

เทคนิคการประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากแรงดัน
ไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยพิจารณาจากระดับความเข้ากันได้
ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

ESTIMATION TECHNIQUE OF EQUIPMENT DISRUPTIONS DUE TO
VOLTAGE SAGS BY CONSIDERING COMPATIBILITY
BETWEEN POWER SYSTEM AND EQUIPMENT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-020-184

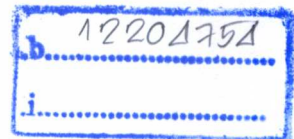
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เทคนิคการประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากแรงดัน
ไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยพิจารณาจากระดับความเข้ากันได้
ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

ESTIMATION TECHNIQUE OF EQUIPMENT DISRUPTIONS DUE TO
VOLTAGE SAGS BY CONSIDERING COMPATIBILITY
BETWEEN POWER SYSTEM AND EQUIPMENT



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107441
วัน,เดือน,ปี...2.9...สิ.อ. 2553



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2552

KMITL 2009-EN-M-020-184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ESTIMATION TECHNIQUE OF EQUIPMENT DISRUPTIONS DUE TO
VOLTAGE SAGS BY CONSIDERING COMPATIBILITY
BETWEEN POWER SYSTEM AND EQUIPMENT**

SARAWUT ROJANASAROJ

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

KMITL 2009-EN-M-020-184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ เทคนิคการประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยพิจารณาจากระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

Thesis Title Estimation Technique of Equipment Disruptions due to Voltage Sags by Considering Compatibility between Power System and Equipment

นักศึกษา นายศราวุธ โรจนสโรช

รหัสประจำตัว 48060251

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.สมภพ ผลไม้

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-020-184

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ร.อ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน	
ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย	
ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล	
ดร.สุเมธ เนติศักดิ์านนท์	
ดร.สมภพ ผลไม้	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2552 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2552

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.

วันที่ส่งเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

วันที่ 7 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2553

ลงชื่อ.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เทคนิคการประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์อื่น
เนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยพิจารณาจากระดับความ
เข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

นักศึกษา

นายศราวุธ โรจนสโรช

รหัสนักศึกษา

48060251

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2552

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.สมภพ ผลไม้

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้ากับอุปกรณ์ ซึ่งถูก
นำเสนอในมาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าของ IEC มาประยุกต์ใช้กับการพิจารณาการ
ได้รับผลกระทบของอุปกรณ์เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยกำหนด
ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ให้เป็นระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า โดยตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้า
ตกชั่วขณะที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้การคำนวณด้วยพีซีซีลอจิก ซึ่งมีข้อมูลอินพุตเป็นขนาด
ของแรงดันและช่วงเวลาของแต่ละเหตุการณ์ของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เพื่อขจัดปัญหา
ความไม่แน่นอนในการกำหนดขอบเขตค่าอินพุตของการคำนวณค่าตัวชี้วัดแบบเดิม ในทำนอง
เดียวกันก็หาระดับความทนทานของอุปกรณ์ จากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ โดยการ
ชักตัวอย่างจุดบนเส้น โค้งมาเป็นข้อมูลขนาดแรงดันและเวลาแล้วนำไปคำนวณด้วยพีซีซีลอจิก เมื่อ
นำค่าระดับการรบกวนของระบบและระดับความทนทานมาประมาณด้วยฟังก์ชันความหนาแน่น
ของความน่าจะเป็น จะทำให้เห็นภาพของระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในแง่
ของคุณภาพไฟฟ้าตามแนวความคิดของ IEC ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์นี้ยังนำเสนอ
การประมาณหาจำนวนครั้งที่อุปกรณ์จะได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จาก
ข้อมูลความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ โดยใช้การคำนวณตามหลักการคำนวณความ
เชื่อถือได้ของอุปกรณ์ และได้นำเสนอการเลือกฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่
เหมาะสมสำหรับระดับการรบกวนของระบบและระดับความทนทานของอุปกรณ์ โดยพิจารณาจาก
ระดับความกลมกลืนของฟังก์ชันกับข้อมูลจริง ซึ่งฟังก์ชันการประมาณที่นำมาพิจารณานั้นมีทั้งแบบ
กำหนดรูปแบบและแบบไม่กำหนดรูปแบบเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอ
การคำนวณระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ รวมทั้งการประมาณการได้รับ
ผลกระทบของอุปกรณ์จากตัวอย่างข้อมูลที่วัดจริงจำนวน 4 ชุดข้อมูล ผลการคำนวณการประมาณ
การได้รับผลกระทบของอุปกรณ์ได้ผลใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Estimation Technique of Equipment Disruptions due to Voltage Sags by Considering Compatibility between Power System and Equipment
Student	Mr. Sarawut Rojanasaroj
Student ID.	48060251
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Dr. Sompob Polmai

ABSTRACT

This thesis presents the estimation technique of equipment disruption due to voltage sag in power system by applying the concept of compatibility levels between the power system and the equipment presented in the IEC Electromagnetic Compatibility Standard. The new voltage sag index is adopted to avoid the uncertainty in a boundary of the input parameters among various standards proposed by various societies. The fuzzy voltage sag index is then used as the system disturbance level. The magnitude and duration of each voltage sag event is used as the inputs of the index. The equipment immunity level is obtained from the sampled voltage tolerance curve and calculated using the same technique as the system disturbance level. The probability density function of those two proposed quantities are plot together to project the image of system and equipment compatibility. This thesis also presents the prediction of the frequency of disruption of the equipment due to voltage sag event using the compatibility level data and reliability calculation of equipment. The goodness of fit concept is adopted in the probability density function estimation of the system disturbance level and equipment immunity level. Both parametric and non-parametric estimations are evaluated. Four cases of data set obtained from the PQ monitoring are presented and evaluated in this thesis. The estimation results show good agreement with the experiment results obtained from the monitoring process.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ดร. สมภพ ผลไม้ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ร.อ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล และ ดร. สุเมธ เนติศักดิ์านนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณสำนักหอสมุดกลาง ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ และห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ตลอดจนหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณสำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระนคร และมหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่เป็นแหล่งค้นคว้าข้อมูล ตลอดจนหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องทำวิจัย Power Applications and Energy Conversion Research Laboratory (Pearl lab) Room ECC407 ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศราวุธ โรจนสโรช

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	5
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์.....	5
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	6
บทที่ 2 มาตรฐานเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและความเข้ากันได้ทางไฟฟ้า.....	7
2.1 บทนำ.....	7
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.3 นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	9
2.4 นิยามของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	11
2.5 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	11
2.5.1 มาตรฐานที่ใช้กับแหล่งจ่ายของการไฟฟ้า.....	11
2.5.2 มาตรฐานที่ใช้กับอุปกรณ์.....	13
2.6 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์.....	15
2.6.1 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของคอมพิวเตอรส์ส่วนบุคคล.....	15
2.6.2 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของASD.....	16
2.7 การแทนค่าเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บ้านทีกได้.....	17
2.7.1 แผนภาพการกระจาย.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและการประเมินสมรรถนะ.....	17
2.8.1 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์.....	18
2.8.1.1 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	18
2.8.1.2 ตัวชี้วัดการสูญหายของพลังงาน.....	18
2.8.1.3 ตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	19
2.8.2 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของเหตุการณ์ทั้งหมด.....	22
2.8.2.1 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ SARFI %V.....	22
2.8.2.2 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	22
2.8.2.3 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเฉลี่ย.....	22
2.9 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	23
2.9.1 ระดับความเข้ากันได้.....	23
2.9.2 ปัญหาความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า.....	24
2.9.3 ระดับการแพร่กระจาย.....	25
2.9.3.1 แนวคิดเชิงสถิติเรื่องระดับการแพร่กระจาย.....	25
2.9.4 ระดับความทนทาน.....	26
2.9.5 ระดับความเข้ากันได้.....	26
2.9.6 ขอบเขตการแพร่กระจาย.....	27
2.9.7 ขอบเขตความทนทาน.....	27
2.9.8 ระดับการวางแผน.....	28
2.9.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ.....	28
บทที่ 3 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีซี.....	30
3.1 บทนำ.....	30
3.2 พีซีล่อจิกบนสมมติฐานของระดับการบกพร่อง.....	30
3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตพีซีเซต.....	31
3.3.1 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของขนาดแรงดันคงเหลือ.....	31
3.3.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของช่วงเวลา.....	31
3.4 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุต.....	34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 Fuzzy Inference System.....	37
บทที่ 4 การหาความไม่น่าเชื่อถือของการรบกวน.....	42
4.1 บทนำ.....	42
4.2 แนวคิดความเข้ากันได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7.....	42
4.3 การหาค่าความไม่น่าเชื่อถือของการรบกวน.....	43
4.3.1 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ทั่วไป.....	43
4.3.2 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติ ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์.....	47
4.3.3 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การคำนวณค่าพื้นที่.....	50
4.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ.....	52
4.5 การคำนวณหาค่าโดยใช้การแจกแจงแบบ Kernel Density.....	54
บทที่ 5 การหาระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ ภายใต้สภาวะแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	57
5.1 บทนำ.....	57
5.2 การหาค่าระดับการรบกวนของระบบ.....	57
5.3 การหาค่าระดับความทนทานของอุปกรณ์.....	58
5.3.1 การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์.....	59
5.3.2 การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของSEMI F47.....	60
5.4 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้.....	61
5.4.1 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติ ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์.....	62
5.4.2 การพิจารณาเลือกการแจกแจงที่เหมาะสมของระดับการรบกวน ในระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์.....	64
5.4.2.1 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดย ใช้วิธีการคำนวณค่าพื้นที่.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.2.2 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้กรณี ใช้การประมาณการแจกแจงด้วย Kernel Estimate.....	70
5.5 สรุปการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้.....	72
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	78
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	78
6.2 แนวทางการศึกษาในอนาคต.....	80
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก.....	84
ภาคผนวก ก. ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าของโรงงาน A – D.....	85
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	99
ประวัติผู้เขียน.....	112

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะตามมาตรฐาน IEEE Standard 1159-1995.....	10
2.2 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะตามมาตรฐาน NRS-048-2:2003.....	13
2.3 อัลกอริทึมสำหรับการคำนวณ Voltage sag severity.....	20
2.4 ระดับความเข้ากันได้ของฮาร์มอนิกแรงดันต่ำ.....	27
2.5 ขอบเขตการแพร่กระจายของฮาร์มอนิกกระแส.....	27
3.1 ตัวแปรอินพุตแรงดันคงเหลือ.....	32
3.2 ตัวแปรอินพุตช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz.....	32
3.3 ตัวแปรอินพุตช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 50 Hz.....	34
3.4 กฎ IF-THEN ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า.....	35
3.5 การคำนวณหาค่าเอาต์พุตจากกฎทั้ง 25 กฎ.....	36
3.6 การกำหนดเงื่อนไขในหน้าต่าง FIS Editor.....	38
4.1 ตัวอย่างการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบต่างๆ.....	49
4.2 ค่า R-Square สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ.....	54
5.1 สรุปค่า R-Square สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ เมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง 8 ครั้ง.....	66
5.2 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าพื้นที่ เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบไวบูล และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ใน โรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล.....	68
5.3 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าพื้นที่ เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าใน โรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบนันทราเมตริก และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ใน โรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบนันทราเมตริก.....	71
5.4 สรุปค่า R-Square ของการแจกแจงด้วยวิธีต่างๆ.....	73
5.5 สรุปค่าจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบเมื่อใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ และแบบนันทราเมตริก.....	73

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การแก้ไขปัญหาคอนเดนเซอร์ไฟฟ้าในตำแหน่งต่างๆ.....	1
1.2 แนวคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ (Compatibility Level).....	3
2.1 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเนื่องจากการลัดวงจร (Short circuit fault).....	9
2.2 นิยามของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ.....	11
2.3 มาตรฐาน ESKOM (NRS-048-2:1996).....	12
2.4 CBEMA Curve.....	14
2.5 ITIC Curve.....	14
2.6 SEMI F47 Curve.....	14
2.7 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของคอมพิวเตอรส์ส่วนบุคคล.....	15
2.8 ช่วงเวลาและแรงดันของเส้นโค้งความทนทานแรงดันของคอมพิวเตอรส์.....	15
2.9 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของ ASD ต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะสามเฟสสมดุล.....	16
2.10 แผนภาพการกระจายของเหตุการณ์ที่บันทึกได้ของโรงงาน A ในจังหวัดชลบุรี.....	17
2.11 ตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะกับ SEMI Curve.....	20
2.12 คอนทิวรัลของตัวชี้วัดความรุนแรงเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากสมการที่ 2.3	21
2.13 คอนทิวรัลของตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากสมการที่ 2.1	21
2.14 คอนทิวรัลของตัวชี้วัดการสูญหายพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากสมการที่ 2.2	21
2.15 การกระจายของระดับการแพร่กระจาย.....	25
2.16 ระดับความเข้ากันได้.....	26
2.17 การกระจายของระดับความทนทาน.....	28
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขอบเขตการแพร่กระจาย(E) , ขอบเขตความทนทาน(I) ระดับความเข้ากันได้ (CL) และระดับการวางแผน(PL).....	29
3.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรอินพุต.....	32
3.2 ช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz.....	33
3.3 ช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 50 Hz.....	33
3.4 การคำนวณฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตของกฎที่ 17.....	35
3.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตทั้ง 25 กฎ.....	35
3.6 มุมของตาราง ESKOM (ESKOM Windows).....	37
3.7 หน้าต่าง Fuzzy Logic Toolbox.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การคำนวณแบบ Centroid.....	38
3.9 ค่าตัวแปรอินพุตของขนาดแรงดันคงเหลือ(Retained Voltage).....	39
3.10 ค่าตัวแปรอินพุตของช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ(Sag Duration).....	39
3.11 ค่าตัวแปรเอาต์พุตของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ(Disturbance Level).....	40
3.12 การกำหนดเงื่อนไข IF-THEN สำหรับตัวแปรอินพุต.....	40
3.13 คอนทิวรัลของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี.....	41
4.1 แนวคิดความเข้ากันได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7.....	42
4.2 การหาค่าพื้นที่ที่ทับซ้อน.....	44
4.3 ส่วนขยายของบริเวณที่ทับซ้อน.....	44
4.4 ฟังก์ชันความหนาแน่นของตัวแปรสุ่ม y	48
4.5 พื้นที่การพล็อตระหว่าง G กับ H	50
4.6 การอินทิเกรตหาค่าพื้นที่ใต้กราฟแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....	51
4.7 ECDF ของระดับการรบกวนของระบบของโรงงาน A และการประมาณด้วยฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ.....	52
4.8 การประมาณความหนาแน่นด้วยเคอร์เนล.....	55
4.9 หน้า Distribution Fitting Tool ใน โปรแกรม MATLAB.....	56
5.1 แผนภาพการแจกแจงข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าของ โรงงาน A จำนวน 38 เหตุการณ์.....	58
5.2 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของ โรงงาน A จำนวน 50 ตัวอย่าง.....	58
5.3 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์ที่พิกัด (77%,60ms).....	60
5.4 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของอินเวอร์เตอร์ที่พิกัด (77%,60ms).....	60
5.5 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของ SEMI F47 จำนวน 50 ตัวอย่าง.....	61
5.6 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของ SEMI F47.....	61
5.7 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของ โรงงาน A และอินเวอร์เตอร์.....	62
5.8 การแจกแจงปกติของ โรงงาน A และอินเวอร์เตอร์.....	62
5.9 จำนวนครั้งที่ได้รับผลกระทบจริงจากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์.....	63
5.10 ขั้นตอนการหาค่าความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) แบบการแจกแจง.....	64
5.11 ค่า ECDF ของระบบไฟฟ้าใน โรงงาน A เมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบต่างๆ.....	65
5.12 ค่า ECDF ของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์เมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบต่างๆ.....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 PDF ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A.....	67
5.14 CDF ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A.....	67
5.15 การพล็อตค่าของ H กับ G2.....	68
5.16 ขั้นตอนการหาความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) แบบการหาค่าพื้นที่.....	69
5.17 PDF ของตัวชี้วัดระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า และการประเมินด้วย Kernel Density.....	70
5.18 ECDF ของตัวชี้วัดระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า และการประเมินด้วย Kernel Density.....	71
5.19 การพล็อตค่าของ H กับ G2.....	72
5.20 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A	74
5.21 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B	75
5.22 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C	75
5.23 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D	75
5.24 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A	76
5.25 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B	76
5.26 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C	76
5.27 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D (b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D	77
6.1 แนวคิดพื้นฐานของ Compatibility Level.....	79
6.2 การแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งต่างๆ.....	79
6.3 คอนทิวรัลของแนวคิด Fuzzy voltage sag index ที่ยังไม่สมบูรณ์พอ.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

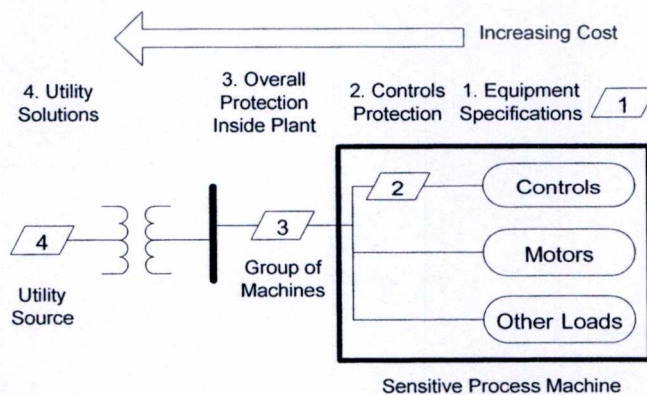
ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความสูญเสียในอุตสาหกรรมมากที่สุด คือ ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เพราะนอกจากจะทำให้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตหยุดทำงาน หรืออาจได้รับความเสียหายแล้ว ยังทำให้ผู้ผลิตต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ดังนั้นการวางแผนแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน

แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage sag or voltage dip) คือ ภาวะที่ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ของระบบลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดเป็นระยะเวลาสั้นๆ แล้วฟื้นคืนค่ากลับไปเป็นปกติ มีสาเหตุมาจากการลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งในระบบสายส่งที่ห่างไกล หรือในระบบจำหน่ายข้างเคียง ตลอดจนภายในระบบจำหน่ายของตัวเอง นอกจากนี้ยังมีสาเหตุมาจากการเริ่มต้นของเครื่องจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่ ภายในระบบไฟฟ้าของตัวเอง

การแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะสามารถทำได้หลายวิธี [1] ได้แก่

1. ลดจำนวนของการเกิดการลัดวงจร
2. ลดช่วงเวลาของอุปกรณ์ป้องกัน
3. เปลี่ยนระบบไฟฟ้า เพื่อลดความรุนแรงของเหตุการณ์
4. ต่ออุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะระหว่างอุปกรณ์ที่มีความไว (Sensitive equipment) กับแหล่งจ่าย (Supply)
5. ปรับปรุงแก้ไขความทนทานของอุปกรณ์

จากแนวคิดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการแบ่งแยกประเภทของระดับการแก้ไขปัญหาคคุณภาพไฟฟ้าเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การแก้ไขปัญหาคคุณภาพกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งต่างๆ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกวิธีการแก้ไขปัญหาค่าขึ้นอยู่กัปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ และความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม ในสภาวะที่การแข่งขันทางเศรษฐศาสตร์มีสูงในปัจจุบัน การเลือกวิธีแก้ปัญหาค่าที่ให้ความสำคัญค่าต่อการลงทุนมากที่สุดจึงเป็นแนวทางที่พึงปรารถนา

การคำนวณค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ หรือปรับปรุงระบบ เพื่อแก้ไขปัญหาค่าคุณภาพ ไฟฟ้า นั้น จำเป็นต้องทราบถึงผลกระทบของปัญหาค่าคุณภาพไฟฟ้า ต่อกระบวนการผลิตหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ที่เป็นเป้าหมายของการแก้ปัญหา

แนวความคิดเกี่ยวกับการอธิบายสภาพปัญหาค่าคุณภาพไฟฟ้า โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ทำให้เกิดการนำเสนอตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะขึ้นมาหลายตัวชี้วัดด้วยกัน โดยขึ้นอยู่กับความสนใจของกลุ่มผู้แนะนำค่าตัวชี้วัดนั้น เช่น การจำแนกเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ตามตารางของ ESKOM ซึ่งนำเสนอโดย The South African Utility [3] มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกตำแหน่งของความผิดปกติ (Fault) ที่เป็นต้นเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ในส่วนของผู้ใช้ไฟได้มีการนำเสนอมาตรฐานของความสามารถในการทนทานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของอุปกรณ์ต่างๆ เช่นมาตรฐานความทนทานแรงดันของอุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ (ITIC Curve) และความสามารถในการทนทานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของอุปกรณ์ผลิตสารกึ่งตัวนำ (SEMI-F47) โดยแสดงเป็นเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดันและช่วงเวลาที่อุปกรณ์ต้องสามารถทำงานได้อย่างปกติ

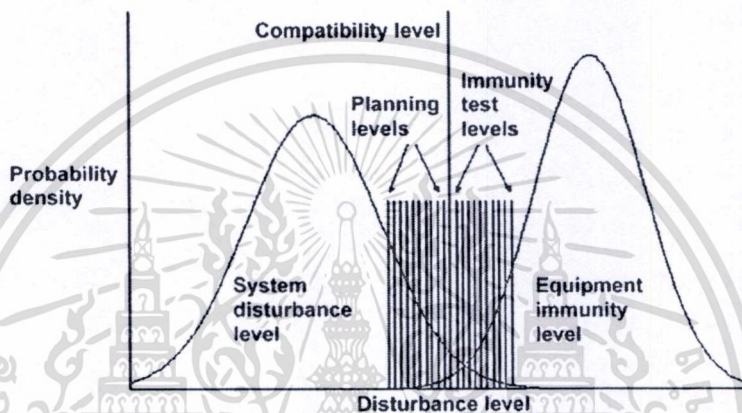
นอกจากนี้ยังได้นำเสนอค่าตัวชี้วัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ทั้งในระดับเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ และในระดับภาพรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยอาศัยค่าแรงดันคงเหลือ (Retained Voltage) และช่วงเวลาของเหตุการณ์ เช่น ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Energy Index) ค่าตัวชี้วัดการสูญหายพลังงาน (Lost of Energy Index) และตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Severity Index) ค่าตัวชี้วัดต่างๆเหล่านี้สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบระหว่างเหตุการณ์หรือระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังได้ เพื่อแสดงระดับความรุนแรงของปัญหาค่าคุณภาพไฟฟ้า [4]

อย่างไรก็ดีค่าตัวชี้วัดเหล่านี้ยังไม่ได้ถูกนำไปใช้อธิบายความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้า อันเนื่องจากระดับความรุนแรงของปัญหาค่าคุณภาพไฟฟ้าที่วิเคราะห์ได้ กล่าวคือ การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมักถูกพิจารณาจากการเปรียบเทียบขนาดและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์กับเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ (Voltage Tolerance Curve) ซึ่งหากมีเหตุการณ์ใดที่มีพิคิตต่ำกว่า เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ ก็จะได้ว่าอุปกรณ์นั้นได้รับความเสียหายจึงไม่ได้ใช้ประโยชน์จากค่าตัวชี้วัดต่างๆที่ถูกนำเสนอมา

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้แนวความคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้ากำลังกับอุปกรณ์ (Compatibility Level) ซึ่งถูกนำเสนอใน IEC 61000-3-7 [5] มาประยุกต์โดยเสนอตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในรูปของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ขนาดและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของแต่ละเหตุการณ์เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณ และใช้การคำนวณค่าระดับการรบกวนด้วยพีชชีลอจิก เพื่อจัดปัญหาความไม่แน่นอนในการกำหนดระดับความรุนแรงของการคำนวณค่าตัวชี้วัดแบบเดิม ซึ่งเรียกตัวชี้วัดนี้ว่า ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี่ (Fuzzy Voltage Sag Index) ในทำนองเดียวกันก็หา ระดับความทนทานของอุปกรณ์ (Equipment Immunity Level) จากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ (Voltage Tolerance Curve) โดยใช้การสุ่มตัวอย่างเส้นโค้ง และคำนวณเช่นเดียวกับตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี่ แนวคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้แสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แนวคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ (Compatibility Level) [6]

เมื่อนำค่า ระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และ ระดับภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์ มาพล็อตแจกแจงร่วมกันก็จะทำให้เห็นภาพของระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในแง่ของคุณภาพไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) ของอุปกรณ์ต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบได้โดยใช้หลักการเดียวกับหลักการคำนวณความเชื่อถือได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ศึกษาและพิจารณาค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ มาใช้เป็นตัวแสดงค่าระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของอุปกรณ์ เพื่อนำมาประเมินความเข้ากันได้ระหว่างระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในแง่ของคุณภาพไฟฟ้า

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากปัญหาคุณภาพไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ มีทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1 การสร้างตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะตัวใหม่ซึ่งนำมาตรฐานหลายๆตัวมาพิจารณา ร่วมกัน โดยใช้หลักการของพีชชีลอจิก เพื่อขจัดปัญหาความแตกต่างกันของข้อกำหนดจาก มาตรฐานต่างๆ โดยใช้ค่าแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ที่กำหนดโดย มาตรฐานต่างๆ มาเป็นแนวทางในการกำหนดอินพุตของพีชชี

1.3.2 การนำเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ที่บันทึกได้จริงของโรงงานอุตสาหกรรมมา คำนวณหาระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า และนำเสนอเส้นโค้งความทนทานทางแรงดันของ อุปกรณ์ไฟฟ้าของโรงงานนั้นมาคำนวณหาระดับความทนทานของอุปกรณ์

1.3.3 การหารูปแบบการกระจายเชิงสถิติของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้ากำลัง และ ระดับความทนทานของอุปกรณ์ โดยใช้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function : PDF)

1.3.4 การประยุกต์ใช้การคำนวณความเชื่อถือได้ มาพิจารณาระดับความเข้ากันได้ของระบบ ไฟฟ้าและอุปกรณ์ โดยพิจารณา PDF ของระดับการรบกวนของระบบเป็นความเค้น (Stress) และ PDF ของระดับความทนทานของอุปกรณ์เป็นความคงทน (Strength) แล้วคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น ที่อุปกรณ์จะได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดัน ไฟฟ้าตกชั่วขณะ

1.3.5 จากข้อมูลเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และข้อมูลความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ จะนำมาประเมินค่าทางสถิติ โดยใช้การหา PDF แบบพาราเมตริก(Parametric) และแบบนัพพารา เมตริก (Nonparametric) จากรูปแบบของการกระจายแบบต่างๆ เพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมที่สุด จึงเลือกใช้ การพิจารณาความเหมาะสมจากค่า R-square

1.3.6 จากแนวคิดที่ได้นำเสนอการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการคำนวณเชิงสถิติแบบ ต่างๆ ทั้งแบบพาราเมตริก และนัพพาราเมตริกโดยวิธีการดังกล่าวนี้มีความยุ่งยากซับซ้อนของ สมการต่างๆ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้แบบกราฟิกคอล (Graphical Approach) เพื่อความง่ายในการคำนวณ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ทำการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้แนวคิดระดับความเข้ากันได้ ระหว่างระดับการรบกวนใน ระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์ โดยใช้ข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรม 4 แห่ง มา ทำการพิจารณาหาค่าความเชื่อถือได้ โดยใช้การคำนวณความเชื่อถือได้ 3 วิธี คือ

1. การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log Normal Distribution)
2. การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R - Square) เป็นตัวตัดสินใจ เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด
3. การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบนัพพาราเมตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

สามารถนำแนวคิดนี้ไปเป็นแนวทางในการวางแผนแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่ายและคุ้มค่าในการลงทุน

1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

เทคนิคการประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์ อันเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยพิจารณาจากระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ ในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็น 6 บทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของกรวิจัย ขั้นตอนของการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงมาตรฐานเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ นิยามของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ การแทนค่าเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บันทึกได้ ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและการประเมินสมรรถนะและความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

บทที่ 3 กล่าวถึงตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี่ ฟัซซี่ลอจิกบนสมมุติฐานของระดับการบกพร่อง ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตฟัซซี่เซต การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุต และ Fuzzy Inference System

บทที่ 4 กล่าวถึงการหาความไม่น่าเชื่อถือของการบกพร่อง แนวคิดความเข้ากันได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7 การหาค่าความไม่น่าเชื่อถือของการบกพร่อง การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และการคำนวณหาค่าโดยใช้การแจกแจงแบบ Kernel Density

บทที่ 5 กล่าวถึงการหาระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ภายใต้สภาวะแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ การหาค่าระดับการบกพร่องของระบบ การหาค่าระดับความทนทานของอุปกรณ์ การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ และสรุปการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.7.1 ศึกษาแนวคิดระดับความเข้ากันได้ในระบบไฟฟ้า
- 1.7.2 ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า
- 1.7.3 ศึกษาเกี่ยวกับตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ
- 1.7.4 ศึกษาแนวคิดฟัซซี่ลอจิกและ Fuzzy Voltage Sag Index
- 1.7.5 ศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้
- 1.7.6 ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.7.7 ทำการสร้าง Fuzzy Voltage Sag Index
- 1.7.8 ทำการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ในวิธีต่างๆ
- 1.7.9 นำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณความเชื่อถือได้ในวิธีต่างๆมาพิจารณา
- 1.7.10 เขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์



บทที่ 2

มาตรฐานเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และความเข้ากันได้ทางไฟฟ้า

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะต่างๆ การแทนค่าเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บ้านพักได้ และความเข้ากันได้ทางไฟฟ้า

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ (Compatibility Level) ในระบบไฟฟ้าระหว่างระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level) และระดับความทนทานของอุปกรณ์ (Equipment Immunity Level) ตามมาตรฐาน IEC 61000 – 3 – 7 [5] ได้ถูกนำเสนอขึ้นโดย Cheng Chieh Shen โดยได้ใช้มาตรฐานของระบบไฟฟ้า เช่น ESKOM เป็นมาตรฐานระบบไฟฟ้าของประเทศอาฟริกาใต้ (The South – African Utility) และมาตรฐานของอุปกรณ์ เช่น SEMI F47 (Semiconductor Equipment and Materials International) มาเป็นตัวแบ่งประเภทของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยใช้ขนาดของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลา เป็นอินพุตของฟัชชี่ลอจิก และจากความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานของระบบไฟฟ้าและมาตรฐานของอุปกรณ์ จึงได้กฎ (IF – THEN Rules) ที่เป็นเอาต์พุตของฟัชชี่ลอจิก และเรียกเอาต์พุตที่ได้นี้ว่า Fuzzy Voltage Sag Index เพื่อใช้ในการคำนวณจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยใช้หลักการคำนวณความเชื่อถือได้ทั่วไป

จากแนวคิดดังกล่าวได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้า โดยมีการปรับเปลี่ยนมาตรฐานที่ใช้กับระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือแม้แต่จำนวนกฎที่ใช้ในฟัชชี่ลอจิก จากบทความของ Cheng Chieh Shen ได้มีการนำเสนอแนวคิดดังกล่าว ในปี 2004 , 2005 และ 2007 จำนวน 4 บทความ ซึ่งแต่ละบทความสามารถสรุปแนวทางการวิจัยได้ดังนี้

ในปี 2004 Cheng Chieh Shen ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ ดังนี้ บทความที่ 1 เรื่อง “Voltage sag immunity factor considering severity and duration ” [7] ได้นำเสนอการใช้มาตรฐานความทนทานแรงดัน คือ IEEE Std. 446 และเส้นโค้ง CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturers Association) และมาตรฐาน ITIC (Information Technology Industry Council) เป็นตัวกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ของ ฟัชชี่

ลอจิก และใช้กฎจำนวน 30 กฎ คำนวณความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

บทความที่ 2 เรื่อง “Quantifying disturbance level of voltage sag events”[8] ในปี 2005 ได้นำเสนอการใช้มาตรฐานของระบบไฟฟ้า คือ ESKOM (NRS – 048 – 2 : 1996) เข้ามาเพิ่มเติมจากมาตรฐานความทนทานแรงดันของอุปกรณ์เดิม คือ CBEMA และ ITIC มาเป็นตัวกำหนดค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ ฟัชชั่นลอจิก และได้เพิ่มการคำนวณตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ Evs เข้ามาใช้คำนวณค่าเอาต์พุตของ ฟัชชั่นลอจิก จากความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงได้จำนวนกฎทั้งหมด 16 กฎ และคำนวณความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

บทความที่ 3 เรื่อง “Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags” [9] ในปี 2007 ได้นำเสนอการทำนายจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยใช้มาตรฐานของระบบไฟฟ้า คือ ESKOM (NRS – 048 – 2 : 2003) และมาตรฐานความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ คือ ITIC และ SEMI F47 มาเป็นตัวกำหนดค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ ฟัชชั่นลอจิก และได้ใช้การคำนวณตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ Evs เข้ามาใช้คำนวณค่าเอาต์พุตของ ฟัชชั่นลอจิก จากความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐานของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าจึงได้จำนวนกฎทั้งหมด 25 กฎ และคำนวณความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log Normal) สำหรับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และใช้การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) สำหรับความทนทานของอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดความเหมาะสม (Fit) กับข้อมูลเพิ่มมากยิ่งขึ้น

บทความที่ 4 เรื่อง “A Voltage Sag Index Considering Compatibility Between Equipment and Supply ”[6] ในปี 2007 มีแนวทางการนำเสนอเช่นเดียวกับบทความที่ 3 เพียงแต่เปลี่ยนมาตรฐานของระบบไฟฟ้า คือ ESKOM (NRS – 048 – 2 : 1996) และคำนวณความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากแนวทางการนำเสนอแนวคิดดังกล่าว ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลระบบไฟฟ้าของประเทศไทย โดยเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณความเชื่อถือได้ให้มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากยิ่งขึ้น เพื่อลดความผิดพลาด (Error) ในการประมาณจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ดังนี้

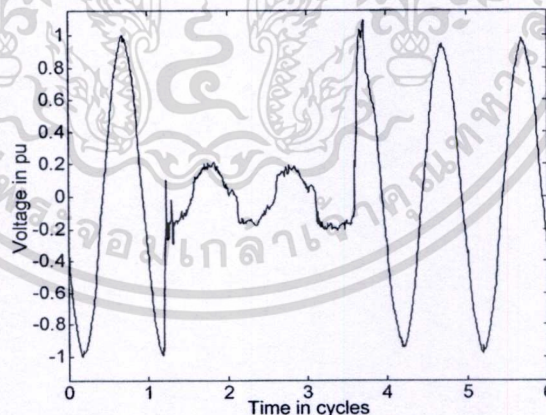
1. ปรับปรุงความถี่ของระบบไฟฟ้าจากเดิมใช้ที่ความถี่ 60 Hz เป็น 50 Hz
2. ในการคำนวณความเชื่อถือได้โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ จะใช้ค่า สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R - Square) เป็นตัวเลือกการแจกแจงที่ดีที่สุด เพราะเดิมจะสมมุติให้ระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า หรือระดับความทนทานของอุปกรณ์เป็นฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) เท่านั้น

3. เพิ่มการคำนวณฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Nonparametric (การแจกแจงแบบไม่ใช้พารามิเตอร์) เพื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ (การแจกแจงแบบใช้พารามิเตอร์ เช่น การแจกแจงแบบปกติ และการแจกแจงแบบลือกนอร์มอล เป็นต้น)
4. เพิ่มการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ แบบคำนวณหาค่าพื้นที่ (Graphical Approach) เพื่อง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยใช้แนวคิดการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) หาค่าความเชื่อถือได้

2.3 นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยทั่วไปแล้ว คือ การลดลงของแรงดันอาร์เอ็มเอสในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก การลัดวงจร (Short Circuit), สภาวะ โหลดเกิน (Overloads) และการสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ (Starting of large motors) เป็นต้น

ตัวอย่างของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ อันเนื่องมาจากการลัดวงจร (Short circuit fault) แสดงดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าจะลดลงเหลือประมาณ 20% ของแรงดันปกติประมาณ 2 ไซเคิล และหลังจาก 2 ไซเคิลไปแล้วแรงดันไฟฟ้าก็จะกลับคืนสู่สภาวะปกติ ดังนั้นขนาดของแรงดัน (Voltage Magnitude) และช่วงเวลา (Sag Duration) จึงเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ



รูปที่ 2.1 แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเนื่องจากการลัดวงจร (Short circuit fault) [1]

การทำความเข้าใจถึงนิยามความหมายของคำว่า แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จากมาตรฐานต่างๆ ที่ได้ให้ไว้ นั้น มีความสำคัญมากต่อการศึกษาดังคุณภาพกำลังไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบ เพื่อให้มีความเข้าใจที่ถูกต้องตรงกัน ถึงแม้ว่ามาตรฐานหลายชนิดได้แบ่งประเภทของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ออกเป็นลักษณะต่างๆกันไปก็ตาม แต่ส่วนใหญ่แล้วมาตรฐานต่างๆก็ได้ให้นิยาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายที่มีความใกล้เคียงกันทั้งสิ้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้ยกตัวอย่างสองมาตรฐานหลักที่ได้ให้นิยามของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ คือ มาตรฐาน IEEE Std. 1159-1995 และมาตรฐาน IEC 61000-4-30 โดยทั้งสองมาตรฐานได้ให้นิยามแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ไว้ดังนี้

มาตรฐาน IEEE Std. 1159-1995 [10] ได้ให้นิยามแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ คือ “การลดลงของขนาดแรงดันอาร์เอ็มเอสหรือกระแสไฟฟ้า ณ ความถี่ในช่วงเวลา 0.5 ไซเคิล ถึง 1 นาที โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 0.1 ถึง 0.9 เพอร์ยูนิต” แสดงนิยามดังตารางที่ 2.1

(IEEE Std. 1159-1995 defines the voltage sag : “ a decrease to between 0.1 and 0.9 pu. in rms voltage value or current at the power frequency for durations of 0.5 cycle to 1 min. Typical value are 0.1 to 0.9 pu. ”)

มาตรฐาน IEC Std. 61000-4-30 [11] ได้ให้นิยามแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ คือ “การลดลงของแรงดันไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในระบบไฟฟ้า ที่มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนด”

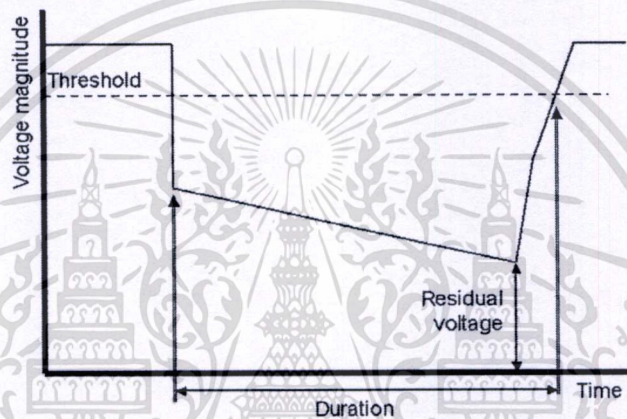
(IEC Std. 61000-4-30 defines the voltage sag : “ a temporary reduction of the voltage at a point in the electrical system below a threshold ”)

ตารางที่ 2.1 ของขนาดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะตามมาตรฐาน IEEE Standard 1159-1995 [10]

Categories	Typical duration	Typical voltage magnitude
2.0 Short duration various		
2.1 Instantaneous		
2.1.1 Sag	0.5 – 30 cycles	0.1 – 0.9 pu
2.1.2 Swell	0.5 – 30 cycles	1.1 – 1.8 pu
2.2 Momentary		
2.2.1 Interruption	0.5 cycles – 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag	30 cycles – 3 s	0.1 – 0.9 pu
2.2.3 Swell	30 cycles – 3 s	1.1 – 1.4 pu
2.3 Temporary		
2.3.1 Interruption	3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag	3 s – 1 min	0.1 – 0.9 pu
2.3.3 Swell	3 s – 1 min	1.1 – 1.2 pu

