บทที่ 4

วิธีการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 ว่าวิธีการคำนวณความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังตลอดจนระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าที่ใช้วิธีการวิเคราะห์มีหลายวิธี ซึ่งในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ณ. จุดโหลดจำเป็นต้องทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังจุดโหลดนั้น ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอถึงรายละเอียดของวิธีการวิเคราะแบบต่าง ๆ และเสนอวิธีการหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังจุดโหลด

4.1 วิธีการวิเคราะห์ (Analytical method)

วิธีวิเคราะห์เป็นวิธีที่อาศัยแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แล้วคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ตามสมการคณิตศาสตร์ และถือเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำ [5,6] สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังนั้นพอแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีการหลักคือ

1. วิธีการลดทอนเครือข่าย
2. วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข
3. วิธีมินิมัลคัทเซต
4. วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้

แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 วิธีลดทอนเครือข่าย (Network reduction method) [6,15]

วิธีนี้อาศัยหลักของการต่อแบบอนุกรมและขนาน ในระบบที่มีอุปกรณ์ต่ออนุกรมกันดังรูปที่ 4.1 ก) จะใช้งานได้เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวใช้งานได้พร้อมกัน นั่นคือ

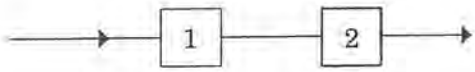
$$R_s = \prod R = R_1 * R_2 \qquad (4.1)$$

โดย R_s คือความเชื่อถือได้ของระบบ

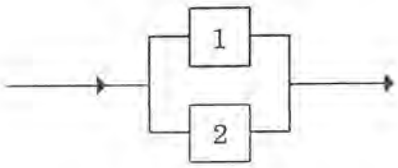
R_1 คือความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ 1

และ R_2 คือความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ 2

ระบบที่มีอุปกรณ์ต่อขนานกันดังรูปที่ 4.1 ข) จะขัดข้องเมื่ออุปกรณ์ทุกตัวเกิดขัดข้องพร้อมกันนั่นคือ



