บทที่ 1

บทนำทั่วไป

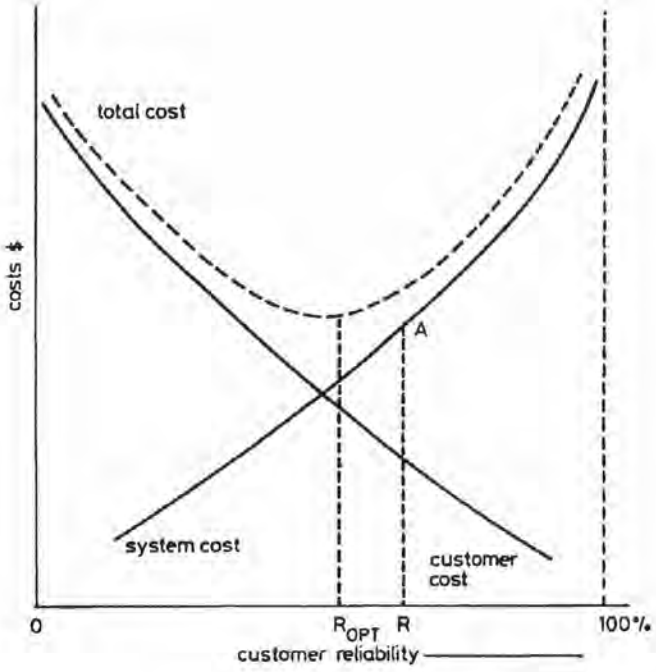
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หน้าที่หลักอย่างหนึ่งของระบบไฟฟ้าคือการจ่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอและต่อเนื่องตลอดเวลาโดยมีราคาและความเชื่อถือได้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นอกจากนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ทำการจ่ายต้องมีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป เช่นไม่เกิดไฟฟ้าตกหรือกระพริบบ่อย ตลอดจนกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายมีฮาร์โมนิกอยู่ในระดับที่เป็นไปตามมาตรฐาน

ในสังคมสมัยใหม่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความคาดหวังกันสูงในด้านความต่อเนื่องของการบริการ (Continuity of services) และคุณภาพของไฟฟ้าที่จะได้รับ[1] ไม่ว่าจะเป็นระดับแรงดัน ความถี่หรือระดับฮาร์โมนิกเป็นต้น อย่างไรก็ตามในระบบไฟฟ้ากำลังอาจมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นมากมาย ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ได้รับการจ่ายไฟซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมของวิศวกร เช่น ฟ้าผ่า รถชนเสาไฟฟ้า หรือ ความบกพร่องของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามความไม่ต่อเนื่องของไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับนั้นจะลดลงได้ก็ต่อเมื่อมีการป้องกันหรือปรับปรุงให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงซึ่งเริ่มตั้งแต่การวางแผนจนถึงการปฏิบัติงานซึ่งการดำเนินการดังกล่าวย่อมทำให้ค่าใช้จ่ายของการไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม การลงทุนในระบบมากเกินไปด้วยการเพิ่มกำลังการผลิต เพิ่มสายส่ง เพิ่มอุปกรณ์ป้องกัน และอื่นๆ เพื่อให้ได้รับความเชื่อถือได้มากขึ้น ก็จะส่งผลกระทบโดยตรงต่ออัตราค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกัน หากมีการลงทุนน้อยเกินไปก็จะเกิดผลในทางตรงกันข้าม คือ อัตราค่าไฟฟ้าอาจจะถูกแต่ขณะเดียวกันความเชื่อถือได้ของระบบก็จะลดลงไปด้วย จากเหตุดังกล่าวจึงอาจเขียนรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่างๆได้ดังรูปที่ 1.1