2.4 นิยามของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

จากคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เราสามารถอธิบายได้จากตัวชี้วัด (Index) 2 ตัว คือช่วงเวลา (Duration) และขนาดแรงดันคงเหลือ (Voltage magnitude) ซึ่งทั้งสองค่านี้ได้มาจากขนาดของแรงดันที่เกี่ยวข้องกับเวลา แสดงดังรูปที่ 2.2 ช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ คือช่วงเวลาซึ่งขนาดของแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าจุดเริ่มต้น แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยทั่วไปแล้วจะเลือกใช้ที่ระดับ 90 % ของขนาดแรงดันปกติ ถึงแม้ว่ามาตรฐาน IEC 61000-4-30 ได้แนะนำให้ใช้ที่ระดับ 70% ของขนาดแรงดันปกติก็ตาม และมาตรฐาน IEC 61000-4-30 ก็ยังได้แนะนำให้ใช้ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส 1 ไซเคิล และต่อเนื่องทุกๆครั้ง ไซเคิล



รูปที่ 2.2 นิยามของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ [12]

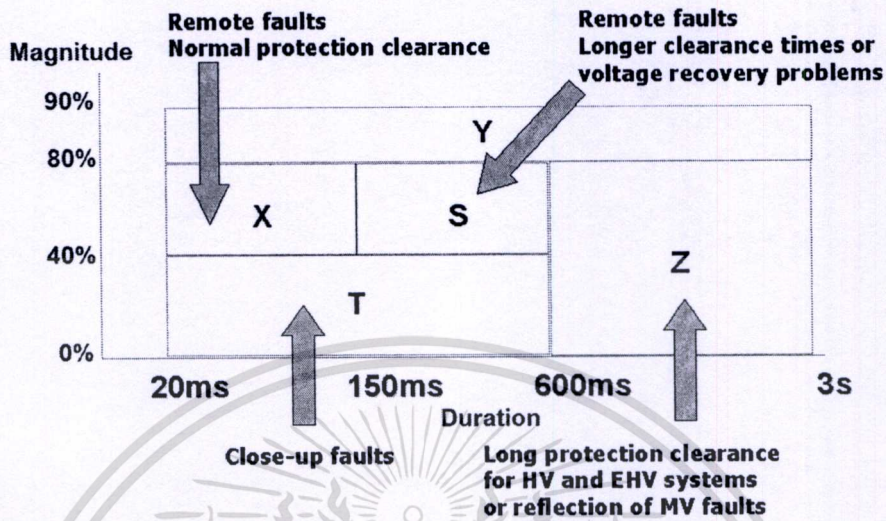
2.5 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Index) ที่เหมาะสมจะเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่ง ที่ช่วยประเมินสถานะของระบบให้ชัดเจน มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ นั้นมีอยู่หลายมาตรฐานด้วยกัน แต่ในที่นี้จะยกตัวอย่าง 3 มาตรฐาน คือ ESKOM , ITIC และ SEMI F47 [3][4]

2.5.1 มาตรฐานที่ใช้กับแหล่งจ่ายของการไฟฟ้า

มาตรฐานในการแบ่งแยกประเภทของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ESKOM (NRS-048-2:1996) เป็นมาตรฐานหนึ่งที่มีการไฟฟ้าของประเทศอาฟริกาใต้ (The South African Utility) ได้นำมาใช้แบ่งประเภทของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะออกเป็น 5 ชนิด คือ X,Y,S,T และ Z ซึ่งเป็นการจำแนกชนิดของเหตุการณ์ตามตำแหน่งของความผิดปกติ และ โครงสร้างของระบบป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยหากพบว่ามีความผิดปกติชนิดใดเกิดขึ้นมาก ก็อาจพิจารณาปรับปรุงระบบไฟฟ้า

กำลังที่ส่วนนั้นก่อนเพื่อลดปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบลง เป็นต้น มาตรฐาน ESKOM (NRS-048-2:1996) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 มาตรฐาน ESKOM (NRS-048-2:1996) [13]

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า การไฟฟ้าประเทศแอฟริกาใต้ (The South African Utility) ได้แบ่งประเภทแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะออกเป็น 5 ประเภท คือ

1. ประเภท Y มีขนาดแรงดัน 80% - 90% และช่วงเวลาอยู่ที่ 20 มิลิวินาที - 3 วินาที
2. ประเภท X มีขนาดแรงดัน 40% - 80% และช่วงเวลาอยู่ที่ 20 มิลิวินาที - 150 มิลิวินาที
3. ประเภท S มีขนาดแรงดัน 40% - 80% และช่วงเวลาอยู่ที่ 150 มิลิวินาที - 600 มิลิวินาที
4. ประเภท T มีขนาดแรงดัน 0% - 40% และช่วงเวลาอยู่ที่ 20 มิลิวินาที - 600 มิลิวินาที
5. ประเภท Z มีขนาดแรงดัน 0% - 80% และช่วงเวลาอยู่ที่ 600 มิลิวินาที - 3 วินาที

ปัจจุบันมาตรฐาน ESKOM ได้มีการพัฒนามาถึงเวอร์ชัน ESKOM (NRS-048-2:2003) โดยมีพิกัดตำแหน่งของช่วงเวลาและขนาดของแรงดันคงเหลือ เมื่อเปรียบเทียบกับ ESKOM (NRS-048-2:1996) แสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามาตรฐานใหม่นั้นยังคงมีความใกล้เคียงกับมาตรฐานเดิม โดยมีการแบ่งช่วงเดิมให้ละเอียดมากขึ้น เช่น Z ก็จะแบ่งเป็น Z1 และ Z2 ส่วน X ก็จะแบ่งเป็น X1 และ X2 เป็นต้น ดังนั้นในการคำนวณจึงยังคงใช้มาตรฐานเดิม คือ ESKOM (NRS-048-2:1996)

ตารางที่ 2.2 ตารางแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะตามมาตรฐาน NRS-048-2:2003 [12]

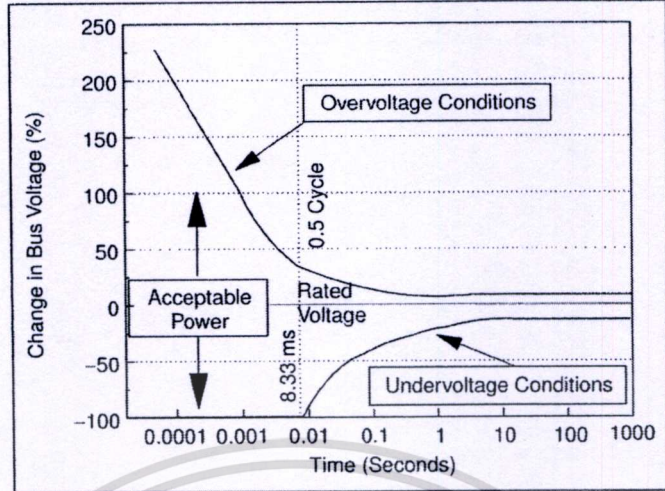
Retained Voltage	Duration of voltage sag		
	20-150ms	150-600ms	0.6-3s
85-90%			
80-85%			Z1
70-80%		S	Z2
60-70%	X1		
40-60%	X2		
0-40%	T		

2.5.2 มาตรฐานที่ใช้กับอุปกรณ์

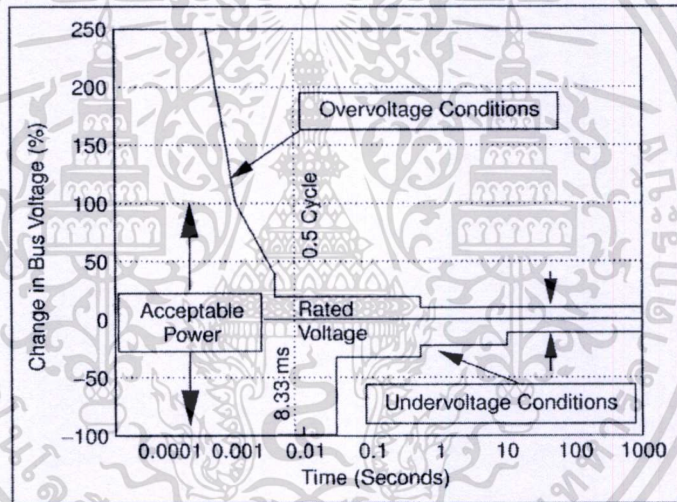
คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งที่มีความไวต่อแรงดันตกและแรงดันเกิน จึงสามารถแสดงเป็นเส้นโค้งที่มีทั้งขนาดและช่วงเวลาของแรงดันได้ โดยในปี 1970 Computer Business Equipment Manufactures Association หรือที่เรียกว่า CBEMA curve ได้พัฒนาเส้นโค้งที่เป็นมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยใช้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ แสดงช่วงเวลาที่ยอมรับได้ของแหล่งจ่ายแรงดันสำหรับคอมพิวเตอร์ โดยให้แกนนอน (X-axis) แสดงช่วงเวลาของแรงดันตกหรือแรงดันเกิน ส่วนแกนตั้ง (Y-axis) แสดงขนาดของแรงดัน

ในปี 1990 the Information Technology Industry Council (ITIC Curve) ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยกลุ่ม CBEMA ปัจจุบันเรียกว่า ITIC curve แสดงดังรูปที่ 2.5 และได้เข้ามาแทนที่ CBEMA curve โดยทั่วไปจะใช้ในระบบหนึ่งเฟส 120V 60Hz เช่นเดียวกับแนวคิดของ Semiconductor Equipment and Materials International : the SEMI F47 curve แสดงดังรูปที่ 2.6

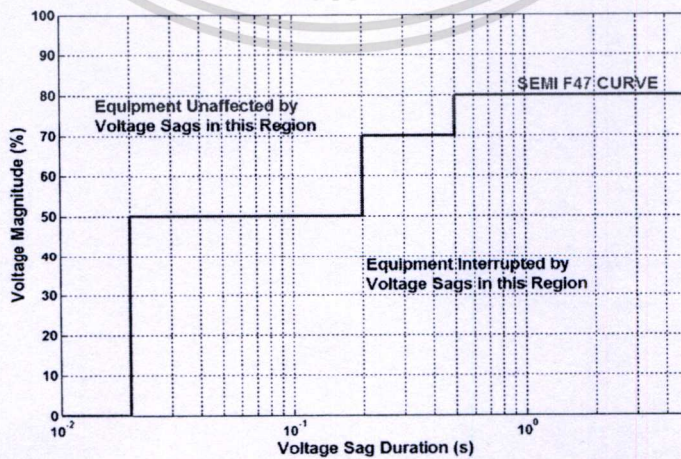
เส้นโค้ง ITIC Curve และ SEMI F47 Curve เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดยกลุ่มอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศ และกลุ่มอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำตามลำดับ เพื่อกำหนดให้อุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตสารกึ่งตัวนำต้องมีความสามารถทำงานได้ตามปกติ สำหรับเหตุการณ์ที่สูงกว่าเส้นโค้งนั้นๆ



รูปที่ 2.4 CBEMA Curve [14]



รูปที่ 2.5 ITIC Curve [14]



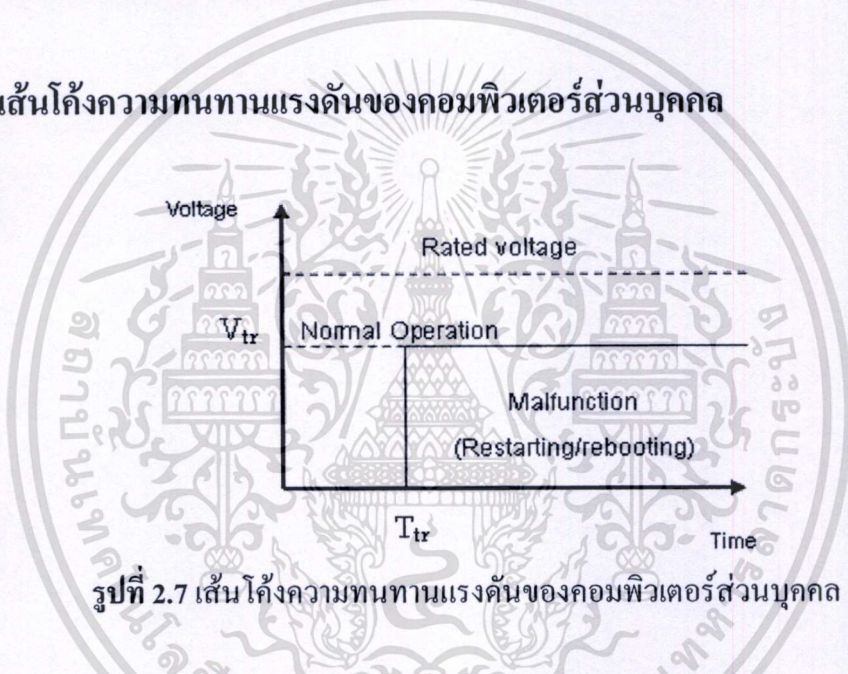
รูปที่ 2.6 SEMI F47 Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

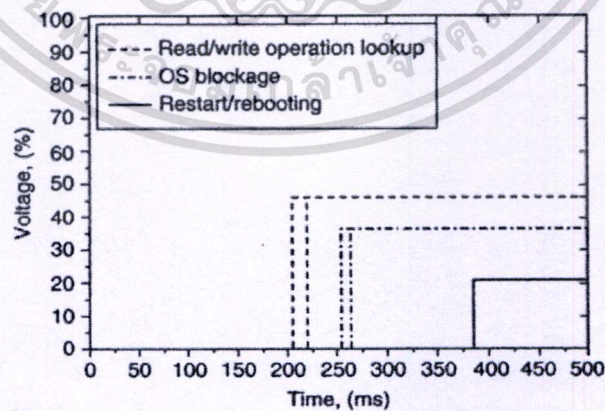
2.6 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ [14]

เส้นโค้งความทนทานแรงดัน(Equipment Voltage Sag Tolerance Curve) ได้อธิบายเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เส้นโค้งความทนทานแรงดัน จะแสดงขนาดของแรงดันที่ต่ำที่สุดที่อุปกรณ์จะสามารถทนทานต่อเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะได้ โดยเส้นโค้งความทนทานแรงดันนี้จะมาจาก อุปกรณ์ในระบบการผลิต จากการทดสอบอุปกรณ์ จากการชิมมูเลชั่น (Simulation) อุปกรณ์ หรือในอนาคตซึ่งอาจจะเป็นไปได้ที่จะมาจากมาตรฐานกับอุปกรณ์ที่มีความทนทานต่อแรงดัน อุปกรณ์หลายชนิดได้ทดสอบความทนทาน (Immunity test) ต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และแสดงลักษณะของเส้นโค้งความทนทานแรงดันไฟฟ้าต่างกันไป บางชนิดก็มีลักษณะที่ไม่เป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Nonrectangular)

2.6.1 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



รูปที่ 2.8 ช่วงเวลาและแรงดันของเส้นโค้งความทนทานแรงดันของคอมพิวเตอร์

การทดสอบแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) แสดงความไวต่อการรบกวนของแรงดัน (Voltage disturbance) เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แสดงดังรูปที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

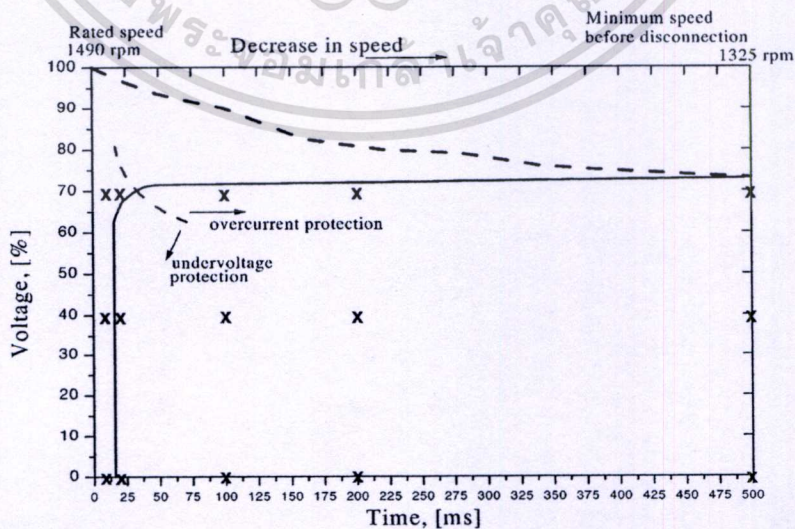
2.7 โดยขึ้นอยู่กับชนิดคอมพิวเตอรื โดยมีช่วงของแรงดัน V_r จะอยู่ในช่วงที่ต่ำประมาณ 30 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ หรือสูงถึงประมาณ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบผลลัพธ์กับคอมพิวเตอรื แสดงดังรูปที่ 2.8 คอมพิวเตอรืจะทำงานผิดพลาด หรือการเริ่มทำงานใหม่ (Restart/Rebooting) ในช่วงไฟฟ้าดับ (Interruption) ที่ต่อเนื่องนานถึง 380 (ms)มิลลิวินาที หรือ 23 ไซเคิล โดยช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะที่น่าสามารถเพิ่มได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดแรงดันปกติ

2.6.2 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของ ASD

การรบกวนของแรงดัน 3 ชนิด มีผลกระทบต่อ ASD (Adjustable speed drive) ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะ ไฟฟ้าดับ และแรงดันไม่สมดุล (Voltage unbalance) ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ แรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะ เป็นสาเหตุที่ทำให้ ASD มีความเร็วที่เปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดอันตรายต่อกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายทำเกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น นอกจากนี้แรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการลดลงของ Dc – link voltage ชั่วขณะ อีกด้วย

ASD พิกัด 4kW ทำงานที่ความเร็วและแรงบิดในระบบสามเฟสต่อแรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะ แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยจากเส้นโค้งความทนทานแรงดันสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ASD จะทนทานต่อแรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะและไฟฟ้าดับ ที่แรงดัน 0 โวลต์ และช่วงเวลา 10 ถึง 20 มิลลิวินาที
2. ASD จะทนทานต่อแรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะ ที่ระดับแรงดัน 70 เปอร์เซ็นต์ และช่วงเวลา 500 มิลลิวินาที
3. ความเร็วของ ASD จะลดลง 11 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 500 (ms)มิลลิวินาที



รูปที่ 2.9 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของ ASD ต่อแรงดันไฟฟ้าดกัชั่วขณะสามเฟสสมดุล

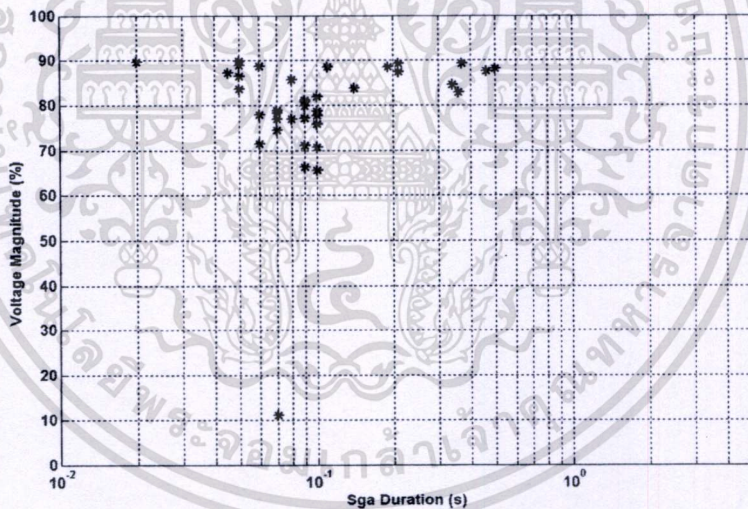
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การแทนค่าเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บันทึกได้

เหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในแต่ละเหตุการณ์ จะถูกแทนที่ด้วยขนาดของแรงดัน (Voltage Magnitude) และช่วงเวลา (Sag Duration) ของแต่ละเหตุการณ์ที่บันทึกได้ จากการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power quality monitoring system) โดยจะแสดงเป็นแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ให้เห็นถึงตำแหน่งของเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

2.7.1 แผนภาพการกระจาย

แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ มีคุณลักษณะที่สำคัญดังกล่าวมาแล้ว คือ ขนาดของแรงดันคงเหลือ และช่วงเวลา ดังนั้นจึงสามารถนำค่าทั้งสองมาพล็อตในพิกัดของ ขนาดแรงดันคงเหลือ และช่วงเวลาได้ โดยใช้แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการทำให้เห็นภาพเหตุการณ์ และจำนวนของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะทั้งหมดที่บันทึกได้ จากรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าของโรงงาน A แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ตั้งแต่เดือนเมษายน 2550 ถึง เดือนเมษายน 2551 โดยมีจำนวนเหตุการณ์ที่บันทึกได้ทั้งหมด 38 เหตุการณ์



รูปที่ 2.10 แผนภาพการกระจายของเหตุการณ์ที่บันทึกได้ของโรงงาน A ในจังหวัดชลบุรี

2.8 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและการประเมินสมรรถนะ

ตัวชี้วัดค่าความเชื่อถือได้ ได้ถูกนำมาใช้นานแล้วเพื่อหาค่าผลลัพธ์ของความทนทานต่อเหตุการณ์ไฟฟ้าดับในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในเอกสารมาตรฐาน IEEE P1564 [15] ได้รวบรวมการหาค่าตัวชี้วัดแบบต่างๆ ซึ่งคำนวณจากค่าแรงดันคงเหลือ และช่วงเวลา โดยการประเมินสมรรถนะของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวชี้วัด

แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์ (Single Event Index) และตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของเหตุการณ์ทั้งหมด (Single Site Index)

2.8.1 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์

มีหลายแนวคิดที่นำเสนอการหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์ (Single Event Index) และในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์ 3 ตัวชี้วัดด้วยกัน คือ ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Energy Index), ค่าตัวชี้วัดการสูญหายของพลังงาน (Voltage Sag Lost Energy Index) และค่าตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Severity Index)

2.8.1.1 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ [16]

ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ถูกกำหนดตามสมมติฐานของการขาดหายของพลังงานหรือแรงดันไฟฟ้าในระหว่างที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยสามารถคำนวณได้จากขนาดของแรงดันคงเหลือ V และช่วงเวลา T ได้ดังนี้

$$E_{vs} = \left[1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right] \times T \quad (2.1)$$

เมื่อให้

V = ขนาดของแรงดันคงเหลือ ในหน่วยโวลต์ (Volt)

T = ช่วงเวลา ในหน่วยวินาที (s)

ยกตัวอย่าง การคำนวณหาค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เมื่อให้ขนาดแรงดันเท่ากับ 0.75 pu. ของขนาดแรงดันปกติ และให้ช่วงเวลาเท่ากับ 4 ไซเคิล (0.0667 วินาที สำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz) ดังนี้จะได้

$$E_{vs} = [1 - 0.75^2] \times 0.0667$$

$$E_{vs} = 0.0292 \text{ s หรือ } 29.2 \text{ ms หรือ } 1.75 \text{ ไซเคิล (0.0292/0.0167 = 1.75 Cycle)}$$

2.8.1.2 ตัวชี้วัดการสูญหายของพลังงาน [17]

ตัวชี้วัดการสูญหายของพลังงาน อยู่บนสมมติฐานของพลังงานที่ไม่ถูกส่งผ่านไปยังโหลดในช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ การสูญหายของพลังงานในช่วงการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ W จะสามารถคำนวณได้จาก

$$W = (1 - V_{pu})^{3.14} \times t \quad (2.2)$$

เมื่อให้

V_{pu} = ขนาดของแรงดัน ในหน่วยเปอร์เซ็นต์

t = ช่วงเวลาเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ในหน่วยมิลลิวินาที (ms)

โดยที่ค่าเลขยกกำลัง 3.14 ของแรงดันนั้น ได้มาจากการประมาณค่าที่เหมาะสม (Curve fitting) กับเส้นโค้ง CBEMA

2.8.1.3 ตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ [12]

ค่าตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สามารถคำนวณได้จากค่าแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ร่วมกับเส้นโค้งอ้างอิง (Reference curve) ในเอกสารมาตรฐาน (IEEE 1564 [15]) ได้แนะนำให้ใช้ SEMI curve (Semiconductor Equipment and Materials International) ประกอบการพิจารณา ดังนั้นตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ในแต่ละเหตุการณ์จะคำนวณได้ดังนี้

$$S_e = \frac{1 - V}{1 - V_{curve}(d)} \quad (2.3)$$

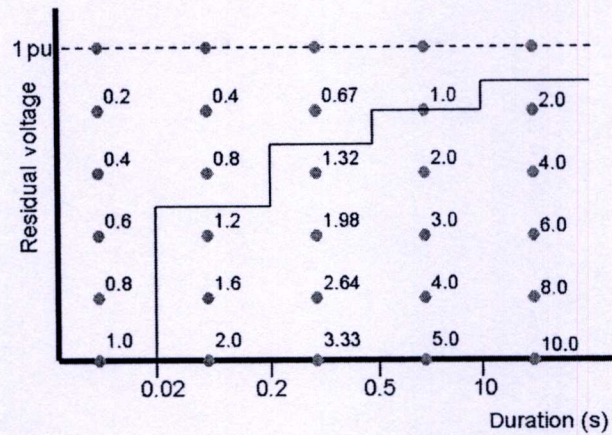
เมื่อให้

V = ค่าแรงดันคงเหลือ ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (pu.)

$V_{curve}(d)$ = ค่าแรงดันตามช่วงเวลา d ของเส้นโค้งความทนทานแรงดัน ตามมาตรฐานที่พิจารณา เช่น SEMI F47 เป็นต้น ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (pu.)

การคำนวณหาความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.11 ช่วงเวลาของเหตุการณ์ที่นานและต่ำกว่าค่าแรงดันคงเหลือ จะให้ค่าความรุนแรงของเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะที่สูง ขณะที่ SEMI curve จะไม่ใหญ่เกินกว่า 90 % ของระดับปกติ ดังนั้นช่วงเวลาสูงสุดของความรุนแรงของเหตุการณ์ไฟฟ้าตกชั่วขณะจึงเท่ากับ 10

การใช้ SEMI curve ได้ให้ค่าอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณ ความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.11 ตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะกับ SEMI Curve

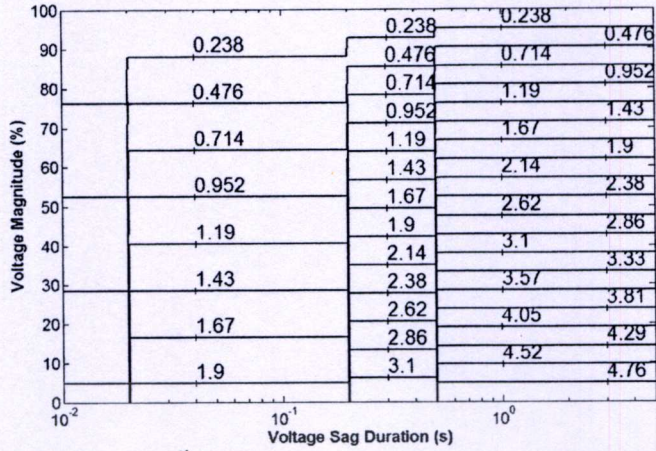
ตารางที่ 2.3 อัลกอริทึมสำหรับการคำนวณ Voltage sag severity [18]

V_{curve}	d , duration range	S_e , Voltage sag severity calculation
0.0 pu.	$d \leq 20ms$	$S_e = \frac{(1-V)}{(1-0.0)} = \frac{(1-V)}{1} = 1-V$
0.5 pu.	$20ms \leq d \leq 200ms$	$S_e = \frac{(1-V)}{(1-0.5)} = \frac{(1-V)}{0.5} = 2(1-V)$
0.7 pu.	$200ms \leq d \leq 500ms$	$S_e = \frac{(1-V)}{(1-0.7)} = \frac{(1-V)}{0.7} = 3.3(1-V)$
0.8 pu.	$500ms \leq d \leq 10s$	$S_e = \frac{(1-V)}{(1-0.8)} = \frac{(1-V)}{0.2} = 5(1-V)$
0.9 pu.	$10s < d$	$S_e = \frac{(1-V)}{(1-0.9)} = \frac{(1-V)}{0.1} = 10(1-V)$

และเพื่อให้เห็นความแตกต่างของทั้ง 3 ตัวชี้วัด จึงนำมาพล็อต โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 2.12 – 2.14 ตามลำดับ

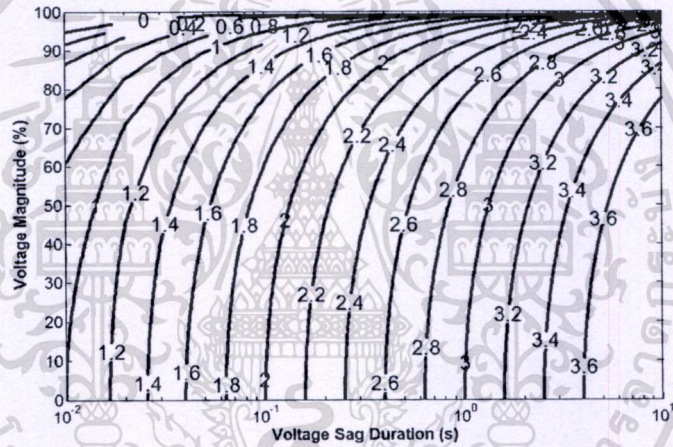
จากคอนทัวร์ของตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในรูปที่ 2.12 เหตุการณ์ที่มีค่าตัวชี้วัดมากกว่า 1.0 อุปกรณ์ที่ผลิตตามมาตรฐาน SEMI F47 จะได้รับความเสียหาย อย่างไรก็ตามสำหรับอุปกรณ์ผลิตตามมาตรฐานอื่น ก็อาจใช้เส้นโค้งความทนทานแรงดันมาแทน $V_{curve}(d)$ ในสมการที่ (2.3) ได้เช่นกัน ซึ่งถ้าเหตุการณ์นั้นเกิดขึ้นในบริเวณที่จะทำให้อุปกรณ์ได้รับผลกระทบ ค่าที่ได้จะมากกว่า 1.0

รูปที่ 2.13 แสดงค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และรูปที่ 2.14 แสดงค่าตัวชี้วัดการสูญหายพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ คอนทัวร์ของค่าตัวชี้วัดจะมีความต่อเนื่อง แต่มุ่งอธิบายคุณลักษณะของเหตุการณ์นั้นๆ เท่านั้น ไม่มีความเกี่ยวข้องกับการอธิบายการได้รับความสูญเสียของอุปกรณ์ ดังเช่นกรณีของค่าตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

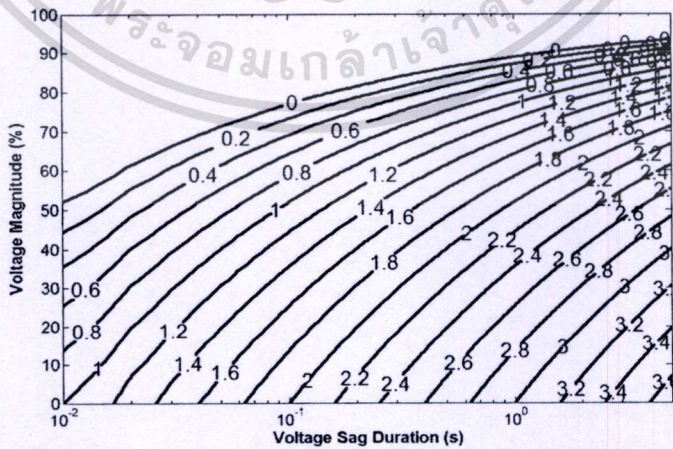


รูปที่ 2.12 คอนทัวร์ของตัวชี้วัดความรุนแรงเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (S_e)

จากสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.13 คอนทัวร์ของตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (E_{VS}) จากสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.14 คอนทัวร์ของตัวชี้วัดการสูญหายพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (W) จากสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของเหตุการณ์ทั้งหมด [4]

ค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของเหตุการณ์ทั้งหมด (Single Site Index) สามารถคำนวณได้จากตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์ (Single event index) ของเหตุการณ์ทั้งหมดที่บันทึกได้ โดยในที่นี้ได้ยกตัวอย่างตัวชี้วัด 3 ตัวชี้วัดคือ ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ SARFI %V, ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Energy Index) และ ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเฉลี่ย (Average Sag Energy Index)

2.8.2.1 ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ SARFI %V

$SARFI_{\%V}$ ถูกนำเสนอเพิ่มขึ้นมาในการประเมินสมรรถนะของระบบ สัญลักษณ์ %V เกี่ยวข้องกับประเภทของขนาดแรงดัน ที่นับได้ในแต่ละเหตุการณ์ ตัวอย่างเช่น SARFI – 60 คือ การพิจารณาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและไฟฟ้าดับที่แรงดันคงเหลือต่ำกว่า 0.6 pu. หรือ 60%

2.8.2.2 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Sag Energy Index : SEI) เป็นผลรวมของพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะทั้งหมดที่บันทึกได้ ค่าตัวชี้วัดนี้โดยทั่วไปแล้วจะคำนวณหาค่าทุกๆเดือนหรือทุกๆปี ดังนั้นค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจะคำนวณจาก

$$SEI = \sum_{i=1}^n E_{VS_i} \quad (2.4)$$

เมื่อให้

i = เป็นจำนวนเหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

n = จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดในช่วงเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

2.8.2.3 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเฉลี่ย

ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเฉลี่ย (Average Sag Energy Index : ASEI) คือค่าเฉลี่ยของพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะทั้งหมดที่บันทึกได้ โดยจะคำนวณจาก

$$ASEI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{VS_i} \quad (2.5)$$

เมื่อให้

i = เป็นเลขที่เหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

n = จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมดในช่วงเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

2.9 ความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้แนวคิดเรื่องความเข้ากันได้ของระบบ (Compatibility Level) เพื่อหาค่าความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) ของระบบ โดยแนวความคิดเรื่องความเข้ากันได้ของระบบที่ได้นำเสนอใน IEC ได้นิยามเรื่องความเข้ากันได้ไว้ ดังนี้

2.9.1 ระดับความเข้ากันได้ [19]

ในทางอุดมคติ กระแสและแรงดันในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบสามเฟสสมดุล จะมีลักษณะของรูปคลื่นเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal waveform) โดยมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับหนึ่ง และสมดุลกันทุกเฟส นั่นคือ กระแสและแรงดันในแต่ละเฟสจะอินเฟสกัน และในแต่ละเฟสก็จะห่างกัน 120°

ในทางปฏิบัติ ผู้ใช้ไฟได้ก่อให้เกิดความผิดเพี้ยน (Distortion) ของกระแสและแรงดัน และการไม่สมดุลระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้ากำลัง สภาวะการณ์เช่นนี้ ยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา สาเหตุที่สำคัญมาจาก

1. กระแสฮาร์มอนิก ที่ถูกสร้างขึ้นโดย โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) เช่น เเรกติไฟเออร์หนึ่งเฟสหรือสามเฟส เตาหลอมแบบอาร์ค (Arc furnaces) และตัวชดเชยวาร์แบบสแตติก (Static-var Compensators) เป็นต้น
2. กระแสอินเตอร์ฮาร์มอนิก ที่ถูกสร้างขึ้นโดย เตาหลอมแบบอาร์คชนิดกระแสสลับ และกระแสตรง และชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง (Ac motor drive) เป็นต้น
3. ความไม่สมดุล ที่ถูกสร้างขึ้นโดย โหลดหนึ่งเฟส (Single-phase load) ที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าสามเฟส เป็นต้น
4. ไฟกระพริบ (Flicker) ที่ถูกสร้างขึ้นโดย โหลดไม่คงที่ (Fluctuating load) เป็นต้น
5. การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (แรงดันตก , ไฟฟ้าดับชั่วคราว) ที่มีสาเหตุมาจากการผิดปกติ (Fault) ในระบบจำหน่าย หรือฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย (Lightning strikes) เป็นต้น

ในการที่จะรักษาสภาพของคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังไว้ได้นั้นจำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐาน ที่ระบุอย่างชัดเจนถึงข้อจำกัดต่างๆที่ใช้ในการควบคุม โหลด และระบบไฟฟ้าขึ้นมา ซึ่งเป้าหมายที่ต้องการก็คือ การทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่อุปกรณ์สามารถอยู่ร่วมกันได้ หรือเรียกว่าความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) ซึ่งถูกนิยามโดย IEC ดังนี้

“ความสามารถของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือระบบ ที่สามารถทำงานได้ใน สิ่งแวดล้อมทางแม่เหล็กไฟฟ้าของมัน โดยไม่ก่อให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ไม่อาจทนได้ต่อสิ่ง ที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้น”

(EMC is defined as: “ the ability of an item of equipment or a system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment”)

2.9.2 ปัญหาความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ปัญหาความเข้ากันได้มี 2 ด้านกล่าวคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในระบบไฟฟ้า ก่อให้เกิดการรบกวน (Disturbance) ในระบบไฟฟ้า และการรบกวนในระบบไฟฟ้านั้นส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์อื่นในระบบไฟฟ้า เพื่อเป็นการประกันความเข้ากันได้ จึงจำเป็นต้องมีการควบคุม ระดับสูงสุดของการรบกวนที่อาจเกิดขึ้น ณ จุดใดๆ บนระบบไฟฟ้า และต้องกำหนด ค่าระดับการรบกวน ที่ซึ่งอุปกรณ์ทุกๆตัวจะสามารถทนทานได้

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ และมีความแตกต่างกันไปในแต่ละจุด เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดเชื่อมต่อ จะขึ้นอยู่กับ โครงสร้างและความแข็งแรงของระบบไฟฟ้าในท้องถิ่นนั้นๆ และความหนาแน่นของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่มีความผันแปรเป็นอย่างมาก อุปกรณ์แต่ละตัวอาจสร้างการรบกวนที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ ในลักษณะเดียวกันกับจากอุปกรณ์อื่นๆ มาตรฐานของอุปกรณ์จะต้องถูกกำหนดเพื่อประกันในสิ่งต่อไปนี้

1. ระดับการแพร่กระจาย จากอุปกรณ์แต่ละชนิดที่นำมาต่อเข้ากับระบบ จะต้องไม่ก่อให้เกิด การเพิ่มขึ้นของระดับการรบกวนอย่างมากเกินไป
2. อุปกรณ์จะต้องไม่ได้รับผลกระทบจากระดับการรบกวน ที่เกิดขึ้นได้โดยทั่วไปในระบบ

มีพารามิเตอร์หลายตัวที่เกี่ยวข้องกับความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ต้องถูกกำหนดและควบคุม

1. ระดับการแพร่กระจาย (Emission level : EL)
2. ระดับความทนทาน (Immunity level : IL)
3. ระดับความเข้ากันได้ (Compatibility : CL)
4. ขอบเขตการแพร่กระจาย (Emission limit : E)
5. ขอบเขตระดับความทนทาน (Immunity limit : I)

และสำหรับในระบบไฟฟ้ากำลังในระดับ MV และ HV

6. ระดับการวางแผน (Planning level : PL)

โดยพารามิเตอร์แต่ละตัว จะถูกอธิบายในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 ระดับการแพร่กระจาย

ระดับการแพร่กระจาย (Emission level : EL) คือ ระดับการรบกวน (Disturbance level : DL) เกิดขึ้นโดย โหลดชนิดใดๆในตำแหน่งที่ตั้งใดๆในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 2 ตัว คือ