ก) ระบบอนุกรม



ข) ระบบขนาน

รูปที่ 4.1 ระบบอนุกรมและขนาน

$$Q_s = \prod Q = Q_1 * Q_2 \qquad (4.2)$$

โดย Q_s คือความเสี่ยงของระบบ

Q_1 คือความเสี่ยงของอุปกรณ์ 1

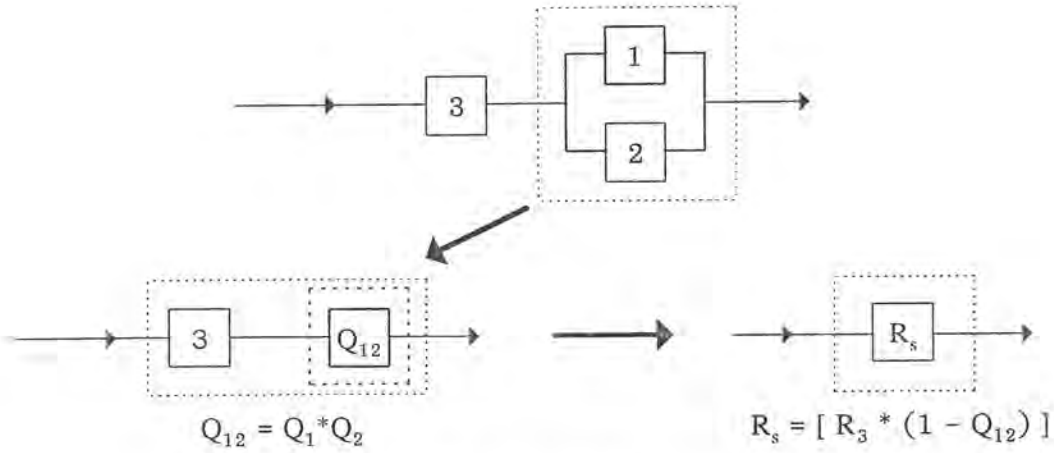
และ Q_2 คือความเสี่ยงของอุปกรณ์ 2

และทั้งระบบอนุกรมและขนานจะสามารถหา R_s หรือ Q_s ได้ดังนี้

$$Q_s = \quad 1-R_s \qquad (4.3)$$

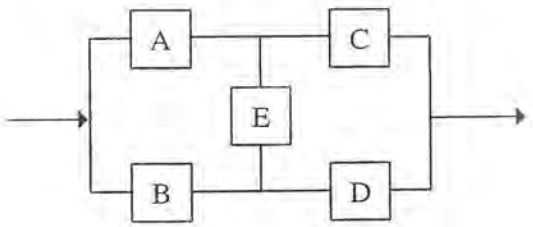
สำหรับระบบที่ประกอบด้วยการต่ออนุกรมและขนานผสมกันอยู่นั้นสามารถวิเคราะห์ความเชื่อถือได้โดยการลดทอนเครือข่ายดังรูปที่ 4.2

I17259454



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการยุบส่วนของระบบที่ต่อแบบขนานและอนุกรม

จากตัวอย่างในการต่อแบบอนุกรมเมื่อยิ่งเพิ่มอุปกรณ์อนุกรมก็จะทำให้ความเชื่อถือได้ลดลง แต่สำหรับในการต่อแบบขนานถ้าเพิ่มอุปกรณ์ขนานมากขึ้นก็จะทำให้ความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในระบบที่ซับซ้อนขึ้นเช่นในรูปที่ 4.3 จะไม่สามารถวิเคราะห์โดยวิธีลดทอนเครือข่ายนี้ได้



รูปที่ 4.3 ระบบที่ซับซ้อน

4.1.2 วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional probability method) [6]

การวิเคราะห์ระบบที่ซับซ้อนเช่นในรูปที่ 4.3 สามารถกระทำได้โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข หากให้ P คือความน่าจะเป็นจะได้ว่า

P(ระบบใช้งานได้หรือล้มเหลว) = P(ระบบใช้งานได้หรือล้มเหลวถ้าอุปกรณ์ 'x' ดี) * P(อุปกรณ์ 'x' ดี) + P(ระบบใช้งานได้หรือล้มเหลวถ้าอุปกรณ์ 'x' เลว) * P(อุปกรณ์ 'x' เลว) (4.4)

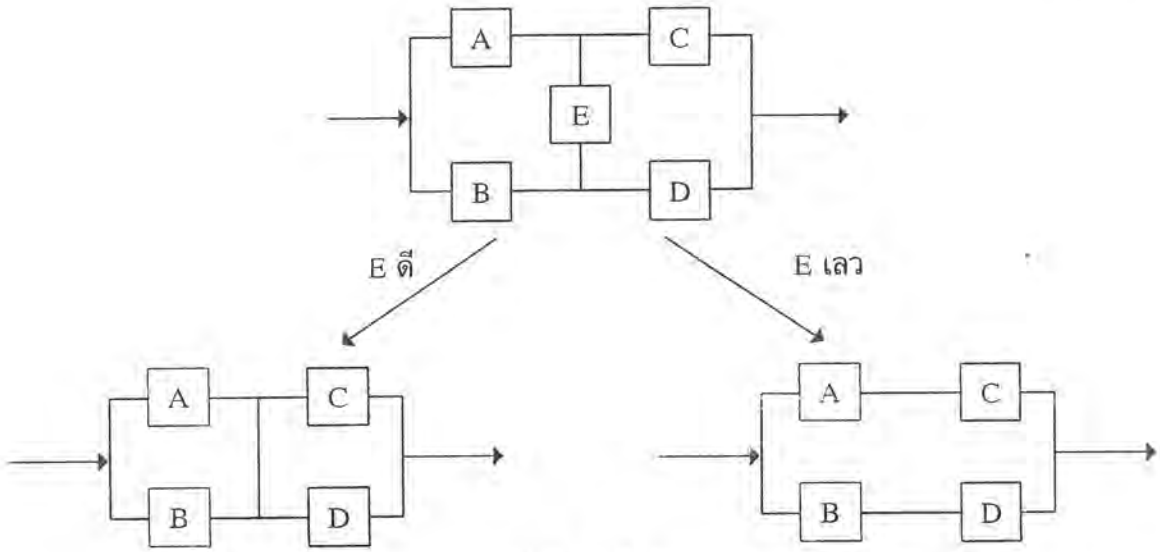
ตัวอย่างเช่นระบบในรูปที่ 4.3 จะสามารถวิเคราะห์ R_s ได้รูปที่ 4.4 และได้สมการดังนี้

