

การศึกษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย



นายวัฒนะ ลิมปำนันท์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-637-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POWER QUALITY STUDY IN A DISTRIBUTION SYSTEM



Mr. Wattana Limpananvadee

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

Department of Electrical Engineering

Graduate School

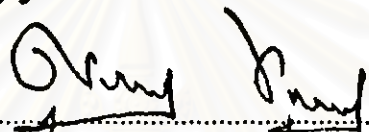
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

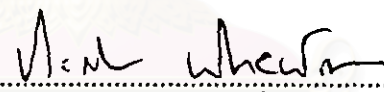
ISBN 974-639-637-4

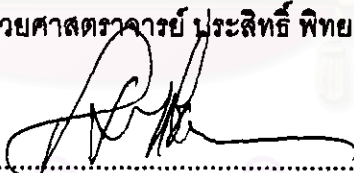
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย
โดย นายวิวัฒน์ ลิ้มปิ่นทวี
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เจื้ออากรณ์)


..... กรรมการ
(นาย พงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์)

วัฒนธรรม ลิมปนนท์วัต : การศึกษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (POWER QUALITY STUDY IN A DISTRIBUTION SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : อ. ไชยะ แซ่มซ้อย ; 170 หน้า. ISBN 974-639-637-4

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เน้นการศึกษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยติดตั้งเครื่องวัดจำนวน 79 จุดวัดบนระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงที่ระดับแรงดัน 12 และ 24 KV แต่ละจุดใช้เวลาตรวจวัดนานประมาณ 7 วัน รวมเวลาตรวจวัดทั้งหมดประมาณ 4 เดือนครึ่ง ข้อมูลที่วัดได้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าประกอบด้วย ฮาร์มอนิก ภาวะชั่วคราว แรงดันตกชั่วคราว แรงดันเกินชั่วคราว แรงดันตก แรงดันเกิน ไฟฟ้าดับ แรงดันไม่สมดุล การคุมค่าแรงดัน การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า และรูปคลื่นผิดพ้อง

ผลการศึกษาพบปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่สำคัญคือ มี I_h V_h และ THDv เกินค่ากำหนดของมาตรฐาน G.5/3-1976 จำนวน 6 จุดวัด 2 จุดวัด และ 18 จุดวัด ตามลำดับ เกิดภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งจำนวน 30 ครั้งจาก 10 จุดวัด มีแรงดันตกชั่วคราวที่สถานีย่อย 158 ครั้งและที่ผู้ใช้ไฟฟ้า 318 ครั้ง เกิดไฟฟ้าดับชั่วคราวที่สถานีย่อย 6 ครั้ง ที่ผู้ใช้ไฟฟ้า 27 ครั้ง เกิดไฟฟ้าดับถาวรนานเกิน 4 นาทีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน 24 ครั้ง และ เกิดรูปคลื่นผิดพ้องที่สถานีย่อย 13 ครั้ง และที่ผู้ใช้ไฟฟ้า 63 ครั้ง ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่ตรวจพบนี้อาจส่งผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับความเสียหาย หรือไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมแล้วสรุปได้ว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายที่ทำการศึกษายังอยู่ในเกณฑ์ดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา พ.ศ. 2541

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3971621021: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD:

POWER QUALITY / DISTRIBUTION SYSTEM

WATTANA LIMPANANVADEE : POWER QUALITY STUDY IN A DISTRIBUTION SYSTEM

THESIS ADVISOR : CHAIYA CHAMCHOY 170 pp. ISBN 974-639-637-4

This thesis emphasizes the power quality study in MEA, 12kV and 24 kV distribution systems. There are totally 79 monitoring points in the system and each point has 7-day monitoring period. This gives the total monitoring period approximately 4 and a half months. The obtained monitoring data is analyzed to evaluate various power quality parameters such as harmonics, transients, voltage sags, voltage swells, undervoltages, overvoltages, interruptions, voltage unbalances, voltage regulations, power frequency variations and waveshape faults.

The results show that power quality problems are caused by high values of individual harmonic currents(Ih), individual harmonic voltages(Vh) and total harmonic voltage distortions(THDv). The numbers of monitoring point that Ih, Vh and THDv are over the limit given by G.5/3-1976 standard are 6, 2 and 18, respectively. There are 30 transients occurred from 10 monitoring points, 158 voltage sags at substations, 318 voltage sags at customers, 6 short interruptions at substations, 27 short interruptions at customers, 4 interruptions that last longer than 4 minutes at customers and 13 and 63 waveshape faults at substations and customers, respectively. These problems can cause damages or malfunctions of devices. However, overall results summarize that power quality in this distribution system is within the limit given by the standards.