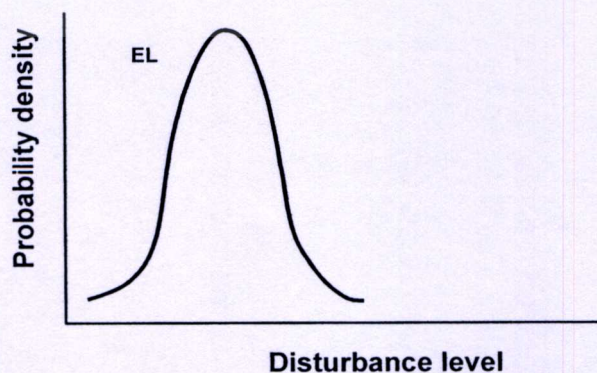
1. คุณลักษณะของอุปกรณ์ รวมถึงการผันแปรของคุณลักษณะของอุปกรณ์เนื่องจากการผลิตเป็นจำนวนมาก
2. คุณลักษณะของแหล่งจ่ายในระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่เชื่อมต่อ

ถึงแม้ว่าอุปกรณ์จะถูกออกแบบมาตามข้อกำหนดในมาตรฐาน (ซึ่งจะรวมค่าระดับของการแพร่กระจายที่อนุญาตไว้ด้วย) แต่กระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก จะก่อให้เกิดความแตกต่างเล็กน้อยๆ ในคุณลักษณะของการแพร่กระจายของการรบกวนของอุปกรณ์แต่ละตัว ถึงแม้จะมีการสุ่มทดสอบเพื่อควบคุมให้อุปกรณ์ผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดก็ตาม ความแตกต่างกันของชิ้นส่วนและรายละเอียดการประกอบชิ้นส่วน ก็จะทำให้เกิดความแตกต่างในระดับการแพร่กระจาย ดังนั้น อุปกรณ์ชนิดเดียวกัน 2 ตัว ก็อาจจะสร้างระดับการรบกวนที่แตกต่างกัน ในระบบไฟฟ้าเดียวกัน

2.9.3.1 แนวคิดเชิงสถิติเรื่องระดับการแพร่กระจาย

ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ จะมีจำนวน โหลดที่ต่ออยู่เป็นจำนวนมาก โหลดแต่ละชนิดก็จะสร้าง ระดับการแพร่กระจายของแต่ละตัว ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของอิมพีแดนซ์ในระบบไฟฟ้า ความหนาแน่นของโหลด และสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน ระดับการแพร่กระจายที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆในระบบไฟฟ้าจะแตกต่างกันไป กล่าวอีกนัยหนึ่ง ก็คือระดับการแพร่กระจายที่วัดได้จะมีการแจกแจงในเชิงสถิติ แสดงดังรูปที่ 2.15

จากรูปที่ 2.15 แสดงความน่าจะเป็น (Probability :P) ของระดับการแพร่กระจายของระดับการรบกวนต่างๆ ถ้าช่วงระดับการแพร่กระจายอยู่ในลักษณะที่เกิดขึ้นบ่อย ความน่าจะเป็นก็จะสูง



รูปที่ 2.15 การกระจายของระดับการแพร่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 ระดับความทนทาน

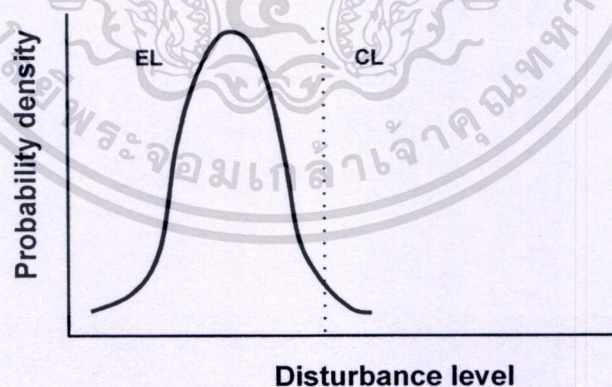
อุปกรณ์แต่ละชนิดจะถูกออกแบบมาโดยผู้ผลิต ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งกำหนดให้ทนทานได้ต่อการรบกวน ที่ต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ ระดับความทนทาน (Immunity level : IL) เป็นค่าของระดับการรบกวนที่สูงที่สุดในระบบไฟฟ้า ที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ด้อยสมรรถนะลงภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ

ในทางปฏิบัติความทนทานของอุปกรณ์ต่อการรบกวนยังได้รับผลกระทบจากองค์ประกอบอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ค่าความเบี่ยงเบนของชิ้นส่วน และความแม่นยำในการประกอบ จะส่งผลต่อระดับความทนทานของกับอุปกรณ์ ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ เช่น ความยาวของสายเคเบิล และการต่อลงดิน ก็ยังส่งผลต่อการแปรผันของระดับความทนทานของอุปกรณ์ด้วย

จากเหตุผลเหล่านี้ ระดับความทนทานของอุปกรณ์ จึงมีการกระจายเชิงสถิติในลักษณะที่เหมือนกันกับ ระดับการแพร่กระจาย (รูปที่ 2.16)

2.9.5 ระดับความเข้ากันได้

ระดับความเข้ากันได้ (Compatibility : CL) ได้ถูกนิยามว่าเป็น ระดับการรบกวนที่มีความถี่สะสมไม่เกินกว่า 95 % ของการวัดในระบบไฟฟ้ากำลังทั้งหมด ระดับความเข้ากันได้เป็นปริมาณเชิงสถิติที่มีคุณลักษณะแสดงถึงระบบไฟฟ้าทั้งหมด ไม่ใช่การอธิบายถึงสภาวะของบัสใดบัสหนึ่งในระบบไฟฟ้า รูปที่ 2.16 แสดงค่าระดับการรบกวน (DL) ที่วัดได้ของการรบกวนชนิดหนึ่งในทุกๆ บัสของระบบไฟฟ้ากำลังในช่วงเวลาหนึ่งสัปดาห์



รูปที่ 2.16 ระดับความเข้ากันได้

ระดับความเข้ากันได้ ได้ถูกนิยามให้เป็นค่าในเชิงปริมาณ ยกตัวอย่างเช่น ระดับความเข้ากันได้สำหรับฮาร์มอนิกของแรงดันในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ(LV) (แสดงดังตารางที่ 2.4) ถูกแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบความถี่มูลฐาน

ตารางที่ 2.4 ระดับความเข้ากันได้ของฮาร์มอนิกแรงดันต่ำ

Harmonic	CL(%)
5	6
7	5
11	3.5
13	3

2.9.6 ขอบเขตการแพร่กระจาย

ขอบเขตการแพร่กระจาย (Emission limit : E) คือ ค่าสูงสุดที่ยอมให้ระดับการแพร่กระจายของอุปกรณ์เกิดขึ้นได้ โดยขอบเขตการแพร่กระจายจะถูกใช้เฉพาะสำหรับอุปกรณ์แต่ละชนิดเท่านั้น ขณะที่ความเข้ากันได้ถูกใช้สำหรับระบบไฟฟ้าทั้งหมด

ขอบเขตการแพร่กระจาย ได้ถูกนิยามให้เป็นค่าในเชิงปริมาณ ยกตัวอย่างเช่น ขอบเขตของกระแสที่แต่ละความถี่ฮาร์มอนิก จากตัวอย่างตาม ตารางที่ 2.5 แสดงขอบเขตการแพร่กระจาย ของฮาร์มอนิกกระแสในระบบไฟฟ้ากำลังแรงดันต่ำ (EN 61000-3-2) กระแสมีหน่วยเป็นหน่วยเป็นแอมแปร์

ตารางที่ 2.5 ขอบเขตการแพร่กระจายของฮาร์มอนิกกระแส

Harmonic	Limit [A]	
	Class A	Class B
5	1.14	1.710
7	0.77	1.155
11	0.33	0.495
13	0.21	0.315

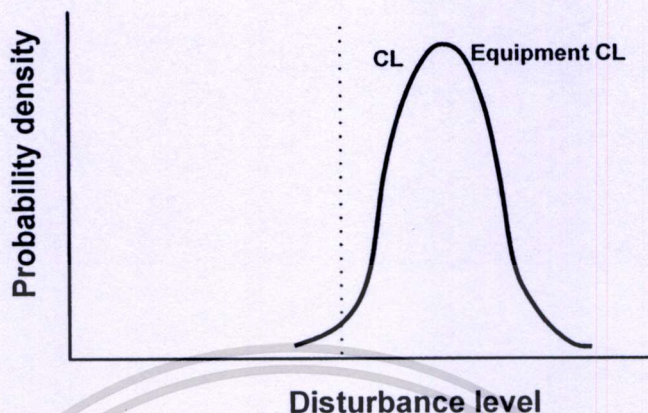
ชนิดของอุปกรณ์ต่างชนิดกัน จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าแตกต่างกัน จึงมีการจำแนกคลาส (Class) ของอุปกรณ์ไว้หลายคลาสด้วยกันไว้ใน EN 61000-3-2 ตารางที่ 2.5 แสดงข้อมูลคลาส A คือ อุปกรณ์ประเภทสามเฟสสมดุล หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน และคลาส B คือ อุปกรณ์แบบพกพา (อุปกรณ์ที่มีรอบการทำงานต่ำ)

2.9.7 ขอบเขตความทนทาน

ขอบเขตความทนทาน (Immunity limit : I) คือ ระดับการรบกวนที่อุปกรณ์สามารถทนได้ โดยไม่มีการสูญเสียสมรรถนะ ซึ่งขอบเขตความทนทานนั้น ถูกกำหนดจากการออกแบบและยืนยันรับรองจากการทดสอบภายในเงื่อนไขเฉพาะ ดังนั้นจึงมีความผันแปรเล็กน้อยระหว่างอุปกรณ์ที่ได้รับการออกแบบมาเหมือนกัน นอกจากนี้ลักษณะการติดตั้งที่เปลี่ยนไป ก็จะทำให้ความผันแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นมีมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ระดับความทนทานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ก็จะมีการแจกแจงเชิงสถิติ เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.17 การกระจายของ ระดับความทนทาน

ถ้าเราต้องการความเข้ากันได้ (EMC) ของอุปกรณ์อย่างสมบูรณ์ 95 % ของความถี่สะสมของระดับความทนทานของอุปกรณ์ที่ติดตั้ง จะต้องสูงกว่าระดับความเข้ากันได้ (CL) แสดงดังรูปที่ 2.17 เงื่อนไขอุดมคตินี้จะเกิดขึ้นได้ถ้าเลือกค่าระดับความเข้ากันได้อย่างมีเหตุผล มีการกำหนดมาตรฐานของ ระดับความทนทานของอุปกรณ์ที่เหมาะสมและมีการปฏิบัติตามมาตรฐานการติดตั้งที่ดี

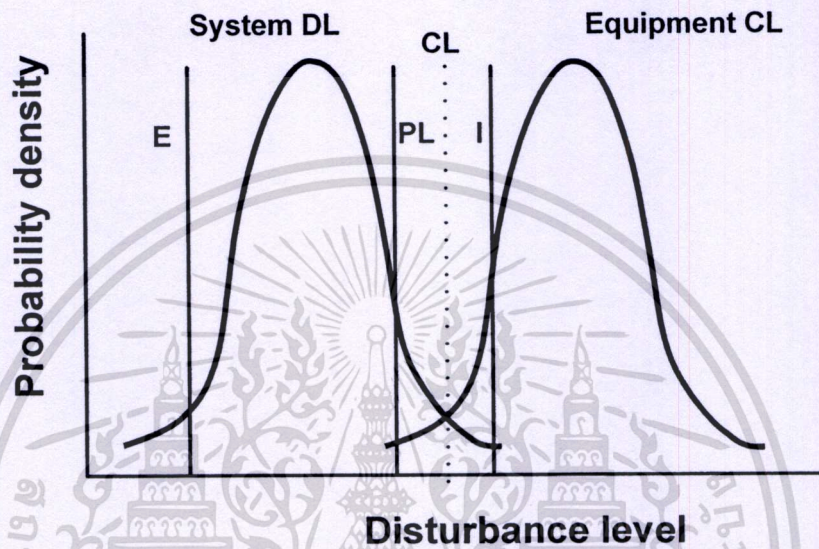
2.9.8 ระดับการวางแผน

ระดับการวางแผน (Planning level : PL) ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังแรงดันปานกลางและแรงดันสูง เป็นวัตถุประสงค์หลักของการไฟฟ้า (Electrical utilities) ถูกใช้ในการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง ยกตัวอย่างเช่น ในการตัดสินใจเลือกต่อโหลดใหม่ ในหลายๆระเบียบการเชื่อมต่อของการไฟฟ้า ระดับการวางแผนถูกใช้กับผู้ใช้ไฟชนิดอุตสาหกรรมและธุรกิจเพื่อจำกัดกระแสฮาร์มอนิกที่จะถูกจ่ายเข้ามาในระบบโดยผู้ใช้ไฟ

2.9.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ

รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้อธิบายไว้ โดยระดับความเข้ากันได้ ถูกปรับไว้ที่ระดับการบกพร่องให้มีค่าความถี่สะสมมากกว่า 95 % ของค่าที่วัดได้ในระบบทั้งหมด ดังนั้นเพียง 5 % ของจำนวนระดับการบกพร่องที่วัดได้จะมีค่าเกินกว่าระดับความเข้ากันได้

ระดับความเข้ากันได้ สามารถพิจารณาได้ในรูปของการรบกวนที่มีค่ามากเกินไปเพียง 5 % ของการวัดค่าการรบกวนในระบบทั้งหมด และจำนวนของอุปกรณ์เพียง 5 % เท่านั้นที่จะอ่อนไหวต่อการรบกวน เพราะฉะนั้นปัญหาจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อนำอุปกรณ์ที่อ่อนไหว ไปต่อเข้ากับระบบ ณ จุดที่มีค่าระดับการรบกวนสูงกว่าระดับความเข้ากันได้



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง ขอบเขตการแพร่กระจาย(E) , ขอบเขตความทนทาน (I) ระดับความเข้ากันได้ (CL) และระดับการวางแผน (PL)

บทที่ 3

ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี่

3.1 บทนำ

เพื่อขจัดปัญหาเรื่องความไม่แน่นอน ในการกำหนดขอบเขตระดับความรุนแรง ทั้งในแง่ของแรงดันและช่วงเวลา ซึ่งใช้แตกต่างกันไปในแต่ละตัวชี้วัด (Index) ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 วิทยานิพนธ์ในบทนี้จึงได้นำเสนอ Fuzzy Voltage Sag Index [6] โดยนำเอาตาราง ESKOM , ITIC และ SEMI F47 มาเป็นแนวทางในการกำหนดอินพุตของ Fuzzy set โดยใน[6] นำเสนอสำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการปรับปรุงให้เหมาะกับระบบไฟฟ้า 50 Hz

3.2 ฟัซซี่ลอจิกบนสมมติฐานของระดับการบกพร่อง

แนวคิด Fuzzy voltage sag index ใช้ตัวแปรอินพุตที่นำมาคำนวณ 2 ตัวแปร คือ ขนาดของแรงดัน (Voltage magnitude) ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ (%) ของระดับแรงดันปกติ และช่วงเวลา (Sag Duration) ในหน่วยของวินาที (Second) ที่ติดค่าลอการิทึม (Take logarithm) เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ มีพารามิเตอร์ (Parameter) และมีนิยามจากมาตรฐานต่างๆ ที่ได้ให้ความหมายไว้ ดังนั้นในการประเมินสมรรถนะของระบบจึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อน (Uncertainty) ขึ้นได้

คุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 คือ ขนาดของแรงดัน และช่วงเวลา โดยเราจะสันนิษฐานให้โหลดมีค่าคงที่ ระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าคงที่ และไม่มีความผิดพลาด (Fault) เกิดขึ้นในระบบ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ทั้งโหลดและระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าไม่คงที่ และความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้จากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เป็นแบบไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้ (Non rectangular voltage sag) ดังนั้นในการแก้ไขปัญหาที่มีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้องนั้น เราจะใช้การพิจารณาโดยใช้ฟัซซี่ลอจิกเข้ามาแก้ไขปัญหา

ฟัซซี่ลอจิกจึงเป็นเครื่องมือที่เข้ามาแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยการสร้าง Fuzzy voltage sag index ซึ่งฟัซซี่ลอจิกนั้นใน [20] ได้กล่าวถึงข้อดีดังนี้ คือ

1. ฟัซซี่ลอจิกเป็นแนวคิดที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ (Fuzzy logic is conceptually easy to understand)
2. ฟัซซี่ลอจิกมีความยืดหยุ่น (Fuzzy logic is flexible)
3. ฟัซซี่ลอจิกมีความถูกต้องแม่นยำสูง (Fuzzy logic is tolerant of imprecise data)
4. ฟัซซี่ลอจิกสามารถสร้างฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นที่มีความซับซ้อนได้ตามความพอใจ (Fuzzy logic can model nonlinear functions of arbitrary complexity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ฟัชซีลอจิกสามารถสร้างและเข้าควบคุมระบบผู้เชี่ยวชาญได้ (Fuzzy logic can be built on top of the experience of expert)
6. ฟัชซีลอจิกสามารถผสมผสานกับเทคนิคควบคุมที่เหมาะสมได้ (Fuzzy logic can be blend with conventional control techniques)
7. ฟัชซีลอจิกใช้ภาษาที่เป็นธรรมชาติ (Fuzzy logic is base on natural language)

3.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตฟัชซีเซต

ในการใช้งานฟัชซีลอจิก ต้องมีการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ของตัวแปรอินพุตให้กับฟัชซีลอจิก โดยทั่วไปแล้วจะใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เป็นแบบสามเหลี่ยม (Triangular) หรือ แบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal) เป็นต้น ส่วนระดับความเป็นสมาชิก (Degree of membership) จะแทนด้วยช่วงระหว่าง $[0,1]$ โดยเป็นค่าที่ประมาณจากการวัดเมื่อ 1 ให้ความหมาย คือ เป็นค่าที่ยอมรับได้ (Fully satisfactory) ในขณะที่ 0 ให้ความหมาย คือ เป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้ (Completely unacceptable)

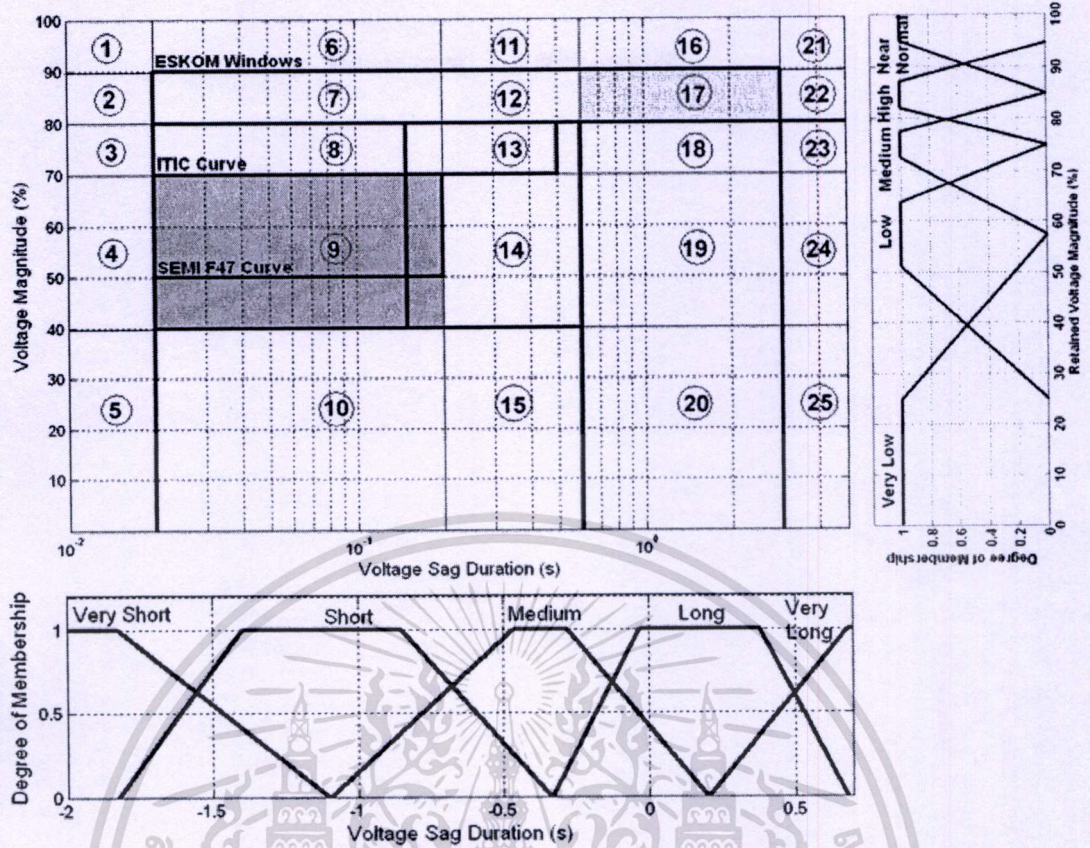
ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จากตัวชี้วัด (Index) ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 จากคุณลักษณะที่สำคัญของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ คือ ขนาดแรงดันคงเหลือ (Retained voltage magnitude) และช่วงเวลา (Sag Duration) จึงได้มีการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของขนาดแรงดัน และช่วงเวลา ดังนี้

3.3.1 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของขนาดแรงดันคงเหลือ

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของขนาดแรงดันคงเหลือ (Retained voltage magnitude) จะถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ESKOM , ITIC และ SEMI F47 โดยมีจุดพิกัด (แรงดัน, ค่าความเป็นสมาชิก) ของมุมของสี่เหลี่ยมคางหมู ตามตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

3.3.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของช่วงเวลา

การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Duration) โดยใน [6] นั้นได้นำเสนอให้ใช้กับระบบไฟฟ้าที่ 60 Hz และถูกแบ่งเป็น 5 ระดับ แสดงดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรอินพุต

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรอินพุตแรงดันคงเหลือ

Level	(Retained Voltage Magnitude , Membership) Coordination			
Very Low	-	(0,1)	(25,1)	(57.5,0)
Low	(25,0)	(51.25,1)	(63.75,1)	(75,0)
Medium	(57.5,0)	(72.5,1)	(77.5,1)	(85,0)
High	(75,0)	(82.2,1)	(87.2,1)	(94.75,0)
Near Normal	(85,0)	(95,1)	(100,1)	-

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรอินพุตช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz

Level	(Voltage Sag Duration , Membership) Coordination			
Very Short	-	(-2.0809 , 1)	(-1.9022 , 1)	(-1.1752 , 0)
Short	(-1.9022 , 0)	(-1.4762 , 1)	(-0.9322 , 1)	(-0.4155 , 0)
Medium	(-1.1752 , 0)	(-0.5468 , 1)	(-0.3623 , 1)	(0.1258 , 0)
Long	(-0.4155 , 0)	(-0.0448 , 1)	(0.3018 , 1)	(0.6029 , 0)
Very Long	(0.1258 , 0)	(0.6029 , 1)	(0.7668 , 1)	-

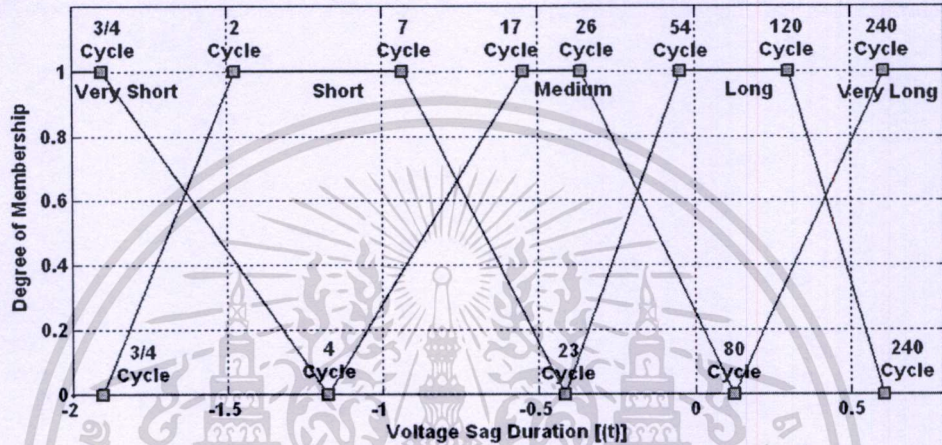
จากตารางที่ 3.2 จะยกตัวอย่างแสดงการคำนวณหาค่าช่วงเวลาในช่วง Short Level โดยเมื่อให้ค่าความถี่ของระบบเป็น 60 Hz ($1/60=0.0167s$) จะได้

$$t = (3/4\text{Cycle} \times 0.0167) = 0.012525s \quad \text{Log}[(t)] = -1.9022$$

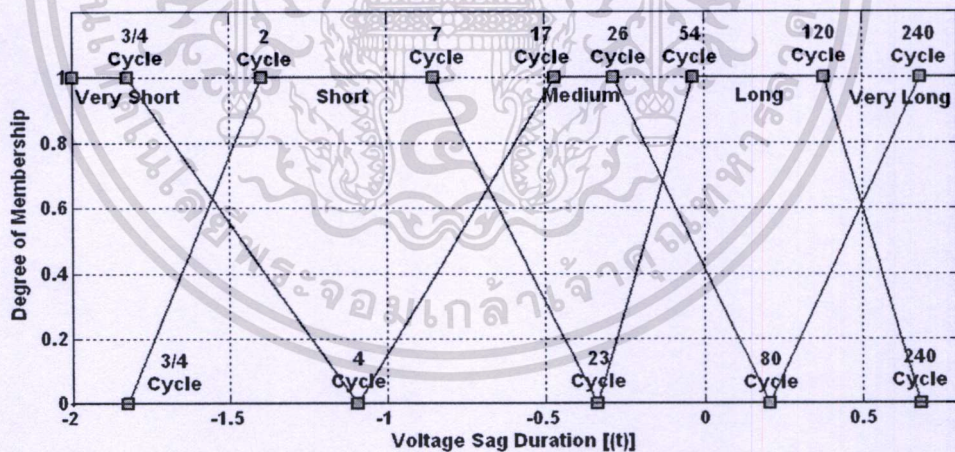
$$t = (2\text{Cycle} \times 0.0167) = 0.0334s \quad \text{Log}[(t)] = -1.4762$$

$$t = (7\text{Cycle} \times 0.0167) = 0.1169s \quad \text{Log}[(t)] = -0.9322$$

$$t = (23\text{Cycle} \times 0.0167) = 0.3841s \quad \text{Log}[(t)] = -0.4155$$



รูปที่ 3.2 ช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz



รูปที่ 3.3 ช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 50 Hz

รูปที่ 3.2 แสดงช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะสำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz ซึ่งเมื่อทำการปรับปรุง ช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า 50 Hz แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้า 50 Hz นั้นจะเลื่อนไปทางด้านขวาเล็กน้อย

ส่วนค่าตัวแปรอินพุตช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะสำหรับระบบไฟฟ้า 50 Hz แสดงดังตารางที่ 3.3 และยกตัวอย่างแสดงการคำนวณหาค่าช่วงเวลาในช่วง Short Level ดังนั้นเมื่อให้ค่าความถี่ของระบบเป็น 50 Hz ($1/50=0.02s$) จะได้

$$t = (3/4\text{Cycle} \times 0.02) = 0.015s \quad \text{Log}[(t)] = -1.8239$$

$$t = (2\text{Cycle} \times 0.02) = 0.04s \quad \text{Log}[(t)] = -1.3979$$

$$t = (7\text{Cycle} \times 0.02) = 0.14s \quad \text{Log}[(t)] = -0.8539$$

$$t = (23\text{Cycle} \times 0.02) = 0.46s \quad \text{Log}[(t)] = -0.3372$$

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรอินพุตช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ สำหรับระบบไฟฟ้า 50 Hz

Level	(Voltage Sag Duration, Membership) Coordination			
Very Short	-	(-2 ,1)	(-1.8239 ,1)	(-1.0969 , 0)
Short	(-1.8239 , 0)	(-1.3979,1)	(-0.8539 , 1)	(-0.3372 , 0)
Medium	(-1.0969 , 0)	(-0.4685 ,1)	(-0.2840 , 1)	(0.2041 , 0)
Long	(-0.3372 ,0)	(-0.0334 , 1)	(0.3802 , 1)	(0.6812 , 0)
Very Long	(0.2041 , 0)	(0.6812 , 1)	(0.8451, 1)	-

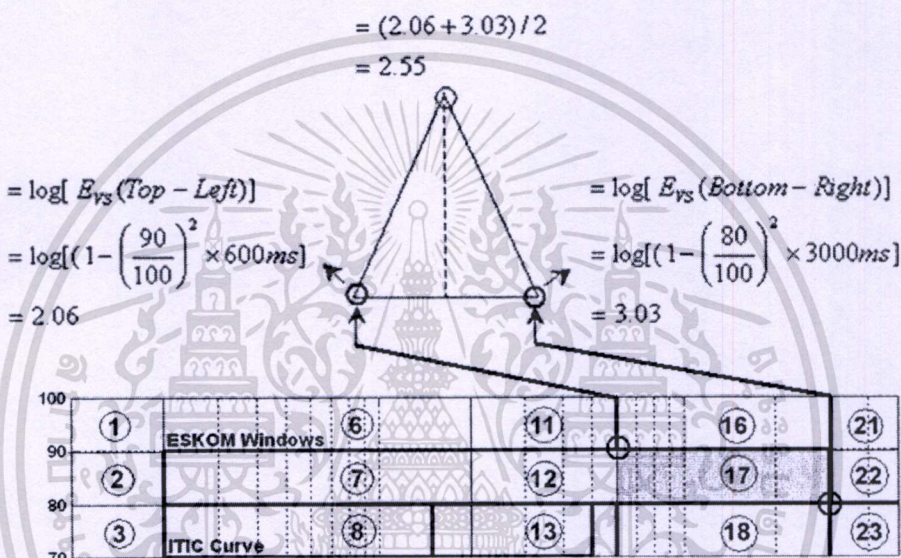
3.4 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุต

จากรูปที่ 3.1 จะได้กฎ IF-THEN = $5 \times 5 = 5^2$ รวม 25 กฎ ดังตารางที่ 3.4 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุตสำหรับทั้ง 25 กฎจะใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม โดยกำหนดจุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุด และจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยม โดยใช้ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของหน้าต่าง(แรงดัน,ช่วงเวลา)ของกฎต่างๆมาคำนวณ ตารางที่ 3.5 แสดงหน้าต่าง(แรงดัน,ช่วงเวลา) ของกฎต่างๆ โดยแสดงเป็นจุดมุมบนซ้าย (Top Left) และมุมล่างขวา (Bottom Right) ของแต่ละกฎทั้ง 25 กฎ

ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตของแต่ละกฎมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ที่กำหนดด้วยค่าลอการิทึมของ Evs ของมุมซ้ายบนและขวาล่างของหน้าต่าง (แรงดัน, ช่วงเวลา) ของแต่ละกฎ จุดยอดของสามเหลี่ยมจะอยู่กึ่งกลางของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด จากการคำนวณตามตารางที่ 3.5 จะทำให้ได้ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 3.5

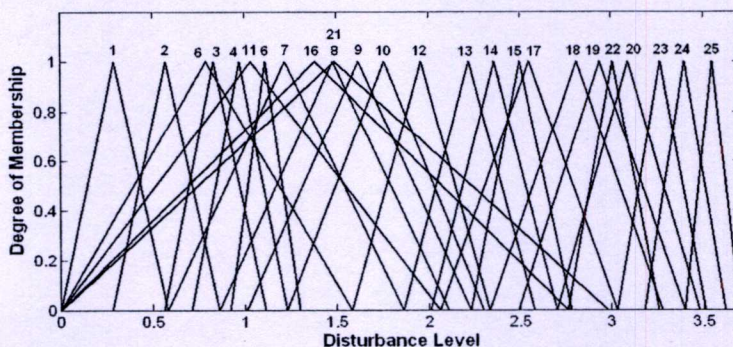
ตารางที่ 3.4 กฎ IF-THEN ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า[6]

Rule No. and Output Membership Function		Voltage Sag Duration				
		Very Short	Short	Medium	Long	Very Long
Retained Voltage Magnitude	Near Normal	1	6	11	16	21
	High	2	7	12	17	22
	Medium	3	8	13	18	23
	Low	4	9	14	19	24
	Very Low	5	10	15	20	25



รูปที่ 3.4 การคำนวณฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตของกฎที่ 17

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นพื้นที่ที่แรเงา 2 ส่วนซึ่งเป็นพื้นที่ของกฎที่ 9 และ 17 โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณหาค่าเอาต์พุต ของกฎที่ 17 แสดงดังรูปที่ 3.4 จากการคำนวณจะได้ค่า 3 ค่า คือ ค่าจุดเริ่มต้นที่ 2.06 ค่าจุดกึ่งกลางที่ 2.55 และค่าจุดสิ้นสุดที่ 3.03 เป็นต้น และเมื่อนำค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต (Output Membership Function) จากตารางที่ 3.5 มาพล็อตแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตทั้ง 25 กฎ

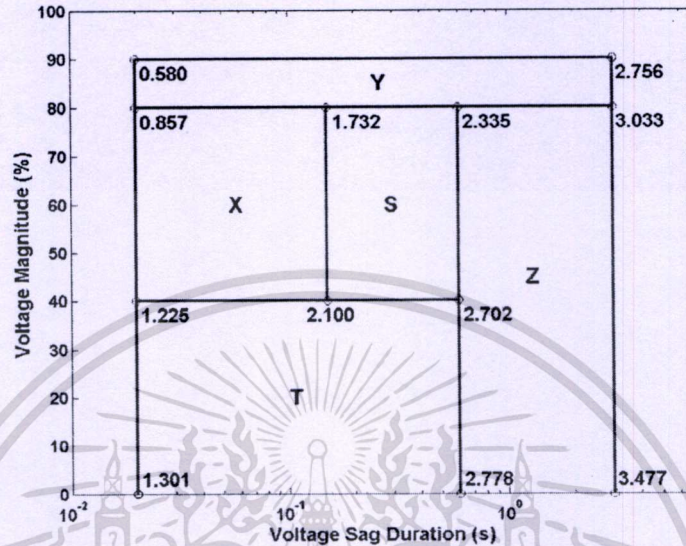
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 การคำนวณหาค่าเอาต์พุตจากกฎทั้ง 25 กฎ

Rule No.	Top - left		Evs1 (%)	Bottom - right		Evs2 (%)	Output Membership function		
	Voltage (%)	Duration (ms)		Voltage (%)	Duration (ms)		Start Log(Evs1)	Center (Start + End) / 2	End Log(Evs2)
1	100	10	0	90	20	3.8	0	0.29	0.58
2	90	10	1.9	80	20	7.2	0.28	0.57	0.86
3	80	10	3.6	60	20	12.8	0.56	0.83	1.11
4	70	10	5.1	40	20	16.8	0.71	0.97	1.23
5	40	10	8.4	0	20	20	0.92	1.11	1.30
6	100	20	0	90	200	38	0	0.79	1.58
7	90	20	3.8	80	200	72	0.58	1.22	1.86
8	80	20	7.2	60	200	128	0.86	1.48	2.11
9	70	20	10.2	40	200	168	1.01	1.62	2.23
10	40	20	16.8	0	200	200	1.23	1.76	2.30
11	100	200	0	90	600	114	0	1.03	2.06
12	90	200	38	80	600	216	1.58	1.96	2.33
13	80	200	72	60	600	384	1.86	2.22	2.58
14	70	200	102	40	600	504	2.01	2.36	2.70
15	40	200	168	0	600	600	2.23	2.50	2.78
16	100	600	0	90	3000	570	0	1.38	2.76
17	90	600	114	80	3000	1080	2.06	2.55	3.03
18	80	600	216	60	3000	1920	2.33	2.81	3.28
19	70	600	306	40	3000	2520	2.49	2.94	3.40
20	40	600	504	0	3000	3000	2.70	3.09	3.48
21	100	3000	0	90	5000	950	0	1.49	2.98
22	90	3000	570	80	5000	1800	2.76	3.01	3.26
23	80	3000	1080	60	5000	3200	3.03	3.27	3.51
24	70	3000	1530	40	5000	4200	3.18	3.40	3.62
25	40	3000	2520	0	5000	5000	3.40	3.55	3.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

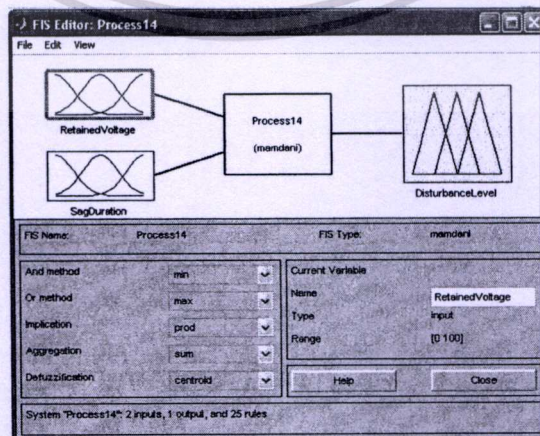
เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต (Output Membership function) จากตารางที่ 3.5 จึงนำมาเปรียบเทียบกับแนวคิดที่นำเสนอใน [8] ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 มุมของตาราง Eskom (ESKOM Windows) [8]

3.5 Fuzzy Inference System

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้าง Fuzzy Voltage Sag Index โดยภายในโปรแกรม MATLAB มีเครื่องมือที่ติดต่อกับผู้ใช้งานโดยตรงที่เรียกว่า GUI (Graphical User Interface) และหนึ่งในนั้นคือ Fuzzy Logic Toolbox โดยสามารถเรียกใช้งานโดยพิมพ์คำสั่ง fuzzy โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดค่าในหน้าต่าง FIS Editor ดังรูปที่ 3.7 โดยมีการสร้างตัวแปรอินพุต 2 ตัว คือ Retained Voltage และ Sag Duration ส่วนเอาต์พุต คือ Disturbance Level



รูปที่ 3.7 หน้าต่าง Fuzzy Logic Toolbox

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 การกำหนดเงื่อนไขในหน้าต่าง FIS Editor

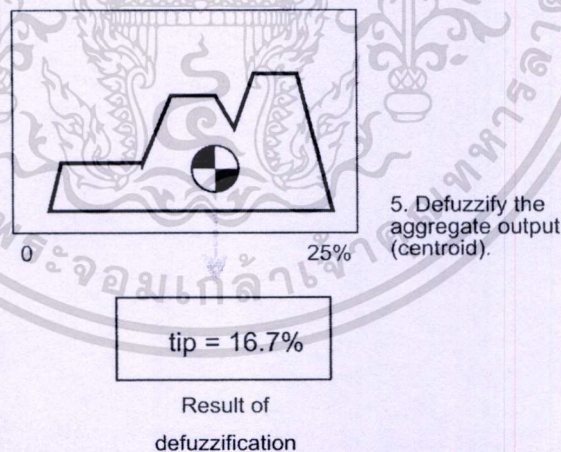
And method	Min
Or method	Max
Implication	Prod
Aggregation	Sum
Defuzzification	Centroid

จากตารางที่ 3.6 คำสั่ง And method และ Or method โดยทั่วไปแล้ว Fuzzy Logic Toolbox จะมีการกำหนดค่าให้เป็น Min (Minimum) และ Max (Maximum) ตามลำดับ ซึ่งมีความหมายคือ AND = min และ OR = max

คำสั่ง Implication กำหนดให้เป็น Prod (Product) มีความหมายคือเป็นการกำหนดสเกลเอาต์พุตของฟัซซีเซต (Scale the output fuzzy set)

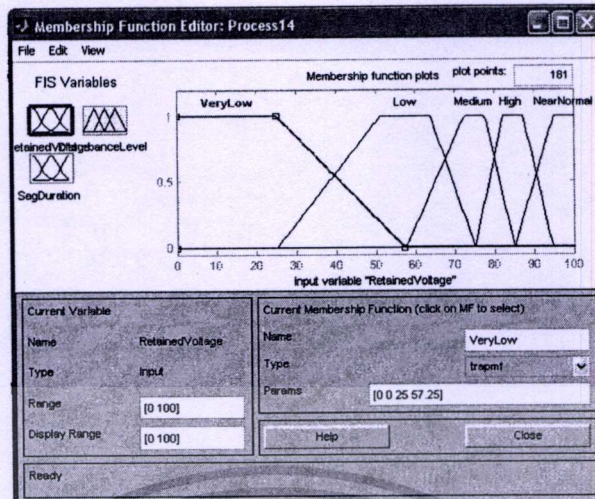
คำสั่ง Aggregation กำหนดให้เป็น Sum มีความหมายคือ เป็นผลรวมอย่างง่ายในแต่ละกฎของเอาต์พุต (Simply the sum of each rule's output set)