$$R_s=R_s(\text{ถ้า E ดี})R_E + R_s(\text{ถ้า E เลว})Q_E \qquad (4.5)$$

เงื่อนไข : ให้ E ดี จะได้ $R_{s1} = (1-Q_AQ_B)(1-Q_CQ_D)$ (4.6)

เงื่อนไข : ให้ E เลว จะได้ $R_{s2} = 1-(1-R_AR_C)(1-R_BR_D)$ (4.7)

$$\begin{aligned}\therefore\ R_s &= (1-Q_AQ_B)(1-Q_CQ_D)R_E + (1-(1-R_AR_C)(1-R_BR_D))Q_E \\ &= R_AR_C + R_BR_D + R_AR_DR_E + R_BR_CR_E - R_AR_BR_CR_D - R_AR_CR_DR_E \\ &\quad - R_AR_BR_CR_E - R_BR_CR_DR_E - R_AR_BR_DR_E + 2R_AR_BR_CR_DR_E\end{aligned} \qquad (4.8)$$



รูปที่ 4.4 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน

วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขนี้นับเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในด้านของความแม่นยำ แต่วิธีดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เนื่องจากไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เป็นกรณีทั่ว ๆไปได้

4.1.3 วิธีมินิมัลคัตเซต (Minimal cut set method) [6]

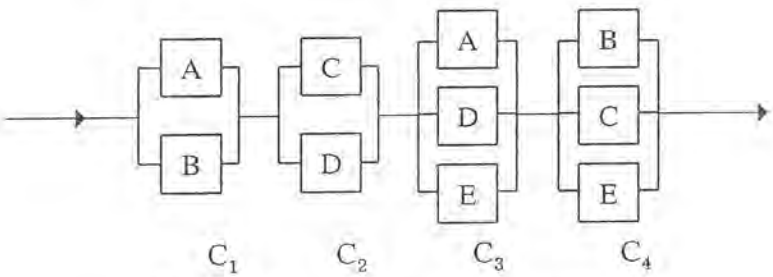
วิธีคัตเซตเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจาก

1. ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ผลรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสำหรับระบบทั่ว ๆไป

2. เป็นวิธีที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะการเกิดขัดข้องของระบบ

คัตเซต คือ กลุ่มอุปกรณ์ของระบบซึ่งเมื่อเกิดการล้มเหลวหรือขัดข้องแล้วทำให้ระบบล้มเหลวหรือไม่สามารถทำงานได้ตามไปด้วย ส่วนมินิมัลคัตเซต คือ คัตเซตที่เล็กที่สุดที่เป็นกลุ่มอุปกรณ์ของระบบซึ่งเมื่อเกิดการล้มเหลวขึ้นแล้วทำให้ระบบล้มเหลวด้วย และหากอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มนั้นใช้งานได้ ระบบก็จะไม่ล้มเหลว หรือกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ทุกตัวในมินิมัลคัตเซตจะต้องล้มเหลวทั้งหมดจึงจะทำให้ระบบล้มเหลว

ตัวอย่างเช่นระบบในรูปที่ 4.3 จะมีมินิมัลคัตเซตทั้งหมด 4 ชุดดังนี้ AB, CD, AED และ BEC และจากนิยามของมินิมัลคัตเซตกับหลักการของระบบอนุกรมและขนานจะได้ดังรูปที่ 4.5 โดย C_1 C_2 C_3 และ C_1 คือมินิมัลคัตเซตที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 มินิมัลคัตเซตของระบบในรูปที่ 4.3