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา.....พ.ศ. 2541

ลายมือชื่อนิติ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Dr. Chandey*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์และคุณพงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่ง เนื่องจากทุนการศึกษาในระดับปริญญาโททั้งหมดนี้ ได้รับการสนับสนุนจาก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญต่อการศึกษาในระดับสูงของนิสิตนักศึกษา ซึ่งจะเป็นการวางรากฐานที่สำคัญอันจะนำไปสู่การพัฒนาของประเทศไทย อย่างแท้จริง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา - มารดาที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา และทุก ๆ ท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วัฒนะ ลิมปนนท์

กันยายน 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	4
2. ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	5
2.1 นิยามทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	6
2.1.1 ภาวะชั่วคราว.....	10
2.1.2 การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้น.....	10
2.1.3 การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลายาว.....	15
2.1.4 แรงดันไม่สมดุล.....	16
2.1.5 ความผิดเพี้ยนรูปคลื่น.....	17
2.1.6 แรงดันกระเพื่อม.....	32
2.1.7 การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า.....	33
2.2 สาเหตุและผลกระทบของปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	36
2.3 กราฟเส้นโค้งที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ต่อปัญหาทางด้าน คุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	39

2.4	มาตรฐานในประเทศที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	41
3.	การสำรวจข้อมูล.....	44
3.1	การคัดเลือกสายป้อน.....	44
3.2	ระยะเวลาที่ใช้ตรวจวัดและตำแหน่งของจุดที่ติดตั้งเครื่องวัด.....	49
3.3	การดำเนินการตรวจวัดข้อมูล.....	50
3.4	อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดข้อมูล.....	60
3.4.1	หลักการการทำงานของเครื่องวัด.....	61
3.5	ข้อมูลที่ตรวจวัด.....	64
4.	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	65
4.1	การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	65
4.2	การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก.....	66
4.2.1	การวิเคราะห์ระดับ lh.....	66
4.2.2	การวิเคราะห์ระดับ THDv.....	80
4.2.3	การวิเคราะห์ระดับ Vh.....	92
4.3	การวิเคราะห์ภาวะชั่วคราว.....	102
4.4	การวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้นและยาว.....	113
4.5	การวิเคราะห์แรงดันไม่สมดุล.....	141
4.6	การวิเคราะห์การคุมค่าแรงดัน.....	143
4.7	การวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า.....	145
4.8	การวิเคราะห์รูปคลื่นผิดพ้อง.....	156
4.9	สรุปผลการวิเคราะห์.....	160
5.	สรุปและข้อเสนอแนะ	162
	รายการอ้างอิง.....	164
	ภาคผนวก.....	165
	ก. การตรวจจับเหตุการณ์ของเครื่องวัด.....	166
	ประวัติผู้เขียน.....	170

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา.....	9
2.2 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์ภาวะชั่วครู่.....	10
2.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันตกชั่วครู่.....	12
2.4 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันเกินชั่วครู่.....	12
2.5 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับชั่วครู่.....	14
2.6 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันเกิน.....	15
2.7 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันตก.....	15
2.8 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับถาวร.....	16
2.9 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันไม่สมดุล.....	16
2.10 Compatibility levels for individual harmonic voltages in low voltage networks	20
2.11 Compatibility levels for individual harmonic voltages in 3 classes of environment.....	22
2.12 Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of U_n (Nominal Voltage of the system) ($U_n \leq 1000V$).....	23
2.13 Values of individual harmonic voltages at the supply terminals for orders up to 25 given in percent of U_c (Declared supply voltage) ($1 \text{ kV} < U_c \leq 35 \text{ kV}$).....	24
2.14 การเปรียบเทียบค่าจำกัดแรงดันฮาร์มอนิกจากมาตรฐานจำนวน 5 ฉบับ.....	25
2.15 Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69 000 V).....	27
2.16 Current Distortion Limits for General Subtransmission Systems (69 001 V Through 161 000 V).....	28