คำสั่ง Defuzzification กำหนดให้เป็น Centroid มีความหมายคือ เป็นการคำนวณพื้นที่โดยใช้จุดศูนย์กลางของภาพเป็นเกณฑ์ แสดงดังรูปที่ 3.8



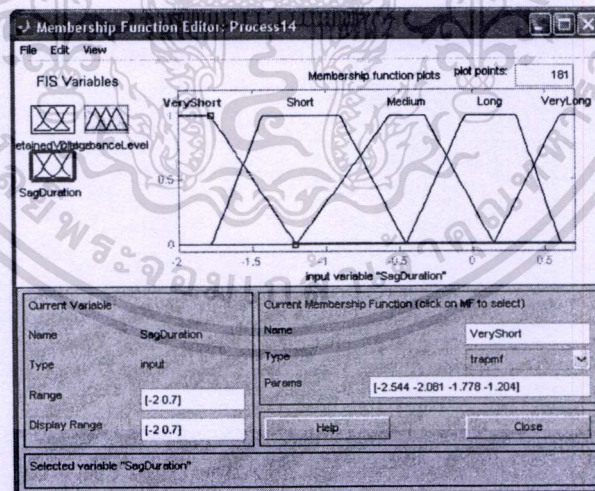
รูปที่ 3.8 การคำนวณแบบ Centroid [20]

จากรูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างการคำนวณพื้นที่ จากคำสั่ง Defuzzification เมื่อกำหนดค่าให้เป็น Centroid โดยขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการหาค่าพื้นที่ หลังจากที่ได้กำหนดค่าต่างๆดังกล่าวมาแล้ว และจากรูปที่ 3.8 เป็นการหาค่าพื้นที่โดยวิธี Centroid ซึ่งมีค่าเท่ากับ 16.7 %



รูปที่ 3.9 ค่าตัวแปรอินพุตของขนาดแรงดันคงเหลือ (Retained Voltage)

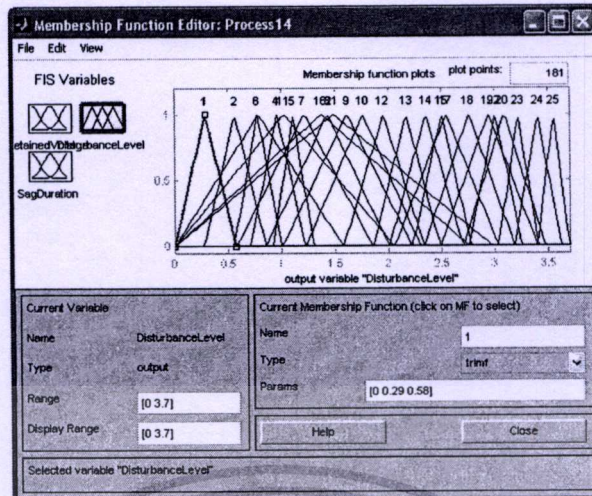
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต (Input Membership function) ทั้งขนาดแรงดันคงเหลือ (Retained voltage magnitude) และช่วงเวลา (Sag Duration) จะกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งมีหน้าตาต่างอินพุตของขนาดแรงดันคงเหลือ แสดงดังรูปที่ 3.9 ส่วนพิกัดของขนาดแรงดันคงเหลือ ทั้ง 5 ระดับคือ Very Low , Low , Medium , High และ Near Normal กำหนดตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.10 ค่าตัวแปรอินพุตของช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Sag Duration)

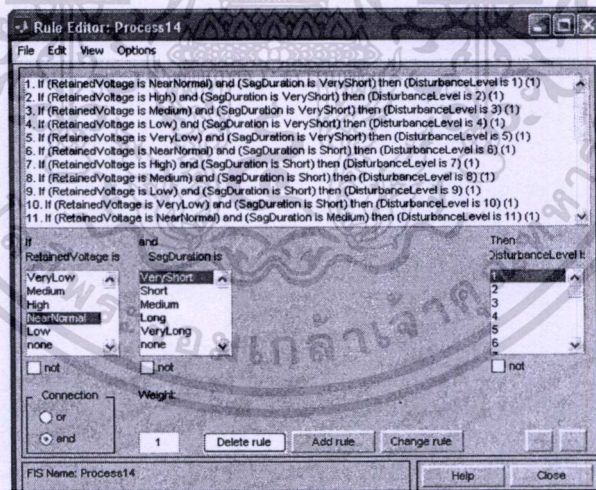
รูปที่ 3.10 แสดงหน้าตาต่างอินพุตของช่วงเวลา ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต เป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนพิกัดของช่วงเวลา ทั้ง 5 ระดับคือ Very Short , Short , Medium , Long และ Very Long กำหนดตามตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ค่าตัวแปรเอาต์พุตของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Disturbance Level)

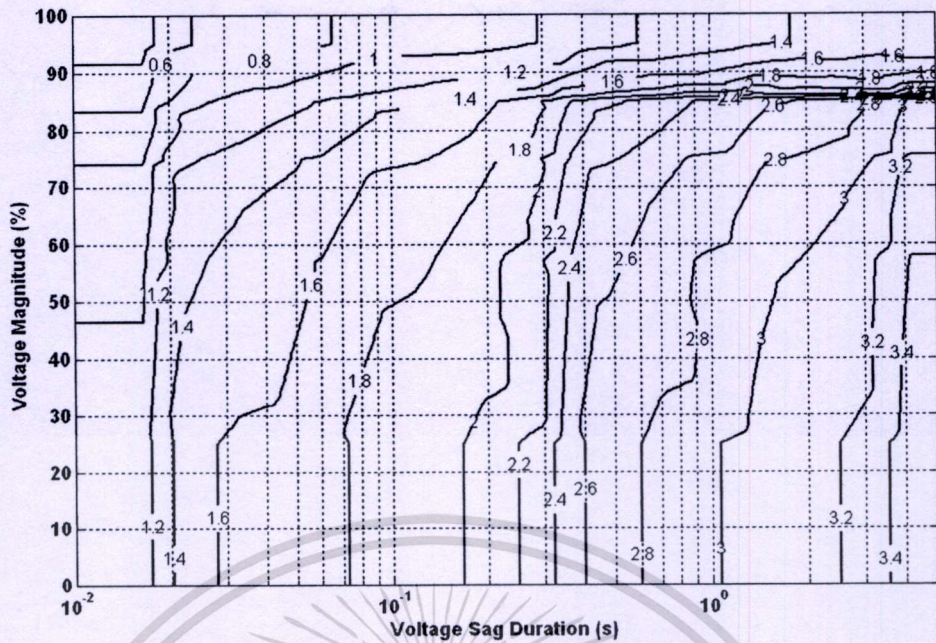
ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต (Output membership function) ของแรงดันไฟฟ้าตก หรือระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า (Disturbance Level) จะกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก เป็นแบบสามเหลี่ยม ซึ่งมีหน้าตาต่างเอาต์พุต แสดงดังรูปที่ 3.11 ส่วนพิกัดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต ทั้ง 25 กฎ กำหนดตามตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.12 การกำหนดค่าเงื่อนไข IF-THEN สำหรับตัวแปรอินพุต

ในวิชานี้ได้กำหนดให้ การ Connection เป็น and และ Weigh มีค่าเป็น 1 โดยการกำหนดเงื่อนไขให้กับ Rule Editor นั้น จะกำหนดให้ขนาดแรงดันคงเหลือ (Retained voltage) ช่วงเวลา (Sag duration) และระดับการรบกวน (Disturbance level) มีความสัมพันธ์กับกฎทั้ง 25 กฎ ที่ได้นำเสนอไป ซึ่งจะกำหนดตามตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 คอนทัวร์ของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี

รูปที่ 3.13 แสดงคอนทัวร์ของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี ซึ่งตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชีนี้จะถูกนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดการรบกวน สำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง และนำไปใช้หาระดับความทนทานของอุปกรณ์ ซึ่งจะแสดงในหัวข้อต่อไป

บทที่ 4

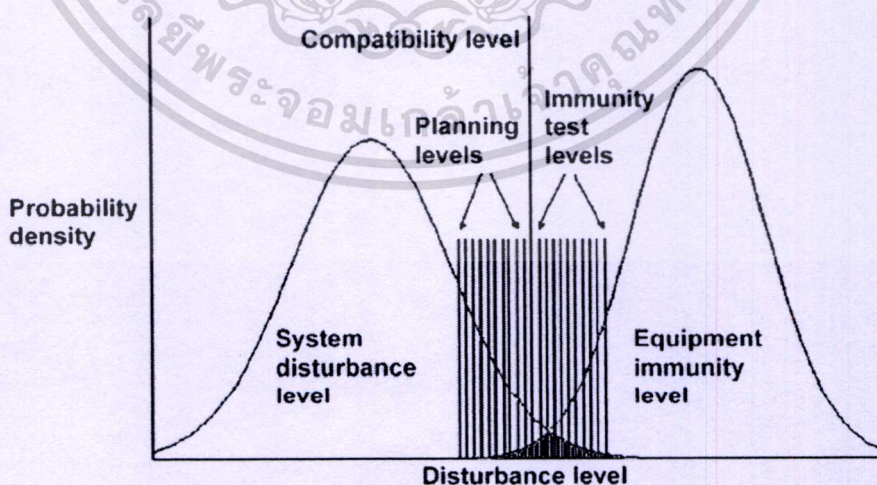
การหาค่าความไม่น่าเชื่อถือของการรบกวน

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง แนวคิดความเข้ากันได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7 การหาความไม่น่าเชื่อถือของการรบกวน ซึ่งจะประกอบด้วย การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ทั่วไป การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติ การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การคำนวณหาพื้นที่ การคำนวณหาความสัมพันธ์แสดงการตัดสินใจ และการคำนวณหาค่าโดยใช้การแจกแจงแบบ Kernel Density

4.2 แนวคิดความเข้ากันได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7

ค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชจะถูกนำมาใช้เป็นค่าระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า (Disturbance Level) และระดับความทนทานของอุปกรณ์ (Immunity Level) หรือคือค่าในแกนนอนของกราฟในรูปที่ 4.1 เมื่อทำการพล็อตฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับความทนทานของอุปกรณ์ จะได้กราฟลักษณะดังรูปที่ 4.1 พื้นที่ของบริเวณที่ทับซ้อนกันระหว่างระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้ากับระดับความทนทานของอุปกรณ์ คือ ความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) ของอุปกรณ์



รูปที่ 4.1 แนวคิดความเข้ากันได้ตามมาตรฐาน IEC 61000-3-7 [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การหาค่าความไม่น่าเชื่อถือของการรบกวน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะสมมติให้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์เพื่อให้สอดคล้องกับแนวความคิดใน IEC-61000-3-7 [6] ดังรูปที่ 4.1 อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นอาจไม่ได้เป็นแบบการแจกแจงปกติก็ได้ แต่แนวทางที่นำเสนอต่อไปนี้จะยังคงใช้ได้อยู่ เพียงแต่ต้องปรับปรุงสมการการคำนวณให้สอดคล้องกับรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมนั้นๆ

4.3.1 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ทั่วไป [21]

จากรูปที่ 4.2 เมื่อให้ความน่าจะเป็นของระดับการรบกวน (x) คือ $f_x(\cdot)$ และ ความน่าจะเป็นของระดับความทนทาน (i) คือ $f_i(\cdot)$ ค่าความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ (Equipment Reliability) R นิยามโดย

$$\text{Reliability} = R = P(i > x) = P(i - x > 0) \quad (4.1)$$

พื้นที่ที่ทับซ้อนในรูปที่ 4.2 แสดงพื้นที่ที่ได้รับการรบกวน (Interference area) ซึ่งแสดงถึงความไม่น่าเชื่อถือ (Probability of failure) ส่วนขยายของพื้นที่ที่ได้รับการรบกวนแสดงดังรูปที่ 4.3 และเพื่อที่จะหาค่าพื้นที่ในส่วนที่ทับซ้อน ความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนที่อยู่ในช่วงแคบเล็กๆ เท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของช่วงแคบนั้นๆ คือ

$$P\left(x_0 - \frac{dx}{2} \leq x \leq x_0 + \frac{dx}{2}\right) = f_x(x_0) \cdot dx$$

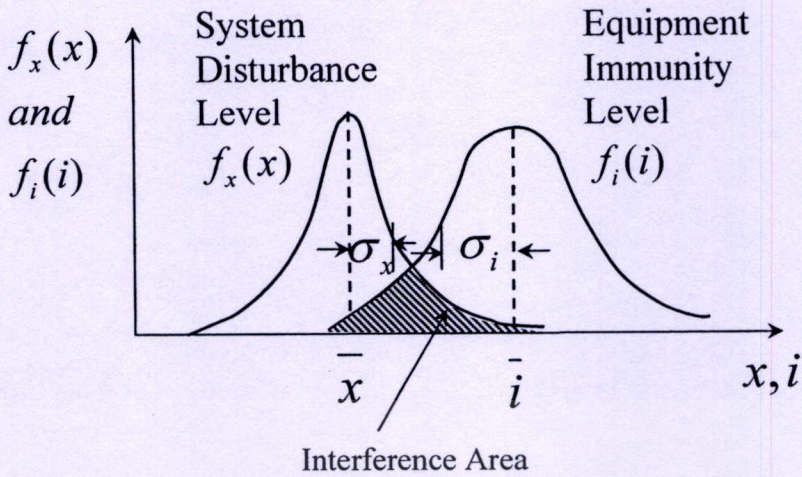
ความน่าจะเป็นที่ระดับความทนทานของอุปกรณ์ (i) มีค่ามากกว่าระดับการรบกวนที่ค่า x_0

$$P(i > x_0) = \int_{x_0}^{\infty} f_i(i) di$$

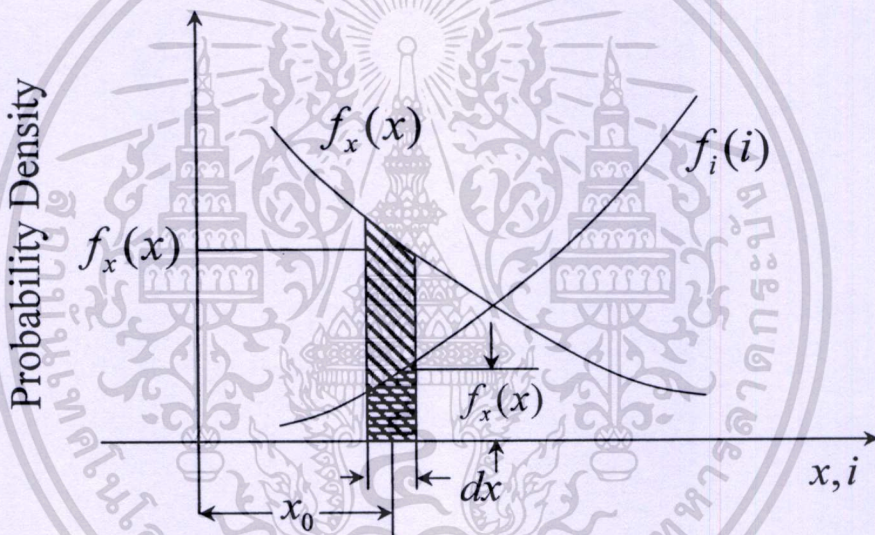
ภายใต้สมมุติฐานที่ให้ตัวแปรอิสระ x และ i เป็นอิสระต่อกัน ความน่าจะเป็นที่ระดับการรบกวนอยู่ภายใต้พื้นที่เล็กๆหนึ่ง และระดับความทนทานของอุปกรณ์มีค่าสูงกว่าระดับการรบกวนนี้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$f_x(x_0) dx \cdot \int_{x_0}^{\infty} f_i(i) di \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การหาค่าพื้นที่ทับซ้อน



รูปที่ 4.3 ส่วนขยายของบริเวณที่ทับซ้อน

ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์คือ ความน่าจะเป็นที่ระดับความทนทานของอุปกรณ์ i จะมีค่ามากกว่าระดับการรบกวน x สำหรับค่าที่เป็นไปได้ทุกค่าของระดับการรบกวน x นั่นคือ

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) \left[\int_x^{\infty} f_i(i) di \right] dx \tag{4.3}$$

ความเชื่อถือได้ยังสามารถถูกคำนวณบนพื้นฐาน ของระดับการรบกวนที่น้อยกว่าระดับความทนทานของอุปกรณ์ก็ได้ ความน่าจะเป็นของระดับความทนทานของอุปกรณ์ i ภายในช่วงเล็กๆ di คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P\left(i_0 - \frac{di}{2} \leq i \leq i_0 + \frac{di}{2}\right) = f_i(i_0)di$$

และความน่าจะเป็นของระดับการรบกวน x ที่มีค่าน้อยกว่า i_0 คือ

$$P(x \leq i_0) = \int_{-\infty}^{i_0} f_x(x)dx$$

ถ้าให้ x และ i เป็นอิสระต่อกัน ความน่าจะเป็นที่ระดับความทนทานของอุปกรณ์อยู่ภายในช่วงเล็กๆหนึ่ง และระดับการรบกวนของระบบมีค่าน้อยกว่าระดับความทนทานนั้นๆ คือ

$$f_i(i_0)di \cdot \int_{-\infty}^{i_0} f_x(x)dx \quad (4.4)$$

ดังนั้นความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ พิจารณาในทุกๆค่าที่เป็นไปได้ของระดับความทนทาน i คือ

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_i(i) \left[\int_{-\infty}^i f_x(x)dx \right] di \quad (4.5)$$

ความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) นิยามโดย \bar{R} จะได้

$$\bar{R} = \text{Probability of failure} = 1 - R = P(i \leq x)$$

แทนค่า R จากสมการที่ 4.3 จะได้

$$\bar{R} = P(i \leq x) = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) \left[\int_x^{\infty} f_i(i)di \right] dx$$

$$\bar{R} = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) [1 - F_i(x)] dx$$

$$\bar{R} = \int_{-\infty}^{\infty} F_i(x) \cdot f_x(x) dx \quad (4.6)$$

เมื่อ $F_i(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระดับความทนทานของอุปกรณ์ ดังนั้นจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจะคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$f_D = \bar{R} \times$ จำนวนเหตุการณ์ของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บ้านที่กได้

หรือเมื่อใช้สมการที่ 4.5 จะได้

$$\begin{aligned}\bar{R} &= P(i \leq x) = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_i(i) \left[\int_{-\infty}^i f_x(x) dx \right] di \\ \bar{R} &= 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_i(i) \cdot F_x(i) di \\ \bar{R} &= \int_{-\infty}^{\infty} [1 - F_x(i)] f_i(i) di\end{aligned}\quad (4.7)$$

นิยามให้ $y = i - x$ เมื่อ y คือ ตัวแปรสุ่ม (Interference random variable) ดังนั้นจะนิยามความเชื่อถือได้ใหม่เป็น

$$R = P(y > 0) \quad (4.8)$$

สมมติให้ i และ x ตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน และมีความมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังนั้นฟังก์ชันความหนาแน่นในตัวแปร y คือ

$$f_y(y) = \int_x f_i(y+x) \cdot f_x(x) dx \quad (4.9)$$

$$f_y(y) = \begin{cases} \int_0^{\infty} f_i(y+x) \cdot f_x(x) dx, & y \geq 0 \\ \int_{-y}^{\infty} f_i(y+x) \cdot f_x(x) dx, & y < 0 \end{cases} \quad (4.10)$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือ จะเป็น

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \int_{-\infty}^0 f_y(y) dy \\ \bar{R} &= \int_{-\infty}^0 \int_{-y}^{\infty} f_i(y+x) \cdot f_x(x) dx dy\end{aligned}\quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความเชื่อถือได้ คือ

$$R = \int_0^{\infty} f_y(y) dy$$

$$R = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} f_i(y+x) \cdot f_x(x) dx dy \quad (4.12)$$

4.3.2 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ [21]

เมื่อความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติของระดับการรบกวน x คือ

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right], -\infty < x < \infty \quad (4.13)$$

และความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติของระดับความทนทานของอุปกรณ์ i คือ

$$f_i(i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \right], -\infty < i < \infty \quad (4.14)$$

เมื่อกำหนดให้

μ_x = ค่าเฉลี่ยของระดับการรบกวนของเหตุการณ์ทั้งหมดที่บันทึกได้

σ_x = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการรบกวนของเหตุการณ์ทั้งหมดที่บันทึกได้

μ_i = ค่าเฉลี่ยของระดับความทนทานจากการทดสอบอุปกรณ์กับเส้นโค้งความทนทาน
แรงดัน

σ_i = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความทนทานจากการทดสอบอุปกรณ์กับเส้นโค้ง
ความทนทานแรงดัน

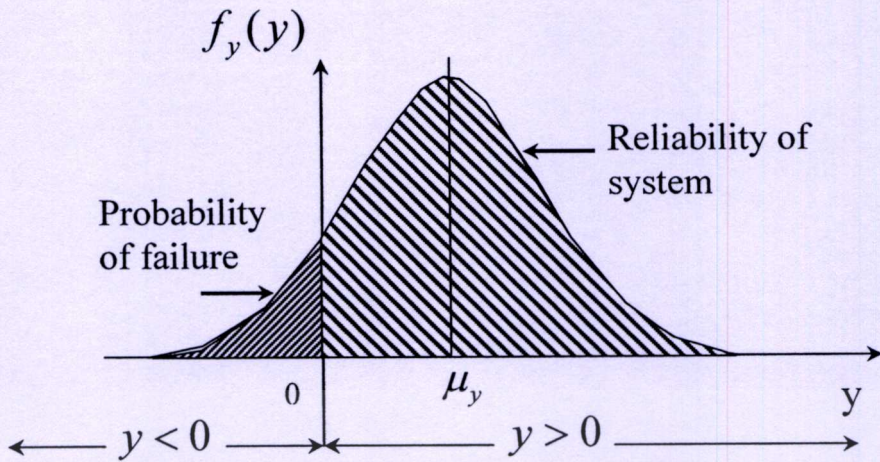
นิยามให้ $y = i - x$ คือ ตัวแปรสุ่ม y จะมีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ย (Mean) คือ

$$\mu_y = \mu_i - \mu_x \quad (4.15)$$

และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2} \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$y \sim N(\mu_y, \sigma_y)$$

Where

$$\mu_y = \mu_i - \mu_x$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}$$

รูปที่ 4.4 การฟังก์ชันความหนาแน่นของตัวแปรสุ่ม y

จากรูปที่ 4.4 ค่าความเชื่อถือได้ R สามารถแทนในเทอมของ y จะได้คือ

$$R = P(y > 0)$$

$$R = \int_0^{\infty} \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] dy$$

เมื่อให้ $z = (y - \mu_y) / \sigma_y$ แล้ว $\sigma_y dz = dy$ เมื่อ $y = 0$ ขอบเขตล่าง (Lower limit) ของ z จะได้เป็น

$$z = \frac{0 - \mu_y}{\sigma_y} = -\frac{\mu_i - \mu_x}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}} \quad (4.17)$$

และเมื่อ $y \rightarrow +\infty$ ค่าขอบเขตบน (Upper limit) ของ $z \rightarrow +\infty$ ดังนั้น

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\mu_i - \mu_x}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}}}^{\infty} e^{-z^2/2} dz \quad (4.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าตัวแปรสุ่ม $z = (y - \mu_y) / \sigma_y$ เป็น Standard Normal Variable ดังนั้นความเชื่อถือได้จึงสามารถหาได้จากตารางการแจกแจงปกติได้

จากสมการที่ 4.17 ซึ่งใช้หาค่าขอบเขตล่างของ Standard Normal Variable (z) หรือที่รู้จักกันในชื่อของ สมการคู่ควบ (Coupling equation) ดังนั้นสมการที่ 4.18 อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$R = 1 - \Phi\left(-\frac{\mu_i - \mu_x}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}}\right) \quad (4.18a)$$

จากวิธีการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติที่ได้นำเสนอมาแล้วนั้นใน [21] ยังได้นำเสนอวิธีการหาค่าโดยใช้วิธีการแจกแจงแบบต่างๆ อีกหลายวิธี โดยควรเลือกใช้การแจกแจงในแต่ละแบบให้เหมาะสมกับข้อมูลที่นำมาพิจารณาเพื่อที่จะได้ค่าความเชื่อถือได้ที่มีความถูกต้องมากที่สุด โดยตัวอย่างของสมการและการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยใช้การแจกแจงแบบต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบต่างๆ

No.	System Disturbance Level	Equipment Immunity Level	Equation	MATLAB FUNCTION
1	Normally	Normally	$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{\mu_i - \mu_x}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}}}^{\infty} e^{-z^2/2} dz$	normcdf(x,mu,sigma) เมื่อให้ $x = -\frac{\mu_i - \mu_x}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}}$
2	Log Normally	Log Normally	$R = \int_{\frac{\ln i - \ln x}{\sqrt{\sigma_{\ln i}^2 + \sigma_{\ln x}^2}}}^{\infty} \phi(z) dz$	normcdf(x,mu,sigma) เมื่อให้ $x = \frac{\ln i - \ln x}{\sqrt{\sigma_{\ln i}^2 + \sigma_{\ln x}^2}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การคำนวณหาค่าพื้นที่ [21]

จากแนวทางการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการแจกแจงแบบปกติที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น เมื่อข้อมูลที่เรานำมาพิจารณาไม่มีความเหมาะสม (Fit) กับการแจกแจงแบบใดที่ได้นำเสนอไปใน [21] จึงได้นำเสนอการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การคำนวณหาค่าพื้นที่จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยตรง ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่มีความซับซ้อนยุ่งยากจากสมการการแจกแจงในแบบต่างๆ และสามารถนำมาใช้ได้กับการแจกแจงทุกแบบที่นำมาพิจารณา

เมื่อเรานิยามให้

$$G = \int_x^\infty f_i(i) di = 1 - F_i(x)$$

และ

$$H = \int_0^x f_x(u) du = F_x(x)$$

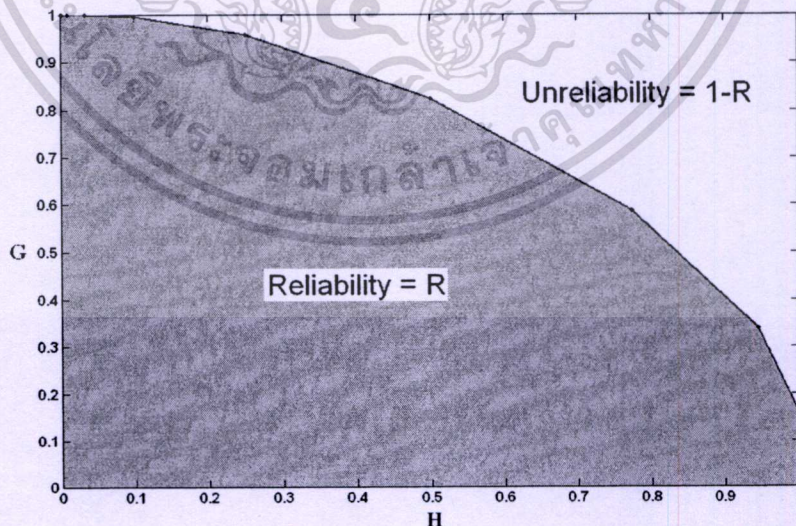
เมื่อให้

$f_i(i)$ คือ Equipment Immunity Level

$f_x(x)$ คือ System Disturbance Level

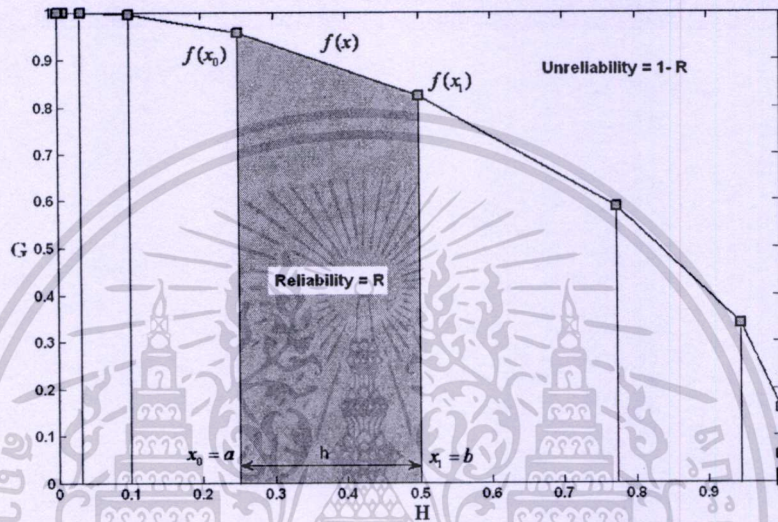
เมื่อ $dH = f_x(x)dx$ ช่วงของ H คือ 0 ถึง 1 แทนค่าลงในสมการที่ 4.3 เราจะได้

$$R = \int_0^1 G dH \tag{4.19}$$



รูปที่ 4.5 พื้นที่การพล็อตระหว่าง G กับ H

สมการที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง G กับ H แทนค่าความเชื่อถือได้ (Reliability = R) ของอุปกรณ์ จากข้อมูลระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์ ซึ่งสามารถที่จะหาค่าความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ โดยการพล็อตค่า G กับ H แสดงดังรูปที่ 4.5 และสามารถคำนวณหาค่าพื้นที่ใต้กราฟได้โดยใช้วิธีการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (The Trapezoidal Rule for Integration) [22] โดยจากรูปที่ 4.6 สามารถอธิบายการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมูได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 การอินทิเกรตหาค่าพื้นที่ใต้กราฟแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

จากรูปที่ 4.6 สามารถคำนวณหาค่าพื้นที่ใต้กราฟ โดยใช้การอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นวิธีที่ง่ายแก่การทำความเข้าใจมากที่สุด เมื่อให้ฟังก์ชัน $f(x)$ มีช่วงระยะจาก $x_0 = a$ ถึง $x_1 = b$ ดังนั้นจะได้การอินทิเกรต $\int_a^b f(x) dx$ โดยได้จากการรวมแท่งสี่เหลี่ยมแต่ละแท่งทั้งหมดรวมกัน และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.6 สามารถหาพื้นที่ที่แท่งสี่เหลี่ยมที่แรกได้ดังนี้

$$I = \int_a^b f(x) \quad (4.20)$$

$$I \approx (x_1 - x_0) \frac{f(x_0) + f(x_1)}{2}$$

$$I = \frac{h}{2} [f(x_0) + f(x_1)] \quad (4.21)$$

4.4 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ

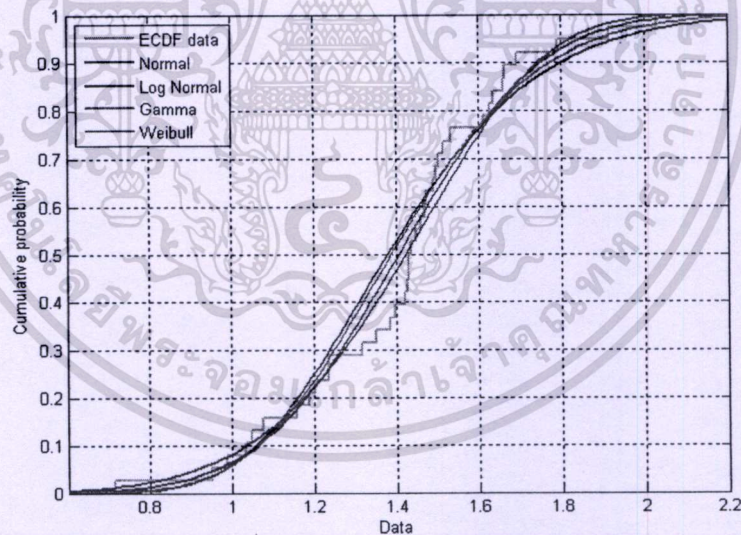
การคำนวณค่า สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ [23] เป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่ใช้ในการตัดสินใจ เพื่อเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่เหมาะสมกับข้อมูลที่นำมาพิจารณา ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม หรือที่เรียกว่า การทดสอบเทียบความกลมกลืนกัน “Goodness of Fit Test” [23]

ข้อมูลที่นำมาพิจารณาจะถูกนำเสนอด้วย Empirical Cumulative Distribution Function หรือ ECDF เมื่อให้ N คือจำนวนข้อมูล (เหตุการณ์) ทั้งหมด และค่าตัวชี้วัดระดับการรบกวน (System Disturbance Index) ที่คำนวณจากแต่ละเหตุการณ์ของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมีค่าเป็น D_1, D_2, \dots, D_N โดยเรียงลำดับค่า D_i จากน้อยไปหามาก ค่า ECDF จะนิยามได้เป็น

$$E(n) = \frac{n(i)}{N} \quad (4.22)$$

เมื่อ $n(i)$ คือจำนวนเหตุการณ์ที่มีค่าตัวชี้วัดระดับการรบกวนน้อยกว่า D_i

ความแตกต่างระหว่างค่า ECDF และ ค่าที่ได้จากฟังก์ชันการแจกแจงที่เลือกมาประมาณจะนำมาหาค่า R-Square เพื่อเปรียบเทียบและเลือกฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด



รูปที่ 4.7 ECDF ของระดับการรบกวนของระบบของโรงงาน A และการประมาณด้วยฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่า ECDF ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A และการประมาณด้วยฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ เพื่อเลือกฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ R – Square เป็นตัวชี้วัดฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนในการหาค่า R – Square ดังนี้ [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ SST คือ ค่าผลรวมกำลังสองรวม หรือผลรวมกำลังสองของความผันแปร มีสมการ
ดังนี้

$$\text{Total sum of square, } SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (4.23)$$

เมื่อให้ y_i คือ ข้อมูลจริงที่นำมาพิจารณา (Real value, y_i)

\hat{y}_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Fitted value, \hat{y}_i)

\bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจริงที่นำมาพิจารณา (Average value, \bar{y})

จาก (4.23)

$$\begin{aligned} SST &= \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n ((\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i))^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + 2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})(y_i - \hat{y}_i) + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \end{aligned}$$

พิจารณา

$$\begin{aligned} 2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})(y_i - \hat{y}_i) &= 2 \sum_{i=1}^n \hat{y}_i (y_i - \hat{y}_i) - 2\bar{y} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) \\ &= 2 \sum_{i=1}^n \hat{y}_i e_i - 2\bar{y} \sum_{i=1}^n e_i \end{aligned}$$

จากคุณสมบัติของเส้นถดถอย $\sum_{i=1}^n \hat{y}_i e_i = 0$ และ $\sum_{i=1}^n e_i = 0$

ดังนั้น

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.24)$$

กำหนดให้ SSR คือ ค่าผลรวมกำลังสองของความผันแปรเนื่องจากการถดถอย มีสมการดังนี้

$$\text{Sum of square of the regression, } SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (4.25)$$

และ SSE คือ ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน มีสมการดังนี้

$$\text{Sum of square of the residuals, } SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$SST = SSR + SSE \quad (4.27)$$

ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ เขียนแทนด้วย R^2 นิยามดังสมการที่ (4.28) [25]

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ, } R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.28)$$

โดยที่ $0 \leq R^2 \leq 1$ ถ้าค่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจสูง หมายความว่า สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรได้ด้วยสมการถดถอย

ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุดนั้นจะให้ค่า ค่า R - Square ที่มีค่าใกล้ 1 มากที่สุด จากรูปที่ 4.7 สามารถสรุปค่า R - Square ได้ดังตารางที่ 4.2 โดยฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด สำหรับระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าของโรงงาน A คือ ฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูล โดยมีค่า R - Square เท่ากับ 0.99944

ตารางที่ 4.2 ค่า R - Square สำหรับฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ

No.	Distribution Type	R - Square
1	Normal	0.99940
2	Log Normal	0.99878
3	Gamma	0.99909
4	Weibull	0.99944

4.5 การคำนวณหาค่าโดยใช้การแจกแจงแบบ Kernel Density [26]

การประมาณความหนาแน่นด้วยเคอร์เนล (Kernel density estimation) เป็นการประมาณฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function, PDF) ของตัวแปรสุ่มแบบไม่กำหนดโครงสร้าง (Non-parametric estimation)

ให้ x_1, x_2, \dots, x_n เป็นตัวแปรสุ่มของฟังก์ชัน การประมาณความหนาแน่นเคอร์เนลของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสามารถเขียนได้ดังนี้

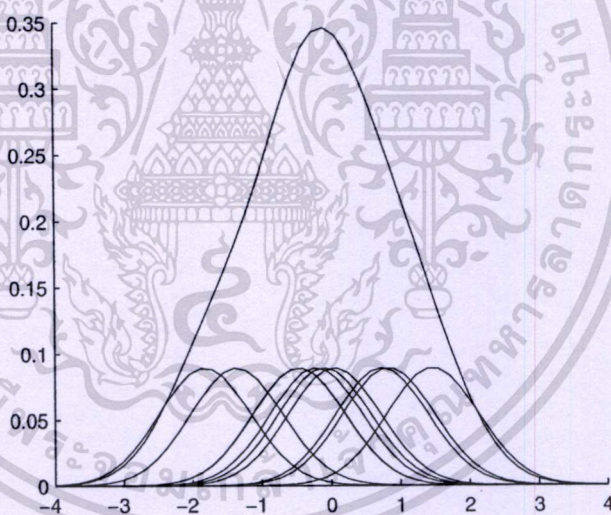
$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (4.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ K คือ เคอร์เนล ซึ่งมีคุณสมบัติคือ

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(x)dx = 1 \quad (4.30)$$

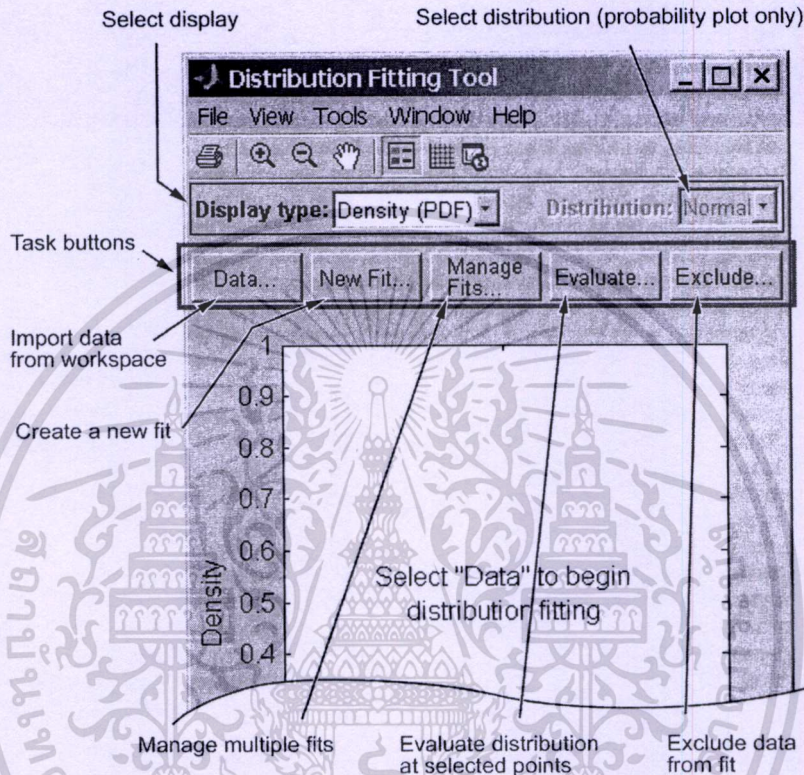
โดยทั่วไป K เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบสมมาตรเช่น ฟังก์ชันการกระจายปกติ (Normal distribution) ส่วน h คือพารามิเตอร์ความราบรื่น (Smoothing parameter) หรือเรียกว่าแบนด์วิดธ์ การประมาณเคอร์เนลอาจพิจารณาเป็นผลรวมของเนิน (Bump) ที่วางไว้ ณ ค่าสังเกต (Observation) ต่างๆ โดยที่ฟังก์ชันเคอร์เนล K จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของเนิน และแบนด์วิดธ์ h เป็นตัวกำหนดความกว้างของเนิน ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดงเนิน $n^{-1}h^{-1}K((x-x_i)/h)$ แต่ละเนินที่ค่าสังเกตต่างๆ และฟังก์ชัน \hat{f} ที่ได้จากการรวมแต่ละเนินเข้าด้วยกัน