ความเสียงของระบบคำนวณได้จากสมการ

$$Q_s = P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \ldots \cup C_n) \qquad (4.9)$$

ฉะนั้นจากมินิมัลคัตเซตในรูปที่ 4.5 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_s &= P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \ldots \cup C_n) \\ &= P(C_1)+P(C_2)+P(C_3)+P(C_4)-P(C_1 \cap C_2)-P(C_1 \cap C_3) \\ &\quad -P(C_1 \cap C_4)-P(C_2 \cap C_3)-P(C_2 \cap C_4)-P(C_3 \cap C_4) \\ &\quad +P(C_1 \cap C_2 \cap C_3)+P(C_1 \cap C_2 \cap C_4)+P(C_1 \cap C_3 \cap C_4) \\ &\quad +P(C_2 \cap C_3 \cap C_4)-P(C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap C_4) \end{aligned} \qquad (4.10)$$

โดย $P(C_1) = Q_A Q_B$

$P(C_2) = Q_C Q_D$

$P(C_3) = Q_A Q_D Q_E$

$P(C_4) = Q_B Q_C Q_E$

$$P(C_1 \cap C_2) = P(C_1)P(C_2) = Q_A Q_B Q_C Q_D$$
$$P(C_1 \cap C_3) = P(C_1)P(C_3) = Q_A Q_B Q_D Q_E$$
$$P(C_1 \cap C_4) = P(C_1)P(C_4) = Q_A Q_B Q_C Q_E$$
$$P(C_2 \cap C_3) = P(C_2)P(C_3) = Q_A Q_C Q_D Q_E$$
$$P(C_2 \cap C_4) = P(C_2)P(C_4) = Q_B Q_C Q_D Q_E$$
$$P(C_3 \cap C_4) = P(C_3)P(C_4) = Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E$$
$$P(C_1 \cap C_2 \cap C_3) = P(C_1 \cap C_2 \cap C_4)$$
$$= P(C_1 \cap C_3 \cap C_4)$$
$$= P(C_2 \cap C_3 \cap C_4)$$
$$= P(C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap C_4)$$
$$= Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E$$

$$\text{ดังนั้น} \quad Q_s = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_D Q_E + Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_D - Q_A Q_B Q_D Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_C Q_D Q_E - Q_B Q_C Q_D Q_E + 2Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E \qquad (4.11)$$

ในระบบที่มีจำนวนมินิมัลคัตเซตมาก วิธีการดังกล่าวจะไม่ค่อยสะดวกนัก จึงได้มีการประมาณจากวิธีนี้ จากสมการที่ 4.9 เมื่อวิเคราะห์โดยประมาณจะได้ว่า

$$Q_s = P(C_1) + P(C_2) + P(C_3) + \ldots + P(C_i) + \ldots + P(C_n) = \sum_{i=1}^{n} P(C_i) \qquad (4.12)$$

จากตัวอย่างในสมการที่ 4.11 ถ้าใช้วิธีโดยประมาณจะเหลือดังสมการที่ 4.13

$$Q_s = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_D Q_E + Q_B Q_C Q_E \qquad (4.13)$$

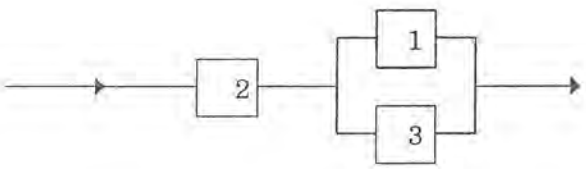
4.1.4 วิธีการวิคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว (Fault tree analysis method) [6,16,17]

เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ Fault tree ซึ่งอาศัยหลักการของ Logic gate โดยมีการประยุกต์เข้ากับความรู้ทางการคำนวณความเชื่อถือได้ดังรูปที่ 4.6 ข้อมูลเข้าเกทแต่ละตัวคือเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic event) k เหตุการณ์ โดยมีผลลัพธ์ (Output) คือการขาดพลัง

