บทที่ 2

ส่วนประกอบเบื้องต้นของการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยวิธีความน่าจะเป็น

2.1 การจัดแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้ในการหาค่าความเชื่อถือได้โดยวิธีความน่าจะเป็น

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ทันสมัยในปัจจุบัน มีโครงสร้างวงจรที่ซับซ้อนและประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้ามากมาย ถึงแม้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูงก็ไม่สามารถจะวิเคราะห์หาคุณลักษณะ หรือค่าดัชนีต่างๆของระบบไฟฟ้าโดยรวมทั้งระบบได้ทั้งหมดและให้ผลการคำนวณที่สมบูรณ์สมจริง แต่ปัญหานี้ไม่ใช่ส่วนสำคัญ เพราะถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์จะสามารถคำนวณได้ ปัญหาอยู่ที่ว่าจะสามารถหาความหมายหรือคำอธิบายให้กับค่าดัชนีที่คำนวณออกมาได้อย่างไร เพื่อให้เกิดภาพพจน์ที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบได้ ดังนั้นในปัจจุบันการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้โดยวิธีความน่าจะเป็น กระทำโดยจัดแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ออกเป็นระบบส่วนย่อยที่เหมาะสม วิธีการดังกล่าวจะทำให้สามารถแยกวิเคราะห์ส่วนต่าง ๆ ได้ค่อนข้างเป็นอิสระ การจัดแบ่งออกเป็นระบบส่วนย่อยอาจจำแนกตามลักษณะองค์ประกอบของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่รวมอยู่ในระบบส่วนย่อย หรือองค์ประกอบของเนทเวอร์ค เป็นต้น ตัวอย่างการจัดแบ่งระบบส่วนย่อยเพื่อใช้ในการแยกวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อได้ ตามเอกสารอ้างอิง [2] จำแนกได้ดังนี้

1. สถานีผลิตกำลังไฟฟ้า (Generating station) สามารถแยกวิเคราะห์รายละเอียดลงไปในระดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง (Generating unit) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในสถานีนั้น ๆ

2. กำลังการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generating capacity) พิจารณาถึงสถานะของกำลังผลิตรวมในแต่ละสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ส่งผลกระทบต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ เมื่ออุปกรณ์ต่าง ๆ และระบบสายส่งทำงานปกติ

3. ระบบการผลิตกำลังไฟฟ้าและระบบสายส่งขนาดใหญ่(Composite generation and transmission system) ซึ่งอาจรวมหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงไว้ด้วย

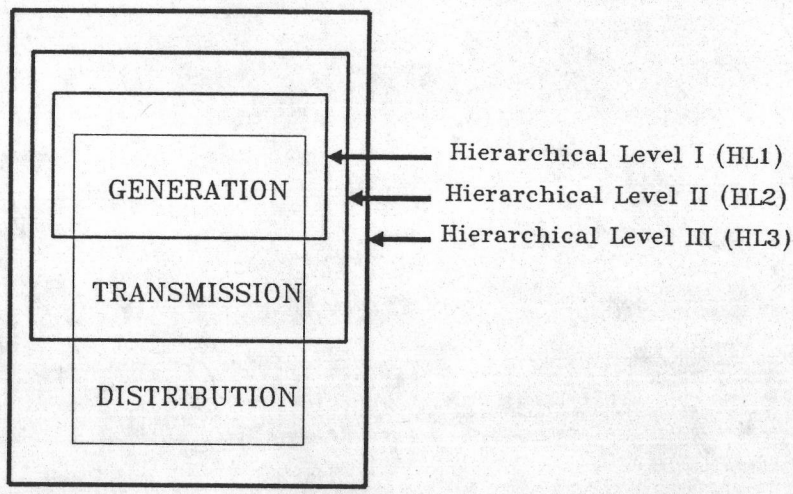
4. ระบบสายส่งย่อย ระบบจำหน่าย (Network of distribution system)

5. ระบบเชื่อมโยงไฟฟ้ากาสง (Interconnected system)

6. สถานีไฟฟ้าย่อยและสวิทชิ่ง (Substation and switching stations)

7. ระบบป้องกัน (Protection systems)

จากการจัดแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกเป็นระบบส่วนย่อยดังกล่าวมาเบื้องต้น สามารถนำมาสรุปรวมดังในรูปที่ 2.1 แสดงขอบเขตของการพิจารณาหาค่าความเชื่อถือได้ในระดับ (Hierarchical Level) ต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ระบบการผลิตกำลังไฟฟ้า ระบบสายส่งขนาดใหญ่ และระบบสายส่งย่อย/ระบบจำหน่าย จนถึงจุดผู้ใช้โหลด การจัดแบ่งดังกล่าวเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปในปัจจุบัน [1,11] สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 การจัดแบ่งระดับ (Hierarchical Level) เพื่อใช้ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

1. การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิต (Hierarchical Level I ,HL1) เป็นการหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบอันเป็นผลเนื่องจากสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจทำให้กำลังการผลิตรวมของระบบไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลด ปัจจุบันค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆในระดับนี้ได้เป็นที่ยอมรับกันมากขึ้นทั้งในด้านวิธีการ คำจำกัดความและความหมายของค่าดัชนี สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกัน

ได้ [1] การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระดับ HL1 ไม่ซับซ้อนมากนักในการสร้างแบบจำลอง จะพิจารณารายละเอียดเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแบบจำลองโหลดเท่านั้น การคำนวณสามารถใช้วิธีรีเคอร์ซีพ (Recursive technique) วิธีการคำนวณโดยละเอียดแสดงในเอกสารอ้างอิง [2,3]

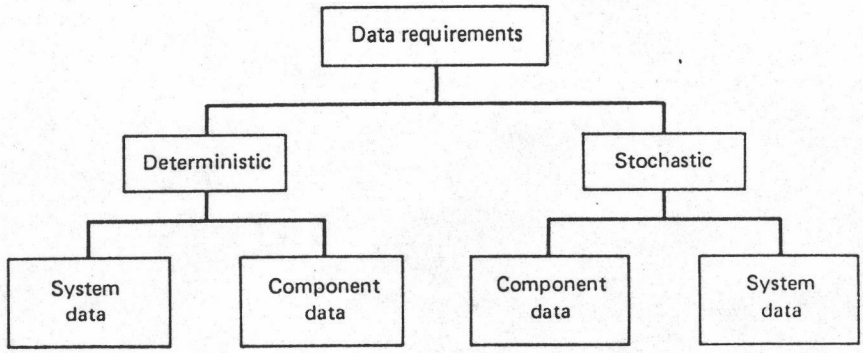
2. การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตและระบบสายส่งขนาดใหญ่ (Hierarchical Level II ,HL2) รวมผลของแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระดับ HL1 เข้ากับแบบจำลองระบบสายส่งขนาดใหญ่ (Bulk transmission) และรวมถึงหม้อแปลงไฟฟ้า จากนั้นใช้โหลดโฟลว์เทคนิคในการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบสามารถจ่ายให้กับโหลดบัสต่าง ๆ ในแต่ละสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง กรณีที่กำลังการผลิตในสถานะการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องนั้นไม่เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดบัสต่าง ๆ ในระบบ เกิดการชำรุดของสายส่ง/หม้อแปลงไฟฟ้า หรือเกิดโอเวอร์โหลดในสายส่ง "วิธีการตัดโหลด" (Load curtailment philosophy) ที่เหมาะสมจะถูกนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว ดังนั้นค่าความเชื่อถือได้จึงอาจพิจารณาได้ทั้งในระดับค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของโหลดบัส (Load point indices) และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของทั้งระบบ (Overall system indices) วิธีการคำนวณแสดงในเอกสารอ้างอิง[2] และเสนอรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

3. การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย (Hierarchical Level III ,HL3) นำผลของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ระดับโหลดบัส ณ บัสต่าง ๆ จากการคำนวณในระดับ HL2 มาประกอบร่วมกับการหาค่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่าย (Distribution system) ดังแสดงวิธีการคำนวณโดยละเอียดในเอกสารอ้างอิง [2] ค่าดัชนีต่างๆ ที่คำนวณได้ส่วนใหญ่จะแสดงถึงคุณภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ที่สามารถจะส่งจ่ายโหลดให้กับผู้ใช้ไฟตามที่ต้องการ

