

การกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพ้องในระบบไฟฟ้ากำลัง



นาย กรกช ยศสมบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VOLTAGE SAG DISTRIBUTIONS DUE TO FAULTS IN POWER SYSTEMS



Mr.Korakot Yossombut

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

โดย

นายกรกช ยศสมบัติ


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

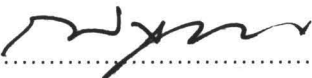

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศhiritวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มช้อย)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.ณัฐภพ นิมปีติวัน)

กรรข ยศสมบัติ : การกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง. (Voltage Sag Distributions Due to Faults in Power Systems) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์, 213 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติในการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งในการคำนวณได้นำ Graphic User Interface (GUI) ของโปรแกรม MATLAB มาช่วยสร้างโปรแกรมเพื่อคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ โดยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะสามารถนำมาใช้ช่วยในการตัดสินใจเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันมาใช้งานในระบบไฟฟ้าต่อไปได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2552

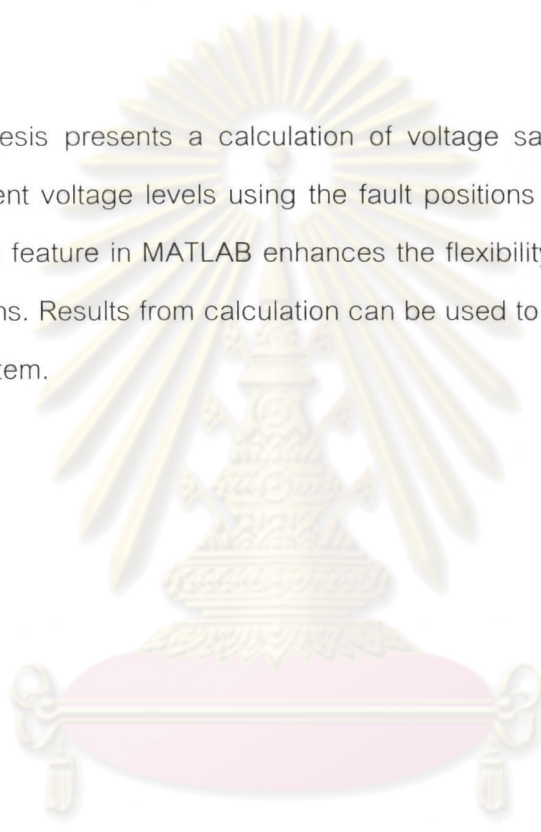
ลายมือชื่อนิสิต Notey
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก [Signature]

4970204121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : POWER QUALITY / VOLTAGE SAG

KORAKOT YOSSOMBUT : VOLTAGE SAG DISTRIBUTIONS DUE TO
FAULTS IN POWER SYSTEMS. THESIS ADVISOR : THAVATCHAI
TAYJASANANT, Ph.D. , 213 pp.

This thesis presents a calculation of voltage sag distributions caused by faults at different voltage levels using the fault positions method. The graphic user interface (GUI) feature in MATLAB enhances the flexibility in the calculation voltage sag distributions. Results from calculation can be used to select sensitive equipment in a power system.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Electrical Engineering.....

Student's Signature Korakot Y

Field of Study : Electrical Engineering.....

Advisor's Signature [Signature]

Academic Year : 2009.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณอาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย ที่ช่วยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ และอาจารย์ ดร. ณัฐภพ นิรมิติวัน ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ รุ่งพี เพื่อน และรุ่งน้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจตลอดมา

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้มอบโอกาสอันสูงสุดแห่งชีวิตแก่ผู้วิจัย คือ การศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	พ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	2
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2 ทฤษฎีและวิธีการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.2 การคำนวณขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.2.1 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบสามเส้นลงดิน.....	8
2.2.2 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบเส้นเดี่ยวลงดิน.....	8
2.2.3 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบสองเส้น.....	9
2.2.4 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดพร่องแบบสองเส้นลงดิน.....	9
2.3 การคำนวณระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ.....	9
2.4 การคำนวณความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ.....	11
2.5 วิธีที่ใช้ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ.....	11
2.5.1 วิธีตำแหน่งการเกิดความผิดพร่อง.....	11
2.5.2 วิธีระยะวิกฤต.....	15

บทที่	หน้า
2.6 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	16
2.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ.....	19
2.8 การสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ.....	20
2.9 ลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาใช้สร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ.....	23
2.9.1 จำนวนเฟส.....	24
2.9.2 การนับจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสำหรับกรณีการปิดกลับของอุปกรณ์ป้องกัน.....	25
2.9.3 การนับระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ.....	26
2.10 การใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ.....	26
2.10.1 อุปกรณ์แบบที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	27
2.10.2 อุปกรณ์แบบที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	28
2.11 ตัวอย่างข้อมูลความคงทนของอุปกรณ์ที่มีไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะ.....	29
2.12 รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ.....	31
3 โปรแกรมคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	34
3.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม.....	34
3.2 การกำหนดตำแหน่งการเกิดความผิดปกติของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	35
3.2.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้า.....	35
3.2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	36
3.2.3 สายส่งและสายจำหน่าย.....	36
3.3 การกำหนดอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	37
3.3.1 ระบบจำหน่าย.....	37
3.3.2 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....	38
3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	38
3.5 การป้อนข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	41
3.5.1 การป้อนข้อมูลโดยผู้ใช้งาน.....	43

บทที่	หน้า
3.5.2 การป้อนข้อมูลโดยเพิ่มข้อมูลตาราง Excel.....	49
3.5.3 ฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน.....	53
3.5.4 การใช้งานโปรแกรมในการคำนวณ.....	54
3.5.5 การเรียกดูข้อมูลของระบบไฟฟ้า.....	61
4 ผลการทดสอบ.....	63
4.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม.....	63
4.1.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องของระบบไฟฟ้า 9 บัส.....	63
4.2 การคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะของระบบไฟฟ้า 15 บัส.....	69
4.2.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้า 15 บัส.....	69
4.2.2 ข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสีเหลี่ยมมุมฉากในระบบ ไฟฟ้า 15 บัส.....	70
4.2.3 ผลการทดสอบของระบบไฟฟ้า 15 บัส.....	70
4.2.4 การสรุปผลการทดสอบของระบบไฟฟ้า 15 บัส.....	105
4.3 การคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	108
4.3.1 ข้อมูลอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในระบบ ทดสอบ IEEE 30 บัส.....	108
4.3.2 ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	108
4.3.3 ผลการทดสอบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	108
4.3.4 การสรุปผลการทดสอบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	146
4.4 การคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	148
4.4.1 ข้อมูลอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน.....	148
4.4.2 ข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	148
4.4.3 ผลการทดสอบในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	149
4.4.4 การสรุปผลการทดสอบในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	187
5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....	191
รายการอ้างอิง.....	193
ภาคผนวก.....	195
ภาคผนวก ก กระบวนการสร้างบัสมิมพีแดนซ์เมตริกซ์.....	196

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข ระบบไฟฟ้า 9 บัส.....	198
ภาคผนวก ค ระบบไฟฟ้า 10 บัส.....	199
ภาคผนวก ง ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	202
ภาคผนวก จ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	208
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	213



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ ของรูปที่ 2.6	13
2.2 ความหนาแน่นในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละช่วงขนาดและ ระยะเวลา	13
2.3 ความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะ	14
2.4 ตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งปีที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตก ชั่วขณะ	21
2.5 ตารางความถี่สะสมของตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งปีที่ได้จากการหาการ กระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ	22
2.6 รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ	31
2.7 ตารางแสดงรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกับโหลดที่ต่ออยู่ที่บัส 3	33
4.1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบสามเส้นลงดิน	64
4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบเส้นเดียวลงดินที่เฟส A	64
4.3 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบสองเส้นที่เฟส B และ C	65
4.4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C	66
4.5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันไลน์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบสามเส้นลงดิน	66
4.6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันไลน์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบเส้นเดียวลงดินที่เฟส A	67
4.7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันไลน์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบสองเส้นที่เฟส B และ C	68
4.8 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันไลน์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณี ความผิดปกติแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C	68

ตารางที่	หน้า
4.32 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระเมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	90
4.33 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	91
4.34 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	91
4.35 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	96
4.36 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	96
4.37 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	97
4.38 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระเมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	97
4.39 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	98
4.40 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	98

ตารางที่	หน้า
4.41 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	99
4.42 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	99
4.43 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	100
4.44 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระเมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	100
4.45 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	101
4.46 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	101
4.47 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 10 ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	103
4.48 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ในระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	103
4.49 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ในระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	104
4.50 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 10 ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	104

ตารางที่	หน้า
4.51 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์เหลี่ยมมุมฉากต่อ อยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจาก แรงดันไลน์.....	104
4.52 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่อ อยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ในระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจาก แรงดันไลน์.....	105
4.53 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสาม เส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	111
4.54 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสาม เส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	111
4.55 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิด พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	115
4.56 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิด พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	115
4.57 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิด พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	116
4.58 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	116
4.59 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	117
4.60 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	117

ตารางที่	หน้า
4.61 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส	118
4.62 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส	118
4.63 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส	119
4.64 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส	119
4.65 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟสเมื่อ เกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส	120
4.66 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟสเมื่อ เกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส	120
4.67 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส	125
4.68 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส	125
4.69 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส	126

ตารางที่	หน้า
4.79 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	135
4.80 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	135
4.81 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	136
4.82 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	136
4.83 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟสเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	137
4.84 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟสเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	137
4.85 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	138
4.86 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	138
4.87 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	139

ตารางที่	หน้า
4.88 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	139
4.89 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟสเมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	140
4.90 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟสเมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	140
4.91 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 14 ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	142
4.92 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	142
4.93 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	144
4.94 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 14 ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	144
4.95 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	144
4.96 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	145
4.97 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	151
4.98 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	152

ตารางที่	หน้า
4.99 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	155
4.100 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	155
4.101 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	156
4.102 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อ เกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส.....	156
4.103 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด ความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	157
4.104 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อ เกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส.....	157
4.105 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	158
4.106 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	158
4.107 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	159

ตารางที่	หน้า
4.108	ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด ความผิดพลาดพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส..... 159
4.109	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด ความผิดพลาดพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส..... 160
4.110	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อ เกิดความผิดพลาดพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส..... 160
4.111	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดพลาด พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส..... 165
4.112	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดพลาด พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส..... 165
4.113	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดพลาด พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส..... 166
4.114	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อ เกิดความผิดพลาดพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส..... 166
4.115	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด ความผิดพลาดพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส..... 167
4.116	ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบีต 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อ เกิดความผิดพลาดพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส..... 167

ตารางที่	หน้า
4.117 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	168
4.118 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	168
4.119 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	169
4.120 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	169
4.121 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	170
4.122 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อ เกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส.....	170
4.123 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	175
4.124 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	175
4.125 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	176

ตารางที่	หน้า
4.126 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	176
4.127 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	177
4.128 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	177
4.129 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	178
4.130 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	178
4.131 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	179
4.132 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	179
4.133 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	180
4.134 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	180
4.135 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่ยับัส 13 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	182

ตารางที่	หน้า
4.136 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	182
4.137 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	183
4.138 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่อที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	184
4.139 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่อที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....	184
4.140 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 13 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	185
4.141 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	185
4.142 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	185
4.143 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	187
4.144 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์.....	187
ข.1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 9 บัส.....	198
ข.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบ 9 บัส.....	198
ข.3 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ 9 บัส.....	198

ตารางที่	หน้า
ค.1	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 10 บัส.....199
ค.2	ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบ 10 บัส.....199
ค.3	ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ 10 บัส.....200
ค.4	สัดส่วนการเกิดความผิดพลาดแต่ละแบบของระบบ 10 บัส (%).....200
ค.5	ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของระบบ 10 บัส.....200
ค.6	ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบส่งกำลังของระบบ 9 บัส.....201
ค.7	ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าของระบบ 10 บัส.....201
ง.1	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....202
ง.2	ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....202
ง.3	ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....204
ง.4	สัดส่วนการเกิดความผิดพลาดแต่ละแบบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (%).....204
ง.5	ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....204
ง.6	ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของหม้อแปลง ไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....205
ง.7	ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบส่งกำลังของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....205
จ.1	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....208
จ.2	ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....208
จ.3	ค่าพารามิเตอร์ลำดับบวกของสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....209
จ.4	ค่าพารามิเตอร์ลำดับศูนย์ของสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....209
จ.5	ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....210
จ.6	สัดส่วนการเกิดความผิดพลาดแต่ละแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (%).....210
จ.7	ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....210
จ.8	ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของหม้อแปลง ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....211
จ.9	ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....211

สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.2	สายส่งระหว่างบัส F-T ที่มีการเพิ่มบัส K เข้าไป.....	6
2.3	การเกิดความผิดพลาดของระบบเรเดียล.....	10
2.4	การเกิดความผิดพลาดของระบบร่างแห.....	10
2.5	ระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ส่วนต่างๆ ของระบบเมื่อเกิดความผิดพลาดบนสายส่ง.....	12
2.6	ตำแหน่งการเกิดความผิดพลาด.....	12
2.7	เส้นแสดงบริเวณของระดับแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้า.....	14
2.8	วงจรสมมูลของวิธีระยะวิกฤต.....	15
2.9	กราฟแห่ง 3 มิติที่ได้จากการหาการกระจายตัวของกาเนิดแรงดันตกชั่วขณะ.....	19
2.10	ตัวอย่างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ.....	20
2.11	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่สร้างจากตารางที่ 2.5.....	23
2.12	ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดพลาดแบบไม่สมมาตร.....	24
2.13	ตัวอย่างการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่า 1 ค่า.....	26
2.14	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	27
2.15	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ที่มีลักษณะไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก.....	28
2.16	ข้อมูลความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์.....	29
2.17	ข้อมูลความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์.....	30
2.18	ข้อมูลความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของคอมพิวเตอร์.....	30
2.19	ระบบไฟฟ้า 7 บัส.....	32
3.1	ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดความผิดพลาดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า.....	35
3.2	ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดความผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	36

รูปที่	หน้า
3.3	ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดความผิดพลาดของสายส่งและสายจำหน่าย.....36
3.4	ไดอะแกรมขั้นตอนการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ.....40
3.5	หน้าจอโปรแกรม MATLAB.....41
3.6	หน้าจอเมื่อเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา.....41
3.7	หน้าจอเมื่อเลือกการคำนวณความผิดพลาด (Fault Calculation).....42
3.8	หน้าจอเมื่อเลือกการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag Distribution).....42
3.9	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....44
3.10	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า.....45
3.11	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้ากรณีอยู่ใน ระบบส่งกำลัง.....47
3.12	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้ากรณีอยู่ใน ระบบจำหน่าย.....47
3.13	หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของโหลด.....49
3.14	การป้อนข้อมูลของเพิ่มข้อมูล Excel ในเอกสาร (Sheet) ของ branch_data..51
3.15	การป้อนข้อมูลของเพิ่มข้อมูล Excel ในเอกสาร (Sheet) ของ bus_data.....52
3.16	การป้อนข้อมูลของเพิ่มข้อมูล Excel ในเอกสาร (Sheet) ของ gen_data.....52
3.17	หน้าจอโปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันของระบบจำหน่าย.....53
3.18	หน้าจอโปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันของระบบส่งกำลังไฟฟ้า.....53
3.19	หน้าจอโปรแกรมสำหรับเลือกเงื่อนไขของการเกิดความผิดพลาด.....54
3.20	หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการคำนวณความผิดพลาด.....54
3.21	หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการหาการกระจายตัวของแรงดันตก ชั่วขณะ.....56
3.22	แสดงผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะของ เฟส A, B และ C.....57
3.23	แสดงผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อคำนวณแรงดัน ตกชั่วขณะกรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส.....57
3.24	หน้าจอโปรแกรมเมื่อเลือกปุ่ม Large Size.....58

รูปที่	หน้า
3.25	หน้าจอโปรแกรมเมื่อเลือกปุ่ม Show Table.....58
3.26	หน้าจอโปรแกรมแสดงผลการคำนวณหาบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะ.....59
3.27	หน้าจอโปรแกรมแสดงผลการคำนวณหาบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น.....60
3.28	แสดงผลการคำนวณหาจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระบบไฟฟ้า..60
3.29	หน้าจอโปรแกรมแสดงการเรียกดูข้อมูลของระบบไฟฟ้า.....61
3.30	หน้าจอโปรแกรมแสดงการเรียกดูข้อมูลรีเลย์ของระบบไฟฟ้า.....62
4.1	แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบ 9 บัส.....63
4.2	แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบไฟฟ้า 15 บัส.....69
4.3	อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตามมาตรฐาน SEMI F47.....70
4.4	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....71
4.5	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....71
4.6	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....72
4.7	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....74
4.8	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....75
4.9	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....82

รูปที่	หน้า
4.10 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิด ความผิดพลาดสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดัน เฟส.....	84
4.11 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิด พ่องแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของ อุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	85
4.12 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดพลาดสองเส้น ที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	92
4.13 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิด ความผิดพลาดเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดัน เฟส.....	94
4.14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิด พ่องแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไว ของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	95
4.15 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดพลาดสองเส้น ลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	102
4.16 แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	108
4.17 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิด ความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณ เป็นแรงดันเฟส.....	109
4.18 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิด พ่องแบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไว ของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	110
4.19 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสามเส้น ลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....	110
4.20 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิด ความผิดพลาดเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....	113

รูปที่	หน้า
4.21	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล ที่รวมกับข้อมูล ความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....114
4.22	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้น เดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....121
4.23	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส.....123
4.24	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล ที่รวมกับข้อมูล ความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....124
4.25	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้น เดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....131
4.26	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส.....133
4.27	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล ที่รวมกับ ข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....134
4.28	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสองเส้น ลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดัน เฟส.....141
4.29	แผนผังวงจรเส้นเดี่ยวระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....149
4.30	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 13 เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจาก แรงดันเฟส.....150

รูปที่	หน้า
4.31	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไวของ อุปกรณ์ กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....150
4.32	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้น ลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส.....151
4.33	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจาก แรงดันเฟส.....153
4.34	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไว ของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....154
4.35	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้น เดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....161
4.36	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็น แรงดันเฟส.....163
4.37	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไว ของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....164
4.38	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสองเส้น ที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....171
4.39	กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิด ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณี คำนวณเป็นแรงดันเฟส.....173
4.40	แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติ พร้อมแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูล ความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส.....174

รูปที่	หน้า
4.41	บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้น ลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส_181
ก.1	ระบบไฟฟ้า 2 บัล.....196



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sags) ในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากำลังที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง (Faults) แรงดันตกชั่วขณะจะมีผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (Sensitive Equipment) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการทำงานผิดพลาด เช่น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการ (Process Control Equipment) ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Adjustable Speed Drive) ซึ่งปัจจุบันมีใช้กันแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การเกิดแรงดันตกชั่วขณะนี้อาจเป็นสาเหตุทำให้การผลิตหยุดชะงักหรือมีผลต่อคุณภาพไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์เพื่อมาใช้งานผู้ใช้ไฟควรมีข้อมูลทั้งของระบบไฟฟ้าและของอุปกรณ์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า โดยข้อมูลของอุปกรณ์จะได้มาจากคุณสมบัติของอุปกรณ์และจากการทดสอบ สำหรับข้อมูลโดยเฉลี่ยของระบบสามารถหาได้จากการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดแต่การตรวจวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำนั้นต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเป็นเวลานานและการทำงานที่เฉพาะตำแหน่งในระบบไฟฟ้านั้นไม่สะดวก อีกวิธีหนึ่งคือการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่พิจารณาจากสาเหตุการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการคำนวณโดยใช้ข้อมูลค่าอิมพีแดนซ์ของระบบและข้อมูลการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับข้อมูลทางสถิติของการเกิดความผิดปกติแต่ละชนิดในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นมีความสะดวก รวดเร็ว และเหมาะสมที่จะใช้พิจารณาเฉพาะตำแหน่งใดๆ ที่สนใจได้

งานวิจัยนี้จึงพัฒนาโปรแกรมการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังขึ้น เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน

2. เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ศึกษาการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ เนื่องจากการเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดันโดยผลลัพธ์จะรวมผลของการต่อหม้อแปลงแบบต่างๆ ร่วมด้วย ซึ่งผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึง ขนาด ระยะเวลาและความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งสามารถนำไปสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้งให้สอดคล้องกับระดับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ จากนั้นทำการสร้างโปรแกรมที่มีความสามารถดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อช่วยให้การหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะให้มีความสะดวก และรวดเร็ว

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน
2. ศึกษาการคำนวณแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน
3. ศึกษาวิธีการสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ
4. สร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ
5. สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. สามารถทำการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน
2. สามารถทำการคำนวณแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน

3. สามารถสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ
4. มีโปรแกรมสำหรับทำการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถหาการกระจายตัวได้ทั้งระบบส่งกำลัง (Transmission System) และระบบจำหน่าย (Distribution System)
5. ผลที่ได้จากโปรแกรมสามารถนำไปเป็นข้อมูลให้กับผู้ใช้ไฟที่ต้องการข้อมูลเพื่อเลือกอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับระดับแรงดันตกชั่วขณะ

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอในที่นี้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานการวิเคราะห์ที่ใช้ในการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ ประกอบด้วย นิยามของแรงดันตกชั่วขณะ การคำนวณหาขนาดแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดพลาด การคำนวณหาระยะเวลาของแรงดันตกชั่วขณะ ทฤษฎีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า หลักการการสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ และรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ

บทที่ 4 จะนำเสนอรายละเอียดของโปรแกรมหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 5 จะนำเสนอผลการทดสอบของโปรแกรมหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 6 จะสรุปผลที่ได้จากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนางานวิจัยต่อเนื่องในอนาคต

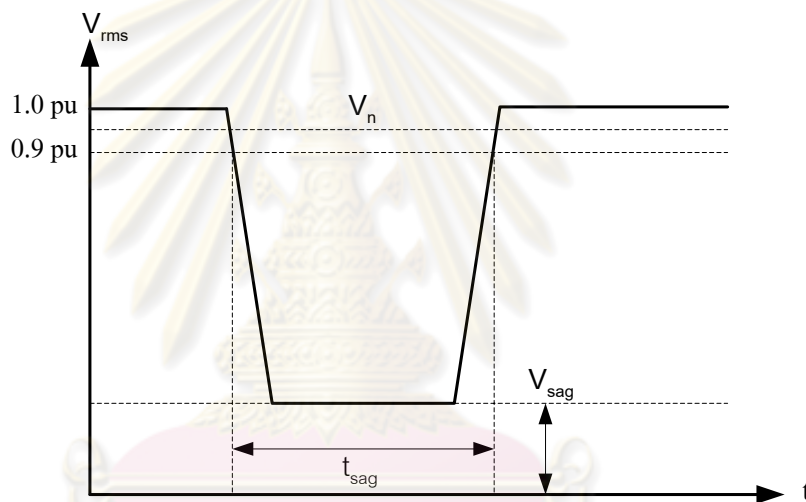
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและวิธีการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ

ตามมาตรฐาน IEEE 1159-1995 [1] แรงดันตกชั่วขณะ คือ การลดขนาดของแรงดันลงไประหว่าง 0.1 ถึง 0.9 เปรอริยูนิตของแรงดันประสิทธิผล (Root Mean Square : RMS) ปกติภายในระยะเวลา 0.5 ไซเคิล ถึง 1 นาที



รูปที่ 2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ

โดย V_{sag} คือ ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะมีค่าเท่ากับขนาดของแรงดันที่เหลืออยู่ (Remaining voltage) เมื่อทำการวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ V_n

V_n คือ แรงดันปกติ (Nominal voltage)

t_{sag} คือ ระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

2.2 การคำนวณขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ

ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ คือ ขนาดของแรงดันที่เหลืออยู่ (Remaining voltage) โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละระดับแรงดัน การคำนวณขนาดของแรงดันตกชั่วขณะจะพิจารณาโดยสมมติให้ระบบมี

N บัสรวมทั้งบัสที่ใช้อ้างอิง (Reference bus) และใช้ทฤษฎีของเทวินิน (Thevenin's theory) โดยจะกำหนดให้แรงดันก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส m ใดๆ คือ V_m^{pref} และให้เกิดความผิดปกติเกิดขึ้นที่บัส k ขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส m สามารถคำนวณได้จากสมการ [2]

$$V_m = V_m^{pref} + \Delta V_m \quad (2.1)$$

ΔV_m คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่บัส m เนื่องจากการเกิดความผิดปกติโดยมีแหล่งจ่ายแรงดัน $-V_k^{pref}$ ต่อเข้าที่ตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ และใช้บัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Bus impedance matrix) จากความสัมพันธ์ $[V] = [Z][I]$ จะทำให้สามารถคำนวณ ΔV_m ได้จากสมการ

$$\Delta V_m = Z_{mk} I_k \quad (2.2)$$

ที่ตำแหน่งเกิดความผิดปกติ ($m=k$) และ $\Delta V_k = -V_k^{pref}$ ดังนั้น

$$I_k = \frac{-V_k^{pref}}{Z_{kk}} \quad (2.3)$$

และจากสมการที่ (2.1) จะได้

$$V_m = V_m^{pref} - \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} V_k^{pref} \quad (2.4)$$

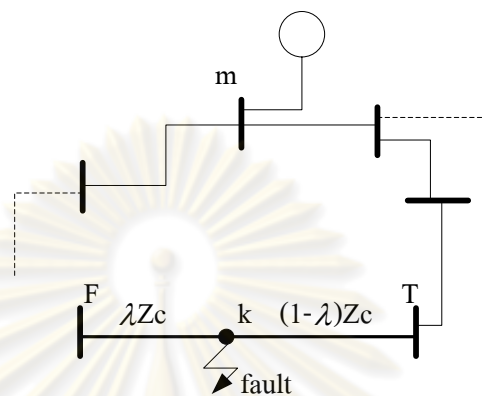
ถ้าแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติประมาณให้ใกล้เคียงกันและมีค่าเท่ากับ 1 เปรอ์ยูนิตจะได้

$$V_m = 1 - \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \quad (2.5)$$

ซึ่งหากเกิดความผิดปกติแบบสมมาตรข้อมูลที่สำคัญที่ต้องใช้ในการคำนวณคือค่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวกในระบบไฟฟ้า ถ้ากรณีที่เป็นความผิดปกติแบบไม่สมมาตรค่าอิมพีแดนซ์ลำดับลบและลำดับศูนย์ก็ต้องนำมาใช้ในการคำนวณด้วย นอกจากนี้รูปแบบการต่อของหม้อ

แปลงและแรงดันก่อนเกิดความผิดพลาดก็มีความจำเป็นต้องทราบเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการคำนวณ

ส่วนกรณีที่ตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดกระจายเกิดขึ้นบนสายส่งดังรูปที่ 2.2 สามารถคำนวณขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ V_m ที่บัส m ได้ดังนี้ [3]



รูปที่ 2.2 สายส่งระหว่างบัส F และ T ที่มีการเพิ่มบัส k เข้าไป

จากรูปที่ 2.2 เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นบนสายส่งระหว่างบัส F และ T ที่ตำแหน่ง k ในการคำนวณจะทำการเพิ่มบัส k เข้าไปยังตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดขึ้นบนสายส่งเพื่อใช้ในการคำนวณ โดยจะทำการนิยามค่า λ ซึ่งใช้แทนตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดระหว่างบัส F และ T ดังนี้

$$\lambda = \frac{L_{Fk}}{L_{FT}} \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (2.6)$$

โดย L_{Fk} คือ ความยาวของสายส่งที่บัส F ถึงบัส k

L_{FT} คือ ความยาวของสายส่งที่บัส F ถึงบัส T

ค่า λ สามารถเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ตามตำแหน่งของบัส k ที่เปลี่ยนระหว่างบัส F และ T ค่า Z_{mk} และ Z_{kk} ของลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Z_{mk}^0 = Z_{mF}^0 + (Z_{mT}^0 - Z_{mF}^0) \lambda \quad (2.7)$$

$$Z_{mk}^1 = Z_{mF}^1 + (Z_{mT}^1 - Z_{mF}^1) \lambda \quad (2.8)$$

$$Z_{mk}^2 = Z_{mF}^2 + (Z_{mT}^2 - Z_{mF}^2) \lambda \quad (2.9)$$

$$Z_{kk}^0 = (Z_{FF}^0 + Z_{TT}^0 - 2Z_{FT}^0 - Z_C^0) \lambda^2 + \{Z_C^0 - 2(Z_{FF}^0 - Z_{FT}^0)\} \lambda + Z_{FF}^0 \quad (2.10)$$

$$Z_{kk}^1 = (Z_{FF}^1 + Z_{TT}^1 - 2Z_{FT}^1 - Z_C^1) \lambda^2 + \{Z_C^1 - 2(Z_{FF}^1 - Z_{FT}^1)\} \lambda + Z_{FF}^1 \quad (2.11)$$

$$Z_{kk}^2 = (Z_{FF}^2 + Z_{TT}^2 - 2Z_{FT}^2 - Z_C^2) \lambda^2 + \{Z_C^2 - 2(Z_{FF}^2 - Z_{FT}^2)\} \lambda + Z_{FF}^2 \quad (2.12)$$

โดย $Z_{mk}^0, Z_{mk}^1, Z_{mk}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว m และหลัก k ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

$Z_{mF}^0, Z_{mF}^1, Z_{mF}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว m และหลัก F ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

$Z_{mT}^0, Z_{mT}^1, Z_{mT}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว m และหลัก T ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

$Z_{FF}^0, Z_{FF}^1, Z_{FF}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว F และหลัก F ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

$Z_{TT}^0, Z_{TT}^1, Z_{TT}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว T และหลัก T ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

$Z_{FT}^0, Z_{FT}^1, Z_{FT}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว F และหลัก T ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

$Z_{kk}^0, Z_{kk}^1, Z_{kk}^2$ คือ สมาชิกของบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ระหว่างแถว k และหลัก k ลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ

Z_C^0, Z_C^1, Z_C^2 คือ ค่าอิมพีแดนซ์จริงลำดับศูนย์ ลำดับบวก และลำดับลบตามลำดับ ของสายส่งระหว่างบัส F - T

แรงดันก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส k สามารถหาได้ดังสมการ

$$V_k^{pref} = V_F^{pref} + (V_T^{pref} - V_F^{pref}) \lambda \quad (2.13)$$

โดย V_k^{pref} คือ ขนาดแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส k

V_F^{pref} คือ ขนาดแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส F

V_T^{pref} คือ ขนาดแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส T

2.2.1 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดิน (Three phase to ground fault)

เมื่อระบบกำลังไฟฟ้าเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดิน จะใช้เพียงค่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวกในการคำนวณ โดยสมมติให้เกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินที่บัส k แรงดันตกที่บัส m สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_m^{fault} = V_m^{pref} - \frac{Z_{mk}^1}{Z_{kk}^1 + Z_f} V_k^{pref} \quad (2.14)$$

โดย V_m^{fault} คือ ขนาดแรงดันตกที่บัส m
 V_m^{pref} คือ ขนาดแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติที่บัส m
 Z_f คือ อิมพีแดนซ์การเกิดความผิดปกติ (Fault impedance)

2.2.2 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดิน (Single line to ground fault)

การเกิดความผิดปกติชนิดนี้จะเกิดขึ้นบ่อยที่สุดในระบบกำลังไฟฟ้า โดยสมมติให้เกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินในเฟส A ที่บัส k แรงดันตกที่บัส m สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_{A,m}^{fault} = V_{A,m}^{pref} - \frac{Z_{mk}^0 + Z_{mk}^1 + Z_{mk}^2}{Z_{kk}^0 + Z_{kk}^1 + Z_{kk}^2 + 3Z_f} V_k^{pref} \quad (2.15)$$

$$V_{B,m}^{fault} = a^2 V_{A,m}^{pref} - \frac{Z_{mK}^0 + a^2 Z_{mK}^1 + a Z_{mK}^2}{Z_{KK}^0 + Z_{KK}^1 + Z_{KK}^2 + 3Z_f} V_K^{pref} \quad (2.16)$$

$$V_{C,m}^{fault} = a V_{A,m}^{pref} - \frac{Z_{mK}^0 + a Z_{mK}^1 + a^2 Z_{mK}^2}{Z_{KK}^0 + Z_{KK}^1 + Z_{KK}^2 + 3Z_f} V_K^{pref} \quad (2.17)$$

ซึ่ง a มีค่าเท่ากับ e^{j120°

โดย $V_{A,m}^{pref}$ คือ ขนาดแรงดันก่อนเกิดความผิดปกติของเฟส A ที่บัส m

$V_{A,m}^{fault}$, $V_{B,m}^{fault}$, $V_{C,m}^{fault}$ คือ ขนาดของแรงดันตกที่บัส m ของเฟส A, B และ C ตามลำดับ

2.2.3 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสองเส้น (Line to line fault)

สมมติให้เกิดความผิดปกติพร้อมแบบสองเส้นในเฟส B และ C ที่บัส k แรงดันตกที่บัส m สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_{A,m}^{fault} = V_{A,m}^{pref} - \frac{Z_{mk}^1 - Z_{mk}^2}{Z_{kk}^1 + Z_{kk}^2 + Z_f} V_k^{pref} \quad (2.18)$$

$$V_{B,m}^{fault} = a^2 V_{A,m}^{pref} - \frac{a^2 Z_{mK}^1 - a Z_{mK}^2}{Z_{KK}^1 + Z_{KK}^2 + Z_f} V_K^{pref} \quad (2.19)$$

$$V_{C,m}^{fault} = a V_{A,m}^{pref} - \frac{a Z_{mK}^1 - a^2 Z_{mK}^2}{Z_{KK}^1 + Z_{KK}^2 + Z_f} V_K^{pref} \quad (2.20)$$

2.2.4 การคำนวณแรงดันตกเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสองเส้นลงดิน (Double line to ground fault)

สมมติให้เกิดความผิดปกติพร้อมแบบสองเส้นลงดินในเฟส B และ C ที่บัส k แรงดันตกที่บัส m สามารถคำนวณได้จากสมการ

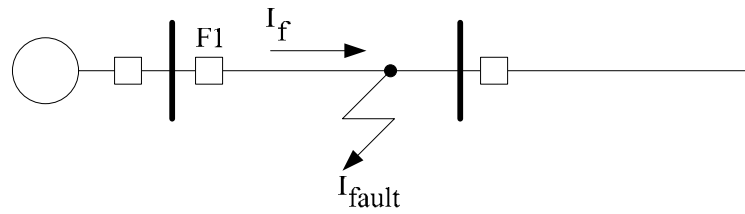
$$V_{A,m}^{fault} = V_{A,m}^{pref} - \frac{\left\{ Z_{mk}^1 (Z_{kk}^2 + Z_{kk}^0 + 3Z_f) + (Z_{kk}^0 + 3Z_f) Z_{mk}^2 - Z_{mk}^0 Z_{kk}^2 \right\}}{Z_{kk}^0 Z_{kk}^1 + Z_{kk}^1 Z_{kk}^2 + Z_{kk}^2 Z_{kk}^0 + 3Z_f (Z_{kk}^1 + Z_{kk}^2)} V_k^{pref} \quad (2.21)$$

$$V_{B,m}^{fault} = a^2 V_{A,m}^{pref} - \frac{\left\{ a^2 Z_{mk}^1 (Z_{kk}^2 + Z_{kk}^0 + 3Z_f) + a (Z_{kk}^0 + 3Z_f) Z_{mk}^2 - Z_{mk}^0 Z_{kk}^2 \right\}}{Z_{kk}^0 Z_{kk}^1 + Z_{kk}^1 Z_{kk}^2 + Z_{kk}^2 Z_{kk}^0 + 3Z_f (Z_{kk}^1 + Z_{kk}^2)} V_k^{pref} \quad (2.22)$$

$$V_{C,m}^{fault} = a V_{A,m}^{pref} - \frac{\left\{ a Z_{mk}^1 (Z_{kk}^2 + Z_{kk}^0 + 3Z_f) + a^2 (Z_{kk}^0 + 3Z_f) Z_{mk}^2 - Z_{mk}^0 Z_{kk}^2 \right\}}{Z_{kk}^0 Z_{kk}^1 + Z_{kk}^1 Z_{kk}^2 + Z_{kk}^2 Z_{kk}^0 + 3Z_f (Z_{kk}^1 + Z_{kk}^2)} V_k^{pref} \quad (2.23)$$

2.3 การคำนวณระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ [4]

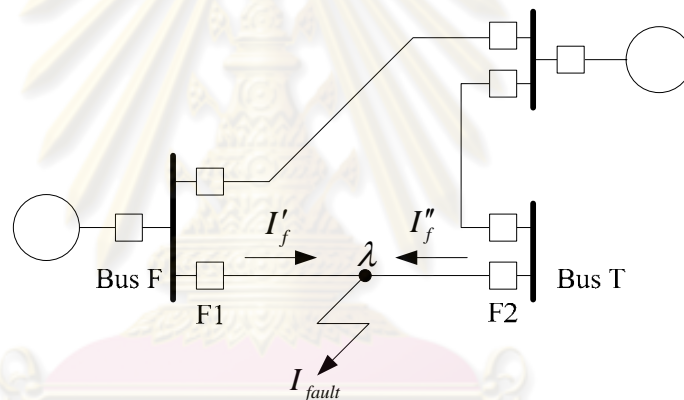
การคำนวณระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละครั้งนั้นสามารถคำนวณได้จากระยะเวลาการกำจัดความผิดปกติของอุปกรณ์ป้องกัน โดยใช้ค่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกัน ในขณะที่เกิดความผิดปกติเป็นค่าที่กำหนดระยะเวลาการทำงานซึ่งในกรณีของระบบเรเดียล (Radial) จะมีอุปกรณ์ป้องกันอยู่ด้านแหล่งจ่ายด้านเดียวดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดความผิดปกติพ่วงของระบบเฟสเดียว

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าค่ากระแส I_f คือ ค่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกัน F1 และมีค่าเท่ากับกระแสการเกิดความผิดปกติพ่วง (I_{fault})

ส่วนในกรณีของระบบร่างแห (Network) ด้วยการต่อกันของระบบที่มีลักษณะเป็นร่างแหทำให้ที่ตำแหน่งเกิดความผิดปกติพ่วงจะมีกระแสมาจากทั้งสองด้านในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจะมีอุปกรณ์ป้องกันอยู่ทั้งสองด้านดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดความผิดปกติพ่วงของระบบร่างแห

หลักการทำงานคือเมื่อเกิดความผิดปกติพ่วง I_{fault} ขึ้นระหว่างบัส F และบัส T อุปกรณ์ป้องกัน F1 จะทำงานด้วยค่ากระแส I'_f และอุปกรณ์ป้องกัน F2 จะทำงานด้วยค่ากระแส I''_f โดยเมื่ออุปกรณ์ตัวใดทำงานก่อนจะส่งสัญญาณให้อีกตัวหนึ่งตัดวงจรออกจากระบบพร้อมกัน

$$I'_f = \frac{V_F - V_f}{\lambda z_{FT}} \quad (2.24)$$

$$I''_f = \frac{V_T - V_f}{(1 - \lambda) z_{FT}} \quad (2.25)$$

โดย V_f คือ ค่าแรงดันขณะเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่งเกิดความผิดปกติ
 V_F และ V_T คือ ค่าแรงดันขณะเกิดความผิดปกติที่บัส F และบัส T ตามลำดับ
 z_{FT} คือ ค่าอิมพีแดนซ์จริงของสายส่งระหว่างบัส F และ T
 λ แทนตำแหน่งการเกิดความผิดปกติระหว่างบัส F และ T ซึ่งนิยามตามสมการที่ (2.6)

2.4 การคำนวณความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ [5]

ความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสามารถคำนวณได้โดยอาศัยแบบจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ข้อมูลความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถคำนวณความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะดังสมการที่ (2.26)

$$\text{Sag}_{x\%} = \text{อัตราการเกิดความผิดปกติ (fault/km/year)} \times \text{ความยาวของสายไฟ (km)} \times \text{สัดส่วนการเกิดความผิดปกติแต่ละชนิดของระบบไฟฟ้า} \quad (2.26)$$

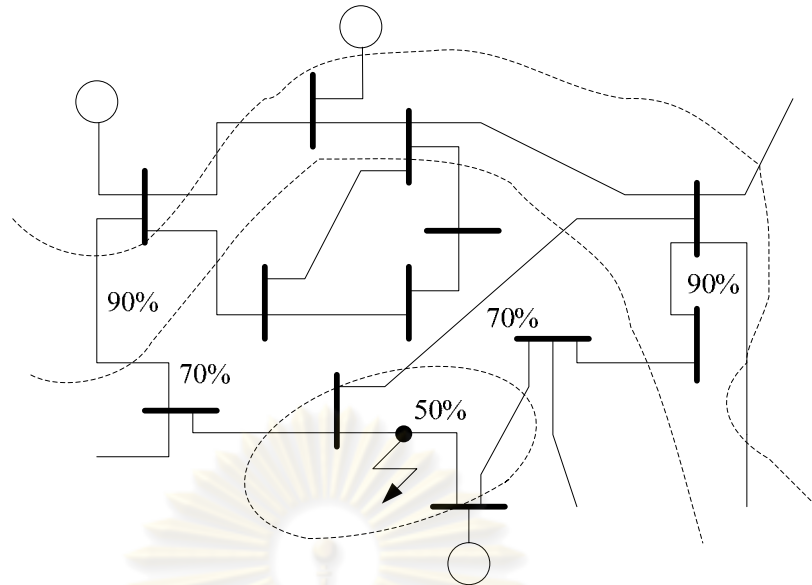
2.5 วิธีที่ใช้ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

จากทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาขนาด ระยะเวลา และความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะนำไปประยุกต์ใช้ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ โดยใช้วิธีดังต่อไปนี้

2.5.1 วิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ (Method of fault positions) [6]

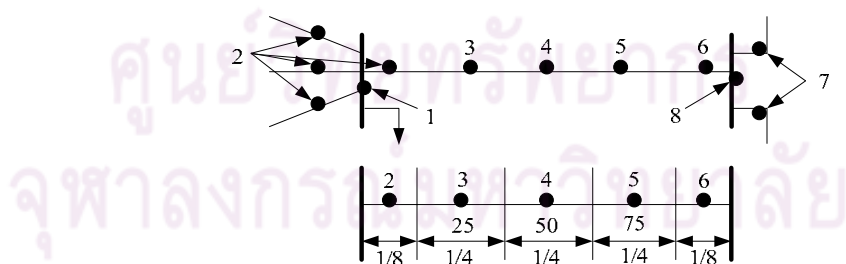
เป็นวิธีที่ใช้ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ โดยจะคำนวณขนาดและระยะเวลาจากการเกิดความผิดปกติหลายๆ ตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังและส่งผลให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ เช่น ตำแหน่งโหลดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะต่ออยู่

จากรูปที่ 2.5 เมื่อพิจารณาการเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่งหนึ่งบนสายส่ง แล้วทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะไปยังบริเวณรอบๆ ในระบบ เส้นประจะแสดงให้เห็นระดับของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ แต่สำหรับวิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติจะทำการกำหนดตำแหน่งที่สนใจแล้วพิจารณาการเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่งอื่นๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบว่าส่งผลอย่างไรต่อระดับแรงดันของตำแหน่งที่สนใจ



รูปที่ 2.5 ระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ส่วนต่างๆ ของระบบเมื่อเกิดความผิดปกติบนสายส่ง

ตัวอย่างการประเมินสามารถคำนวณได้ดังนี้ พิจารณาสายส่งยาว 100 กิโลเมตร ในรูปที่ 2.6 มีอัตราการเกิดความผิดปกติ 8 ครั้งต่อ 100 กิโลเมตรต่อปี และการเกิดความผิดปกติ 10 ครั้งต่อ 100 สถานีไฟฟ้าย่อยต่อปี สำหรับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจะถูกแทนด้วยตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ 8 ตำแหน่ง ความผิดปกติตำแหน่งที่ 1 และ 8 แสดงการเกิดความผิดปกติในสถานีไฟฟ้าย่อย ตำแหน่งที่ 2, 6 และ 7 แสดงการเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย ตำแหน่งที่ 3, 4 และ 5 แสดงการเกิดความผิดปกติที่ตำแหน่ง 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ การเกิดความผิดปกติ ค่าของขนาด ระยะเวลาและความถี่ของแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ คือ ตำแหน่งที่ 1 คำนวณได้ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ

ตารางที่ 2.1 ผลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติของรูปที่ 2.6

ตำแหน่ง ที่	ตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ขนาด (%)	ระยะเวลา (ms)
1	บัสที่เกิดความผิดปกติที่สถานีไฟฟ้าย่อย	0.1	0	180
2	ความผิดปกติบนสายส่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย	1	0	80
3	ความผิดปกติที่ระยะ 25% ของสายส่ง	2	32	90
4	ความผิดปกติที่ระยะ 50% ของสายส่ง	2	49	105
5	ความผิดปกติที่ระยะ 75% ของสายส่ง	2	57	110
6	ความผิดปกติบนสายส่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย	1	64	250
7	ความผิดปกติบนสายส่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย	1	64	90
8	บัสที่เกิดความผิดปกติในสถานีไฟฟ้าย่อยห่างไกล	0.1	64	180

จากตารางที่ 2.1 สามารถนำข้อมูลมาแสดงเป็นตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละช่วงของขนาดและระยะเวลาดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละช่วงขนาดและระยะเวลา

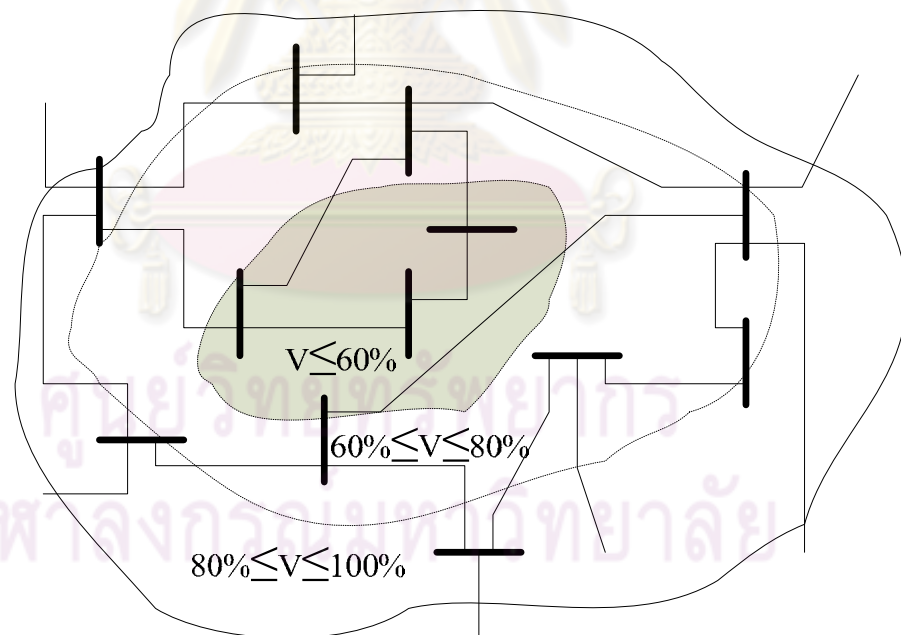
ขนาด(%)	ระยะเวลา เป็นมิลลิวินาที (mS)		
	0<100	100<200	>=200
>60%-80%	2.0	0.1	1.0
>40%-60%	0.0	4.0	0.0
>20%-40%	2.0	0.0	0.0
0-20%	4.0	0.1	0.0

และจากตารางที่ 2.2 สามารถนำข้อมูลมาแสดงเป็นตารางความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

ขนาด (%)	ระยะเวลา เป็นมิลลิวินาที (ms)		
	≥ 0	≥ 100	≥ 200
$\leq 80\%$	13.2	5.2	1.0
$\leq 60\%$	10.1	4.1	0.0
$\leq 40\%$	6.1	0.1	0.0
$\leq 20\%$	4.1	0.1	0.0

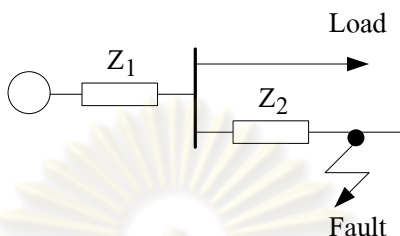
การคำนวณระดับแรงดันตกชั่วขณะด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดนั้น ในแต่ละจุดที่คำนวณจะมีเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ที่ต่างกันไปทุกครั้ง ดังนั้นวิธีการคำนวณแบบนี้ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณและวิธีนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้กับระบบที่มีลักษณะเป็นแบบร่างแห (Network) ที่ซับซ้อน นอกจากนี้ข้อมูลขนาดของแรงดันตกชั่วขณะสามารถนำมาแสดงเป็นเส้นแสดงบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะลงบนแผนผังระบบไฟฟ้ารอบตำแหน่งที่สนใจเพื่อให้เห็นถึงระยะที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ระดับต่างๆ กัน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นแสดงบริเวณของระดับแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้า

2.5.2 วิธีระยะวิกฤต (Method of critical distance) [7]

วิธีการนี้จะเป็นการคำนวณหาตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดที่ทำให้เกิดระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ต้องการ โดยอาศัยทฤษฎีการแบ่งแรงดัน และความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์กับระยะทางของสายส่ง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของวิธีระยะวิกฤต

กำหนดให้ $Z_2 = z\lambda$ โดย z คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งต่อหน่วยความยาวและ λ คือ ความยาวของสายส่งระหว่างจุดที่เกิดความผิดพลาดกับตำแหน่งที่สนใจ สมการของแรงดันตกชั่วขณะดังนี้

$$V_{sag} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{z\lambda}{z\lambda + Z_1} \quad (Z_f = 0) \quad (2.27)$$

ระยะวิกฤต (λ_{crit}) คือระยะที่เกิดความผิดพลาดห่างจากตำแหน่งที่สนใจแล้วทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ (V_{crit}) ที่ต้องการ ดังนั้น λ_{crit} สามารถหาได้จากสมการ

$$\lambda_{crit} = \frac{Z_1}{z} \times \frac{V_{crit}}{1 - V_{crit}} \quad (2.28)$$

เมื่อทำการกำหนดแรงดันตกชั่วขณะทุกระดับที่ต้องการแล้ว ก็จะสามารถหาทุกระยะที่ต้องการในการใช้เป็นตำแหน่งการเกิดความผิดพลาด เพื่อคำนวณระยะเวลา และความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจต่อไป วิธีการนี้เหมาะสำหรับการคำนวณเฉพาะบางตำแหน่งในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีลักษณะของสายส่งเป็นแบบเรเดียล (Radial) หรือเป็นแบบร่างแห (Network) ที่ไม่ซับซ้อนมาก เช่น สายป้อนวงจรรขนาน (Parallel feeder)

2.6 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า [8]

เทคนิคที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้านั้นมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีเกาส์-ไซเดล (Gauss-Seidel method) วิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson method) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีการของนิวตัน-ราฟสันมีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง และสามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้น ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราจะพิจารณาเฉพาะวิธีการของนิวตัน-ราฟสันเท่านั้น

พิจารณาสมการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัส i ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบด้วยบัสทั้งหมด N บัส ดังสมการที่ (2.29)