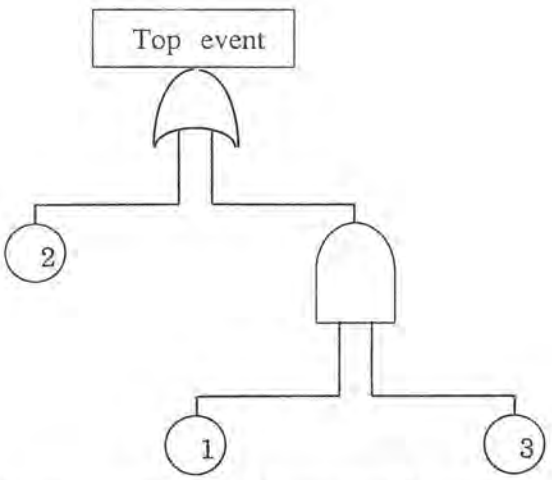
งานไฟฟ้าทางด้านขาออกของสถานีไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Top event หรือ Fault event ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.7 และ 4.8

$U = U_1U_2U_3$ $U = 1 - (1-U_1)(1-U_2)(1-U_3)$

รูปที่ 4.6 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณค่า U



รูปที่ 4.7 ระบบตัวอย่าง



รูปที่ 4.8 แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลวของระบบ

โดยที่ หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากเกท (กรณีที่ใช้กับ Logic gates)

หมายถึง เหตุการณ์พื้นฐาน (กรณีที่ใช้กับ Logic gates)

หมายถึง เกท 'OR'

หมายถึง เกท 'AND'

และ U หมายถึง ความไม่พร้อมมูล

ทั้งนี้แผนภาพสัญลักษณ์ใน Fault tree จะมีความหมายในตัวเองที่นอกเหนือจากแผนภาพในทาง Logic gate เป็นต้นว่า รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะหมายถึงผลลัพธ์ของเกทโดยไม่จำเป็นต้องเป็นผลลัพธ์ของระบบทั้งหมด รูปวงกลมจะหมายถึงความล้มเหลวของอุปกรณ์ซึ่งไม่สามารถแตกกระจายลงไปได้อีกหรือก็คือเหตุการณ์พื้นฐานนั่นเอง และรูปอื่น ๆซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้ วิธีการนี้มีข้อดีในด้านความเป็นระบบในการวิเคราะห์ กล่าวคือเมื่อมีข้อมูลเข้าก็สามารถใส่ในแผนผังแล้วสามารถคำนวณค่าได้ทันที แต่มีข้อเสียคือในกรณีที่ไม่ทราบแผนภาพต้นไม้การล้มเหลวจะทำให้การวิเคราะห์ไม่สะดวกนักเนื่องจากจะต้องมาสร้างแผนภาพดังกล่าว และหากระบบซับซ้อนก็จะสร้างแผนภาพต้นไม้ได้ลำบาก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีมินิมัลคัตเซตเนื่องจากวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไม่ถูกจำกัดด้วยความยากและความซับซ้อนของระบบดังเช่นในวิธีอื่น ๆดังที่นำเสนอไปแล้วข้างต้น

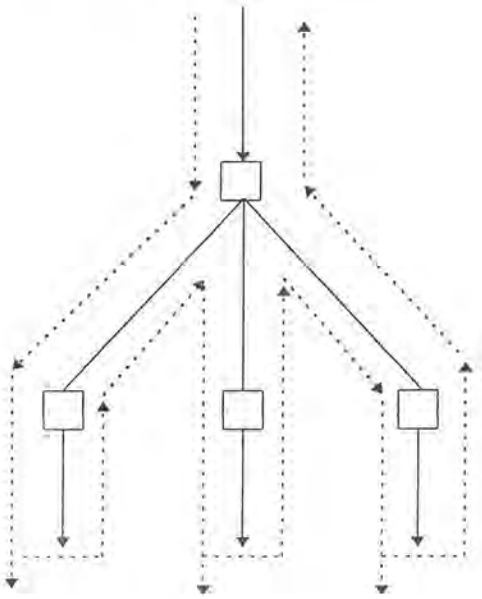
4.2 วิธีการหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้า