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้โดยวิธีความน่าจะเป็น

การวิเคราะห์พฤติกรรมความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยอาศัยวิธีความน่าจะเป็นเพิ่งได้รับการยอมรับในช่วงทศวรรษ 1930 ที่ผ่านมา เหตุผลที่วิธีการดังกล่าวไม่เป็นที่แพร่หลายในช่วงก่อนเวลาดังกล่าวคือ การขาดแคลนข้อมูล อันนอกเหนือจากเหตุผลในด้านข้อจำกัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งยังไม่ได้รับการพัฒนา และขาดเทคนิควิธีการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม [2] เหตุผลดังกล่าวทั้งหมดข้างต้นมิใช่ปัญหาสำหรับปัจจุบันอีกต่อไป ข้อมูลต่าง ๆ ที่

จำเป็นได้รับการจัดเก็บโดยการไฟฟ้า (Utility) ขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมต่อไป ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ สามารถจัดแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การจัดแบ่งประเภทข้อมูลสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้

2.2.1 ข้อมูลดีเทอร์มินิสติค (Deterministic data)

ประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากการกำหนด หรือคำนวณผลจากคุณสมบัติเฉพาะข้อมูลดังกล่าวในระดับองค์ประกอบย่อย (Component data) เช่น ค่าอิมพิแดนซ์/ขนาดของสายส่ง ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตลอดจนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณโหลดโฟลว์ เป็นต้น ซึ่งค่าดังกล่าวมาข้างต้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อยู่ทั่วไปแล้วในการคำนวณทางวิศวกรรม และสำหรับข้อมูลของระบบ (System data) เป็นข้อมูลเสนอวิธีการที่ใช้ในทางปฏิบัติสามารถตอบสนองและมีวิธีการแก้ไข (Remedial action) ระบบอย่างไร เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบไฟฟ้าที่สถานการณ์ต่าง ๆ กัน ข้อมูลในส่วนดังกล่าวถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญ และมีความยากลำบากในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ผลการคำนวณที่เหมาะสม

2.2.2 ข้อมูลสโตคาสติค (Stochastic data)

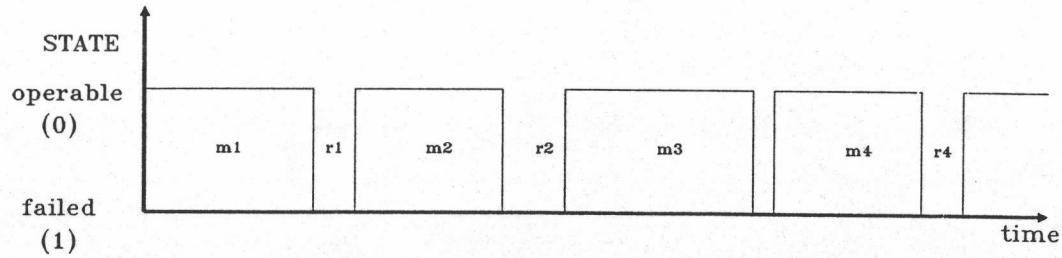
ข้อมูลประเภทนี้ใช้ในการจำลองพฤติกรรม หรือความน่าจะเป็นสำหรับสถานะการทำงานที่แตกต่างกัน ข้อมูลในระดับองค์ประกอบย่อย (Component data) เช่น ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับโอกาสที่จะเกิดการขัดข้อง ระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมของอุปกรณ์แต่ละชิ้นในระบบ นอกจากนี้ มีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาถึงการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในระบบซึ่งมีอุปกรณ์ขัดข้องมากกว่า 2 ชิ้นขึ้นไป ข้อมูลในลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของระบบ ซึ่งจำเป็นต้องนำมาใช้

ประกอบในการหาค่าความเชื่อถือได้ในระดับ HL2 ข้อมูลของระบบ (System data) ที่เกี่ยวข้องกับกรณีเกิดเหตุการณ์ขัดข้องซึ่งมีผลเกี่ยวเนื่องทำให้อุปกรณ์ขัดข้องในระบบตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไป สามารถจัดแบ่งได้ออกเป็น 4 ลักษณะดังนี้