2.17 Current Distortion Limits for General Transmission Systems (>161 kV), Dispersed Generation and Cogeneration.....	28
2.18 Maximum sizes of individual Converter and A.C. Regulator equipments under stage 1 limits.....	29
2.19 Permitted harmonic currents for any one consumer at point of common coupling under stage 2 limits.....	29
2.20 การเปรียบเทียบค่าจำกัดกระแสฮาร์มอนิกจากมาตรฐานจำนวน 2 ฉบับ.....	30
2.21 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์สัญญาณรบกวน.....	31
2.22 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันกระเพื่อม.....	33
2.23 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์การแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้า....	34
2.24 สาเหตุและผลกระทบของปรากฏการณ์ทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้า.....	36
2.25 ค่าแรงดัน Service and Utilization ของ Secondary service.....	42
2.26 ค่าแรงดัน Service and Utilization ของ Primary service.....	42
2.27 ค่าแรงดันต่ำสุดและสูงสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	43
3.1 รายการตัวอย่างสายป้อนที่จะติดตั้งเครื่องวัดเพื่อศึกษาปัญหาทางด้านคุณภาพ กำลังไฟฟ้าที่ได้ถูกคัดเลือกไว้ในรอบแรก.....	46
3.2 การกระจายตัวของสายป้อนและจุดวัดข้อมูล.....	51
3.3 รายละเอียดสายป้อนและผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้ติดตั้งเครื่องวัด.....	53
4.1 สรุปผลการวิเคราะห์ Ih ที่จุดวัดต่างๆ.....	71
4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ THDv ที่จุดวัดต่างๆ.....	83
4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ Vh ที่จุดวัดต่างๆ.....	94
4.4 สรุปผลการวิเคราะห์ภาวะชั่วครู่ชนิดแกว่งที่จุดวัดต่างๆ.....	107
4.5 เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้นและยาว.....	113
4.6 สรุปผลการวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนช่วงระยะเวลาสั้นและยาวที่จุดวัดต่างๆ.....	118
4.7 สรุปค่าที่เกิดขึ้นที่สถานีย่อย และผู้ใช้ไฟฟ้า.....	135
4.8 สรุปผลการวิเคราะห์ Voltage Regulation, Voltage Unbalance และ Power Frequency Variation ของสถานีย่อยที่จุดวัดต่างๆ.....	147
4.9 สรุปผลการวิเคราะห์ Voltage Regulation, Voltage Unbalance และ Power Frequency Variation ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุดวัดต่างๆ.....	149

- 4.10 รูปผลการวิเคราะห์รูปคลื่นผิดพร่องของสถานีย่อยที่จุดวัดต่างๆ 158
- 4.11 รูปผลการวิเคราะห์รูปคลื่นผิดพร่องของผู้ใช้ไฟฟ้าที่จุดวัดต่างๆ 159



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างกระแสฟ้าผ่าที่ทำให้เกิดภาวะชั่วคราวชนิดอิมพัลส์(Impulsive Transient) ขึ้นบนระบบจำหน่าย.....	11
2.2 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่ง(Oscillatory Transient)ที่เกิดจากการต่อตัวเก็บประจุเข้าไปใน ระบบ.....	11
2.3 แรงดันตกชั่วคราวที่เกิดจากความผิดพลาดชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์.....	13
2.4 แรงดันเกินชั่วคราวที่เกิดจากความผิดพลาดชนิดเฟสเดียวต่อกราวด์.....	13
2.5 ไฟฟ้าดับชั่วคราวที่เกิดจากความผิดพลาดและผลของการต่อวงจรกลับ.....	14
2.6 ตัวอย่างแนวโน้มของแรงดันไม่สมดุลของสายป้อนตามบ้านพักอาศัย.....	17
2.7 ตัวอย่างปรากฏการณ์ขององค์ประกอบไฟตรง.....	18
2.8 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสและฮาร์โมนิกของกระแสชุดรับเคลื่อนปรับความเร็วได้.....	18
2.9 ตัวอย่างแรงดันคลื่นรบกวนที่เกิดจากการทำงานของตัวแปลงผัน.....	30
2.10 ตัวอย่างรูปคลื่นผิดพลาด.....	31
2.11 เกณฑ์วัดระดับความรุนแรงของแรงดันกระเพื่อม.....	32
2.12 แรงดันกระเพื่อมที่เกิดจากการทำงานของเตาหลอมแบบอาร์ค.....	33
2.13 พารามิเตอร์ที่กำหนดโดย IEC 1000-2-1-1990.....	34
2.14 พารามิเตอร์ที่กำหนดโดย prEN50160-1993.....	35
2.15 พารามิเตอร์ที่กำหนดโดย IEEE std.1159-1995.....	35
2.16 Typical computer voltage tolerance (CBEMA CURVE).....	40
2.17 ขอบเขตที่ยอมรับได้และขอบเขตที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะไม่สามารถทำงานได้.....	40
3.1 ตัวอย่างของการติดตั้งเครื่องวัดตามตำแหน่งของสายป้อน.....	49
3.2 หลักการทำงานของเครื่องวัด.....	61
4.1 ตัวอย่างรูปคลื่นกระแสที่ทำการ Snap short.....	67
4.2 lh แต่ละอันดับของค่าจำกัดที่ระดับแรงดัน 11 kV และ 33kV ของ G.5/3-1976.....	68
4.3 lh แต่ละอันดับเปรียบเทียบกับค่าจำกัดมาตรฐาน G.5/3-1978.....	69