วิธีการวิเคราะห์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จำเป็นต้องทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อการตรวจสอบการหาอัตราการล้มเหลวและระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับเฉลี่ยของแต่ละจุดโหลดของระบบในขั้นตอนต่อไป การหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

4.2.1 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีย้อนกลับไปมา [17]

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเส้นประซึ่งแสดงเส้นทางที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจสอบหาเส้นทางที่เป็นไปได้จะมีลักษณะที่ต้องผ่านอุปกรณ์ทุกตัวทั้งขาไปและขากลับ วิธีการนี้ถึง

จะมีข้อดีในด้านที่ง่ายต่อการเข้าใจแต่มีข้อเสียในด้านที่คอมพิวเตอร์ต้องทำงานหนักเพราะต้องพิจารณาผ่านอุปกรณ์ทุกตัวทั้งขาไปและขากลับ



รูปที่ 4.9 เส้นประแสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีย้อนกลับไปมา

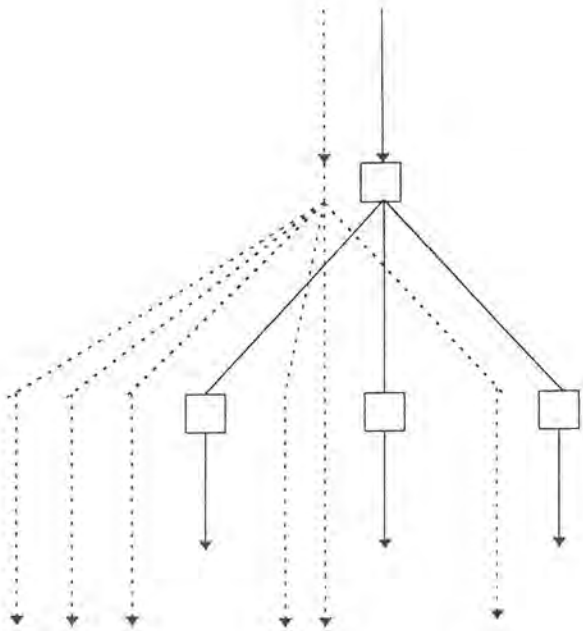
4.2.2 การตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม [14]

ดังรูปที่ 4.10 แสดงวิธีการหาเส้นทางโดยอาศัยการสุ่มหาอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ตัวถัดไป วิธีนี้มีข้อดีในด้านที่ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมเพราะไม่ต้องสร้างฟังก์ชันในการพิจารณาเส้นทางที่ซับซ้อน แต่ใช้ฟังก์ชันสุ่มซึ่งเป็นฟังก์ชันมาตรฐานที่มีอยู่แล้วในภาษาคอมพิวเตอร์แต่มีข้อเสียในด้านที่คอมพิวเตอร์ยังคงต้องทำงานหนักเพราะการสุ่มนั้นต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ครบทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ประกอบกับการสุ่มนั้นมีโอกาสที่ทำให้เกิดเส้นทางที่ซ้ำซ้อนกับเส้นทางที่ได้ทำการสุ่มไว้แล้ว ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ตัวหนึ่งมีอุปกรณ์ตัวถัดไปต่ออยู่ 3 ตัว หากจะทำการพิจารณาหาอุปกรณ์หนึ่งในสามตัวนี้อาจต้องสุ่มถึง 10 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าการสุ่มนั้นต้องมีอุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวอยู่เพื่อจะได้ครบเส้นทางที่เป็นไปได้ทุกเส้นทาง นอกจากนี้ต้องคอยตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่สุ่มมาได้นั้นไม่ก่อให้เกิดวงรอบ (Loop)