โดยในปัจจุบัน ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างหนึ่งดังนั้นจึงได้มีการคิดวิธีที่จะนำมาใช้ในการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ วิธีการต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์หรือประเมินความเชื่อถือได้ของระบบมีอยู่หลายวิธีด้วยกันแต่วิธีที่นิยมกันในหลายสิบปีที่ผ่านมาคือ วิธีดีเทอร์มินิสติค (Deterministic method)[2] ซึ่งอาศัยหลักการพื้นฐานจากประสบการณ์ เช่น การกำหนดให้ระบบกำลังการผลิตสำรองต้องไม่ต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุดได้รับการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามหลักการดังกล่าวมีข้อบกพร่องที่สำคัญคือ พฤติกรรมการทำงานแบบสุ่ม (Random behavior) ของระบบซึ่งคลอบคลุมทั้งส่วนของความต้องการใช้ไฟฟ้าที่อาจจะเปลี่ยนแปลงได้และความขัดข้องของส่วนประกอบในระบบไม่ได้รับการนำมาพิจารณาด้วย ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวจึงได้มีการนำ

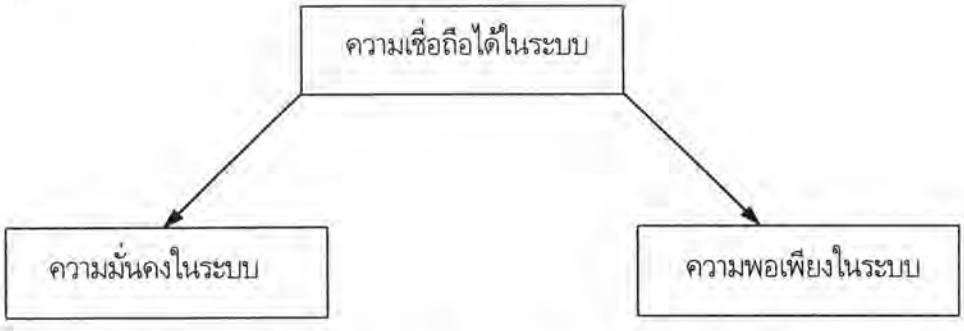
ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability theory) มาประยุกต์ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 ค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้า

1.2 ความพอเพียงและความมั่นคง (Adequacy and security)

โดยทั่วไปการพิจารณาความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆคือ ความพอเพียงในระบบ และความมั่นคงในระบบ [3,4] ดังแสดงในรูปที่ 1.2

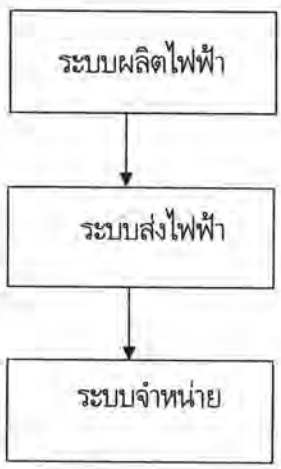


รูปที่ 1.2 สาขาที่แบ่งย่อยของการศึกษาความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้า

ความเพียงพอนั้นเกี่ยวข้องกับการจัดหากำลังผลิตให้เพียงพอแก่ความต้องการของโหลดทั้งนี้รวมถึงการจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งในระบบส่งและระบบจำหน่ายไปยังผู้ใช้ไฟได้อีกด้วย ส่วนความมั่นคงนั้นจะเกี่ยวข้องกับความสามารถของระบบที่จะตอบสนองกับสิ่งต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบเช่นการสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือสายส่งในระบบ โดยทั่วไปการศึกษาความเชื่อถือได้เท่าที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันจะเน้นไปทางด้านความพอเพียงมากกว่าทางด้านความมั่นคงทั้งนี้เนื่องจากมีขีดจำกัดทางด้านการสร้างแบบจำลองของระบบที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการคำนวณ ด้วยเหตุดังกล่าวการศึกษาเกี่ยวกับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันจึงจำกัดอยู่ที่การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ที่เกี่ยวข้องกับความเพียงพอของระบบไฟฟ้าเท่านั้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของระบบนั้นยังคงไม่ได้รับการพิจารณาเท่าใดนัก [3,4]

1.3 ขอบเขตการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง (Functional zone)