4.4 ระดับแรงดันเฉลี่ย ณ จุดวัดข้อมูลที่แปรเปลี่ยนตามเวลา.....	81
4.5 ระดับ THDv ณ จุดวัดข้อมูลที่แปรเปลี่ยนตามเวลา.....	82
4.6 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันที่ทำการ Snap short.....	92
4.7 Vh แต่ละอันดับเปรียบเทียบกับมาตรฐาน G.5/3-1976.....	93
4.8 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่เกิดขึ้นจริงในระบบจำหน่ายพร้อมกันทั้ง 3 เฟส.....	103
4.9 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่จะนำมาวิเคราะห์.....	104
4.10 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่ลดลงเหลือ 1 ไซเคิล.....	104
4.11 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่ทรงความถี่หลักหลุดออกไป.....	105
4.12 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่ผ่านกระบวนการ FFT.....	105
4.13 ขนาดสูงสุดของภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่เกิดขึ้น.....	109
4.14 ช่วงเวลาที่เกิดของภาวะชั่วคราวชนิดแกว่ง.....	110
4.15 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่มีขนาดสูงสุด 3 ลำดับ.....	111
4.16 ภาวะชั่วคราวชนิดแกว่งที่มีขนาดต่ำสุด 3 ลำดับ.....	112
4.17 แรงดันตกชั่วคราวที่เกิดจากการลัดวงจร.....	114
4.18 ไฟฟ้าดับชั่วคราวที่เกิดจากการเปิดวงจรหลังเกิดการลัดวงจร.....	115
4.19 ขนาดและระยะเวลาของการเกิดปรากฏการณ์แรงดันตกชั่วคราว.....	116
4.20 RMS Voltage Variation Rate ของสถานีย่อย 27 จุดวัด.....	127
4.21 RMS Voltage Variation Rate ของผู้ใช้ไฟฟ้า 52 จุดวัด.....	128
4.22 RMS Voltage Variation Rate ของจุดวัดทั้งหมด 79 จุดวัด.....	129
4.23 RMS Voltage Variation Rate ต่อจุดวัดต่อสัปดาห์.....	130
4.24 Sag and Interruption Rate Magnitude Histogram ของสถานีย่อย 27 จุดวัด.....	131
4.25 Sag and Interruption Rate Magnitude Histogram ของผู้ใช้ไฟฟ้า 52 จุดวัด.....	132
4.26 Sag and Interruption Rate Magnitude Histogram ของจุดวัดทั้งหมด 79 จุดวัด.....	133
4.27 Sag and Interruption Rate Magnitude Histogram ต่อจุดวัดต่อสัปดาห์.....	135
4.28 CBEMA Curve ของสถานีย่อย 27 จุดวัด.....	136
4.29 CBEMA Curve ของผู้ใช้ไฟฟ้า 52 จุดวัด.....	137
4.30 CBEMA Curve ของจุดวัดทั้งหมด 79 จุดวัด.....	138
4.31 แผนภูมิวงกลมแสดงเปอร์เซ็นต์ของภาวะชั่วคราว และการแปรเปลี่ยนของ ค่าประสิทธิผล.....	140

4.32 ตัวอย่างแรงดันไม่สมดุลของจุดวัดจุดหนึ่งในช่วงเวลา 1 สัปดาห์.....	142
4.33 ตัวอย่างการคุมค่าแรงดันของจุดวัดจุดหนึ่งในช่วงเวลา 1 สัปดาห์.....	144
4.34 ตัวอย่างการแปรเปลี่ยนความถี่กำลังไฟฟ้าของจุดวัดจุดหนึ่งในช่วงเวลา 1 สัปดาห์.....	146
4.35 แรงดันไม่สมดุลที่แสดงการแปรเปลี่ยนตามเวลาในช่วงเวลา 1 สัปดาห์.....	153
4.36 การคุมค่าแรงดันที่แสดงการแปรเปลี่ยนตามเวลาในช่วงเวลา 1 สัปดาห์.....	154
4.37 รูปคลื่นผิดพร่องที่เกิดจากการจ่ายภาระไฟฟ้า.....	156
4.38 รูปคลื่นผิดพร่องที่เกิดจากสวิตช์ชุดเก็บประจุ.....	157
4.39 รูปคลื่นผิดพร่องที่เกิดจากการลัดวงจร.....	157
4.40 รูปคลื่นผิดพร่องที่ไม่สามารถระบุสาเหตุได้.....	158
ก.1 ลักษณะการบันทึกเหตุการณ์ของเครื่องวัด.....	166
ก.2 Event 430 (Transition Event)	167
ก.3 Event 440 (Waveform Event).....	167
ก.4 Event 450 (Transition Event).....	168
ก.5 Event 30 (Transition Event)	168
ก.6 Event 40 (Rms Event)	169