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{n=1}^N Y_{in} V_n \quad (2.29)$$

โดยที่	P_i	คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายออกจากบัส i
	Q_i	คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายออกจากบัส i
	V_i, V_n	คือ แรงดันไฟฟ้าบัส i และ n ตามลำดับ
	V_i^*	คือ สังกะยเชิงซ้อนของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
	Y_{in}	คือ สมาชิกที่ตำแหน่งที่ (i, n) ของบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์
	N	คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบไฟฟ้า

เราสามารถจัดสมการที่ (2.29) ให้อยู่ในรูปของส่วนจริงและส่วนจินตภาพได้ดังสมการที่ (2.30) และ (2.31)

$$P_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |V_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.30)$$

$$Q_i = |V_i| \sum_{j=1}^N |V_j| |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.31)$$

โดยที่	P_i	คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายออกจากบัส i
	Q_i	คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่จ่ายออกจากบัส i
	$ V_i $	คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าบัส i
	$ V_j $	คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าบัส j
	δ_i	คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

δ_j	คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัส j
$ Y_{in} $	คือ ขนาดของสมาชิกที่ตำแหน่งที่ (i, n) ของบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์
θ_{ij}	คือ มุมของสมาชิกที่ตำแหน่งที่ (i, n) ของบัสแอดมิตแตนซ์เมทริกซ์

จะเห็นว่าสมการที่ (2.30) และ (2.31) เป็นสมการไม่เชิงเส้น (Nonlinear Equation) ซึ่งเรา จะทำการคำนวณหาคำตอบด้วยวิธีการเชิงเลขของนิวตัน-กราฟสั้น โดยจะทำการประมาณสมการ ไม่เชิงเส้นนี้ให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นโดยอาศัยอนุกรมของเทเลอร์ (Taylor's series) ที่ ละเลยพจน์ที่มีอันดับสูงกว่าหนึ่งทิ้งไป ดังนั้น สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถลดรูปให้อยู่ ในรูปแบบของสมการความคลาดเคลื่อนของกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟแบบเมทริกซ์ ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \frac{|\Delta V|}{|V|} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

โดยที่	ΔP	คือ เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าจริงของแต่ละบัส
	ΔQ	คือ เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟารีแอกทีฟของแต่ละบัส
	ΔV	คือ เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนของขนาดของแรงดันไฟฟ้า
	$\Delta \delta$	คือ เวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนของมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า
	J_1, J_2, J_3, J_4	คือ เมทริกซ์จาโคเบียนย่อย (Sub Jacobian Matrix)

โดยสมาชิกของเมทริกซ์จาโคเบียนย่อยที่ 1 (J_1) นั้น ณ ตำแหน่ง Diagonal element และ Off-Diagonal element จะแสดงดังสมการที่ (2.33) และ (2.34)

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j| |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.34)$$

โดยสมาชิกของเมทริกซ์จาโคเบียนย่อยที่ 2 (J_2) นั้น ณ ตำแหน่ง Diagonal element และ Off-Diagonal element จะแสดงดังสมการที่ (2.35) และ (2.36)

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) + 2G_{ii} |V_i| \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.36)$$

โดยสมาชิกของเมทริกซ์จาโคเบียนย่อยที่ 3 (J_3) นั้น ณ ตำแหน่ง Diagonal element และ Off-Diagonal element จะแสดงดังสมการที่ (2.37) และ (2.38)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = |V_i| \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.38)$$

และสมาชิกของเมทริกซ์จาโคเบียนย่อยที่ 4 (J_4) นั้น ณ ตำแหน่ง Diagonal element และ Off-Diagonal element จะแสดงดังสมการที่ (2.39) และ (2.40)

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |V_j| |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - 2B_{ii} |V_i| \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2.40)$$

และค่าของ G_{ii} และ B_{ii} ได้จากสมการดังนี้

$$Y_{ii} = |Y_{ii}| \angle \theta_{ii} = |Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + j |Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) = G_{ii} + jB_{ii} \quad (2.41)$$

จากสมการที่ (2.32) นั้นแต่ละสมาชิกของ ΔP และ ΔQ นั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.42) และ (2.43) ตามลำดับดังนี้ เพื่อทำการปรับปรุงจุดทำงานใหม่ของการคำนวณครั้งต่อไป

$$\Delta P_i = (P_{gi} - P_{di}) - P_{i,cal} \quad (2.42)$$

$$\Delta Q_i = (Q_{gi} - Q_{di}) - Q_{i,cal} \quad (2.43)$$

โดยที่	ΔP_i	คือ สมาชิกตัวที่ i ของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนกำลังไฟฟ้าจริง
	ΔQ_i	คือ สมาชิกตัวที่ i ของเวกเตอร์ความคลาดเคลื่อนกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ
	P_{gi}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ที่บัส i

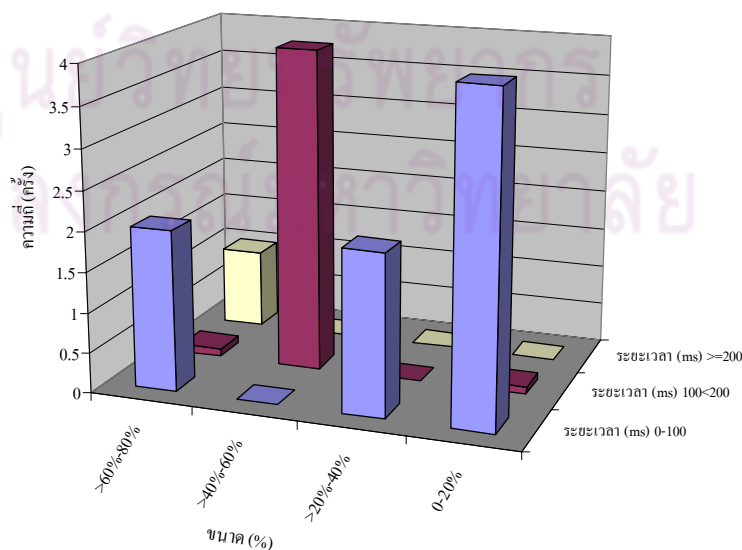
P_{di}	คือ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i
Q_{gi}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตได้ที่บัส i
Q_{di}	คือ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส i
$P_{i,cal}$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.30 สำหรับบัส i
$Q_{i,cal}$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.31 สำหรับบัส i

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันนั้น จำเป็นต้องทำการคำนวณสมการ (2.32) ซ้ำ เพื่อหาค่าที่จะนำไปปรับเปลี่ยนค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสคือ $\Delta\delta$ และ $|\Delta V|/|V|$ ให้มีค่าใกล้เคียงค่าตอบมากขึ้น จากนั้นจึงนำค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าเริ่มต้นของครั้งถัดไป โดยการคำนวณจะกระทำซ้ำจนกระทั่งความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากจนกระทั่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ในขั้นตอนสุดท้าย เราสามารถนำผลลัพธ์ที่เป็นคำตอบของแรงดันทั้งขนาดและมุมเฟสที่ตำแหน่งต่างๆในระบบ ณ สภาวะที่กำหนด ไปคำนวณปริมาณต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ รวมไปถึงกำลังไฟฟ้าการสูญเสียในระบบไฟฟ้าได้

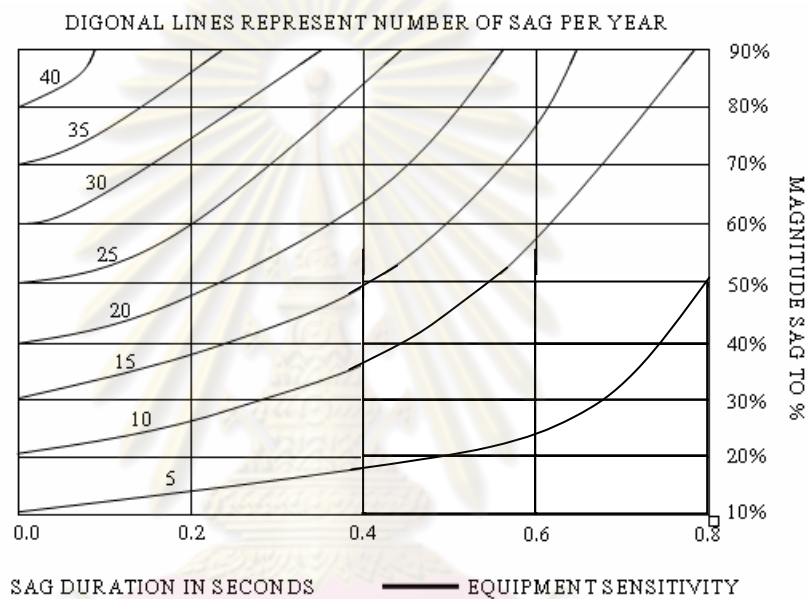
2.7 ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ [2]

จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ข้อมูลแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยในแต่ละช่วงขนาดและระยะเวลาสามารถนำมาแสดงได้ในแบบกราฟแท่ง 3 มิติดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 กราฟแท่ง 3 มิติที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

ข้อมูลที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ สามารถนำมาแสดงได้ในแบบแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sags coordination chart) ดังรูปที่ 2.9 ที่มีลักษณะเป็นตารางโดยแกนตั้งจะแสดงขนาดของแรงดันตกชั่วขณะและแกนนอนจะแสดงระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสำหรับเส้นโครงร่างบนตารางแต่ละเส้นจะแทนจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะต่อปี ส่วนข้อมูลของอุปกรณ์นั้นสามารถได้มาจากคุณลักษณะประจำตัวของอุปกรณ์หรือจากการทดสอบ



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

เมื่อนำข้อมูลของทั้งสองมาแสดงอยู่ในแผนภูมิเดียวกันจะทำให้สามารถรู้ได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้สามารถรับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะต่อหน่วยเวลาของระบบได้หรือไม่ เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับระบบต่อไป

2.8 การสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ [9]

การรายงานผลการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะจะเก็บผลการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะไว้ในตารางความถี่สะสมและสามารถนำมาสร้างเป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะประจำตัวของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะแล้วทำให้สามารถหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะได้ว่าในระยะเวลา 1 ปี อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องพบกับกาเกิดของแรงดันตก

ชั่วขณะที่มีลักษณะต่างๆ เป็นจำนวนเท่าใด โดยรายละเอียดของการสร้างและใช้งานแผนภูมิ แสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะมีดังนี้

ตารางที่ 2.4 เป็นตัวอย่างเหตุการณ์ที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งแบ่งขนาดของแรงดันตกชั่วขณะออกเป็น 9 ช่วง และแบ่งระยะเวลาของการเกิดเป็น 5 ช่วงๆ ละ 0.2 วินาที แล้วสมมติให้จำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทั้งปีเท่ากับ 45 ครั้ง โดยทุก เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเฉพาะตัวกระจายเกิดในทุกช่องของขนาดและเวลาที่ได้แบ่งไว้ ในทางปฏิบัติจำนวนช่องที่แบ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมแต่อย่างไรก็ตามการ เลือกลง 45 ช่องนี้ถือได้ว่ามีความเหมาะสมพอสมควร สำหรับ 15 ช่องทางมุมด้านขวาที่ได้เน้นไว้คือ การเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่จะนำไปแสดงเป็นตัวอย่างเพื่อความเข้าใจต่อไป [10]

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งปีที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	1	1	1	1	1
>70-80%	1	1	1	1	1
>60-70%	1	1	1	1	1
>50-60%	1	1	1	1	1
>40-50%	1	1	1	1	1
>30-40%	1	1	1	1	1
>20-30%	1	1	1	1	1
>10-20%	1	1	1	1	1
0-10%	1	1	1	1	1

ตารางที่ 2.5 แสดงความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับในแต่ละช่องจากตารางที่ 2.4

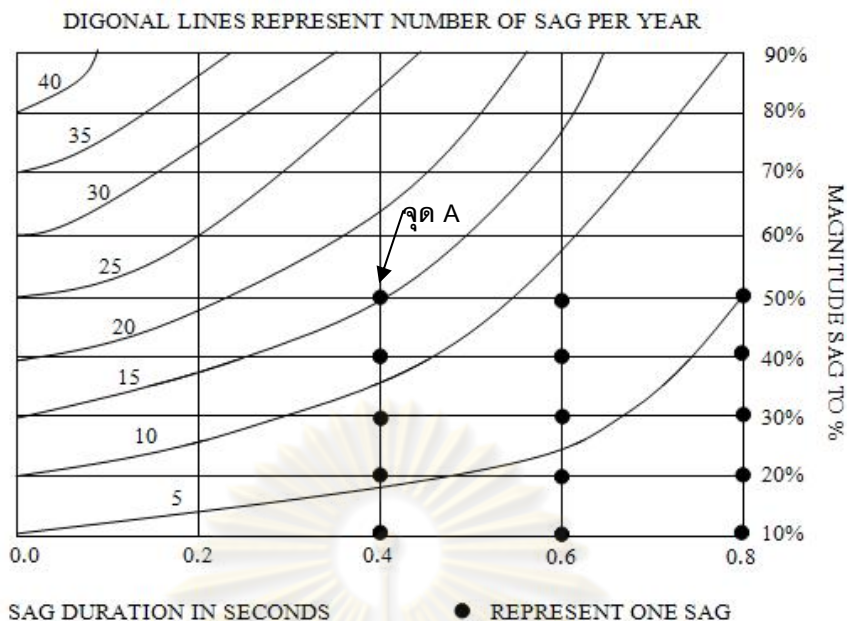
ตารางที่ 2.5 ตารางความถี่สะสมของตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งปีที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

ขนาด	เวลามีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	45	36	27	18	9
$\leq 80\%$	40	32	24	16	8
$\leq 70\%$	35	28	21	14	7
$\leq 60\%$	30	24	18	12	6
$\leq 50\%$	25	20	15	10	5
$\leq 40\%$	20	16	12	8	4
$\leq 30\%$	15	12	9	6	3
$\leq 20\%$	10	8	6	4	2
$\leq 10\%$	5	4	3	2	1

สำหรับความหมายของคำว่าต่ำกว่าคือ มีขนาดน้อยกว่าและระยะเวลายาวนานกว่า เมื่อพิจารณาจากตำแหน่งที่สนใจ ตัวอย่างคือ การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ 15 ครั้ง โดยมีขนาดแรงดันเท่ากับ 50% และระยะเวลามากกว่าหรือเท่ากับ 0.4 วินาที ในตารางที่ 2.5 ซึ่งมาจากผลรวมของ 15 ช่อง ที่ได้ทำการเน้นไว้ในตารางที่ 2.4 ความหมายคือ ทั้ง 15 ครั้งนี้จะมีขนาดแรงดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50% และระยะเวลาสั้นกว่า 0.4 วินาที

ขั้นตอนต่อไป คือ การนำข้อมูลจากตารางความถี่สะสมในแบบแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ ที่มีลักษณะเป็นตารางโดยแกนตั้งจะแสดงขนาดของแรงดันตกชั่วขณะและแกนนอนจะแสดงระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสำหรับเส้นโครงร่างบนตารางแต่ละเส้นจะแทนจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะต่อปี ดังรูปที่ 2.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่สร้างจากตารางที่ 2.5

สำหรับจุดดำแต่ละจุดที่แสดงอยู่บนตารางแทนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแต่ละครั้งจากตารางที่ 2.4 คือ การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ 15 ครั้งที่มีขนาดแรงดันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50% และระยะเวลา นานกว่า 0.4 วินาที โดยปกติแล้วจุดดังกล่าวจะไม่ปรากฏให้เห็นบนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะและในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะจริง การเกิดแรงดันตกชั่วขณะแต่ละครั้งจะเกิดตรงไหนก็ได้ที่ไม่ใช่ตรงกับแกนที่แสดงขนาดและระยะเวลา

สำหรับเส้นโครงร่างบนตารางแต่ละเส้นที่แทนจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะต่อปีได้จากวิธีการแทรกข้อมูล (Interpolation) ซึ่งในกรณีของตารางที่ 2.4 นี้การเกิดแรงดันตกชั่วขณะมีลักษณะการกระจายตัวแบบสมมาตร ตัวอย่างเช่น แนวเส้นการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ 32 ครั้ง จะอยู่ที่ประมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลา 0.2 วินาที และขนาด 80% เช่นเดียวกัน แนวเส้นการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ 25 ครั้ง จะอยู่ที่ประมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลา 0.28 วินาทีและขนาด 70% ดังในรูปที่ 2.11

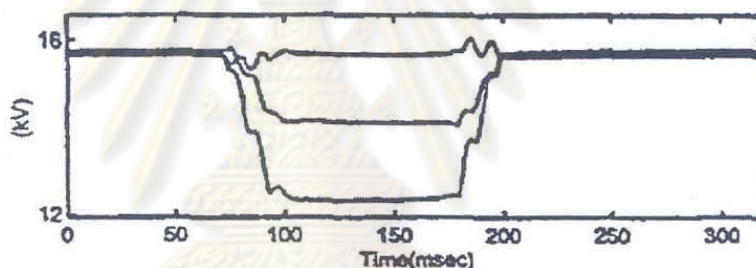
2.9 ลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาใช้สร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

ในการบันทึกผลจากการหาการกระจายตัวเพื่อนำมาสร้างแผนภูมิแสดงระดับของแรงดันตกชั่วขณะนั้นผลของขนาด ระยะเวลาและความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะคือสิ่งสำคัญที่บ่งบอกลักษณะของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ขนาดที่กล่าวถึงนี้คือค่าแรงดันที่เหลืออยู่ (Remaining

Voltage) ระหว่างการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์หรือเปอร์ยูนิตของระดับแรงดันปกติของระบบ สำหรับระยะเวลาก็คือช่วงเวลาของการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง และความถี่คือจำนวนครั้งของการเกิดในแต่ละเหตุการณ์ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ นอกจากนี้วิธีการพิจารณานับที่ผลยังประกอบด้วยรายละเอียดที่ทำให้ผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้มีความแตกต่างกันออกไปดังนี้

2.9.1 จำนวนเฟส

ปกติผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะของแต่ละเฟสในระบบ 3 เฟส มีความแตกต่างกันตามลักษณะการเกิดความผิดปกติ โดยเฉพาะในกรณีการเกิดความผิดปกติแบบไม่สมมาตรดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11 เพียงเฟสเดียวหรืออาจทั้ง 3 เฟสของอุปกรณ์อาจจะมองเห็นแรงดันตกพอที่จะเรียกได้ว่าเป็นแรงดันตกชั่วขณะสำหรับการเกิดความผิดปกติแต่ละครั้ง ดังนั้นแนวทางในการพิจารณานับที่ผลสามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้



รูปที่ 2.12 ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดปกติแบบไม่สมมาตร

วิธีที่ 1 นับที่เฉพาะค่าแรงดันที่ต่ำที่สุดใน 3 เฟส ของแต่ละเหตุการณ์ ข้อมูลที่ได้จากการหาการกระจายตัวจะเหมาะสมสำหรับโหลดชนิด 3 เฟส โดยจะพิจารณาว่าอุปกรณ์ 3 เฟสในระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันที่ต่ำที่สุดใน 3 เฟส หรืออุปกรณ์ 1 เฟสที่แยกเป็น 3 เฟส แต่ในกรณีที่มีการตัดวงจรจากอันใดอันหนึ่งแล้วส่งผลให้ขบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก จึงนับจำนวนครั้งของการเกิดเฉพาะเฟสที่มีขนาดของแรงดันตกมากที่สุดใน 3 เฟส เป็น 1 ครั้ง สำหรับการเกิดความผิดปกติแต่ละครั้ง แต่ในทางปฏิบัติอุปกรณ์ 3 เฟส อาจจะสามารถทนต่อการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเฟสเดียวได้ถ้าแรงดันที่เหลือในเฟสอื่นมีค่ามากพอ ในทำนองเดียวกัน อุปกรณ์เดียวกันนี้อาจจะไม่สามารถทนต่อการเกิดแรงดันตกชั่วขณะได้ถ้าแรงดันที่เหลือในเฟสอื่นมีค่าต่ำใกล้เคียงกัน

วิธีที่ 2 นับที่เหตุการณ์ในแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระจากกัน ข้อมูลที่ได้จากการหาการกระจายตัวจะเหมาะสมสำหรับโหลดชนิด 1 เฟส โดยจะพิจารณาผลของจำนวนครั้งการเกิดแรงดัน

ตกชั่วขณะที่ได้ของแต่ละเฟสใน 3 เฟส ต้องเฉลี่ยเป็น $1/3$ ครั้ง เช่น ถ้าเกิดความผิดปกติพร้อมลงดินชนิด 1 เฟส หรือ เกิดความผิดปกติพร้อมระหว่างเฟสขึ้น จะบันทึกค่าความถี่การเกิดของแต่ละขนาดแรงดันของแต่ละเฟสเท่ากับ $1/3$ ครั้ง ซึ่งในกรณีที่เกิดความผิดปกติแบบสมมาตรขนาดของแรงดันทั้ง 3 เฟส จะเท่ากันจะทำให้บันทึกได้เป็น 1 ครั้ง

วิธีที่ 3 บันทึกค่าแรงดันจากการเฉลี่ยทั้ง 3 เฟส จะพิจารณาโดยสมมติให้อุปกรณ์ 3 เฟสในระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่ตกที่ได้จากการเฉลี่ยทั้ง 3 เฟส วิธีการนี้จะได้ค่าจำนวนครั้งการเกิดเป็น 1 ครั้ง สำหรับการเกิดความผิดปกติแต่ละครั้ง สำหรับค่าขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่ได้นั้นเป็นค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 เฟส จึงไม่ตรงกับค่าขนาดของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงของเฟสหนึ่งเฟสใดใน 3 เฟส

2.9.2 การนับจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสำหรับกรณีการปิดกลับของอุปกรณ์ป้องกัน

การปิดกลับอัตโนมัติ (Automatic Reclosing) ของอุปกรณ์ป้องกันเป็นเหตุการณ์ปกติสำหรับระบบแรงดันปานกลางและระบบแรงดันสูง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยทั่วไปวิธีการที่ใช้ในการบันทึกผลสำหรับการปิดกลับอัตโนมัติมี 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 นับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะหลายครั้งเป็นครั้งเดียว ถ้าเหตุการณ์เกิดขึ้นในคาบเวลาสั้นๆ นั่นคือภายในเวลา 5 นาที ตัวอย่างเช่น เกิดแรงดันตกชั่วขณะ 2 ครั้ง สาเหตุจากการปิดกลับของอุปกรณ์ป้องกันที่มีความเร็วสูงแล้วทำการตัดวงจร จะนับเป็นการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ 1 ครั้ง พื้นฐานของวิธีการนี้คืออุปกรณ์ที่มีความไวสูงจะเกิดการล้มเหลวตั้งแต่การเกิดแรงดันตกชั่วขณะครั้งแรก ดังนั้นการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดตามมาก่อนที่อุปกรณ์จะกลับมาทำงานได้ตามปกติ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ความยากคือการเลือกคาบเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะซ้ำแล้วให้นับเป็น 1 ครั้ง ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงตามกระบวนการผลิตที่ตำแหน่งสนใจ

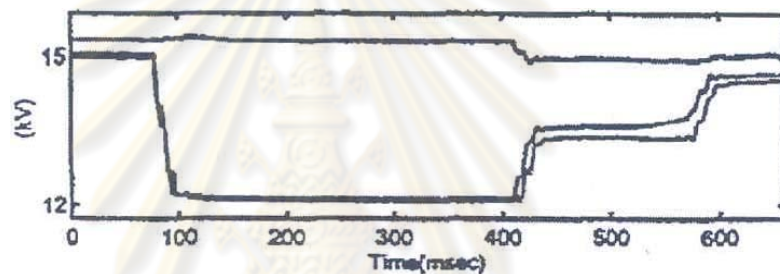
วิธีที่ 2 นับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทุกครั้งที่เกิดขึ้น แม้ว่าเกิดการเกิดแรงดันตกชั่วขณะนั้นจะเกิดขึ้นห่างกันภายในเวลาไม่กี่วินาที ตัวอย่างเช่น เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้น 2 ครั้ง เนื่องจากการทำงานปิดกลับของอุปกรณ์ป้องกันที่มีความเร็วสูงและตัดการทำงาน การนับจำนวนครั้งของการเกิดก็จะนับเป็น 2 ครั้ง วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องที่มากกว่าแต่ก็อาจจะให้ค่าของจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่สูงเกินความจริงได้

สำหรับวิธีการทั้งสองนี้สามารถใช้ได้ในการตรวจวัดจริง แต่ในการหาการกระจายตัวนั้นจะขึ้นอยู่กับข้อมูลอัตราการล้มเหลวที่ได้บันทึกไว้ซึ่งข้อมูลที่ได้อาจจะนับทุกครั้งที่เกิดหรืออาจจะ

นับการเกิดหลายครั้งเป็นครั้งเดียวถ้าแรงดันตกชั่วขณะเกิดขึ้นจากการทำงานปิดกลับอัตโนมัติของ อุปกรณ์ป้องกันที่ต่อเนื่องกันดังนั้นการประเมินต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ด้วยเพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ของการหาการกระจายตัวที่ถูกต้อง

2.9.3 การนับระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ในการหาการกระจายตัวจะสมมติให้แรงดันตกชั่วขณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular) คือ มีขนาดเพียงขนาดเดียว แต่บางครั้งการนับระยะเวลาการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะจะมีปัญหาในกรณีที่แรงดันตกชั่วขณะที่ไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Nonrectangular) ซึ่ง เกิดจากมีการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ระหว่างการเกิดความผิดปกติทำให้ขนาดของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมี 2 ขนาด หรือ มากกว่าในเหตุการณ์เดียวกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดมากกว่า 1 ค่า

นอกจากนี้โหลดที่เป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่จะทำให้รูปร่างของแรงดันตกชั่วขณะเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นในการประเมินระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะอาจจะให้เป็นระยะเวลาทั้งหมดที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้นหรือเป็นอย่างอื่นขึ้นอยู่กับการนิยาม

2.10 การใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

เมื่อต้องการใช้งานข้อมูลของระบบ ที่ได้จากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่อยู่ในรูปแบบของแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะจะต้องนำข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะมารวมกันในแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ เพื่ออ่านค่าจำนวนครั้งของแรงดันตกชั่วขณะที่อุปกรณ์จะต้องเจอในรอบ 1 ปี ซึ่งข้อมูลของอุปกรณ์มีอยู่ 2 แบบ โดยแต่ละแบบมีรายละเอียดของวิธีการอ่านข้อมูลดังนี้

2.10.1 อุปกรณ์แบบที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular sensitivity equipment)

ข้อมูลความไวของอุปกรณ์หรือเส้นแสดงความทนทานต่อแรงดัน (Voltage tolerance) สามารถได้มาจากหลายวิธี เช่น จากกระบวนการผลิต จากการทดสอบ จากการจำลองแบบสภาพจริง (Simulation) หรือจากตัวอย่างมาตรฐานของอุปกรณ์นั้นๆ จากรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงการนำข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากมารวมเข้ากับข้อมูลของระบบ ซึ่งในส่วนที่มีการแรงเงา คือบริเวณที่แสดงถึงขนาดและระยะเวลาที่จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหยุดชะงักหรือการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ โดยจุดตัดกันระหว่างมุมหักของข้อมูลความไวของอุปกรณ์กับเส้นโครงร่างบนตารางจะแสดงจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ทำให้เกิดการหยุดชะงักหรือการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์



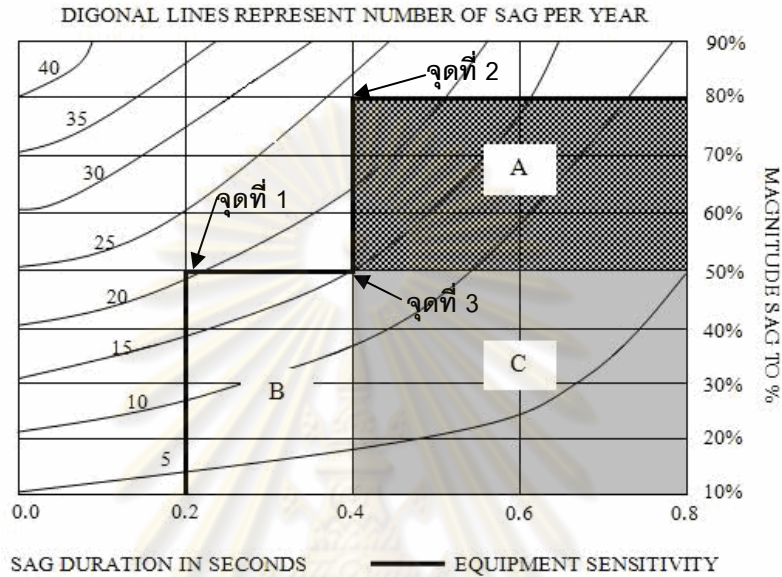
รูปที่ 2.14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.14 จุดตัดกันของข้อมูล (จุด A) คือ เส้นโครงร่าง 15 ครั้ง ดังนั้นจำนวนครั้งที่อุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งที่สนใจ จะต้องพบกับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ทำให้เกิดการหยุดชะงักหรือทำงานผิดพลาด มีค่าเท่ากับ 15 ครั้งต่อปี

2.10.2 อุปกรณ์แบบที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Non-rectangular sensitivity equipment)

การอ่านค่าจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะสำหรับอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากนี้จะใช้หลักการประมาณให้เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากหลายรูปดังตัวอย่างในรูปที่ 2.14

ซึ่งข้อมูลความไวของอุปกรณ์ที่สามารถแบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมได้ 3 รูป คือ A, B และ C สำหรับจุดตัดที่ 1 คือ จุดที่ตัดกับเส้นโครงร่าง 20 ครั้ง และจุดตัดที่ 2 คือ จุดที่ตัดกับเส้นโครงร่างประมาณ 24 ครั้ง ที่ได้จากการใช้วิธีแทรกข้อมูล ส่วนจุดตัดที่ 3 เป็นจุดตัดของพื้นที่ C คือ จุดตัดที่เส้นโครงร่าง 15 ครั้ง



รูปที่ 2.15 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ที่มีลักษณะไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

วิธีการอ่านโดยการประมาณให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากหลังจากแบ่งพื้นที่เป็นสี่เหลี่ยมแล้ว จะพิจารณาโดยใช้สมการดังนี้

$$\text{จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ} = \text{พื้นที่ A} + \text{พื้นที่ B} + \text{พื้นที่ C} \tag{2.44}$$

จุดตัดที่ 1 มาจากพื้นที่ B รวมกับพื้นที่ C อุปกรณ์จะตัดวงจร 20 ครั้งต่อปี จะได้ว่า

$$\text{พื้นที่ B} + \text{พื้นที่ C} = 20 \tag{2.45}$$

จุดตัดที่ 2 มาจากพื้นที่ A รวมกับพื้นที่ C อุปกรณ์จะตัดวงจร 24 ครั้งต่อปี จะได้ว่า

$$\text{พื้นที่ A} + \text{พื้นที่ C} = 24 \tag{2.46}$$

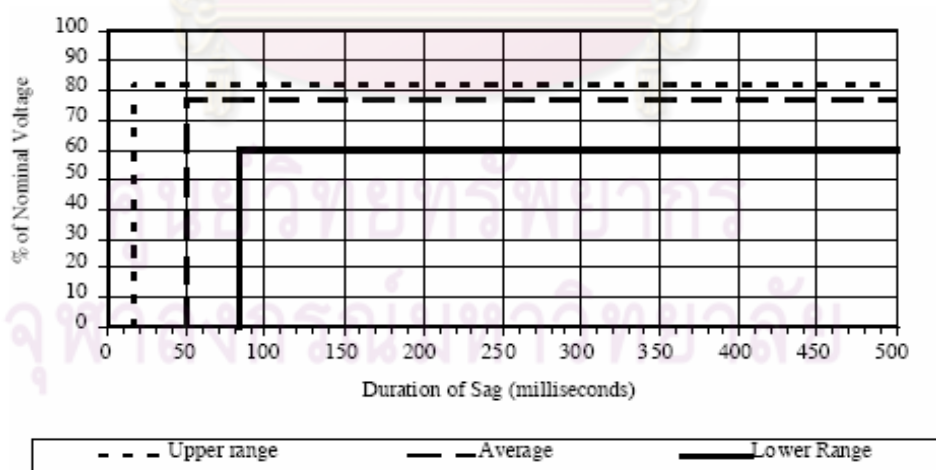
พื้นที่ C ตัดที่เส้นโครงร่าง 15 ครั้ง ดังนั้น $C = 15$ เมื่อแทนในสมการที่ (2.45) และ (2.46) จะได้ค่า พื้นที่ A=9 และพื้นที่ B=5 และเมื่อแทนค่าพื้นที่ A และพื้นที่ B ลงในสมการที่ (2.44) จะได้จำนวนครั้งการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทั้งหมด

$$\text{พื้นที่ A} + \text{พื้นที่ B} + \text{พื้นที่ C} = 9 + 5 + 15 = 29 \text{ ครั้งต่อปี} \tag{2.47}$$

2.11 ตัวอย่างข้อมูลความคงทนของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะ

ข้อมูลความคงทนของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะ จะนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยในหัวข้อนี้จะนำตัวอย่างข้อมูลความคงทนของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งจะมีอุปกรณ์ดังนี้คือ ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Adjustable Speed Drive), โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller) และ คอมพิวเตอร์ (Personal Computer) โดยจะแสดงดังรูปที่ 2.16, 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ [11]

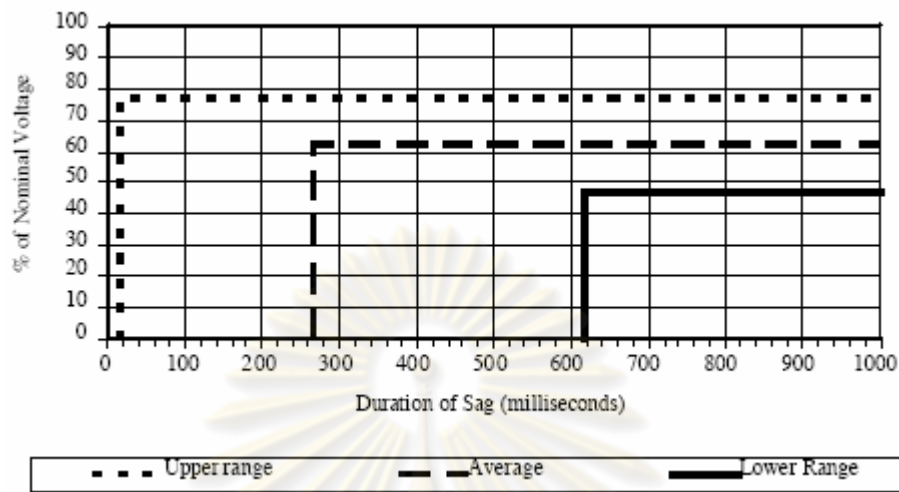
จากรูปที่ 2.16 พบว่าข้อมูลค่าความคงทนของอุปกรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยค่าเฉลี่ยของค่าความคงทนของชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์จะมีขนาดแรงดันเท่ากับ 78% ของแรงดันปกติ และระยะเวลาของแรงดันตกเท่ากับ 50 มิลลิวินาที



รูปที่ 2.16 ข้อมูลความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์

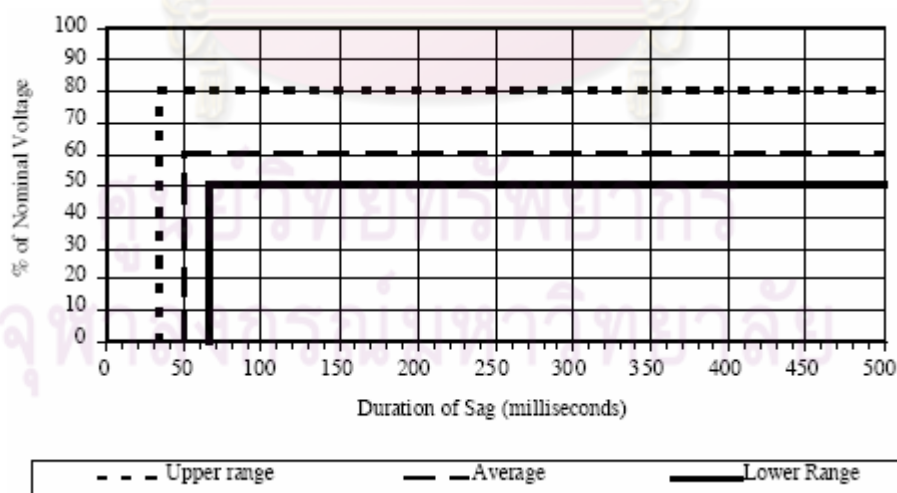
จากรูปที่ 2.17 พบว่าข้อมูลค่าความคงทนของอุปกรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยค่าเฉลี่ยของค่าความ

คงทนของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์จะมีขนาดแรงดันเท่ากับ 63% ของแรงดันปกติ และระยะเวลาของแรงดันตกเท่ากับ 270 มิลลิวินาที



รูปที่ 2.17 ข้อมูลความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 2.18 พบว่าข้อมูลค่าความคงทนของอุปกรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของคอมพิวเตอร์จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยค่าเฉลี่ยของค่าความคงทนของคอมพิวเตอร์จะมีขนาดแรงดันเท่ากับ 60% ของแรงดันปกติ และระยะเวลาของแรงดันตกเท่ากับ 50 มิลลิวินาที



รูปที่ 2.18 ข้อมูลความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันของคอมพิวเตอร์

2.12 รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ

ลักษณะการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีผลต่อขนาดและมุมเฟสของแรงดันเมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติขึ้น และจะมีผลต่อแรงดันตกชั่วขณะทางด้านทฤษฎี ซึ่งมีรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะสามารถแยกประเภทได้ทั้งหมด 7 ประเภท แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 รูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะ

รูปแบบแรงดันตกชั่วขณะ	Voltage Equation	Phasor Diagram
A	$V_A = V$ $V_B = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}V}{2}$ $V_C = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}V}{2}$	
B	$V_A = V$ $V_B = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_C = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$	
C	$V_A = 1$ $V_B = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_C = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$	
D	$V_A = V$ $V_B = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}$ $V_C = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}$	
E	$V_A = 1$ $V_B = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}V}{2}$ $V_C = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}V}{2}$	

ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกับโหลดที่ต่ออยู่ที่บัส 3

ชนิดความผิด พ่วง	ความผิดพ่วงที่ F1			ความผิดพ่วงที่ F2		
	Origin (Vphase)	โหลด (Delta)	โหลด (Wye)	Origin (Vphase)	โหลด (Delta)	โหลด (Wye)
สามเส้นลงดิน	A	A	A	A	A	A
เส้นเดียวลงดิน	B	C	D	B	D	C
สองเส้น	C	F	C	C	C	F
สองเส้นลงดิน	E	F	G	E	G	F

จากตารางที่ 2.7 เป็นการแสดงรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกับโหลดที่ต่ออยู่ที่บัส 3 โดยบัสที่ 3 จะมีโหลดต่ออยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ โหลดที่ต่อเป็นเดลต้า (Delta) และโหลดที่ต่อเป็นวายด์ (Wye) ซึ่งเมื่อในระบบไฟฟ้าเกิดความผิดพ่วงขึ้นที่ F1 และ F2 นั้นจะทำให้โหลดที่ต่ออยู่ที่บัส 3 ได้รับผลกระทบจากรูปแบบของแรงดันตกชั่วขณะแตกต่างกันออกไปตามตาราง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

โปรแกรมคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังที่ต้องการค่าความถูกต้องสูงต้องมีการคำนวณการเกิดความผิดพลาดทุกแบบในหลายๆตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังและถ้าระบบที่ทำการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะมีขนาดใหญ่จะทำให้การคำนวณต้องใช้เวลามากตามไปด้วยจึงไม่สะดวกถ้าจะใช้การคำนวณด้วยมือ ดังนั้นเพื่อความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ในการศึกษาจะทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นโดยโปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นนี้จะใช้วิธีตำแหน่งการเกิดความผิดพลาด (Fault position method) ในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งเป็นวิธีการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในรอบปี ณ ตำแหน่งที่สนใจที่มีอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออยู่โดยจะทำการคำนวณการเกิดความผิดพลาด ณ ตำแหน่งอื่นๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังแล้วพิจารณาผลที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้น ณ ตำแหน่งที่สนใจแล้วทำการเก็บข้อมูลทั้งขนาด ระยะเวลา และความถี่ ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะไว้จนทำการคำนวณจนครบทุกตำแหน่งในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลที่ได้จะแสดงออกมาในรูปแบบของแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag coordination chart) โดยมีรายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังนี้

3.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะทำการคำนวณและหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจากการเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังโดยมีขอบเขตเงื่อนไขในการพัฒนาโปรแกรมดังนี้

1. พิจารณาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular) คือ ให้มีขนาดและระยะเวลาเพียงค่าเดียวในแต่ละครั้งของการเกิดความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง
2. ไม่พิจารณาการเกิดความผิดพลาดที่ซ้ำซ้อนหรือเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน
3. ในการคำนวณระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเฉพาะอันดับแรก (Primary protection) คือ สมมติให้อุปกรณ์ป้องกันอันดับแรก

สามารถทำการกำจัดการเกิดความผิดปกติได้สำเร็จทุกครั้งโดยไม่พิจารณาการทำงานล้มเหลวของอุปกรณ์ป้องกัน

4. พิจารณาว่าเมื่ออุปกรณ์ป้องกันทำการกำจัดการเกิดความผิดปกติแล้วทำให้การเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นหายไป

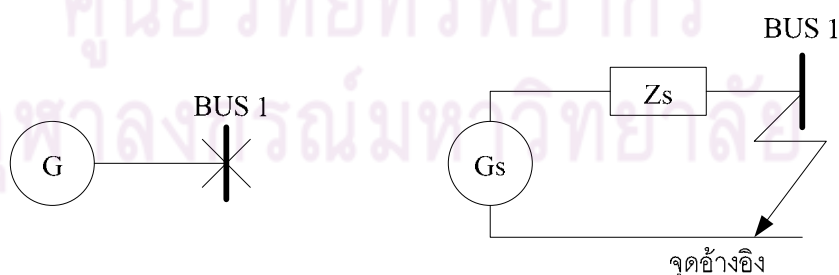
5. การคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง จะสามารถคำนวณและหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะได้ทั้งระบบส่งกำลังไฟฟ้าและระบบจำหน่ายในแต่ละระดับแรงดัน โดยในการคำนวณจะรวมผลของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดต่างๆ ร่วมด้วย

3.2 การกำหนดตำแหน่งการเกิดความผิดปกติของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง

การหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะโดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ (Fault position method) ต้องมีการคำนวณการเกิดความผิดปกติในหลายๆ ตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลายอย่าง เช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Generator) หม้อแปลง (Transformer) สายส่งและสายจำหน่าย (Transmission line and distribution line) ซึ่งมีอัตราการเกิดความผิดปกติต่างกัน ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณได้มีการกำหนดตำแหน่งการเกิดความผิดปกติเพื่อใช้ในการคำนวณการเกิดความผิดปกติและค่าความถี่ของการเกิดความผิดปกติของอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ดังนี้

3.2.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

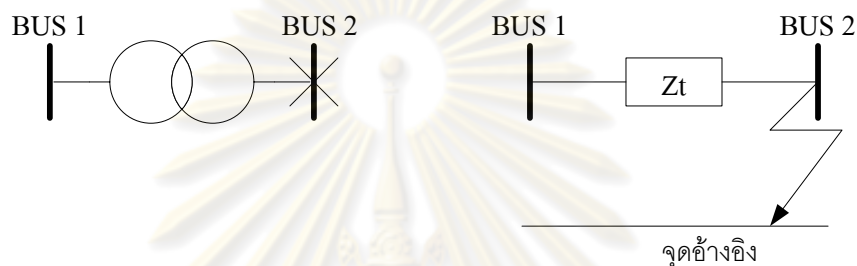
สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจะกำหนดให้เกิดความผิดปกติ 1 ตำแหน่ง ณ ตำแหน่งบัสที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดความผิดปกติจะให้เท่ากับอัตราการเกิดความผิดปกติ/ปี ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดความผิดปกติของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า

3.2.2 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

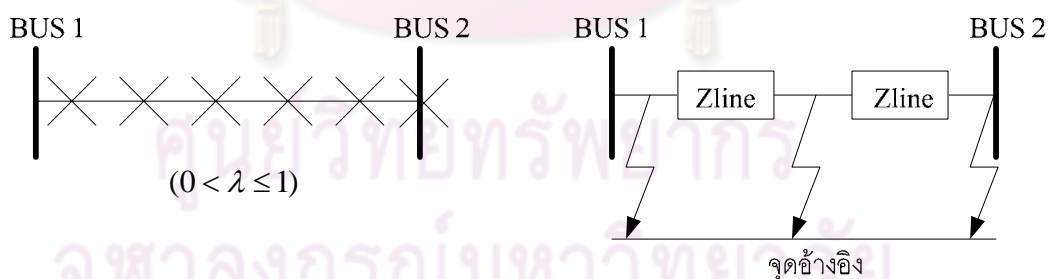
สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าจะกำหนดให้เกิดความผิดพลาด 1 ตำแหน่ง ณ ตำแหน่งที่บัสที่อยู่ด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทางด้านปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงไฟฟ้าจะไม่กำหนดให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากเมื่อนำหม้อแปลงไฟฟ้าไปต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังแล้วจะทำให้ตำแหน่งที่เกิดความผิดพลาดเกิดการทับซ้อนกัน ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณ และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดความผิดพลาดจะให้เท่ากับ อัตราการเกิดความผิดพลาด/ปี ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดความผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้า

3.2.3 สายส่งและสายจำหน่าย (Transmission line and distribution line)

สำหรับสายส่งและสายจำหน่ายจะกำหนดให้เกิดความผิดพลาดบนสายโดยจะกระจายตำแหน่งการเกิดความผิดพลาด (λ) ไปตามความยาวของสายดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งที่ใช้คำนวณการเกิดความผิดพลาดของสายส่งและสายจำหน่าย

โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งและจำนวนของการเกิดความผิดพลาดของสายส่งและสายจำหน่ายนี้ จะทำการกำหนดโดยใช้ลักษณะการกระจายการเกิดแบบสม่ำเสมอ (Uniform) คือ ทุกตำแหน่งมีโอกาสเกิดความผิดพลาดเท่ากัน โดยตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดจะสมมติให้เกิดกระจายเป็นระยะเท่าๆ กันตลอดทั้งความยาวสายจำนวน 100 ตำแหน่งตั้งแต่ตำแหน่งที่ $\lambda = 0.01$ ถึง $\lambda = 1$ เมื่อต้องการคำนวณการเกิดความผิดพลาดทั้ง 4 แบบคือ

ความผิดปกติแบบสามเส้นลงดิน (Three phase to ground fault) ความผิดปกติแบบเส้นเดียวลงดิน (Single line to ground fault) ความผิดปกติแบบสองเส้น (Line to line fault) และ ความผิดปกติแบบสองเส้นลงดิน (Double line to ground fault) ทำให้วิธีการนี้ต้องคำนวณการเกิดความผิดปกติตลอดทั้งสายเป็นจำนวน 400 ครั้ง ซึ่งต้องใช้เวลาในการคำนวณมากแต่วิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องสูง การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดความผิดปกติจะให้ในแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากันคือเท่ากับอัตราการเกิดความผิดปกติต่อปีหารด้วยจำนวนตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ เช่น สายส่งยาว 100 กิโลเมตร และมีอัตราการเกิดความผิดปกติเท่ากับ 10 ครั้งต่อ 100 กิโลเมตรต่อปี หรือเท่ากับ 0.1 ครั้งต่อ 1 กิโลเมตรต่อปี โดยมีจำนวนตำแหน่งการเกิดความผิดปกติเท่ากับ 100 ตำแหน่ง ดังนั้นทุกๆ ตำแหน่งจะมีระยะห่างเท่ากับ 1 กิโลเมตร จึงทำให้แต่ละตำแหน่งมีค่าความถี่เท่ากับ 0.1 ครั้งต่อปี

นอกจากนี้สามารถปรับการกำหนดตำแหน่งการเกิดความผิดปกติเป็นกี่ตำแหน่งก็ได้ โดยในการกำหนดต้องแบ่งช่วงระยะให้เท่าๆ กันและกระจายการเกิดตลอดทั้งความยาวสาย สำหรับอัตราการเกิดความผิดปกติของแต่ละตำแหน่งก็จะแตกต่างกันไปตามอัตราการเกิดความผิดปกติต่อระยะทางของสายนั้นค่าความถูกต้องที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนตำแหน่งที่กำหนดโดยถ้ายิ่งกำหนดตำแหน่งให้มากขึ้นค่าความถูกต้องก็จะมากตามไปด้วย

3.3 การกำหนดอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง

การป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น จะใช้รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์ป้องกัน โดยรีเลย์ที่ใช้ในระบบจำหน่าย (Distribution System) และระบบส่งกำลัง (Transmission System) จะมีความแตกต่างกันดังนี้

3.3.1 ระบบจำหน่าย (Distribution System)

รีเลย์ที่นำมาใช้ป้องกันการเกิดความผิดปกติในระบบจำหน่ายจะเป็นรีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay) แบบ Inverse Definite Minimum Time (IDMT) ซึ่งการคำนวณระยะเวลาที่ใช้เพื่อจำกัดความผิดปกติ จะใช้สมการตามมาตรฐาน IEEE Std C37.112-1996 [12] ดังนี้

$$t(I) = \left(\frac{A}{M^P - 1} + B \right) \quad (3.1)$$

โดย $t(I)$ คือ ระยะเวลาที่รีเลย์ทำงาน

A , B และ P คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของรีเลย์

M คือ $I_{input} / I_{pick up}$ ซึ่ง I_{input} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรีเลย์, $I_{pick up}$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่รีเลย์ตั้งค่าไว้

จากสมการที่ 3.1 ค่า A, B และ P จะเป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของรีเลย์ ซึ่งสามารถหาได้จากการทดสอบการทำงานของรีเลย์ ดังนั้นค่า A, B และ P จะได้จากข้อมูลการทดสอบรีเลย์ของผู้ผลิตรีเลย์

3.3.2 ระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System)

รีเลย์ที่นำมาใช้ป้องกันการเกิดความผิดปกติในระบบส่งกำลังไฟฟ้า จะเป็นรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ซึ่งจะกำหนดระยะเวลาในการทำงานเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่ 1 ป้องกัน 0%-80% ของสายไฟฟ้า และช่วงเวลาที่ 2 ป้องกัน 80%-100% ของสายไฟฟ้า โดยช่วงเวลาที่ 2 ในการใช้งานจริงจะกำหนดการป้องกันเป็น 80%-120% ของสายไฟฟ้า [13] แต่เนื่องจากขอบเขตและเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม ซึ่งกำหนดให้เมื่อเกิดความผิดปกติจะพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเฉพาะอันดับแรก (Primary Protection) ดังนั้นจึงกำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันมีการป้องกันเท่ากับ 80%-100% ของสายไฟฟ้า

3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรมการคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถเลือกป้อนข้อมูลผ่านโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาหรือเลือกป้อนข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล Excel