รูปที่ 4.8 การประมาณความหนาแน่นด้วยเคอร์เนล

การประมาณความหนาแน่นด้วยเคอร์เนลนั้น ฟังก์ชันเคอร์เนลจะมีความสำคัญน้อยกว่าแบนด์วิดธ์ที่เลือกใช้ เนื่องจากถ้าเลือกแบนด์วิดธ์ที่เล็กเกินไปจะทำให้เกิดยอดแหลมสูง (Spike) ที่จุดสังเกต ถ้าเลือกแบนด์วิดธ์ที่กว้างเกินไปจะทำให้รายละเอียดของฟังก์ชันที่ได้ถูกละเลยไป

ใน MATLAB เวอร์ชัน 7 เป็นต้นไป ได้ให้ฟังก์ชัน *kde* สำหรับการประมาณความหนาแน่นด้วยเคอร์เนล และใน Statistic Toolbox [27] ของ Matlab ก็มีเครื่องมือแบบ GUI ชื่อ *dfittool* สำหรับการประมาณความหนาแน่นแบบต่างๆรวมทั้งการประมาณความหนาแน่นด้วยเคอร์เนลในรูปแบบของ non-parametric มาให้ด้วย แสดงหน้าต่างของ Distribution Fitting Tool ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 หน้าต่าง Distribution Fitting Tool ในโปรแกรม MATLAB

การหาระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ภายใต้ สถานะแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

5.1 บทนำ

จากแนวทางการหาค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Index) ที่ได้นำเสนอไปแล้ว ในส่วนนี้จะนำตัวอย่างการนำไปใช้เพื่อหาระดับความเข้ากันได้ (Compatibility Level) โดยใช้ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าจากโรงงาน A ในจังหวัดชลบุรี และใช้เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งในโรงงานดังกล่าวมาใช้ประกอบการพิจารณาหาค่าความเชื่อถือได้

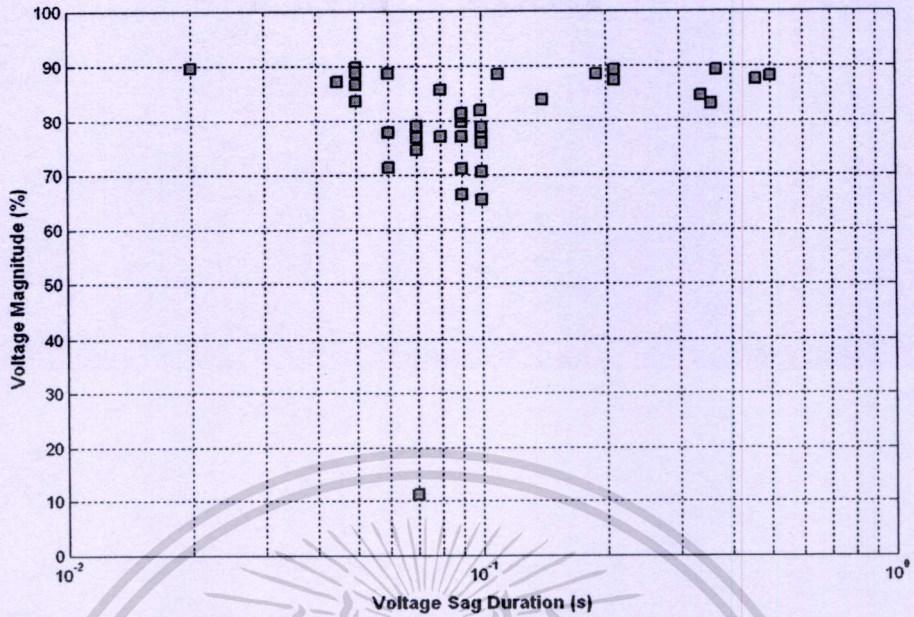
5.2 การหาค่าระดับการรบกวนของระบบ

จากตารางที่ 1 ในภาคผนวก ก เป็นข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าของโรงงาน A แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ตั้งแต่ เดือนเมษายน 2550 ถึง เดือนเมษายน 2551 เมื่อนำข้อมูลของขนาดแรงดันคงเหลือในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ (%) และช่วงเวลาในหน่วยวินาที (s) มาพล็อตเป็นแผนภาพการแจกแจง (Scatter diagram) ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าของโรงงาน A แสดงดังรูปที่ 5.1

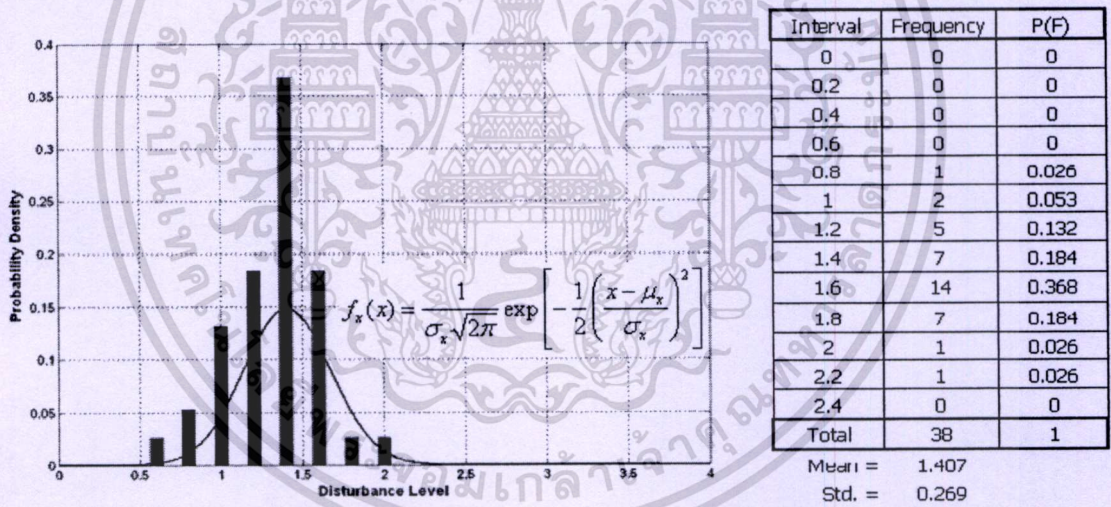
จากตารางที่ 1 ในภาคผนวก ก เมื่อนำข้อมูลของขนาดแรงดันคงเหลือ (Residual Volt : %) และช่วงเวลาในหน่วยวินาที(s)ที่ติดค่าลอการิทึมแล้ว (Take Logarithm) [V (Voltage : %) , T (Log of time : s)] เข้าไปประมวลผลในโปรแกรม MATLAB โดยใช้แนวความคิดที่ได้นำเสนอไป จะทำให้ได้ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะใหม่คือ Fuzzy Voltage Sag Index

จากตัวชี้วัด Fuzzy Voltage Sag Index เมื่อนำไปหาค่าความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency) [28] คือ ความถี่ของข้อมูลชั้นนั้นหารด้วยผลรวมของความถี่ทุกชั้น นิยมเขียนเป็นอัตราส่วนหรือทศนิยม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความถี่ของข้อมูลแต่ละชั้นว่ามีมากน้อยเพียงใด เมื่อเทียบกับความถี่ทั้งหมด

จากรูปที่ 5.2 ค่าความถี่สัมพัทธ์ของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี่ (Fuzzy Voltage Sag Index) แทนด้วย P(F) ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าระดับการรบกวนของระบบ (System Disturbance Level) จะได้ฮิสโตแกรมของตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี่ และเมื่อนำไปประมาณค่าด้วยการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) จะได้ค่าเฉลี่ย (μ_x) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_x)



รูปที่ 5.1 แผนภาพการแจกแจงข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าของโรงงาน A จำนวน 38 เหตุการณ์



รูปที่ 5.2 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของโรงงาน A

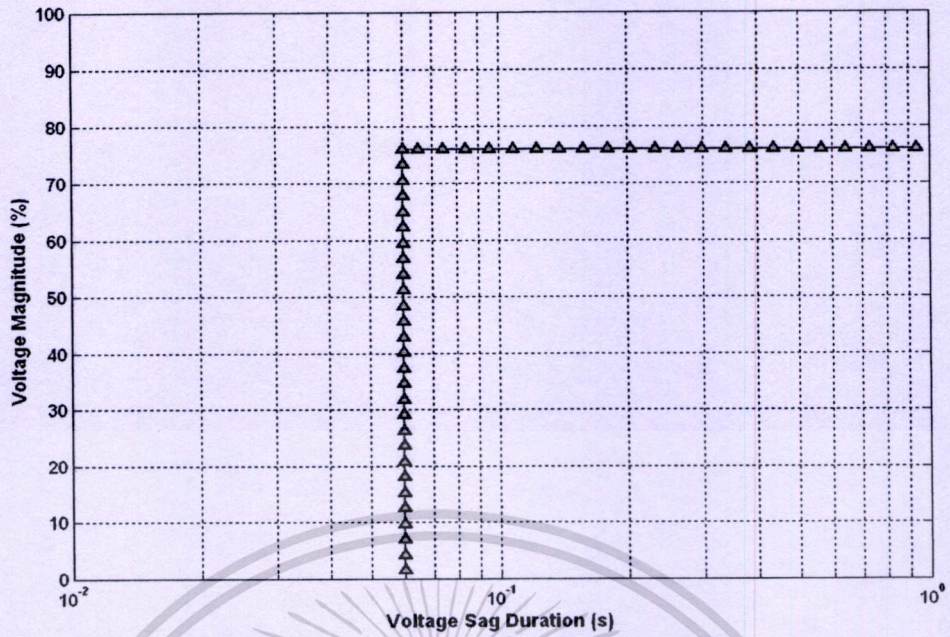
5.3 การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์

การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอตัวอย่างของระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ที่พิกัด (77% , 60 ms) และระดับความทนทานแรงดันของ SEMI F47 เพื่อให้เปรียบเทียบถึงจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจริง กับจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากการคำนวณ โดยใช้แนวคิดที่ได้นำเสนอไป

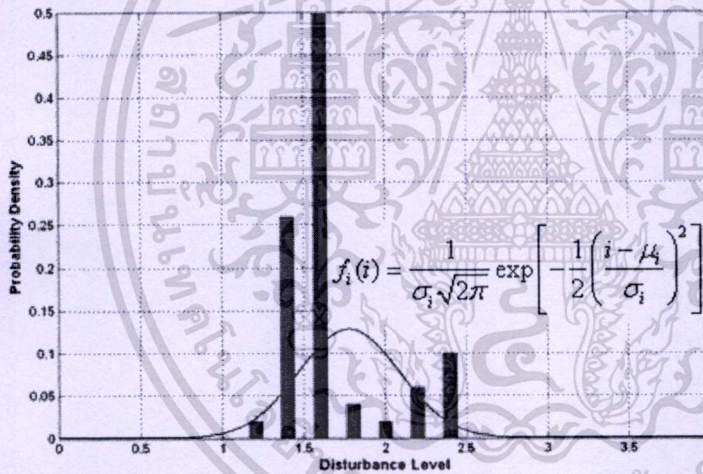
5.3.1 การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์

การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ที่พิกัด (77% , 60 ms) จะใช้ข้อมูลของขนาดแรงดันคงเหลือ (Voltage magnitude) ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ (%) และช่วงเวลา (Voltage sag duration) ในหน่วยของวินาที (s) จากการสุ่มตัวอย่างเส้นโค้งความทนทานแรงดัน (Sampling voltage tolerance curve) ของอุปกรณ์ จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยให้มีระยะห่างที่เท่าๆ กัน แสดงดังรูปที่ 5.3 ซึ่งมีขั้นตอนในการสุ่มตัวอย่างเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ดังนี้

1. กำหนดพิกัดเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่ต้องการ ในที่นี้กำหนดให้มีพิกัด 77% , 60 ms แสดงดังรูปที่ 5.3
2. หาค่าความยาวของเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ จากตัวอย่างดังรูปที่ 5.3 แกน X คือช่วงเวลา ตั้งแต่ 0.01 วินาที(s) ถึง 1 วินาที(s) ส่วนแกน Y คือขนาดของแรงดัน ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 % สามารถหาค่าความยาวทั้งหมดของแกน X ได้คือ $|\log(0.01)| + \log(1) = |-2| + 0 = 2$ และหาค่าความยาวทั้งหมดของแกน Y ได้คือ $100 - 0 = 100$ เส้นโค้งนี้ผ่านจุดสำคัญ 3 จุด คือ (0.06s , 0%) (0.06s , 77%) และ (1s , 77%) โดยในแต่ละจุดจะมีค่าดังนี้ $(-1.2218/2 , 0/100)$, $(-1.2218/2 , 77/100)$ และ $(0/2 , 77/100)$
3. คำนวณหาค่าความยาวทั้งหมดของเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ จะได้ดังนี้ $(0.77 - 0) + [0.6109 - (0)] = 1.3809$
4. เมื่อกำหนดให้มีจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด 50 เหตุการณ์ จะได้ความยาวแต่ละจุดเฉลี่ยให้เท่าๆ กัน ได้ดังนี้ $1.3809/50 = 0.0276$ และความยาวจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายจะเท่ากับ $0.0276/2 = 0.0138$
5. เมื่อเราได้ค่าเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีข้อมูลของขนาดแรงดัน และช่วงเวลา โดยนำค่าที่ได้ไปประมวลผลใน Fuzzy Voltage Sag Index แล้วนำไปพล็อตด้วยการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ได้ค่าเฉลี่ย (μ_r) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_r) ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 5.4 และข้อมูลของเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ที่พิกัด 77% , 60 ms แสดงดังตารางที่ 5 ในภาคผนวก ก



รูปที่ 5.3 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์ที่พิกัด (77% , 60 ms) จำนวน 50 ตัวอย่าง



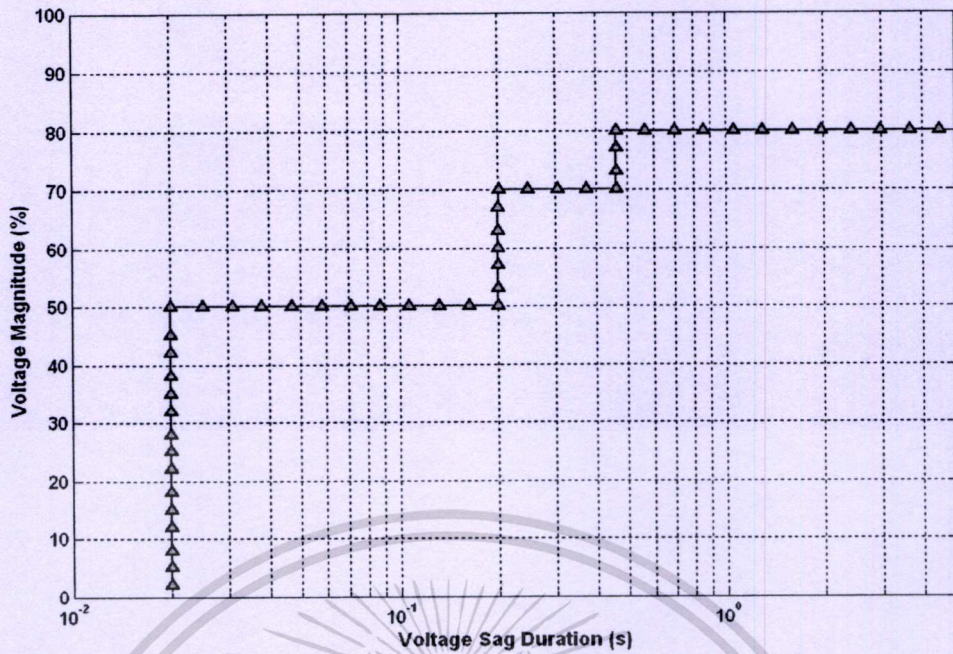
Interval	Frequency	P(F)
0	0	0
0.2	0	0
0.4	0	0
0.6	0	0
0.8	0	0
1	0	0
1.2	0	0
1.4	1	0.02
1.6	13	0.26
1.8	25	0.5
2	2	0.04
2.2	1	0.02
2.4	3	0.06
2.6	5	0.1
Total	50	1

Mean = 1.778
Std. = 0.312

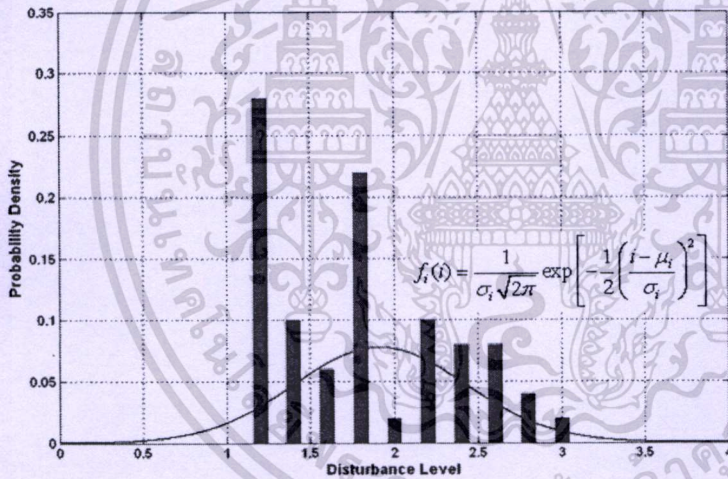
รูปที่ 5.4 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของของอินเวอร์เตอร์ที่พิกัด (77% , 60 ms)

5.3.2 การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของ SEMI F47

การหาค่าระดับความทนทานแรงดันของ SEMI F47 (Semiconductor Equipment and Materials International: SEMI) ก็มีวิธีการหาค่าเช่นเดียวกับการหาค่าระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ โดยแสดงพิกัดตำแหน่งระดับความทนทานแรงดันของ SEMI F47 ดังรูปที่ 5.5 และเมื่อนำไปพล็อตด้วยการแจกแจงปกติ ได้ค่าเฉลี่ย (μ_i) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_i) ที่ใช้ในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 5.6 และข้อมูลของเส้นโค้งความทนทานแรงดันของ SEMI F47 แสดงดังตารางที่ 6 ในภาคผนวก ก



รูปที่ 5.5 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของ SEMI F47 จำนวน 50 ตัวอย่าง



Interval	Frequency	P(F)
0	0	0
0.2	0	0
0.4	0	0
0.6	0	0
0.8	0	0
1	0	0
1.2	0	0
1.4	14	0.28
1.6	5	0.10
1.8	3	0.06
2	11	0.22
2.2	1	0.02
2.4	5	0.10
2.6	5	0.10
2.8	3	0.06
3	2	0.04
3.2	1	0.02
T total	50	1

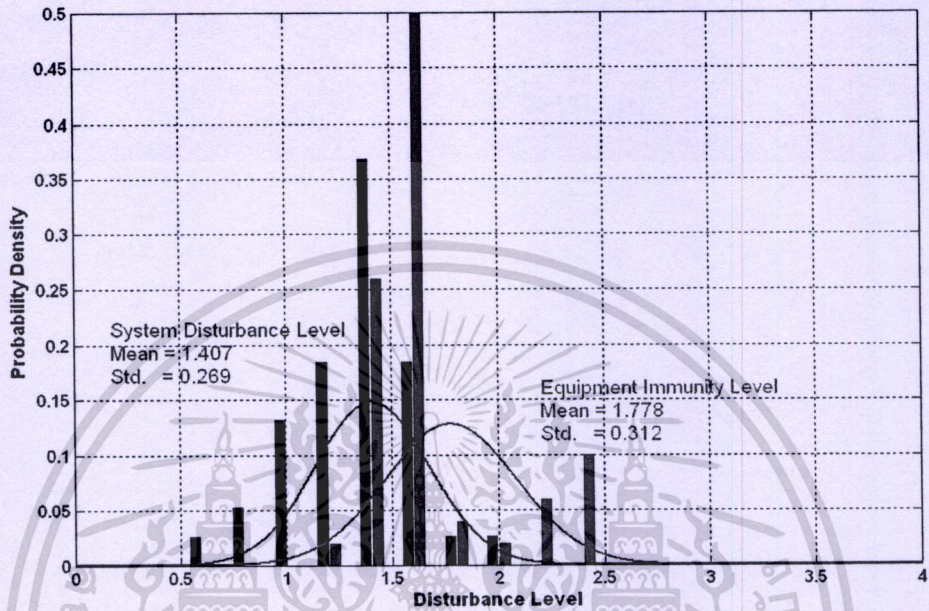
Mean = 1.915
Std. = 0.516

รูปที่ 5.6 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของ SEMI F47

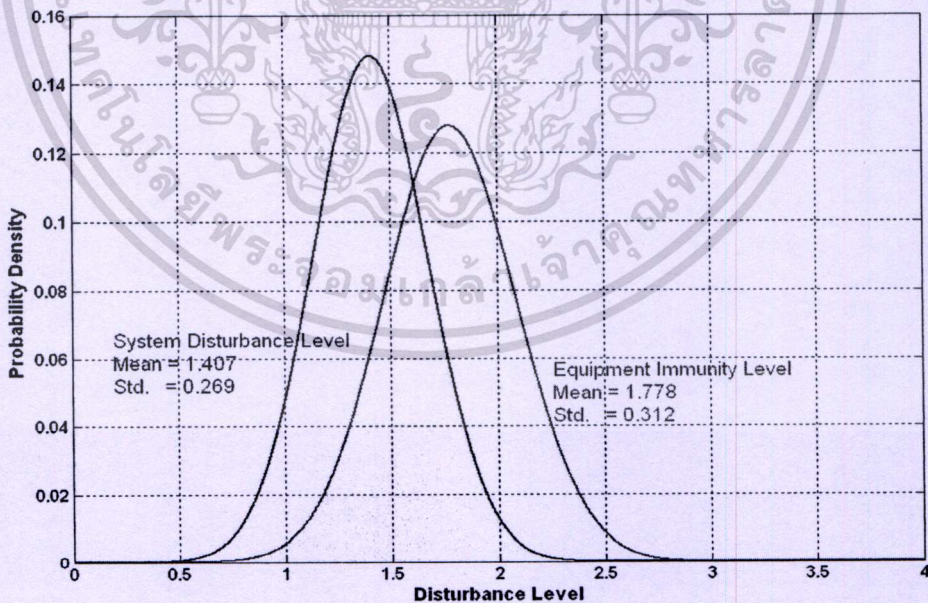
5.4 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้

เมื่อเราได้ค่าระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level) และระดับความทนทานของอุปกรณ์ (Equipment Immunity Level) จากวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ โดยใช้แนวคิดที่ได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 4 โดยมีขั้นตอนการหาค่าความเชื่อถือได้ ดังนี้

5.4.1 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติที่ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์



รูปที่ 5.7 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงแบบปกติของโรงงาน A และ อินเวอร์เตอร์



รูปที่ 5.8 การแจกแจงแบบปกติของโรงงาน A และ อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่ชุดข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่โรงงาน A กับเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (77% , 60ms) และนำไปประมาณค่าด้วยการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) จะได้ค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) แสดงดังรูปที่ 5.7 และ 5.8 และมีจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจริงจำนวน 8 เหตุการณ์ แสดงดังรูปที่ 5.9

ข้อมูลระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level)

$$\mu_x = 1.407 \quad \sigma_x = 0.269 \quad N = 38 \text{ event}$$

ข้อมูลระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Equipment Immunity Level)

$$\mu_i = 1.778 \quad \sigma_i = 0.312 \quad N = 50 \text{ event}$$

จากแนวคิดการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การแจกแจงแบบปกติทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

$$\mu_y = \mu_i - \mu_x = 1.778 - 1.407 = 0.371$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2} = \sqrt{0.312^2 + 0.269^2} = 0.412$$

$$z = \frac{\mu_y}{\sigma_y} = \frac{0.371}{0.412} = 0.9005$$

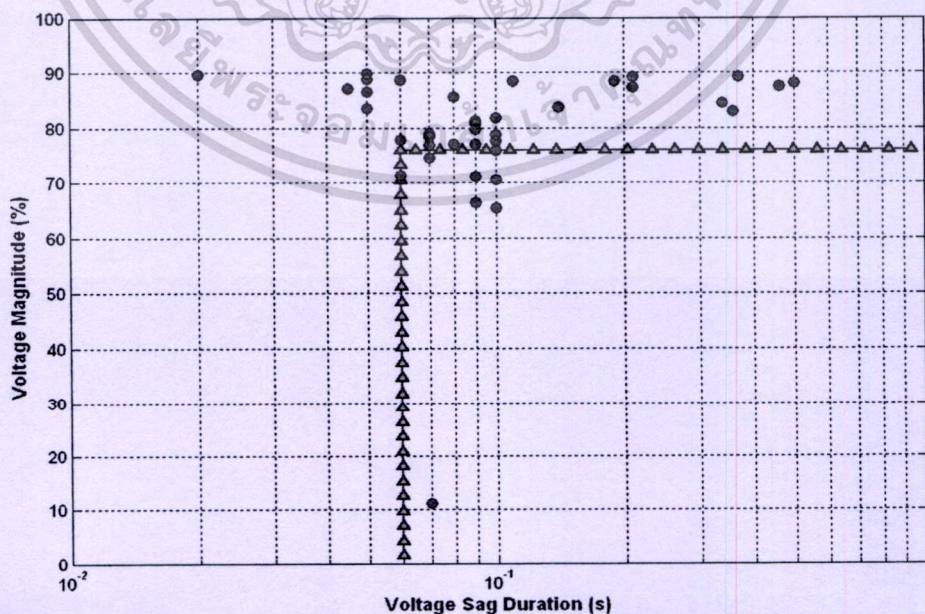
เมื่อใช้คำสั่งในโปรแกรม MATLAB ในการคำนวณจะได้

```
>> normcdf(-0.9005)
```

```
>> 0.1839 × 38
```

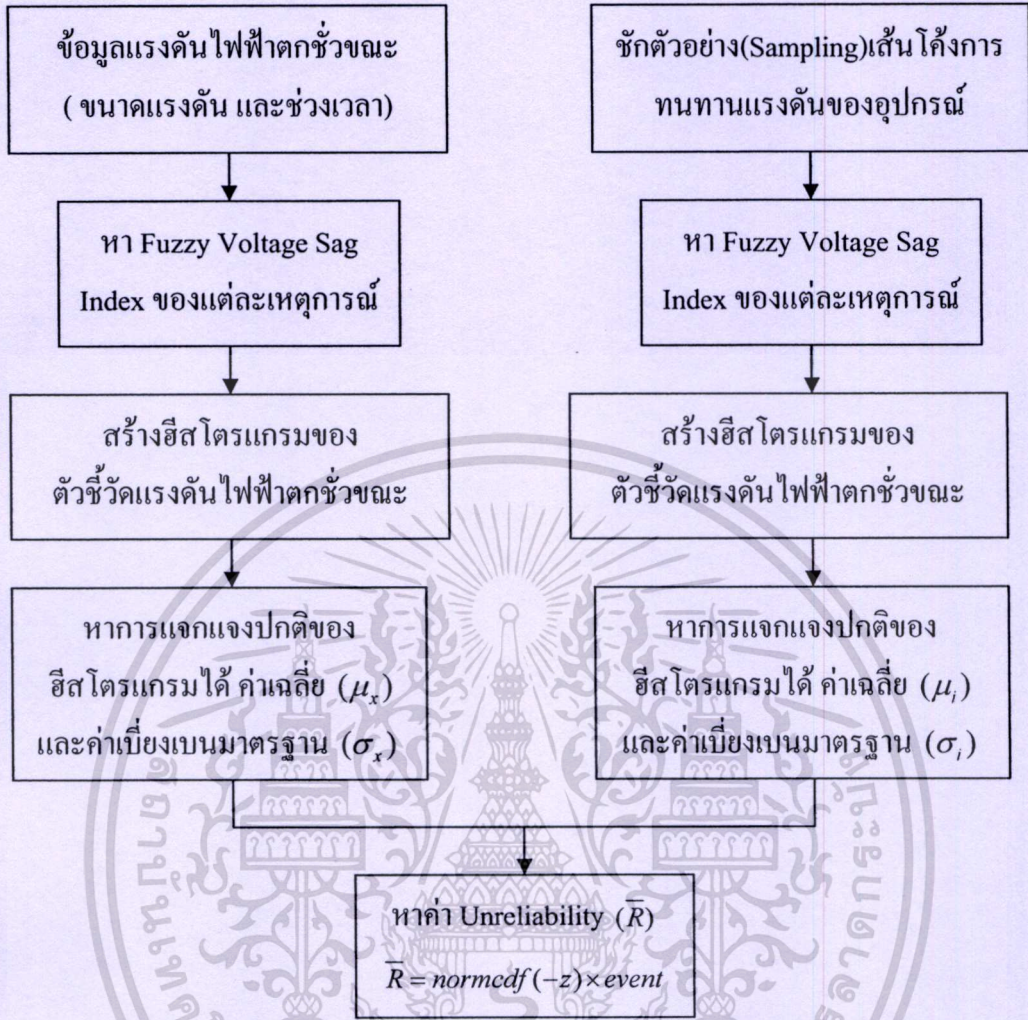
```
>> 6.9882
```

ดังนั้นจะมีจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจำนวน 7 ครั้ง จากจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจริงจำนวน 8 ครั้ง แสดงดังรูปที่ 5.9 และสรุปขั้นตอนการหาค่าได้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 จำนวนครั้งที่ได้รับผลกระทบจริงจากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการหาความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) แบบการแจกแจง

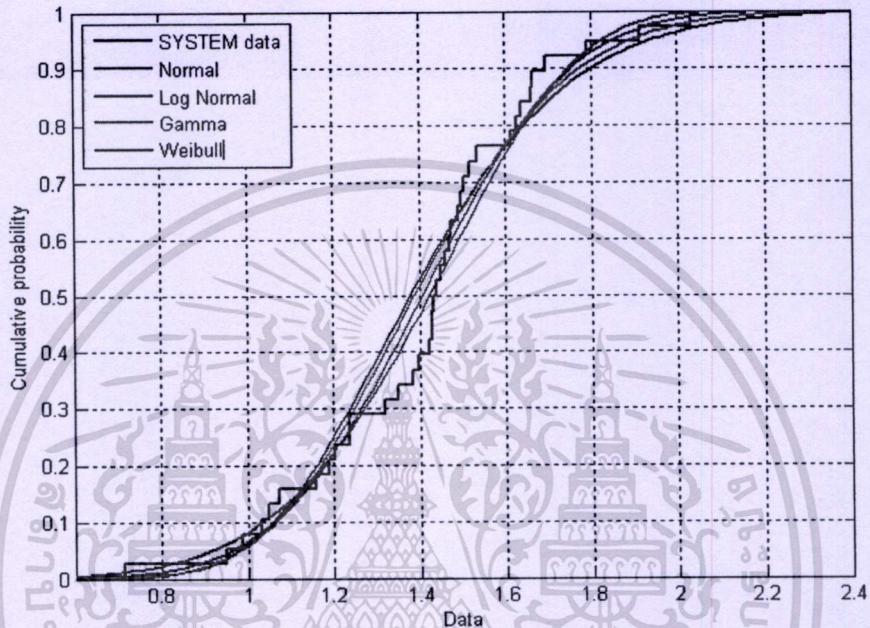
5.4.2 การพิจารณาเลือกการแจกแจงที่เหมาะสม ของระดับการบกพร่องในระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์

ในหัวข้อที่แล้วเป็นการนำเสนอการคำนวณหาค่าระดับการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์ โดยใช้ข้อมูลการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของโรงงาน A และข้อมูลการทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A โดยสมมติให้รูปแบบการแจกแจงของระดับการบกพร่องในระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์ เป็นแบบปกติ (Normal Distribution) อย่างไรก็ตามการแจกแจงของระดับการบกพร่องของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ สามารถมีรูปแบบเป็นแบบอื่นๆก็ได้ ดังแสดงในบทที่ 4 การพิจารณาเลือกรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ จะเลือกรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมจากการคำนวณหาค่า R – Square ของ ECDF (Empirical Cumulative Distribution Function) ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์กับค่าที่ได้จากการแจก

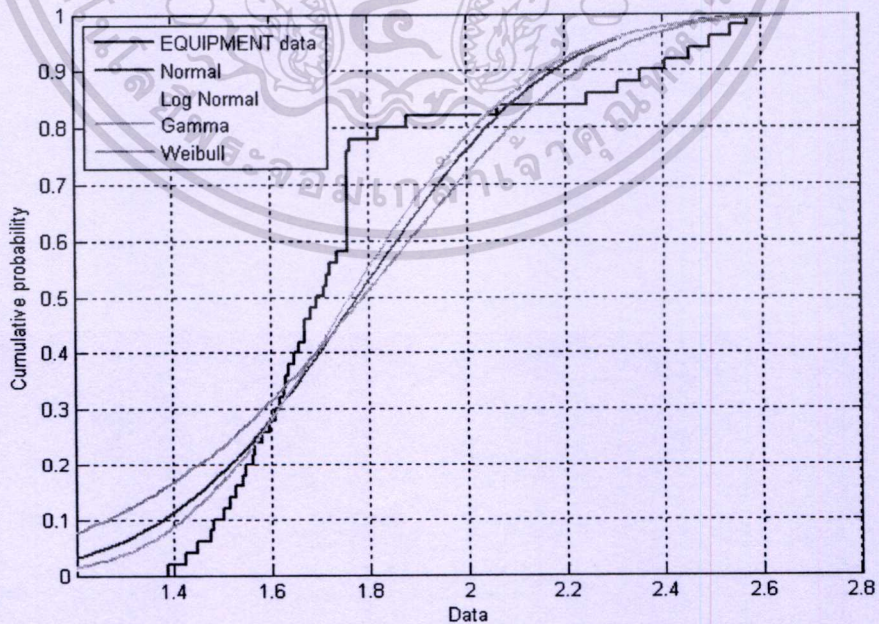
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แจกแจงแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.11 , 5.12 และสามารถสรุปค่า R – Square ที่ได้จากการแจกแจงรูปแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 5.1

จากตารางที่ 5.1 สำหรับระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าของโรงงาน A จะพบว่าการแจกแจงแบบไวบูล (Weibull Distribution) ให้ค่า R – Square ที่ดีที่สุดขณะที่ในส่วนของอุปกรณ์การแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log Normal Distribution) ให้ค่า R – Square ที่ดีที่สุด



รูปที่ 5.11 ค่า ECDF ของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A เมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบต่างๆ



รูปที่ 5.12 ค่า ECDF ของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์เมื่อเทียบกับการแจกแจงแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สรุปค่า R-square กับการแจกแจงแบบต่างๆ เมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง 8 ครั้ง

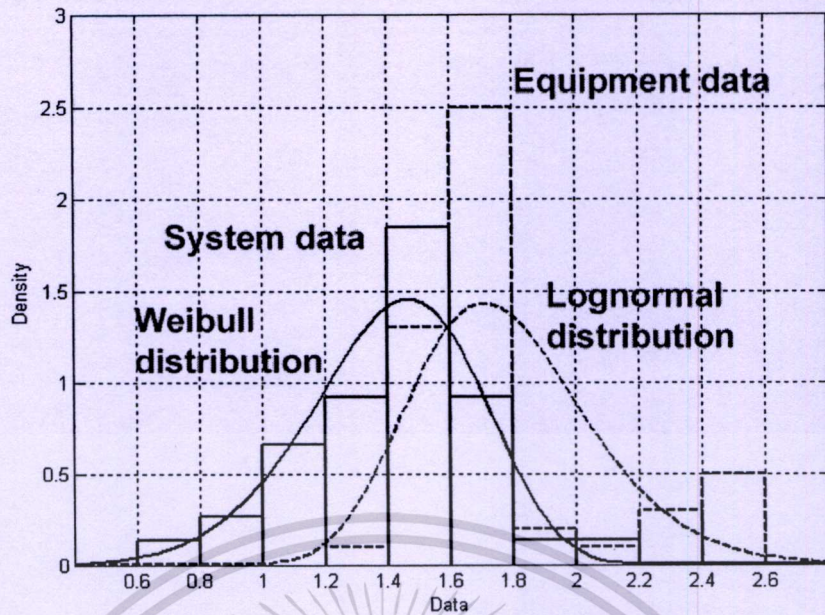
No.	System	R-square	Equipment	R-square
1	Normal	0.99940	Normal	0.8020
2	Log Normal	0.99878	Log Normal	0.9986
3	Gamma	0.99909	Gamma	0.9984
4	Weibull	0.99944	Weibull	0.9969

จากวิธีการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น มีข้อจำกัดที่ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์จะต้องมีการแจกแจงแบบเดียวกันจึงจะสามารถคำนวณหาค่าได้ โดยมีได้ค่านิ่งความกลมกลืนกัน (Goodness of Fit) กับข้อมูลและค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R - Square) แต่ถ้ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์มีการแจกแจงที่แตกต่างกันก็จะไม่สามารถคำนวณหาค่าได้โดยง่าย ใน [21] จึงได้นำเสนอวิธีการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การคำนวณหาพื้นที่ ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ซึ่งจะสามารถคำนวณได้ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่มีการแจกแจงแตกต่างกันได้ และยังสามารถใช้กับกรณีที่มีการแจกแจงเป็นแบบนันทราเมตริกได้ โดยจะแสดงวิธีการคำนวณในหัวข้อถัดไป

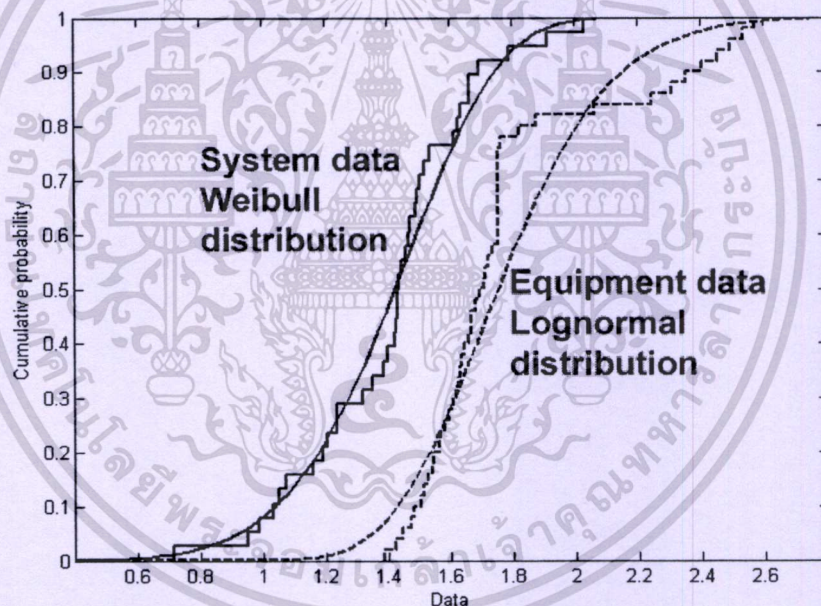
5.4.2.1 การคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการคำนวณหาพื้นที่

จากแนวความคิดการหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้การคำนวณหาพื้นที่ ที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 4 ซึ่งจะนำค่าขนาดแรงดัน (Voltage Magnitude: %) และช่วงเวลา (Sag Duration: s) ผ่านกระบวนการ Fuzzy Voltage Sag Index ที่ได้นำเสนอไปทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ โดยแสดงข้อมูลทั้งหมดดังตารางที่ 7 และ 8 ในภาคผนวก ก