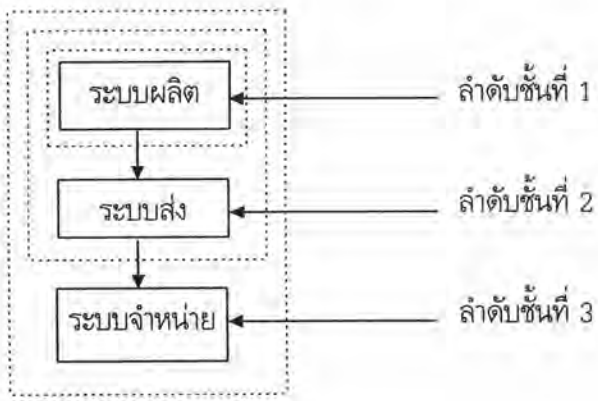
ขอบเขตการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า [3,4] ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1.3 การแบ่งขอบเขตดังกล่าวเพื่อให้ง่ายต่อการจัดระบบการวางแผนการควบคุม และการวิเคราะห์ และยังสะดวกในความรับผิดชอบการทำงานของระบบในส่วนต่างๆอีกด้วย โดยการศึกษาความเชื่อถือได้สามารถทำได้ทั้ง 3 ระบบอิสระจากกันอีกด้วย



รูปที่ 1.3 แสดงขอบเขตการทำงานพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.4 ลำดับชั้นของระบบไฟฟ้ากำลัง (Hierachical levels)

จากขอบเขตหน้าที่การทำงานดังรูปที่ 1.3 นั้นหากพิจารณาในแง่การประเมินความเชื่อถือได้โดยรวมแล้วจะสามารถแบ่งลำดับชั้นของการทำงานแสดงดังรูป 1.4 โดยลำดับชั้นที่ 1 (HLI) เป็นการพิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้า ลำดับชั้นที่ 2 พิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับระบบส่งไฟฟ้า ส่วนลำดับชั้นที่ 3 เป็นการพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้า [3,4] อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติการประเมินความเชื่อถือได้ในลำดับชั้นที่ 3 นั้นไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากต้องการข้อมูลจำนวนมาก อีกทั้งยังมีความเกี่ยวพันกันระหว่างระบบส่งกับระบบจำหน่าย ตลอดจนปัญหาในทางปฏิบัติอีกมากมายรวมถึงหน่วยความจำและความรวดเร็วในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักแยกพิจารณาเฉพาะระบบจำหน่ายเท่านั้น



รูปที่ 1.4 ลำดับชั้นการทำงานในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.5 การประเมินความเพียงพอของระบบผลิตไฟฟ้า

ในลำดับชั้นที่1 การประเมินความเพียงพอของระบบผลิตไฟฟ้าจากกำลังการผลิตทั้งหมดต่อความเพียงพอของโหลดซึ่งมักกล่าวในเทอมของ "Generation capacity reliability evaluation" โดยแบบจำลองของระบบแสดงได้ดังรูปที่ 1.5

รูปที่ 1.5 แบบจำลองของลำดับชั้นการทำงานที่ 1

ในลำดับชั้นที่ 1 จะไม่คำนึงถึงระบบส่งไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยจะพิจารณาเพียงแต่ว่ามีความเพียงพอของกำลังการผลิตที่มีต่อโหลดในระบบไฟฟ้าเท่านั้น ในอดีตนั้นการประเมินความเพียงพอในส่วนนี้จะพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์ของกำลังผลิตสำรองโดยจะกำหนดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่คงที่ของกำลังผลิตติดตั้งในระบบหรือโหลดที่คาดหวังว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต[3,4] หลักเกณฑ์อื่นๆ ก็อาจจะนำมาพิจารณาความเพียงพอในส่วนนี้ เช่น กำลังผลิตสำรองอาจจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในระบบ แต่ในปัจจุบันหลักเกณฑ์การพิจารณาดังกล่าวได้ถูกแทนที่ด้วยวิธีความน่าจะเป็น ซึ่งได้สะท้อนปัจจัยหลายส่วนที่เกิดขึ้นจริงในระบบไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ในระบบผ่านออกมาเป็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้ เช่น Loss of Load Probability (LOLP) Expected Unserved Energy (EUE) และ Frequency and Duration (F & D) จากนั้นจึงอาศัยค่าเหล่านี้ไปปรับปรุงแผนการเตรียมกำลังผลิตในระบบไฟฟ้าต่อไป