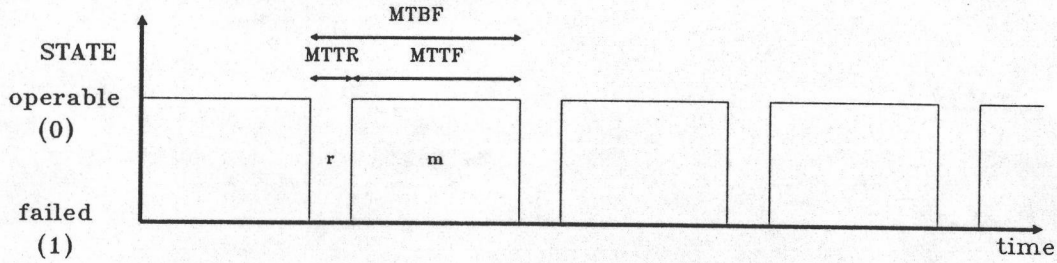
1. การเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในอุปกรณ์แต่ละชิ้นเป็นอิสระต่อกัน (Independent outages)
2. การเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในอุปกรณ์แต่ละชิ้นไม่เป็นอิสระต่อกัน (Dependent outages)
3. การเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในสถานะหนึ่งทำให้อุปกรณ์ประเภทเดียวกันตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปเกิดเหตุขัดข้องพร้อมกัน (Common mode outages)
4. การเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง เป็นผลเนื่องจากการทำงานของสถานีในระบบไฟฟ้า (Station originated outages)

2.3 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบย่อยของระบบ

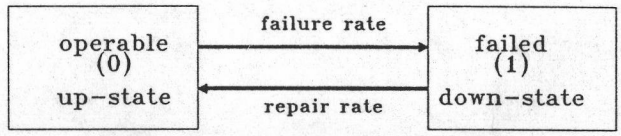
ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยอาศัยวิธีความน่าจะเป็น ขั้นตอนที่สำคัญคือการสร้างแบบจำลองเพื่อแทนพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สายส่ง หรือตัวพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการคำนวณของระบบ เช่น สภาวะอากาศ (Weather) หรือฤดูกาล (Season)ที่ต่างกันจะทำให้โอกาสที่ระบบจะเกิดการขัดข้องแตกต่างกัน การสร้างแบบจำลองจะเป็นการจำลองพฤติกรรม หรือโอกาสความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์หรือตัวพารามิเตอร์หนึ่ง ๆ ทำงานในแต่ละสถานะที่แตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะเป็นข้อมูลประเภทสโตคาสติค ตัวอย่างเช่น ถ้าพิจารณาพฤติกรรมการทำงานขององค์ประกอบย่อย (Single repairable component) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ก. จะเห็นได้ว่าการทำงานปกติของอุปกรณ์มีลักษณะเป็นช่วงตามคาบเวลาที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-periodic) ประกอบด้วยสถานะทำงานปกติ "ดี" (Operable state) สลับกับสถานะขัดข้อง "เสีย" (Failed state) แต่ในการสร้างแบบจำลอง 2 สถานะ "ดี-เสีย"เพื่อแทนการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวในช่วงระยะเวลายาว (Long term) สามารถจะประมาณช่วงระยะเวลาในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย และช่วงคาบเวลาแสดงพฤติกรรมของอุปกรณ์มีลักษณะเป็นคาบเวลาที่สม่ำเสมอได้ (Periodic) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ข.



2.3 ก) สถานะการทำงานของอุปกรณ์โดยปกติ สำหรับอุปกรณ์ 2 สถานะ



2.3 ข) ช่วงเวลาเฉลี่ยแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์



2.3 ค) แบบจำลองสถานะ (State space diagram)

รูปที่ 2.3 พฤติกรรมการทำงานและแบบจำลองสำหรับองค์ประกอบย่อย/หรืออุปกรณ์ 2 สถานะ

เทคนิคที่ใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง สำหรับองค์ประกอบย่อยหรือของระบบ มีหลายวิธีดังแสดงในเอกสารอ้างอิง [9] แต่เทคนิคหลักสำคัญที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหา และได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในช่วงเวลาที่ผ่านมาคือ "วิธีการมาร์คอฟ" (Markov approach) หรือ การสร้างแบบจำลองมาร์คอฟ (Markov modelling) วิธีการดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้ในการจำลองพฤติกรรมแบบสุ่มของระบบหรือองค์ประกอบย่อย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับเวลา(Time) หรือสถานะ (Space) จะมีลักษณะแบบต่อเนื่อง (Continuous) หรือไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ก็ได้

แต่เงื่อนไขสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีนี้มี 2 ประการ ประการที่หนึ่งพฤติกรรมของระบบจะต้องไม่ถูกควบคุมโดยหน่วยความจำ (Lack of memory) กล่าวคือสถานะที่จะเกิดต่อไปของระบบ (Future state) จะไม่ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นผ่านมาในอดีต ยกเว้นสถานะที่เกิดก่อนสถานะที่กำลังจะเกิดขึ้นเท่านั้น และประการที่สองพฤติกรรมของระบบจะต้องคงที่สม่ำเสมอ ทุกจุดเวลา ไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา

โดยปกติแล้วสถานะ (State or space) ของระบบ หรือองค์ประกอบย่อยที่ใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้จะมีลักษณะเป็นฟังก์ชั่นไม่ต่อเนื่อง (Discrete function) ขณะที่เวลาที่พิจารณาจะเป็นแบบฟังก์ชั่นต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องก็ได้ ถ้ากรณีที่ฟังก์ชั่นสัมพันธ์กับเวลาแบบไม่ต่อเนื่องมีชื่อเรียกโดยทั่วไปว่า "วิธีมาร์คอฟเชน"(Markov chain) ถ้าเป็นกรณีที่ฟังก์ชั่นสัมพันธ์กับเวลาแบบต่อเนื่องเรียกว่า "กระบวนการมาร์คอฟ"(Markov process) รายละเอียดและการพิสูจน์ของวิธีการทั้ง 2 แสดงในเอกสารอ้างอิง [9] บทที่ 8 และ 9

สำหรับในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบกำลังไฟฟ้าจะใช้วิธีกระบวนการมาร์คอฟ สมการที่ใช้ในการคำนวณแบบจำลอง i สถานะ มีดังต่อไปนี้

$$\left[P'_1(t)\ P'_2(t)\ldots P'_i(t)\right]=\left[P_1(t)\ P_2(t)\ldots P_i(t)\right]\begin{bmatrix} -\sum_{j\neq 1}^{i}\lambda_{1j} & \lambda_{12} & \cdots & \lambda_{1i} \\ \lambda_{21} & -\sum_{j\neq 2}^{i}\lambda_{2j} & \cdots & \lambda_{2i} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{i1} & \lambda_{i2} & \cdots & -\sum_{j\neq i}^{i}\lambda_{ij} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$\Sigma\ P_i(0) = 1.0 \qquad .....(2.2)$$

โดยที่ i = จำนวนสถานะในแบบจำลอง (State or space)

λ_{ij} = ความถี่ของการย้ายสถานะ (Transition rate)จากสถานะ i ไปสู่สถานะ j

= (จำนวนครั้งของการย้ายสถานะจากสถานะ i ไปสู่สถานะ j)/(ระยะเวลาที่อยู่ในสถานะ i ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา) ครั้ง/ปี

$P'_i(t)$ = สมการดิฟเฟอร์เรนเชียลฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของสถานะ i ณ เวลา t

$P_i(t)$ = ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นของสถานะ i ณ เวลา t

$P_i(0)$ = ความน่าจะเป็นของสถานะ ณ เวลาจุดเริ่มต้น t = 0 ปกติจะกำหนดให้สถานะการทำงานปกติ "ดี" มีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น = 1.0

จากสมการทั้งสองสามารถหาคำตอบ โดยการแก้สมการดิฟเฟอร์เรนเชียล และใช้เทคนิคลาปลาสทรานสฟอร์ม (Laplace transform) ตัวอย่างการสร้างแบบจำลอง 2 สถานะขององค์ประกอบย่อยชนิดสามารถซ่อมแซมได้ (Single repairable component) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 มีขั้นตอนการคำนวณและให้คำจำกัดความสำหรับพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

m = ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของสถานะทำงานปกติ "ดี" หรือ MEAN TIME TO FAILURE (MTTF)

r = ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของสถานะทำงานปกติ "เสีย" หรือ MEAN TIME TO REPAIR (MTTR)

T=m+r = ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยระหว่างการเกิดสถานะขัดข้อง หรือ MEAN TIME BETWEEN FAILURE (MTBF)

f=1/T = ความถี่ของวงรอบสถานะ (Cycle frequency)

$\lambda=1/m$ = อัตราการเสีย (Failure rate) หรือความถี่ของการย้ายสถานะจากสถานะดี (0) ไปสู่สถานะเสีย (1)

$\mu=1/r$ = อัตราการซ่อมแซม (Repair rate) หรือความถี่ของการย้ายสถานะจากสถานะเสีย (1) ไปสู่สถานะดี (0)