เมื่อให้ข้อมูลของระบบไฟฟ้าคือ H และข้อมูลของอุปกรณ์คือ G แสดงข้อมูลบางส่วนดังตารางที่ 5.2 และแสดงข้อมูลทั้งหมดดังตารางที่ 7 ในภาคผนวก ก เมื่อให้ $G_2 = 1 - G_1$ ค่า H คือการประมาณค่าด้วยการแจกแจงแบบไวบูล และ G คือการประมาณค่าด้วยการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล โดยให้ Disturbance Level มีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 0.06 ($x=0:0.06:3$) จะได้จำนวนจุดของการคำนวณความเชื่อถือได้ทั้งสิ้น จำนวน 51 จุด ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ เมื่อได้ค่า H, G_2 และ G_1 ขึ้นต่อไปก็จะเป็นการหาพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งระหว่าง H กับ G_2 แสดงดังรูปที่ 5.15 ในที่นี้จะใช้การหาพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งโดยใช้วิธีการหาพื้นที่แบบสี่เหลี่ยมคางหมู คือผลรวมของ SUM ในตารางที่ 5.2 หรือพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งหรือในอีกแห่งหนึ่งก็คือ ค่าความเชื่อถือได้ (Reliability = R)



รูปที่ 5.13 PDF ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A



รูปที่ 5.14 CDF ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A

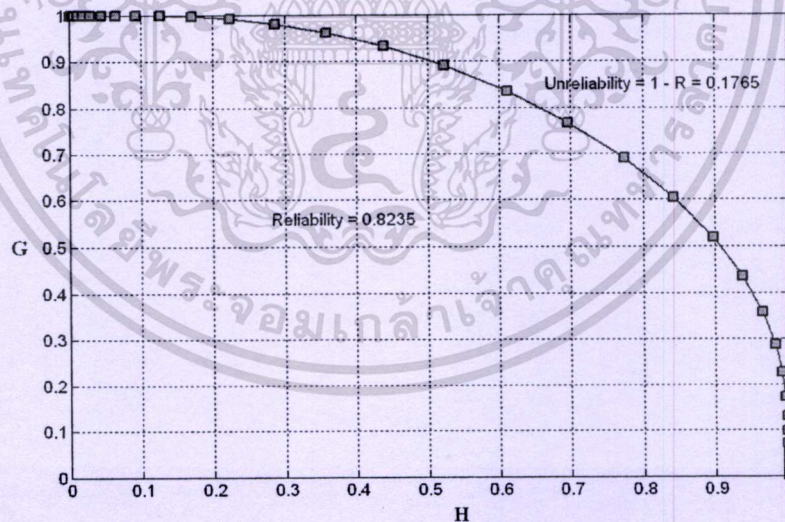
รูปที่ 5.13 คือ PDF (Probability Density Function) เมื่อให้ระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าของโรงงาน A เป็นการแจกแจงแบบไวบูล (Weibull Distribution) และเมื่อให้ระดับความหนาทานของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A เป็นการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log Normal Distribution)

รูปที่ 5.14 คือ CDF (Cumulative Density Function) เมื่อเปรียบเทียบค่า ECDF ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ กับการแจกแจงแบบไวบูล และแบบล็อกนอร์มอลตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำไปใช้คำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะโดยทางตรงหรือทางอ้อม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการคำนวณค่าพื้นที่ เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบไวบูล และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล

No.	H	G2	SUM	G1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
15	0.0302	1	0.0106	0
16	0.0451	1	0.0149	0
17	0.0653	0.9999	0.0202	0.0001
18	0.0921	0.9996	0.0268	0.0004
19	0.1267	0.9987	0.0346	0.0013
20	0.1702	0.9964	0.0434	0.0036
21	0.2232	0.991	0.0527	0.009
22	0.2861	0.9803	0.0620	0.0197
23	0.3583	0.9617	0.0701	0.0383
24	0.4384	0.9324	0.0759	0.0676
25	0.5239	0.8904	0.0779	0.1096
26	0.6112	0.835	0.0753	0.165
27	0.6961	0.7673	0.0680	0.2327
28	0.7743	0.6896	0.0570	0.3104
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



รูปที่ 5.15 การพล็อตค่าของ H กับ G2

รูปที่ 5.15 แสดงการพล็อตค่าระหว่าง H กับ G2 โดยเป็นการพล็อตค่าจากตารางที่ 5.2 ซึ่งมีจำนวนจุด ทั้งหมด 51 จุด แสดงข้อมูลทั้งหมดใน ภาคผนวก ก ตามตารางที่ 7 และมีพื้นที่ใต้กราฟหรือค่าความเชื่อถือได้เท่ากับ 0.8235 โดยมีการคำนวณจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

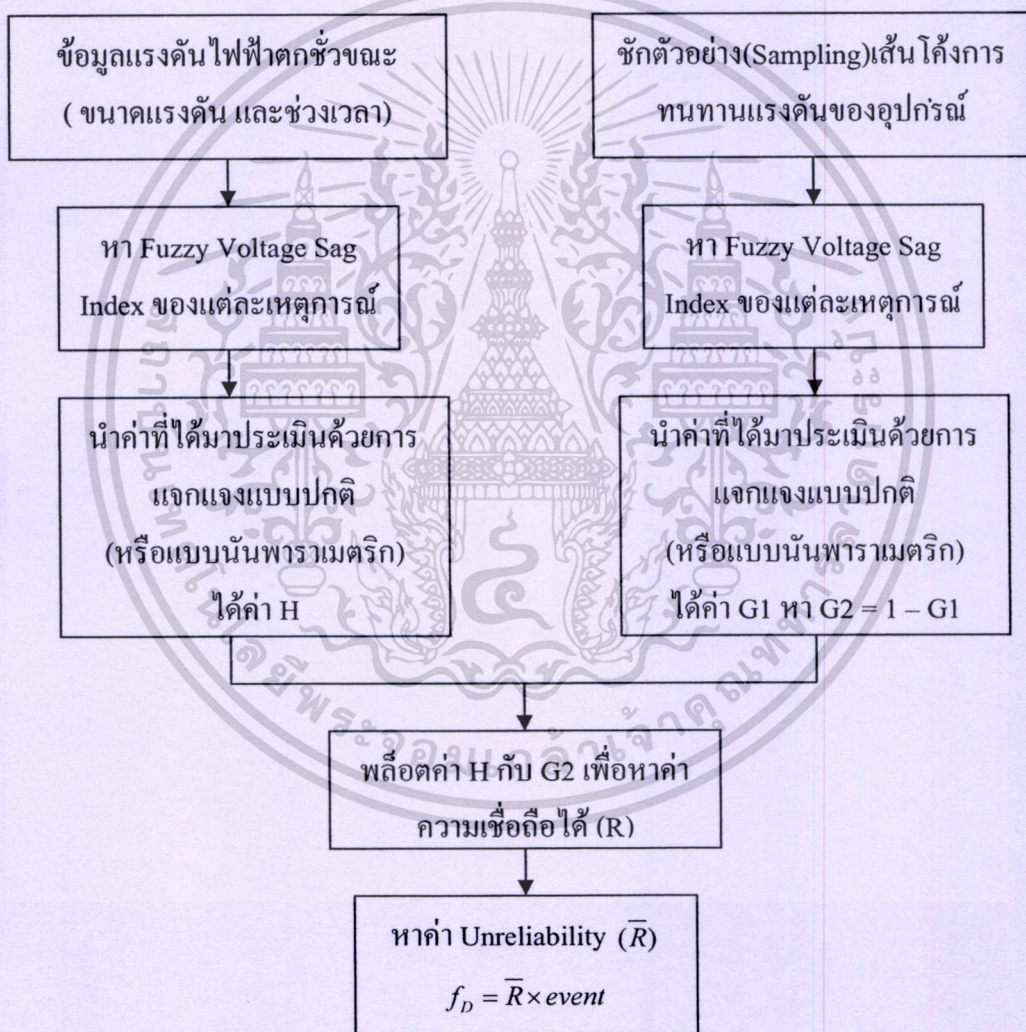
$$R = 0.8235$$

$$\bar{R} = 1 - R = 1 - 0.8235 = 0.1765$$

$$f_D = \bar{R} \times \text{จำนวนเหตุการณ์ของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บันทึกได้}$$

$$f_D = 0.1765 \times 38 = 6.707$$

ดังนั้นจะมีจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบจำนวน 7 ครั้ง จากจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจริงจำนวน 8 ครั้ง และสรุปขั้นตอนการหาค่าได้ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ขั้นตอนการหาความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) แบบการหาค่าพื้นที่

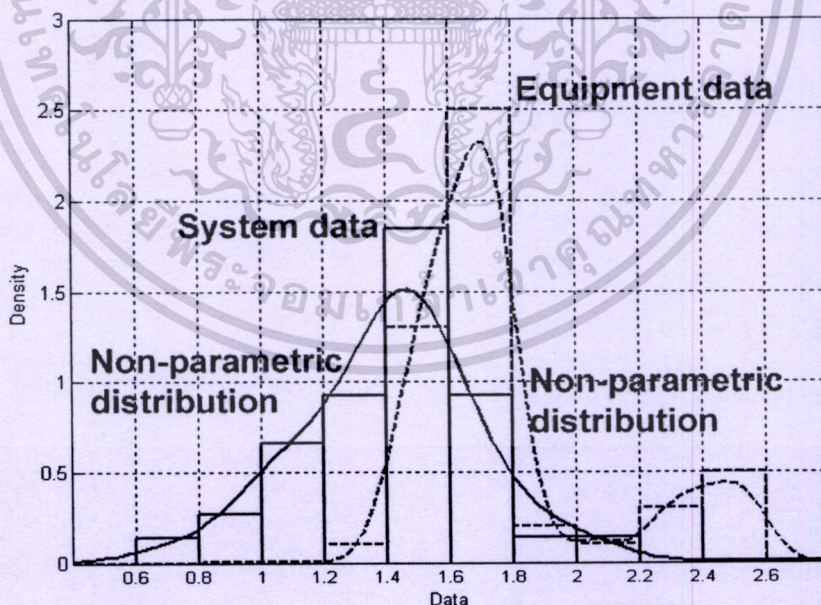
5.4.2.2 การคำนวณความเชื่อถือได้กรณีใช้การประมาณการแจกแจงด้วย Kernel

Density Estimate

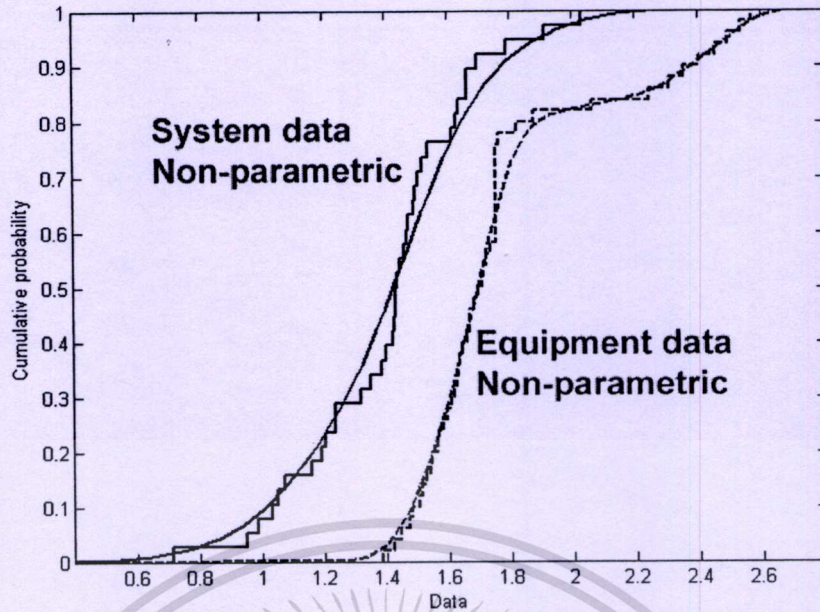
วิธีการคำนวณความเชื่อถือได้กรณีใช้การประมาณการแจกแจงด้วย Kernel Density Estimate หรือที่เรียกว่าการแจกแจงแบบนัพพารามตริก มีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการคำนวณความเชื่อถือได้ในกรณีใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบอื่นๆ โดยมีขั้นตอนการหาค่าแสดงดังรูปที่ 5.16

จากข้อมูลระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ของโรงงาน A ที่ผ่านกระบวนการ Fuzzy Voltage Sag Index ได้ข้อมูลระบบไฟฟ้าที่มีจำนวนเหตุการณ์จริงทั้งหมด 38 เหตุการณ์ และข้อมูลของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่มีการชักตัวอย่างจำนวน 50 ตัวอย่าง เมื่อนำค่าทั้งสองมาประมาณด้วยการแจกแจงแบบนัพพารามตริก โดยให้มีค่า Disturbance Level เพิ่มขึ้นทีละ 0.06 ($x=0:0.06:3$) จะได้จำนวนจุดของการคำนวณความเชื่อถือได้ทั้งสิ้น จำนวน 51 จุด โดยแสดงข้อมูลบางส่วนดังตารางที่ 5.3 และแสดงข้อมูลทั้งหมดดังตารางที่ 8 ในภาคผนวก ก รูปที่ 5.17 และ 5.18 แสดง PDF และ CDF ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A ตามลำดับ รูปที่ 5.19 แสดงการพล็อตค่าระหว่าง H กับ G2 เพื่อใช้หาค่าความเชื่อได้ภายใต้เส้นโค้ง

จากสมการการคำนวณหาจำนวนครั้งที่อุปกรณ์จะได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (f_D) ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4 จะใช้จำนวนเหตุการณ์ของระบบไฟฟ้า คือ 38 เหตุการณ์ มาพิจารณา



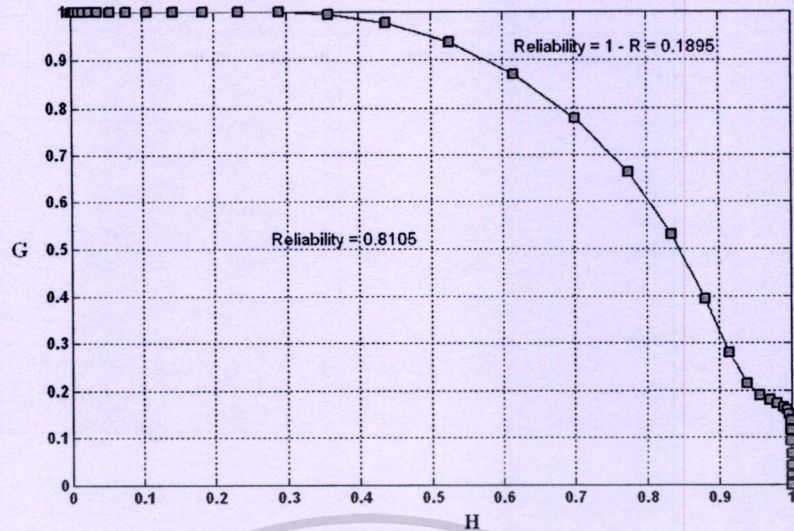
รูปที่ 5.17 PDF ของตัวชี้วัดระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าและการประเมินด้วย Kernel Density



รูปที่ 5.18 ECDF ของตัวชี้วัดระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าและการประเมินด้วย Kernel Density

ตารางที่ 5.3 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการคำนวณค่าพื้นที่เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบ นันพารามेटริก และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ใน โรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบ นันพารามेटริก

No.	H	G2	SUM	G1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	0.2337	0.9999	0.0488	0.0001
22	0.2908	0.9989	0.0571	0.0011
23	0.3586	0.9937	0.0675	0.0063
24	0.4377	0.9761	0.0779	0.0239
25	0.5254	0.9367	0.0839	0.0633
26	0.6155	0.8704	0.0814	0.1296
27	0.7007	0.7778	0.0702	0.2222
28	0.7747	0.6631	0.0533	0.3369
29	0.8346	0.5311	0.0358	0.4689
30	0.8805	0.3932	0.0212	0.6068
31	0.9142	0.2798	0.0113	0.7202
32	0.9387	0.2152	0.0061	0.7848
33	0.9567	0.1893	0.0036	0.8107
34	0.9704	0.1796	0.0025	0.8204
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮



รูปที่ 5.19 การพล็อตค่าของ H กับ G2

$$R = 0.8105$$

$$\bar{R} = 1 - R = 1 - 0.8105 = 0.1895$$

$f_D = \bar{R} \times$ จำนวนเหตุการณ์ของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บ้านพักได้

$$f_D = 0.1895 \times 38 = 7.201$$

ดังนั้นจะมีจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจำนวน 7 ครั้ง จากจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจริงจำนวน 8 ครั้ง

5.5 สรุปการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้

จากการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้โดยใช้วิธีการแจกแจง (Distribution) และการคำนวณค่าพื้นที่ (Graphical Approach) ที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น ต่อไปก็จะเป็นการนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จำนวน 4 แห่ง โดยแสดงผลลัพธ์จากการหาค่า R - Square เพื่อที่จะเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุดในการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ แสดงดังตารางที่ 5.4 เป็นการสรุปค่า R - Square ของฟังก์ชันการแจกแจงด้วยวิธีต่างๆ

ขั้นต่อไปก็จะเป็นการเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด จากตารางที่ 5.4 เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ และจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบ โดยจะทำการเปรียบเทียบการคำนวณหาค่าจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบ กับจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจริง แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.4 สรุปค่า R – Square ของการแจกแจงด้วยวิธีต่างๆ

No.	System	Distribution	R - Square	Equipment	Distribution	R - Square
1	Factory A	Normal	0.99940	Inverter (77%,60ms)	Normal	0.8020
		Log Normal	0.99878		Log Normal	0.9986
		Gamma	0.99909		Gamma	0.9984
		Weibull	0.99944		Weibull	0.9969
2	Factory B	Normal	0.9990	Inverter (77%,60ms)	Normal	0.8020
		Log Normal	0.9974		Log Normal	0.9986
		Gamma	0.9983		Gamma	0.9984
		Weibull	0.9989		Weibull	0.9969
3	Factory C	Normal	0.9986	SEMI F47	Normal	0.9988
		Log Normal	0.9983		Log Normal	0.9992
		Gamma	0.9989		Gamma	0.9991
		Weibull	0.9988		Weibull	0.9987
4	Factory D	Normal	0.9981	SEMI F47	Normal	0.9988
		Log Normal	0.9968		Log Normal	0.9992
		Gamma	0.9977		Gamma	0.9991
		Weibull	0.9982		Weibull	0.9987

ตารางที่ 5.5 สรุปค่าจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ
เมื่อใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ และแบบนินพารามेटริก

No	System	Distribution	Equipment	Distribution	เหตุการณ์ที่คำนวณได้		เหตุการณ์ที่ ได้รับผล กระทบจริง
					Parametric	Non parametric	
1	Factory A	Weibull	Inverter	Log Normal	6.706	7.202	8
2	Factory B	Normal	Inverter	Log Normal	8.848	8.955	8
3	Factory C	Gamma	SEMI F47	Log Normal	13.753	16.062	14
4	Factory D	Weibull	SEMI F47	Log Normal	40.823	45.658	40

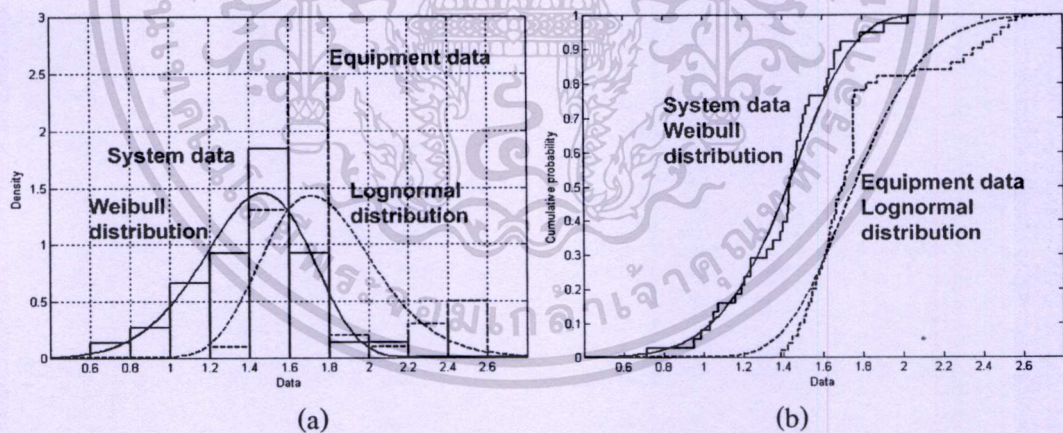
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 เป็นการสรุปค่าจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เมื่อใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ โดยใช้ค่า R-Square เป็นตัวเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด ตามตารางที่ 5.4 ทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับการแจกแจงแบบนันทราเมตริกทั้งระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าจำนวนเหตุการณ์ที่คำนวณได้นั้น มีค่าใกล้เคียงกับจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจริง เมื่อเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงในแบบต่างๆ มาคำนวณ โดยใช้ค่า R - Square เป็นตัวเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด และจากตารางที่ 5.5 ในส่วนที่เป็นการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบนันทราเมตริก ทั้งระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ โดยจะเห็นได้ว่าจำนวนเหตุการณ์ที่คำนวณได้นั้น เริ่มมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น เมื่อสังเกตที่โรงงาน B , C และ D ตามลำดับ

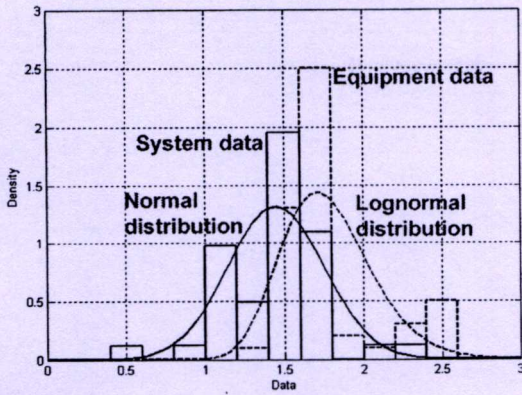
รูปที่ 5.20 – 5.23 แสดง PDF และ CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ในโรงงาน A , B ,C และ D โดยเลือกใช้ค่า R - Square ที่ดีที่สุดจากฟังก์ชันการแจกแจงแบบต่างๆ ดังตารางที่ 5.5

รูปที่ 5.24 – 5.27 แสดง PDF และ CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ในโรงงาน A , B ,C และ D โดยเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบนันทราเมตริก ทั้งระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์

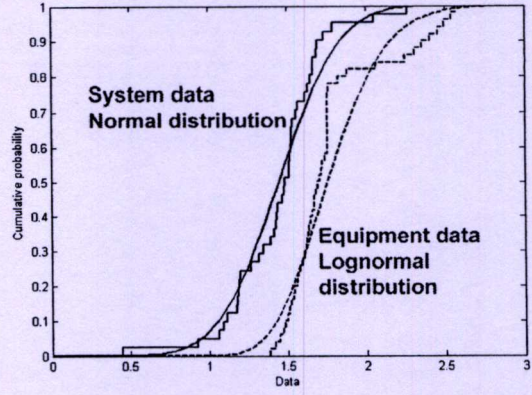


รูปที่ 5.20 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A



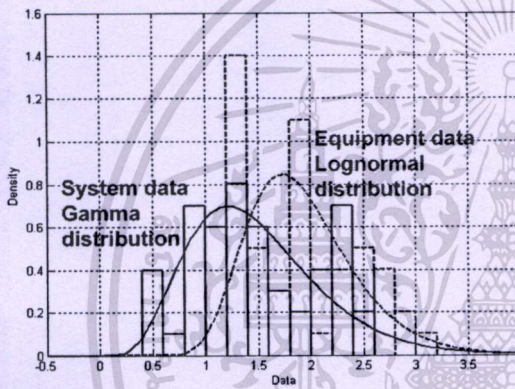
(a)



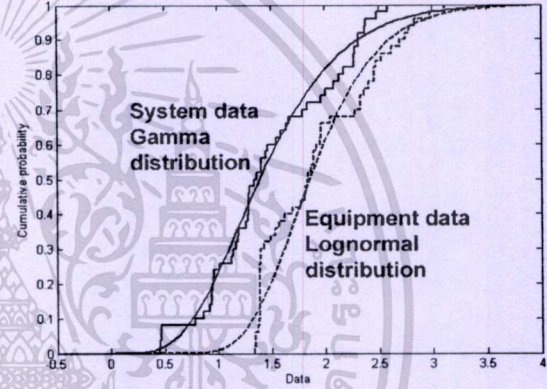
(b)

รูปที่ 5.21 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B



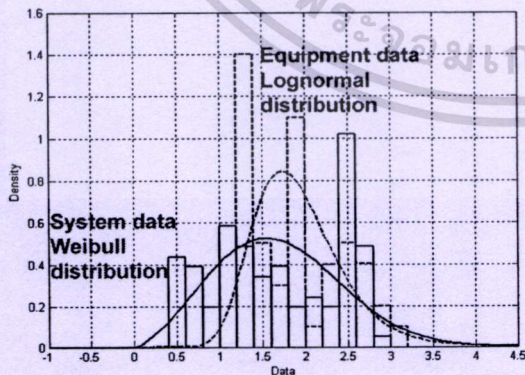
(a)



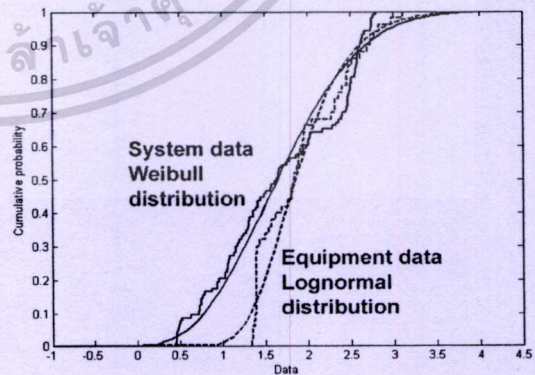
(b)

รูปที่ 5.22 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C



(a)

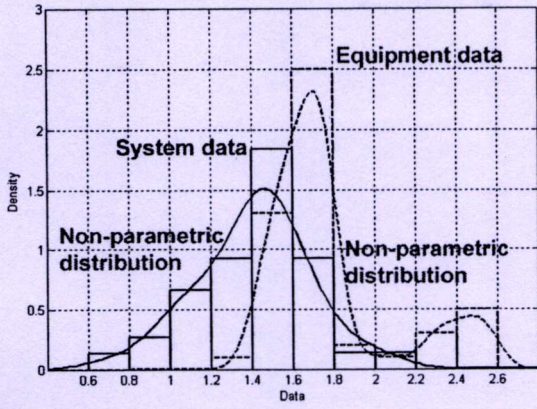


(b)

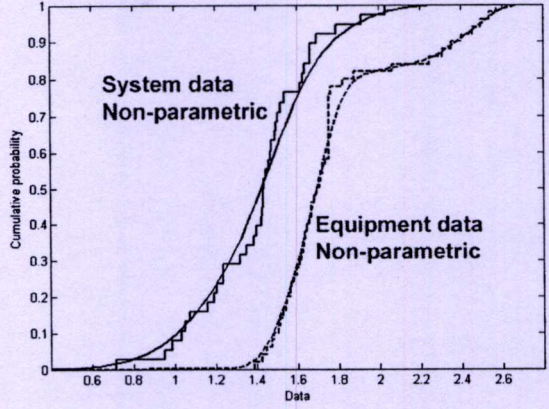
รูปที่ 5.23 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



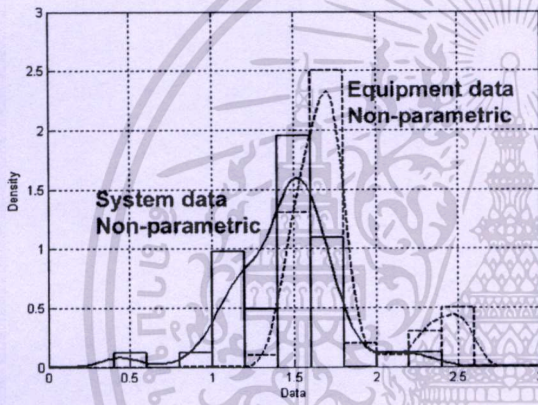
(a)



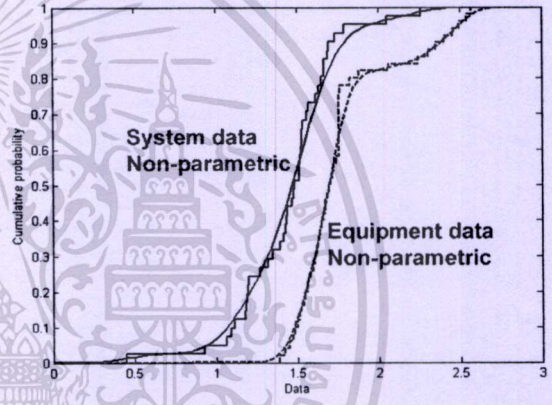
(b)

รูปที่ 5.24 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน A



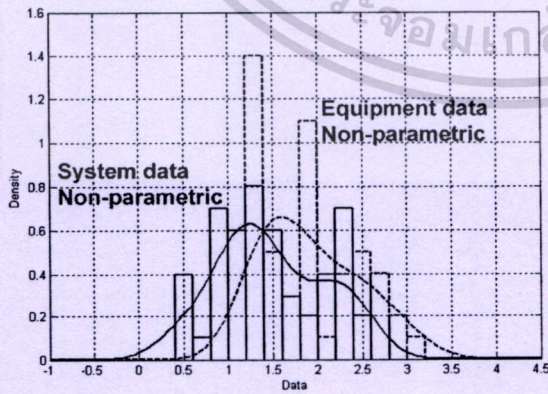
(a)



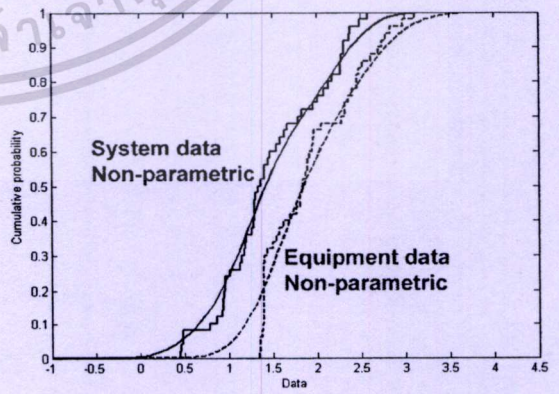
(b)

รูปที่ 5.25 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน B



(a)

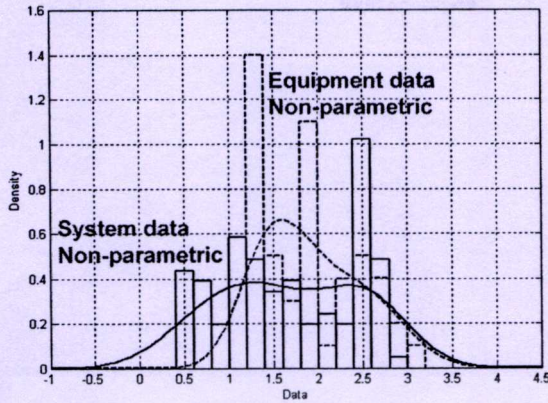


(b)

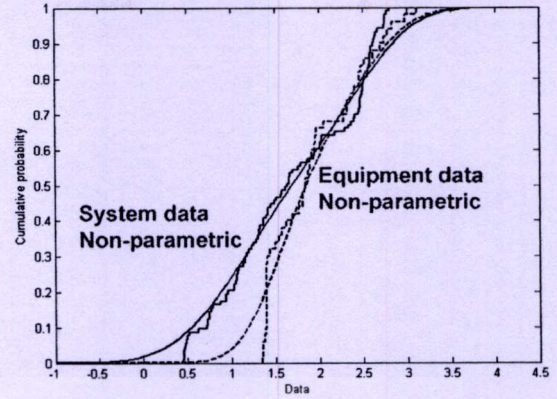
รูปที่ 5.26 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



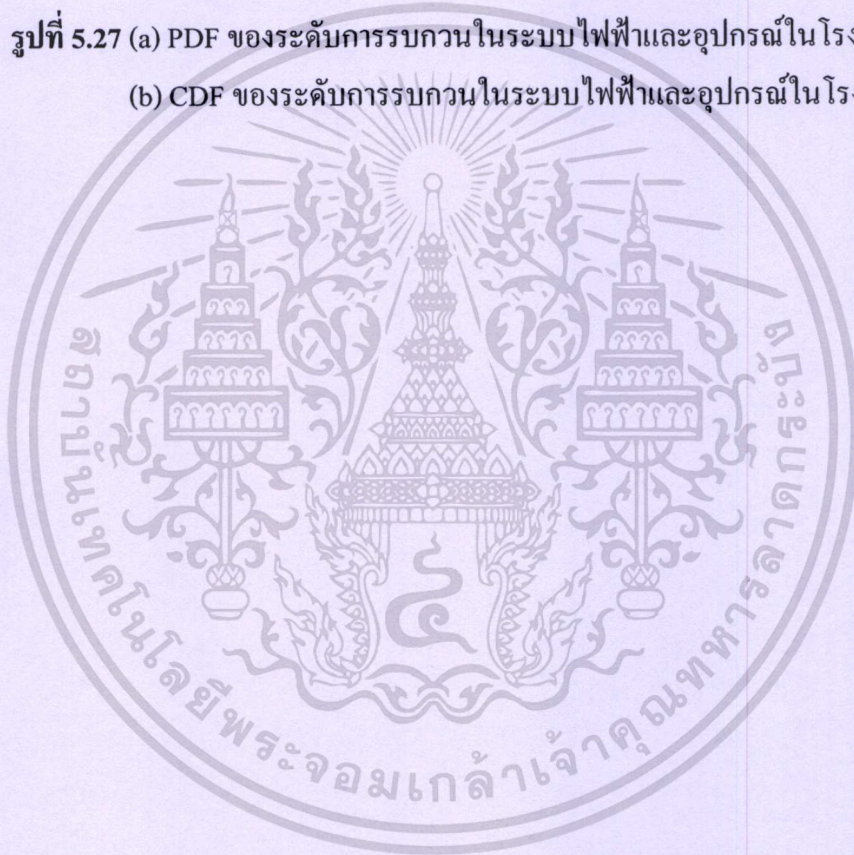
(a)



(b)

รูปที่ 5.27 (a) PDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D

(b) CDF ของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในโรงงาน D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปการกำหนดค่าความเชื่อถือได้ จากเนวคิตระดับความเข้ากันได้ในระบบไฟฟ้า (Compatibility Level) ระหว่างระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level) และระดับความทนทานของอุปกรณ์ (Equipment Immunity Level) ได้ 3 วิธี คือ

1. การกำหนดค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (Log Normal Distribution)

การคำนวณวิธีนี้จะสมมุติให้ข้อมูลของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติหรือฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอลทั้งคู่ โดยมีได้คำนึงถึงความเหมาะสม (Fit) ของข้อมูลกับฟังก์ชันการแจกแจงที่นำมาพิจารณา ว่ามีความเหมาะสมกันหรือไม่ ดังนั้นวิธีการคำนวณแบบนี้จึงมีข้อเสีย เมื่อข้อมูลที่เรานำมาพิจารณาไม่มีความเหมาะสมกับฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติหรือแบบล็อกนอร์มอล ค่าที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

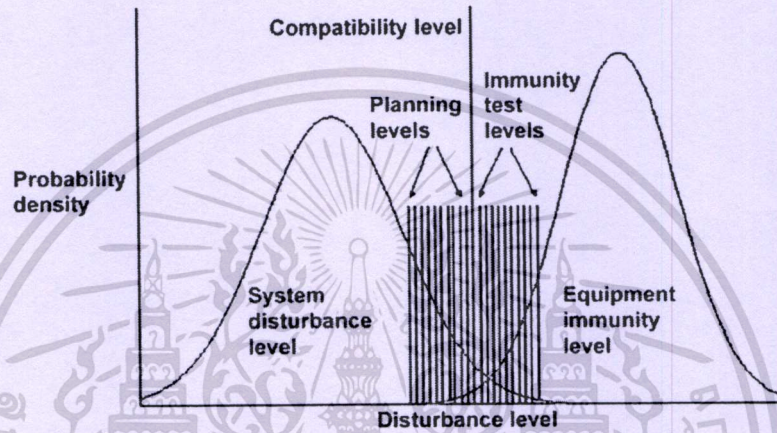
2. การกำหนดค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R - Square) เป็นตัวตัดสินใจ เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด

การคำนวณวิธีนี้จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R - Square) เป็นตัวตัดสินใจ เลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงที่ดีที่สุด และใช้การกำหนดค่าพื้นที่ (Graphical Approach) หาค่าความเชื่อถือได้ โดยสามารถเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงได้ทุกแบบ ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูล ไม่ได้จำกัดอยู่ที่ฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติหรือแบบล็อกนอร์มอลเท่านั้น ถือได้ว่าเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องของวิธีแรก ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณวิธีนี้จึงมีความถูกต้องมากขึ้น

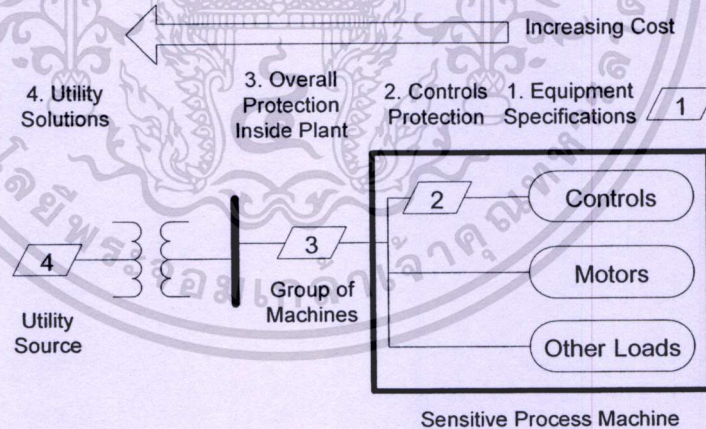
3. การกำหนดค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ฟังก์ชันการแจกแจงแบบนันทารามेटริก

การคำนวณวิธีนี้มีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณวิธีที่ 2 เพียงแต่เปลี่ยนวิธีการแจกแจงจากฟังก์ชันการแจกแจงแบบใช้พารามิเตอร์ มาเป็นฟังก์ชันการแจกแจงแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Nonparametric) เนื่องจากฟังก์ชันการแจกแจงแบบนี้มีความกลมกลืนกัน (Goodness of Fit) กับข้อมูลที่นำมาพิจารณามากที่สุด แต่วิธีนี้ก็ไม่ได้ให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อดูจากผลลัพธ์ที่ได้

รูปที่ 6.1 แสดงแนวคิดของระดับความเข้ากันได้ในระบบไฟฟ้า ระหว่างระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์ ถ้าหากมีการทับซ้อนกันน้อยคือ มีจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะน้อย ก็จะมีการแก้ไขทางด้านผู้ใช้ไฟเอง(Customer) แต่ถ้าหากมีการทับซ้อนกันมากคือ มีจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมาก ก็จะต้องมีการแก้ไขทางด้านผู้จ่ายไฟหรือการไฟฟ้า (Utility Solution) แสดงตำแหน่งของการแก้ไขปัญหาดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1 แนวคิดพื้นฐานของ Compatibility level [6]



รูปที่ 6.2 การแก้ไขปัญหาคุณภาพกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งต่างๆ [2]

และจากผลลัพธ์ที่คำนวณได้ของ โรงงาน A – D นั้น เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับแนวคิดความเข้ากันได้ในระบบไฟฟ้า เกิดการทับซ้อนกันระหว่างระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และระดับความทนทานของอุปกรณ์ ยังอยู่ในระดับที่ไม่มากนัก เมื่อดูจากจำนวนครั้งที่อุปกรณ์อาจได้รับผลกระทบ (ครั้ง/ปี) จากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

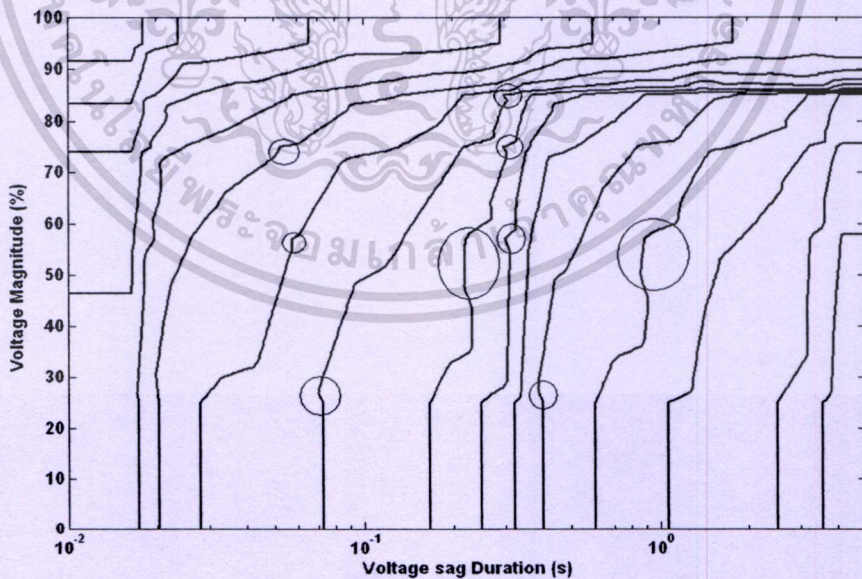
ดังนั้น จึงควรจะมีการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของ ผู้ใช้ไฟเอง(Customer) เนื่องจากยังอยู่ในความสามารถของผู้ใช้ไฟที่จะทำการปรับปรุง เครื่องจักรที่ใช้งาน ระบบป้องกันไฟฟ้า ให้มีความสัมพันธ์กับเหตุการณ์แรงดัน ไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 6.2

6.2 แนวทางการศึกษาในอนาคต

6.2.1 เพื่อลดความยุ่งยากในการหาค่า ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้า สามารถใช้ตัวชี้วัดพลังงานแรงดัน ไฟฟ้าตกชั่วขณะ (E_{VS}) จากสมการที่ 2.1 ตัวชี้วัดการสูญหายพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (W) จากสมการที่ 2.2 หรือตัวชี้วัดความรุนแรงเหตุการณ์แรงดัน ไฟฟ้าตกชั่วขณะ (S_c) จากสมการที่ 2.3 เข้ามาคำนวณระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ โดยไม่ผ่านกระบวนการฟัซซี่ลอจิก

6.2.2 ปรับปรุงแก้ไขกฎ (IF – THEN Rule) ให้มีจำนวนที่น้อยลง เหมาะสมกับข้อมูลที่นำมาพิจารณา ทั้งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุต (Input Membership Function) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุต (Output Membership Function)

6.2.3 กรณีที่ใช้การแจกแจงแบบนัพาราเมตริกที่มีความกลมกลืนกับข้อมูลดีที่สุดแล้วค่าที่ประเมิน ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอีกนั้น ถือได้ว่าเป็นผลลัพธ์ส่วนหนึ่งที่เกิดจากระบวนการฟัซซี่ลอจิกที่ยังไม่ดีพอ ตำแหน่งที่ผิดพลาดต่างๆแสดงดังรูปที่ 6.3 ดังนั้นในการศึกษาขั้นต่อไปจะทำการปรับปรุงกระบวนการฟัซซี่ลอจิกให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น



รูปที่ 6.3 คอนทัวร์ของแนวคิด Fuzzy voltage sag index ที่ยังไม่สมบูรณ์พอ

บรรณานุกรม

- [1] M. H. J. Bollen, **Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions**. Piscataway, NJ: IEEE Press, Inc. 2000
- [2] Mark McGranaghan, Bill Roettger. “ **Economic Evaluation of Power Quality.**” IEEE Power Engineering Review., February 2002, pp 8 –12
- [3] I.O. Habiballah, M. Kassass, H. Maghrabi, K. Al-Soufi, “**Voltage dip assessment using ESKOM criterion**”, In Proc. 2004 Large Engineering systems Conference on Power Engineering, 2004, 28-30 July 2004, pp. 142 – 145
- [4] M. H. J. Bollen, D. D. Sabin, and R. S. Thallam, “**Voltage-sag indices—Recent developments in IEEE P1564 task force,**” in Proc Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, CIGRE/IEEE Power Eng. Soc. Int. Symp., Oct. 2003, vol. 8–10, pp. 34–41
- [5] Assessment of emission limit of fluctuating load in MV and HV Power System IEC 61000-3-7, 1996.
- [6] Cheng-Chieh Shen, Chan-Nan Lu, “**A Voltage Sag Index Considering Compatibility Between Equipment and Supply.**” IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 22, NO.2, APRIL 2007 pp. 996-1002
- [7] C. N. Lu and C. C. Shen, “**Voltage sag immunity factor considering severity and duration,**” in Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, Jun. 2004, vol.1, pp.626-630.
- [8] C. C. Shen, A. C. Wang, R. F. Chang, and C. N. Lu, “**Quantifying disturbance level of voltage sag events,**” in Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting, Jun. 2005, vol.3, pp.2314-2318.
- [9] Chan-Nan Lu and Cheng-Chieh Shen, “**Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags,**” IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 2, pp.1132-1137, Apr.2007
- [10] IEEE Std. 1159-1995. Ieee recommended practice fro monitoring electric power quality. Technical report, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1995.
- [11] IEC 61000-4-30. Electromagnetic Compatibility (EMC) -Part 4-30: Testing and measurement techniques -Power quality measurement methods.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

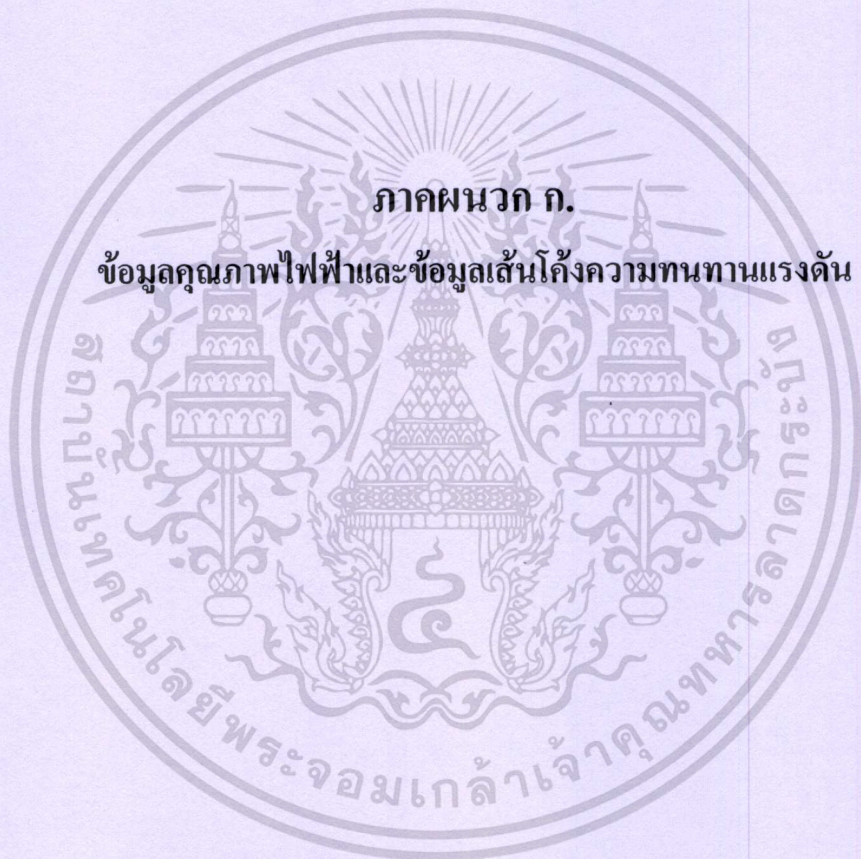
- [12] Math H.J. Bollen , Irene Y.H. Gu , **SIGNAL PROCESSING OF POWER QUALITY DISTURBANCES** , Piscataway , NJ: IEEE Press, Inc. 2006
- [13] A.Robert and E.De jaeger, Final Report Round table on power quality at the interface T&D 2003, May.14,2003
- [14] ALECANDER KUSKO and MARC T.THOMPSON , **POWER QUALITY in ELECTRICAL SYSTEMS** , McGraw-Hill , 2007.
- [15] Recommended practice for the establishment of voltage sag indices, IEEE Std. 1564, June 2004.
- [16] R. S. Thallam, “**Power quality indices based on voltage sag energy values,**” in Proc. Power Quality Conf. Expo., Chicago, IL, Sep. 2001.
- [17] R.S. Thallam and G.T. Heydt, “**Power acceptability and voltage sag indices in the three phase sense** ”, in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, Seattle, WA, Jul. 2000
- [18] Frantisek Kinces. “**VOLTAGE SAG INDICES AND STATISTICS.**” M.Sc. Thesis of Chalmers University of Technology . 2004
- [19] Rafael Asensi, “**Harmonics Understanding Compatibility Levels,**” Copper Development Association IEE Endorsed Provider, March. 2005
- [20] The MathWorks , **Fuzzy Logic Toolbox 2 User’s Guide** , Inc. 2009
- [21] K.C. Kapur and L. R. Lamberson, **Reliability in Engineering Design.** New York: Wiley, 1977, pp.122-136
- [22] ปราโมทย์ เคชอนันต์. 2549. ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [23] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2550. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. เล่มที่ 2 พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- [24] ชีระศักดิ์ อูร์จันนันทน์. 2546. ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์. เล่มที่ 2 พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.
- [25] Neil A. Weiss and M.C. Jones, **Introductory Statistics Seventh Edition** , Pearson Addison Wesley , United States of America , 2005.
- [26] Wendy L. Martinez and Angel R. Martinez , “**Computational Statistics Handbook with MATLAB,**” CHAPMAN & HALL/CRC ,2002
- [27] The MathWorks , **Statistics Toolbox 7 User’s Guide** , Inc. 2009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] วีระศักดิ์ อูร์จนาพันธ์. 2546. **ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์**. เล่มที่ 1 พิมพ์ครั้งที่ 1
กรุงเทพฯ : บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าและข้อมูลเสั้んโค้งความทนทานแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน A

Event No.	Date	Factory A				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
1	19/4/2550	71.4	60	0.06	-1.222	1.4699
2	25/4/2550	87.1	45	0.045	-1.347	1.0326
3	27/4/2550	77.7	100	0.1	-1.000	1.5163
4	27/4/2550	89.7	20	0.02	-1.699	0.714
5	11/6/2550	88.7	60.00	0.06	-1.222	1.0487
6	17/6/2550	89.8	50.00	0.05	-1.301	0.9506
7	21/6/2550	77.1	90.00	0.09	-1.046	1.5034
8	23/6/2550	74.5	70.00	0.07	-1.155	1.4904
9	30/6/2550	88.5	190	0.19	-0.721	1.2357
10	4/5/2550	88.9	50	0.05	-1.301	0.9861
11	6/5/2550	77.0	80	0.08	-1.097	1.4715
12	10/5/2550	89.2	370	0.37	-0.432	1.4298
13	10/5/2550	78.7	100	0.1	-1.000	1.4968
14	11/5/2550	78.3	70	0.07	-1.155	1.3981
15	3/6/2550	79.8	90	0.09	-1.046	1.4473
16	15/7/2550	78.9	70	0.07	-1.155	1.3852
17	17/7/2550	81.9	100	0.1	-1.000	1.4376
18	23/7/2550	83.7	140	0.14	-0.854	1.4607
19	23/7/2550	80.7	90	0.09	-1.046	1.4301
20	23/7/2550	86.5	50	0.05	-1.301	1.074
21	23/7/2550	76.9	70	0.07	-1.155	1.4288
22	9/8/2550	81.2	90	0.09	-1.046	1.4207
23	13/8/2550	84.5	340	0.34	-0.469	1.9149
24	16/9/2550	75.9	100	0.1	-1.000	1.5341
25	20/9/2550	65.5	100	0.1	-1.000	1.6944
26	24/9/2550	82.9	360	0.36	-0.444	2.0322
27	10/10/2550	77.9	60	0.06	-1.222	1.3505
28	10/10/2550	87.5	460	0.46	-0.337	1.6358
29	12/10/2550	11.1	70	0.07	-1.155	1.7908
30	12/10/2550	83.6	50	0.05	-1.301	1.1882
31	14/10/2550	70.6	100	0.1	-1.000	1.6631
32	15/10/2550	85.6	80	0.08	-1.097	1.2362
33	29/10/2550	87.3	210	0.21	-0.678	1.319
34	25/11/2550	89.2	210	0.21	-0.678	1.2038
35	25/11/2550	88.5	110	0.11	-0.959	1.1568
36	9/12/2550	88.1	500	0.5	-0.301	1.6124
37	22/12/2550	66.3	90	0.09	-1.046	1.6617
38	4/01/2551	71.1	90	0.09	-1.046	1.6276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน B

Event No.	Date	Factory B				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
1	19/4/2550	69.0	70	0.07	-1.155	1.5576
2	25/4/2550	86.5	45	0.045	-1.347	1.0605
3	27/4/2550	77.5	100	0.1	-1.000	1.5202
4	27/4/2550	89.1	40	0.04	-1.398	0.9244
5	11/6/2550	87.6	360	0.36	-0.444	1.5692
6	17/6/2550	89.1	160	0.16	-0.796	1.1897
7	21/6/2550	76.7	90	0.09	-1.046	1.5129
8	23/6/2550	74.3	80	0.08	-1.097	1.5282
9	30/6/2550	87.5	220	0.22	-0.658	1.3153
10	4/5/2550	88.0	70	0.07	-1.155	1.1145
11	6/5/2550	76.6	90	0.09	-1.046	1.5132
12	10/5/2550	88.4	610	0.61	-0.215	1.6506
13	10/5/2550	78.1	110	0.11	-0.959	1.5309
14	11/5/2550	77.6	70	0.07	-1.155	1.4134
15	16/5/2550	89.6	220	0.22	-0.658	1.1797
16	3/6/2550	79.3	100	0.1	-1.000	1.4854
17	3/6/2550	90.0	10	0.01	-2.000	0.4445
18	3/6/2550	89.11	630	0.63	-0.201	1.6121
19	15/7/2550	78.7	70	0.07	-1.155	1.3895
20	17/7/2550	81.7	110	0.11	-0.959	1.4655
21	23/7/2550	83.2	140	0.14	-0.854	1.4747
22	23/7/2550	80.2	90	0.09	-1.046	1.4396
23	23/7/2550	86.2	50	0.05	-1.301	1.0905
24	23/7/2550	76.7	70	0.07	-1.155	1.4335
25	9/8/2550	80.9	90	0.09	-1.046	1.4263
26	13/8/2550	83.6	550	0.55	-0.260	2.2627
27	16/9/1950	75.8	100	0.1	-1.000	1.5349
28	20/9/1950	65.8	100	0.1	-1.000	1.6927
29	24/9/1950	81.7	360	0.36	-0.444	2.0496
30	10/10/1950	78.0	60	0.06	-1.222	1.3483
31	10/10/1950	86.9	500	0.5	-0.301	1.7325
32	12/10/1950	11.2	70	0.07	-1.155	1.7908
33	12/10/1950	83.4	50	0.05	-1.301	1.1926
34	14/10/1950	70.5	100	0.1	-1.000	1.6637
35	15/10/1950	85.2	80	0.08	-1.097	1.2669
36	29/10/1950	89.3	210	0.21	-0.678	1.1974
37	25/11/2550	88.8	420	0.42	-0.377	1.5163
38	25/11/2550	88.0	110	0.11	-0.959	1.1756
39	9/12/2550	87.3	500	0.5	-0.301	1.6883
40	22/12/2550	66.2	90	0.09	-1.046	1.6623
41	4/01/2551	70.6	90	0.09	-1.046	1.6314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน C

Event No.	Date	Factory C				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
1	6/4/2550	78.3	50	0.05	-1.301	1.2878
2	8/4/2550	36.7	400	0.4	-0.398	2.5862
3	8/4/2550	32.2	320	0.32	-0.495	2.2679
4	11/4/2550	35.6	300	0.3	-0.523	2.178
5	26/4/2550	70.5	190	0.19	-0.721	1.7944
6	26/4/2550	74.4	230	0.23	-0.638	1.8371
7	30/4/2550	70.3	100	0.1	-1.000	1.6651
8	30/4/2550	85.6	20	0.02	-1.699	0.7844
9	30/4/2550	81.2	100	0.1	-1.000	1.4502
10	5/5/2550	31.2	340	0.34	-0.469	2.3852
11	6/5/2550	85.1	40	0.04	-1.398	1.1255
12	28/5/2550	80.4	60	0.06	-1.222	1.2973
13	17/6/2550	84.5	20	0.02	-1.699	0.8588
14	21/6/2550	53.1	340	0.34	-0.469	2.3136
15	23/6/2550	39.6	270	0.27	-0.569	2.0836
16	25/6/2550	77.2	20	0.02	-1.699	1.0122
17	27/6/2550	14.6	170	0.17	-0.770	2.0068
18	28/6/2550	10.2	150	0.15	-0.824	1.9617
19	5/7/2550	51.3	40	0.04	-1.398	1.5447
20	7/7/2550	84.5	40	0.04	-1.398	1.1403
21	7/7/2550	83.8	50	0.05	-1.301	1.1846
22	22/7/2550	80.3	20	0.02	-1.699	0.9435
23	30/7/2550	60.9	30	0.03	-1.523	1.4077
24	30/7/2550	35.8	330	0.33	-0.481	2.3136
25	20/9/2550	79.9	80	0.08	-1.097	1.4099
26	30/10/2550	89.8	10	0.01	-2.000	0.4501
27	20/11/2550	66.3	30	0.03	-1.523	1.3683
28	22/12/2550	89.0	10	0.01	-2.000	0.4719
29	29/12/2550	84.9	50	0.05	-1.301	1.1736
30	29/12/2550	61.7	370	0.37	-0.432	2.3748
31	31/12/2550	41.2	370	0.37	-0.432	2.4859
32	3/1/2551	87.9	120	0.12	-0.921	1.1932
33	21/1/2551	86.4	130	0.13	-0.886	1.2782
34	22/1/2551	83.6	200	0.2	-0.699	1.586
35	22/1/2551	86.7	150	0.15	-0.824	1.2883
36	3/2/2551	89.0	10	0.01	-2.000	0.4719
37	3/2/2551	79.4	20	0.02	-1.699	0.9584
38	3/2/2551	84.4	230	0.23	-0.638	1.6389
39	3/2/2551	77.0	80	0.08	-1.097	1.4715
40	24/2/2551	79.6	50	0.05	-1.301	1.2631
41	26/2/2551	51.5	290	0.29	-0.538	2.1363
42	4/3/2551	51.3	330	0.33	-0.481	2.278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน C (ต่อ)

Event No.	Date	Factory C				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
43	7/3/2551	87.7	30	0.03	-1.523	0.9251
44	11/3/2551	30.6	320	0.32	-0.495	2.2713
45	11/3/2551	89.4	10	0.01	-2.000	0.4611
46	15/3/2551	84.9	80	0.08	-1.097	1.2914
47	21/3/2551	70.6	30	0.03	-1.523	1.3364
48	23/3/2551	79.2	20	0.02	-1.699	0.9618
49	24/3/2551	88.8	40	0.04	-1.398	0.9351
50	25/3/2551	82.6	20	0.02	-1.699	0.9393



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน D

Event No.	Date	Factory D				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
1	10/4/2550	37.0	740	0.74	-0.131	2.7758
2	15/4/2550	87.3	20	0.02	-1.699	0.7473
3	15/4/2550	87.8	50	0.05	-1.301	1.0289
4	16/4/2550	82.6	70	0.07	-1.155	1.314
5	18/4/2550	73.9	120	0.12	-0.921	1.6116
6	20/4/2550	75.7	60	0.06	-1.222	1.3937
7	21/4/2550	88.1	320	0.32	-0.495	1.4182
8	25/4/2550	67.2	30	0.03	-1.523	1.366
9	25/4/2550	52.6	530	0.53	-0.276	2.6264
10	26/4/2550	39.9	560	0.56	-0.252	2.7432
11	26/4/2550	59.1	460	0.46	-0.337	2.5168
12	28/4/2550	88.8	10	0.01	-2.000	0.4772
13	5/5/2550	82.8	360	0.36	-0.444	2.0334
14	9/5/2550	65.4	100	0.1	-1.000	1.695
15	10/5/2550	15.1	70	0.07	-1.155	1.7908
16	10/5/2550	33.4	440	0.44	-0.357	2.6701
17	12/5/2550	83.9	60	0.06	-1.222	1.2309
18	22/5/2550	62.0	530	0.53	-0.276	2.5627
19	22/5/2550	61.0	520	0.52	-0.284	2.5597
20	26/5/2550	72.5	30	0.03	-1.523	1.3192
21	28/5/2550	82.1	530	0.53	-0.276	2.2951
22	28/5/2550	40.1	710	0.71	-0.149	2.7569
23	30/5/2550	77.4	840	0.84	-0.076	2.4907
24	9/6/2550	78.3	380	0.38	-0.420	2.1728
25	12/6/2550	83.1	100	0.1	-1.000	1.4172
26	16/6/2550	73.3	30	0.03	-1.523	1.3097
27	"	83.4	50	0.05	-1.301	1.1926
28	20/6/2550	28.7	200	0.2	-0.699	2.037
29	24/6/2550	75.8	980	0.98	-0.009	2.5894
30	25/6/2550	33.3	220	0.22	-0.658	2.0138
31	28/6/2550	44.1	190	0.19	-0.721	1.9532
32	3/7/2550	89.0	20	0.02	-1.699	0.7211
33	4/7/2550	34.0	580	0.58	-0.237	2.7561
34	5/7/2550	80.6	620	0.62	-0.208	2.3646
35	"	46.0	470	0.47	-0.328	2.6483
36	9/7/2550	85.8	330	0.33	-0.481	1.6703
37	"	44.2	420	0.42	-0.377	2.5879
38	"	89.7	10	0.01	-2.000	0.4529
39	14/8/2550	74.8	450	0.45	-0.347	2.3387
40	16/8/2550	88.2	10	0.01	-2.000	0.4928
41	18/8/2550	87.7	50	0.05	-1.301	1.0328
42	24/8/2550	82.8	60	0.06	-1.222	1.2517

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน D (ต่อ)

Event No.	Date	Factory D				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
43	"	86.7	160	0.16	-0.796	1.3016
44	31/8/2550	11.4	60	0.06	-1.222	1.756
45	"	78.5	840	0.84	-0.076	2.4575
46	1/9/2550	79.0	30	0.03	-1.523	1.1527
47	"	88.9	530	0.53	-0.276	1.5709
48	8/9/2550	77.5	600	0.6	-0.222	2.3966
49	11/9/2550	50.4	870	0.87	-0.060	2.8027
50	12/9/2550	89.6	590	0.59	-0.229	1.5606
51	"	85.6	490	0.49	-0.310	1.9524
52	13/9/2550	89.9	80	0.08	-1.097	1.071
53	27/9/2550	81.9	10	0.01	-2.000	0.6221
54	"	74.8	640	0.64	-0.194	2.4968
55	30/9/2550	45.8	460	0.46	-0.337	2.6382
56	"	71.4	100	0.1	-1.000	1.6577
57	12/10/2550	75.6	640	0.64	-0.194	2.4657
58	"	50.0	430	0.43	-0.367	2.5795
59	15/10/2550	51.0	470	0.47	-0.328	2.5942
60	"	87.2	20	0.02	-1.699	0.7492
61	"	35.0	360	0.36	-0.444	2.4818
62	"	88.0	290	0.29	-0.538	1.3595
63	"	85.5	20	0.02	-1.699	0.7875
64	"	54.0	490	0.49	-0.310	2.582
65	16/10/2550	87.1	10	0.01	-2.000	0.5195
66	"	64.2	420	0.42	-0.377	2.4471
67	25/10/2550	68.1	740	0.74	-0.131	2.6152
68	30/10/2550	73.9	570	0.57	-0.244	2.4753
69	31/10/2550	89.3	10	0.01	-2.000	0.4638
70	5/11/2550	89.4	10	0.01	-2.000	0.4611
71	5/11/2550	89.4	10	0.01	-2.000	0.4611
72	18/11/2550	82.3	20	0.02	-1.699	0.937
73	19/11/2550	66.3	630	0.63	-0.201	2.5956
74	23/11/2550	87.0	430	0.43	-0.367	1.6579
75	2/12/2550	85.8	40	0.04	-1.398	1.0823
76	24/12/2550	81.1	30	0.03	-1.523	1.1306
77	"	73.1	60	0.06	-1.222	1.4482
78	25/12/2550	89.9	10	0.01	-2.000	0.4473
79	27/12/2550	64.7	80	0.08	-1.097	1.6388
80	"	80.9	20	0.02	-1.699	0.9339
81	29/12/2550	79.6	20	0.02	-1.699	0.9551
82	2/1/2551	83.3	40	0.04	-1.398	1.1556
83	8/1/2551	76.5	980	0.98	-0.009	2.5536
84	13/1/2551	50.4	30	0.03	-1.523	1.4856

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน D (ต่อ)

Event No.	Date	Factory D				Fuzzy Voltage Sag index
		Residual Volt (%)	Duration (ms)	Duration (s)	Take Log (s)	
85	14/1/2551	88.8	20	0.02	-1.699	0.7231
86	20/1/2551	78.7	50	0.05	-1.301	1.2802
87	1/2/2551	42.3	700	0.7	-0.155	2.7496
88	6/2/2551	77.8	30	0.03	-1.523	1.1761
89	11/2/2551	87.1	50	0.05	-1.301	1.0543
90	19/2/2551	88.4	10	0.01	-2.000	0.4877
91	"	86.1	20	0.02	-1.699	0.7708
92	20/2/2551	34.9	140	0.14	-0.854	1.9383
93	23/2/2551	25.0	170	0.17	-0.770	2.0068
94	25/2/2551	81.3	130	0.13	-0.886	1.5109
95	29/02/2551	66.7	470	0.47	-0.328	2.4964
96	1/3/2551	89.5	30	0.03	-1.523	0.8718
97	"	69.7	230	0.23	-0.638	1.86
98	20/3/2551	86.9	50	0.05	-1.301	1.059
99	22/3/2551	47.3	390	0.39	-0.409	2.5143
100	"	87.0	50	0.05	-1.301	1.0566
101	31/3/2551	56.9	410	0.41	-0.387	2.4684
102	"	78.0	640	0.64	-0.194	2.4062
103	"	88.1	20	0.02	-1.699	0.7312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ข้อมูลเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์ ที่พิกัด 77% , 60 ms

No.	Log of Normalized Duration	Log of Duration	Duration (s)	Magnitude (%)	output of fuzzy
1	-0.014	-0.028	0.938	75.950	2.573
2	-0.041	-0.083	0.826	75.950	2.5394
3	-0.069	-0.138	0.728	75.950	2.4982
4	-0.097	-0.193	0.641	75.950	2.4543
5	-0.124	-0.249	0.564	75.950	2.4066
6	-0.152	-0.304	0.497	75.950	2.3564
7	-0.180	-0.359	0.437	75.950	2.3084
8	-0.207	-0.414	0.385	75.950	2.2447
9	-0.235	-0.470	0.339	75.950	2.0638
10	-0.262	-0.525	0.299	75.950	1.8796
11	-0.290	-0.580	0.263	75.950	1.8222
12	-0.318	-0.635	0.232	75.950	1.7647
13	-0.345	-0.690	0.204	75.950	1.7145
14	-0.373	-0.746	0.180	75.950	1.6697
15	-0.400	-0.801	0.158	75.950	1.6307
16	-0.428	-0.856	0.139	75.950	1.5959
17	-0.456	-0.911	0.123	75.950	1.5662
18	-0.483	-0.967	0.108	75.950	1.5462
19	-0.511	-1.022	0.095	75.950	1.5252
20	-0.539	-1.077	0.084	75.950	1.5027
21	-0.566	-1.132	0.074	75.950	1.4737
22	-0.594	-1.188	0.065	75.950	1.4222
23	-0.611	-1.222	0.060	75.950	1.388
24	-0.611	-1.222	0.060	73.188	1.447
25	-0.611	-1.222	0.060	70.426	1.4819
26	-0.611	-1.222	0.060	67.664	1.5135
27	-0.611	-1.222	0.060	64.902	1.5418
28	-0.611	-1.222	0.060	62.141	1.562
29	-0.611	-1.222	0.060	59.379	1.5817
30	-0.611	-1.222	0.060	56.617	1.608
31	-0.611	-1.222	0.060	53.855	1.6169
32	-0.611	-1.222	0.060	51.093	1.6262
33	-0.611	-1.222	0.060	48.332	1.636
34	-0.611	-1.222	0.060	45.570	1.6464
35	-0.611	-1.222	0.060	42.808	1.6573
36	-0.611	-1.222	0.060	40.046	1.6687
37	-0.611	-1.222	0.060	37.284	1.6809
38	-0.611	-1.222	0.060	34.523	1.6937
39	-0.611	-1.222	0.060	31.761	1.7073
40	-0.611	-1.222	0.060	28.999	1.7218
41	-0.611	-1.222	0.060	26.237	1.7372
42	-0.611	-1.222	0.060	23.475	1.756
43	-0.611	-1.222	0.060	20.714	1.756
44	-0.611	-1.222	0.060	17.952	1.756
45	-0.611	-1.222	0.060	15.190	1.756
46	-0.611	-1.222	0.060	12.428	1.756
47	-0.611	-1.222	0.060	9.666	1.756
48	-0.611	-1.222	0.060	6.905	1.756
49	-0.611	-1.222	0.060	4.143	1.756
50	-0.611	-1.222	0.060	1.381	1.756

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ข้อมูลเส้นโค้งความทนทานแรงดันของ SEMI F47

No.	Log of Normalized Duration	Log of Duration	Duration (s)	Magnitude (%)	output of fuzzy
1	0.242	0.654	4.508	79	3.117
2	0.209	0.564	3.663	79	2.982
3	0.176	0.474	2.977	79	2.837
4	0.142	0.384	2.419	79	2.783
5	0.109	0.294	1.966	79	2.746
6	0.075	0.203	1.598	79	2.700
7	0.042	0.113	1.298	79	2.619
8	0.009	0.023	1.055	79	2.525
9	-0.025	-0.067	0.857	79	2.457
10	-0.058	-0.157	0.697	79	2.411
11	-0.092	-0.247	0.566	79	2.361
12	-0.125	-0.337	0.460	79	2.282
13	-0.125	-0.337	0.460	76	2.327
14	-0.125	-0.337	0.460	72	2.458
15	-0.125	-0.337	0.460	69	2.478
16	-0.158	-0.427	0.374	69	2.328
17	-0.192	-0.517	0.304	69	2.052
18	-0.225	-0.608	0.247	69	1.899
19	-0.258	-0.698	0.201	69	1.817
20	-0.259	-0.699	0.200	66	1.838
21	-0.259	-0.699	0.200	62	1.871
22	-0.259	-0.699	0.200	59	1.917
23	-0.259	-0.699	0.200	56	1.953
24	-0.259	-0.699	0.200	52	1.962
25	-0.259	-0.699	0.200	49	1.966
26	-0.292	-0.789	0.163	49	1.897
27	-0.326	-0.879	0.132	49	1.842
28	-0.359	-0.969	0.107	49	1.814
29	-0.392	-1.059	0.087	49	1.776
30	-0.426	-1.149	0.071	49	1.701
31	-0.459	-1.240	0.058	49	1.622
32	-0.493	-1.330	0.047	49	1.569
33	-0.526	-1.420	0.038	49	1.537
34	-0.559	-1.510	0.031	49	1.498
35	-0.593	-1.600	0.025	49	1.438
36	-0.626	-1.690	0.020	49	1.351
37	-0.629	-1.699	0.020	45	1.338
38	-0.629	-1.699	0.020	42	1.352
39	-0.629	-1.699	0.020	38	1.371
40	-0.629	-1.699	0.020	35	1.386
41	-0.629	-1.699	0.020	32	1.402
42	-0.629	-1.699	0.020	28	1.399
43	-0.629	-1.699	0.020	25	1.390
44	-0.629	-1.699	0.020	22	1.390
45	-0.629	-1.699	0.020	18	1.390
46	-0.629	-1.699	0.020	15	1.390
47	-0.629	-1.699	0.020	12	1.390
48	-0.629	-1.699	0.020	8	1.390
49	-0.629	-1.699	0.020	5	1.390
50	-0.629	-1.699	0.020	2	1.390

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าพื้นที่ เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบไวบูล และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล

Disturbance Level (Fuzzy Voltage Sag Index)	H	G2	SUM	G1
0.00	0	1		0
0.06	0	1	0.0000	0
0.12	0	1	0.0000	0
0.18	0	1	0.0000	0
0.24	0	1	0.0000	0
0.3	0.0001	1	0.0001	0
0.36	0.0002	1	0.0001	0
0.42	0.0005	1	0.0003	0
0.48	0.0011	1	0.0006	0
0.54	0.0022	1	0.0011	0
0.6	0.0042	1	0.0020	0
0.66	0.0073	1	0.0031	0
0.72	0.0123	1	0.0050	0
0.78	0.0196	1	0.0073	0
0.84	0.0302	1	0.0106	0
0.9	0.0451	1	0.0149	0
0.96	0.0653	0.9999	0.0202	0.0001
1.02	0.0921	0.9996	0.0268	0.0004
1.08	0.1267	0.9987	0.0346	0.0013
1.14	0.1702	0.9964	0.0434	0.0036
1.2	0.2232	0.991	0.0527	0.009
1.26	0.2861	0.9803	0.0620	0.0197
1.32	0.3583	0.9617	0.0701	0.0383
1.38	0.4384	0.9324	0.0759	0.0676
1.44	0.5239	0.8904	0.0779	0.1096
1.5	0.6112	0.835	0.0753	0.165
1.56	0.6961	0.7673	0.0680	0.2327
1.62	0.7743	0.6896	0.0570	0.3104
1.68	0.8421	0.6057	0.0439	0.3943
1.74	0.8968	0.5198	0.0308	0.4802
1.8	0.9376	0.4359	0.0195	0.5641
1.86	0.9656	0.3573	0.0111	0.6427
1.92	0.9828	0.2866	0.0055	0.7134
1.98	0.9924	0.2251	0.0025	0.7749
2.04	0.997	0.1733	0.0009	0.8267
2.1	0.999	0.131	0.0003	0.869
2.16	0.9997	0.0973	0.0001	0.9027
2.22	0.9999	0.0711	0.0000	0.9289
2.28	1	0.0511	0.0000	0.9489
2.34	1	0.0363	0.0000	0.9637
2.4	1	0.0254	0.0000	0.9746
2.46	1	0.0175	0.0000	0.9825
2.52	1	0.012	0.0000	0.988
2.58	1	0.0081	0.0000	0.9919

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าพื้นที่ เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบไวบูล และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบล็อกนอร์มอล (ต่อ)

Disturbance Level (Fuzzy Voltage Sag Index)	H	G2	SUM	G1
2.64	1	0.0054	0.0000	0.9946
2.7	1	0.0036	0.0000	0.9964
2.76	1	0.0024	0.0000	0.9976
2.82	1	0.0015	0.0000	0.9985
2.88	1	0.001	0.0000	0.9990
2.94	1	0.0006	0.0000	0.9994
3	1	0.0004	0.0000	0.9996



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ ด้วยวิธีการคำนวณค่าพื้นที่เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบ นันพารามตริก และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบ นันพารามตริก

Disturbance Level (Fuzzy Voltage Sag Index)	H	G2	SUM	G1
0.00	0	1		0
0.06	0	1	0.0000	0
0.12	0	1	0.0000	0
0.18	0	1	0.0000	0
0.24	0	1	0.0000	0
0.3	0	1	0.0000	0
0.36	0.0002	1	0.0002	0
0.42	0.0005	1	0.0003	0
0.48	0.0013	1	0.0008	0
0.54	0.0029	1	0.0016	0
0.6	0.0058	1	0.0029	0
0.66	0.0103	1	0.0045	0
0.72	0.0166	1	0.0063	0
0.78	0.0252	1	0.0086	0
0.84	0.0373	1	0.0121	0
0.9	0.0542	1	0.0169	0
0.96	0.0772	1	0.0230	0
1.02	0.1068	1	0.0296	0
1.08	0.1428	1	0.0360	0
1.14	0.1849	1	0.0421	0
1.2	0.2337	0.9999	0.0488	0.0001
1.26	0.2908	0.9989	0.0571	0.0011
1.32	0.3586	0.9937	0.0675	0.0063
1.38	0.4377	0.9761	0.0779	0.0239
1.44	0.5254	0.9367	0.0839	0.0633
1.5	0.6155	0.8704	0.0814	0.1296
1.56	0.7007	0.7778	0.0702	0.2222
1.62	0.7747	0.6631	0.0533	0.3369
1.68	0.8346	0.5311	0.0358	0.4689
1.74	0.8805	0.3932	0.0212	0.6068
1.8	0.9142	0.2798	0.0113	0.7202
1.86	0.9387	0.2152	0.0061	0.7848
1.92	0.9567	0.1893	0.0036	0.8107
1.98	0.9704	0.1796	0.0025	0.8204
2.04	0.9809	0.1728	0.0019	0.8272
2.1	0.9887	0.1657	0.0013	0.8343
2.16	0.994	0.159	0.0009	0.841
2.22	0.9971	0.1503	0.0005	0.8497
2.28	0.9988	0.1356	0.0002	0.8644
2.34	0.9996	0.1153	0.0001	0.8847
2.4	0.9999	0.0916	0.0000	0.9084
2.46	1	0.066	0.0000	0.934
2.52	1	0.0401	0.0000	0.9599
2.58	1	0.0183	0.0000	0.9817

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 แสดงการคำนวณความเชื่อถือได้ ด้วยวิธีการคำนวณค่าพื้นที่เมื่อ H คือ ระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบ นันพารามตริก และ G คือ ระดับความทนทานของอินเวอร์เตอร์ในโรงงาน A ที่มีการแจกแจงแบบ นันพารามตริก (ต่อ)

Disturbance Level (Fuzzy Voltage Sag Index)	H	G2	SUM	G1
2.64	1	0.0055	0.0000	0.9945
2.7	1	0.0010	0.0000	0.9990
2.76	1	1E-04	0.0000	0.9999
2.82	1	0	0.0000	1
2.88	1	0	0.0000	1
2.94	1	0	0.0000	1
3	1	0	0.0000	1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. ศรารุช โรจนสโรช และ สมภพ ผลไม้, “การประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์อันเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยพิจารณาจากระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 19, ฉบับที่ 1, มกราคม - เมษายน, หน้า 55-65



วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

THE JOURNAL OF KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

ISSN 0857-684X

ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2552

Vol. 19, No. 1, January - April, 2009

❖ ความสัมพันธ์ของผลกษัตริย์ต่อความสำเร็จในการดำเนินงานของ คณาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	73
❖ ความสัมพันธ์ระหว่างศักยภาพของอาจารย์ประจำภาคศึกษา กับงานด้านพันธกิจของอาจารย์ ระดับอุดมศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏ บึงกาฬ เกษสาคร	80
❖ การหาองค์ความรู้และการจัดสร้างสื่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง ด้านการประคบหลังงานในระบบนิเวศน์ สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย วัฒน์ สงวนพงษ์, ญาณาด ฉำพงษ์เหนือ, กัดดา อุบลทิพย์ และ เกียรติ คุปต์รัตน์	90
❖ การออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ ทองพูล ธีรโรจน์ และ กฤตยา ทองผาสุย	100
บทความวิชาการ	
❖ Sliding Plate Rheometer and Its Applications <i>Chanyut Kolitawong and A. J. Giacomini</i>	109
❖ การบริหารคุณภาพคู่ใหม่กับคาร์บอนเครดิต <i>อุบลรัตน์ หวังรักษาศิลากุล</i>	116
❖ หลักการเก็บตัวอย่างดินและการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อการทดสอบเครื่องจักรกลเกษตรในแปลงทดลอง <i>บัณฑิต สุขสวัสดิ์</i>	124

www.kmutnb-journal.net

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์อื่นเนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้าตก ชั่วขณะโดยพิจารณาจากระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ Estimation of Equipment Disruptions due to Voltage Sags by Considering Compatibility between Power System and Equipment

ศราวุธ โรจนสโรช¹ และ สมภพ ผลไม้*²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวความคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้ากำลังกับอุปกรณ์ ซึ่งถูกนำเสนอใน IEC 61000-3-7 โดยนำมาประยุกต์ใช้กับการพิจารณาการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์ เนื่องจากการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยกำหนดตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ให้เป็นระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า โดยที่ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จะใช้การคำนวณด้วยพีชชีลอจิก ซึ่งมีข้อมูลอินพุตเป็นขนาดของแรงดันและช่วงเวลาของแต่ละเหตุการณ์ของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ และหาระดับภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์จากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์โดยการสุ่มตัวอย่างของเส้นโค้งมาเป็นข้อมูลขนาดแรงดันและเวลาแล้วนำไปคำนวณด้วยพีชชีลอจิกแบบเดียวกัน เมื่อนำค่าระดับการรบกวนของระบบและระดับภูมิคุ้มกันมาแจกแจงและพล็อตร่วมกัน จะทำให้เห็นภาพของระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในแง่ของคุณภาพไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังนำเสนอการประมาณ

หาจำนวนครั้งที่อุปกรณ์จะได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จากข้อมูลความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ ด้วยการคำนวณตามหลักความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ โดยนำเสนอตัวอย่างการคำนวณของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี

คำสำคัญ: ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ระดับความเข้ากันได้ ระดับการรบกวนของระบบ ระดับความทนทานของอุปกรณ์ ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี เส้นโค้งความทนทานแรงดัน

Abstract

This paper presents estimation of equipment disruption due to voltage sag in power system by utilizing the concept of compatibility level between power system and equipment presented in IEC 61000-3-7. A new voltage sag index calculated from the magnitude and duration of each voltage sag

- ¹ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. 0-2737-3000 ต่อ 3515 E-mail : kpsompob@kmit.ac.th

รับเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2551 ตอรับเมื่อ 8 มกราคม 2552



event based on fuzzy logic technique is use as the system disturbance level. The equipment immunity level is obtained from the sampled voltage tolerance curve and calculated using the same technique as the system disturbance level. The densities of these two quantities are plotted together to project the compatibility level between power system. This paper also presents the prediction of the frequency of disruption of the equipment due to voltage sag event using the compatibility level data and reliability calculation of equipment. A case of a factory in Chonburi is presented as an example.