ดัชนี LOLP คือ ช่วงเวลาเฉลี่ยของวันหรือชั่วโมงซึ่งคาดว่ากำลังผลิตที่มีอยู่จะไม่เพียงพอต่อโหลดในระบบ ค่าดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการวางแผนกำลังผลิตในระบบไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ดัชนี EUE คือ ค่าพลังงานที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายในระบบผลิตไฟฟ้าเนื่องจากโหลดมีค่ามากกว่ากำลังการผลิตที่มีอยู่ โดยดัชนีดังกล่าวแสดงถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าของโหลดที่สูญหายไปจากการที่มีกำลังผลิตไม่เพียงพอซึ่งในปัจจุบันมักถูกนำมาใช้ในการวางแผนกำลังผลิตไฟฟ้าควบคู่กับค่า LOLP

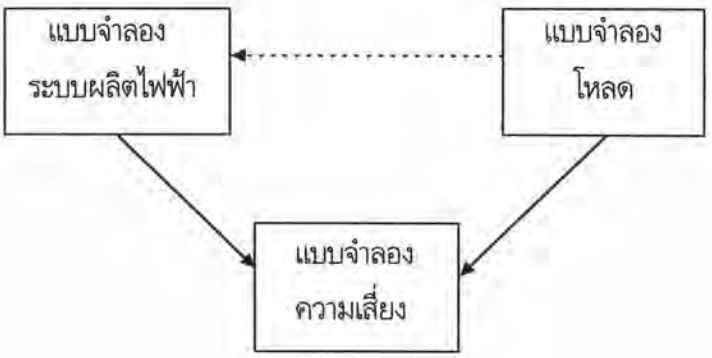
ดัชนี F&D เป็นดัชนีที่ใช้แสดงถึงว่าความถี่ที่คาดว่าจะเกิดการสูญเสียโหลดและระยะเวลาเฉลี่ยที่คาดหวังว่าจะเกิดการสูญเสียโหลดในแต่ละครั้งว่าเป็นเท่าไร

ดัชนีทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นสามารถคำนวณได้โดยวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ (Analytical Techniques) หรือวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Method) [3,4] วิธีการวิเคราะห์นั้นเป็นการนำแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแบบจำลองของโหลดมาใช้โดยอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา ส่วนวิธีมอนติคาร์โลนั้นจะใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้นจำนวนหลายๆเหตุการณ์จากนั้นจึงทำการคำนวณผลจากแต่ละเหตุการณ์แล้วทำการรวบรวมจากนั้นจึงนำเสนอเป็นผลตอบทั้งหมดอีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตามทั้ง 2 วิธีนี้มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันคือวิธีมอนติคาร์โลมีความคล่องตัวและไม่จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลอง

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่างๆมากนักแต่จะใช้เวลาในการคำนวณมาก ส่วนวิธีการวิเคราะห์จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆมากกว่าดังนั้นจึงต้องใช้แบบจำลองและวิธีการที่ซับซ้อนกว่าวิธีการแรกอย่างไรก็ดีจะให้ผลการคำนวณที่รวดเร็วกว่า

แบบจำลองพื้นฐานของการศึกษาความเชื่อถือได้ในระบบผลิตแสดงได้ดังรูปที่ 1.6 โดยแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการสร้างตารางการขาดกำลังการผลิต (Capacity Outage Table : COT) โดยตารางนี้จะแสดงสถานะกำลังผลิตที่เกิดเหตุขัดข้องที่เป็นไปได้ทั้งหมดอีกทั้งยังแสดงค่าความน่าจะเป็นและความถี่ของการเกิดสถานะต่างๆดังกล่าว ส่วนแบบจำลองของโหลดนี้สามารถพิจารณาเป็นแบบการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดรายวัน (Daily Peak Load Variation Curve :DPLVC) ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะโหลดสูงสุดรายวันเท่านั้น หรือ โหลดที่เวลาต่างๆ (Load Duration Curve : LDC) ซึ่งจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของโหลดทุกๆชั่วโมงหรือทุกๆวัน แบบจำลองความเสี่ยงสามารถคำนวณได้โดยการรวม (Convolution) แบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าเข้ากับแบบจำลองของโหลดก็จะทำให้สามารถคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 1.6 แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้า