ขั้นตอนที่ 2 โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow Analysis)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาค่าของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริก (Ybus Matrix) และค่าของบัสอิมพีแดนซ์เมตริก (Zbus Matrix) ลำดับบวก ลำดับลบ และลำดับศูนย์

ขั้นตอนที่ 4 ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานระหว่างคำนวณความผิดปกติกับคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อผู้ใช้งานเลือกใช้งานการคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะซึ่งจะมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

5.1 รับค่าข้อมูลของรีเลย์ที่ป้องกันสายไฟฟ้าที่อยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง

5.2 รับค่าจำนวนตำแหน่งที่สามารถเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังได้

5.3 คำนวณหาค่าขนาดของแรงดันที่บัลต์ต่างๆ คำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดความผิดปกติ และคำนวณความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นตามตำแหน่งที่กำหนดของแต่ละอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 6 แสดงผลการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะโดยจะแสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ แสดงบริเวณของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งบริเวณของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ คือ บริเวณที่เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นแล้วมีผลทำให้อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเกิดการทำงานผิดพลาด และแสดงกราฟแท่ง 3 มิติที่แสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะ

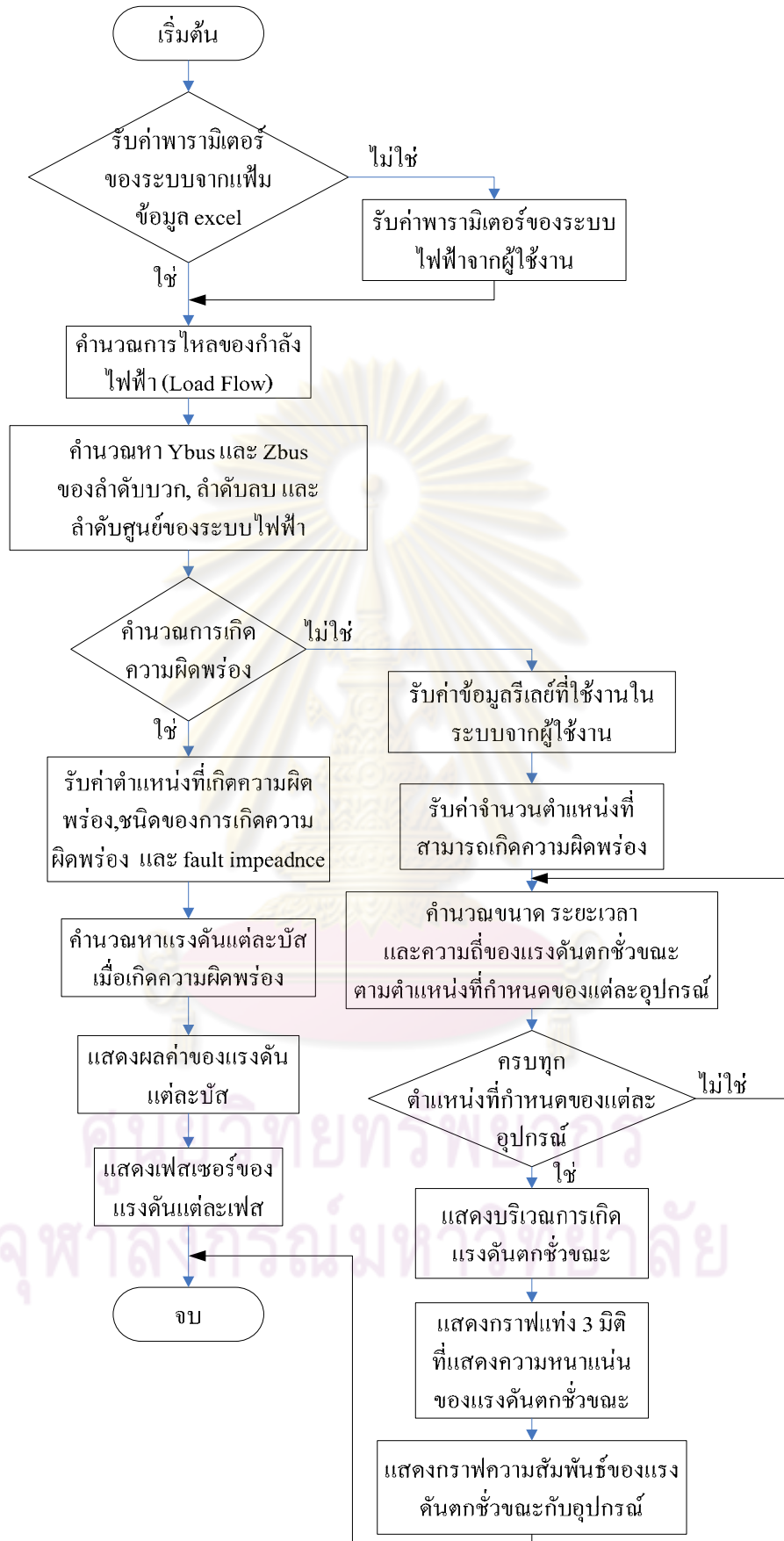
ขั้นตอนที่ 7 เมื่อผู้ใช้งานเลือกใช้งานการคำนวณความผิดปกติ ซึ่งจะมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

7.1 รับค่าตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ชนิดของการเกิดความผิดปกติ และค่าอิมพีแดนซ์ความผิดปกติ (Fault Impedance)

7.2 คำนวณหาค่าแรงดันแต่ละบัลต์เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

ขั้นตอนที่ 8 แสดงผลค่าของแรงดันแต่ละบัลต์ และแสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันแต่ละเฟส

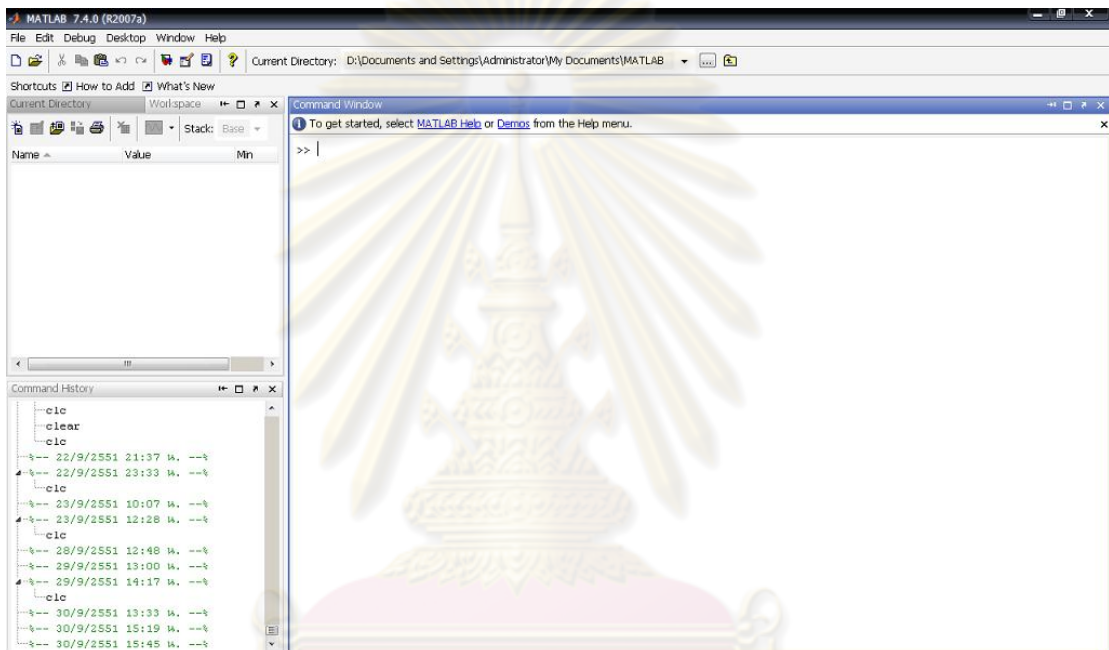
จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นไดอะแกรมขั้นตอนการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ไดอะแกรมขั้นตอนการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

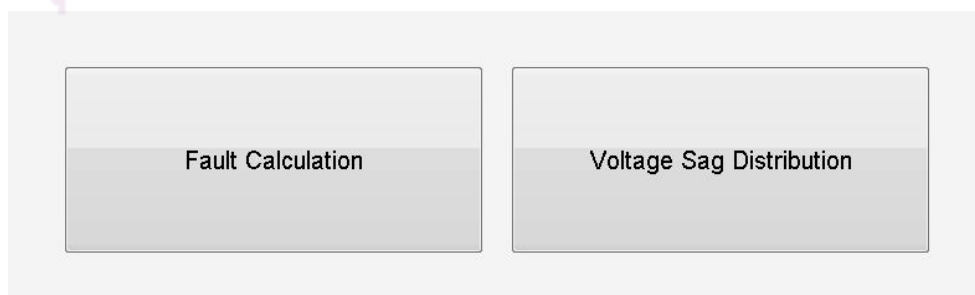
3.5 การป้อนข้อมูลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะเริ่มจากการป้อนข้อมูลของระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลได้ 2 วิธี คือ ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลด้วยตัวเอง หรือป้อนข้อมูลผ่านทางแฟ้มข้อมูลตาราง (Excel) โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาได้พัฒนาโดยใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2007a ดังนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาจำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2007a หรือเวอร์ชันสูงกว่าด้วย จากนั้นเมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่โปรแกรม MATLAB แล้ว จะแสดงดังรูปที่ 3.5



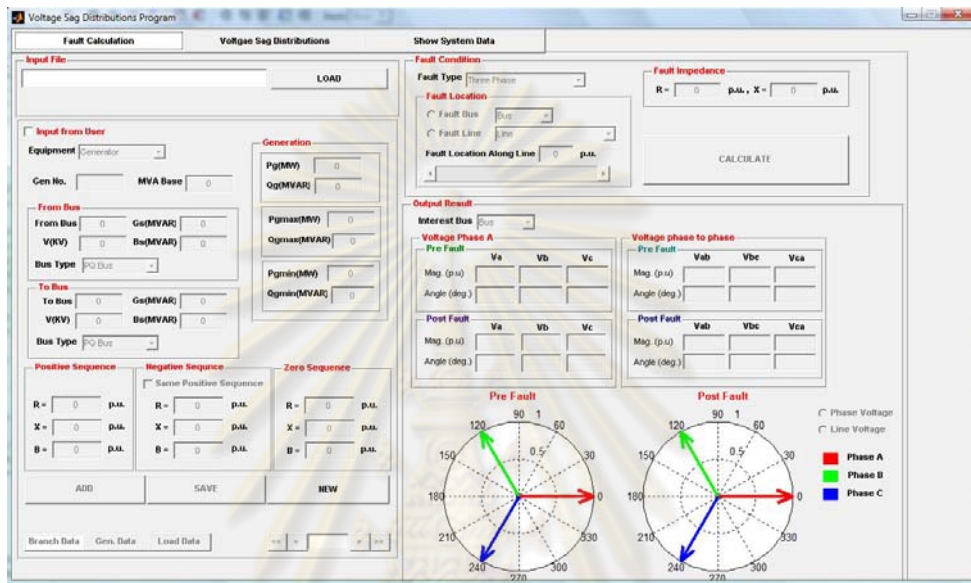
รูปที่ 3.5 หน้าจอโปรแกรม MATLAB

จากนั้นเลือก Current Directory ไปที่โฟลเดอร์ชื่อว่า Sag Calculation Program และจากนั้นให้พิมพ์ที่ Command Window ว่า 'start_page' แล้วกด enter จะปรากฏหน้าจอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 3.6

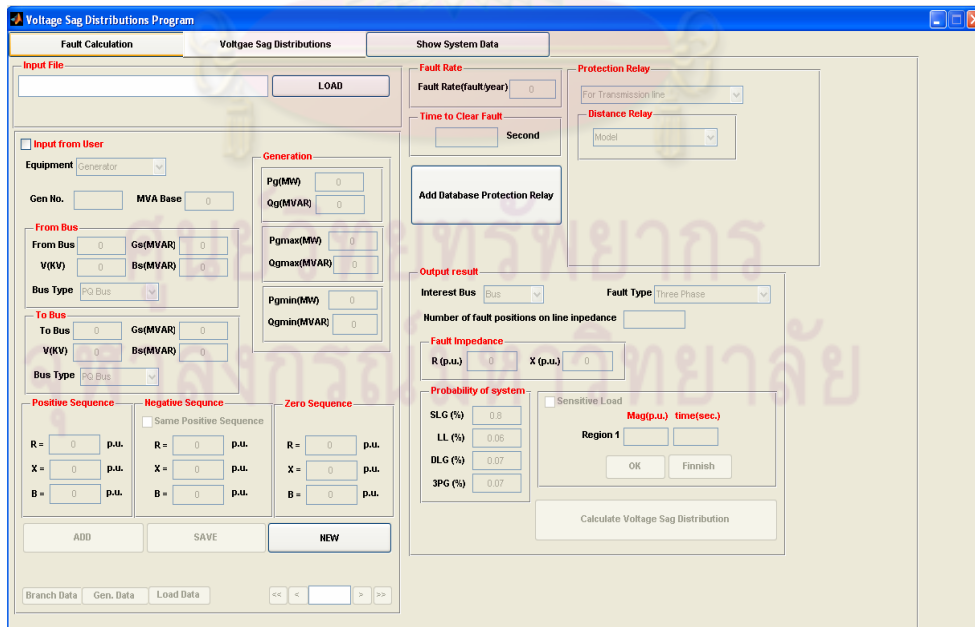


รูปที่ 3.6 หน้าจอเมื่อเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

จากรูปที่ 3.6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถเลือกใช้งานได้ 2 แบบ คือ การคำนวณความผิดปกติ (Fault Calculation) และการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วคราว (Voltage Sag Distribution) โดยเมื่อผู้ใช้งานเลือกการคำนวณความผิดปกติ จะแสดงดังรูปที่ 3.7 และหากผู้ใช้งานเลือกการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วคราว จะแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 หน้าจอเมื่อเลือกการคำนวณความผิดปกติ (Fault Calculation)



รูปที่ 3.8 หน้าจอเมื่อเลือกการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วคราว (Voltage Sag Distribution)

3.5.1 การป้อนข้อมูลโดยผู้ใช้งาน

เมื่อต้องการป้อนข้อมูลโดยผู้ใช้งาน สามารถเลือกที่ช่อง Input from User ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมา จากนั้นจะสามารถเลือกอุปกรณ์ที่อยู่ส่วนของ Equipment ได้ โดยจะมีอุปกรณ์ให้สามารถเลือกได้ทั้งหมด 4 อุปกรณ์ ซึ่งรายละเอียดของการป้อนข้อมูลของอุปกรณ์แต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกันดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

การป้อนรายละเอียดข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive Sequence Resistance), ค่าความต้านทานลำดับลบ (Negative Sequence Resistance) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero Sequence Resistance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 2 ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence Reactance), ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับลบ (Negative Sequence Reactance) และค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero Sequence Reactance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 3 บัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่

ขั้นตอนที่ 4 แรงดันของบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ (kV)

ขั้นตอนที่ 5 ชั้นท์คอนดัคแตนซ์ (Shunt Conductance, Gs) ป้อนค่าเป็นเมกกะวัตต์ (MW) และชั้นท์ซัพเซพแตนซ์ (Shunt Susceptance, Bs) ป้อนค่าเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 6 ชนิดของบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ ซึ่งชนิดของบัสจะมี 3 ชนิด คือ PQ Bus , PV Bus และ Slack Bus โดยชนิดของบัสจะใช้เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power, Pg) มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW) กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power, Qg) มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 8 กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุด (Maximum Active Power, Pmax) มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW) กำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุด (Maximum Reactive Power, Qmax) มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 9 กำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุด (Minimum Active Power, Pmin) มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW) กำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุด (Minimum Reactive Power, Qmin) มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 10 ค่า MVA Base ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหน่วยเป็นเมกกะโวลต์แอมป์

กรณีเมื่อเลือกการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ จะมีรายละเอียดในการป้อนข้อมูลเพิ่มเติมดังนี้

ขั้นตอนที่ 11 อัตราการเกิดความผิดปกติต่อปี

ขั้นตอนที่ 12 ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดความผิดปกติ มีหน่วยเป็นวินาที (Sec.)

โดยหน้าจอโปรแกรมที่ป้อนข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แสดงดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2. หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

การป้อนรายละเอียดข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive Sequence Resistance), ค่าความต้านทานลำดับลบ (Negative Sequence Resistance) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero Sequence Resistance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 2 ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence Reactance), ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับลบ (Negative Sequence Reactance) และค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero Sequence Reactance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 3 บัสที่ต่ออยู่ระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้า โดยด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะอยู่ในส่วนของ From Bus ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา และด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะอยู่ในส่วนของ To Bus ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 4 แรงดันของบัสที่หม้อแปลงไฟฟ้าต่ออยู่ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ (kV)

ขั้นตอนที่ 5 ชั้นท์คอนดัคแตนซ์ (Shunt Conductance, Gs) ป้อนค่าเป็นเมกกะวัตต์ (MW) และชั้นท์ซัพเซพแตนซ์ (Shunt Susceptance, Bs) ป้อนค่าเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 6 ชนิดของบัสที่หม้อแปลงไฟฟ้า ต่ออยู่ ซึ่งชนิดของบัสจะมี 3 ชนิด คือ PQ Bus , PV Bus และ Slack Bus โดยชนิดของบัสจะใช้เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7 รูปแบบการต่อของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีให้เลือก 6 แบบ คือ วายกราวด์-วายกราวด์ (Wye ground-Wye ground) , วายกราวด์-เดลต้า +30° (Wye ground-Delta with +30°) , วายกราวด์-เดลต้า -30° (Wye ground-Delta with -30°) , เดลต้า-วายกราวด์ +30° (Delta-Wye ground with +30°) , เดลต้า-วายกราวด์ -30° (Delta-Wye ground with -30°) และเดลต้า-เดลต้า (Delta-Delta)

ขั้นตอนที่ 8 ความต้านทานลงกราวด์ (Neutral Ground Resistance, NGR)

กรณีเมื่อเลือกการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ จะมีรายละเอียดในการป้อนข้อมูลเพิ่มเติมดังนี้

ขั้นตอนที่ 9 อัตราการเกิดความผิดพลาดต่อปี

ขั้นตอนที่ 10 ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดความผิดพลาด มีหน่วยเป็นวินาที (Sec.)

โดยหน้าจอโปรแกรมที่ป้อนข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) แสดงดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า

3. สายไฟฟ้า (Line Impedance)

การป้อนรายละเอียดข้อมูลของสายไฟฟ้า มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive Sequence Resistance), ค่าความต้านทานลำดับลบ (Negative Sequence Resistance) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero Sequence Resistance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 2 ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence Reactance), ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับลบ (Negative Sequence Reactance) และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero Sequence Reactance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 3 ค่าไลน์ชาร์จิงซัพแทนซ์ลำดับบวก (Positive Line Charging Susceptance), ค่าไลน์ชาร์จิงซัพแทนซ์ลำดับลบ (Negative Line Charging Susceptance) และค่าไลน์ชาร์จิงซัพแทนซ์ลำดับศูนย์ (Zero Line Charging Susceptance) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนที่ 4 บัสที่ต่ออยู่ระหว่างสายไฟฟ้า โดยด้านปฐมภูมิของสายไฟฟ้าจะอยู่ในส่วนของ From Bus ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา และด้านทุติยภูมิของสายไฟฟ้าจะอยู่ในส่วนของ To Bus ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 5 แรงดันของบัสที่สายไฟฟ้าต่ออยู่ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ (kV)

ขั้นตอนที่ 6 ชั้นท์คอนดักแตนซ์ (Shunt Conductance, Gs) ป้อนค่าเป็นเมกกะวัตต์ (MW) และชั้นท์ซัพแทนซ์ (Shunt Susceptance, Bs) ป้อนค่าเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

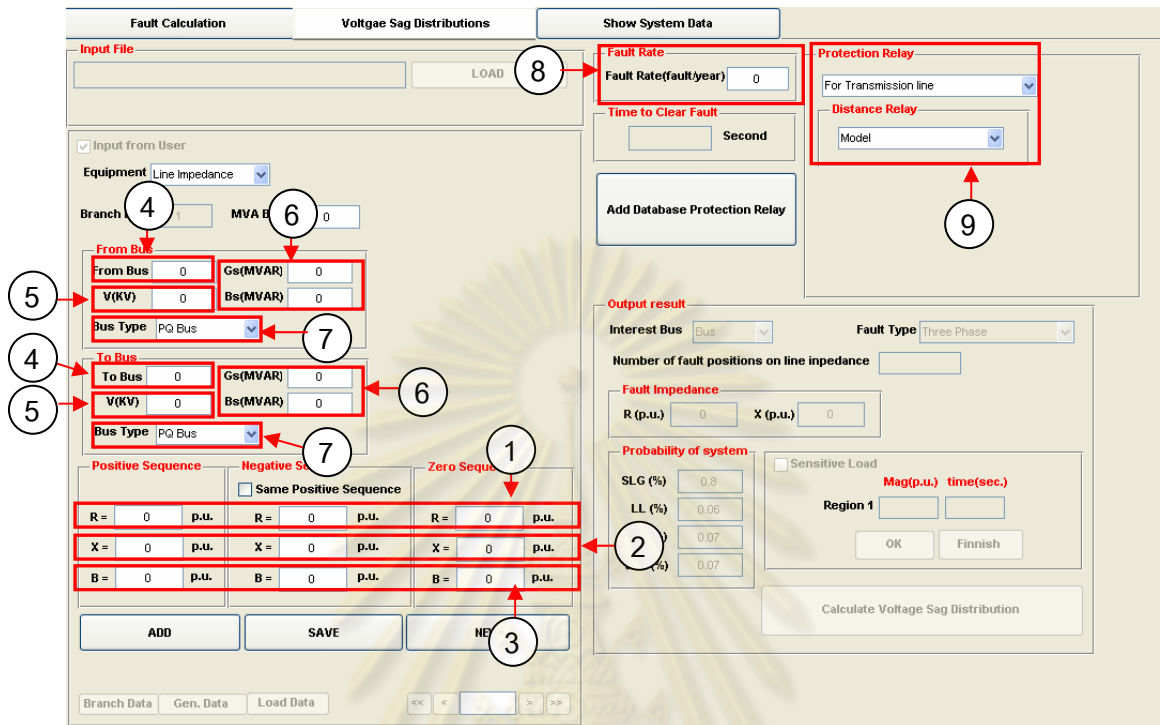
ขั้นตอนที่ 7 ชนิดของบัสที่สายไฟฟ้าต่ออยู่ ซึ่งชนิดของบัสจะมี 3 ชนิด คือ PQ Bus , PV Bus และ Slack Bus โดยชนิดของบัสจะใช้เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

กรณีเมื่อเลือกการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ จะมีรายละเอียดในการป้อนข้อมูลเพิ่มเติมดังนี้

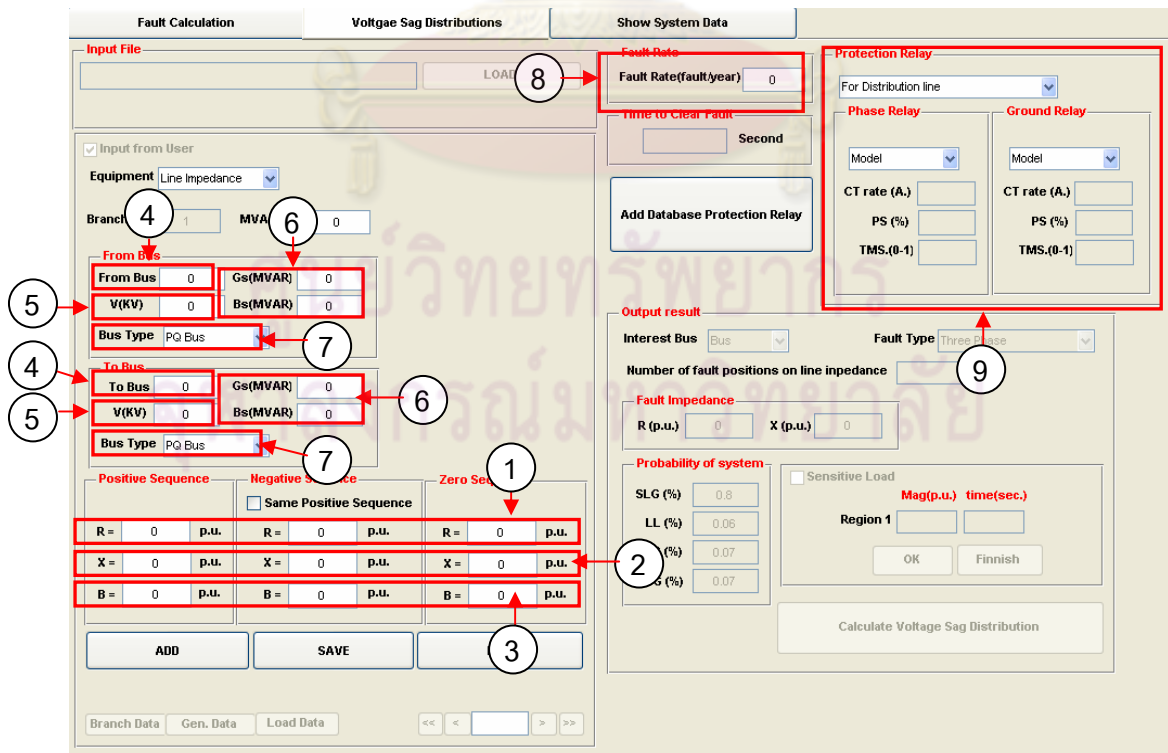
ขั้นตอนที่ 8 อัตราการเกิดความผิดพลาดต่อปี

ขั้นตอนที่ 9 เลือกอุปกรณ์ป้องกันจากฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันในโปรแกรม โดย หากสายไฟฟ้าอยู่ในระบบจำหน่ายระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดความผิดพลาด จะขึ้นอยู่กับการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน (Overcurrent Relay) และหากสายไฟฟ้าอยู่ในระบบส่งกำลังระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดความผิดพลาด จะขึ้นอยู่กับการทำงานของรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ซึ่งรีเลย์กระแสเกินและรีเลย์ระยะทางสามารถเลือกจากฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน

โดยหน้าจอของโปรแกรมที่ป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้าเมื่ออยู่ในระบบส่งกำลังจะเป็นดังรูปที่ 3.11 และเมื่ออยู่ในระบบจำหน่ายจะเป็นดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้ากรณีอยู่ในระบบส่งกำลัง



รูปที่ 3.12 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของสายไฟฟ้ากรณีอยู่ในระบบจำหน่าย

4. โหลด (Load)

การป้อนรายละเอียดข้อมูลของโหลด มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกชนิดของโหลดโดยมี 2 ชนิด คือ โหลดทั่วไป (General Load) และ มอเตอร์ (Motor) โดยแบบจำลองของโหลดจะกำหนดให้เป็นรูปแบบตามสมการ $R + jX$ ซึ่ง R คือ ค่าความต้านทาน (Resistance) มีหน่วยเป็นเปอร์ด์ยูนิต และ X คือ ค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) มีหน่วยเป็นเปอร์ด์ยูนิต

ขั้นตอนที่ 2 บัสที่โหลดต่ออยู่

ขั้นตอนที่ 3 แรงดันของบัสที่โหลดต่ออยู่ มีหน่วยเป็นกิโลโวลท์ (kV)

ขั้นตอนที่ 4 ชั้นท์คอนดัคแตนซ์ (Shunt Conductance, G_s) ป้อนค่าเป็นเมกกะวัตต์ (MW) และชั้นท์ซัพเซพแตนซ์ (Shunt Susceptance, B_s) ป้อนค่าเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 5 กำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการ (Active Power Demand, P_d) มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์ (MW) และกำลังเสมือนที่ต้องการ (Reactive Power Demand, Q_d) มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์ (MVAR)

ขั้นตอนที่ 6 ชนิดของบัสที่สายไฟฟ้าต่ออยู่ ซึ่งชนิดของบัสจะมี 3 ชนิด คือ PQ Bus, PV Bus และ Slack Bus โดยชนิดของบัสจะใช้เพื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

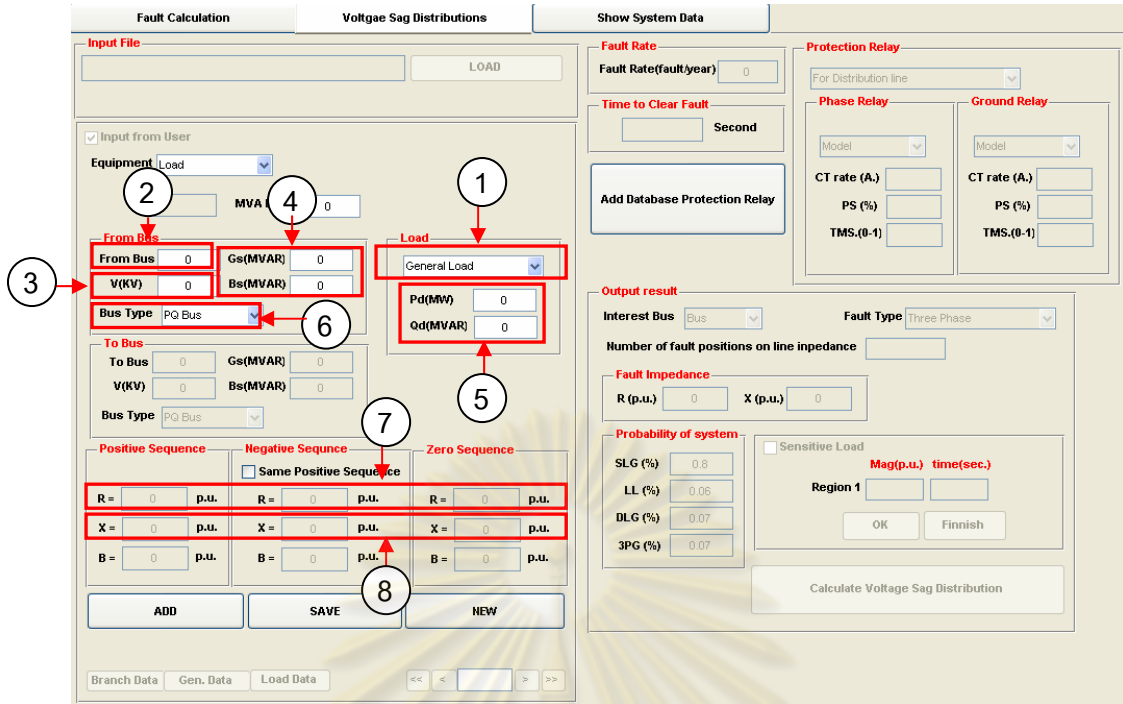
โดยเมื่อเลือกชนิดของโหลดเป็นมอเตอร์ จะต้องป้อนรายละเอียด ข้อมูลเพิ่มเติมดังนี้

ขั้นตอนที่ 7 ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive Sequence Resistance), ค่าความต้านทานลำดับลบ (Negative Resistance) และค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero Sequence Resistance) มีหน่วยเป็นเปอร์ด์ยูนิต

ขั้นตอนที่ 8 ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก (Positive Sequence Resistance), ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับลบ (Negative Sequence Resistance) และค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero Sequence Resistance) มีหน่วยเป็นเปอร์ด์ยูนิต

ขั้นตอนที่ 9 ความต้านทานลงกราวด์ (Neutral Ground Resistance, NGR)

โดยหน้าจอบริการที่ป้อนข้อมูลของโหลด (Load) แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 หน้าจอโปรแกรมสำหรับการป้อนข้อมูลของโหลด

3.5.2 การป้อนข้อมูลโดยเพิ่มข้อมูลตาราง Excel

การป้อนข้อมูลโดยเพิ่มตาราง Excel เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถป้อนข้อมูลให้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยรายละเอียดของการป้อนข้อมูลของเพิ่มตาราง Excel สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เอกสาร (Sheet) ของเพิ่มข้อมูล Excel ชื่อ `branch_data` มีรายละเอียดดังนี้

หลักที่ 1 (From bus) คือ บัสต้นทาง

หลักที่ 2 (To bus) คือ บัสปลายทาง

หลักที่ 3 (R1) คือ ค่าความต้านทานลำดับบวก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 4 (X1) คือ ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับบวก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 5 (B1) คือ ไลน์ชาร์จิ้งซีพแชนซ์ (Positive Line Charging Susceptance) ลำดับบวก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 6 (R2) คือ ค่าความต้านทานลำดับลบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 7 (X2) คือ ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับลบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 8 (B2) คือ ไลน์ชาร์จิ้งซีพแชนซ์ (Positive Line Charging Susceptance) ลำดับลบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 9 (R0) คือ ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 10 (X0) คือ ค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 11 (B0) คือ ไลน์ชาร์จิ้งซัพเซพแตนซ์ (Positive Line Charging Susceptance) ลำดับศูนย์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 12 (tr_type) คือ รูปแบบการต่อของหม้อแปลง โดยป้อน 1 คือ วายกราวด์-วายกราวด์ (Wye ground-Wye ground) , 2 คือ วายกราวด์-เดลต้า +30° (Wye ground-Delta with +30°) , 3 คือ วายกราวด์-เดลต้า -30° (Wye ground-Delta with -30°) , 4 คือ เดลต้า-วายกราวด์ +30° (Delta-Wye ground with +30°) , 5 คือ เดลต้า-วายกราวด์ -30° (Delta-Wye ground with -30°) และ 6 คือ เดลต้า-เดลต้า (Delta-Delta)

หลักที่ 13 (NGR_R_pri) คือ ความต้านทานลงกราวด์ (Neutral Ground Resistance, NGR) ด้านปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 14 (NGR_X_pri) คือ รีแอกแตนซ์ลงกราวด์ (Neutral Ground Resistance, NGR) ด้านปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 15 (NGR_R_sec) คือ ความต้านทานลงกราวด์ (Neutral Ground Resistance, NGR) ด้านทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 16 (NGR_X_sec) คือ รีแอกแตนซ์ลงกราวด์ (Neutral Ground Resistance, NGR) ด้านทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 17 (fault_rate) คือ อัตราการเกิดความผิดพลาด มีหน่วยเป็น fault/year

หลักที่ 18 (type_system) คือ ชนิดของระบบไฟฟ้า โดยป้อน 1 คือ ระบบส่งกำลัง (Transmission System) และ 2 คือ ระบบจำหน่าย (Distribution System) โดยสามารถป้อนข้อมูลผสมกันได้ระหว่างระบบส่งกำลังไฟฟ้าและระบบจำหน่าย

หลักที่ 19 (CT_rate_ph) คือ พิกัดของหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ด้านปฐมภูมิ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

หลักที่ 20 (type_ph) คือ ชนิดของรีเลย์ที่ติดตั้งอยู่ที่สายไฟฟ้าเพื่อป้องกันความผิดพลาดของเฟส โดยการป้อนข้อมูลจะอ้างอิงจากลำดับของอุปกรณ์ป้องกันที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

หลักที่ 21 (PS_ph) คือ Plug Setting Multiplier (PSM) เป็นการตั้งค่าของรีเลย์กระแสเกินเพื่อป้องกันความผิดพลาดของเฟส

หลักที่ 22 (TMS_ph) คือ Time Multiplier Setting (TMS) เป็นการตั้งค่าของรีเลย์กระแสเกินเพื่อป้องกันความผิดพลาดของเฟส

หลักที่ 23 (type_gnd) คือ ชนิดของรีเลย์ที่ติดตั้งอยู่ที่สายไฟฟ้าเพื่อป้องกันความผิดพลาดลงดิน โดยการป้อนข้อมูลจะอ้างอิงจากลำดับของอุปกรณ์ป้องกันที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

หลักที่ 24 (PS_gnd) คือ Plug Setting Multiplier (PSM) เป็นการตั้งค่าของรีเลย์กระแสเกินเพื่อป้องกันความผิดพลาดลงดิน

หลักที่ 25 (TMS_gnd) คือ Time Multiplier Setting (TMS) เป็นการตั้งค่าของรีเลย์กระแสเกินเพื่อป้องกันความผิดปกติของลงดิน

หลักที่ 26 (time_clear_tr) คือ เวลาในการกำจัดความผิดปกติของหม้อแปลงไฟฟ้า

หลักที่ 27 (Branch_no) คือ ลำดับของ Branch ในระบบไฟฟ้า

โดยการป้อนข้อมูลของแฟ้มข้อมูล Excel ชื่อเอกสาร (Sheet) ว่า branch_data แสดงดังรูปที่ 3.14

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
from bus	to bus	R1	X1	B1	R2	X2	B2	R0	X0	B0	tr_type	NGR_R_pri	NGR_X_pri	NGR_R_sec	NGR_X_sec	fault_rate	type_system		
2	1	2	0.22	0.37	0	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0							1	2
3	2	3	0.22	0.37	0	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0							1	2
4	3	4	0.22	0.37	0	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0							1	2
5	2	5	1.26	0.42	0	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0							1	2
6	3	6	1.26	0.42	0	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0							1	2
7	8	7	0.097	0.391	0	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0							0.1	1
8	8	9	0.097	0.391	0	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0							0.1	1
9	9	7	0.097	0.391	0	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0							0.1	1
10	7	1	0	0.4	0	0	0.4	0	0	0.4	0	3	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.14 การป้อนข้อมูลของแฟ้มข้อมูล Excel ในเอกสาร (Sheet) ของ branch_data

2. เอกสาร (Sheet) ของแฟ้มข้อมูล Excel ชื่อ bus_data มีรายละเอียดดังนี้

หลักที่ 1 (bus) คือ ลำดับของบัสในระบบไฟฟ้า

หลักที่ 2 (type) คือ ชนิดของบัสในระบบไฟฟ้า โดยเมื่อป้อนข้อมูล 1 คือ PQ bus, 2 คือ

PV bus และ 3 คือ Slack bus

หลักที่ 3 (Pd) คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการ มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์

หลักที่ 4 (Qd) คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องการ มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์

หลักที่ 5 (Gs) คือ ชั้นคอนดักเตอร์ มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์

หลักที่ 6 (Bs) คือ ชั้นฉนวนมีหน่วยเป็นเมกกะวาร์

หลักที่ 7 (baseKV) คือ แรงดันของบัส

หลักที่ 8 (R1) คือ ความต้านทานลำดับบวกของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 9 (X1) คือ รีแอกแตนซ์ลำดับบวกของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 10 (R2) คือ ความต้านทานลำดับลบของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 11 (X2) คือ รีแอกแตนซ์ลำดับลบของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 12 (R0) คือ ความต้านทานลำดับศูนย์ของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 13 (X0) คือ รีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 14 (NGR_R) คือ ความต้านทานลงกราวด์ของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 15 (NGR_X) คือ รีแอกแตนซ์ลงกราวด์ของไหลดมอเตอร์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โดยการป้อนข้อมูลของแฟ้มข้อมูล Excel ชื่อเอกสาร (Sheet) ว่า bus_data แสดงดังรูปที่

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	bus	type	Pd	Od	Gs(Mvar)	Bs(Mvar)	baseKV	R1	X1	R2	X2	R0	X0	NGR R	NGR_X
2	1	1	0.83	0.63	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1	0.54	0.32	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	1	0.95	0.54	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	1	0.87	0.43	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	1	0.76	0.4	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	1	0.87	0.6	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	1	0	0	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	3	0	0	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	2	0	0	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 3.15 การป้อนข้อมูลของเพิ่มข้อมูล Excel ในเอกสาร (Sheet) ของ bus_data

3. เอกสาร (Sheet) ของเพิ่มข้อมูล Excel ชื่อ gen_data มีรายละเอียดดังนี้

หลักที่ 1 (connect_bus) คือ บัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่

หลักที่ 2 (Pg) คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่สามารถผลิตได้ มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์

หลักที่ 3 (Qg) คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่สามารถผลิตได้ มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์

หลักที่ 4 (Qmax) คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดที่ผลิตได้ มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์

หลักที่ 5 (Qmin) คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนต่ำสุดที่ผลิตได้ มีหน่วยเป็นเมกกะวาร์

หลักที่ 6 (mbase) คือ Base MVA ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลักที่ 7 (Pmax) คือ กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ผลิตได้ มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์

หลักที่ 8 (Pmin) คือ กำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดที่ผลิตได้ มีหน่วยเป็นเมกกะวัตต์

หลักที่ 9 (R1) คือ ค่าความต้านทานลำดับบวก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 10 (X1) คือ ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 11 (R2) คือ ค่าความต้านทานลำดับลบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 12 (X2) คือ ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับลบ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 13 (R0) คือ ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 14 (X0) คือ ค่ารีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

หลักที่ 15 (fault_rate) คือ อัตราการเกิดความผิดพลาด มีหน่วยเป็น fault/year

หลักที่ 16 (time_clear_gen) คือ เวลาในการกำจัดความผิดพลาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หลักที่ 17 (gen_no) คือ ลำดับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า

โดยการป้อนข้อมูลของเพิ่มข้อมูล Excel ชื่อเอกสาร (Sheet) ว่า gen_data แสดงดังรูปที่

3.16

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	connect_bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	mbase	Pmax	Pmin	R1	X1	R2	X2	R0	X0	fault_rate	time_clear_gen	gen_no
2	8	20	0	300	-300	100	300	10	0	0.02	0	0.02	0	0.005	0	0.1	1
3	9	10	0	300	-300	100	250	10	0	0.02	0	0.02	0	0.005	0	0.018	2

รูปที่ 3.16 การป้อนข้อมูลของเพิ่มข้อมูล Excel ในเอกสาร (Sheet) ของ gen_data

3.5.3 ฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน

โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะมีฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันอยู่ในโปรแกรมบ้างแล้ว แต่ในกรณีที่ต้องการเพิ่ม ลบ หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลก็สามารถทำได้โดยเลือกที่ปุ่ม Add Database Protection Relay จากนั้นจะปรากฏหน้าจอโปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูลเข้าฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน โดยหน้าจอของโปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันของระบบจำหน่ายแสดงดังรูปที่ 3.17 และสำหรับระบบส่งกำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.18

Protection Database

For Distribution line

Model Name

A = B =

P =

5

Comment

IEEE Std. Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays

$$T = \frac{A}{M^p - 1} + B$$

T = Trip time in seconds
M = (Input current) / (Relay current set point)
A, B, p = Constants to provide selected curve characteristics

รูปที่ 3.17 หน้าจอโปรแกรมสำหรับเพิ่ม ลบ หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันของระบบจำหน่าย

Protection Database

For Transmission line

Model Name

Zone 1 (mS)

Zone 2 (mS)

3

Comment

Zone 1 cover 0-80% of line
Zone 2 cover >80-100% Of line

รูปที่ 3.18 หน้าจอโปรแกรมสำหรับเพิ่ม ลบ หรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันของระบบส่งกำลังไฟฟ้า

3.5.4 การใช้งานโปรแกรมในการคำนวณ

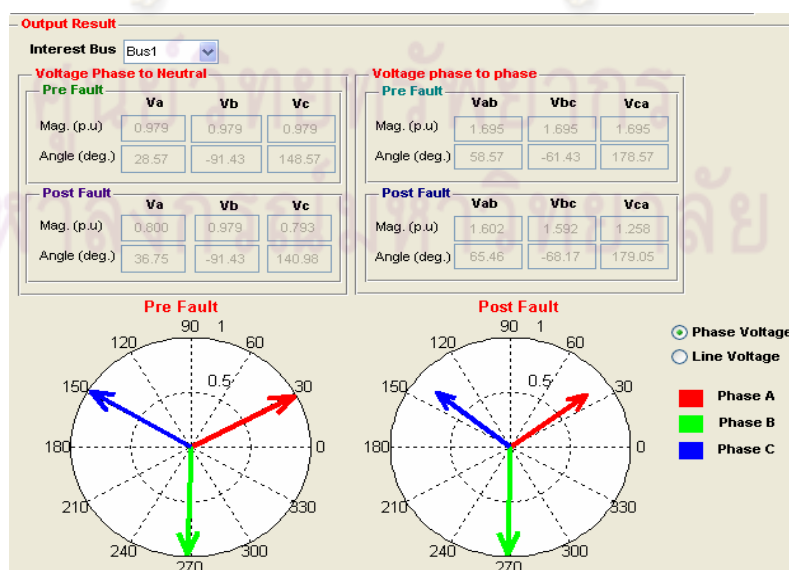
โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา สามารถทำการคำนวณและรายงานผลหลังจากทำการป้อนข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์ในระบบครบทุกอุปกรณ์แล้ว โดยมีรายละเอียดการใช้งานโปรแกรมเพื่อแสดงค่าต่างๆ ตามที่ต้องการดังนี้

1. การคำนวณความผิดปกติ

เริ่มต้นจากเลือกเงื่อนไขของการเกิดความผิดปกติ ได้แก่ ชนิดของการเกิดความผิดปกติ (Fault Type), ตำแหน่งของการเกิดความผิดปกติ (Fault Location) และความต้านทานการเกิดความผิดปกติ (Fault Impedance) โดยการเลือกเงื่อนไขของการเกิดความผิดปกติ จะแสดงดังรูปที่ 3.19

รูปที่ 3.19 หน้าจอโปรแกรมสำหรับเลือกเงื่อนไขของการเกิดความผิดปกติ

จากนั้นเมื่อต้องการให้โปรแกรมรายงานผลการคำนวณ สามารถทำได้โดยเลือกบัสที่ต้องการทราบขนาดแรงดัน (Bus of Interest) และเลือกที่ปุ่ม Calculate โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะรายงานผลการคำนวณความผิดปกติ ดังแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการคำนวณความผิดปกติ

ค่าที่แสดงเมื่อทำการคำนวณความผิดพลาด คือ ค่าแรงดันก่อนและหลังเกิดความผิดพลาด โดยจะแสดงทั้งค่าแรงดันเฟส และแรงดันสาย อีกทั้งยังสามารถแสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันที่บัสที่สนใจได้ด้วย

2. การคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

การคำนวณการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ จะต้องกำหนดรายละเอียดในโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาดังนี้

- บัสที่สนใจ (Bus of Interest)
- ชนิดของการเกิดความผิดพลาด (Fault Type)
- จำนวนตำแหน่งของการเกิดความผิดพลาดบนสายไฟฟ้า (Number of fault position on line)
- ความต้านทานการเกิดความผิดพลาด (Fault Impedance)
- สัดส่วนของความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดแต่ละชนิด (Probability of Fault) โดยสัดส่วนของความผิดพลาดแต่ละชนิดรวมกันจะเท่ากับ 1 ซึ่งในโปรแกรมจะกำหนดค่าสัดส่วนของความผิดพลาดมาให้ค่าหนึ่งมีรายละเอียดดังนี้ กรณีความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดิน เท่ากับ 0.8 กรณีความผิดพลาดแบบสองเส้น เท่ากับ 0.06 กรณีความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดิน เท่ากับ 0.07 กรณีความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดิน เท่ากับ 0.07 ซึ่งค่าสัดส่วนของความผิดพลาดที่กำหนดขึ้นมาจะเป็นค่าที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่
- ค่าความทนทานของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ที่บัสที่สนใจ โดยเลือกที่ช่อง Sensitive Load และทำการป้อนค่าขนาดแรงดันตกชั่วขณะและระยะเวลาของแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งค่าความทนทานของอุปกรณ์ คือ ขนาดแรงดันตกชั่วขณะและระยะเวลาของแรงดันตกชั่วขณะที่อุปกรณ์สามารถทนได้โดยไม่ทำงานผิดพลาด โดยข้อมูลความทนทานของอุปกรณ์จะได้มาจากการทดสอบอุปกรณ์ ดังนั้นข้อมูลความทนทานจะได้มาจากผู้ผลิตของอุปกรณ์

โดยการกำหนดรายละเอียดของการคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ จะแสดงดังรูปที่ 3.21

Output result

Interest Bus: Bus1 Fault Type: Three Phase

Number of fault positions on line impedance: 10

Fault Impedance

R (p.u.): 0 X (p.u.): 0

Probability of system

SLG (%): 0.8
 LL (%): 0.06
 DLG (%): 0.07
 3PG (%): 0.07

Sensitive Load

	Mag(p.u.)	time(sec.)
Region1	0.8	0.1

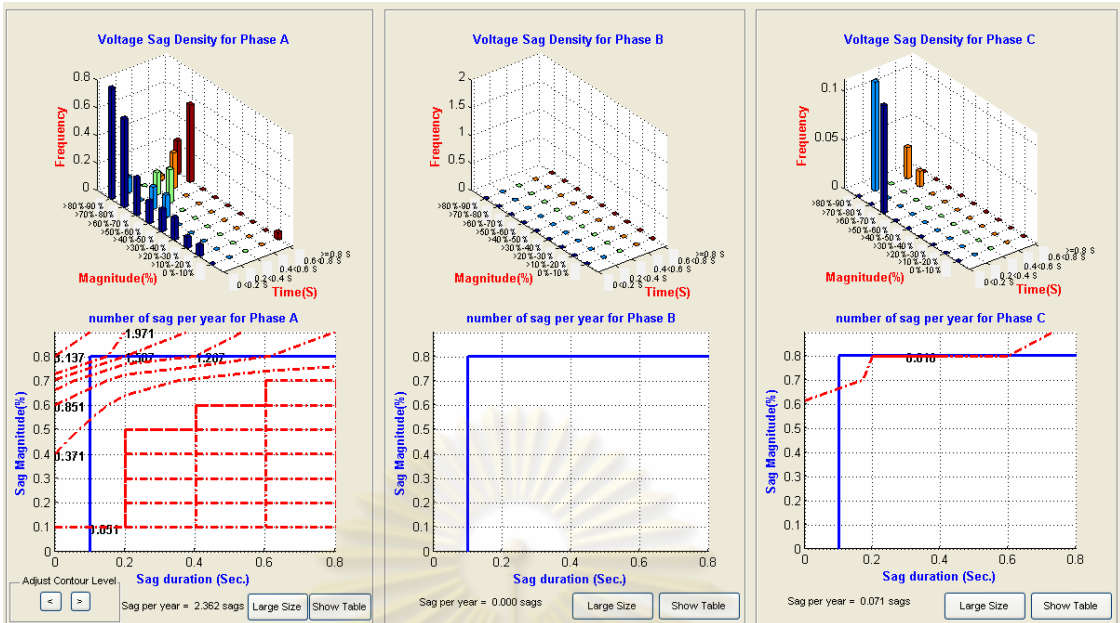
OK Finnish

Calculate Voltage Sag Distribution

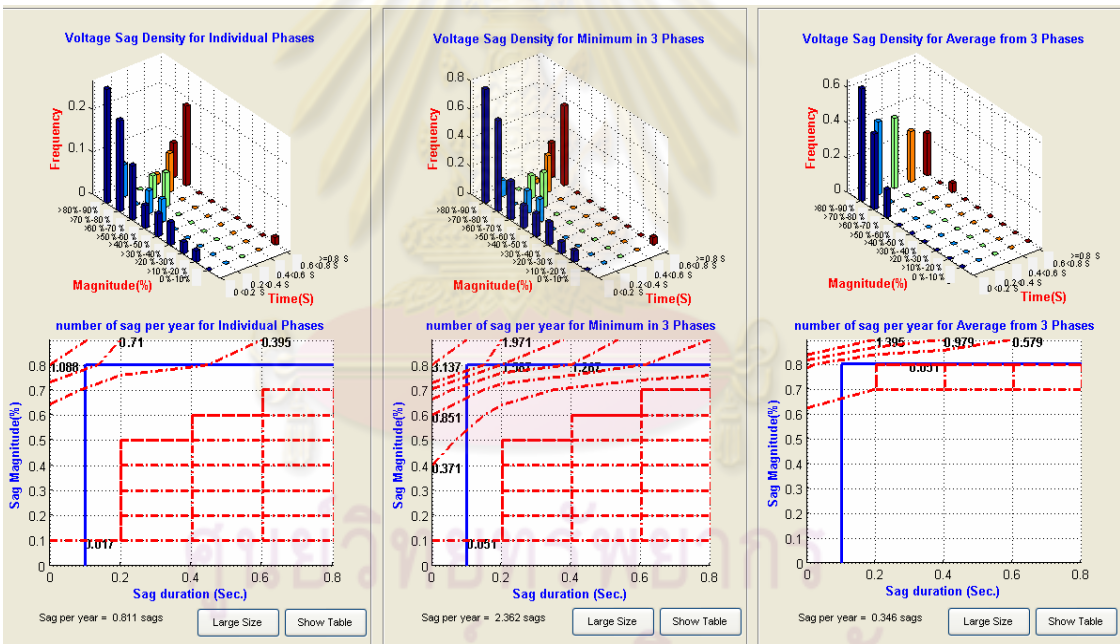
รูปที่ 3.21 หน้าจอโปรแกรมสำหรับแสดงผลการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ

จากนั้นเมื่อต้องการให้โปรแกรมรายงานผลการคำนวณ สามารถทำได้โดยเลือกที่ปุ่ม Calculate Voltage Sag Distribution โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะรายงานผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A, B และ C ความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อคำนวณแรงดันตกชั่วขณะกรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ของเฟส A, B และ C แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อคำนวณแรงดันตกชั่วขณะกรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส รายงานผลการคำนวณหาบริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และรายงานผลการคำนวณหาจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระบบไฟฟ้า

โดยตัวอย่างผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A, B และ C แสดงดังรูปที่ 3.22 และตัวอย่างผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อคำนวณแรงดันตกชั่วขณะกรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส แสดงดังรูปที่ 3.23



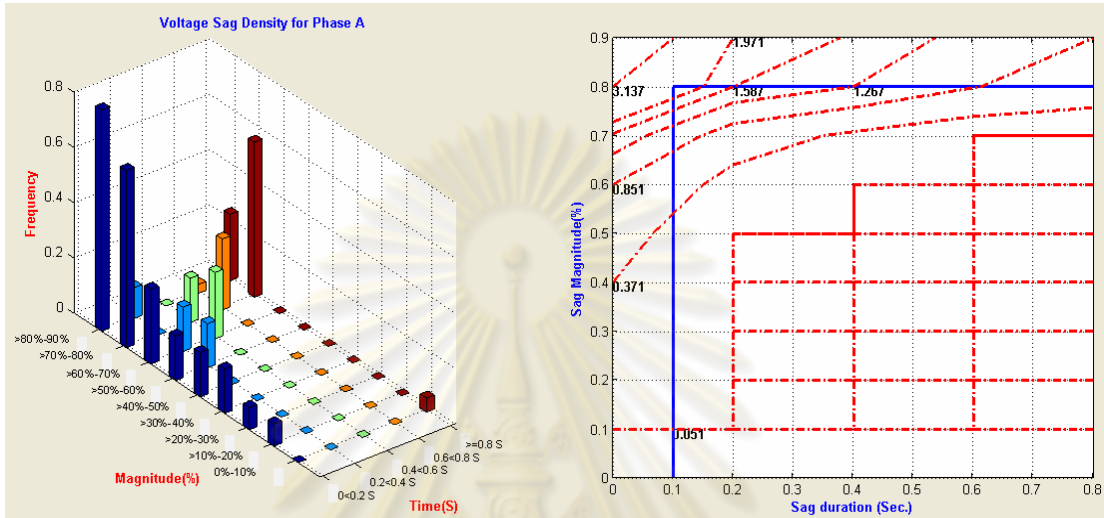
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A, B และ C



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างผลการคำนวณหาความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อคำนวณแรงดันตกชั่วขณะกรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

จากรูปที่ 3.22 และ 3.23 จะมีรูปแบบการแสดงผลที่เหมือนกัน ซึ่งกราฟด้านบนจะแสดงผลค่าความหนาแน่นของแรงดันตกเป็นกราฟแท่ง 3 มิติ และกราฟด้านล่างจะแสดงผลความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ ซึ่งค่าความไวของอุปกรณ์ต่อแรงดันตกชั่วขณะ คือ เส้นสีน้ำเงิน ซึ่งเส้นประสีแดงที่แสดงในกราฟ คือ ความถี่ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะต่อปี ซึ่งหากผู้ใช้งานเลือกที่ปุ่ม Large Size จะสามารถดูผลการคำนวณ

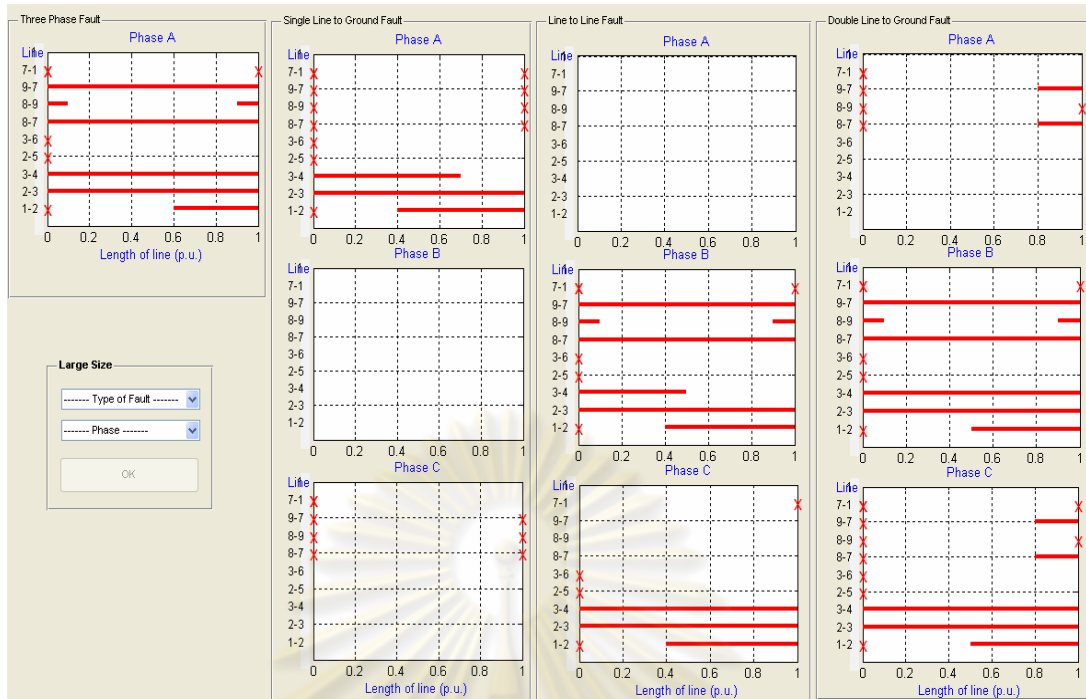
ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ แสดงดังรูปที่ 3.24 โดยหากผู้ใช้งานต้องการดูตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sags density table) และตารางความถี่สะสม (Cumulative frequency table) ให้เลือกที่ปุ่ม Show Table แสดงดังรูปที่ 3.25 และตัวอย่างผลการคำนวณหาบริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.24 หน้าจอโปรแกรมเมื่อเลือกปุ่ม Large Size

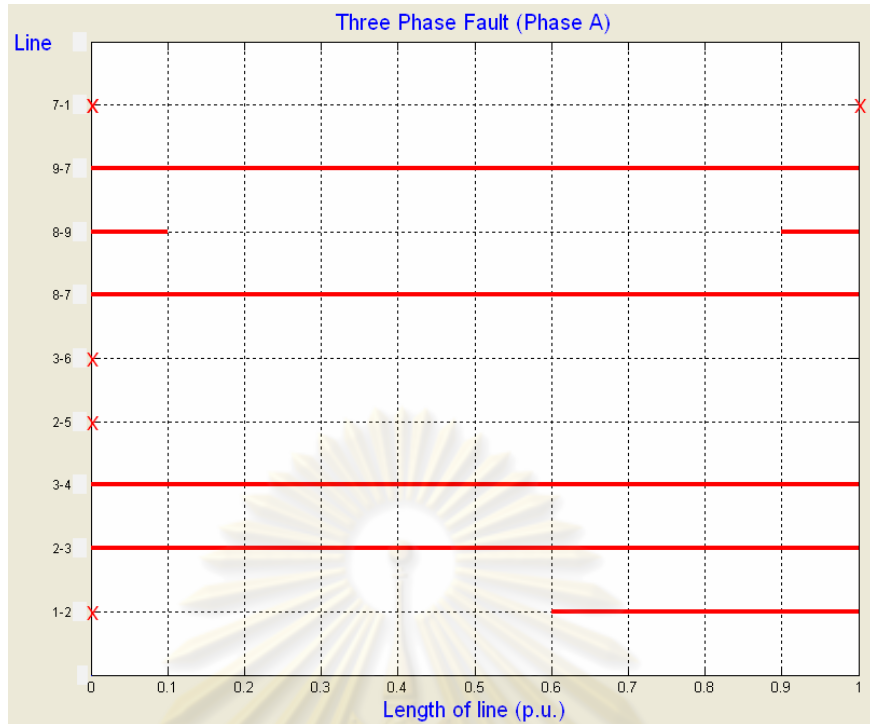
Voltage Sag Density for Phase A						Cumulative of Voltage Sag Density for Phase A					
Magnitude	Time (Second)					Magnitude	Time (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8		>=0.0	>=0.2	>=0.4	>=0.6	>=0.8
>80-90%	0.8	0.112	0	0.032	0.24	<=90%	4.3216	1.9712	1.5392	1.1392	0.8512
>70-80%	0.64	0	0.16	0.256	0.56	<=80%	3.1376	1.5872	1.2672	0.8672	0.6112
>60-70%	0.2704	0.16	0.24	0	0	<=70%	1.5216	0.6112	0.2912	0.0512	0.0512
>50-60%	0.16	0.16	0	0	0	<=60%	0.8512	0.2112	0.0512	0.0512	0.0512
>40-50%	0.16	0	0	0	0	<=50%	0.5312	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
>30-40%	0.16	0	0	0	0	<=40%	0.3712	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
>20-30%	0.08	0	0	0	0	<=30%	0.2112	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
>10-20%	0.08	0	0	0	0	<=20%	0.1312	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
0-10%	0	0	0	0	0.0512	<=10%	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512

รูปที่ 3.25 หน้าจอโปรแกรมเมื่อเลือกปุ่ม Show Table



รูปที่ 3.26 หน้าจอโปรแกรมแสดงผลการคำนวณหาบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะ

จากรูปที่ 3.26 จะเป็นการแสดงผลการคำนวณหาบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะ โดยจะแสดงผลทั้ง 3 เฟสและแต่ละเฟสจะแสดงผลบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดความผิดปกติแบบเส้นเดี่ยวลงดิน (Single Line to Ground Fault), แบบสามเส้นลงดิน (Three Phase to Ground Fault), แบบสองเส้น (Line to Line Fault) และแบบสองเส้นลงดิน (Double Line to Ground Fault) โดยเส้นสีแดง คือ บริเวณที่เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นจะทำให้อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเกิดการทำงานผิดพลาด โดยความยาวของสายไฟฟ้าจะกำหนดให้เป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นถ้าหากสายไฟฟ้าแต่ละเส้นมีความยาวต่อกิโลเมตรไม่เท่ากันก็จะทำให้ตำแหน่งการเกิดความผิดปกติแต่ละจุดบนสายไฟฟ้าแต่ละเส้นมีระยะห่างไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น กำหนดให้มีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ 10 จุด และสมมติให้สายไฟฟ้าจากบัส 1 ถึงบัส 2 มีความยาวเท่ากับ 10 กิโลเมตร สายไฟฟ้าจากบัส 2 ถึงบัส 3 มีความยาวเท่ากับ 5 กิโลเมตร ดังนั้นแต่ละตำแหน่งของสายไฟฟ้าจากบัส 1 ถึงบัส 2 จะมีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตร และสายไฟฟ้าจากบัส 2 ถึงบัส 3 แต่ละตำแหน่งจะมีค่าเท่ากับ 0.5 กิโลเมตร เป็นต้น และผู้ใช้งานสามารถที่จะดูผลการคำนวณที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นได้ ทำได้โดยเลือกชนิดของความผิดปกติ และเลือกเฟสที่ต้องการที่อยู่ในส่วนของ Large Size จากนั้นเลือกที่ปุ่ม OK โดยบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะแสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 หน้าจอโปรแกรมแสดงผลการคำนวณหาบริเวณของแรงดันตกชั่วขณะที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

โดยตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณหาจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระบบไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.28

Number of Sags (sags/year)						
Bus	Individual Phases	Minimum in 3 Phases	Average from 3 Phase	Phase A	Phase B	Phase C
1	1.3568	3.1225	0.9134	2.6306	0.6371	0.8028
2	1.6242	3.7855	2.0249	3.2964	0.7461	0.8300
3	1.6366	3.8015	3.1109	3.3037	0.7581	0.8481
4	1.6434	3.8015	3.2709	3.3211	0.7581	0.8509
5	1.6351	3.8015	2.4679	3.2992	0.7581	0.8481
6	1.6562	3.8175	3.5509	3.3399	0.7611	0.8676
7	0.2058	0.4495	0.1635	0.3330	0.1013	0.1831
8	0.0172	0.0360	0.0334	0.0315	0.0098	0.0104
9	0.0195	0.0410	0.0384	0.0362	0.0108	0.0114

Best bus for sensitive equipment when Individual phases is 8
 Best bus for sensitive equipment when minimum in 3 phases is 8
 Best bus for sensitive equipment when average from 3 phases is 8
 Best bus for sensitive equipment when connect at phase A is 8
 Best bus for sensitive equipment when connect at phase B is 8
 Best bus for sensitive equipment when connect at phase C is 8

Worst bus for sensitive equipment when Individual phases is 6
 Worst bus for sensitive equipment when minimum in 3 phases is 6
 Worst bus for sensitive equipment when average from 3 phases is 6
 Worst bus for sensitive equipment when connect at phase A is 6
 Worst bus for sensitive equipment when connect at phase B is 6
 Worst bus for sensitive equipment when connect at phase C is 6

>>

รูปที่ 3.28 แสดงผลการคำนวณหาจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระบบไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.28 จะแสดงผลการคำนวณหาจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ อยู่ในส่วนของ Command Window ของโปรแกรม MATLAB โดยส่วนด้านบนจะแสดงจำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกชั่วขณะไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระบบไฟฟ้า และส่วนด้านล่างจะแสดงผลบัสที่ดีที่สุดและน้อยที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ต่อที่แต่ละบัส

3.5.5 การเรียกดูข้อมูลของระบบไฟฟ้า

ในโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาี้หากผู้ใช้งานต้องการทราบข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่ทำการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยการเลือกที่แถบ Show System Data โดยแสดงดังรูปที่ 3.29

From Bus	To Bus	R pos	X pos	B pos	R neg	X neg	B neg	R zero	X zero	B zero	Tr Type	Primary Side		Secondary Side		Fault Rate	System	Time Clear Fault	Branch No.
												NGR R	NGR X	NGR R	NGR X				
1	2	0.22	0.37	0	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0		0	0	0	0	1	Distribution	0	1
2	3	0.22	0.37	0	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0		0	0	0	0	1	Distribution	0	2
3	4	0.22	0.37	0	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0		0	0	0	0	1	Distribution	0	3
2	5	1.26	0.42	0	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0		0	0	0	0	1	Distribution	0	4
3	6	1.26	0.42	0	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0		0	0	0	0	1	Distribution	0	5

Previous Next

Branch Data Bus Data Generator Data

Branch No. Delete

รูปที่ 3.29 หน้าจอโปรแกรมแสดงการเรียกดูข้อมูลของระบบไฟฟ้า

โดยจะสามารถดูข้อมูลของสายบ่อน (Branch Data), ข้อมูลบัส (Bus Data) และข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Data) ซึ่งรายละเอียดข้อมูลของแต่ละแถวจะเป็นรายละเอียดเดียวกันกับการบ่อนข้อมูลตาราง Excel และหากต้องการลบข้อมูลที่อยู่ในระบบไฟฟ้าสามารถทำได้โดยบ่อนลำดับสายบ่อน (Branch No.), ลำดับบัส (Bus No.) และลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Gen No.) จากนั้นเลือกปุ่ม Delete

หากผู้ใช้งานต้องการดูข้อมูลของรีเลย์สามารถเลือกได้ที่แถบ Relay Data โดยจะแสดงดังรูปที่ 3.30

System Data		Relay Data						
From Bus	To Bus	CT Rate	Ph Relay	PSM	TMS	Gnd Relay	PSM	TMS
1	2	100	CDG14	117	1	CDG14	50	1
2	3	100	CDG14	135	1	CDG14	50	1
3	4	100	CDG14	10	1	CDG14	5	1
2	5	100	CDG14	23	1	CDG14	15	1
3	6	100	CDG14	8	1	CDG14	5	1

Previous Next

รูปที่ 3.30 หน้าจอโปรแกรมแสดงการเรียกดูข้อมูลรีเลย์ของระบบไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

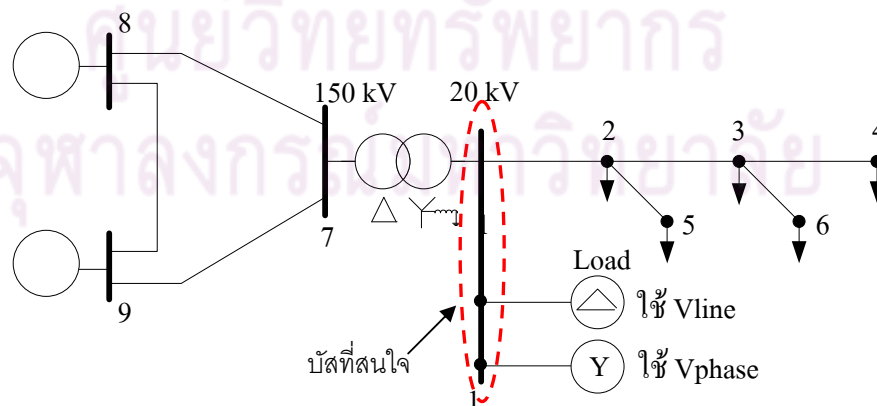
4.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม

การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม ได้นำโปรแกรม PSS/E (Power System Simulator for Engineering) มาใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา ซึ่งโปรแกรม PSS/E เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง รวมทั้งมีการคำนวณความผิดพลาดร่วมอยู่ด้วย ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยบริษัท SIEMENS และได้มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบโดยทำการจำลองการเกิดความผิดพลาดทุกชนิดขึ้นในทุกบัส สำหรับค่าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคือ ค่าแรงดันขณะเกิดความผิดพลาด ณ ตำแหน่งบัสที่สนใจ แล้วทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนดังสมการที่ 4.1

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = | \text{ค่าจากโปรแกรม PSS/E} - \text{ค่าจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา} | \quad (4.1)$$

4.1.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องของระบบไฟฟ้า 9 บัส

ระบบไฟฟ้า 9 บัส [13] เป็นระบบไฟฟ้าที่ได้ทำการสมมติขึ้นมา โดยมีแผนผังวงจรเส้นเดียวแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งบัสที่สนใจคือ บัสที่ 1 และผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 4.1-4.4 โดยข้อมูลของระบบไฟฟ้า 9 บัส จะแสดงดังภาคผนวก ข



รูปที่ 4.1 แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบไฟฟ้า 9 บัส

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบสามเส้นลงดิน

บัสที่ เกิด ความ ผิด พว่อง	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A
2	0.425	0.425	0.000	0.425	0.425	0.000	0.425	0.425	0.000	A
3	0.599	0.599	0.000	0.599	0.599	0.000	0.599	0.599	0.000	A
4	0.692	0.692	0.000	0.692	0.692	0.000	0.692	0.692	0.000	A
5	0.797	0.798	0.001	0.797	0.798	0.001	0.797	0.798	0.001	A
6	0.818	0.818	0.000	0.818	0.818	0.000	0.818	0.818	0.000	A
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A
8	0.457	0.456	0.001	0.457	0.456	0.001	0.457	0.456	0.001	A
9	0.457	0.456	0.001	0.457	0.456	0.001	0.457	0.456	0.001	A

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A

บัสที่ เกิด ความ ผิด พว่อง	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.000	0.000	0.000	0.946	0.946	0.000	0.901	0.900	0.001	B
2	0.600	0.599	0.001	0.951	0.950	0.001	0.956	0.956	0.000	B
3	0.746	0.746	0.000	0.957	0.957	0.000	0.967	0.967	0.000	B
4	0.813	0.813	0.000	0.962	0.962	0.000	0.971	0.971	0.000	B
5	0.830	0.828	0.002	0.958	0.957	0.001	0.978	0.978	0.000	B
6	0.857	0.857	0.000	0.963	0.961	0.002	0.979	0.978	0.001	B

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A (ต่อ)

บัสที่ เกิด ความ ผิดปกติ พร้อม	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
7	0.800	0.800	0.000	0.979	0.979	0.000	0.793	0.793	0.000	C
8	0.660	0.661	0.001	0.979	0.979	0.000	0.666	0.666	0.000	C
9	0.659	0.659	0.000	0.979	0.979	0.000	0.668	0.668	0.000	C

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C

บัสที่ เกิด ความ ผิดปกติ พร้อม	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.979	0.979	0.000	0.489	0.489	0.000	0.489	0.489	0.000	C
2	0.979	0.979	0.000	0.678	0.678	0.000	0.538	0.538	0.000	C
3	0.979	0.979	0.000	0.770	0.769	0.001	0.654	0.653	0.001	C
4	0.979	0.979	0.000	0.818	0.818	0.000	0.726	0.726	0.000	C
5	0.979	0.979	0.000	0.935	0.933	0.002	0.752	0.751	0.001	C
6	0.979	0.979	0.000	0.926	0.926	0.000	0.790	0.790	0.000	C
7	0.847	0.847	0.000	0.000	0.000	0.000	0.847	0.847	0.000	F
8	0.880	0.880	0.000	0.456	0.456	0.000	0.875	0.875	0.000	F
9	0.883	0.882	0.001	0.456	0.456	0.000	0.874	0.873	0.001	F

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันเฟสที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิด

พร้อมแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C

บัสที่ เกิด ความ ผิด พร้อม	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โปร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โปร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โปร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.838	0.838	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	E
2	0.935	0.935	0.000	0.555	0.555	0.000	0.464	0.464	0.000	E
3	0.953	0.953	0.000	0.703	0.703	0.000	0.621	0.621	0.000	E
4	0.961	0.961	0.000	0.776	0.776	0.000	0.705	0.705	0.000	E
5	0.959	0.959	0.000	0.872	0.872	0.000	0.754	0.754	0.000	E
6	0.964	0.964	0.000	0.884	0.884	0.000	0.787	0.787	0.000	E
7	0.781	0.780	0.001	0.000	0.000	0.000	0.781	0.780	0.001	F
8	0.600	0.599	0.001	0.456	0.456	0.000	0.595	0.596	0.001	F
9	0.600	0.600	0.000	0.456	0.456	0.000	0.595	0.595	0.000	F

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันไลน์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิด

พร้อมแบบสามเส้นลงดิน

บัสที่ เกิด ความ ผิด พร้อม	แรงดันไลน์ AB (p.u.)			แรงดันไลน์ BC (p.u.)			แรงดันไลน์ CA (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โปร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โปร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โปร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A
2	0.425	0.425	0.000	0.425	0.425	0.000	0.425	0.425	0.000	A
3	0.601	0.601	0.000	0.601	0.601	0.000	0.601	0.601	0.000	A
4	0.692	0.692	0.000	0.692	0.692	0.000	0.692	0.692	0.000	A
5	0.810	0.811	0.001	0.810	0.811	0.001	0.810	0.811	0.001	A
6	0.828	0.828	0.000	0.828	0.828	0.000	0.828	0.828	0.000	A

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันโวลต์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบสามเส้นลงดิน (ต่อ)

บัสที่ เกิด ความ ผิดปกติ พร้อม	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A
8	0.465	0.466	0.001	0.465	0.466	0.001	0.465	0.466	0.001	A
9	0.465	0.466	0.001	0.465	0.466	0.001	0.465	0.466	0.001	A

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันโวลต์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A

บัสที่ เกิด ความ ผิดปกติ พร้อม	แรงดันไลน์ AB (p.u.)			แรงดันไลน์ BC (p.u.)			แรงดันไลน์ CA (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.556	0.556	0.000	1.000	1.000	0.000	0.531	0.532	0.001	C
2	0.760	0.762	0.002	1.000	1.000	0.000	0.811	0.811	0.000	C
3	0.846	0.847	0.001	1.000	1.000	0.000	0.882	0.883	0.001	C
4	0.887	0.888	0.001	1.000	1.000	0.000	0.914	0.915	0.001	C
5	0.867	0.869	0.002	1.000	1.000	0.000	0.946	0.946	0.000	C
6	0.899	0.899	0.000	1.000	1.000	0.000	0.951	0.950	0.001	C
7	0.944	0.944	0.000	0.940	0.940	0.000	0.740	0.740	0.000	D
8	0.903	0.904	0.001	0.906	0.907	0.001	0.529	0.529	0.000	D
9	0.901	0.901	0.000	0.910	0.910	0.000	0.529	0.529	0.000	D

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันโวลต์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิด

พ่วงแบบสองเส้นที่เฟส B และ C

บัสที่ เกิด ความ ผิด พ่วง	แรงดันโวลต์ AB (p.u.)			แรงดันโวลต์ BC (p.u.)			แรงดันโวลต์ CA (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.866	0.866	0.000	0.000	0.000	0.000	0.866	0.866	0.000	D
2	0.945	0.945	0.000	0.425	0.425	0.000	0.833	0.835	0.002	D
3	0.967	0.968	0.001	0.602	0.601	0.001	0.861	0.862	0.001	D
4	0.979	0.979	0.000	0.696	0.696	0.000	0.885	0.885	0.000	D
5	1.043	1.043	0.000	0.813	0.811	0.002	0.860	0.861	0.001	D
6	1.028	1.029	0.001	0.828	0.828	0.000	0.886	0.886	0.000	D
7	0.5	0.5	0.000	0.5	0.5	0.000	1.000	1.000	0.000	C
8	0.645	0.645	0.000	0.640	0.640	0.000	1.000	1.000	0.000	C
9	0.651	0.650	0.001	0.635	0.635	0.000	1.000	1.000	0.000	C

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันโวลต์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิด

พ่วงแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C

บัสที่ เกิด ความ ผิด พ่วง	แรงดันโวลต์ AB (p.u.)			แรงดันโวลต์ BC (p.u.)			แรงดันโวลต์ CA (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
1	0.493	0.493	0.000	0.000	0.000	0.000	0.493	0.493	0.000	F
2	0.840	0.840	0.000	0.425	0.425	0.000	0.738	0.738	0.000	F
3	0.908	0.908	0.000	0.601	0.601	0.000	0.809	0.809	0.000	F
4	0.937	0.937	0.000	0.696	0.696	0.000	0.849	0.849	0.000	F
5	0.990	0.990	0.000	0.811	0.811	0.000	0.830	0.830	0.000	F
6	0.990	0.990	0.000	0.828	0.828	0.000	0.861	0.861	0.000	F

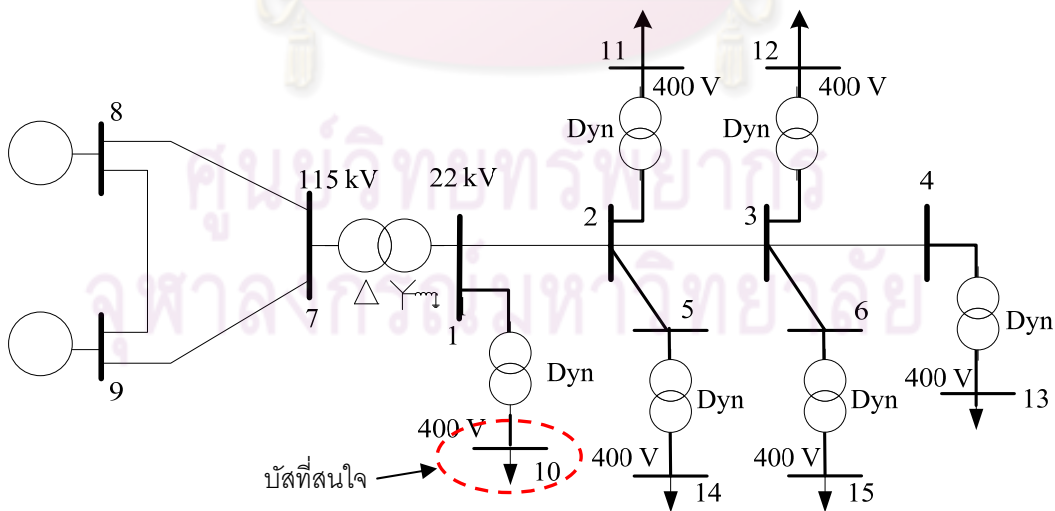
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการคำนวณแรงดันโวลต์ที่บัส 1 ในระบบไฟฟ้า 9 บัส กรณีความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C (ต่อ)

บัสที่ เกิด ความ ผิดปกติ พร้อม	แรงดันเฟส A (p.u.)			แรงดันเฟส B (p.u.)			แรงดันเฟส C (p.u.)			Sag Type
	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	PSS/ E	โพร แกรม ที่ พัฒนา	ความ คลาด เคลื่อน	
7	0.460	0.460	0.000	0.460	0.460	0.000	0.918	0.919	0.001	G
8	0.520	0.521	0.001	0.517	0.517	0.000	0.651	0.652	0.001	G
9	0.523	0.523	0.000	0.515	0.515	0.000	0.652	0.652	0.000	G

4.2 การคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะของระบบไฟฟ้า 15 บัส

4.2.1 ข้อมูลระบบไฟฟ้า 15 บัส

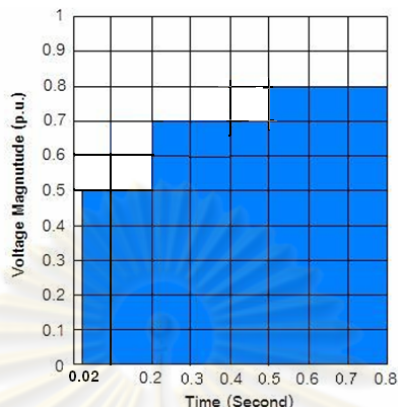
ระบบไฟฟ้า 15 บัส เป็นระบบไฟฟ้าที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงมาจากระบบไฟฟ้า 9 บัส โดยได้ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเดลต้า-วายด์กราวด์ เพื่อลดแรงดันไฟฟ้าลงจาก 22 kV เป็น 400 V เพิ่มเข้าไปที่บัส 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 โดยมีแผนผังวงจรเส้นเดียวแสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งบัสที่สนใจคือ บัสที่ 10 โดยข้อมูลของระบบไฟฟ้า 15 บัส จะแสดงดังภาคผนวก ค



รูปที่ 4.2 แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบไฟฟ้า 15 บัส

4.2.2 ข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสีเหลืองมมจากในระบบไฟฟ้า 15 บัส

ในการศึกษาได้ทำการจำลองอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขึ้น โดยได้จำลองอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสีเหลืองมมจาก แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตามมาตรฐาน SEMI F47

จากรูปที่ 4.3 เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไม่เป็นสีเหลืองมมจากตามมาตรฐาน SEMI F47 ซึ่งอุปกรณ์จะทำงานผิดพลาดเมื่อแรงดันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 เพอร์ยูนิต และระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.02 วินาที หรือเมื่อแรงดันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.7 เพอร์ยูนิต และระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 วินาที หรือเมื่อแรงดันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.8 เพอร์ยูนิต และระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 วินาที

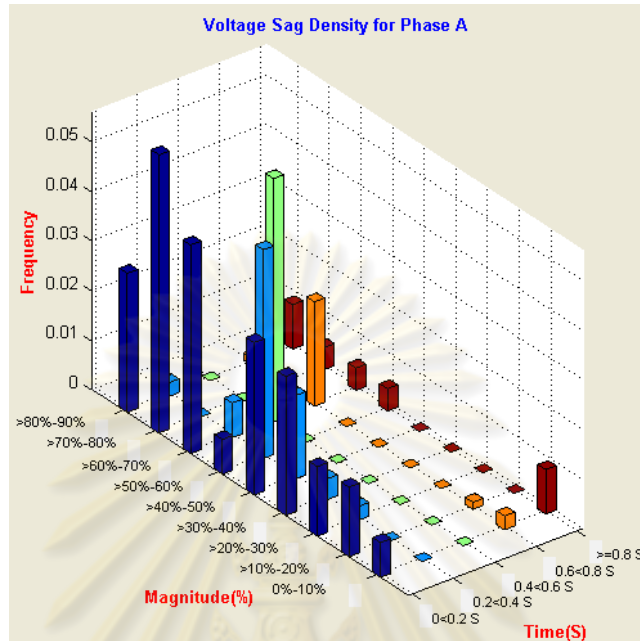
4.2.3 ผลการทดสอบของระบบไฟฟ้า 15 บัส

ในการทดสอบระบบไฟฟ้าที่ได้จำลองขึ้นมา จะกำหนดให้จำนวนตำแหน่งการเกิดความผิดปกติบนสายไฟฟ้า (Number of Fault Position) เท่ากับ 10 ตำแหน่ง, ค่าความต้านทานการเกิดความผิดปกติเท่ากับ $0+j0$ เพอร์ยูนิต และบัสที่อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออยู่คือ **บัสที่ 10** โดยผลการทดสอบจะแยกตามประเภทของความผิดพร่องดังนี้

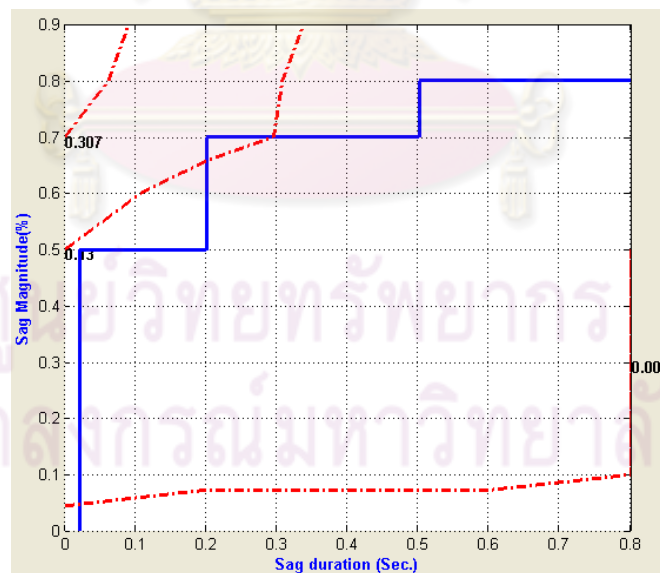
1.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติแบบสามเส้นลงดิน

กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 และบริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ซึ่งตารางแสดงความหนาแน่นและตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่ว

ขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.4 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส



รูปที่ 4.6 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ตารางที่ 4.9 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมสามเส้นลงดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

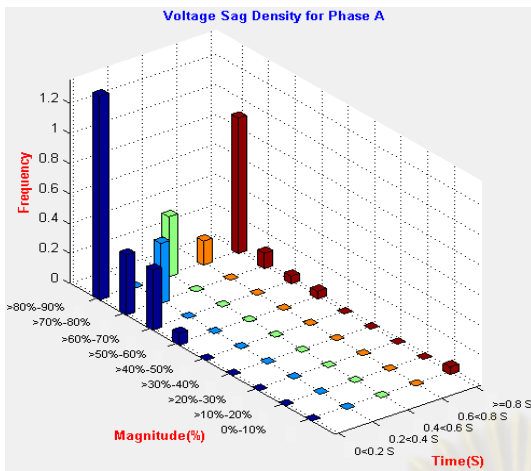
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.028	0.0028	0	0.0014	0.009
>70-80%	0.063	0	0	0	0.0045
>60-70%	0.035	0.014	0.049	0.014	0.0045
>50-60%	0.007	0.042	0	0	0.0045
>40-50%	0.0447	0.0112	0	0	0
>30-40%	0.021	0.0028	0	0	0
>20-30%	0.014	0.0028	0	0	0
>10-20%	0.014	0	0	0.0028	0
0-10%	0.007	0	0	0.0014	0.009

ตารางที่ 4.10 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมกันลง
ดินของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

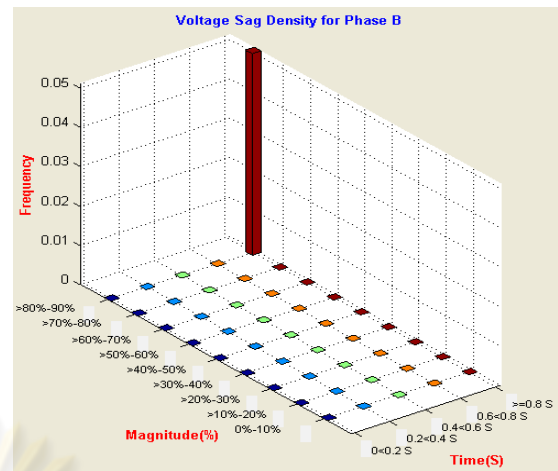
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.4092	0.1756	0.1	0.051	0.0314
$\leq 80\%$	0.3681	0.1624	0.0896	0.0406	0.0224
$\leq 70\%$	0.3006	0.1579	0.0851	0.0361	0.0179
$\leq 60\%$	0.1841	0.0764	0.0176	0.0176	0.0134
$\leq 50\%$	0.1306	0.03	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 40\%$	0.0748	0.0188	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 30\%$	0.051	0.016	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 20\%$	0.0342	0.0132	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 10\%$	0.0174	0.0104	0.0104	0.0104	0.009

2.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดิน

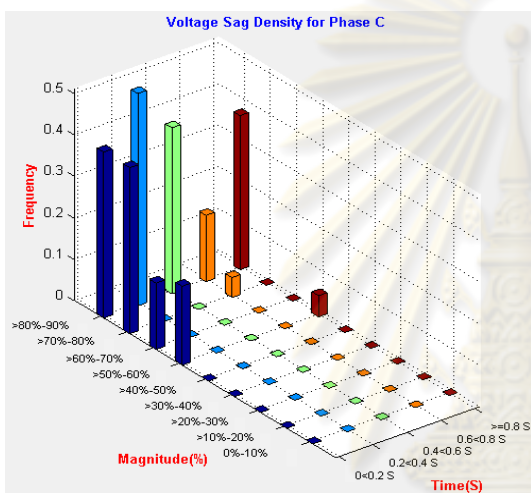
กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟสที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.8 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A, B และ C เมื่อเกิดความผิดปกติแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.9



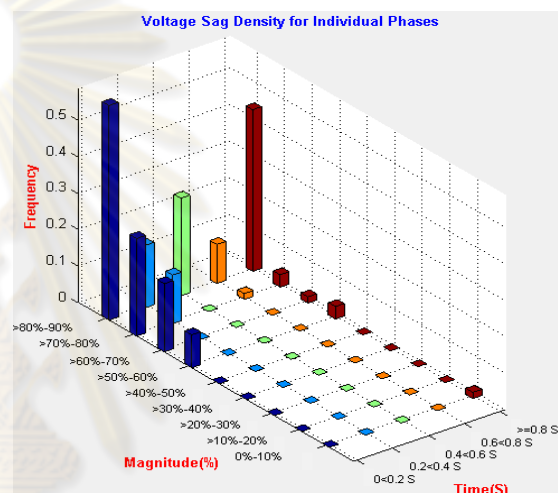
(ก)



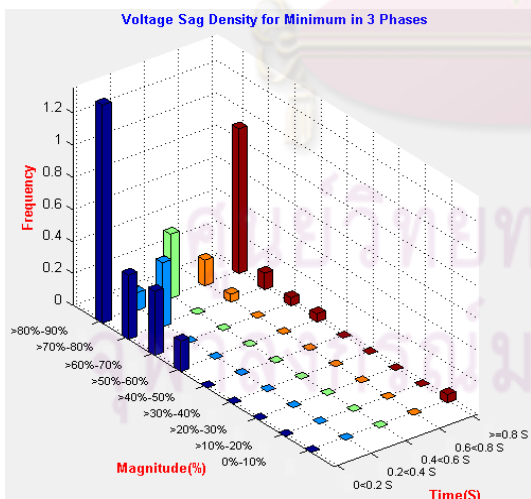
(ข)



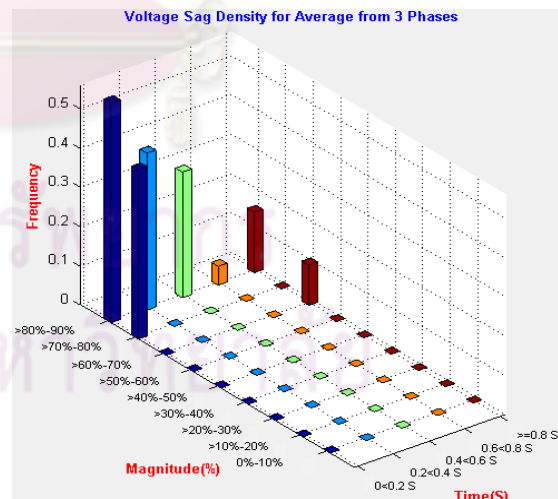
(ค)



(ง)



(จ)



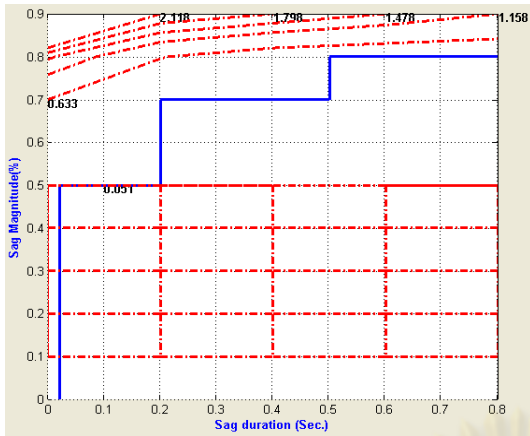
(ฉ)

รูปที่ 4.7 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่ยับ 10 เมื่อเกิดความผิดปกติ

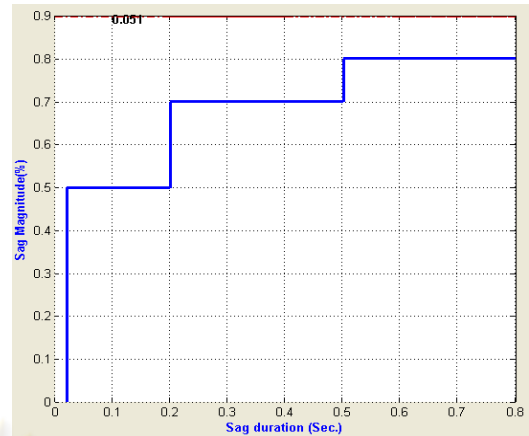
เส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

(ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด

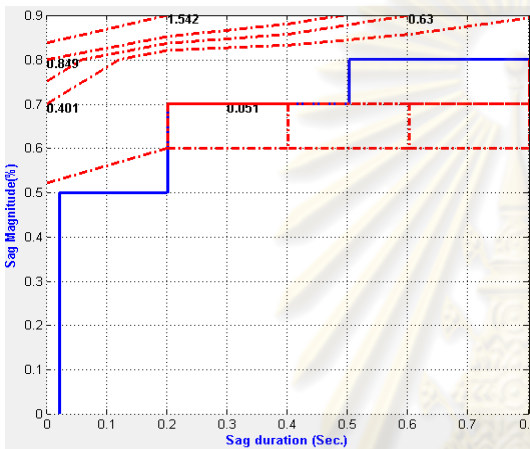
(ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



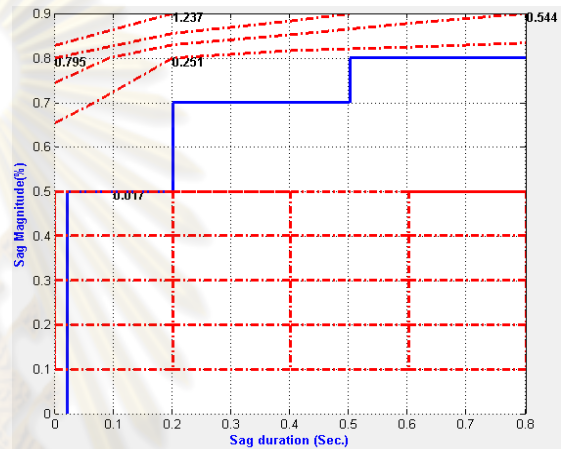
(ก)



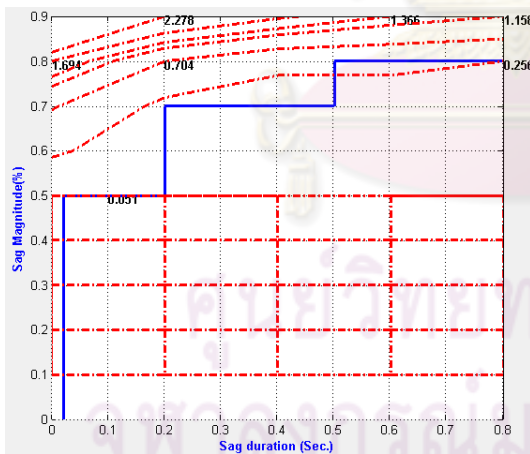
(ข)



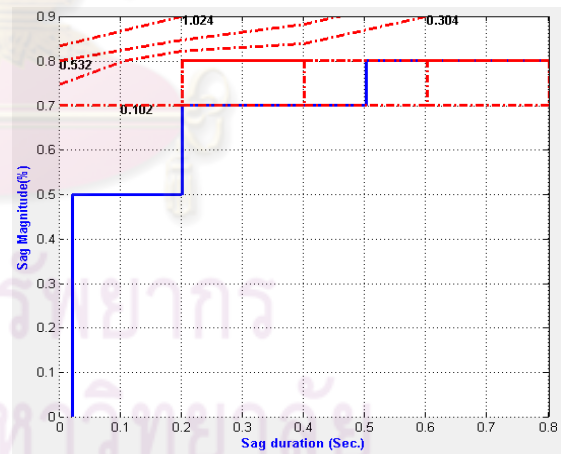
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบ
เส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็น
แรงดันเฟส

(ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด

(ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	1.36	0	0.4	0.16	0.9024
>70-80%	0.4	0.4	0	0	0.1024
>60-70%	0.4	0	0	0	0.0512
>50-60%	0.08	0	0	0	0.0512
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.0512

ตารางที่ 4.12 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0.0512
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.13 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.4	0.512	0.4	0.16	0.3712
>70-80%	0.4	0	0	0.048	0
>60-70%	0.16	0	0	0	0
>50-60%	0.1904	0	0	0	0.0512
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.14 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 10 กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระเมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.5867	0.1707	0.2667	0.1067	0.4416
>70-80%	0.2667	0.1333	0	0.016	0.0341
>60-70%	0.1867	0	0	0	0.0171
>50-60%	0.0901	0	0	0	0.0341
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.0171

ตารางที่ 4.15 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติแรงดันเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	1.36	0.112	0.4	0.16	0.9024
>70-80%	0.4	0.4	0	0.048	0.1024
>60-70%	0.4	0	0	0	0.0512
>50-60%	0.1904	0	0	0	0.0512
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.0512

ตารางที่ 4.16 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติแรงดันเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.56	0.4	0.32	0.048	0.1536
>70-80%	0.4304	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0.1024
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.17 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.102	1.862	1.542	1.222	0.902
$\leq 80\%$	1.382	0.502	0.182	0.102	0.102
$\leq 70\%$	0.582	0.102	0.102	0.102	0.102
$\leq 60\%$	0.262	0.102	0.102	0.102	0.102
$\leq 50\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 40\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 30\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 20\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 10\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051

ตารางที่ 4.18 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	$0.0 < 0.2$	$0.2 < 0.4$	$0.4 < 0.6$	$0.6 < 0.8$	≥ 0.8
$> 80-90\%$	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
$> 70-80\%$	0	0	0	0	0
$> 60-70\%$	0	0	0	0	0
$> 50-60\%$	0	0	0	0	0
$> 40-50\%$	0	0	0	0	0
$> 30-40\%$	0	0	0	0	0
$> 20-30\%$	0	0	0	0	0
$> 10-20\%$	0	0	0	0	0
$0-10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.19 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	2.692	1.542	1.1104	0.7904	0.422
$\leq 80\%$	0.945	0.195	0.099	0.099	0.051
$\leq 70\%$	0.401	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 60\%$	0.241	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.20 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	2.3675	1.2373	0.9333	0.6667	0.544
$\leq 80\%$	0.7952	0.2517	0.1184	0.1184	0.1024
$\leq 70\%$	0.3451	0.0683	0.0683	0.0683	0.0683
$\leq 60\%$	0.1413	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
$\leq 50\%$	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
$\leq 40\%$	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
$\leq 30\%$	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
$\leq 20\%$	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171
$\leq 10\%$	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171	0.0171

ตารางที่ 4.21 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติแรงดันเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.6288	2.2784	1.7664	1.3664	1.1584
$\leq 80\%$	1.6944	0.704	0.304	0.304	0.256
$\leq 70\%$	0.744	0.1536	0.1536	0.1536	0.1536
$\leq 60\%$	0.2928	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024
$\leq 50\%$	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
$\leq 40\%$	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
$\leq 30\%$	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
$\leq 20\%$	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512
$\leq 10\%$	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512	0.0512

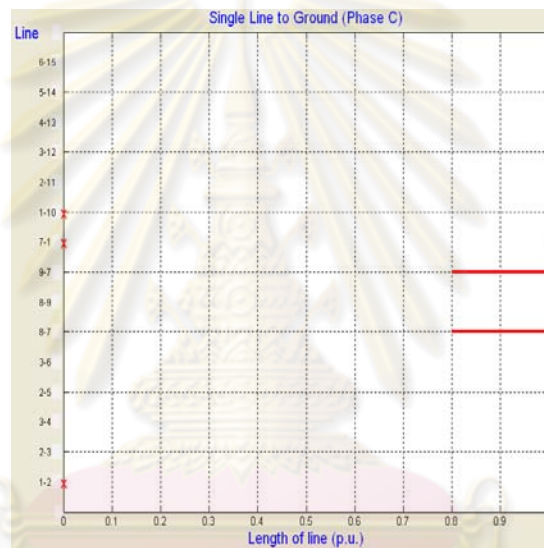
ตารางที่ 4.22 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติแรงดันเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	2.0144	1.024	0.624	0.304	0.256
$\leq 80\%$	0.5328	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024
$\leq 70\%$	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.9 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่

เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

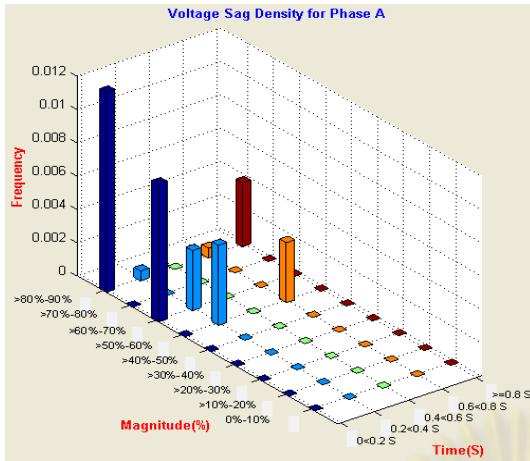
)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