Keywords: Voltage Sag Index, Compatibility Level, System Disturbance Level, Equipment Immunity Level, Fuzzy Voltage Sag Index, Voltage Tolerance Curve

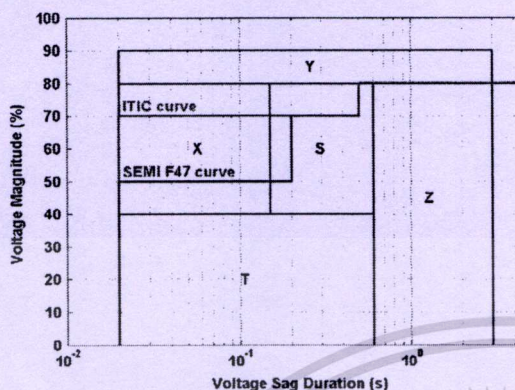
1. บทนำ

แนวความคิดเกี่ยวกับการอธิบายสภาพปัญหาคุณภาพไฟฟ้าโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ทำให้เกิดการนำเสนอตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะขึ้นมาหลายตัวชี้วัดด้วยกัน โดยขึ้นอยู่กับความสนใจของกลุ่มผู้นำเสนอค่าตัวชี้วัดนั้น เช่น การจำแนกเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ตามตารางของ ESKOM ซึ่งนำเสนอโดย The South African Utility [1] มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกตำแหน่งของความผิดปกติ (Fault) ที่เป็นต้นเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ในส่วนของผู้ใช้ไฟได้มีการนำเสนอมาตรฐานของความสามารถในการทนทานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของต่างๆ เช่นมาตรฐานความทนทานแรงดันของอุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ (ITIC Curve) และความสามารถในการทนทานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของอุปกรณ์ผลิตสารกึ่งตัวนำ (SEMI-F47) โดยแสดงเป็นเส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงดันและช่วงเวลาที่อุปกรณ์ต้องสามารถทำงานได้อย่างปกติ [2]

นอกจากนี้ยังได้นำเสนอค่าตัวชี้วัดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ทั้งในระดับเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ และในระดับภาพรวมของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยอาศัยค่าแรงดันคงเหลือ (Retained Voltage) และช่วงเวลาของเหตุการณ์ เช่น ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Energy Index) ค่าตัวชี้วัดการสูญหายพลังงาน (Lost of Energy Index) และตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Severity Index) ค่าตัวชี้วัดต่างๆ เหล่านี้สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบระหว่างเหตุการณ์หรือระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังได้ เพื่อแสดงระดับความรุนแรงของปัญหาคุณภาพไฟฟ้า [3]

อย่างไรก็ตามค่าตัวชี้วัดเหล่านี้ยังไม่ได้ถูกนำไปใช้อธิบายความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้า อันเนื่องจากระดับความรุนแรงของปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่วิเคราะห์ได้ กล่าวคือ การวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นมักถูกพิจารณาจากการเปรียบเทียบขนาดและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์กับเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ (Voltage Tolerance Curve) ซึ่งหากมีเหตุการณ์ใดที่มีพิกัดต่ำกว่า เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ ก็จะต้องว่าอุปกรณ์นั้นได้รับความเสียหาย จึงไม่ได้ใช้ประโยชน์จากค่าตัวชี้วัดต่างๆ ที่ถูกนำเสนอมา

ในบทความนี้ ใช้แนวความคิดเรื่องระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้ากำลังกับอุปกรณ์ (Compatibility Level) ซึ่งถูกนำเสนอใน IEC 61000-3-7 [4] มาประยุกต์โดยเสนอตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในรูปของระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level) โดยใช้ขนาดและช่วงเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของแต่ละเหตุการณ์เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณ และใช้การคำนวณค่าระดับการรบกวนด้วยฟัซซีลอจิก เพื่อจัดปัญหาความไม่แน่นอนในการกำหนดระดับความรุนแรงของการคำนวณค่าตัวชี้วัดแบบเดิม ซึ่งเรียกตัวชี้วัดนี้ว่า ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟัซซี (Fuzzy Voltage Sag Index)



รูปที่ 1 มาตรฐาน ITIC, SEMI F47 และ ESKOM

ในการทำงานเดียวกันก็หาระดับภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์ (Equipment Immunity Level) จากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ (Voltage Tolerance Curve) โดยใช้การสุ่มตัวอย่างเส้นโค้ง และคำนวณเช่นเดียวกับตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีซีซี

เมื่อนำค่าระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า และระดับภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์ มาพล็อตแจกแจงร่วมกันก็จะทำให้เห็นภาพของระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ในแง่ของคุณภาพไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) ของอุปกรณ์ต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบได้โดยใช้หลักการเดียวกับหลักการคำนวณความเชื่อถือได้

2. ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Index)

ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เหมาะสมจะเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ช่วยประเมินสถานะของระบบให้ชัดเจน มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะนั้นมีอยู่หลายมาตรฐานด้วยกัน แต่ในที่นี้จะยกตัวอย่าง 3 มาตรฐาน คือ ESKOM, ITIC และ SEMI F47 [1], [2]

มาตรฐานในการแบ่งแยกประเภทของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ESKOM โดยการไฟฟ้าของประเทศ

อาฟริกาใต้ (The South African Utility) ได้แบ่งประเภทของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะออกเป็น 5 ชนิดคือ X, Y, S, T และ Z ซึ่งเป็นการจำแนกชนิดของเหตุการณ์ตามตำแหน่งของความผิดพลาดและโครงสร้างของระบบป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยหากพบว่ามีเหตุการณ์ชนิดใดเกิดขึ้นมาก ก็อาจพิจารณาปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลังที่ส่วนนั้นก่อนเพื่อลดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าของระบบลงเป็นต้น

เส้นโค้ง ITIC (Information Technology Industry Council: ITIC) และเส้นโค้ง SEMI F47 (Semiconductor Equipment and Materials International: SEMI) เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดยกลุ่มอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศ และกลุ่มอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำตามลำดับ เพื่อกำหนดให้อุปกรณ์สื่อสารและคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำต้องมีความสามารถทำงานได้ตามปกติสำหรับเหตุการณ์ที่สูงกว่าเส้นโค้งนั้นๆ

เอกสารร่างมาตรฐาน IEEE P1564 [5] ได้รวบรวมการหาค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบต่างๆ ซึ่งคำนวณจากค่าแรงดันคงเหลือ และช่วงเวลาของเหตุการณ์ ได้แก่ ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Energy Index) ค่าตัวชี้วัดการสูญเสียพลังงาน (Lost of Energy Index) และตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Severity Index)

ค่าตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ในแต่ละเหตุการณ์ S_c ได้ดังนี้

$$S_c = \frac{1-V}{1-V_{curve}(d)} \quad (1)$$

โดยที่ V คือแรงดันคงเหลือ และ d คือช่วงเวลาของเหตุการณ์ $V_{curve}(d)$ คือค่าแรงดันตามช่วงเวลา d ของเส้นโค้งความทนทานแรงดันตามมาตรฐานที่พิจารณาเช่น SEMI F47 เป็นต้น

ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ถูก



กำหนดตามสมมุติฐานของการขาดหายของพลังงานหรือแรงดันไฟฟ้าในระหว่างที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยสามารถคำนวณจากขนาดของแรงดันคงเหลือ V และช่วงเวลา T ได้ดังนี้

$$E_{FS} = \left[1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right] \times T \quad (2)$$

ส่วนค่าดัชนีการสูญหายของพลังงาน (Lost of Energy Index) สามารถคำนวณได้จากสมการ

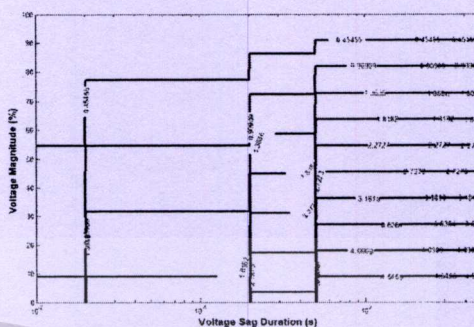
$$W = (1 - V_{p.u.})^{3.14} \times T \quad (3)$$

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของทั้ง 3 อินดิเคซ์ จึงนำมาพล็อต โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 2-4 ตามลำดับ

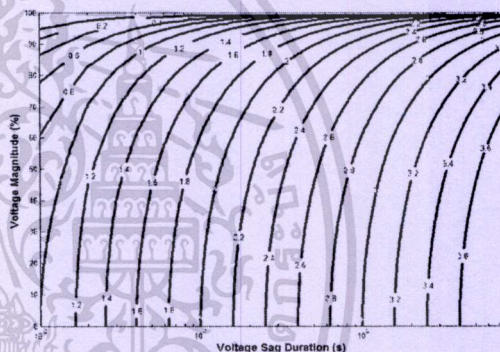
จากคอนทัวร์ของตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในรูปที่ 2 เหตุการณ์ที่มีค่าตัวชี้วัดมากกว่า 1.0 อุปกรณ์ที่ผลิตตามมาตรฐาน SEMI F47 จะได้รับความเสียหาย อย่างไรก็ตามสำหรับอุปกรณ์ผลิตตามมาตรฐานอื่น ก็อาจใช้เส้นโค้งความทนทานแรงดันมาแทน $V_{curve}(d)$ ในสมการที่ (1) ได้เช่นกัน ซึ่งถ้าเหตุการณ์นั้นเกิดขึ้นในบริเวณที่จะทำให้อุปกรณ์ได้รับผลกระทบ ค่าที่ได้จะมากกว่า 1.0 ส่วนรูปที่ 3 ตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและรูปที่ 4 ค่าตัวชี้วัดความสูญเสียพลังงาน คอนทัวร์ของค่าตัวชี้วัดจะมีความต่อเนื่อง แต่มุ่งอธิบายคุณลักษณะของเหตุการณ์นั้นๆ เท่านั้นไม่มีความเกี่ยวข้องกับการอธิบายการได้รับความเสียหายของอุปกรณ์ ดังเช่นกรณีของค่าตัวชี้วัดความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

3. ระดับความเข้ากันได้

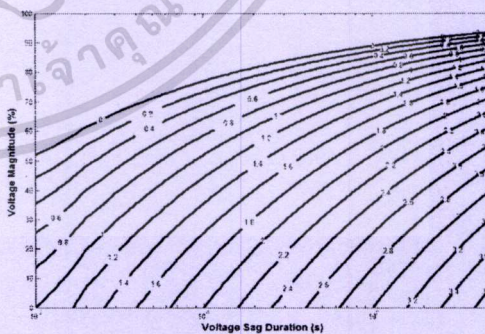
ระดับความเข้ากันได้ของระบบ (System Compatibility Level) คือความเข้ากันได้ระหว่างระบบไฟฟ้ากับอุปกรณ์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 [4] ในกรณีของ



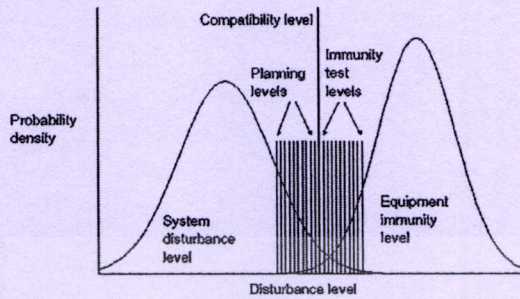
รูปที่ 2 คอนทัวร์ของตัวชี้วัดความรุนแรงแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โดยใช้ $V_{curve}(d)$ ของ SEMI F47



รูปที่ 3 คอนทัวร์ของตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ



รูปที่ 4 คอนทัวร์ของตัวชี้วัดการสูญเสียพลังงาน

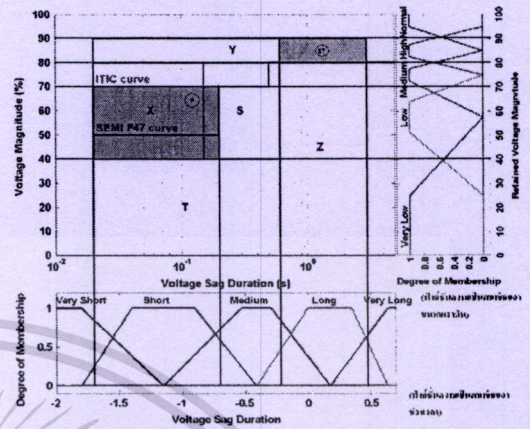


รูปที่ 5 แนวคิดพื้นฐานของ ระดับความเข้ากันได้

ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ จะกำหนดระดับการรบกวน (Disturbance Level) จากค่าแรงดันคงเหลือและช่วงเวลาของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ระดับการรบกวนในระบบไฟฟ้า (System Disturbance Level) จะหมายถึงภาพรวมระดับความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ณ จุดที่สนใจศึกษาในช่วงเวลาหนึ่งซึ่งแสดงด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า ส่วนระดับภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์ (Equipment Immunity Level) จะหมายถึงความสามารถของอุปกรณ์ในการทำงานได้อย่างปกติขณะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยสามารถพิจารณาจากเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ (Voltage Tolerance Curve)

4. ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี

เพื่อจัดปัญหาเรื่องความไม่แน่นอน ในการกำหนดขอบเขตระดับความรุนแรง ทั้งในแง่ของแรงดันและช่วงเวลา ซึ่งใช้แตกต่างกันไปในแต่ละตัวชี้วัดข้างต้น จึงมีการนำเสนอ ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี [5] โดยนำเอาตาราง ESKOM, ITIC และ SEMI F47 มาเป็นแนวทางในการกำหนดอินพุตของฟังก์ชันเซต โดยใน [5] นำเสนอสำหรับระบบไฟฟ้า 60 Hz แต่ในบทความนี้จะทำการปรับปรุงให้เหมาะกับระบบไฟฟ้า 50 Hz โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ



รูปที่ 6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรอินพุต

4.1 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรอินพุต

จากรูปที่ 6 เป็นการกำหนดค่าตัวแปรอินพุตของฟังก์ชันเซตโดยใช้ ขนาดของแรงดันคงเหลือและช่วงเวลา โดยแบ่งระดับของแต่ละอินพุตออกเป็น 5 ระดับดังนี้
ขนาดแรงดันคงเหลือ (Retained Voltage Magnitude) ถูกแบ่งเป็น 5 ระดับซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ESKOM, ITIC และ SEMI F47 โดยมีจุดพิกัด (แรงดัน, ค่าความเป็นสมาชิก) ของมุมของสี่เหลี่ยมคางหมู ตามตารางที่ 1 และ รูปที่ 6

ตารางที่ 1 ตัวแปรอินพุตแรงดันคงเหลือ

Level	(Retained Voltage Magnitude, Membership) Coordinate			
Very Low	-	(0, 1)	(25, 1)	(57.5, 0)
Low	(25, 0)	(51.25, 1)	(63.75, 1)	(75, 0)
Medium	(57.5, 0)	(72.5, 1)	(77.5, 1)	(85, 0)
High	(75, 0)	(82.2, 1)	(87.2, 1)	(94.7, 0)
Near Normal	(85, 0)	(95, 1)	(100, 1)	-

ช่วงเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Duration) ถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับโดยมีจุดพิกัด



(ล็อกการิทึมของเวลา, ค่าความเป็นสมาชิก) ของมุมของสี่เหลี่ยมคางหมู ตามตารางที่ 2 และรูปที่ 6

ตารางที่ 2 ตัวแปรอินพุตช่วงเวลาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

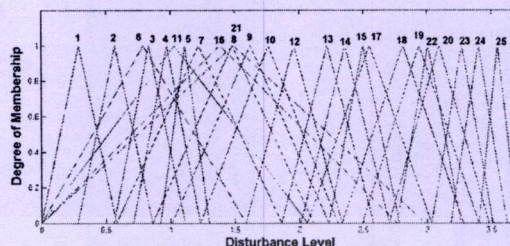
Level	(Logarithm of Voltage Sag Duration, Membership) Coordinate			
Very Short	-	(-2 , 1)	(-1.824 , 1)	(-1.097 , 0)
Short	(-1.824 , 0)	(-1.398 , 1)	(-0.854 , 1)	(-0.337 , 0)
Medium	(-1.097 , 0)	(-0.468 , 1)	(-0.284 , 1)	(0.204 , 0)
Long	(-0.337 , 0)	(-0.0334 , 1)	(0.38 , 1)	(0.681 , 0)
Very Long	(0.204 , 0)	(0.681 , 1)	(0.845 , 1)	-

4.2 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุต

จากรูปที่ 6 จะได้กฎ IF-THEN =5X5=5² รวม 25 กฎ ดังตารางที่ 3 การกำหนด ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุตสำหรับทั้ง 25 กฎจะใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมโดยกำหนดจุดเริ่มต้น จุดสิ้นสุด และจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยม โดยใช้ค่าตัวชี้วัดพลังงานแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของหน้าต่าง (แรงดัน, ช่วงเวลา) ของกฎต่างๆ มาคำนวณ ตารางที่ 4 แสดงหน้าต่าง (แรงดัน, ช่วงเวลา) ของกฎต่างๆ โดยแสดงเป็นจุดมุมบนซ้าย (Top Left) และมุมล่างขวา (Bottom Right) ของแต่ละกฎ ตัวอย่างเช่นในกฎที่ 17 ดังปรากฏในพื้นที่แรกๆของรูปที่ 6

ตารางที่ 4 การคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุต

Rule No.	หน้าต่าง (แรงดัน, ช่วงเวลา) ซ้าย-บน		Evs1	หน้าต่าง (แรงดัน, ช่วงเวลา) ขวา-ล่าง		Evs2	จุดพิกัดของสามเหลี่ยมบนแกนนอนของฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเอาต์พุต		
	Voltage (%)	Duration (ms)		Voltage (%)	Duration (ms)		Start Log (Evs1)	Center (Start+End) /2	End Log (Evs2)
1	100	10	0	90	20	3.8	0	0.29	0.58
6	100	20	0	90	200	38	0	0.79	1.58
9	70	20	10.2	40	200	168	1.01	1.62	2.23
11	100	200	0	90	600	114	0	1.03	2.06
16	100	600	0	90	3000	570	0	1.38	2.76
17	90	600	114	80	3000	1080	2.06	2.55	3.03

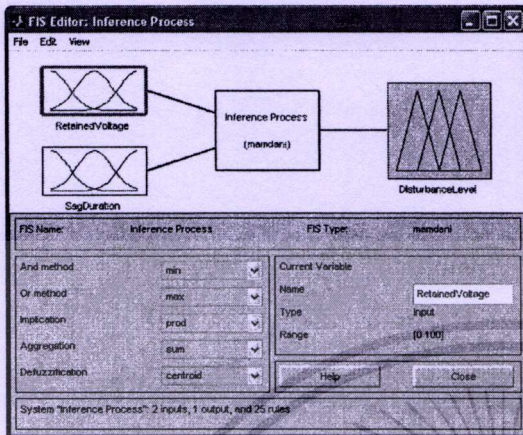


รูปที่ 7 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตทั้งหมด 25 กฎ

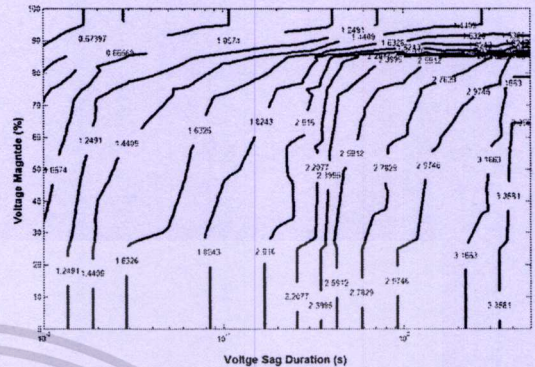
ตารางที่ 3 กฎ IF-THEN ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า

Rule No. and Output Membership Function	Voltage Sag Duration					
	Very Short	Short	Medium	Long	Very Long	
Retained Voltage Magnitude	Near Normal	1	6	11	16	21
	High	2	7	12	17	22
	Medium	3	8	13	18	23
	Low	4	9	14	19	24
	Very Low	5	10	15	20	25

ค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตของแต่ละกฎมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ที่กำหนดด้วยค่าล็อกการิทึมของ Evs ของมุมซ้ายบนและขวาล่างของหน้าต่าง (แรงดัน, ช่วงเวลา) ของแต่ละกฎ จุดยอดของสามเหลี่ยมจะอยู่ที่กึ่งกลางของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจากการคำนวณตามตารางที่ 4 จะทำให้ได้ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปรเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 8 กล้องเครื่องมือฟuzzyลอจิก



รูปที่ 9 คอนทัวร์ของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟuzzy

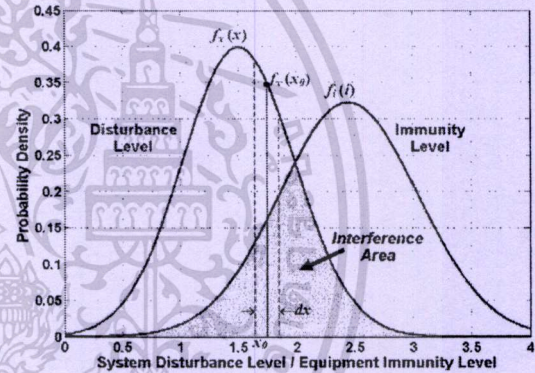
4.3 Fuzzy Inference

Inference Process ใน MATLAB กำหนดค่าดังนี้

- And method : min
- Or method : max
- Implication : prod
- Aggregation : sum
- Defuzzification : centroid

จากรูปที่ 8 แสดงกล้องเครื่องมือฟuzzyลอจิก (Fuzzy Toolbox) ที่มีอยู่ใน MATLAB โดยพิมพ์คำสั่ง Fuzzy ใน Command Line และปรับตั้งตามค่าที่กำหนดไว้

รูปที่ 9 แสดงคอนทัวร์ของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟuzzy ซึ่งตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟuzzyนี้จะถูกนำไปเป็นค่าระดับการรบกวน สำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง และนำไปใช้หาระดับภูมิคุ้มกันของอุปกรณ์ ซึ่งจะแสดงในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 10 ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์

5. การหาความไม่น่าเชื่อถือของการรบกวน (Unreliability of Interference)

ค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบฟuzzyจะถูกนำมาใช้เป็นค่าระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า (Disturbance Level) และระดับความทนทานของอุปกรณ์ (Immunity Level) หรือคือค่าในแกนนอนของกราฟในรูปที่ 5 เมื่อทำการพล็อตฟังก์ชันการแจกแจง

ความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้า และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับความทนทานของอุปกรณ์ จะได้กราฟลักษณะดังรูปที่ 10 พื้นที่ของบริเวณที่ทับซ้อนกันระหว่างระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้ากับระดับความทนทานของอุปกรณ์ คือความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) ของอุปกรณ์

ในบทความนี้สมมติให้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ เพื่อให้สอดคล้องกับ



แนวความคิดใน IEC-61000-3-7 ดังรูปที่ 5 อย่างไรก็ดี ในทางปฏิบัติฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นอาจไม่ได้เป็นแบบการแจกแจงปกติก็ได้ แต่แนวทางที่นำเสนอต่อไปนี้จะยังคงใช้ได้อยู่ เพียงแต่ต้องปรับปรุงสมการการคำนวณให้สอดคล้องกับรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสมนั้นๆ

จากรูปที่ 10 เมื่อให้ความน่าจะเป็นของระดับการรบกวน (x) คือ $f_x(\cdot)$ และ ความน่าจะเป็นของระดับความทนทาน (i) คือ $f_i(\cdot)$ ค่าความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ (Equipment Reliability) R นิยามโดย

$$R = P(i > x) = P(i - x > 0) \quad (5.1)$$

จากรูปที่ 11 จะได้

$$R = P(1 - x > 0) = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) \left[\int_x^{\infty} f_i(i) di \right] dx \quad (5.2)$$

ค่าความไม่น่าเชื่อถือของอุปกรณ์ (Equipment Unreliability) \bar{R} นิยามโดย

$$\bar{R} = 1 - R = P(i \leq x) \quad (6.1)$$

จาก (5.2) จะได้

$$\bar{R} = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) \left[\int_x^{\infty} f_i(i) \cdot di \right] dx \quad (6.2)$$

$$= 1 - \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) \cdot [1 - F_i(x)] dx \quad (6.3)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} F_i(x) \cdot f_x(x) dx \quad (6.4)$$

เมื่อ $F_i(x)$ คือฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระดับความทนทานของอุปกรณ์

ดังนั้น จำนวนครั้งที่อุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบจะคำนวณได้จาก

$f_D = (\bar{R}x)$ จำนวนเหตุการณ์ของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่บ้านที่กได้

ถ้ากำหนดให้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability density function) ของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้ากำลัง (x) และของระดับความทนทานของอุปกรณ์ (i) เป็นการแจกแจงปกติดังนี้

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 \right], -\infty < x < \infty \quad (7)$$

$$f_i(i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \right], -\infty < i < \infty \quad (8)$$

เมื่อ

μ_x = ค่าเฉลี่ยของระดับการรบกวนของเหตุการณ์ทั้งหมดที่บ้านที่กได้

σ_x = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับการรบกวนของเหตุการณ์ทั้งหมดที่บ้านที่กได้

μ_i = ค่าเฉลี่ยของระดับความทนทานจากการทดสอบอุปกรณ์กับเส้นโค้งความทนทานแรงดัน

σ_i = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความทนทานจากการทดสอบอุปกรณ์กับเส้นโค้งความทนทานแรงดัน

กำหนดตัวแปรอิสระ $y = x - i$ จะได้ค่าเฉลี่ยของ y คือ

$$\mu_y = \mu_x - \mu_i \quad (9)$$

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2} \quad (10)$$

ค่าความไม่น่าเชื่อถือ \bar{R} แทนค่าในเทอมของ y จะได้

$$\begin{aligned} \bar{R} &= P(i \leq x) = P(i - x \leq 0) = P(y \leq 0) \\ &= \int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] dy \end{aligned} \quad (11)$$

ถ้าเราให้ $z = (y - \mu_y) / \sigma_y$ และ $\sigma_y dz = dy$ เมื่อ $y = 0$ ค่าขอบเขตบน (Upper Limit) ของ Z จะได้

$$z = \frac{0 - \mu_y}{\sigma_y} = \frac{\mu_i - \mu_x}{\sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2}} \quad (12)$$



ดังนั้นค่าความไม่นาเชื่อถือ จะเขียนได้เป็น

$$\bar{R} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\mu_y - \mu_x}{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right] dy \quad (13)$$

6. การหาระดับความเข้ากันได้ของระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ภายใต้สภาวะแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

จากแนวทางการหาค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Sag Index) ที่ได้นำเสนอไปแล้ว ในส่วนนี้จะนำตัวอย่างการนำไปใช้เพื่อหาระดับความเข้ากันได้ (Compatibility Level) โดยใช้ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าจากโรงงาน A ในจังหวัดชลบุรีและใช้เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งในโรงงานดังกล่าว

6.1 การหาค่าระดับการรบกวนของระบบ

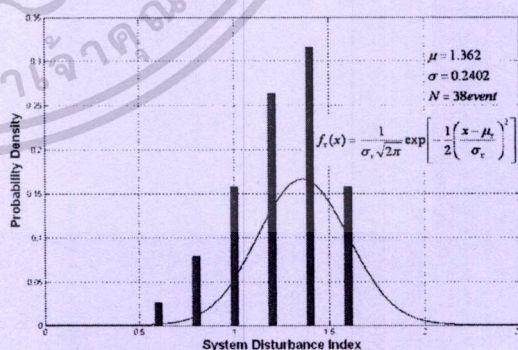
จากตารางที่ 5 เป็นข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพไฟฟ้าของโรงงาน A แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรีตั้งแต่ เมษายน 2550 ถึง เมษายน 2551 เมื่อนำไปหาค่าความถี่สะสมของค่าตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าระดับการรบกวนของระบบ (System Disturbance Level) จะได้ฮิสโตแกรม ดังรูปที่ 11 และเมื่อนำไปประมาณค่าด้วยการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) จะได้ค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ)

6.2 การหาค่าระดับความทนทานของอุปกรณ์

ระดับความทนทานของอุปกรณ์ก็มีวิธีการหาเช่นเดียวกับระดับการรบกวนของระบบเพียงแต่ใช้ข้อมูลของแรงดันและช่วงเวลา จากการการสุ่มตัวอย่างเส้นโค้งความทนทานแรงดันของอุปกรณ์ เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์ ในโรงงาน A เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างเส้นโค้ง จำนวน 50 ตัวอย่างโดยมีระยะห่างเท่าๆ กัน แสดงดังรูปที่ 12 เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประมาณค่าด้วยการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) จะได้ค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ดังแสดงในรูปที่ 13

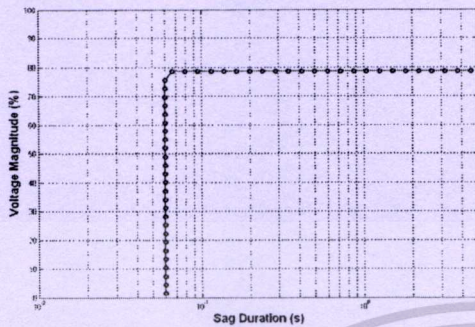
ตารางที่ 5 ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน A

Event No.	Date	Residual Voltage		Duration
		Volt	%	ms
1	19/4/2550	164.1	71.4	60
2	25/4/2550	200.4	87.1	45
3	27/4/2550	178.7	77.7	100
4	27/4/2550	206.3	89.7	20
5	11/6/2550	204.0	88.7	60.00
6	17/6/2550	206.6	89.8	50.00
7	21/6/2550	177.3	77.1	90.00
8	23/6/2550	171.3	74.5	70.00
9	30/6/2550	203.5	88.5	190
10	4/5/2550	204.4	88.9	50
11	6/5/2550	177.2	77.0	80
12	10/5/2550	205.3	89.2	370
13	10/5/2550	181.0	78.7	100
14	11/5/2550	180.1	78.3	70
15	3/6/2550	183.4	79.8	90
16	15/7/2550	181.4	78.9	70
17	17/7/2550	188.3	81.9	100
18	23/7/2550	192.5	83.7	140
19	23/7/2550	185.7	80.7	90
20	23/7/2550	199.0	86.5	50
21	23/7/2550	176.8	76.9	70
22	9/8/2550	186.9	81.2	90
23	13/8/2550	194.3	84.5	340
24	16/9/1950	174.5	75.9	100
25	20/9/1950	150.6	65.5	100
26	24/9/1950	190.6	82.9	360
27	10/10/1950	179.3	77.9	60
28	10/10/1950	201.3	87.5	460
29	12/10/1950	25.5	11.1	70
30	12/10/1950	192.2	83.6	50
31	14/10/1950	162.4	70.6	100
32	15/10/1950	196.9	85.6	80
33	29/10/1950	200.8	87.3	210
34	25/11/2550	205.1	89.2	210
35	25/11/2550	203.6	88.5	110
36	9/12/2550	202.7	88.1	500
37	22/12/2550	152.4	66.3	90
38	4/01/2551	163.5	71.1	90

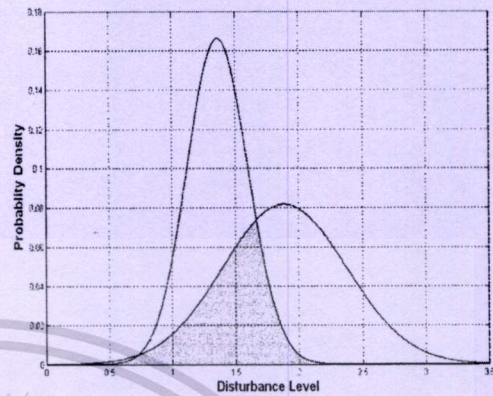


รูปที่ 11 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของโรงงาน A

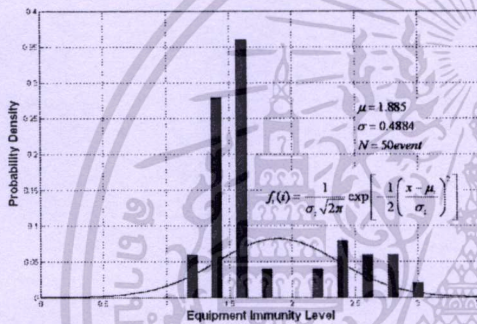
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 เส้นโค้งความทนทานแรงดันของอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 14 ฟังก์ชันการแจกแจงของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์

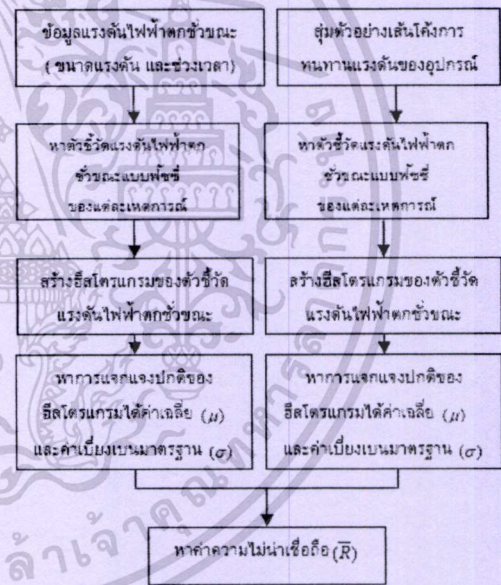


รูปที่ 13 ฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติของอินเวอร์เตอร์

จากฮิสโตแกรมและการแจกแจงปกติในรูปที่ 11 และ 13 จะสามารถหาค่าความไม่น่าเชื่อถือตามแนวคิดที่นำเสนอได้ดังแสดงด้วยพื้นที่ที่ทับซ้อนกันของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของการรบกวนของระบบไฟฟ้าและฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของความทนทานของอุปกรณ์ดังรูปที่ 14 และสรุปขั้นตอนการหาค่าความไม่น่าเชื่อถือได้ดังรูปที่ 15

จากข้อมูลของโรงงาน A และอินเวอร์เตอร์จะได้ค่าเฉลี่ย (μ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ดังนี้

ค่าระดับการรบกวนของระบบ
 $\mu_x = 1.362$ $\sigma_x = 0.2402$ $N=38$ Event
ค่าระดับความทนทานของอุปกรณ์



รูปที่ 15 ขั้นตอนการหาค่าความไม่น่าเชื่อถือของอุปกรณ์

$\mu_r = 1.885$ $\sigma_r = 0.4884$ $N=50$ Sample
สามารถหาค่าจำนวนอุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบได้ตามแนวคิดที่นำเสนอ ดังนี้



$$\mu_y = \mu_i - \mu_x = 1.885 - 1.362 = 0.523$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_x^2} = \sqrt{0.2402^2 + 0.4884^2} = 0.5443$$

$$z = \frac{\mu_y}{\sigma_y} = \frac{0.523}{0.5443} = 0.9609$$

$$\bar{R} = \text{normcdf}(-0.9609) = 0.1683$$

จำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย

$$f_D = 0.1683 \cdot 38 \text{Event} \\ = 6.3954$$

จากผลลัพธ์ที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงาน A ตามตารางที่ 5 จะมีเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบถึงจำนวน 9 ครั้ง ทั้งนี้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (-29%) มีสาเหตุมาจากการเลือกรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์ ในการศึกษาขั้นต่อไปจะทำการปรับปรุงเพื่อลดค่าความผิดพลาดจากการประมาณจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับความเสียหายโดยการเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

7. สรุป

บทความนี้ได้เสนอแนวทางการประเมินผลกระทบของอุปกรณ์จากปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยใช้หลักสถิติและแนวคิดเรื่องความเข้ากันได้ระหว่างระบบไฟฟ้ากับอุปกรณ์ ในแนวทางที่นำเสนอนี้ได้กำหนดระดับการรบกวนของระบบไฟฟ้าและระดับความทนทานของอุปกรณ์โดยใช้ตัวชี้วัดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแบบพีชชี และใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของระดับการรบกวนของระบบและระดับความทนทานแรงดันของอุปกรณ์เป็นแบบการแจกแจงปกติ

จากการประมาณการได้รับผลกระทบของอุปกรณ์จากข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่บันทึกได้ของโรงงานหนึ่ง

พบว่ายังมีความผิดพลาดจากการประมาณค่อนข้างสูง เนื่องจากการเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นที่ยังไม่เหมาะสม ในการศึกษาขั้นต่อไปจะทำการปรับปรุงเพื่อลดค่าความผิดพลาดจากการประมาณจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ได้รับความเสียหายโดยการเลือกฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นให้เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] I.O. Habiballah, et al., M. Kassass, H. Maghrabi and K. Al-Soufi, "Voltage dip assessment using ESKOM criterion," In *Proc. 2004 Large Engineering systems Conference on Power Engineering*, 2004, 28-30 July 2004, pp. 142-145.
- [2] M. H. J. Bollen, *Understanding Power Quality Problems- Voltage Sags and Interruptions*, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2000.
- [3] M. H. J. Bollen, D. D. Sabin and R. S. Thallam, "Voltage-sag indices-Recent developments in IEEE P1564 task force," in *Proc Quality and Security of Electric Power Delivery Systems*, CIGRE/IEEE Power Eng. Soc. Int. Symp., Oct. 2003, vol. 8-10, pp. 34-41.
- [4] Assessment of emission limit of fluctuating load in MV and HV Power System IEC 61000-3-7, 1996.
- [5] Cheng-Chieh Shen and Chan-Nan Lu, "A Voltage Sag Index Considering Compatibility Between Equipment and Supply," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 22, no.2, pp.996-1002, Apr. 2007.
- [6] K.C. Kapur and L. R. Lamberson, *Reliability in Engineering Design*, New York: Wiley, 1977, pp. 122-136.

ประวัติผู้เขียน

นายศราวุธ โรจนสโรช เกิดเมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2/2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้