จากสมการ 2.1 $$[P_o'(t)\quad P_1'(t)]=[P_o(t)\quad P_1(t)]\begin{bmatrix}-\lambda & \lambda\\ \mu & -\mu\end{bmatrix} \qquad .....(2.3)$$

$$sP_o(s)-P_o(0)=-\lambda P_o(s)+\mu P_1(s) \qquad .....(2.4)$$

จากสมการ 2.4 $$P_o(s)=\frac{\mu}{s+\lambda}P_1(s)+\frac{1}{s+\lambda}P_o(0) \qquad .....(2.5\ ก.)$$

ในทำนองเดียวกับ 2.4, 2.5 ก. $$P_1(s)=\frac{\lambda}{s+\mu}P_o(s)+\frac{1}{s+\mu}P_1(0) \qquad .....(2.5\ ข.)$$

แก้สมการ 2.5 ก., 2.5 ข. แล้วแปลงอินเวอร์สลาปลาสทรานสฟอร์ม

$$P_o(t)=\frac{\mu}{\lambda+\mu}[P_o(0)+P_1(0)]+\frac{e^{-(\lambda+\mu)t}}{\lambda+\mu}[\lambda P_o(0)-\mu P_1(0)] \qquad .....(2.6\ ก.)$$

$$P_1(t)=\frac{\lambda}{\lambda+\mu}[P_o(0)+P_1(0)]+\frac{e^{-(\lambda+\mu)t}}{\lambda+\mu}[\mu P_1(0)-\lambda P_o(0)] \qquad .....(2.6\ ข.)$$

จากสมการ 2.2 $\Sigma\ P_i(0) = P_o(0)+P_1(0)=1$

กำหนดให้ความน่าจะเป็นของสถานะ ณ เวลา $t = 0$ $P_o(0) = 1$, $P_1(0) = 0$

แทนค่า $P_o(0)$, $P_1(0)$ ในสมการ 2.6 ก., 2.6 ข.

$$P_o(t)=\frac{\mu}{\lambda+\mu}+\frac{\lambda e^{-(\lambda+\mu)t}}{\lambda+\mu} \qquad .....(2.7\ ก.)$$

$$P_1(t)=\frac{\lambda}{\lambda+\mu}-\frac{\lambda e^{-(\lambda+\mu)t}}{\lambda+\mu} \qquad .....(2.7\ ข.)$$

สมการ 2.7 แสดงความน่าจะเป็นของสถานะในแบบจำลอง 2 สถานะ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของเวลาที่เริ่มต้น ณ. เวลา t= 0 ในสถานะทำงานปกติ เมื่อ t มีค่ามาก ($t \longrightarrow \alpha$) สมการ 2.7 สามารถลดรูปเหลือเพียง

$$P_o = \frac{\mu}{\lambda+\mu}$$

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

และสามารถให้คำจำกัดความสำหรับค่าพารามิเตอร์เพิ่มเติมได้ ดังต่อไปนี้

$A = P_o$ = ความพร้อมมูลในระยะยาว (Long-term availability) หรือ สถานะ "ดี"

$U = P_1$ = ความไม่พร้อมมูลในระยะยาว (Long-term unavailability)หรือ สถานะ "เสีย" หรือ อัตราการเกิดเหตุขัดข้อง (Forced Outage Rate ,FOR)

วิธีการคำนวณหาความน่าจะเป็นของสถานะในแบบจำลองดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับ กรณีต้องการสร้างแบบจำลองสถานะที่มีสถานะในองค์ประกอบย่อยมากกว่า 2 สถานะขึ้นไป หรือมีองค์ประกอบย่อยมากกว่า 1 องค์ประกอบขึ้นไป ภายใต้เงื่อนไขของการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องต่าง ๆ กัน ดังประเภทที่จำแนกในหัวข้อ 2.2.2 อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่มีประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยหลายหน่วย จะส่งผลให้จำนวนสถานะในแบบจำลองที่ต้องพิจารณามากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดความยุ่งยากในด้านการแก้สมการหรือขั้นตอนการคำนวณ

สรุปขั้นตอนหลักในการสร้างแบบจำลองสำหรับองค์ประกอบย่อยที่มีหลายสถานะ หรือมีองค์ประกอบย่อยมากกว่า 1 หน่วยขึ้นไป