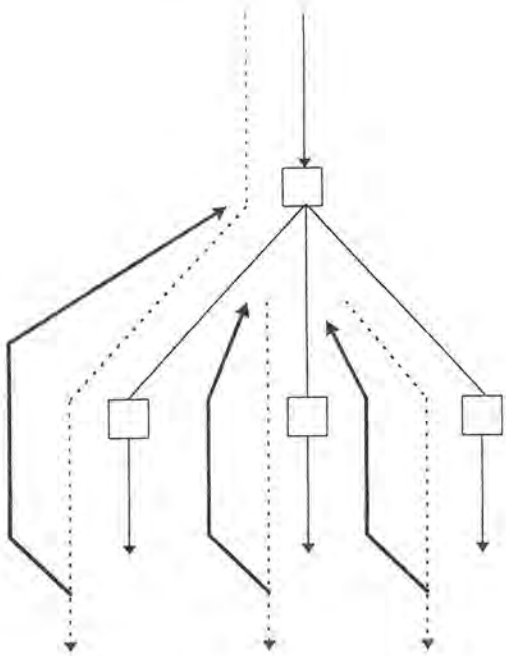
4.2.3 การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม [17]

ตามที่แสดงในรูปที่ 4.11 นี้จะใช้หลักการพิจารณาอุปกรณ์ถัดไปที่ละตัวจนถึงปลายทาง โดยจดจำอุปกรณ์ที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ไว้เป็นจุดแยก เมื่อพบปลายทางแล้วก็กระโดด

ย้อนกลับไปที่จุดแยกเพื่อเริ่มหาเส้นทางใหม่ วิธีนี้ไม่ต้องสุ่มเป็นจำนวนครั้งมาก ๆแต่ก็ต้องมีการตรวจสอบการวนรอบ



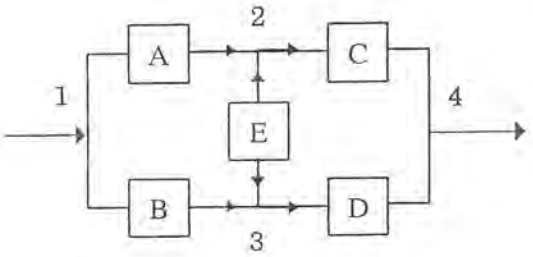
รูปที่ 4.10 เส้นประแสดงการหาเส้นทางสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน



รูปที่ 4.11 เส้นประแสดงการหาเส้นทางโดยมีเส้นหนาแสดงการกระโดดกลับไปยังจุดที่จำไว้

4.2.4 เทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ [6]

วิธีการนี้อาศัยหลักการความสัมพันธ์ของเมตริกซ์โดยการนำระบบที่ต้องการหาเส้นทางมาแปลงให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.12 มีอุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัว ต้องการทราบเส้นทางจากโนด (Node) 1 ไปยังโนด 4 สามารถสร้างเมตริกซ์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.12 ระบบตัวอย่างที่ซับซ้อน

		ถึง			
โนด		1	2	3	4
	1	1	A	B	0
จาก	2	0	1	E	C
	3	0	E	1	D
	4	0	0	0	1

หลักการที่ใช้ในการสร้างเมตริกซ์คือ ระหว่างโนดที่ไม่มีอุปกรณ์ต่ออยู่ให้เติม 0 ระหว่างโนดเดียวกันให้ใส่ 1 ส่วนระหว่างโนดที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่ให้ใส่ชื่อของอุปกรณ์นั้นและต้องพิจารณาด้วยว่าอุปกรณ์ตัวนั้นสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 2 ทางหรือไม่อย่างเช่นอุปกรณ์ E

จากเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นสามารถหาเส้นทางการเดินจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดได้ 2 วิธีคือวิธีคูณเมตริกซ์และวิธีเคลื่อนย้ายโนด ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.4.1 วิธีคูณเมตริกซ์ (Matrix multiplication)

วิธีการนี้ใช้วิธีคูณด้วยเมตริกซ์ทีสร้างขึ้นไปจนกว่าเมตริกซ์ที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง ดังในรูปที่ 4.12 เมตริกซ์ M เป็นเมตริกซ์ที่สร้างขึ้น เมื่อยกกำลังเมตริซ์ M ไปเรื่อย ๆจนเมตริกซ์ไม่เปลี่ยนแปลงก็เป็นการสิ้นสุดกระบวนการ สามารถแสดงวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$M = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & A & B & 0 \\ 2 & 0 & 1 & E & C \\ 3 & 0 & E & 1 & D \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