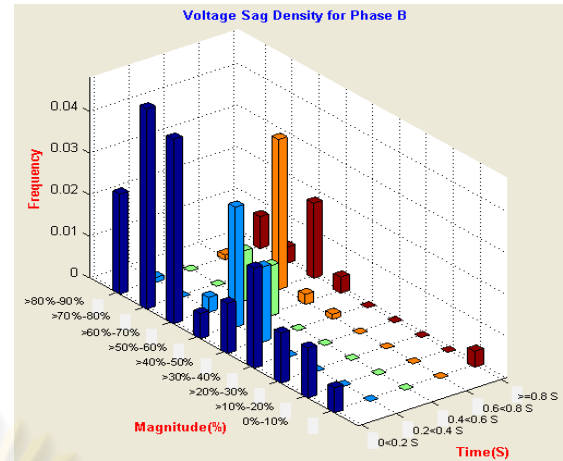
3.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้น

กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.11 ตามลำดับ โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 และ 4.34 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.12

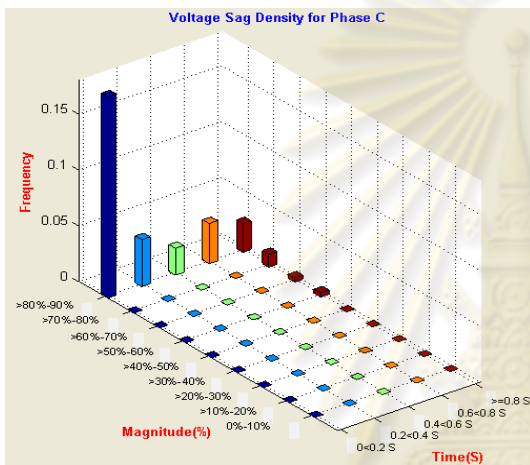
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



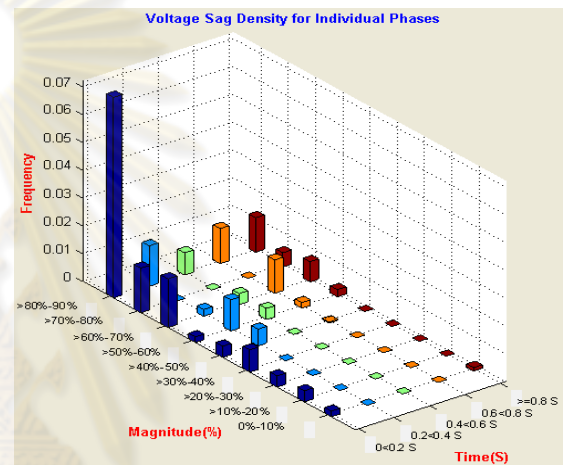
(ก)



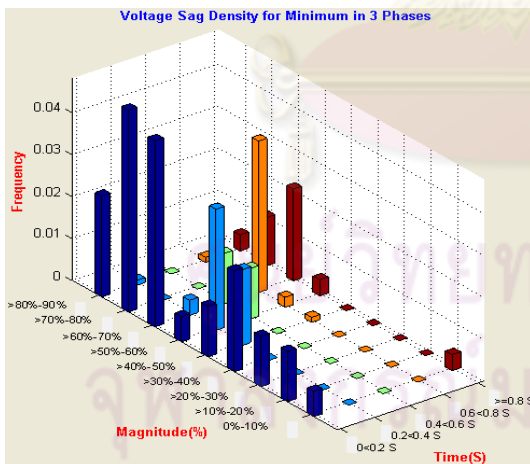
(ข)



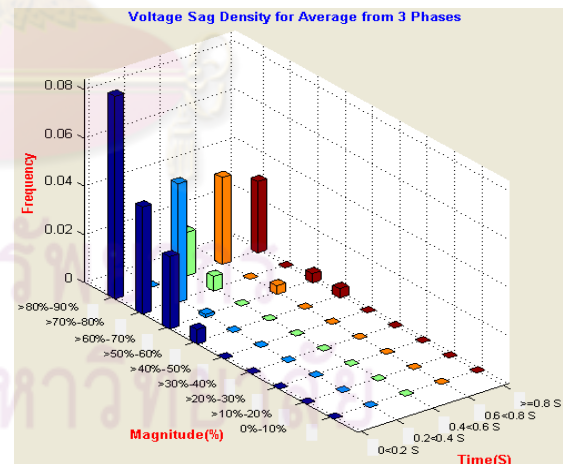
(ค)



(ง)

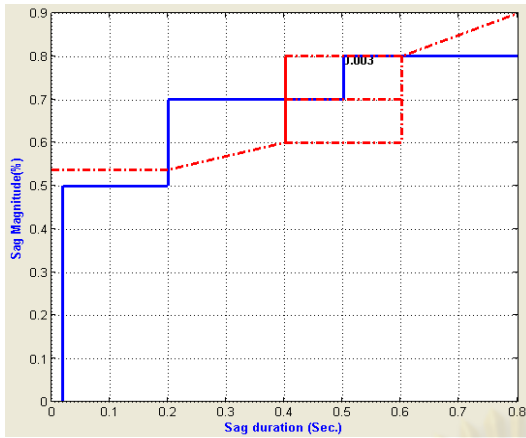


(จ)

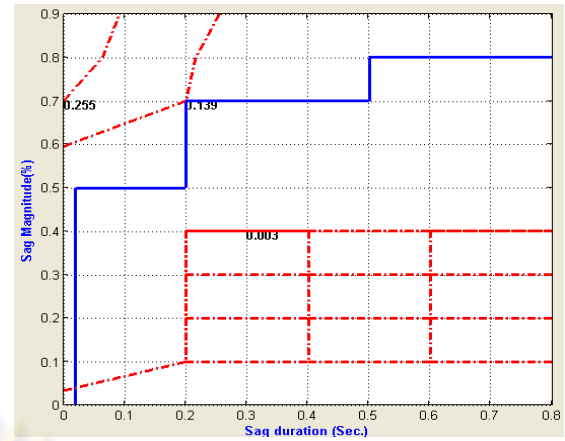


(ฉ)

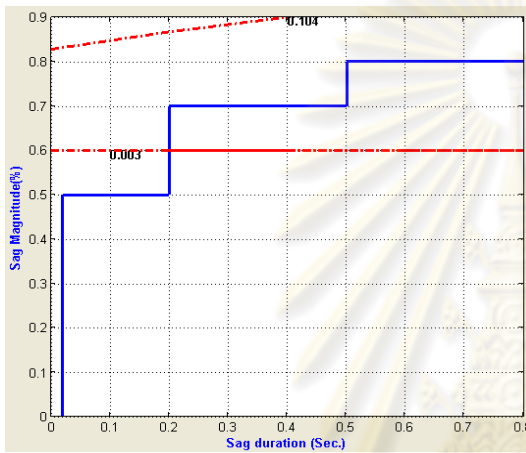
รูปที่ 4.10 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของ
 สองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส
 (ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด
 (ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



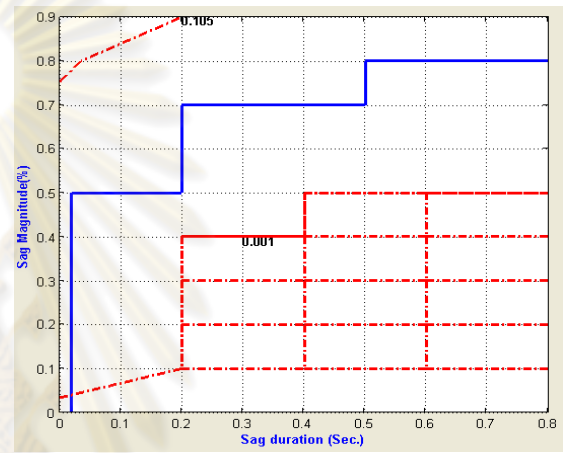
(ก)



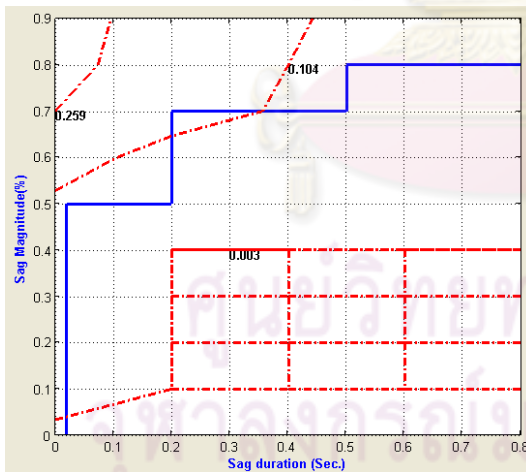
(ข)



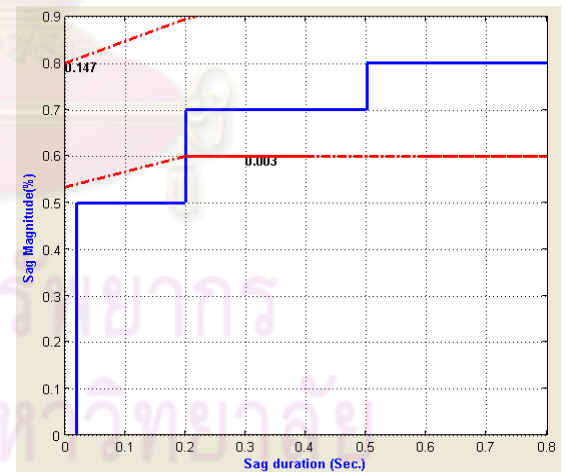
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

(ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด

(ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

ตารางที่ 4.23 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.012	0.0006	0	0.0006	0.0038
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0.0083	0.0036	0	0	0
>50-60%	0	0.0048	0	0.0036	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.24 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.024	0.0012	0	0.0012	0.0077
>70-80%	0.054	0	0	0	0.0038
>60-70%	0.0383	0.0048	0.024	0.03	0.012
>50-60%	0.006	0.0396	0	0.0036	0
>40-50%	0.018	0.018	0	0	0.0038
>30-40%	0.018	0	0	0	0
>20-30%	0.012	0	0	0	0
>10-20%	0.012	0	0	0	0
0-10%	0.006	0	0	0	0.0038

ตารางที่ 4.25 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่ 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.18	0.042	0.024	0.036	0.0257
>70-80%	0	0	0	0	0.0115
>60-70%	0	0	0	0	0.0038
>50-60%	0	0	0	0	0.0038
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.26 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่ 10 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.072	0.0146	0.008	0.0126	0.0124
>70-80%	0.016	0	0	0	0.0051
>60-70%	0.0175	0.0024	0.004	0.012	0.0073
>50-60%	0.002	0.0112	0.004	0.002	0.0026
>40-50%	0.004	0.006	0	0.0004	0
>30-40%	0.008	0	0	0	0
>20-30%	0.004	0	0	0	0
>10-20%	0.004	0	0	0	0
0-10%	0.002	0	0	0	0.0013

ตารางที่ 4.27 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.024	0.0012	0	0.0012	0.0038
>70-80%	0.048	0	0	0	0.0115
>60-70%	0.0443	0.0036	0.012	0.036	0.0218
>50-60%	0.006	0.0288	0.012	0.0024	0.0038
>40-50%	0.012	0.018	0	0.0012	0
>30-40%	0.024	0	0	0	0
>20-30%	0.012	0	0	0	0
>10-20%	0.012	0	0	0	0
0-10%	0.006	0	0	0	0.0038

ตารางที่ 4.28 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.084	0	0.018	0.036	0.0295
>70-80%	0.0443	0.0492	0.006	0	0
>60-70%	0.03	0.0012	0	0.0036	0.0038
>50-60%	0.006	0	0	0	0.0038
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.29 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.0373	0.017	0.008	0.008	0.0038
>70-80%	0.0203	0.012	0.0036	0.0036	0
>60-70%	0.0203	0.012	0.0036	0.0036	0
>50-60%	0.0084	0.0084	0.0036	0.0036	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.30 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.3419	0.1536	0.102	0.078	0.0372
>70-80%	0.3078	0.1435	0.0931	0.0691	0.0295
>60-70%	0.256	0.1397	0.0893	0.0653	0.0257
>50-60%	0.1421	0.0701	0.0233	0.0113	0.0077
>40-50%	0.089	0.023	0.005	0.005	0.0038
>30-40%	0.0578	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
>20-30%	0.0338	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
>10-20%	0.0218	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
0-10%	0.0098	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038

ตารางที่ 4.31 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่ 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.3269	0.1469	0.1049	0.0809	0.0449
>70-80%	0.0192	0.0192	0.0192	0.0192	0.0192
>60-70%	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077
>50-60%	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.32 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่ 10 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระเมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	>=0.0	>=0.2	>=0.4	>=0.6	>=0.8
<=90%	0.2354	0.1058	0.0716	0.0556	0.0286
<=80%	0.1158	0.0582	0.0386	0.0306	0.0162
<=70%	0.0946	0.0531	0.0335	0.0255	0.0111
<=60%	0.0514	0.0274	0.0102	0.0062	0.0038
<=50%	0.0297	0.0077	0.0017	0.0017	0.0013
<=40%	0.0193	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
<=30%	0.0113	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
<=20%	0.0073	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013
<=10%	0.0033	0.0013	0.0013	0.0013	0.0013

ตารางที่ 4.33 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

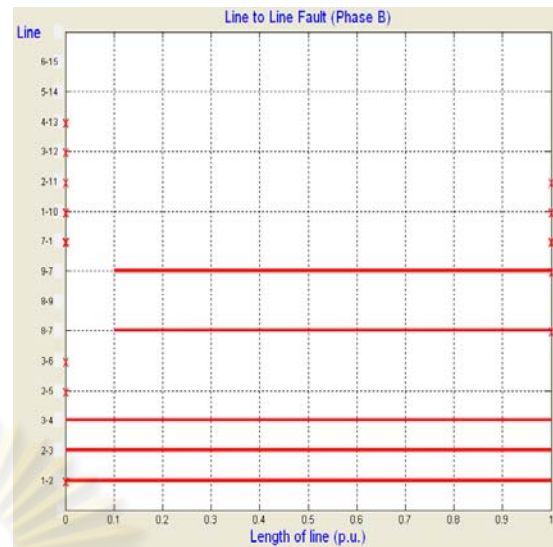
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.3496	0.1613	0.1097	0.0857	0.0449
$\leq 80\%$	0.3193	0.155	0.1046	0.0806	0.041
$\leq 70\%$	0.2598	0.1435	0.0931	0.0691	0.0295
$\leq 60\%$	0.1421	0.0701	0.0233	0.0113	0.0077
$\leq 50\%$	0.089	0.023	0.005	0.005	0.0038
$\leq 40\%$	0.0578	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 30\%$	0.0338	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 20\%$	0.0218	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 10\%$	0.0098	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038

ตารางที่ 4.34 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

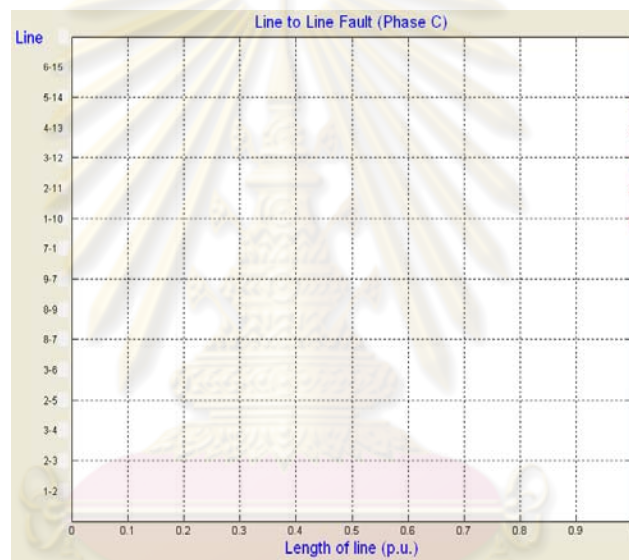
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.3155	0.1512	0.1008	0.0768	0.0372
$\leq 80\%$	0.148	0.0677	0.0173	0.0113	0.0077
$\leq 70\%$	0.0485	0.0125	0.0113	0.0113	0.0077
$\leq 60\%$	0.0098	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)



(ข)



(ค)

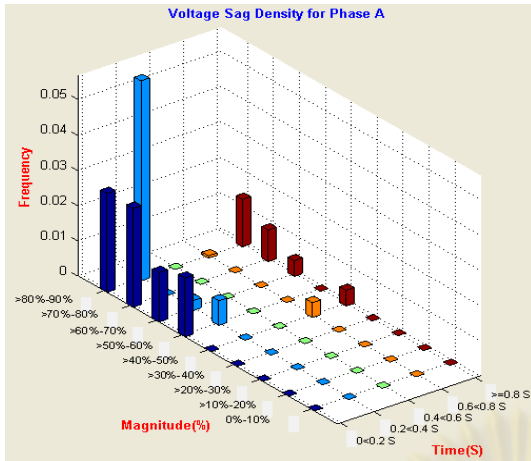
รูปที่ 4.12 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C

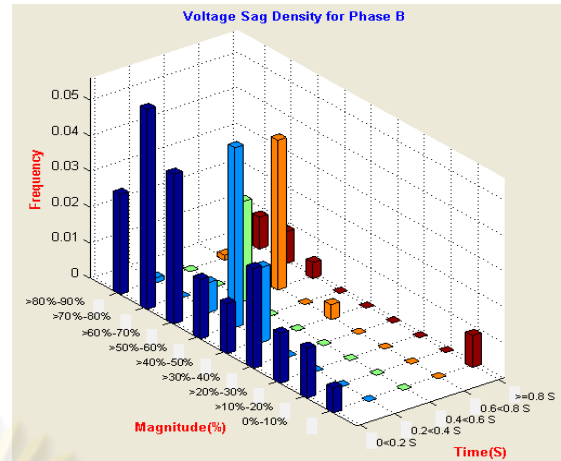
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดิน

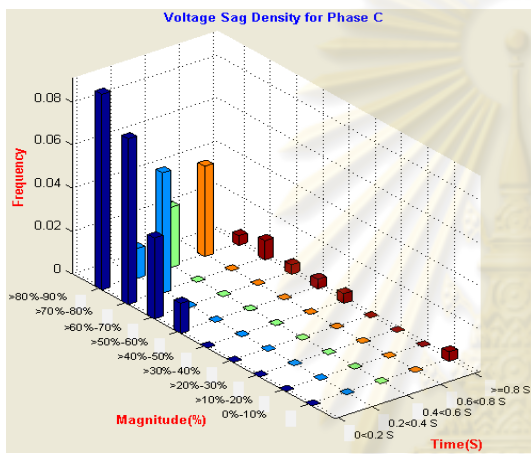
กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.14 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39 และ 4.40 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45, 4.46 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.15



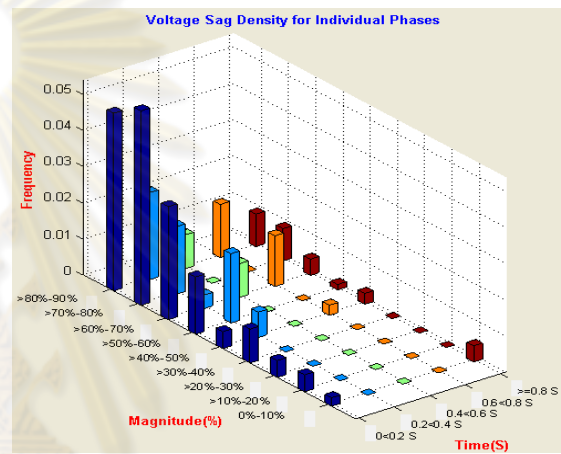
(ก)



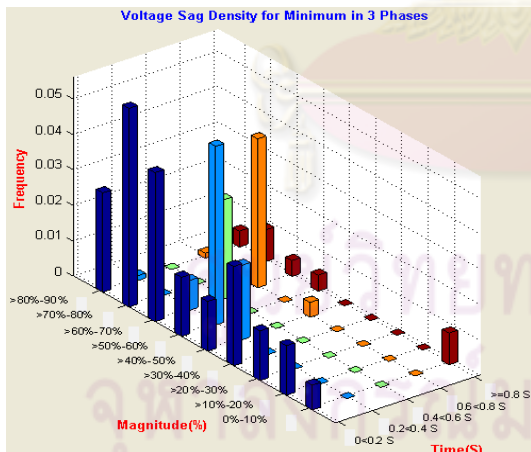
(ข)



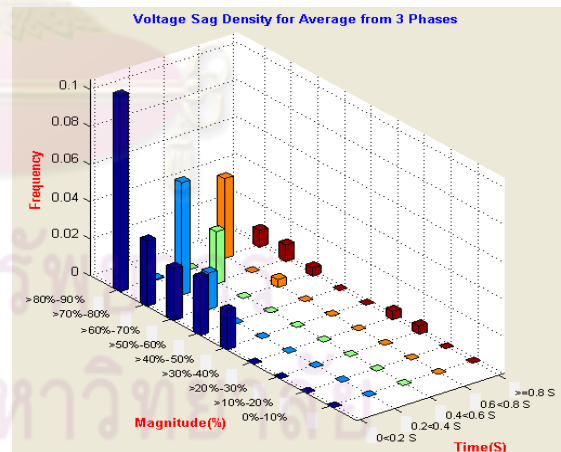
(ค)



(ง)

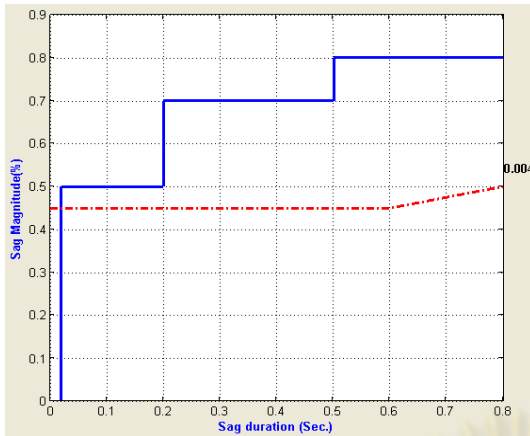


(จ)

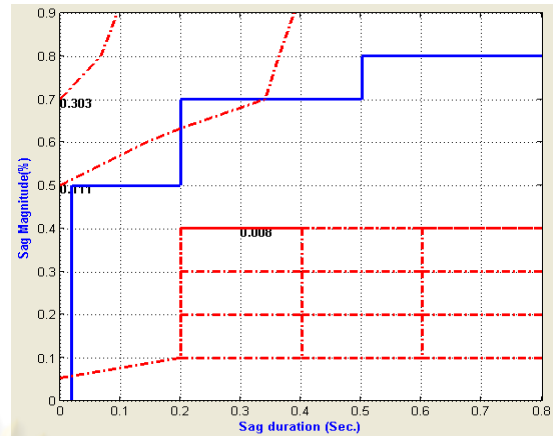


(ฉ)

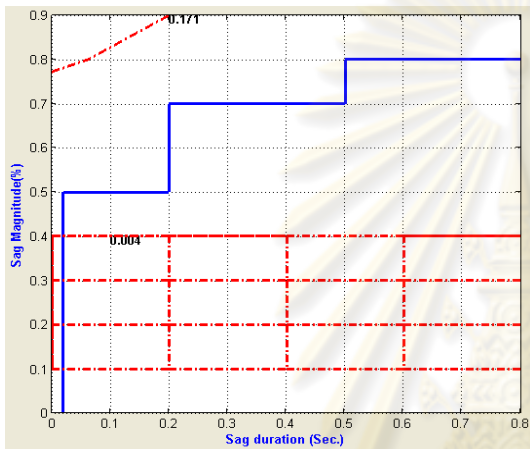
รูปที่ 4.13 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติ
 เส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส
 (ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด
 (ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



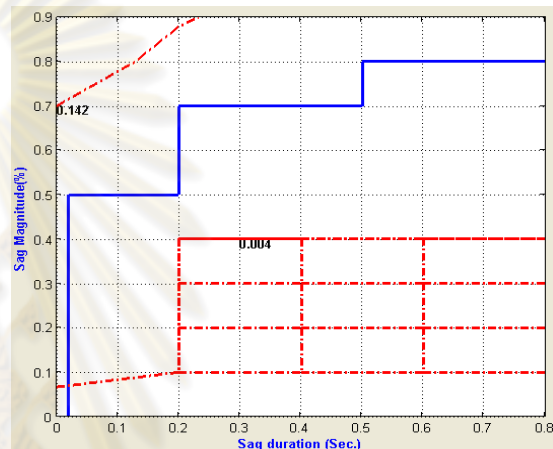
(ก)



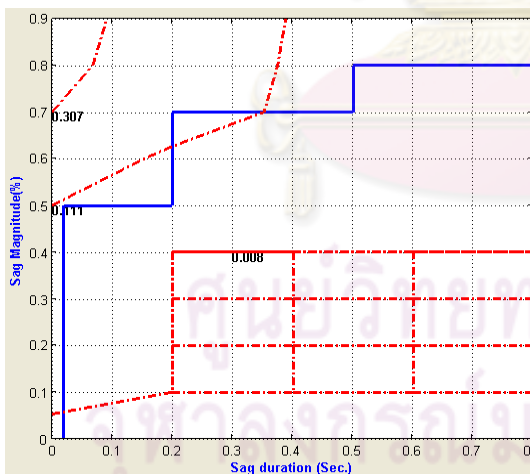
(ข)



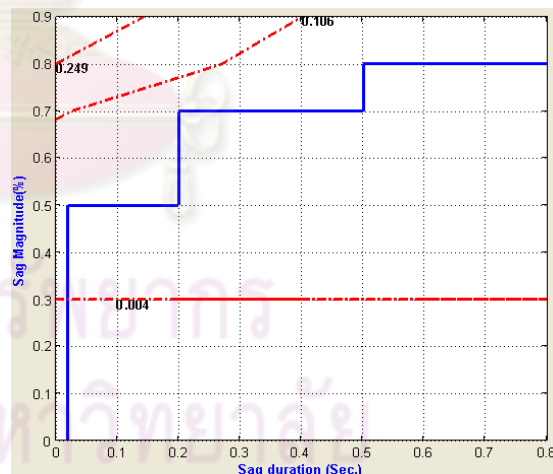
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กวณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

(ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กวณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กวณีเฟสต่ำที่สุด

(ฉ) กวณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

ตารางที่ 4.35 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.028	0.0567	0	0.0007	0.0134
>70-80%	0.028	0	0	0	0.009
>60-70%	0.014	0.0028	0	0	0.0045
>50-60%	0.0167	0.007	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0.0042	0.0045
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.36 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.028	0.0014	0	0.0014	0.009
>70-80%	0.056	0	0	0	0.009
>60-70%	0.042	0.0084	0.028	0.042	0.0045
>50-60%	0.0167	0.0504	0	0	0
>40-50%	0.014	0.021	0	0.0042	0
>30-40%	0.028	0	0	0	0
>20-30%	0.014	0	0	0	0
>10-20%	0.014	0	0	0	0
0-10%	0.007	0	0	0	0.009

ตารางที่ 4.37 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.091	0.014	0.028	0.042	0.0045
>70-80%	0.077	0.056	0	0	0.009
>60-70%	0.0377	0	0	0	0.0045
>50-60%	0.014	0	0	0	0.0045
>40-50%	0	0	0	0	0.0045
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.0045

ตารางที่ 4.38 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.049	0.024	0.0093	0.0147	0.009
>70-80%	0.0537	0.0187	0	0	0.009
>60-70%	0.0312	0.0037	0.0093	0.014	0.0045
>50-60%	0.0158	0.0191	0	0	0.0015
>40-50%	0.0047	0.007	0	0.0028	0.003
>30-40%	0.0093	0	0	0	0
>20-30%	0.0047	0	0	0	0
>10-20%	0.0047	0	0	0	0
0-10%	0.0023	0	0	0	0.0045

ตารางที่ 4.39 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.028	0.0014	0	0.0014	0.0045
>70-80%	0.056	0	0	0	0.009
>60-70%	0.042	0.0084	0.028	0.042	0.0045
>50-60%	0.0167	0.0504	0	0	0.0045
>40-50%	0.014	0.021	0	0.0042	0
>30-40%	0.028	0	0	0	0
>20-30%	0.014	0	0	0	0
>10-20%	0.014	0	0	0	0
0-10%	0.007	0	0	0	0.009

ตารางที่ 4.40 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.105	0.0007	0	0.0427	0.009
>70-80%	0.035	0.0602	0.028	0	0.009
>60-70%	0.028	0.0196	0	0.0042	0.0045
>50-60%	0.0307	0	0	0	0
>40-50%	0.021	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0.0045
>20-30%	0	0	0	0	0.0045
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.41 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 10 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติของ
สองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.1894	0.1028	0.0363	0.0363	0.0314
$\leq 80\%$	0.0906	0.0319	0.0221	0.0221	0.0179
$\leq 70\%$	0.0536	0.023	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 60\%$	0.0323	0.0157	0.0087	0.0087	0.0045
$\leq 50\%$	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0045
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.42 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 10 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติของ
สองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.4078	0.1882	0.107	0.079	0.0314
$\leq 80\%$	0.3681	0.1764	0.0966	0.0686	0.0224
$\leq 70\%$	0.3031	0.1674	0.0876	0.0596	0.0134
$\leq 60\%$	0.1782	0.0846	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 50\%$	0.1112	0.0342	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 40\%$	0.072	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 30\%$	0.044	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 20\%$	0.03	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 10\%$	0.016	0.009	0.009	0.009	0.009

ตารางที่ 4.43 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 10 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดพลาดสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.391	0.1714	0.1014	0.0734	0.0314
$\leq 80\%$	0.2115	0.0829	0.0269	0.0269	0.0269
$\leq 70\%$	0.0696	0.0179	0.0179	0.0179	0.0179
$\leq 60\%$	0.0274	0.0134	0.0134	0.0134	0.0134
$\leq 50\%$	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 40\%$	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 30\%$	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 20\%$	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 10\%$	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045

ตารางที่ 4.44 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 10 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิดความผิดพลาดสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.3294	0.1541	0.0815	0.0629	0.0314
$\leq 80\%$	0.2234	0.0971	0.0485	0.0392	0.0224
$\leq 70\%$	0.1421	0.0694	0.0396	0.0302	0.0134
$\leq 60\%$	0.0793	0.0379	0.0118	0.0118	0.009
$\leq 50\%$	0.0429	0.0173	0.0103	0.0103	0.0075
$\leq 40\%$	0.0255	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 30\%$	0.0161	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 20\%$	0.0115	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 10\%$	0.0068	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045

ตารางที่ 4.45 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด

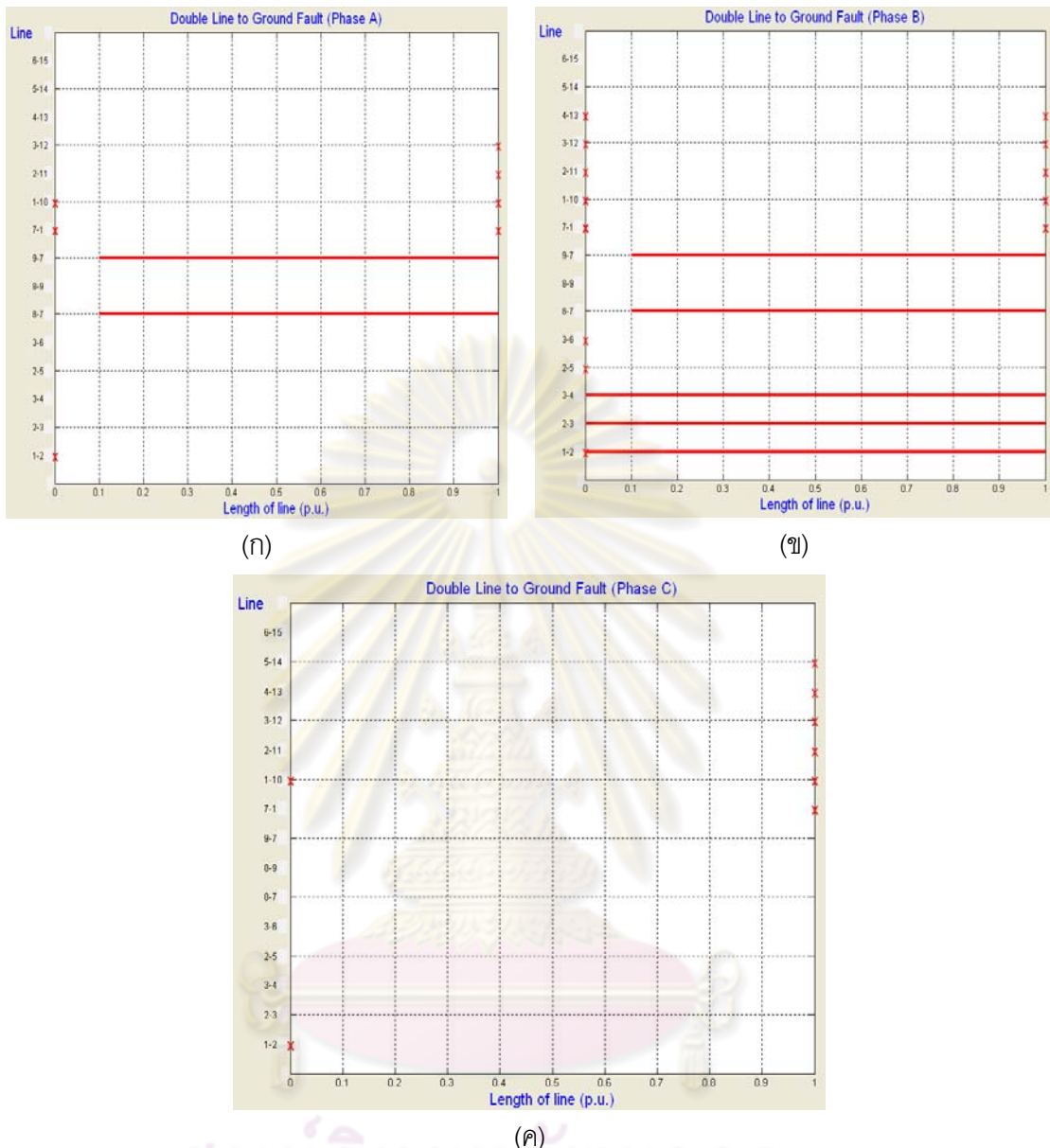
ความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.4078	0.1882	0.107	0.079	0.0314
$\leq 80\%$	0.3725	0.1809	0.1011	0.0731	0.0269
$\leq 70\%$	0.3076	0.1719	0.0921	0.0641	0.0179
$\leq 60\%$	0.1827	0.089	0.0176	0.0176	0.0134
$\leq 50\%$	0.1112	0.0342	0.0132	0.0132	0.009
$\leq 40\%$	0.072	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 30\%$	0.044	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 20\%$	0.03	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 10\%$	0.016	0.009	0.009	0.009	0.009

ตารางที่ 4.46 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0.4064	0.1868	0.1063	0.0783	0.0314
$\leq 80\%$	0.2491	0.1344	0.0546	0.0266	0.0224
$\leq 70\%$	0.1169	0.0372	0.0176	0.0176	0.0134
$\leq 60\%$	0.0606	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 50\%$	0.03	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 40\%$	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
$\leq 30\%$	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



รูปที่ 4.15 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส
)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C)

ผลการทดสอบการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 10 ของระบบ 15 บัส ที่ได้แสดงข้างต้นนั้นจะแสดงผลเฉพาะผลการทดสอบที่คำนวณจากแรงดันเฟส ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะโหลดที่ต่อเป็นแบบวายด์ (Wye) โดยถ้าหากต้องการวิเคราะห์โหลดที่ต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta) จะต้องใช้แรงดันไลน์ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อต่ออุปกรณ์ที่บัส 10 และที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ของระบบ 15 บัส กรณีใช้แรงดันไลน์ในการคำนวณ จะ

แสดงดังในตารางที่ 4.50 และ 4.51 โดยบัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อต่ออุปกรณ์ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ของระบบ 15 บัส กรณีใช้แรงดันไลไนในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.52 และผลจากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อต่ออุปกรณ์ที่บัส 10 และที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ของระบบ 15 บัส กรณีใช้แรงดันเฟสในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.47 และ 4.48 โดยบัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อต่ออุปกรณ์ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ จะแสดงดังตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.47 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสีเขียวหม่นจากต่ออยู่ที่บัส 10 ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

ชนิดความผิด พร้อม	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
สามเส้นลงดิน	0.3082	0.3082	0.3082	0.3082	0.3082	0.3082
เส้นเดียวลงดิน	0.3984	0	0.1504	0.1829	0.4464	0.2048
สองเส้น	0.0156	0.2752	0.0269	0.1059	0.2905	0.0268
สองเส้นลงดิน	0.0364	0.3062	0.0358	0.1261	0.3151	0.0878

ตารางที่ 4.48 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสีเขียวหม่นจากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ในระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
10	0.7586	0.8895	0.5213	0.7231	1.3602	0.6275
11	2.0194	0.9307	1.7571	1.569	2.6811	1.1226
12	2.8519	1.0014	3.0533	2.3022	3.973	1.7825
13	2.8474	0.9976	3.6933	2.5128	4.6091	1.9451
14	1.9844	0.9976	1.8245	1.6022	2.6891	1.2568
15	2.8043	1.0285	3.057	2.2966	3.945	1.9042

ตารางที่ 4.49 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสถียรมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ในระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ	กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส
บัสที่ดีที่สุด	10	10	10	10	10	10
บัสที่แย่มากที่สุด	12	15	13	13	13	13

ตารางที่ 4.50 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสถียรมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 10 ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

ชนิดความผิดปกติ	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
สามเส้นลงดิน	0.3082	0.3082	0.3082
เส้นเดียวลงดิน	0.3072	0	0.7408
สองเส้น	0.0451	0.2267	0
สองเส้นลงดิน	0.1218	0.2708	0.0372

ตารางที่ 4.51 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสถียรมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ของระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

บัสที่ต่ออุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
10	0.7823	0.8056	1.0862
11	1.3907	0.9635	3.6468
12	1.4781	1.0057	4.4855
13	1.4597	1.0351	4.4855
14	1.4735	0.9786	3.77
15	1.5385	0.9893	4.5403

ตารางที่ 4.52 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เหลื่อมมุมจากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ในระบบ 15 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
บัสที่ดีที่สุด	10	10	10
บัสที่แย่มากที่สุด	12	13	15

4.2.4 การสรุปผลการทดสอบของระบบไฟฟ้า 15 บัส

จากผลการทดสอบของระบบ 15 บัส เมื่อนำโหลดไปต่ออยู่ที่บัสที่ 10 ซึ่งเป็นบัสที่มีขนาดแรงดัน 400 โวลต์ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1.) กรณีโหลดต่อเป็นแบบวายด์ (Wye)

กรณีโหลดต่อเป็นแบบวายด์จะใช้ค่าจากการคำนวณจากแรงดันเฟสมาสรุปผลการทดสอบ ดังนั้นจากตารางที่ 4.48 พบว่าโหลดที่ต่อเป็นแบบวายด์จะทำงานผิดพลาดเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส A จำนวน 0.7586 ครั้งต่อปี ที่เฟส B จำนวน 0.8895 ครั้งต่อปี ที่เฟส C จำนวน 0.5213 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกอิสระจำนวน 0.7231 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส จำนวน 1.3602 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันเฉลี่ยจาก 3 เฟสจำนวน 0.6275 ครั้งต่อปี

โดยจะสามารถแยกสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะได้ดังตารางที่ 4.47 สามารถสรุปได้ดังนี้

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส A

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส A เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0.3984 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.0156 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.0364 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส B

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส B เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.2752 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.3062 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส C

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส C เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0.1504 ครั้งต่อปี

เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.0269 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.0358 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0.1829 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.1059 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.1261 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0.4464 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.2905 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.3151 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะกรณีคำนวณแรงดันเฉลี่ยจาก 3 เฟส

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกรณีคำนวณแรงดันเฉลี่ยจาก 3 เฟส เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0.2048 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.0268 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.0878 ครั้งต่อปี

โดยจากตารางที่ 4.49 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 400 โวลต์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A คือ บัสที่ 10 ของเฟส B คือ บัสที่ 10 ของเฟส C คือ บัสที่ 10 ของกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ คือ บัสที่ 10 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 10 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 10

และบัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A คือ บัสที่ 12 ของเฟส B คือ บัสที่ 15 ของเฟส C คือ บัสที่ 13 ของกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ คือ บัสที่ 13 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 13 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 13

2.) กรณีโหลดต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta)

กรณีโหลดต่อเป็นแบบเดลต้าจะใช้ค่าจากการคำนวณจากแรงดันไลน์มาสรุปผลการทดสอบ ดังนั้นจากตารางที่ 4.51 พบว่าโหลดที่ต่อเป็นแบบเดลต้าจะทำงานผิดพลาดเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส AB จำนวน 0.7823 ครั้งต่อปี ที่เฟส BC จำนวน 0.8056 ครั้งต่อปี ที่เฟส CA จำนวน 1.0862 ครั้งต่อปี

โดยจะสามารถแยกสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะได้ ดังตารางที่ 4.50 สามารถสรุปได้ดังนี้

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส AB

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส AB เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดิน จำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดินจำนวน 0.3072 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.0451 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.1218 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส BC

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส BC เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดิน จำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดินจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.2267 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.2708 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส CA

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส CA เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดิน จำนวน 0.3082 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดินจำนวน 0.7408 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.0372 ครั้งต่อปี

โดยจากตารางที่ 4.52 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 400 โวลท์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 10 ของเฟส BC คือ บัสที่ 10 ของเฟส CA คือ บัสที่ 10

และบัสที่แย่ที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 12 ของเฟส BC คือ บัสที่ 13 ของเฟส CA คือ บัสที่ 15

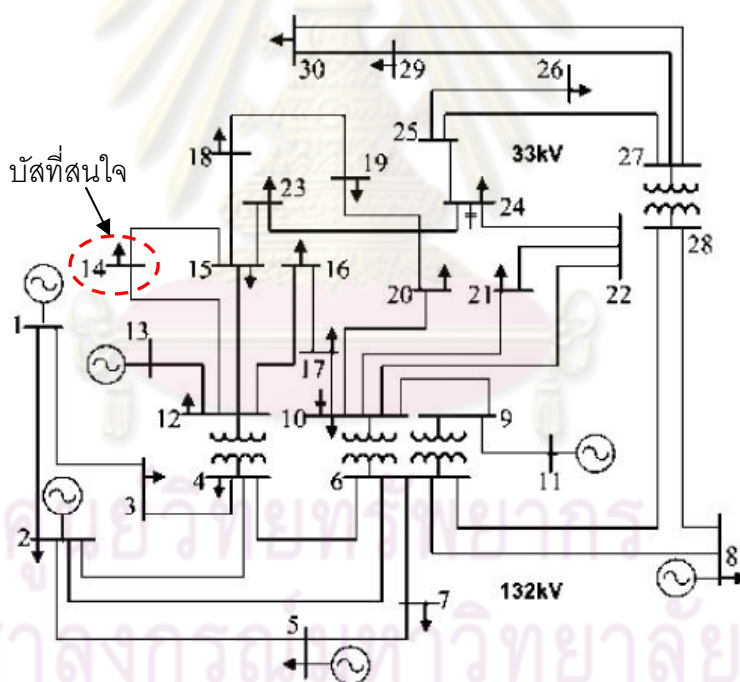
4.3 การคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

4.3.1 ข้อมูลอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ในการศึกษาได้ทำการจำลองอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขึ้น โดยได้จำลองอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F47

4.3.2 ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เป็นระบบทดสอบที่มีการนำมาใช้ทดสอบการทำงานอย่างกว้างขวาง โดยมีแผนผังวงจรเส้นเดียวแสดงดังรูปที่ 4.16 ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งบัสที่สนใจคือ บัสที่ 14 และหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบทดสอบทั้งหมดเป็นชนิดวายกราวด์-วายกราวด์ (Yg-yg) โดยข้อมูลของระบบทดสอบ 30 บัส จะแสดงดังภาคผนวก ง



รูปที่ 4.16 แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

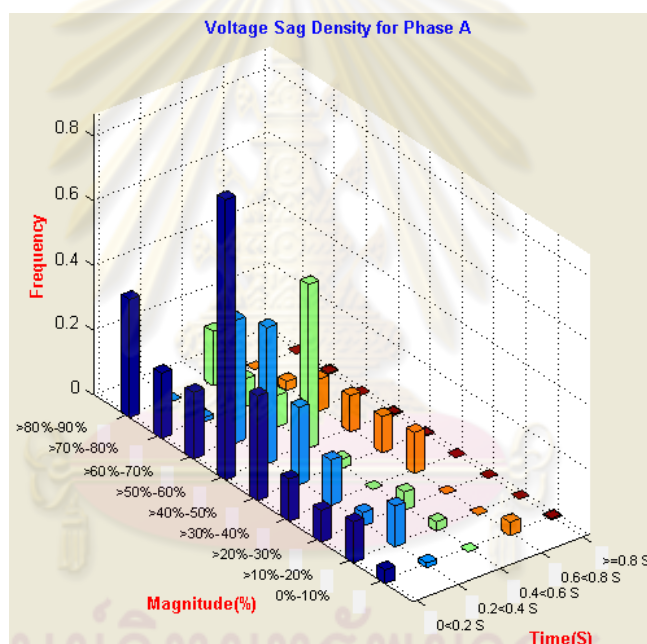
4.3.3 ผลการทดสอบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ในการทดสอบระบบทดสอบ IEEE 30 บัส จะกำหนดให้จำนวนตำแหน่งการเกิดความผิดปกติของบนสายไฟฟ้า (Number of Fault Position) เท่ากับ 10 ตำแหน่ง, ค่าความต้านทานการเกิด

ความผิดพลาดเท่ากับ $0+j0$ เปรอร์ยูนิต และบัลที่อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออยู่คือบัลที่ 14 โดยผลการทดสอบจะแยกตามประเภทของความผิดพลาดดังนี้

1.) กรณีเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดิน

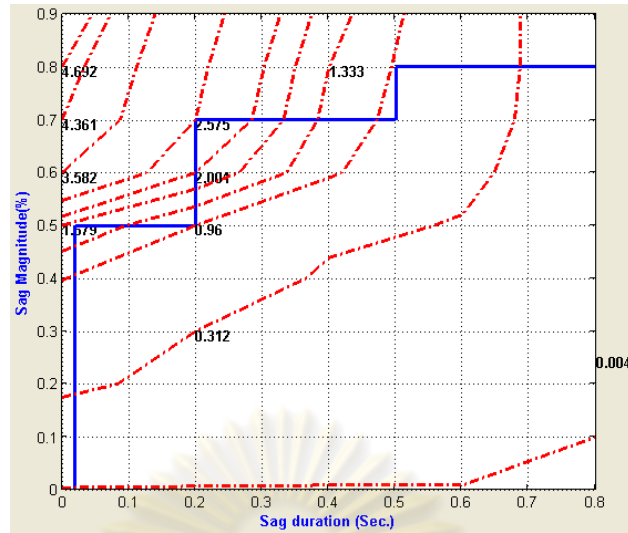
กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัล 14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะทีบัล 14 และบริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัล 14 เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟสแสดงดังรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 ซึ่งตารางแสดงความหนาแน่นและตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัล 14 เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.53 และ 4.54



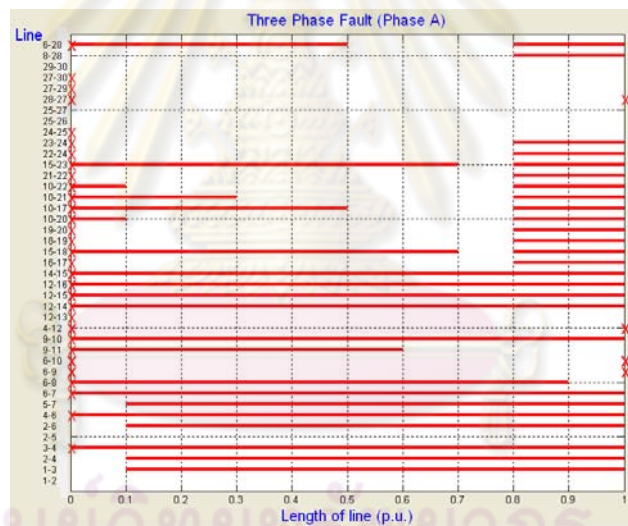
รูปที่ 4.17 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัล 14 เมื่อเกิดความผิดพลาด

แบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะกับเวลาที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส



รูปที่ 4.19 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะกับเวลาที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบสามเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ตารางที่ 4.53 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้น
 ลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.364	0	0.168	0	0
>70-80%	0.2005	0.014	0.084	0.028	0.0045
>60-70%	0.205	0.378	0.098	0.098	0
>50-60%	0.863	0.42	0.504	0.112	0.0045
>40-50%	0.322	0.238	0.028	0.112	0.0045
>30-40%	0.1305	0.14	0	0.126	0
>20-30%	0.098	0.042	0.056	0	0
>10-20%	0.126	0.126	0.028	0	0
0-10%	0.042	0.014	0	0.042	0.0045

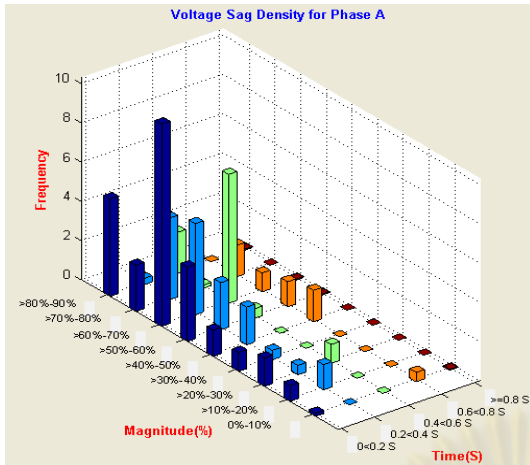
ตารางที่ 4.54 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเส้น
 ดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	>=0.0	>=0.2	>=0.4	>=0.6	>=0.8
<=90%	5.2248	2.8739	1.5019	0.5359	0.0179
<=80%	4.6928	2.7059	1.3339	0.5359	0.0179
<=70%	4.3618	2.5754	1.2174	0.5034	0.0134
<=60%	3.5829	2.0014	1.0214	0.4054	0.0134
<=50%	1.6794	0.961	0.401	0.289	0.009
<=40%	0.975	0.5785	0.2565	0.1725	0.0045
<=30%	0.5785	0.3125	0.1305	0.0465	0.0045
<=20%	0.3825	0.2145	0.0745	0.0465	0.0045
<=10%	0.1025	0.0605	0.0465	0.0465	0.0045

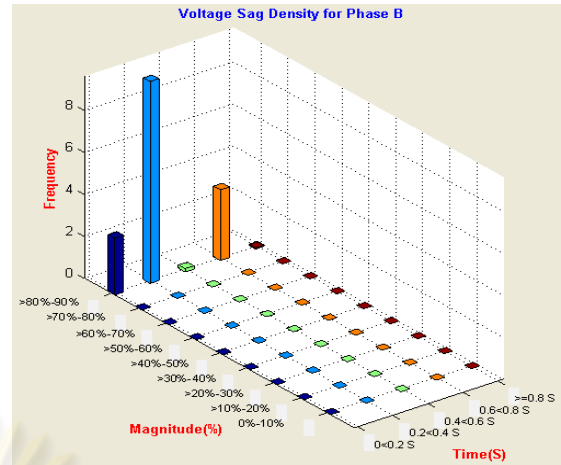
2.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดิน

กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.20 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.21 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.55, 4.56, 4.57, 4.58, 4.59 และ 4.60 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.61, 4.62, 4.63, 4.64, 4.65 และ 4.66 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส แสดงดังรูปที่ 4.22

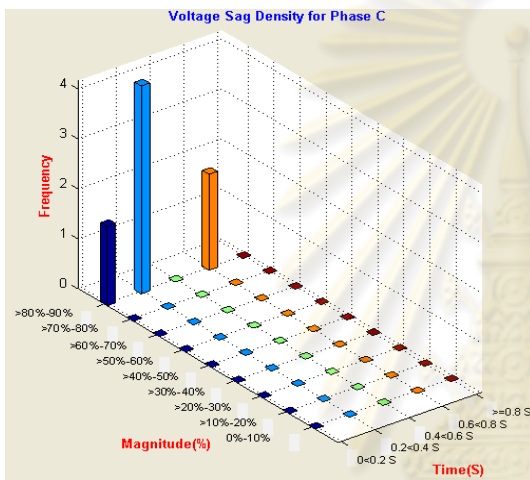
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



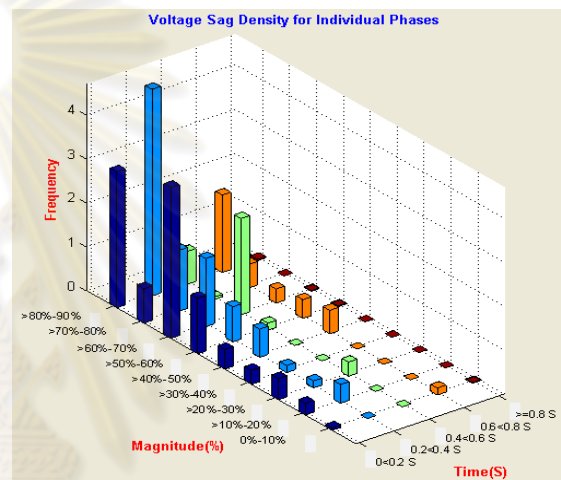
(ก)



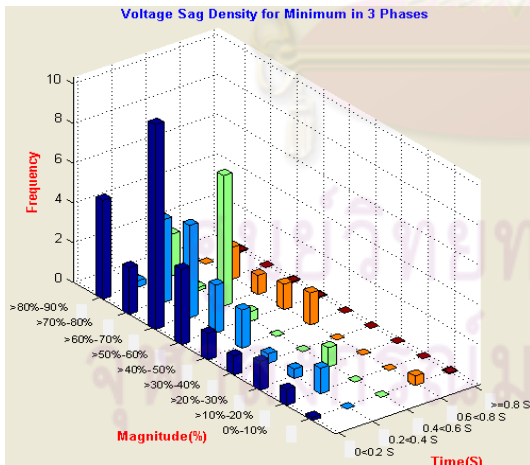
(ข)



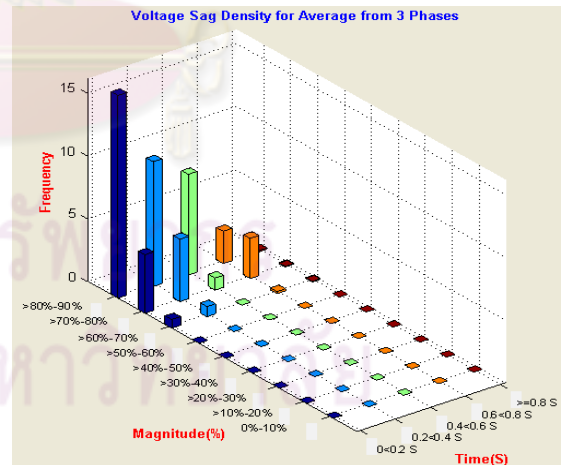
(ค)



(ง)

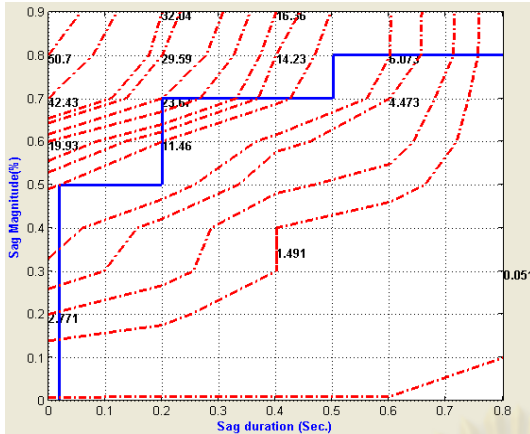


(จ)

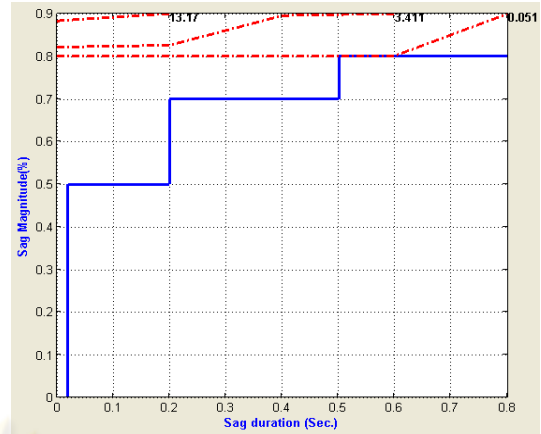


(ฉ)

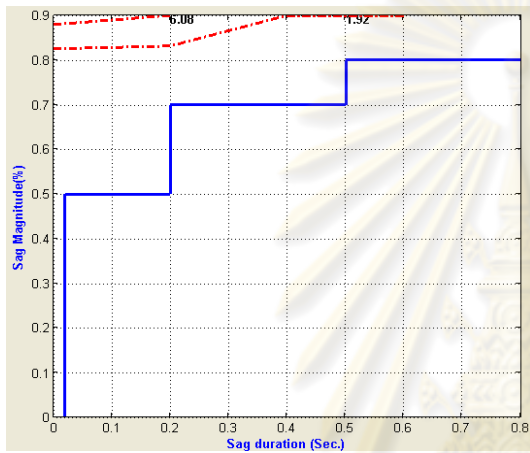
รูปที่ 4.20 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของเฟส A ของระบบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส (ก) เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C) ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน) จ (กรณีเฟสต่ำที่สุด) ฉ (กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส)



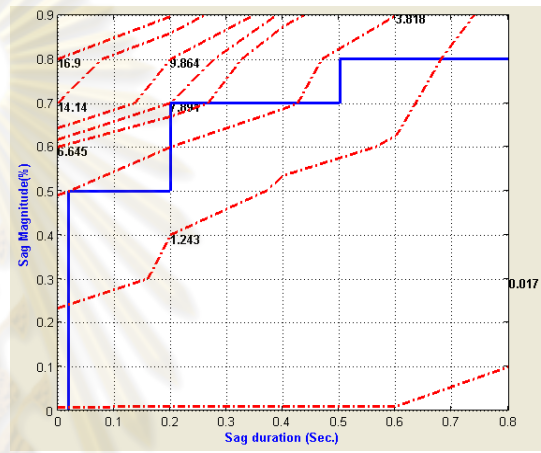
(ก)



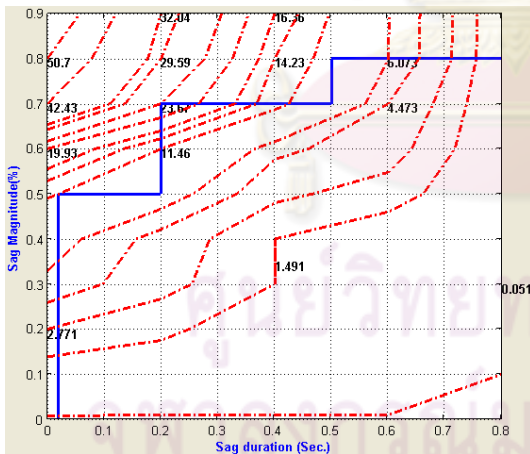
(ข)



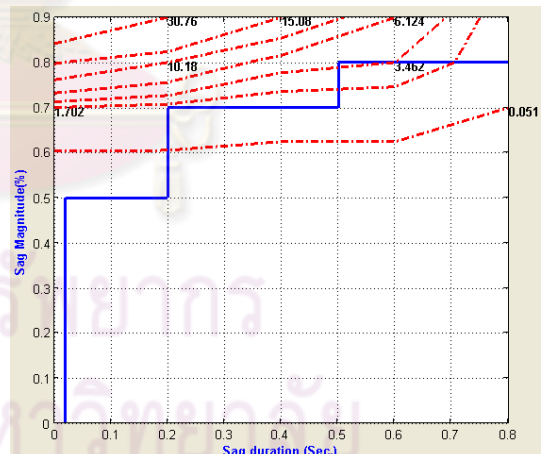
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.21 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์กรณีนี้นับรวมเป็นแรงดันเฟส
)ก (เฟส A)ข (เฟส B)ค (เฟส C)ง (กรณีสู่ต่ำที่สุด)
)ฉ (กรณีสู่ต่ำสุดจาก 3 เฟส)

ตารางที่ 4.55 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	4.96	0.32	2.08	0	0.0512
>70-80%	2.3424	4.16	0.16	1.6	0
>60-70%	10.2912	4.64	6.56	0.96	0.0512
>50-60%	3.7824	2.4	0.48	1.28	0.0512
>40-50%	1.3312	1.92	0	1.6	0
>30-40%	0.96	0.48	0	0	0
>20-30%	1.44	0.48	0.96	0	0
>10-20%	0.8	1.28	0	0	0
0-10%	0.16	0	0	0.48	0.0512

ตารางที่ 4.56 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	2.7072	9.6	0.16	3.36	0.0512
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.57 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
 พ่วงเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	1.5872	4.16	0	1.92	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.58 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
 ความผิดปกติพ่วงเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	3.0848	4.6933	0.7467	1.76	0.0341
>70-80%	0.7808	1.3867	0.0533	0.5333	0
>60-70%	3.4304	1.5467	2.1867	0.32	0.0171
>50-60%	1.2608	0.8	0.16	0.4267	0.0171
>40-50%	0.4437	0.64	0	0.5333	0
>30-40%	0.32	0.16	0	0	0
>20-30%	0.48	0.16	0.32	0	0
>10-20%	0.2667	0.4267	0	0	0
0-10%	0.0533	0	0	0.16	0.0171

ตารางที่ 4.59 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	4.96	0.32	2.08	0	0.0512
>70-80%	2.3424	4.16	0.16	1.6	0
>60-70%	10.2912	4.64	6.56	0.96	0.0512
>50-60%	3.7824	2.4	0.48	1.28	0.0512
>40-50%	1.3312	1.92	0	1.6	0
>30-40%	0.96	0.48	0	0	0
>20-30%	1.44	0.48	0.96	0	0
>10-20%	0.8	1.28	0	0	0
0-10%	0.16	0	0	0.48	0.0512

ตารางที่ 4.60 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	16.1024	9.92	8	2.56	0.1024
>70-80%	4.6336	4.96	0.96	3.2	0.0512
>60-70%	0.6912	0.8	0	0.16	0.0512
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.61 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
เส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	58.112	32.0448	16.3648	6.1248	0.2048
$\leq 80\%$	50.7008	29.5936	14.2336	6.0736	0.1536
$\leq 70\%$	42.4384	23.6736	12.4736	4.4736	0.1536
$\leq 60\%$	19.936	11.4624	4.9024	3.4624	0.1024
$\leq 50\%$	11.9424	7.2512	3.0912	2.1312	0.0512
$\leq 40\%$	7.0912	3.7312	1.4912	0.5312	0.0512
$\leq 30\%$	5.6512	3.2512	1.4912	0.5312	0.0512
$\leq 20\%$	2.7712	1.8112	0.5312	0.5312	0.0512
$\leq 10\%$	0.6912	0.5312	0.5312	0.5312	0.0512

ตารางที่ 4.62 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	15.8784	13.1712	3.5712	3.4112	0.0512
$\leq 80\%$	0	0	0	0	0
$\leq 70\%$	0	0	0	0	0
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.63 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติของ
เส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	7.6672	6.08	1.92	1.92	0
$\leq 80\%$	0	0	0	0	0
$\leq 70\%$	0	0	0	0	0
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.64 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	27.2192	17.0987	7.2853	3.8187	0.0853
$\leq 80\%$	16.9003	9.8645	4.7445	2.0245	0.0512
$\leq 70\%$	14.1461	7.8912	4.1579	1.4912	0.0512
$\leq 60\%$	6.6453	3.8208	1.6341	1.1541	0.0341
$\leq 50\%$	3.9808	2.4171	1.0304	0.7104	0.0171
$\leq 40\%$	2.3637	1.2437	0.4971	0.1771	0.0171
$\leq 30\%$	1.8837	1.0837	0.4971	0.1771	0.0171
$\leq 20\%$	0.9237	0.6037	0.1771	0.1771	0.0171
$\leq 10\%$	0.2304	0.1771	0.1771	0.1771	0.0171

ตารางที่ 4.65 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด

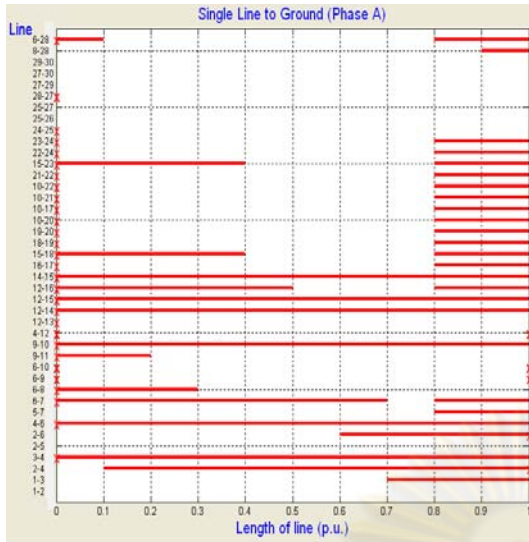
ความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	58.112	32.0448	16.3648	6.1248	0.2048
$\leq 80\%$	50.7008	29.5936	14.2336	6.0736	0.1536
$\leq 70\%$	42.4384	23.6736	12.4736	4.4736	0.1536
$\leq 60\%$	19.936	11.4624	4.9024	3.4624	0.1024
$\leq 50\%$	11.9424	7.2512	3.0912	2.1312	0.0512
$\leq 40\%$	7.0912	3.7312	1.4912	0.5312	0.0512
$\leq 30\%$	5.6512	3.2512	1.4912	0.5312	0.0512
$\leq 20\%$	2.7712	1.8112	0.5312	0.5312	0.0512
$\leq 10\%$	0.6912	0.5312	0.5312	0.5312	0.0512

ตารางที่ 4.66 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

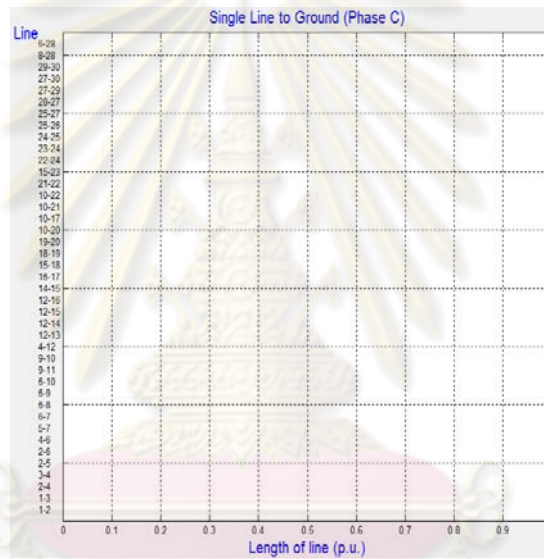
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	52.192	30.7648	15.0848	6.1248	0.2048
$\leq 80\%$	15.5072	10.1824	4.4224	3.4624	0.1024
$\leq 70\%$	1.7024	1.0112	0.2112	0.2112	0.0512
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.22 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดิน

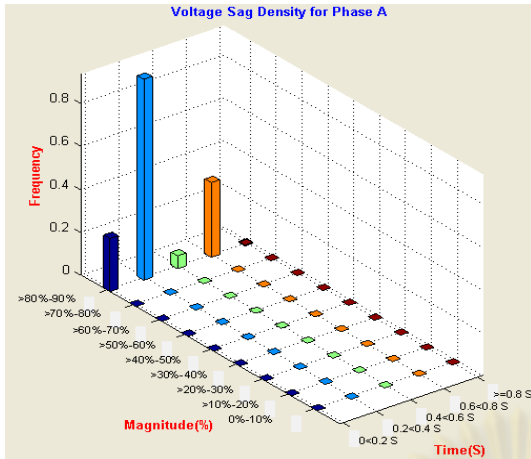
ที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C

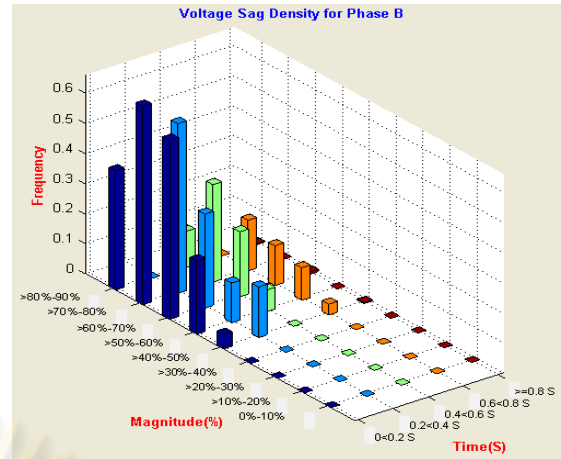
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้น

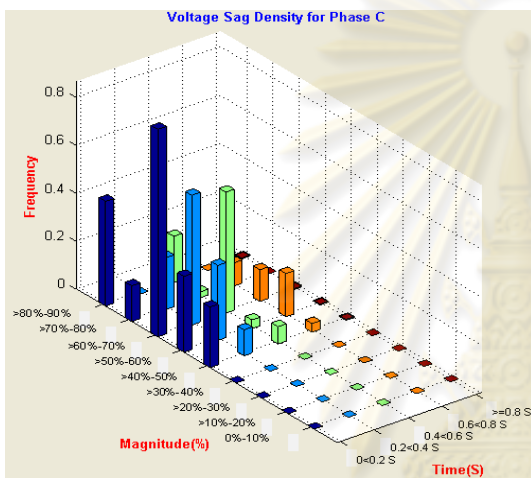
กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.23 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.24 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.67, 4.68, 4.69, 4.70, 4.71 และ 4.72 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.73, 4.74, 4.75, 4.76, 4.77 และ 4.78 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.25



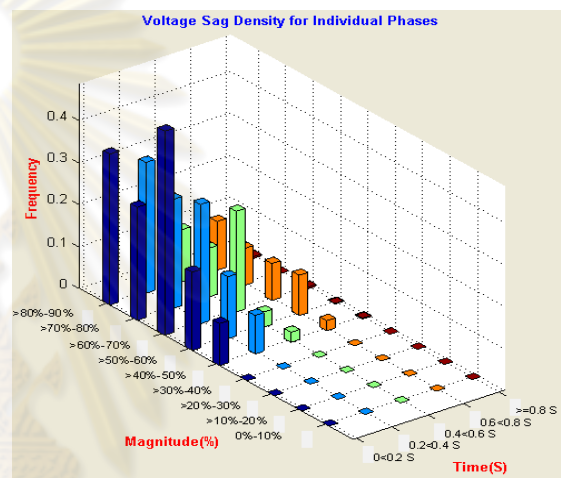
(ก)



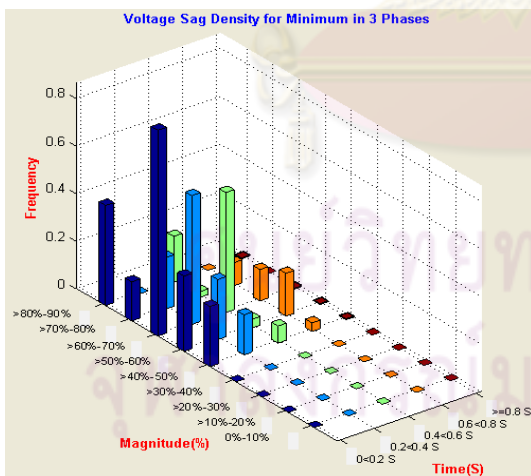
(ข)



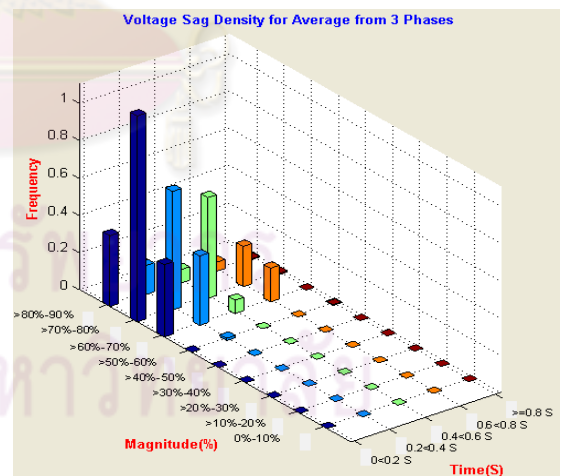
(ค)



(ง)

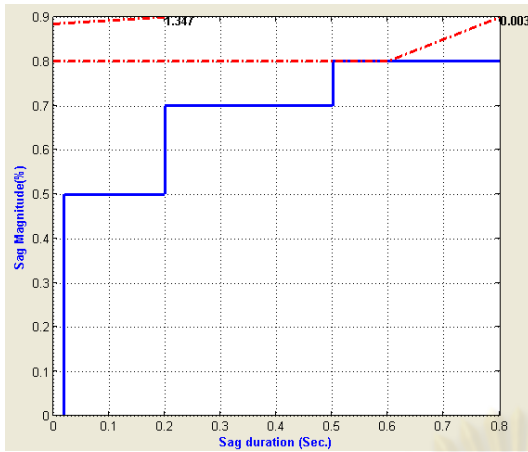


(จ)

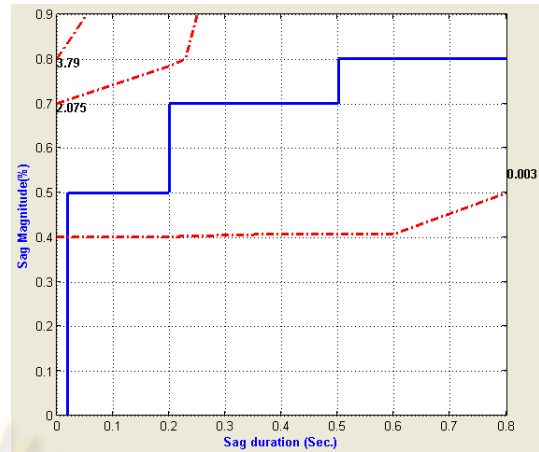


(ฉ)

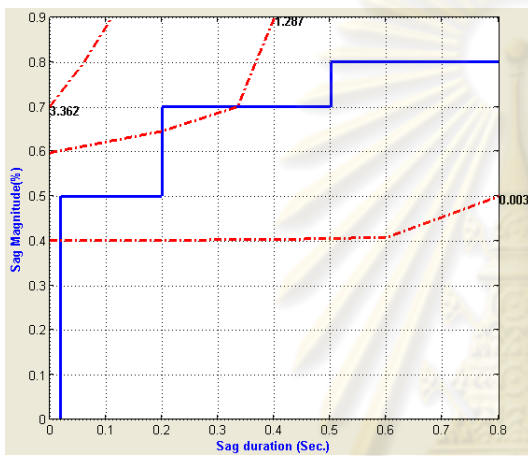
รูปที่ 4.23 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส
)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C) ง (กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ) จ (กรณีเฟสต่ำที่สุด)
)ฉ (กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส)



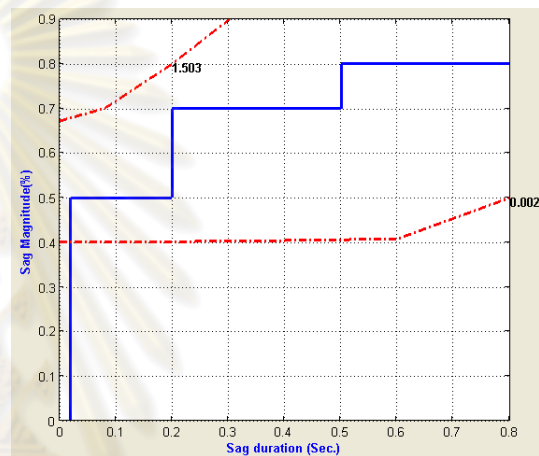
(ก)



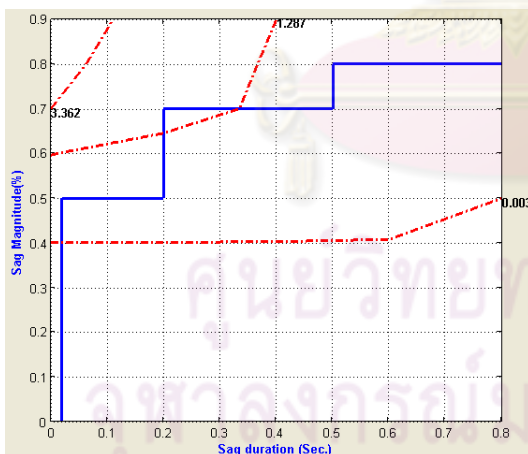
(ข)



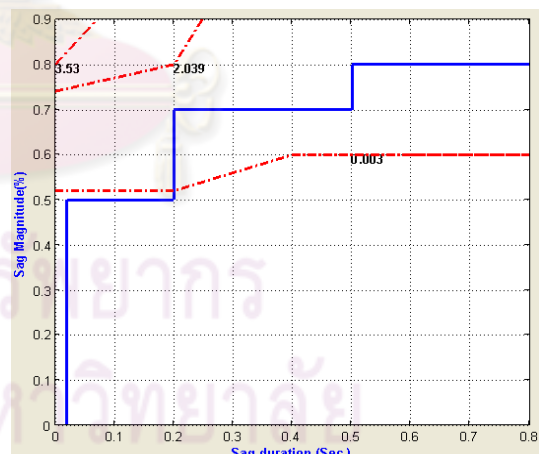
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.24 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์

กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C) ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน)จ (กรณีเฟสต่ำที่สุด

)ฉ (กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

ตารางที่ 4.67 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.2472	0.936	0.06	0.348	0.0038
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.68 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.396	0	0.12	0	0.003
>70-80%	0.659	0.564	0.324	0.168	0
>60-70%	0.595	0.312	0.216	0.132	0.007
>50-60%	0.243	0.132	0.072	0.108	0
>40-50%	0.048	0.168	0	0.036	0.003
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.69 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.4358	0	0.192	0	0.0038
>70-80%	0.1478	0.216	0.024	0.096	0
>60-70%	0.8635	0.54	0.504	0.132	0.0038
>50-60%	0.3158	0.312	0.036	0.18	0.0038
>40-50%	0.252	0.108	0.072	0.036	0.0038
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.70 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.3597	0.312	0.124	0.116	0.0038
>70-80%	0.2691	0.26	0.116	0.088	0
>60-70%	0.4864	0.284	0.24	0.088	0.0038
>50-60%	0.1866	0.148	0.036	0.096	0.0013
>40-50%	0.1	0.092	0.024	0.024	0.0026
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.71 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.42	0	0.192	0	0.0038
>70-80%	0.1637	0.216	0.024	0.096	0
>60-70%	0.8635	0.54	0.504	0.132	0.0038
>50-60%	0.3158	0.252	0.036	0.18	0.0038
>40-50%	0.252	0.168	0.072	0.036	0.0038
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.72 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อ
เกิดความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.3797	0.156	0.072	0.048	0.0038
>70-80%	1.1035	0.636	0.54	0.216	0.0077
>60-70%	0.3878	0.372	0.072	0.18	0
>50-60%	0	0.012	0	0	0.0038
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.73 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติของ
สองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	1.595	1.3478	0.4118	0.3518	0.0038
$\leq 80\%$	0	0	0	0	0
$\leq 70\%$	0	0	0	0	0
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.74 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติของ
สองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.3104	2.3674	1.1914	0.4594	0.0154
$\leq 80\%$	3.7906	2.2435	1.0675	0.4555	0.0115
$\leq 70\%$	2.075	1.1875	0.5755	0.2875	0.0115
$\leq 60\%$	0.8117	0.5198	0.2198	0.1478	0.0038
$\leq 50\%$	0.2558	0.2078	0.0398	0.0398	0.0038
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.75 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดพลาดสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.4784	2.4634	1.2874	0.4594	0.0154
$\leq 80\%$	3.8467	2.2675	1.0915	0.4555	0.0115
$\leq 70\%$	3.3629	1.9315	0.9715	0.3595	0.0115
$\leq 60\%$	1.3195	0.7517	0.3317	0.2237	0.0077
$\leq 50\%$	0.4718	0.2198	0.1118	0.0398	0.0038
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.76 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแยกเฟสเป็นอิสระ เมื่อเกิดความผิดพลาดสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	3.4613	2.0595	0.9635	0.4235	0.0115
$\leq 80\%$	2.5458	1.5037	0.7197	0.3037	0.0077
$\leq 70\%$	1.8126	1.0397	0.5157	0.2157	0.0077
$\leq 60\%$	0.7104	0.4238	0.1838	0.1238	0.0038
$\leq 50\%$	0.2426	0.1426	0.0506	0.0266	0.0026
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.77 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด

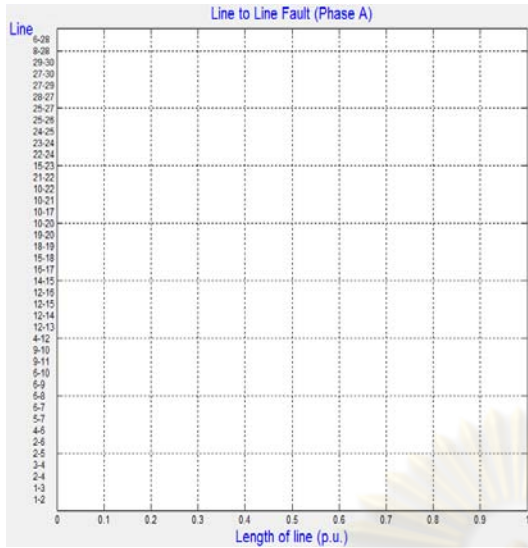
ความผิดปกติของสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.4784	2.4634	1.2874	0.4594	0.0154
$\leq 80\%$	3.8626	2.2675	1.0915	0.4555	0.0115
$\leq 70\%$	3.3629	1.9315	0.9715	0.3595	0.0115
$\leq 60\%$	1.3195	0.7517	0.3317	0.2237	0.0077
$\leq 50\%$	0.5318	0.2798	0.1118	0.0398	0.0038
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

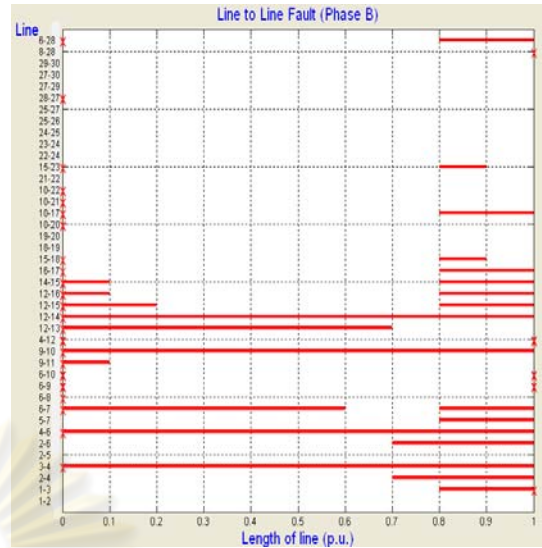
ตารางที่ 4.78 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด

ความผิดปกติของสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

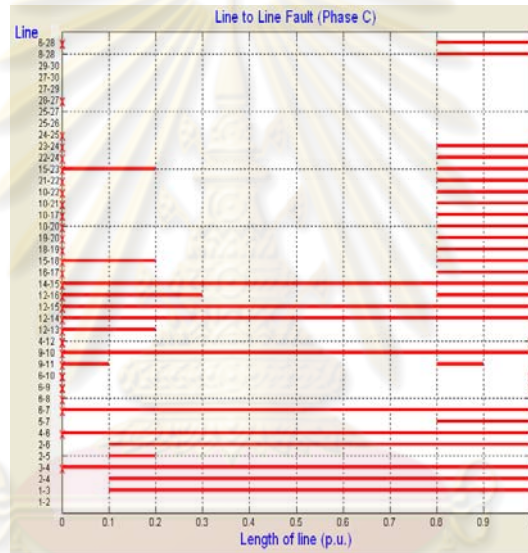
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.1904	2.3194	1.1434	0.4594	0.0154
$\leq 80\%$	3.5309	2.0395	1.0195	0.4075	0.0115
$\leq 70\%$	1.0277	0.6398	0.2558	0.1838	0.0038
$\leq 60\%$	0.0158	0.0158	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.25 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดิน

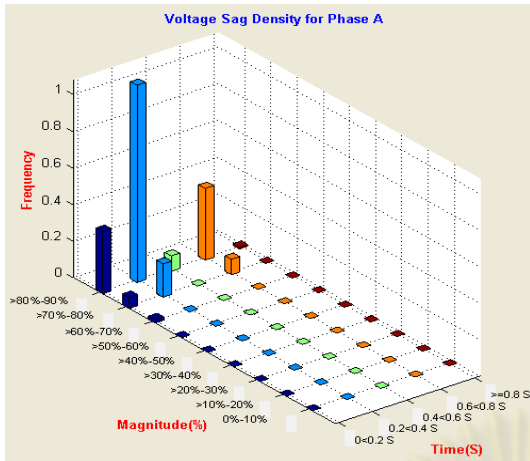
ที่เฟส A ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

)ก (เฟส A)ข (เฟส B)ค (เฟส C

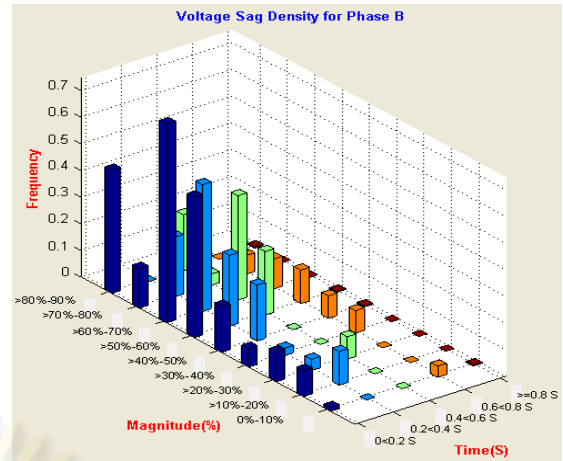
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสองเส้นลงดิน

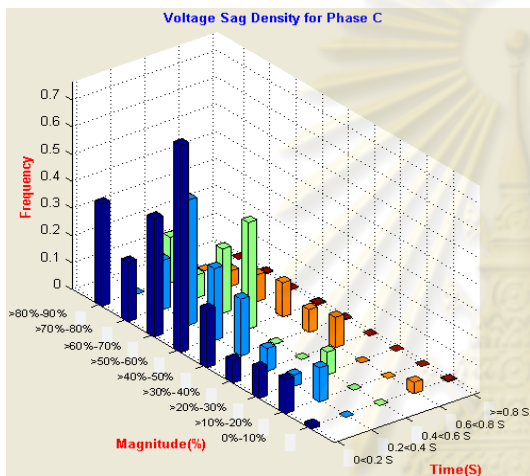
กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสองเส้นลงดินของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.26 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.27 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.79, 4.80, 4.81, 4.82, 4.83 และ 4.84 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.85, 4.86, 4.87, 4.88, 4.89 และ 4.90 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของระบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.28



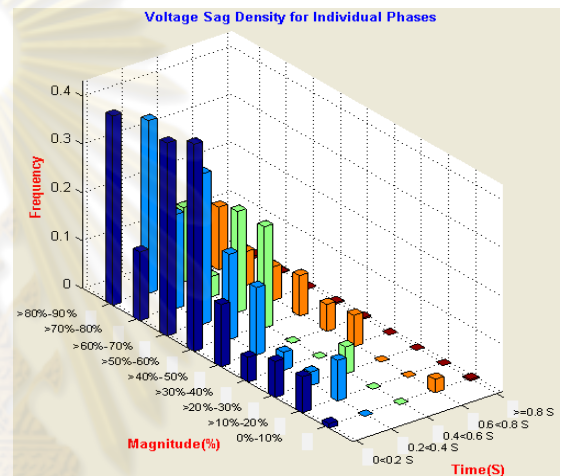
(ก)



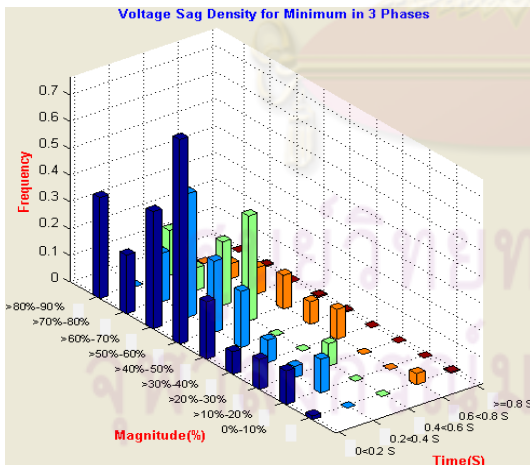
(ข)



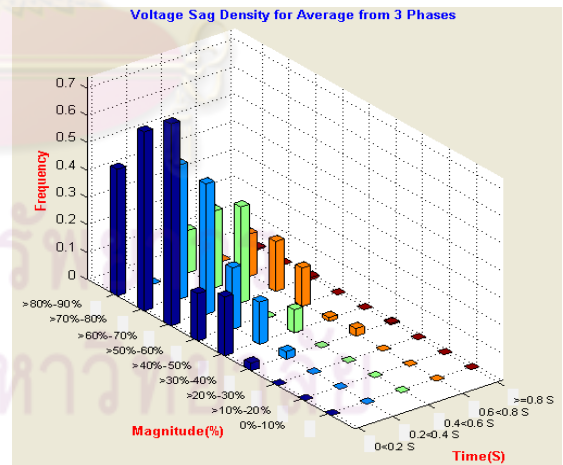
(ค)



(ง)

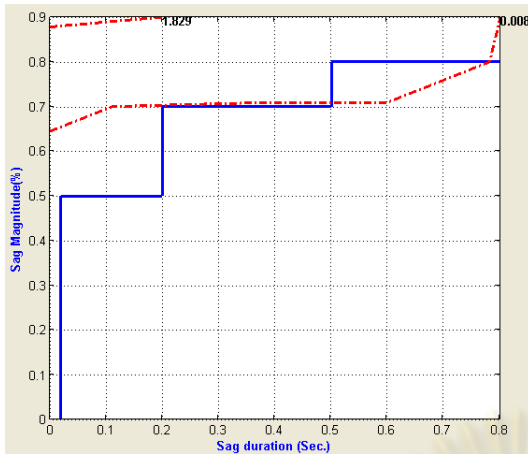


(จ)

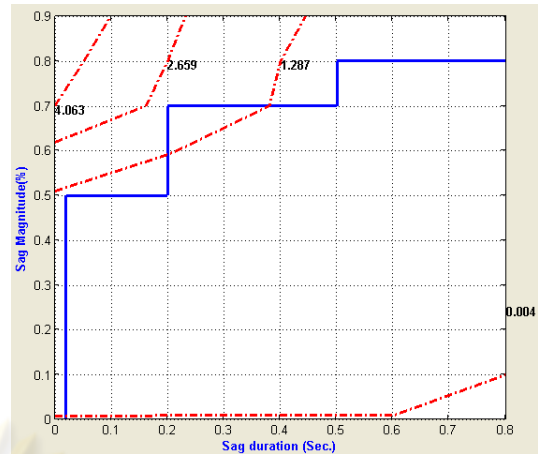


(ฉ)

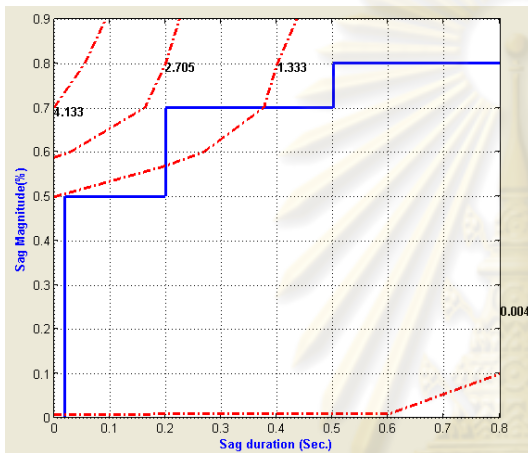
รูปที่ 4.26 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส (ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด (ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



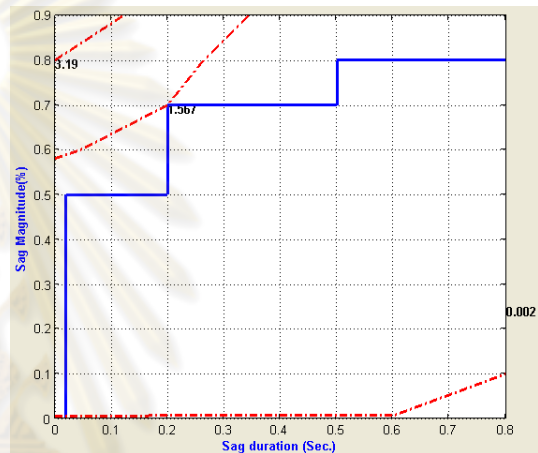
(ก)



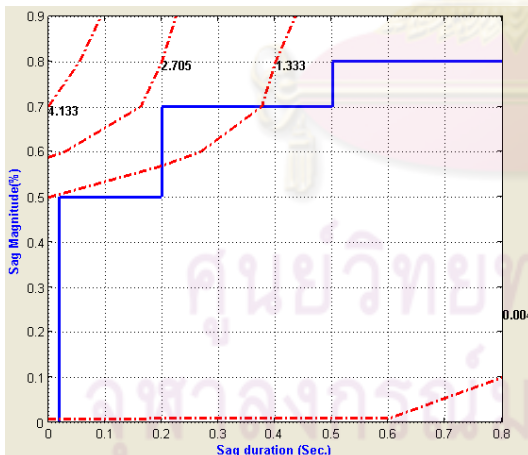
(ข)



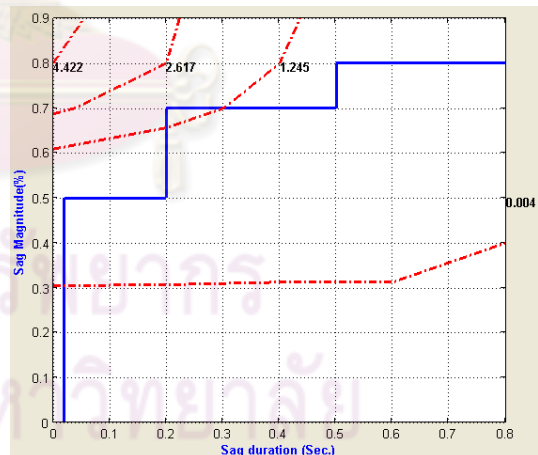
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.27 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์

กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

(ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด

(ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

ตารางที่ 4.79 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ

พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่วงมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.3405	1.078	0.084	0.392	0.009
>70-80%	0.0599	0.182	0	0.084	0
>60-70%	0.0185	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.80 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ

พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัล กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่วงมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.448	0	0.21	0	0.004
>70-80%	0.162	0.476	0.042	0.112	0
>60-70%	0.578	0.308	0.322	0.112	0
>50-60%	0.666	0.308	0.308	0.14	0.004
>40-50%	0.172	0.084	0	0.084	0.004
>30-40%	0.07	0.028	0	0.028	0
>20-30%	0.14	0.042	0.084	0	0
>10-20%	0.098	0.126	0	0	0
0-10%	0.014	0	0	0.042	0.004

ตารางที่ 4.81 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.378	0	0.168	0	0
>70-80%	0.219	0.182	0.084	0.056	0.0045
>60-70%	0.4385	0.462	0.238	0.098	0
>50-60%	0.765	0.266	0.392	0.126	0.0045
>40-50%	0.2145	0.21	0	0.084	0.0045
>30-40%	0.084	0.084	0	0.112	0
>20-30%	0.112	0.042	0.084	0	0
>10-20%	0.126	0.126	0	0	0
0-10%	0.014	0	0	0.042	0.0045

ตารางที่ 4.82 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.3935	0.3593	0.154	0.1307	0.0045
>70-80%	0.1426	0.196	0.042	0.07	0.0015
>60-70%	0.4011	0.3127	0.21	0.07	0
>50-60%	0.4306	0.1773	0.21	0.084	0.003
>40-50%	0.129	0.14	0	0.056	0.003
>30-40%	0.0513	0.0373	0	0.0653	0
>20-30%	0.0747	0.028	0.056	0	0
>10-20%	0.0747	0.084	0	0	0
0-10%	0.0093	0	0	0.028	0.003

ตารางที่ 4.83 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.378	0	0.168	0	0
>70-80%	0.219	0.182	0.084	0.056	0.0045
>60-70%	0.4385	0.462	0.238	0.098	0
>50-60%	0.765	0.266	0.392	0.126	0.0045
>40-50%	0.2145	0.21	0	0.084	0.0045
>30-40%	0.084	0.084	0	0.112	0
>20-30%	0.112	0.042	0.084	0	0
>10-20%	0.126	0.126	0	0	0
0-10%	0.014	0	0	0.042	0.0045

ตารางที่ 4.84 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.462	0	0.154	0	0.0045
>70-80%	0.653	0.49	0.28	0.154	0
>60-70%	0.737	0.476	0.35	0.182	0.009
>50-60%	0.1725	0.224	0	0.14	0
>40-50%	0.2145	0.154	0.084	0.014	0
>30-40%	0.028	0.028	0	0.028	0.0045
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.85 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	2.2478	1.829	0.569	0.485	0.009
$\leq 80\%$	0.3444	0.266	0.084	0.084	0
$\leq 70\%$	0.0185	0	0	0	0
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.86 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.2248	2.8739	1.5019	0.5359	0.0179
$\leq 80\%$	4.5483	2.6594	1.2874	0.5314	0.0134
$\leq 70\%$	4.0634	2.3234	1.1754	0.4614	0.0134
$\leq 60\%$	2.3369	1.3434	0.6714	0.3494	0.0134
$\leq 50\%$	1.1754	0.709	0.303	0.219	0.009
$\leq 40\%$	0.7045	0.4105	0.2145	0.1305	0.0045
$\leq 30\%$	0.5225	0.2985	0.1305	0.0465	0.0045
$\leq 20\%$	0.2845	0.1725	0.0465	0.0465	0.0045
$\leq 10\%$	0.0605	0.0465	0.0465	0.0465	0.0045

ตารางที่ 4.87 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.224	2.873	1.501	0.535	0.017
$\leq 80\%$	4.678	2.705	1.333	0.535	0.017
$\leq 70\%$	4.091	2.337	1.175	0.461	0.013
$\leq 60\%$	2.77	1.427	0.769	0.321	0.013
$\leq 50\%$	1.259	0.694	0.316	0.218	0.008
$\leq 40\%$	0.736	0.382	0.186	0.102	0.004
$\leq 30\%$	0.55	0.298	0.13	0.046	0.004
$\leq 20\%$	0.326	0.186	0.046	0.046	0.004
$\leq 10\%$	0.088	0.06	0.046	0.046	0.004

ตารางที่ 4.88 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีที่บัส 14 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

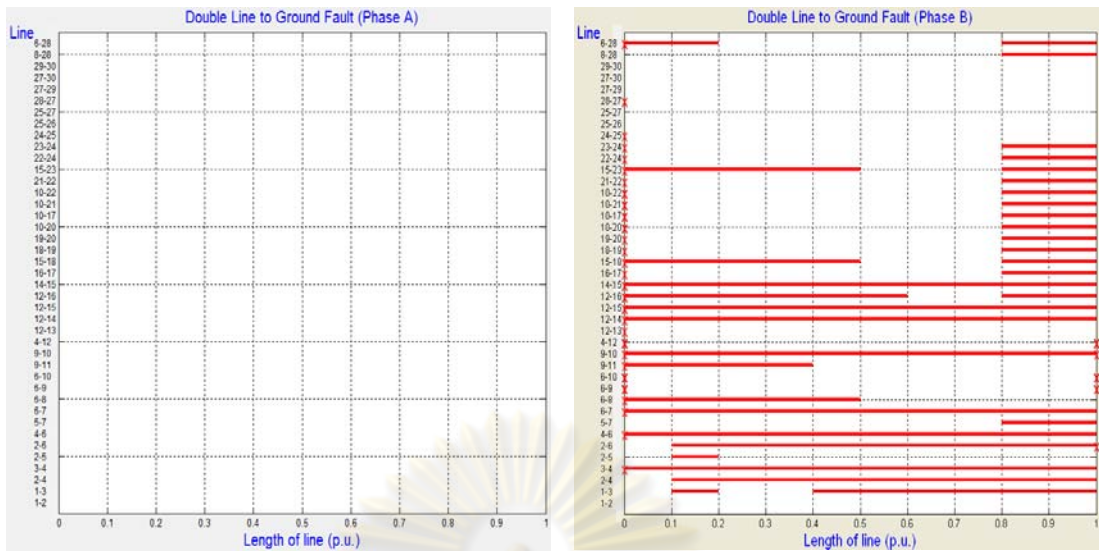
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	4.2325	2.5256	1.1909	0.5189	0.0149
$\leq 80\%$	3.1905	1.8771	0.9018	0.3838	0.0105
$\leq 70\%$	2.7384	1.5676	0.7883	0.3123	0.009
$\leq 60\%$	1.7446	0.975	0.5083	0.2423	0.009
$\leq 50\%$	0.8396	0.5006	0.2113	0.1553	0.006
$\leq 40\%$	0.5117	0.3017	0.1523	0.0963	0.003
$\leq 30\%$	0.3577	0.199	0.087	0.031	0.003
$\leq 20\%$	0.199	0.115	0.031	0.031	0.003
$\leq 10\%$	0.0403	0.031	0.031	0.031	0.003

ตารางที่ 4.89 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.2248	2.8739	1.5019	0.5359	0.0179
$\leq 80\%$	4.6788	2.7059	1.3339	0.5359	0.0179
$\leq 70\%$	4.1334	2.3794	1.1894	0.4754	0.0134
$\leq 60\%$	2.8969	1.5814	0.8534	0.3774	0.0134
$\leq 50\%$	1.3434	0.793	0.331	0.247	0.009
$\leq 40\%$	0.8305	0.4945	0.2425	0.1585	0.0045
$\leq 30\%$	0.5505	0.2985	0.1305	0.0465	0.0045
$\leq 20\%$	0.3125	0.1725	0.0465	0.0465	0.0045
$\leq 10\%$	0.0605	0.0465	0.0465	0.0465	0.0045