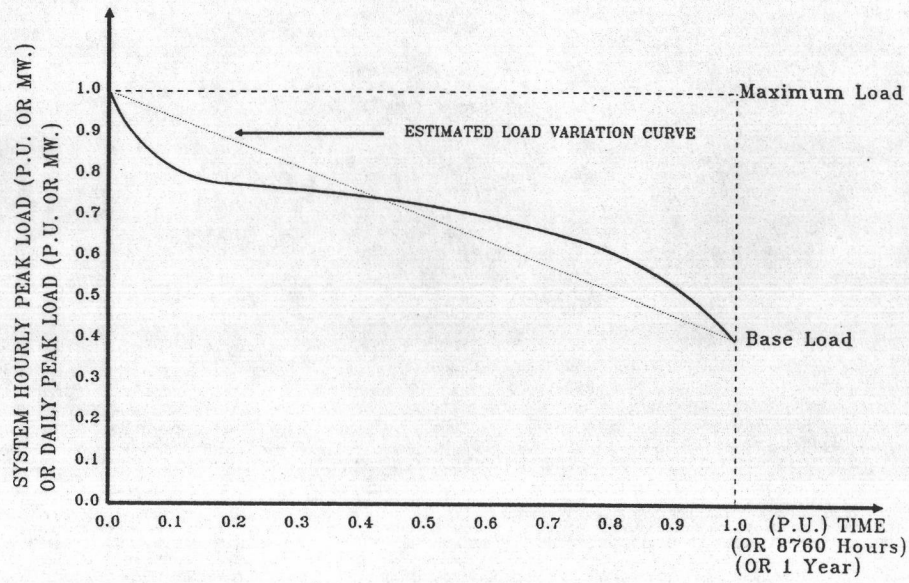
1. สร้างแบบจำลองสถานะ (State space diagram)ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3 ค.

2. หาความถี่การย้ายสถานะจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่ง (Transition rate) จากข้อมูลบันทึกพฤติกรรมการทำงานจริงในระยะยาว โดยให้สอดคล้องกับแบบจำลองสถานะในข้อ 1

3. แก้สมการ 2.1,2.2 หาคำตอบ โดยกำหนดความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะ ณ. เวลา t = 0 ให้เหมาะสม

2.4 การสร้างแบบจำลองโหลด

ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือโดยวิธีความน่าจะเป็น มีความจำเป็นต้องจำลองพฤติกรรมตามต้องการโหลดของทั้งระบบหรือโหลดบัส ให้สอดคล้องกับการนำมาวิเคราะห์ร่วมกับแบบจำลองขององค์ประกอบย่อยอื่น ๆ แบบจำลองโหลดส่วนใหญ่ที่ใช้จะอาศัยข้อมูลค่าโหลดสูงสุดประจำวัน (Daily peak load) หรือประจำชั่วโมง (Hourly peak load) ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาซึ่งอาจเป็นระยะเวลา 1 เดือน 1 ปี หรือแปลงช่วงระยะเวลาที่ศึกษาเป็น 1 หน่วยเวลา (Per unit) ก็ได้ ถ้าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโหลดสูงสุดประจำวันกับเวลา เรียกว่า Daily peak load variation curve ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และถ้าเป็นค่าความสัมพันธ์ของโหลดในแต่ละชั่วโมง เรียกว่า Load duration curve สำหรับการเลือกใช้แบบจำลองโหลดทั้ง 2 แบบ ดังกล่าวมาข้างต้น ขึ้นอยู่กับการจะนำไปใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ชนิดใด เช่น ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบการผลิต Loss of load expectation (LOLE) ปกติจะใช้ Daily peak load variation curve และใช้ Load duration curve ในการหาค่า Loss of energy expectation(LOEE) หรือ Expected energy not supplied (EENS)เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณอาจประมาณแบบจำลองโหลดให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของค่าโหลดสูงสุด และเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (เส้นประ)



รูปที่ 2.4 แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการคำนวณ

018254

นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ เพื่อการวางแผนระบบไฟฟ้าในอนาคต จำเป็นต้องมีการคาดคะเนค่าของโหลดที่เพิ่มขึ้น โดยอาจคาดคะเนเป็นร้อยละของโหลดสูงสุด ซึ่งหาได้จากการสร้างสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ากับตัวแปรต่าง ๆ เช่น ระยะเวลา ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ เป็นต้น โดยอาศัยข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต และเนื่องจากการคาดคะเนโหลดมีความไม่แน่นอน (Uncertainty) รวมอยู่ด้วย ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางสถิติ ซึ่งแทนด้วยโค้งการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) จะถูกนำมาใช้คำนวณประกอบเพื่อให้ผลการคาดคะเนโหลดถูกต้องยิ่งขึ้น [3] แต่รายละเอียดดังกล่าวจะไม่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้