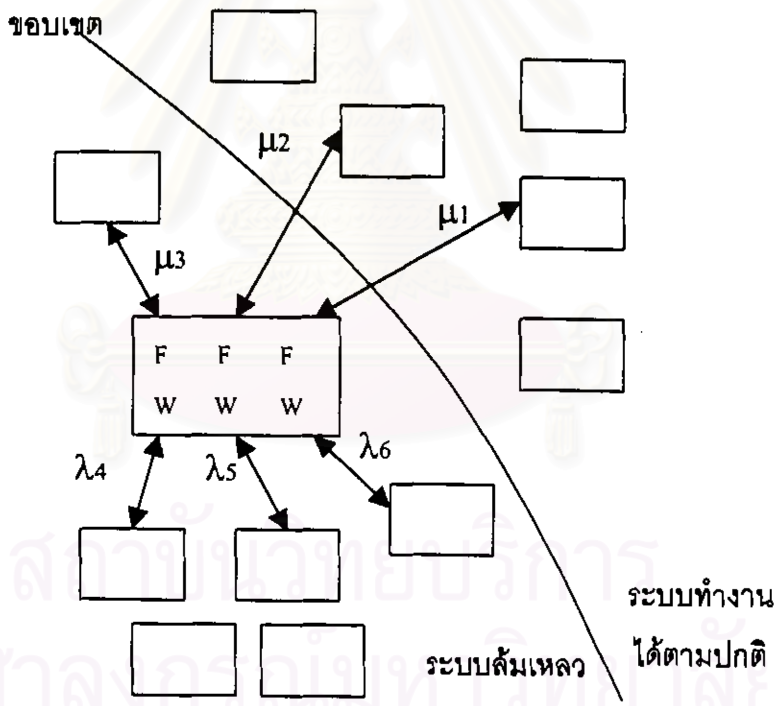
$$EPNS = \sum_{x \in X} MLC(x)P(x) \qquad (6.19)$$

เมื่อต้องการคำนวณ LOLP ให้แทน F(x) ด้วยฟังก์ชัน I(x) ซึ่งดังแสดงในสมการ (6.20) และสามารถคำนวณ LOLP ได้ตามสมการ (6.21)

$$I(x) = \begin{cases} 1 \ if \ MLC(x) > 0 \\ 0 \ if \ MLC(x) = 0 \end{cases} \qquad (6.20)$$

$$LOLP = \sum_{x \in X} I_f(x)P(x) \qquad (6.21)$$

เนื่องจากความหมายของ LOLF คือความถี่ของการเปลี่ยนสถานะของระบบระหว่างสภาวะที่ระบบล้มเหลวกับสภาวะปกติ ดังนั้นในการคำนวณ LOLF เราสามารถแทน F(x) ด้วยฟังก์ชันผลรวมของค่าระยะเวลาซ่อมแซม(μ) ของทุก ๆ อุปกรณ์ในแต่ละสถานะที่สุ่มได้ซึ่งทำให้ระบบเปลี่ยนสภาวะจากล้มเหลวสู่สภาวะปกติโดยอาศัยการซ่อมแซมอุปกรณ์นั้น ๆ เพียงอุปกรณ์เดียว[16] หลักการพิจารณาดังกล่าวได้นำเสนอไว้ในรูปที่ 6.5 ซึ่งแสดงสถานะหนึ่งของระบบตัวอย่างที่ประกอบด้วย 6 อุปกรณ์โดยมี 3 อุปกรณ์อยู่ในสภาวะล้มเหลวและมีผลให้ระบบอยู่ในสภาวะล้มเหลว จากรูปจะเห็นว่าเฉพาะการซ่อมแซมเฉพาะอุปกรณ์ที่ 1 หรืออุปกรณ์ที่ 2 เพียงอุปกรณ์เดียวจะสามารถทำให้ระบบกลับสู่สภาวะปกติได้ ดังนั้น F(x) สำหรับสถานะที่สุ่มได้นี้เท่ากับ $\mu_1+\mu_2$



F : หมายถึงอุปกรณ์อยู่ในสถานะล้มเหลว

W : หมายถึงอุปกรณ์ทำงานได้ตามปกติ

รูปที่ 6.5 แผนภาพ State Space ของระบบ

ระบบโดยทั่วไปมักจะมีความสามารถในการจ่ายโหลดสูงขึ้นบ้างหรือเท่าเดิมแต่จะไม่น้อยลงเมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในระบบซึ่งล้มเหลวได้รับการซ่อมแซมจนใช้งานได้ตามปกติ และในทำนองเดียวกัน ระบบมักจะมีความสามารถในการจ่ายโหลดลดลงหรือเท่าเดิมแต่จะไม่สูงขึ้นเมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในระบบซึ่งทำงานได้ตามปกติเกิดความล้มเหลว ระบบใดที่สอดคล้องกับสมมติฐานดังกล่าวข้างต้นเรียกว่าระบบโคฮีเรนซ์(Coherence system)[16]

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สมมติฐานว่าระบบที่กำลังพิจารณาเป็นระบบโคฮีเรนซ์ดังนั้นการตรวจสอบการข้ามเขตแดนระหว่างสถานะที่ระบบล้มเหลว กับ สถานะที่ระบบทำงานได้ตามปกติ ดังแสดงในรูป 6.5 จะตรวจสอบเฉพาะกรณีที่อุปกรณ์ที่ล้มเหลวได้รับการซ่อมแซมเท่านั้น จะไม่ทำการตรวจสอบกรณีที่อุปกรณ์ที่ทำงานได้ตามปกติเกิดความล้มเหลว

สำหรับค่าดัชนีที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ LOLD สามารถคำนวณจากสมการ (6.22)

$$LOLD = \frac{LOLP}{LOLF} \qquad (6.22)$$

6.5 เกณฑ์การหยุดคำนวณ(Stopping Criteria)[9]

สำหรับเกณฑ์การหยุดการคำนวณ(Stopping Criteria) ของการจำลองเหตุการณ์ตามวิธีมอนติคาร์โลนั้นนิยมใช้ เกณฑ์สองแบบ คือการกำหนดจำนวนรอบสูงสุดในการทำงานไว้ที่ค่าค่าหนึ่ง หรือการกำหนดค่าสูงสุดของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์(Relative uncertainty) ของดัชนีที่ยอมรับได้ไว้ที่ค่าหนึ่ง การคำนวณความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์แสดงไว้ในสมการ (6.23)

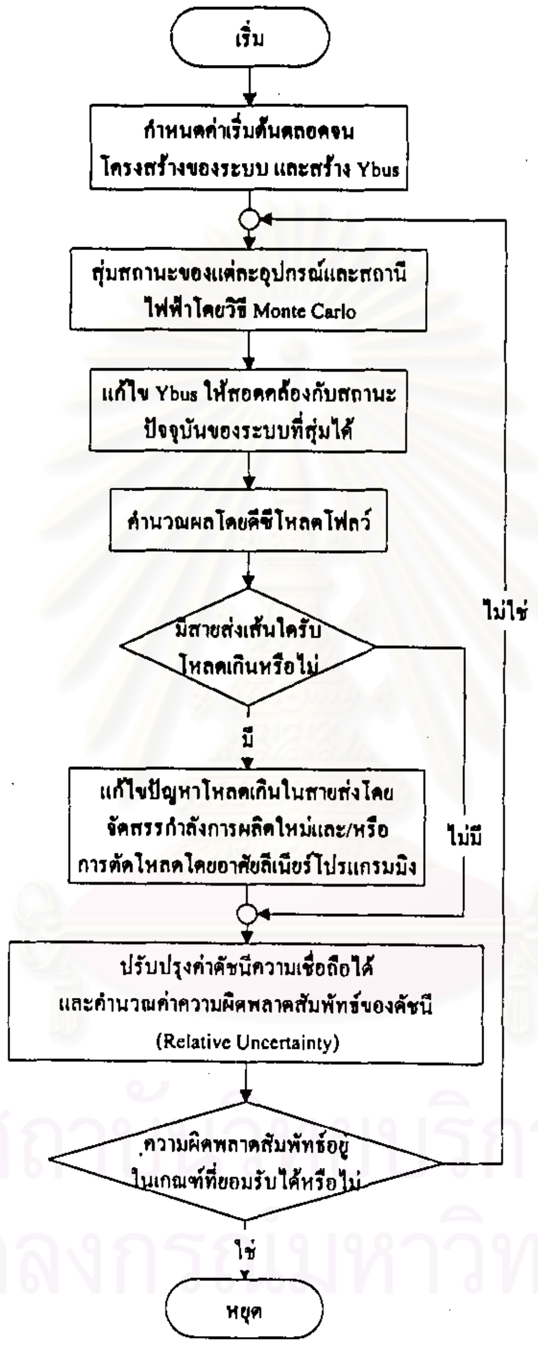
$$\text{ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \frac{S}{\hat{x}\sqrt{n}} \qquad (6.23)$$

โดยที่ S = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)ของดัชนี

$\hat{x}$ = ค่าเฉลี่ย(Mean)ของดัชนี

n = จำนวนครั้งของการสุ่ม

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น สามารถนำมาสรุปเป็นขั้นตอนของการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ได้แสดงไว้ดังรูป 6.6



รูปที่ 6.6 ขั้นตอนการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การกำหนดค่าสูงสุดของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ที่ยอมรับได้เป็นเกณฑ์การหยุดการคำนวณ และอาศัยวิธีการสุ่มสถานะของระบบดังแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 6.1 เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก ตรงไปตรงมา และเพื่อเป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีเกี่ยวกับความถี่ที่ประเมินจากการสุ่มสถานะซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กันทางเวลาโดยมีสมมติฐานให้ระบบเป็นระบบโคฮีเรนซ์ว่าจะให้ค่าดัชนีที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่เพียงใด สำหรับตัวอย่างการคำนวณโดยละเอียดได้แสดงไว้ในบทถัดไป