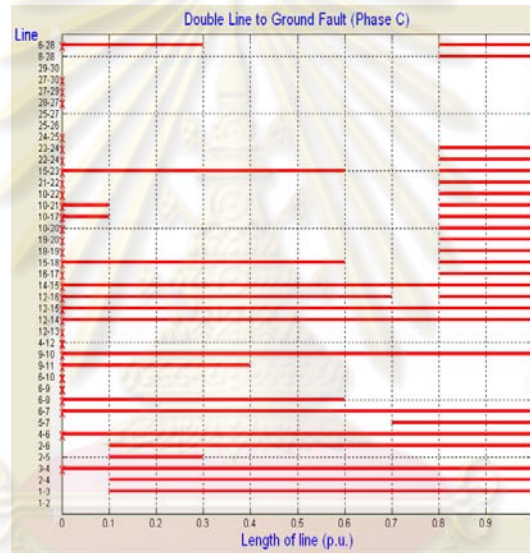
ตารางที่ 4.90 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.0428	2.7759	1.4039	0.5359	0.0179
$\leq 80\%$	4.4223	2.6174	1.2454	0.5314	0.0134
$\leq 70\%$	2.8454	1.6934	0.8114	0.3774	0.0134
$\leq 60\%$	1.0914	0.6765	0.2705	0.1865	0.0045
$\leq 50\%$	0.555	0.3125	0.1305	0.0465	0.0045
$\leq 40\%$	0.0885	0.0605	0.0325	0.0325	0.0045
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.28 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดสอบการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 14 ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่ได้แสดงข้างต้นนั้นจะแสดงผลเฉพาะผลการทดสอบที่คำนวณจากแรงดันเฟส ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะโหลดที่ต่อเป็นแบบวายด์ (Wye) โดยถ้าหากต้องการวิเคราะห์โหลดที่ต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta) จะต้องใช้แรงดันไลน์ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วเมื่อต่ออุปกรณ์ที่บัส 14 และที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลท์ ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีใช้แรงดันไลน์ในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.94 และ 4.95 โดยบัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อต่อ

อุปกรณ์ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีใช้แรงดันไลโนในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.96 และผลจากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อต่ออุปกรณ์ที่บัส 14 และที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีใช้แรงดันเฟสในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.91 และ 4.92 โดยบัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อต่ออุปกรณ์ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ จะแสดงดังตารางที่ 4.93

ตารางที่ 4.91 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสียหายจากต่ออยู่ที่บัส 14 ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

ชนิดความผิดปกติ พร้อม	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
สามเส้นลงดิน	1.8532	1.8532	1.8532	1.8532	1.8532	1.8532
เส้นเดียวลงดิน	4.1325	0	0	1.3775	4.1325	1.0112
สองเส้น	0	0.3798	0.6018	0.3272	0.6018	0.2477
สองเส้นลงดิน	0.0745	0.9191	1.1347	0.7094	1.1347	0.4921

ตารางที่ 4.92 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสียหายจากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
9	28.6755	7.677	8.3848	14.9124	33.5817	9.9194
10	42.3453	9.7985	10.6624	20.9354	48.9886	14.5081
11	5.0237	2.4349	2.4844	3.3143	6.2186	2.5055
12	30.5488	8.0038	9.0386	15.8637	36.0527	9.8275
13	6.0601	3.152	3.5896	4.2672	7.7221	3.6041
14	39.3341	9.1562	10.1889	19.5597	45.6269	12.8306
15	41.7061	10.0436	10.7658	20.8385	48.3279	13.3618
16	39.73	9.6407	10.5902	19.9869	46.3306	12.2376

ตารางที่ 4.92 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลท์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส (ต่อ)

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
17	43.8842	10.0893	10.9539	21.6425	50.761	14.9628
18	47.4436	10.8876	11.4225	23.2512	54.5633	15.8865
19	47.3113	10.9746	11.5661	23.284	54.525	17.1218
20	47.1239	10.8213	11.454	23.133	54.253	16.8868
21	43.3111	10.2593	10.9576	21.5093	50.2118	17.3624
22	43.3631	10.3412	11.0495	21.5846	50.3037	17.8325
23	47.518	11.1534	11.6322	23.4345	54.7422	16.2466
24	49.5405	11.3242	11.935	24.2666	57.0571	19.3955
25	47.0881	11.7229	11.9675	23.5928	54.4716	18.7175
26	48.4413	12.091	12.3154	24.2826	55.915	22.2703
27	40.0212	9.8559	10.3642	20.0805	46.469	15.7381
28	23.8252	6.1306	6.2129	12.0563	27.6808	11.1537
29	43.9038	10.7192	10.8491	21.8241	50.5597	20.3151
30	45.0118	11.2896	11.2969	22.5328	51.6415	23.0425

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.93 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสถียรมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ	กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส
บัสที่ดีที่สุด	11	11	11	11	11	11
บัสที่แย่มากที่สุด	24	26	26	26	24	30

ตารางที่ 4.94 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสถียรมุมฉากต่ออยู่ที่บัสที่ 14 ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

ชนิดความผิดปกติ	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
สามเส้นลงดิน	1.8532	1.8532	1.8532
เส้นเดียวลงดิน	2.3213	0	1.8413
สองเส้น	0.024	1.1802	0.024
สองเส้นลงดิน	0.2776	1.4945	0.3336

ตารางที่ 4.95 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เสถียรมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

บัสที่ต่ออุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
9	15.8877	9.2692	15.1379
10	23.5373	11.1014	18.5967
11	3.2099	3.1929	3.0499
12	15.4043	9.5458	10.8123
13	4.476	4.5278	4.052
14	21.1356	10.5701	16.0059
15	22.6675	11.3538	18.7599
16	21.3579	11.0866	18.6715
17	24.0691	11.4691	19.7981

ตารางที่ 4.95 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่
ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลท์ ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์ (ต่อ)

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
18	27.7074	12.0582	24.7695
19	29.575	12.207	25.269
20	28.2256	12.0514	23.7536
21	25.1577	11.282	22.3084
22	25.0238	11.3318	22.4095
23	27.9113	12.3461	23.3377
24	29.3347	12.2984	25.6707
25	26.9872	12.757	22.6651
26	31.7834	12.7736	25.9966
27	23.2801	10.8504	19.7491
28	16.6866	6.6226	13.6609
29	27.6855	11.2156	22.8855
30	29.7755	11.5363	24.8601

ตารางที่ 4.96 บัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่ออยู่ที่แต่
ละบัสในระดับแรงดัน 33 กิโลโวลท์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
บัสที่ดีที่สุด	11	11	11
บัสที่แย่ที่สุด	26	26	26

4.3.4 การสรุปผลการทดสอบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

จากผลการทดสอบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส เมื่อนำโหลดไปต่ออยู่ที่บัสที่ 14 ซึ่งเป็นบัสที่มีขนาดแรงดัน 33 กิโลโวลต์ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1.) กรณีโหลดต่อเป็นแบบวายด์ (Wye)

กรณีโหลดต่อเป็นแบบวายด์จะใช้ค่าจากการคำนวณจากแรงดันเฟสมาสรุปผลการทดสอบ ดังนั้นจากตารางที่ 4.92 พบว่าโหลดที่ต่อเป็นแบบวายด์จะทำงานผิดพลาดเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะทีเฟส A จำนวน 6.0601 ครั้งต่อปี ทีเฟส B จำนวน 3.152 ครั้งต่อปี ทีเฟส C จำนวน 3.5896 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกอิสระจำนวน 4.2672 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟสจำนวน 7.7221 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันเฉลี่ยจาก 3 เฟสจำนวน 3.6041 ครั้งต่อปี

โดยจะสามารถแยกสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะได้ดังตารางที่ 4.91 สามารถสรุปได้ดังนี้

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะทีเฟส A

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นทีเฟส A เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 4.1325 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.0745 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะทีเฟส B

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นทีเฟส B เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.3798 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.9191 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะทีเฟส C

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นทีเฟส C เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.6018 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 1.1347 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 1.3775 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.3272 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.7094 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดินจำนวน 4.1325 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.6018 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 1.1347 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะกรณีคำนวณแรงดันเฉลี่ยจาก 3 เฟส

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นกรณีคำนวณแรงดันเฉลี่ยจาก 3 เฟส เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดินจำนวน 1.0112 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.2477 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.4921 ครั้งต่อปี

โดยจากตารางที่ 4.93 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A คือ บัสที่ 11 ของเฟส B คือ บัสที่ 11 ของเฟส C คือ บัสที่ 11 ของกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ คือ บัสที่ 11 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 11 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 11

และบัสที่แย่ที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A คือ บัสที่ 24 ของเฟส B คือ บัสที่ 26 ของเฟส C คือ บัสที่ 26 ของกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ คือ บัสที่ 26 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 24 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 30

2.) กรณีโหลดต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta)

กรณีโหลดต่อเป็นแบบเดลต้าจะใช้ค่าจากการคำนวณจากแรงดันไลน์มาสรุปผลการทดสอบ ดังนั้นจากตารางที่ 4.95 พบว่าโหลดที่ต่อเป็นแบบเดลต้าจะทำงานผิดพลาดเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส AB จำนวน 4.476 ครั้งต่อปี ที่เฟส BC จำนวน 4.5278 ครั้งต่อปี ที่เฟส CA จำนวน 4.052 ครั้งต่อปี

โดยจะสามารถแยกสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะได้ดังตารางที่ 4.94 สามารถสรุปได้ดังนี้

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส AB

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส AB เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดียวลงดินจำนวน 2.3213 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.024 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.2776 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส BC

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส BC เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 1.1802 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 1.4945 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส CA

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส CA เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 1.8532 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 1.8413 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0.024 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.3336 ครั้งต่อปี

โดยจากตารางที่ 4.96 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 33 กิโลโวลต์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 11 ของเฟส BC คือ บัสที่ 11 ของเฟส CA คือ บัสที่ 11

และบัสที่แย่ที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 26 ของเฟส BC คือ บัสที่ 26 ของเฟส CA คือ บัสที่ 26

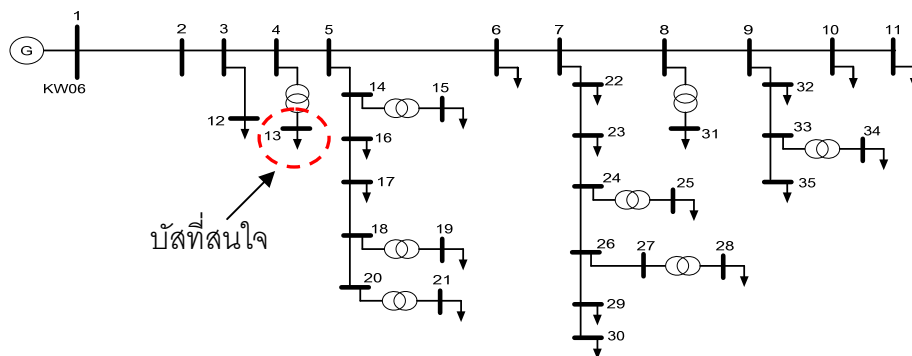
4.4 การคำนวณหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

4.4.1 ข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน

ในการศึกษาได้ทำการจำลองอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันขึ้น โดยได้จำลองอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เหลื่อมมุมฉาก แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F47

4.4.2 ข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นระบบทดสอบที่มีการนำมาใช้ทดสอบการทำงานอย่างกว้างขวาง โดยมีแผนผังวงจรเส้นเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 4.71 ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งบัสที่สนใจคือ บัสที่ 13 และหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดเป็นชนิดเดลต้า-วายกราวด์ (D-yn) โดยข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะแสดงดังภาคผนวก จ.



รูปที่ 4.29 แผนผังวงจรเส้นเดียวระบบจำหน่ายไฟฟ้า

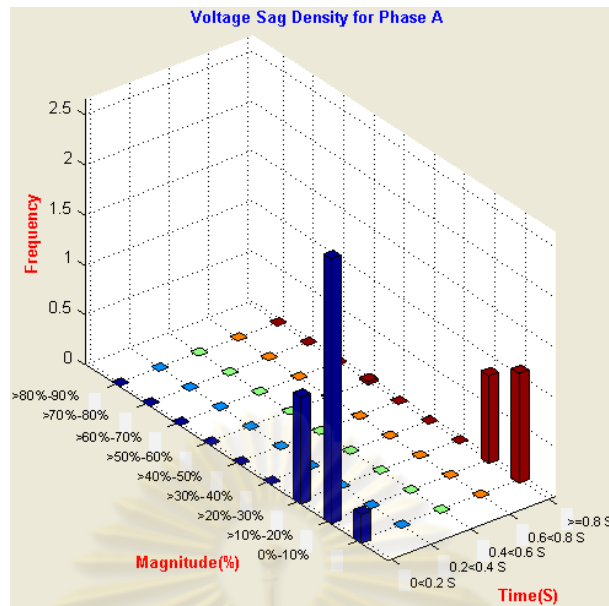
4.4.3 ผลการทดสอบในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในการทดสอบระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะกำหนดให้จำนวนตำแหน่งการเกิดความผิดปกติบนสายไฟฟ้า (Number of Fault Position) เท่ากับ 10 ตำแหน่ง, ค่าความต้านทานการเกิดความผิดปกติเท่ากับ $0+j0$ เปอรี่ยูนิต และบัสที่อุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออยู่คือบัสที่ 13 โดยผลการทดสอบจะแยกตามประเภทของความผิดพร่องดังนี้

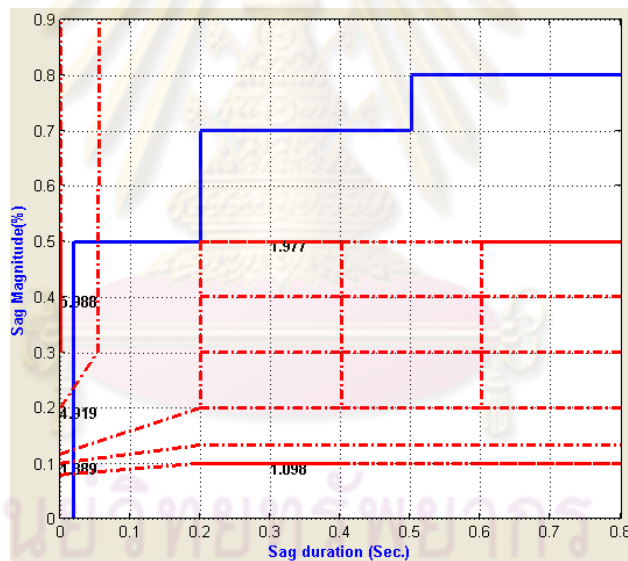
1.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติแบบสามเส้นลงดิน

กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 และบริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสามเส้นลงดิน ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.30, 4.31 และ 4.32 ซึ่งตารางแสดงความหนาแน่นและตารางความถี่สะสม ของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.97 และ 4.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.30 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บ้าน 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส



รูปที่ 4.31 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่บ้าน 13 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส



รูปที่ 4.32 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

ตารางที่ 4.97 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของสามเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

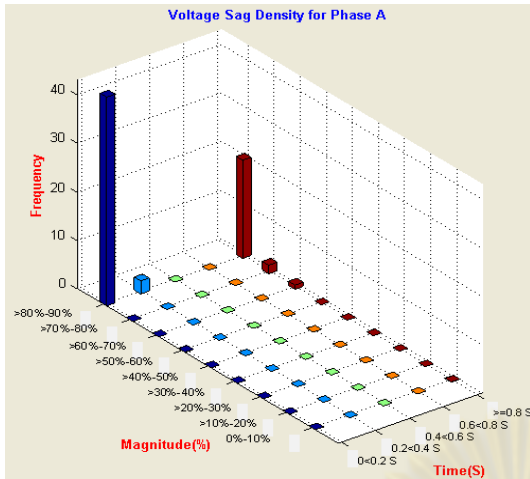
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0.0313
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	1.069	0	0	0	0
>10-20%	2.6512	0	0	0	0.878
0-10%	0.2907	0	0	0	1.0984

ตารางที่ 4.98 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลง
ดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

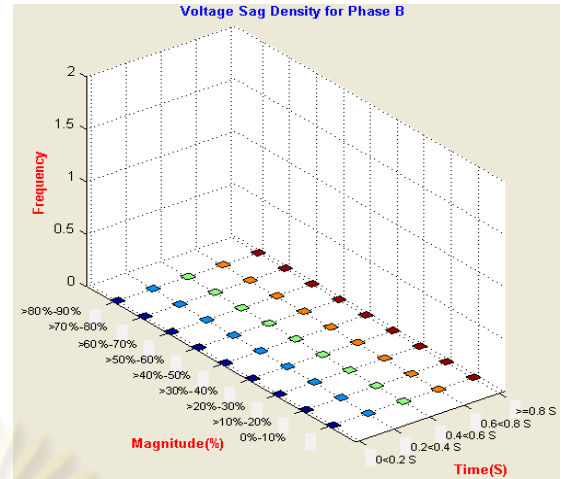
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 80\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 70\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 60\%$	5.988	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 50\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 40\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 30\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 20\%$	4.919	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 10\%$	1.389	1.098	1.098	1.098	1.098

2.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลงดิน

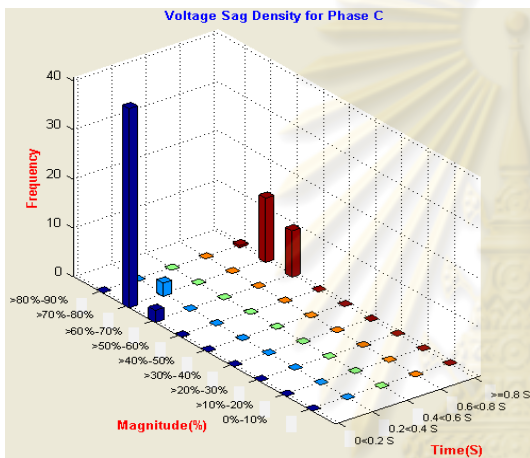
กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.33 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.34 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.99, 4.100, 4.101, 4.102, 4.103 และ 4.104 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.105, 4.106, 4.107, 4.108, 4.109 และ 4.110 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมเสัลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.35



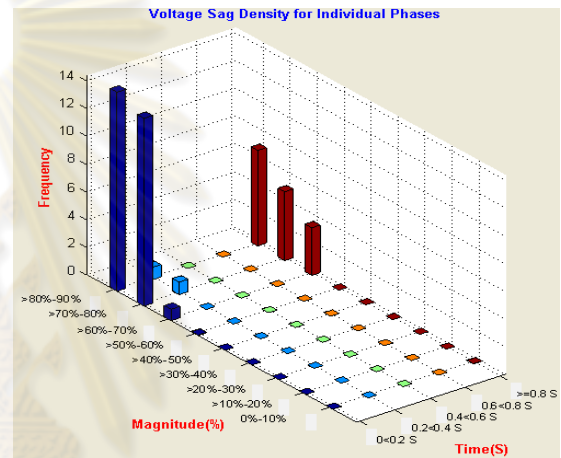
(ก)



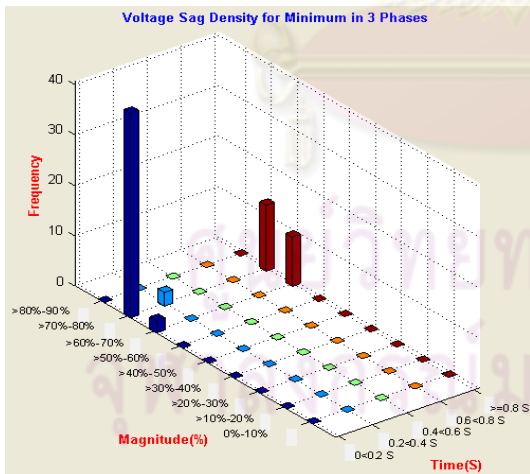
(ข)



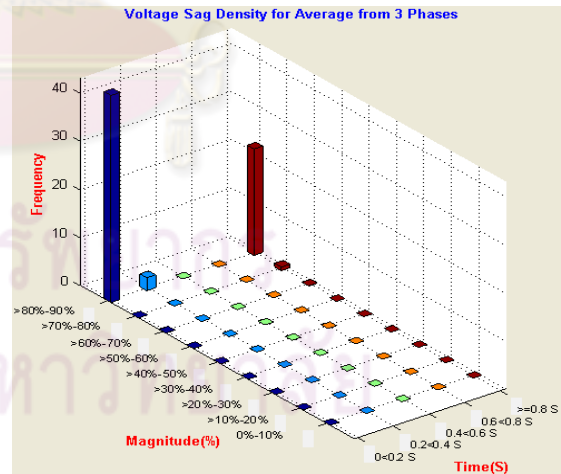
(ค)



(ง)

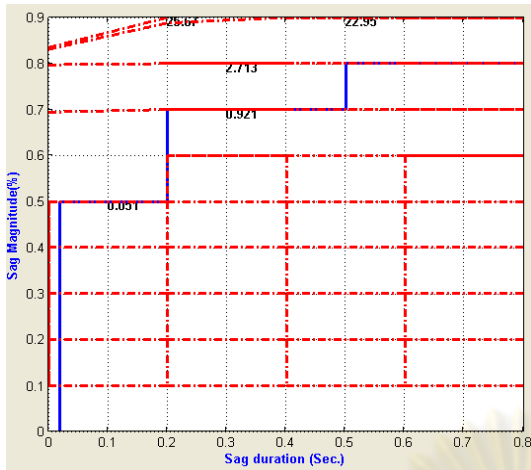


(จ)

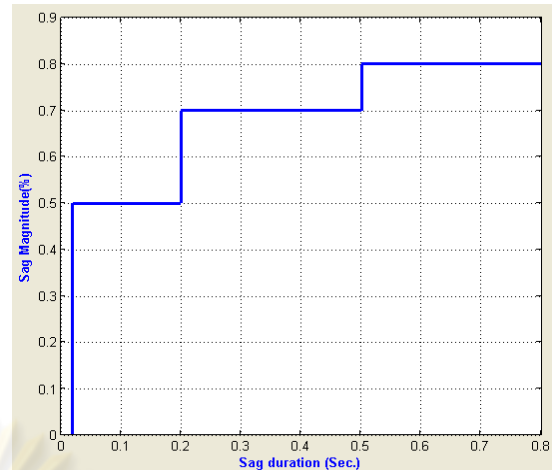


(ฉ)

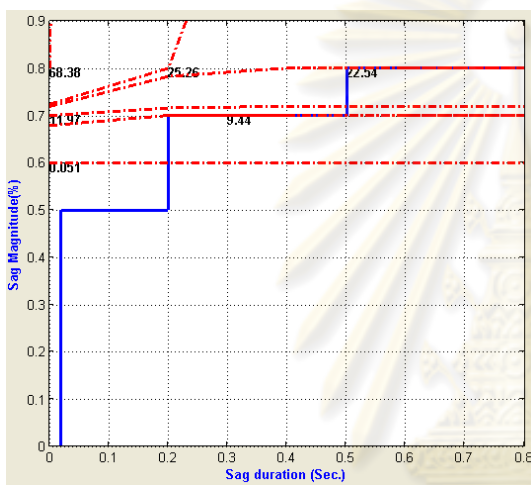
รูปที่ 4.33 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บ้าน 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส
 ก) เฟส A ข) เฟส B ค) เฟส C ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด
 ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



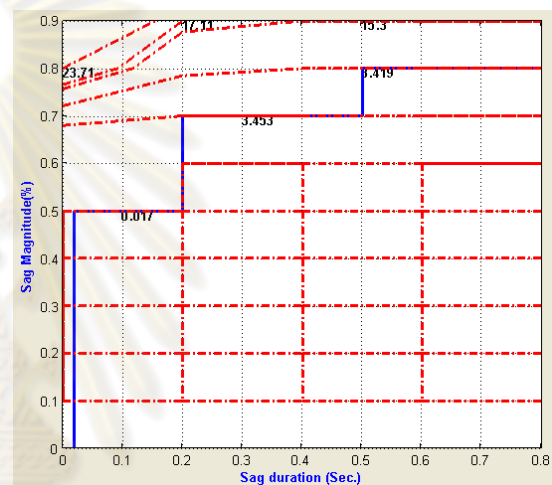
(ก)



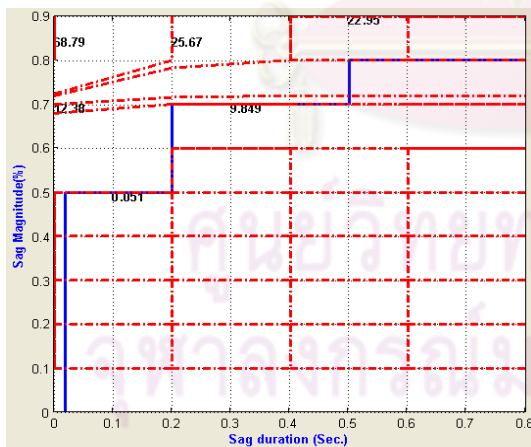
(ข)



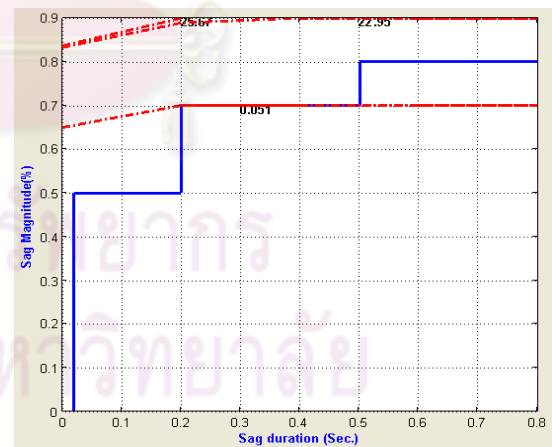
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.34 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่ยัง 13 เมื่อเกิดความผิดปกติ

แบบเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณี

คำนวณเป็นแรงดันเฟส

)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C) ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน)จ (กรณีเฟสต่ำที่สุด

)ฉ (กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส

ตารางที่ 4.99 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	43.072	2.72	0	0	20.24
>70-80%	0	0	0	0	1.792
>60-70%	0	0	0	0	0.8704
>50-60%	0.051	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.051

ตารางที่ 4.100 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.101 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0.4096
>70-80%	40.592	2.72	0	0	13.104
>60-70%	2.48	0	0	0	9.44
>50-60%	0.051	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.102 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	14.357	0.906	0	0	6.883
>70-80%	13.53	0.906	0	0	4.965
>60-70%	0.826	0	0	0	3.436
>50-60%	0.0341	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.017

ตารางที่ 4.103 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าต่ำกว่า 13 ของกรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	40.592	2.72	0	0	13.104
>60-70%	2.48	0	0	0	9.798
>50-60%	0.051	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.051

ตารางที่ 4.104 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	43.072	2.72	0	0	22.134
>70-80%	0	0	0	0	0.768
>60-70%	0.051	0	0	0	0.051
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.105 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	68.796	25.673	22.953	22.953	22.953
$\leq 80\%$	2.764	2.713	2.713	2.713	2.713
$\leq 70\%$	0.972	0.921	0.921	0.921	0.921
$\leq 60\%$	0.102	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 50\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 40\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 30\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 20\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 10\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051

ตารางที่ 4.106 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดี่ยวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	0	0	0	0	0
$\leq 80\%$	0	0	0	0	0
$\leq 70\%$	0	0	0	0	0
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.107 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	68.796	25.673	22.953	22.953	22.953
$\leq 80\%$	68.387	25.264	22.544	22.544	22.544
$\leq 70\%$	11.971	9.44	9.44	9.44	9.44
$\leq 60\%$	0.051	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.108 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

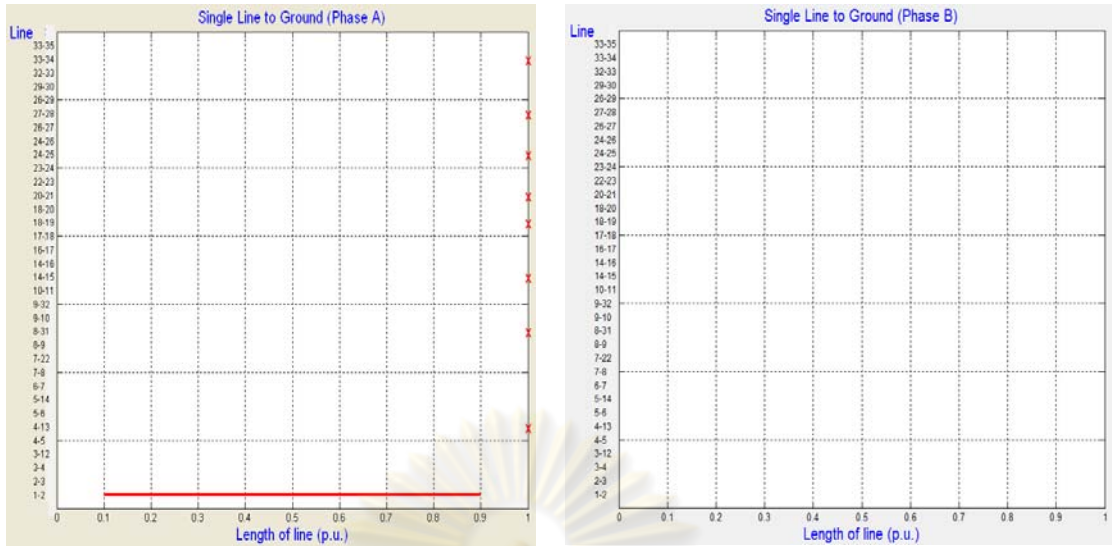
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	68.796	25.673	22.953	22.953	22.953
$\leq 80\%$	68.796	25.673	22.953	22.953	22.953
$\leq 70\%$	12.38	9.849	9.849	9.849	9.849
$\leq 60\%$	0.102	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 50\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 40\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 30\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 20\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 10\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051

ตารางที่ 4.109 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของกรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	68.796	22.953	22.953	22.953	22.953
$\leq 80\%$	68.438	22.595	22.595	22.595	22.595
$\leq 70\%$	68.438	22.595	22.595	22.595	22.595
$\leq 60\%$	68.438	22.595	22.595	22.595	22.595
$\leq 50\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 40\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 30\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 20\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 10\%$	0.051	0.051	0.051	0.051	0.051

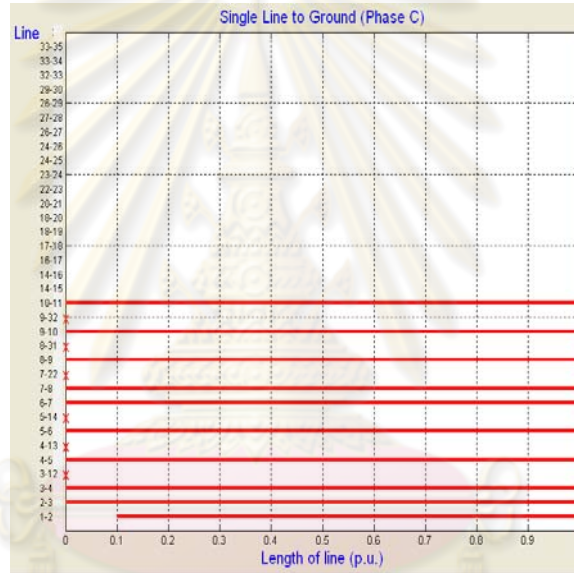
ตารางที่ 4.110 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติของเส้นเดียวลงดินที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	68.796	25.673	22.953	22.953	22.953
$\leq 80\%$	0.8704	0.819	0.819	0.819	0.819
$\leq 70\%$	0.102	0.051	0.051	0.051	0.051
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.35 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบเส้นเดี่ยวลงดิน
ที่เฟส A ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

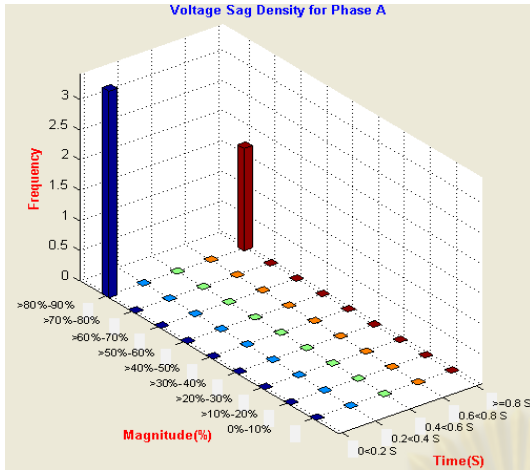
)ก (เฟส A)ข (เฟส B)ค (เฟส C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

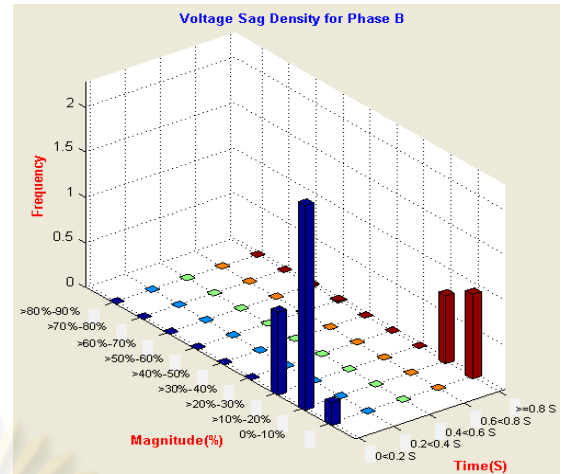
3.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้น

กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.36 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.37 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.111, 4.112, 4.113, 4.114, 4.115 และ 4.116 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.117, 4.118, 4.119, 4.120, 4.121 และ 4.122 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.38

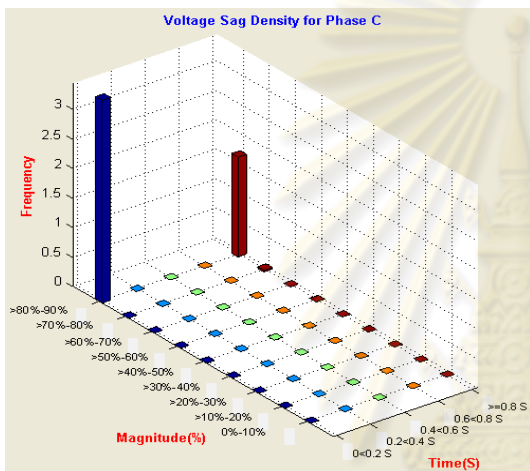
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



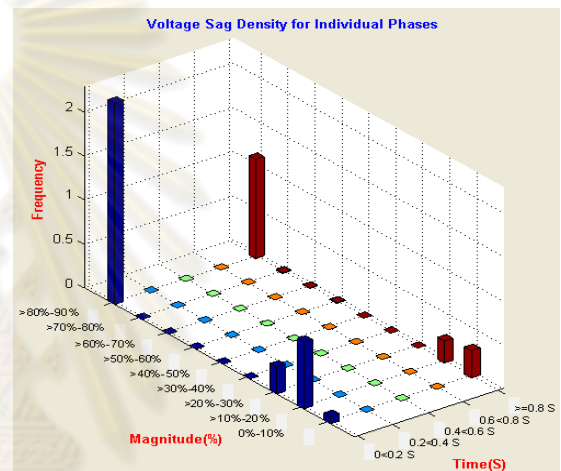
(ก)



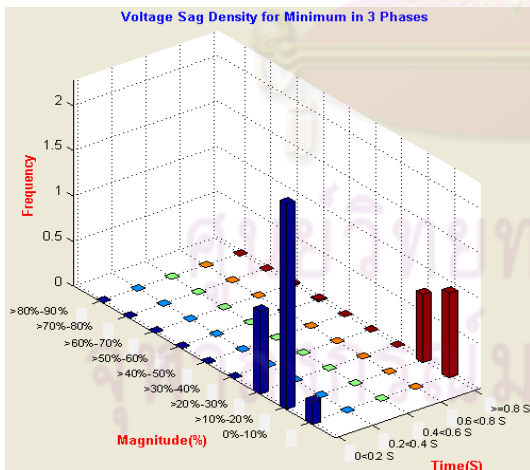
(ข)



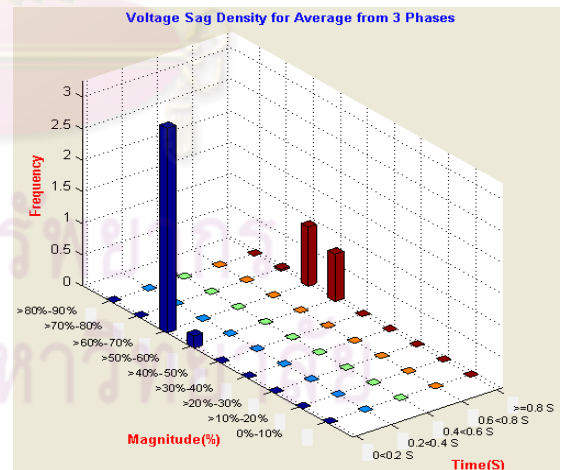
(ค)



(ง)

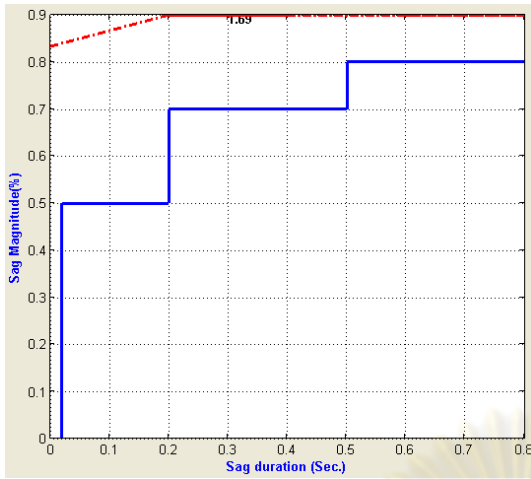


(จ)

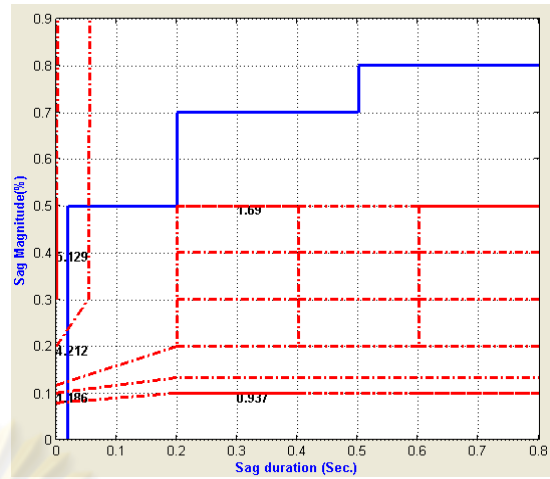


(ฉ)

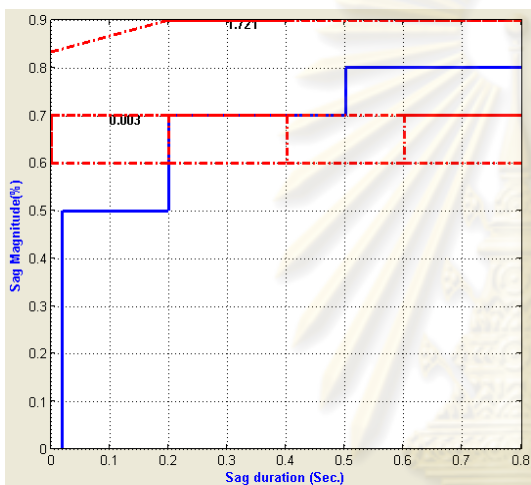
รูปที่ 4.36 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บ้าน 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส (ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด (ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



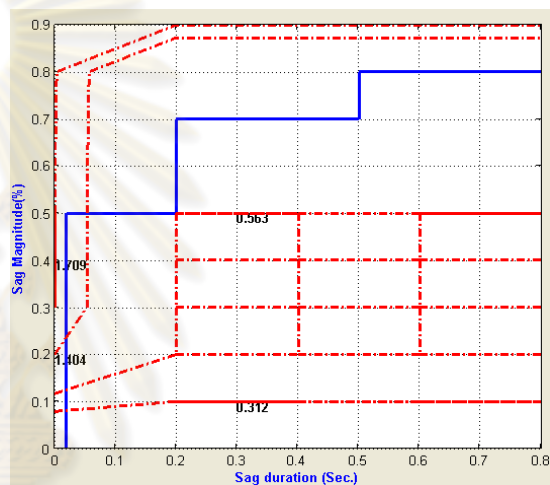
(ก)



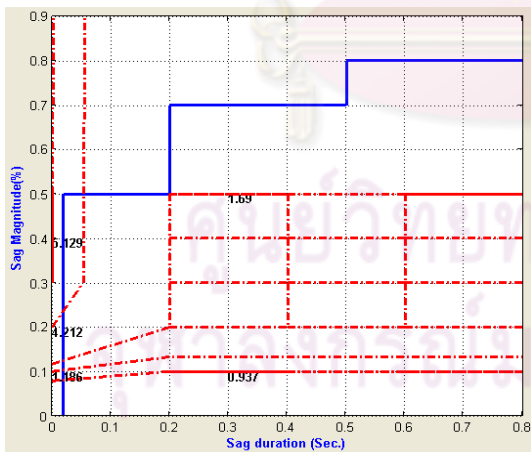
(ข)



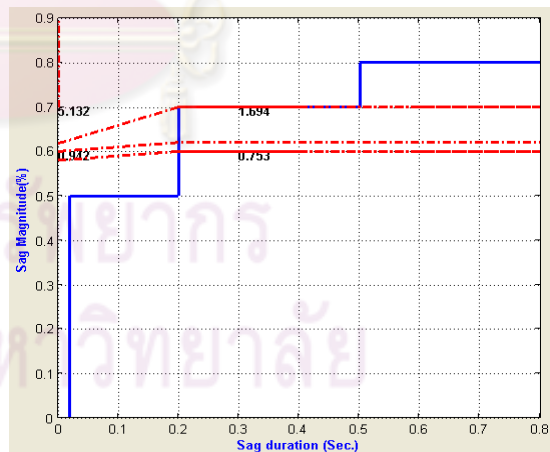
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.37 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ตารางที่ 4.111 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	3.416	0	0	0	1.69
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.112 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0.0153
>50-60%	0	0	0	0	0.0153
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0.916	0	0	0	0
>10-20%	2.272	0	0	0	0.753
0-10%	0.249	0	0	0	0.937

ตารางที่ 4.113 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	3.438	0	0	0	1.6908
>70-80%	0	0	0	0	0.026
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0.003
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.114 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	2.284	0	0	0	1.127
>70-80%	0	0	0	0	0.0089
>60-70%	0	0	0	0	0.0051
>50-60%	0	0	0	0	0.0064
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0.305	0	0	0	0
>10-20%	0.757	0	0	0	0.251
0-10%	0.083	0	0	0	0.312

ตารางที่ 4.115 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0.015
>50-60%	0	0	0	0	0.015
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0.916	0	0	0	0
>10-20%	2.272	0	0	0	0.753
0-10%	0.249	0	0	0	0.937

ตารางที่ 4.116 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0.026
>60-70%	3.248	0	0	0	0.941
>50-60%	0.189	0	0	0	0.753
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.117 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.107	1.6908	1.6908	1.6908	1.6908
$\leq 80\%$	0	0	0	0	0
$\leq 70\%$	0	0	0	0	0
$\leq 60\%$	0	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.118 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 80\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 70\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 60\%$	5.144	1.706	1.706	1.706	1.706
$\leq 50\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 40\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 30\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 20\%$	4.212	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 10\%$	1.1869	0.937	0.937	0.937	0.937

ตารางที่ 4.119 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 80\%$	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
$\leq 70\%$	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 60\%$	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038	0.0038
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.120 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

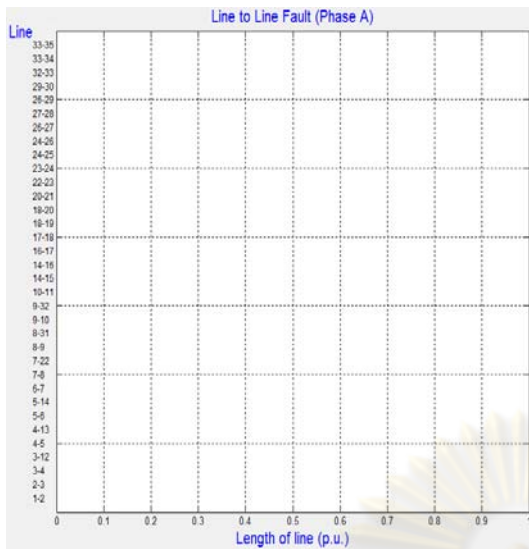
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.142	1.711	1.711	1.711	1.711
$\leq 80\%$	1.703	0.584	0.584	0.584	0.584
$\leq 70\%$	1.721	0.575	0.575	0.575	0.575
$\leq 60\%$	1.716	0.57	0.57	0.57	0.57
$\leq 50\%$	1.709	0.563	0.563	0.563	0.563
$\leq 40\%$	1.709	0.563	0.563	0.563	0.563
$\leq 30\%$	1.709	0.563	0.563	0.563	0.563
$\leq 20\%$	1.402	0.563	0.563	0.563	0.563
$\leq 10\%$	0.395	0.312	0.312	0.312	0.312

ตารางที่ 4.121 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 80\%$	5.132	1.694	1.694	1.694	1.694
$\leq 70\%$	5.132	1.694	1.694	1.694	1.694
$\leq 60\%$	5.132	1.694	1.694	1.694	1.694
$\leq 50\%$	5.132	1.694	1.694	1.694	1.694
$\leq 40\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 30\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 20\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69
$\leq 10\%$	5.129	1.69	1.69	1.69	1.69

ตารางที่ 4.122 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

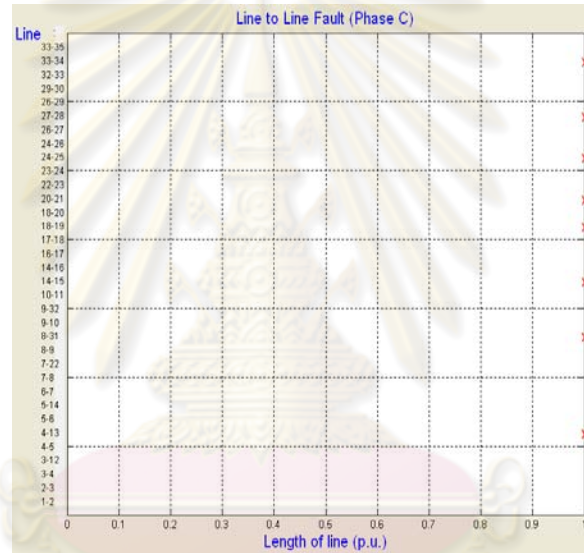
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 80\%$	5.159	1.721	1.721	1.721	1.721
$\leq 70\%$	5.132	1.694	1.694	1.694	1.694
$\leq 60\%$	0.942	0.753	0.753	0.753	0.753
$\leq 50\%$	0	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.38 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นที่เฟส

B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

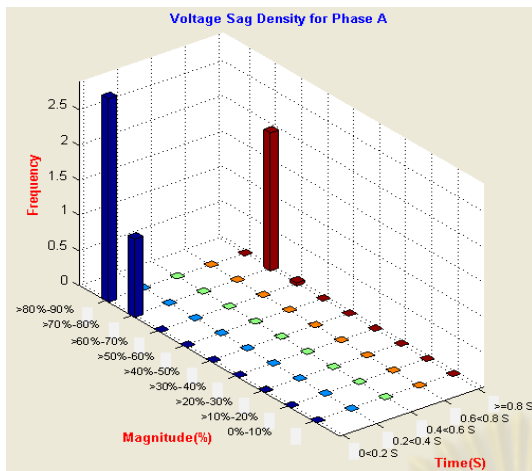
)ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

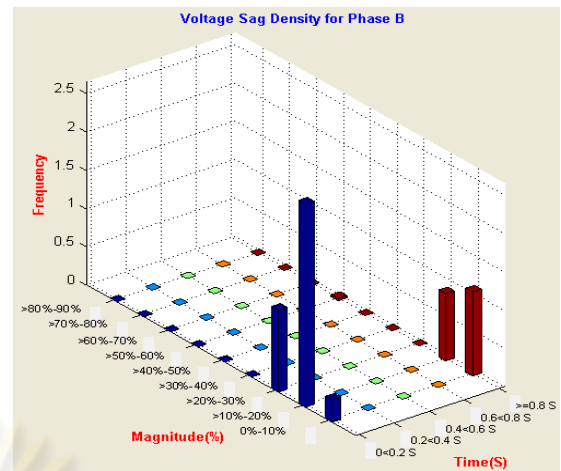
4.) กรณีเมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดิน

กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.39 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.40 โดยตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.123, 4.124, 4.125, 4.126, 4.127 และ 4.128 ตามลำดับ ตารางความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เฟส B เฟส C กรณีแต่ละเฟสเป็นอิสระ กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส และกรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังตารางที่ 4.129, 4.130, 4.131, 4.132, 4.133 และ 4.134 ตามลำดับ บริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส แสดงดังรูปที่ 4.41

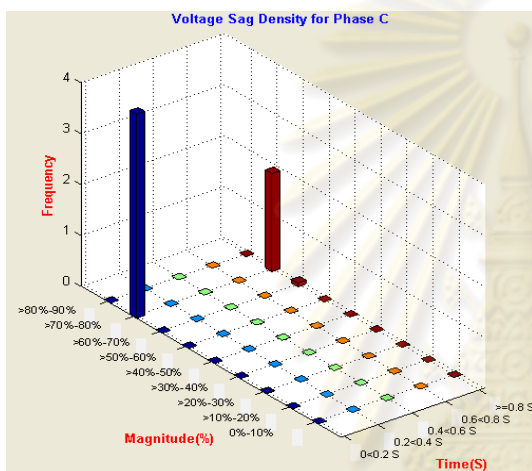
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



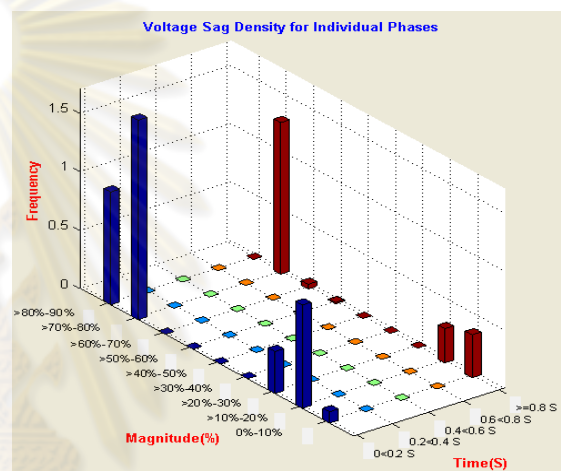
(ก)



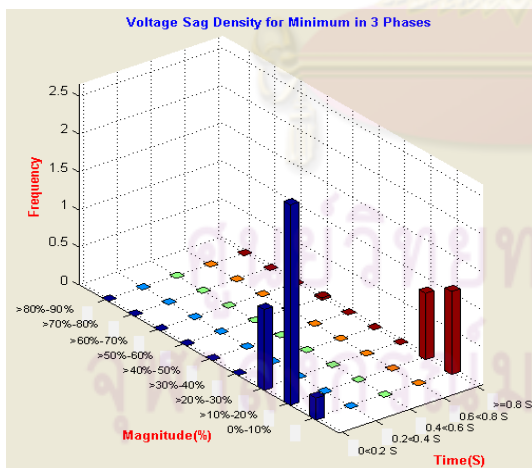
(ข)