ฉะนั้น

$$M^2 = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & A+BE & B+AE & AC+BD \\ 2 & 0 & 1 & E & C+DE \\ 3 & 0 & E & 1 & EC+D \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

$$M^3 = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 1 & A+BE & B+AE & AC+BD+BEC+AED \\ 2 & 0 & 1 & E & C+DE \\ 3 & 0 & E & 1 & EC+D \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

จากการคำนวณเมื่อเมตริกซ์ยกกำลัง 3 แล้วเมตริกซ์ก็ไม่เปลี่ยนแปลง ผลดังกล่าวทำให้ทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากทุก ๆโนดไปยังทุก ๆโนด ตัวอย่างเช่น จากโนด 1 ไปยัง โนด 4 มีเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านอุปกร์ต่าง ๆได้ 4 วิธีด้วยกันคือ AC, BD, BECและ AED แต่จะเสียเวลาในการคำนวณสำหรับโนดที่ไม่ต้องการทราบเส้นทาง ยิ่งระบบที่มีอุปกรณ์และโนดจำนวนมากจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากขึ้น

4.2.4.2 วิธีเคลื่อนย้ายโนด (Node removal)

วิธีการนี้จะหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าเฉพาะระหว่างโนดเริ่มต้นและโนดสิ้นสุดที่ต้องการเท่านั้น โดยการเคลื่อนย้ายโนดที่ไม่ใช่โนดเริ่มต้นและโนดสิ้นสุดออกจากเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นจนกระทั่งขนาดเมตริกซ์ลดลงเหลือขนาด 2x2

สมการที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายโนด k ออกจากเมตริกซ์คือ

$$M_{ij} = N_{ij} + (N_{ik} N_{kj}) \qquad i,j \neq k \qquad (4.14)$$

เมื่อ M_{ij} คือ เมตริกซ์ใหม่ที่เคลื่อนย้ายโนด k แล้ว

จากตัวอย่างในรูปที่ 4.12 และเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นสามารถแสดงวิธีการเคลื่อนย้ายโนด 2 ได้ดังต่อไปนี้

$M_{11} = 1 + A.0 = 1$

$M_{13} = B + A.E = B + AE$

$M_{14} = 0 + A.C = AC$

$M_{31} = 0 + E.0 = 0$

$M_{33} = 1 + E.E = 1$

$M_{34} = D + E.C = D + EC$

$M_{41} = 0 + 0.0 = 0$

$M_{43} = 0 + 0.E = 0$

$M_{44} = 1 + 0.C = 1$

เมตริกซ์ที่เคลื่อนย้ายโนด 2 แล้วคือ

	1	3	4
1	1	B+AE	AC
3	0	1	D+EC
4	0	0	1

ต่อไปเมื่อพิจารณาเคลื่อนย้ายโนด 3

$M_{11} = 1 + (B + AE).0 = 1$

$M_{14} = AC + (B + AE)(D + EC) = AC + BD + BEC + AED$

$M_{41} = 0 + 0.0 = 0$

$M_{44} = 1 + 0.1 = 1$

เมตริกซ์สุดท้ายทีเคลื่อนย้ายโนดเรียบร้อยแล้วคือ

	1	4
1	1	AC+BD+BEC+AED
4	0	1

จากเมตริกซ์ดังกล่าวทำให้ทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโนด 1 ไปยังโนด 4 ซึ่งไม่แตกต่างไปจากวิธีคูณเมตริกซ์แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าเนื่องจากไม่ต้องทำการคำนวณโนดที่ไม่สนใจ

วิธีการตรวจหาเส้นทางใน 3 วิธีแรกจำเป็นต้องตรวจสอบว่ามีการวนลูปเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญในการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังเป็นระบบที่ซับซ้อนมีอุปกรณ์ต่ออยู่มากทั้งแบบเรเดียลและแบบร่างแห ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้วิธีความสัมพันธ์ของเมตริกซ์ซึ่งให้ผลที่แม่นยำและถูกต้อง