1.6 มูลค่าของความเชื่อถือได้ (Reliability worth)

ในปัจจุบันการพิจารณาวางแผนระบบผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องคำนึงถึงความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่กำลังการผลิตไม่เพียงพอหรือเกิดไฟฟ้าดับขึ้น ทั้งนี้หากระบบมีกำลังการผลิตไม่เพียงพอมากก็อาจเกิดไฟฟ้าดับบ่อย ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้ามาก ความเสียหายในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้านี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการสร้างโรงไฟฟ้าให้มีจำนวนพอเพียงมากขึ้น การดำเนินการดังกล่าวย่อมหมายถึงระบบมีความเพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดได้ดีขึ้น อย่างไรก็ดีย่อมต้องมีการลงทุนเพิ่มขึ้นนั่นเอง

โดยทั่วไปหากการลงทุนของการไฟฟ้ามีค่าสูงเพิ่มขึ้นเช่นสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือยกระดับความเชื่อถือได้ของระบบให้ดีขึ้นย่อมทำให้ความเชื่อถือได้ในระบบมีค่าสูงตาม ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟก็จะมีค่าน้อย ในทางกลับกันหากมีการลงทุนต่ำค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟก็จะมีค่าสูง (พิจารณารูปที่ 1.1) ดังนั้นจากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดคือจุด R_{OPT} ซึ่งเป็นจุดที่ค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้าต่ำที่สุดโดยจุดนี้จะเป็นจุดที่บ่งบอกถึงค่าความเชื่อถือได้และค่ากำลังผลิตสำรองที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้า

1.7 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) เพื่อศึกษาและวิจัยวิธีการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง
2) เพื่อศึกษาและวิจัยวิธีการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง
3) เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง

1.8 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

1) ไม่คิดผลของขีดจำกัดในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางประเภท เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำหรือโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ เป็นต้น

2) พัฒนาและทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้และคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบผลิตไฟฟ้าโดยทดสอบกับระบบ RBTS (Roy Billinton Test System) ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดเล็ก ระบบ IEEE-RTS (Institute of Electrical and Electronic Engineering-Reliability Test System) ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดกลาง และ ระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand :EGAT) ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่

1.9 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง ความรู้พื้นฐานของความเชื่อถือได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ซึ่งได้แก่ สมการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับความเชื่อถือได้

บทที่ 3 กล่าวถึง การสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยการสร้างแบบจำลองในส่วนของความน่าจะเป็นและในส่วนของความถี่ และการทำราวด์ออฟ (Round-off) แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งในส่วนของความน่าจะเป็นและความถี่

บทที่ 4 กล่าวถึง การสร้างแบบจำลองของโหลดซึ่งประกอบไปด้วยความน่าจะเป็นและความถี่ในการเกิดโหลดในแต่ละระดับโดยพิจารณาการสร้างแบบจำลองของโหลดสองวิธีคือ วิธี Cumulative state load model และ Individual state load model และการทำราวด์ออฟแบบจำลองของโหลด

บทที่ 5 กล่าวถึง การคำนวนดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้วิธี Equivalent load และ วิธี Equivalent capacity table การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยการทำราวด์ออฟแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธี Augmented capacity model และ Efficient round-off model การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้โดยการทำราวด์ออฟแบบจำลองของโหลด และการพิจารณาผลของดัชนีความเชื่อถือได้ของการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ (Deconvolution)

บทที่ 6 กล่าวถึง การคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted Energy Rates :IER) ในระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง และการนำค่า IER ที่คำนวณได้ไปใช้ในการประเมินจุดที่มีความเชื่อถือได้และค่ากำลังผลิตสำรองที่เหมาะสม (Optimum reliability and reserve capacities) ในระบบผลิตไฟฟ้า

บทที่ 7 กล่าวถึง รายละเอียดผลการทดสอบการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบกับ 3 ระบบคือ ระบบ RBTS ระบบ IEEE-RTS และระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

บทที่ 8 เป็นการสรุปการศึกษาพร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางที่ควรดำเนินการต่อไป