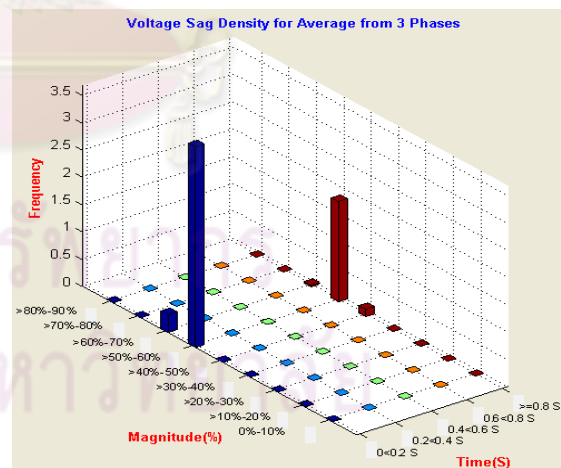
(ค)



(ง)

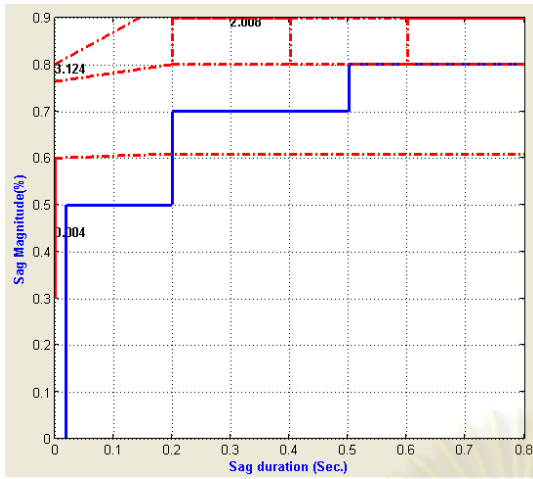


(จ)

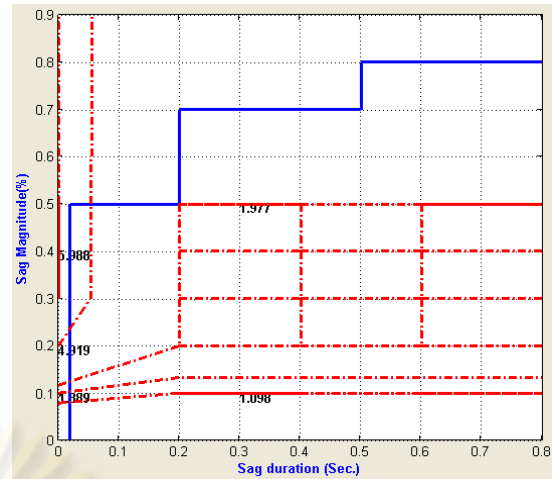


(ฉ)

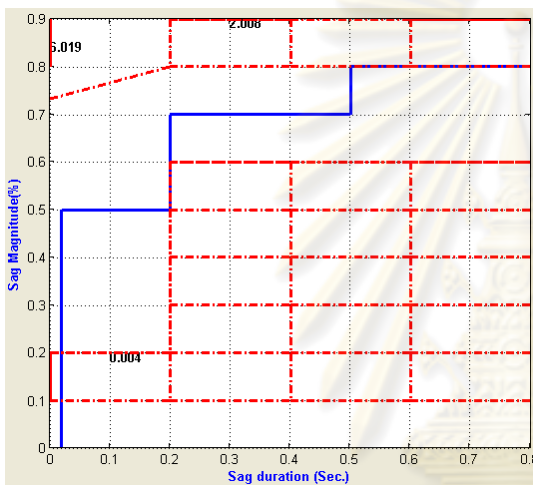
รูปที่ 4.39 กราฟแท่ง 3 มิติแสดงความหนาแน่นของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติของ
สองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส
(ก) เฟส A (ข) เฟส B (ค) เฟส C (ง) กรณีแต่ละเฟสแยกกัน (จ) กรณีเฟสต่ำที่สุด
(ฉ) กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส



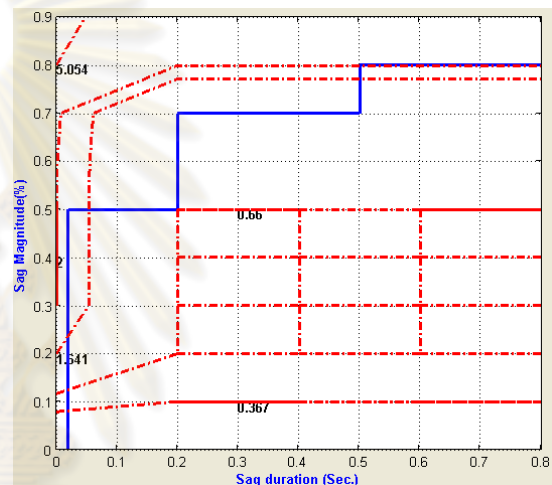
(ก)



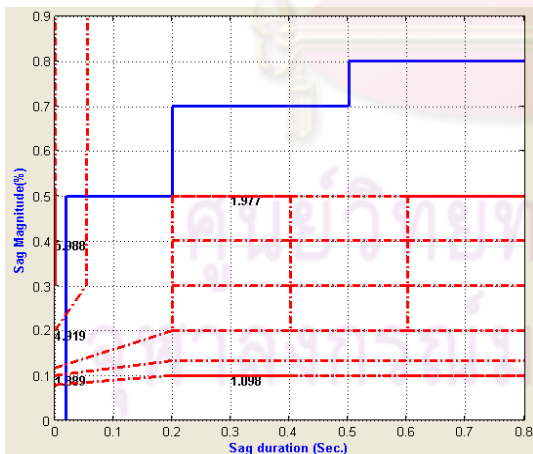
(ข)



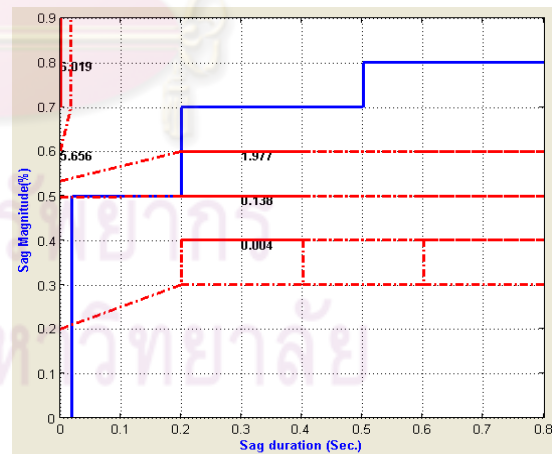
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.40 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะทีบัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ตารางที่ 4.123 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	2.895	0	0	0	0
>70-80%	1.1114	0	0	0	1.963
>60-70%	0	0	0	0	0.044
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0.004	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.124 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัล 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0.031
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	1.069	0	0	0	0
>10-20%	2.651	0	0	0	0.878
0-10%	0.2907	0	0	0	1.098

ตารางที่ 4.125 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	4.006	0	0	0	1.927
>60-70%	0	0	0	0	0.076
>50-60%	0	0	0	0	0
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0.004	0	0	0	0
>10-20%	0	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0.004

ตารางที่ 4.126 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่า 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0.965	0	0	0	0
>70-80%	1.706	0	0	0	1.297
>60-70%	0	0	0	0	0.0403
>50-60%	0	0	0	0	0.0104
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0.359	0	0	0	0
>10-20%	0.883	0	0	0	0.292
0-10%	0.096	0	0	0	0.367

ตารางที่ 4.127 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0	0	0	0	0
>50-60%	0	0	0	0	0.031
>40-50%	0	0	0	0	0
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	1.069	0	0	0	0
>10-20%	2.651	0	0	0	0.878
0-10%	0.2907	0	0	0	1.098

ตารางที่ 4.128 ความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดปกติสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	0.0<0.2	0.2<0.4	0.4<0.6	0.6<0.8	>=0.8
>80-90%	0	0	0	0	0
>70-80%	0	0	0	0	0
>60-70%	0.331	0	0	0	0.031
>50-60%	3.674	0	0	0	1.838
>40-50%	0	0	0	0	0.134
>30-40%	0	0	0	0	0
>20-30%	0	0	0	0	0.004
>10-20%	0.004	0	0	0	0
0-10%	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.129 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส A เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 80\%$	3.124	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 70\%$	0.049	0.044	0.044	0.044	0.044
$\leq 60\%$	0.004	0	0	0	0
$\leq 50\%$	0.004	0	0	0	0
$\leq 40\%$	0.004	0	0	0	0
$\leq 30\%$	0.004	0	0	0	0
$\leq 20\%$	0	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.130 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส B เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 80\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 70\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 60\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 50\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 40\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 30\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 20\%$	4.919	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 10\%$	1.389	1.098	1.098	1.098	1.098

ตารางที่ 4.131 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของเฟส C เมื่อเกิดความผิดปกติ
พร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 80\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 70\%$	0.0851	0.0806	0.0806	0.0806	0.0806
$\leq 60\%$	0.0089	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 50\%$	0.0089	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 40\%$	0.0089	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 30\%$	0.0089	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 20\%$	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 10\%$	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004

ตารางที่ 4.132 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 กรณีแต่ละเฟสแยกอิสระ เมื่อเกิด
ความผิดปกติพร้อมสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

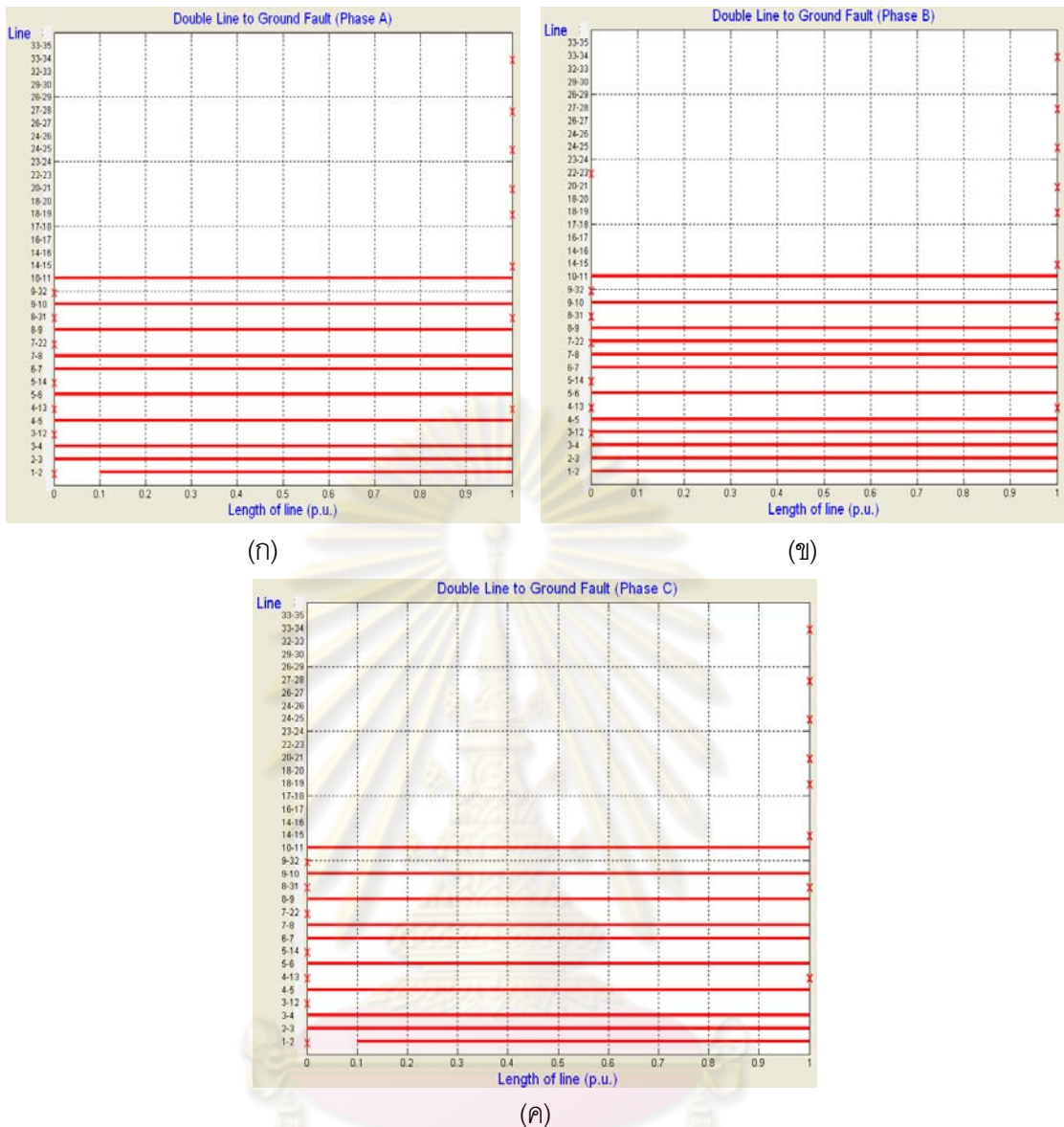
ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.007	1.975	1.975	1.975	1.975
$\leq 80\%$	5.986	1.975	1.975	1.975	1.975
$\leq 70\%$	5.986	1.975	1.975	1.975	1.975
$\leq 60\%$	5.986	1.975	1.975	1.975	1.975
$\leq 50\%$	2.537	1.053	1.053	1.053	1.053
$\leq 40\%$	2.06	0.72	0.72	0.72	0.72
$\leq 30\%$	2	0.66	0.66	0.66	0.66
$\leq 20\%$	1.997	0.66	0.66	0.66	0.66
$\leq 10\%$	1.997	0.66	0.66	0.66	0.66

ตารางที่ 4.133 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดพลาดสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 80\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 70\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 60\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 50\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 40\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 30\%$	5.988	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 20\%$	4.919	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 10\%$	1.389	1.098	1.098	1.098	1.098

ตารางที่ 4.134 ความถี่สะสมของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส เมื่อเกิด
ความผิดพลาดสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบของการไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส

ขนาด	เวลาในแต่ละช่องมีหน่วยเป็นวินาที (Second)				
	≥ 0.0	≥ 0.2	≥ 0.4	≥ 0.6	≥ 0.8
$\leq 90\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 80\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 70\%$	6.019	2.008	2.008	2.008	2.008
$\leq 60\%$	5.656	1.977	1.977	1.977	1.977
$\leq 50\%$	0.1433	0.138	0.138	0.138	0.138
$\leq 40\%$	0.008	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 30\%$	0.008	0.004	0.004	0.004	0.004
$\leq 20\%$	0.004	0	0	0	0
$\leq 10\%$	0	0	0	0	0



รูปที่ 4.41 บริเวณการเกิดของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสองเส้นลงดินที่เฟส B และ C ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณเป็นแรงดันเฟส
ก (เฟส A) ข (เฟส B) ค (เฟส C)

ผลการทดสอบการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 13 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ที่ได้แสดงข้างต้นนั้นจะแสดงผลเฉพาะผลการทดสอบที่คำนวณจากแรงดันเฟส ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะโหลดที่ต่อเป็นแบบวายด์ (Wye) โดยถ้าหากต้องการวิเคราะห์โหลดที่ต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta) จะต้องใช้แรงดันไลน์ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลจากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อต่ออุปกรณ์ที่บัส 13 ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ และ 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีใช้แรงดันไลน์ในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.138, 4.139 และ 4.141 โดยบัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อต่ออุปกรณ์ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ และ 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่าย

ไฟฟ้า กรณีใช้แรงดันไลนในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.140 และ 4.141 และผลจากการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเมื่อต่ออุปกรณ์ที่บัส 13 ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ และ 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีใช้แรงดันเฟสในการคำนวณ จะแสดงดังในตารางที่ 4.135, 4.136 และ 4.137 โดยบัสที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเมื่อต่ออุปกรณ์ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ และ 22 กิโลโวลท์ จะแสดงดังตารางที่ 4.138 และ 4.139

ตารางที่ 4.135 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่บัส 13 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

ชนิดความผิดพลาด	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ	กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส
สามเส้นลงดิน	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65	5.65
เส้นเดียวลงดิน	3.584	0	31.984	11.856	32.752	0.8704
สองเส้น	0	4.8467	0.0346	1.6271	4.8467	3.4162
สองเส้นลงดิน	2.0573	5.65	2.0886	3.2653	5.65	3.882

ตารางที่ 4.136 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

บัสที่ต่ออุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ	กรณีค่าต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ยจาก 3 เฟส
13	11.2912	16.1466	39.7571	22.3983	48.8986	13.8185
15	11.2823	16.1376	46.5282	24.6493	55.6696	13.8096
19	11.2823	16.1293	46.5282	24.6466	55.6613	13.8608
21	11.2823	16.1293	46.5282	24.6466	55.6613	13.8608
25	11.2823	16.1376	52.569	26.6629	61.7104	13.8096
28	11.2823	16.1331	52.569	26.6615	61.7059	13.8608
31	11.2823	16.1338	55.5683	27.6615	64.7098	13.8096
34	11.2823	16.1376	55.5722	27.664	64.7136	13.8096

ตารางที่ 4.137 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่
ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
1	1.5357	0.3603	0.7123	0.8695	2.0384	0.6353
2	70.1743	14.5621	14.5743	33.1036	78.9662	12.3718
3	70.1788	14.5621	14.8221	33.1877	79.214	12.409
4	70.5884	14.5755	16.9784	34.0474	81.78	12.8657
5	70.5884	14.5979	16.9201	34.0355	81.7216	13.4879
6	70.5794	14.589	17.0475	34.0719	81.849	14.1434
7	70.5794	14.589	17.2137	34.1273	82.0152	14.2361
8	70.5749	14.5845	17.3599	34.1731	82.1614	14.3472
9	70.5749	14.5845	17.5183	34.2259	82.3198	14.3703
10	70.5749	14.5653	17.6707	34.2703	82.453	14.3703
11	70.5749	14.5653	17.8045	34.3149	82.5868	14.3703
12	70.1788	14.5621	14.6547	33.1319	79.0466	12.409
14	70.5749	14.5845	16.7035	33.9543	81.505	13.9762
16	70.5749	14.5845	16.4945	33.8846	81.296	13.9762
17	70.5749	14.5845	16.3017	33.8204	81.1032	13.9762
18	70.5749	14.5922	16.0976	33.7549	80.8991	14.0786
20	70.5749	14.5922	15.9102	33.6924	80.7117	14.0786
22	70.5749	14.5845	17.0173	34.0589	81.8188	14.606
23	70.5749	14.5653	16.8234	33.9879	81.6057	14.606
24	70.5749	14.5845	16.6144	33.9246	81.416	14.6572
26	70.5749	14.5845	16.4216	33.8604	81.2232	14.6572
27	70.5749	14.5883	16.2181	33.7938	81.0196	14.7084
29	70.5749	14.5845	16.2245	33.7947	81.0261	14.6572
30	70.5749	14.5845	16.0258	33.7284	80.8274	14.6572

ตารางที่ 4.137 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่
ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส (ต่อ)

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)					
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
32	70.5749	14.5845	17.3395	34.1663	82.1411	14.5997
33	70.5749	14.628	17.2404	34.1478	82.042	14.6509
35	70.5749	14.8245	17.2404	34.2133	82.042	14.6509

ตารางที่ 4.138 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่อที่แต่ละ
บัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
บัสที่ดีที่สุด	15,19,21,25, 28,31,34	19,21	13	13	13	15,25,31,34
บัสที่แย่มากที่สุด	13	13	34	34	34	19,21,28

ตารางที่ 4.139 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากไปต่อที่แต่ละ
บัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันเฟส

	เฟส A	เฟส B	เฟส C	กรณีแต่ละ เฟสแยก เป็นอิสระ	กรณีค่า ต่ำสุดใน 3 เฟส	กรณีค่าเฉลี่ย จาก 3 เฟส
บัสที่ดีที่สุด	1	1	1	1	1	1
บัสที่แย่มากที่สุด	4, 5	15, 25	31	11	11	27

ตารางที่ 4.140 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่
ที่บัส 13 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

ชนิดความผิด พ่วง	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
สามเส้นลงดิน	5.65	5.65	5.65
เส้นเดียวลงดิน	0.1024	0	45.9725
สองเส้น	3.2891	5.6657	0
สองเส้นลงดิน	3.1086	5.65	0.0623

ตารางที่ 4.141 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่
ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลต์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
13	12.15	16.9656	51.6847
15	13.9862	16.7035	54.0693
19	13.9901	16.0976	54.0693
21	13.9901	15.9102	54.0693
25	14.0916	16.6144	54.0693
28	14.0916	16.2181	54.0693
31	14.1828	17.3599	54.0693
34	14.2944	17.2404	54.0693

ตารางที่ 4.142 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่
ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลต์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
1	1.0001	0.5875	0.6577
2	9.5554	16.1402	32.7459
3	9.6444	16.1555	36.8253
4	11.3469	16.1555	39.7623

ตารางที่ 4.142 จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะเมื่ออุปกรณ์ที่มีความไวเป็นไมล์ี่เหลี่ยมมุมฉากต่ออยู่
ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์ (ต่อ)

บัสที่ต่อ อุปกรณ์	จำนวนของแรงดันตกชั่วขณะ (sags/year)		
	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
5	11.3469	16.1555	46.5423
6	11.3379	16.1466	52.1677
7	11.3379	16.1466	52.5741
8	11.3335	16.1421	55.5728
9	11.3335	16.1421	55.5728
10	11.3335	16.1421	55.5728
11	11.3335	16.1421	55.5728
12	9.6444	16.1555	36.8253
14	11.3335	16.1421	46.5288
16	11.3335	16.1421	46.5288
17	11.3335	16.1421	46.5288
18	11.3335	16.1254	46.5288
20	11.3335	16.1254	46.5288
22	11.3335	16.1421	52.5696
23	11.3335	16.1421	52.5696
24	11.3335	16.1376	52.5696
26	11.3335	16.1376	52.5696
27	11.3335	16.1293	52.5696
29	11.3335	16.1376	52.5696
30	11.3335	16.1376	52.5696
32	11.3335	16.1421	55.5728
33	11.3335	16.1338	55.5728
35	11.3335	16.1338	55.5728

ตารางที่ 4.143 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เหลื่อมมุมจากไปต่ออยู่ที่แต่
ละบัสในระดับแรงดัน 400 โวลท์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
บัสที่ดีที่สุด	13	21	13
บัสที่แย่มากที่สุด	34	31	15, 19, 21, 25, 28, 31, 34

ตารางที่ 4.144 บัสที่ดีที่สุดและแย่มากที่สุดเมื่อนำอุปกรณ์ที่มีความไวไม่เป็นที่เหลื่อมมุมจากไปต่ออยู่ที่แต่
ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า กรณีคำนวณจากแรงดันไลน์

	เฟส AB	เฟส BC	เฟส CA
บัสที่ดีที่สุด	1	1	1
บัสที่แย่มากที่สุด	31	34	8, 9, 10, 11, 32, 33, 35

4.4.4 การสรุปผลการทดสอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

จากผลการทดสอบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อนำโหลดไปต่ออยู่ที่บัสที่ 13 ซึ่งเป็นบัสที่มี
ขนาดแรงดัน 400 โวลท์และแต่ละบัสที่ต่ออยู่ในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ สามารถสรุปผลการทดสอบ
ได้ดังนี้

1.) กรณีโหลดต่อเป็นแบบวายด์ (Wye)

กรณีโหลดต่อเป็นแบบวายด์จะใช้ค่าจากการคำนวณจากแรงดันเฟสมาสรุปผลการทดสอบ
ดังนั้นเมื่ออุปกรณ์ต่ออยู่ที่บัสที่ 13 จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.136 พบว่าโหลดที่ต่อเป็นแบบ
วายด์จะทำงานผิดพลาดเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส A จำนวน 11.2912 ครั้งต่อปี ที่เฟส B จำนวน
16.1466 ครั้งต่อปี ที่เฟส C จำนวน 39.7571 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกอิสระจำนวน
22.3983 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟสจำนวน 48.8986 ครั้งต่อปี กรณีคำนวณแรงดัน
เฉลี่ยจาก 3 เฟสจำนวน 13.8185 ครั้งต่อปี และเมื่ออุปกรณ์ต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโล
โวลท์ผลการทดสอบจะเป็นดังตารางที่ 4.137

โดยจะสามารถแยกสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะ
เมื่อต่ออยู่ที่บัส 13 ได้ดังตารางที่ 4.135 สามารถสรุปได้ดังนี้

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส A

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส A เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดิน
จำนวน 5.65 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 3.584 ครั้งต่อปี
เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสอง
เส้นลงดินจำนวน 2.0573 ครั้งต่อปี

34 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 34 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 19, 21 และ 28

และจากตารางที่ 4.139 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A คือ บัสที่ 1 ของเฟส B คือ บัสที่ 1 ของเฟส C คือ บัสที่ 1 ของกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ คือ บัสที่ 1 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 1 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 1 และบัสที่แย่ที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส A คือ บัสที่ 4 และ 5 ของเฟส B คือ บัสที่ 15 และ 25 ของเฟส C คือ บัสที่ 31 ของกรณีคำนวณแรงดันแต่ละเฟสแยกเป็นอิสระ คือ บัสที่ 11 ของกรณีคำนวณแรงดันต่ำที่สุดใน 3 เฟส คือ บัสที่ 11 ของกรณีคำนวณเฉลี่ยจาก 3 เฟส คือ บัสที่ 27

2.) กรณีโหลดต่อเป็นแบบเดลต้า (Delta)

กรณีโหลดต่อเป็นแบบเดลต้าจะใช้ค่าจากการคำนวณจากแรงดันไลน์มาสรุปผลการทดสอบ ดังนั้นเมื่ออุปกรณ์ต่ออยู่ที่บัส 13 จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.141 พบว่าโหลดที่ต่อเป็นแบบเดลต้าจะทำงานผิดพลาดเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส AB จำนวน 12.15 ครั้งต่อปี ที่เฟส BC จำนวน 16.9656 ครั้งต่อปี ที่เฟส CA จำนวน 51.6847 ครั้งต่อปี และเมื่ออุปกรณ์ต่ออยู่ที่แต่ละบัสในระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ผลการทดสอบจะเป็นดังตารางที่ 4.142

โดยจะสามารถแยกสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะได้ดังตารางที่ 4.140 สามารถสรุปได้ดังนี้

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส AB

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส AB เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 5.65 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0.1024 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 3.2891 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 3.1086 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส BC

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส BC เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 5.65 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 5.6657 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 5.65 ครั้งต่อปี

- จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เฟส CA

จำนวนแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นที่เฟส CA เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสามเส้นลงดินจำนวน 5.65 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบเส้นเดี่ยวลงดินจำนวน 45.9725 ครั้งต่อปี

เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นจำนวน 0 ครั้งต่อปี เกิดขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดแบบสองเส้นลงดินจำนวน 0.0623 ครั้งต่อปี

โดยจากตารางที่ 4.143 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 400 โวลท์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 13 ของเฟส BC คือ บัสที่ 21 ของเฟส CA คือ บัสที่ 13 และบัสที่แย่ที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 34 ของเฟส BC คือ บัสที่ 31 ของเฟส CA คือ บัสที่ 15, 19, 21, 25, 28, 31 และ 34

และจากตารางที่ 4.144 พบว่าที่บัสระดับแรงดัน 22 กิโลโวลท์ บัสที่ดีที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 1 ของเฟส BC คือ บัสที่ 1 ของเฟส CA คือ บัสที่ 1 และบัสที่แย่ที่สุดในการต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของเฟส AB คือ บัสที่ 31 ของเฟส BC คือ บัสที่ 34 ของเฟส CA คือ บัสที่ 8, 9, 10, 11, 32, 33 และ 35



ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาระยะการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ และได้ทำการศึกษาวิธีการสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะ เพื่อทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อช่วยในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะให้มีความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

การพัฒนาโปรแกรมได้ใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 2007a ในการสร้างโปรแกรมการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากมีความสะดวกต่อผู้ใช้งาน การพัฒนาโปรแกรมได้ออกแบบให้สามารถป้อนข้อมูลโดยผู้ใช้งานหรือสามารถป้อนข้อมูลโดยผ่านทางเพิ่มข้อมูล Excel นอกจากนี้ในส่วนของการป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันได้ออกแบบให้สามารถเลือกข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใส่ได้โดยอัตโนมัติเพื่อความสะดวกและลดความผิดพลาดในการป้อนข้อมูล ในส่วนของการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะได้ออกแบบให้สามารถแสดงผลค่าความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเป็นกราฟ 3 มิติ แสดงผลในรูปของแผนภูมิความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่รวมกับข้อมูลความไวของอุปกรณ์ แสดงผลตารางความหนาแน่นและความถี่สะสมของแรงดันตกชั่วขณะ และแสดงผลบริเวณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

เนื่องจากการกระจายตัวนี้คิดเฉพาะแรงดันตกชั่วขณะที่มีผลมาจากการเกิดความผิดปกติในระบบซึ่งเป็นการกระจายตัวทางด้านระบบของการไฟฟ้าทำให้ผลที่ได้จากการกระจายตัวเมื่อเปรียบเทียบกับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงด้านผู้ใช้ไฟจะมีค่าที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากสาเหตุของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะนั้นสามารถเกิดได้จากสาเหตุอื่นๆ ด้วย เช่น การสตาร์ทมอเตอร์ขนาดใหญ่ หรือการให้พลังงานกับหม้อแปลง รวมถึงผลของความต้านทานลงดินซึ่งมีค่าที่ไม่แน่นอนและค่าความต้านทานดินของแต่ละพื้นที่ซึ่งมีค่าที่ไม่เท่ากัน สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งที่ทำให้ผลการหาการกระจายตัวมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาการกระจายตัวนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อแสดงแนวโน้มในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติของระบบไฟฟ้า ณ ตำแหน่งที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการทราบข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการเลือกติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน หรือตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันแรงดันตกให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากแรงดันตกชั่วขณะที่สามารถเกิดขึ้นได้ในรอบปี

ข้อเสนอแนะในการหาการกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง

1. การหาการกระจายตัวเนื่องจากการเกิดความผิดพลาดด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดความผิดพลาดซึ่งจะพิจารณาให้แต่ละจุดมีการกระจายตัวของการเกิดความผิดพลาดแบบสม่ำเสมอ แต่ในทางปฏิบัติการเกิดความผิดพลาดสามารถเกิดการกระจายตัวในรูปแบบอื่นได้ด้วย
2. ในส่วนของอุปกรณ์ป้องกัน หากมีการเก็บข้อมูลทางสถิติที่ดีและมีข้อมูลมากเพียงพอ สามารถเพิ่มการพิจารณาอุปกรณ์ป้องกันไปถึงขั้นทุติยภูมิ จากสถิติอัตราการล้มเหลวในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน
3. ในส่วนของ การสร้างอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ หากมีการพิจารณา Zero-sequence Mutual Impedance ร่วมด้วยจะทำให้ผลการคำนวณแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลังถูกต้องมากขึ้น
4. ในการหาการกระจายตัวเนื่องจากการผิดพลาดในระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากวิธีตำแหน่งการเกิดความผิดพลาด (Method of Fault Position) แล้วยังมีวิธีอื่นๆ อีก เช่น การใช้ทฤษฎีของ Monte Carlo เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] IEEE 1159-1995. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electronic Power Quality. 1995.
- [2] Bollen, M.H. Understanding power quality problems voltage sags and interruptions. IEEE Press. 2000.
- [3] Chang-Hyun, P., and Gilsoo, J. Stochastic Estimation of Voltage Sags in a Large Meshed Network. Power Delivery IEEE Transactions Vol. 22. Issue 3. 2007.
- [4] Conrad, L., Grigg, C., and Little, K. Predicting and preventing problems associated with remote fault clearing voltage dips. Industry Applications IEEE Transactions Vol. 30. 1991.
- [5] Conrad, L. Propose chapter 9 for predicting voltage sags (dips) in revision to IEEE std.493. Industry Applications IEEE Transactions Vol. 30. 1994.
- [6] Qader, M.R., Bollen, M.H., and Allan, R.N. Stochastic prediction of voltage sags in a large transmission system. Industry Applications IEEE Transactions Vol. 35. 1999.
- [7] Bollen, M.H. Fast assessment methods for voltage sags in distribution system. Industry Applications IEEE Transactions Vol. 32. 1999.
- [8] Saadat, H. Power system analysis. McGraw-Hill. 1999.
- [9] IEEE Std 493-1997. (Revision of IEEE Std 493-1990) IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems. 1997.
- [10] Conrad, L. and Bollen, M.H. Voltage sag coordination for reliable plant operation. Industry Applications IEEE Transactions Vol. 33. 1997.
- [11] IEEE Std 1346-1998. IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment. 1998.
- [12] IEEE Std C37.112-1996. IEEE Standard Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays. 1996.
- [13] IEEE Std C37.113-1999. Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines. 1999.
- [14] Moschakis, M.N. and Hatziargyriou, N.D. Analytical Calculation and Stochastic Assessment of Voltage Sags. IEEE Transactions Vol. 21. 2006.

- [15] Myo Thu Aung and Milanovic, V. The Influence of Transformer Winding Connections on the Propagation of Voltage Sags. IEEE Transactions Vol. 21. 2006.
- [16] Pirjo, H and Matti, L. Voltage Sag Distributions Caused by Power System Faults. IEEE Transactions Vol. 18. 2003.
- [17] Grainger, J. and Stevenson, D. Power system analysis. McGraw-Hill. 1994.
- [18] L.Powell, Power system load flow analysis. McGraw-Hill. 2005.
- [19] นิตติกร เกษพรหม. การประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2003.
- [20] ศุภมาส ศิริกุล. การจำแนกพัฒนาการของฟอลต์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2005.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



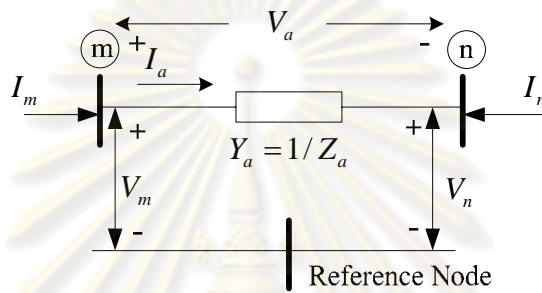
ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

กระบวนการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์

ขั้นตอนการคำนวณความผิดพลาดที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลังต้องใช้ค่าอิมพีแดนซ์ที่อยู่ในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ โดยการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์จะสมมติให้ระบบมี 2 บัส คือ บัส m และบัส n ซึ่งมีโหนดอ้างอิง (Reference Node) หนึ่งโหนด แสดงดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 ระบบไฟฟ้า 2 บัส

จากรูปที่ ก.1 ตามกฎของเคอร์ชอฟ (Kirchhoff's law) สามารถหาค่าของ V_a ได้จาก

$$V_a = Z_a I_a \text{ หรือ } Y_a V_a = I_a \quad (\text{ก.1})$$

โดยกระแส I_m คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าที่บัส m โดยมีค่าเท่ากับ I_a และกระแส I_n คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส n โดยมีค่าเท่ากับ $-I_a$ ซึ่งสามารถนำค่า I_m และ I_n มาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_m \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} I_a \quad (\text{ก.2})$$

โดยค่าของ V_a สามารถหาได้จาก $V_m - V_n$ ซึ่งสามารถนำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$V_a = \begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ V_n \end{bmatrix} \quad (\text{ก.3})$$

นำสมการ ก.3 แทนค่าในสมการ $Y_a V_a = I_a$ จะได้

$$Y_a [1 \quad -1] \begin{bmatrix} V_m \\ V_n \end{bmatrix} = I_a \quad (\text{ก.4})$$

นำสมการ ก.4 แทนค่าในสมการ ก.2 จะได้

$$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} Y_a [1 \quad -1] \begin{bmatrix} V_m \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_m \\ I_n \end{bmatrix} \quad (\text{ก.5})$$

จากสมการ ก.5 สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} Y_a & -Y_a \\ -Y_a & Y_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_m \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_m \\ I_n \end{bmatrix} \quad (\text{ก.6})$$

จากสมการ ก.6 สามารถจัดเป็นรูปอย่างง่ายได้ดังนี้

$$[Y_{BUS}] [V_{BUS}] = [I_{BUS}] \quad (\text{ก.7})$$

โดยที่ V_{BUS} คือ เวกเตอร์ขนาด $m \times 1$ ของแรงดันบัสที่วัดเทียบกับโหนดอ้างอิง

I_{BUS} คือ เวกเตอร์ขนาด $m \times 1$ ของกระแสที่ไหลเข้าสู่บัส

Y_{BUS} คือ แอดมิตแตนซ์เมตริกซ์

โดยค่าอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Z_{BUS}) สามารถหาได้จาก

$$Z_{BUS} = Y_{BUS}^{-1} \quad (\text{ก.8})$$

ภาคผนวก ข

ระบบไฟฟ้า 9 บัส

ภาคผนวก ข ได้แสดงถึงข้อมูลของระบบไฟฟ้า 9 บัส จะแสดงดังตารางที่ ข.1-ข.3

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 9 บัส

Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVAR)	Qmin (MVAR)
8	0	0.02	0	0.005	20	0	300	10	300	-300
9	0	0.02	0	0.005	10	0	250	10	300	-300

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบ 9 บัส

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	B1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	B0 (p.u.)	Fault rate (fault/year)
1	2	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0	1
2	3	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0	1
3	4	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0	1
2	5	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0	1
3	6	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0	1
8	7	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0	0.1
8	9	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0	0.1
9	7	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0	0.1

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ 9 บัส

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Transformer Type	NGR (Primary Side) (p.u.)		NGR (Secondary Side) (p.u.)	
							R	X	R	X
7	1	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0

ภาคผนวก ค

ระบบไฟฟ้า 15 บัส

ภาคผนวก ค ได้แสดงถึงข้อมูลของระบบไฟฟ้า 15 บัส ซึ่งได้นำมาใช้ในการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ ค.1-ค.7

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 15 บัส

Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVAR)	Qmin (MVAR)
8	0	0.02	0	0.005	20	0	300	10	300	-300
9	0	0.02	0	0.005	10	0	250	10	300	-300

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบ 15 บัส

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	B1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	B0 (p.u.)	Fault rate (fault/year)
1	2	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0	1
2	3	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0	1
3	4	0.22	0.37	0	0.37	1.56	0	1
2	5	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0	1
3	6	1.26	0.42	0	1.37	1.67	0	1
8	7	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0	0.1
8	9	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0	0.1
9	7	0.097	0.391	0	0.497	2.349	0	0.1

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบ 15 บัส

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Transformer Type	NGR (Primary Side) (p.u.)		NGR (Secondary Side) (p.u.)	
							R	X	R	X
7	1	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0
1	10	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0
2	11	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0
3	12	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0
4	13	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0
5	14	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0
6	15	0	0.4	0	0.4	Delta-Wye ground(+30°)	0	0	0	0

ตารางที่ ค.4 สัดส่วนการเกิดความผิดพลาดแต่ละแบบของระบบ 15 บัส (%)

สมมาตร	เส้นเดียวลงดิน	สองเส้น	สองเส้นลงดิน
7	80	6	7

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของระบบ 15 บัส

From Bus	To Bus	CT Rate (A)	Phase Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS	Ground Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS
1	2	100	CDG14	117	1	CDG14	50	1
2	3	100	CDG14	135	1	CDG14	50	1
3	4	100	CDG14	10	1	CDG14	5	1

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของระบบ 15 บัส (ต่อ)

From Bus	To Bus	CT Rate (A)	Phase Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS	Ground Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS
2	5	100	CDG14	23	1	CDG14	15	1
3	6	100	CDG14	8	1	CDG14	5	1

* CDG14 มีค่าคงที่ A=80, B=0 และ P=2 แทนค่าลงในสมการที่ 4.1 จะได้เวลาในการกำจัดความผิดปกติ

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบส่งกำลังของระบบ 15 บัส

From Bus	To Bus	Distance Relay
8	7	A
8	9	A
9	7	A

* Relay A เวลาของการกำจัดความผิดปกติใน Zone1=0.2 Sec. และ Zone2=0.6 Sec.

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลการจำกัดความผิดปกติและอัตราการเกิดความผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 15 บัส

Bus	Fault rate (fault/year)	Time to clear fault (sec.)
8	0.064	0.1
9	0.064	0.018

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ภาคผนวก ง ได้แสดงถึงข้อมูลของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ซึ่งได้นำมาใช้ในการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ ง.1-ง.7

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVAR)	Qmin (MVAR)
1	0	0.3	0	0.05	260.2	-16.1	300	10	30	-30
2	0	0.3	0	0.05	40	50	70	10	70	-30
5	0	0.3	0	0.05	0	37	0	0	50	-30
8	0	0.3	0	0.05	0	37.3	0	0	50	-30
11	0	0.3	0	0.05	0	16.2	0	0	25	-30
13	0	0.3	0	0.05	0	10.6	0	0	20	-30

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	B1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	B0 (p.u.)	Fault rate (fault/year)
1	2	0.0192	0.0575	0.0528	0.048	0.1438	0.132	2
1	3	0.0452	0.1652	0.0408	0.113	0.413	0.102	2
2	4	0.057	0.1737	0.0368	0.1425	0.4343	0.092	2
3	4	0.0132	0.0379	0.0084	0.033	0.0948	0.021	2
2	5	0.0472	0.1983	0.0418	0.118	0.4958	0.1045	2
2	6	0.0581	0.1763	0.0374	0.1453	0.4408	0.0935	2
4	6	0.0119	0.0414	0.009	0.0298	0.1035	0.0225	2
5	7	0.046	0.116	0.0204	0.115	0.29	0.051	2
6	7	0.0267	0.082	0.017	0.0668	0.205	0.0425	2
6	8	0.012	0.042	0.009	0.03	0.105	0.0225	2

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (ต่อ)

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	B1 (p.u)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	B0 (p.u)	Fault rate (fault/year)
9	11	0	0.208	0	0	0.52	0	2
9	10	0	0.11	0	0	0.275	0	2
12	13	0	0.14	0	0	0.35	0	2
12	14	0.1231	0.2559	0	0.3078	0.6398	0	2
12	15	0.0662	0.1304	0	0.1655	0.326	0	2
12	16	0.0945	0.1987	0	0.2363	0.4968	0	2
14	15	0.221	0.1997	0	0.5525	0.4993	0	2
16	17	0.0524	0.1923	0	0.131	0.4808	0	2
15	18	0.1073	0.2185	0	0.2683	0.5463	0	2
18	19	0.0639	0.1292	0	0.1598	0.323	0	2
19	20	0.034	0.068	0	0.085	0.17	0	2
10	20	0.0936	0.209	0	0.234	0.5225	0	2
10	17	0.0324	0.0845	0	0.081	0.2113	0	2
10	21	0.0348	0.0749	0	0.087	0.1873	0	2
10	22	0.0727	0.1499	0	0.1818	0.3748	0	2
21	22	0.0116	0.0236	0	0.029	0.059	0	2
15	23	0.1	0.202	0	0.25	0.505	0	2
22	24	0.115	0.179	0	0.2875	0.4475	0	2
23	24	0.132	0.27	0	0.33	0.675	0	2
24	25	0.1885	0.3292	0	0.4713	0.823	0	2
25	26	0.2544	0.38	0	0.636	0.95	0	2
25	27	0.1093	0.2087	0	0.2733	0.5218	0	2
27	29	0.2198	0.4153	0	0.5495	1.0383	0	2
27	30	0.3202	0.6027	0	0.8005	1.5068	0	2
29	30	0.2399	0.4533	0	0.5998	1.1333	0	2
8	28	0.0636	0.2	0.0428	0.159	0.5	0.107	2
6	28	0.0169	0.0599	0.013	0.0423	0.1498	0.0325	2

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Transformer Type	NGR (Primary Side) (p.u.)		NGR (Secondary Side) (p.u.)	
							R	X	R	X
6	9	0	0.208	0	0.208	Wye ground -Wye ground	0	0	0	0
6	10	0	0.556	0	0.556	Wye ground -Wye ground	0	0	0	0
4	12	0	0.256	0	0.256	Wye ground -Wye ground	0	0	0	0
28	27	0	0.396	0	0.396	Wye ground -Wye ground	0	0	0	0

ตารางที่ ง.4 สัดส่วนการเกิดความผิดปกติของแต่ละแบบของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (%)

สมมาตร	เส้นเดียวลงดิน	สองเส้น	สองเส้นลงดิน
7	80	6	7

ตารางที่ ง.5 ข้อมูลการจำกัดความผิดปกติและอัตราการเกิดความผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

Bus	Fault rate (fault/year)	Time to clear fault (sec.)
1	0.064	0.1
2	0.064	0.018
5	0.064	0.018
8	0.064	0.018
11	0.064	0.018
13	0.064	0.018

ตารางที่ 6 ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

From Bus	To Bus	Fault rate (fault/year)	Time to clear fault (sec.)
6	9	0.064	0.83
6	10	0.064	0.83
4	12	0.064	0.83
28	27	0.064	0.83

ตารางที่ 7 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบส่งกำลังของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

From Bus	To Bus	Distance Relay
1	2	A
1	3	A
2	4	A
3	4	A
2	5	A
2	6	A
4	6	A
5	7	A
6	7	A
6	8	A
9	11	A
9	10	A
12	13	A
12	14	A
12	15	A
12	16	A
14	15	A
16	17	A
15	18	A
18	19	A

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบส่งกำลังของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (ต่อ)

From Bus	To Bus	Distance Relay
19	20	A
10	20	A
10	17	A
10	21	A
10	22	A
21	22	A
15	23	A
22	24	A
23	24	A
24	25	A
25	26	A
25	27	A
27	29	A
27	30	B
29	30	B
8	28	B
6	28	B
12	15	B
12	16	B
14	15	B
16	17	B
15	18	B
18	19	B
19	20	B
10	20	B
10	17	B
10	21	B

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบส่งกำลังของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (ต่อ)

From Bus	To Bus	Distance Relay
10	22	B
21	22	B
15	23	B
22	24	B
23	24	B
24	25	B
25	26	B
25	27	B
27	29	B

* Relay A เวลาของการกำจัดความผิดปกติใน Zone1=0.2 Sec. และ Zone2=0.6 Sec.

Relay B เวลาของการกำจัดความผิดปกติใน Zone1=0.14 Sec. และ Zone2=0.4 Sec.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ภาคผนวก จ ได้แสดงถึงข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งได้นำมาใช้ในการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ จ.1-จ.9

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Pg (MW)	Qg (MVAR)	Pmax (MW)	Pmin (MW)	Qmax (MVAR)	Qmin (MVAR)
1	0	0.25	0	0.06	180	87.17	200	0	95	-30

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

From Bus	To Bus	ชนิดของสาย	ความยาว (km)	Fault rate (fault/year)
1	2	95SAC25	9.123	3.2
2	3	95SAC25	0.429	4.4
3	4	95SAC25	3.196	2.7
3	12	50SAC25	0.289	3.1
4	5	95SAC25	1.069	2.5
5	6	95SAC25	0.508	2.55
5	14	50SAC25	0.854	3.3
6	7	95SAC25	0.064	2.77
7	8	95SAC25	0.505	2.65
7	22	50SAC25	0.312	3.4
8	9	95SAC25	0.13	2.64
9	10	95SAC25	0.291	2.54
9	32	50SAC25	0.394	3.31
10	11	95SAC25	0.091	2.23
14	16	50SAC25	0.017	3.87
16	17	50SAC25	0.222	3.57

ตารางที่ ๑.2 ข้อมูลสายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ต่อ)

From Bus	To Bus	ชนิดของสาย	ความยาว (km)	Fault rate (fault/year)
17	18	50SAC25	0.518	3.78
18	20	50SAC25	0.081	3.47
22	23	50SAC25	0.051	3.59
23	24	50SAC25	0.466	3.87
24	26	50SAC25	0.091	3.57
26	27	50SAC25	0.41	3.77
26	29	50SAC25	0.166	3.65
29	30	50SAC25	0.319	3.68
32	33	50SAC25	0.693	3.67
33	35	50SAC25	0.43	3.64

ตารางที่ ๑.3 ค่าพารามิเตอร์ลำดับบวกของสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ชนิดของสาย	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)
95SAC25	0.2107	0.3667
50SAC25	0.6667	0.4408

ตารางที่ ๑.4 ค่าพารามิเตอร์ลำดับศูนย์ของสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ชนิดของสาย	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
95SAC25	0.3913	1.3819
50SAC25	0.849	1.6557

ศูนย์วิทยศาสตร์พยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑.5 ข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

From Bus	To Bus	R1 (p.u.)	X1 (p.u.)	R0 (p.u.)	X0 (p.u.)	Transformer Type	NGR (Primary Side) (p.u.)		NGR (Secondary Side) (p.u.)	
							R	X	R	X
4	13	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground (+30°)	0	0	0	0
8	31	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0
14	15	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0
18	19	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0
20	21	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0
24	25	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0
27	28	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0
33	34	0.12	1.46	0.12	1.46	Delta -Wye ground(+30°)	0	0	0	0

ตารางที่ ๑.6 สัดส่วนการเกิดความผิดพลาดแต่ละแบบของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (%)

สมมาตร	เส้นเดียวลงดิน	สองเส้น	สองเส้นลงดิน
7	80	6	7

ตารางที่ ๑.7 ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Bus	Fault rate (fault/year)	Time to clear fault (sec.)
1	0.064	0.1
36	0.064	0.018

ตารางที่ ๑.8 ข้อมูลการจำกัดความผิดพลาดและอัตราการเกิดความผิดพลาดของหม้อแปลงไฟฟ้า
ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

From Bus	To Bus	Fault rate (fault/year)	Time to clear fault (sec.)
4	13	0.064	0.83
8	31	0.064	0.83
14	15	0.064	0.83
18	19	0.064	0.83
20	21	0.064	0.83
24	25	0.064	0.83
27	28	0.064	0.83
33	34	0.064	0.83

ตารางที่ ๑.9 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

From Bus	To Bus	CT Rate (A)	Phase Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS	Ground Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS
1	2	100	CDG11	78	1	CDG11	78	1
2	3	100	CDG11	67	1	CDG11	67	1
3	4	100	CDG11	76	1	CDG11	76	1
3	12	100	CDG14	52	1	CDG14	52	1
4	5	100	CDG11	67	1	CDG11	67	1
5	6	100	CDG11	48	1	CDG11	48	1
5	14	100	CDG14	6	1	CDG14	6	1
6	7	100	CDG11	130	1	CDG11	130	1

ตารางที่ ๑.9 ข้อมูลรีเลย์ที่ติดตั้งที่สายไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (ต่อ)

From Bus	To Bus	CT Rate (A)	Phase Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS	Ground Overcurrent Relay	PSM (%)	TMS
7	8	100	CDG11	35	1	CDG11	35	1
7	22	100	CDG14	50	1	CDG14	50	1
8	9	100	CDG11	15	1	CDG11	15	1
9	10	100	CDG11	7	1	CDG11	7	1
9	32	100	CDG14	8	1	CDG14	8	1
10	11	100	CDG11	3	1	CDG11	3	1
14	16	100	CDG14	15	1	CDG14	15	1
16	17	100	CDG14	8	1	CDG14	8	1
17	18	100	CDG14	6	1	CDG14	6	1
18	20	100	CDG14	3	1	CDG14	3	1
22	23	100	CDG14	15	1	CDG14	15	1
23	24	100	CDG14	9	1	CDG14	9	1
24	26	100	CDG14	17	1	CDG14	17	1
26	27	100	CDG14	3	1	CDG14	3	1
26	29	100	CDG14	6	1	CDG14	6	1
29	30	100	CDG14	3	1	CDG14	3	1
32	33	100	CDG14	5	1	CDG14	5	1
33	35	100	CDG14	3	1	CDG14	3	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกรกช ยศสมบัติ เกิดวันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดลพบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2548 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย