โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15

นายนฤพร สุขมาก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FLICKERMETER PROGRAM BASED ON IEC 61000-4-15

Mr.Naruporn Sukmak

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

/ 510970

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15
โดย	นายนฤพร สุขมาก
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.ณัฐภพ นิ่มปิติวัน)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย)

นายนฤพร สุขมาก : โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15. (Flickermeter Program based on IEC 61000-4-15) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์, 127 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 ซึ่งเกี่ยวกับการวัดสัญญาณแรงดัน 230 V และมีความถี่ 50 Hz โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบนี้จะแสดงค่าดรรชนีไฟกะพริบระยะสั้นและค่าดรรชนีไฟกะพริบระยะยาวทั้ง 3 เฟสในรูปแบบของปฏิทิน ที่มีความคล่องตัวในการแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้สามารถสังเกตและเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันหรือสัปดาห์ได้ สามารถย่อหรือขยายรูป บันทึกรูปและแสดงค่าข้อมูลที่จุดนั้นได้อย่างชัดเจนและง่ายดาย ซึ่งผู้ใช้สามารถนำข้อมูลดรรชนีไฟกะพริบที่ได้จากการสังเกตและเปรียบเทียบไปปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบดังกล่าวยังได้รับการทดสอบกับสัญญาณจริงเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถนำไปพัฒนาใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....นฤพร สุขมาก.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2551..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

4970383821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: POWER QUALITY / FLICKERMETER

NARUPORN SUKMAK : FLICKERMETER PROGRAM BASED ON IEC 61000-4-15 .

THESIS PRINCIPAL ADVISOR : THAVATCHAI TAYJASANANT, 127 pp.

This thesis presents a developed flickermeter program. The program is based on the international standard IEC 61000-4-15, which relates to measurements of 230 V 50 Hz. The flickermeter program can display short-term flicker severity and long-term flicker severity in three phases in the calendar format. The program offers flexibility in displaying results. The user can observe and compare daily or weekly data, zoom - in, zoom - out, save and display data clearly and easily. The user can utilize the flicker severity indices obtained from the observation and comparison to improve an electrical system. Moreover, the program was tested with the actual signals from the field measurement to verify the potential of the practical development.

Department.....Electrical Engineering..... Student's signature.....Naruporn Sukmak.....

Field of study.....Electrical Engineering..... Thesis advisor's signature .....

Academic year .....2008..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

ขอขอบคุณอาจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย ที่ช่วยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการพัฒนาในส่วนของการแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

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

ขอขอบคุณ กองวิจัยและพัฒนา และกองพัฒนาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง พร้อมทั้งผู้บริหารและเพื่อนพนักงานประจำกองทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือในด้านข้อมูลต่างๆ และคำปรึกษาพร้อมทั้งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ที่ให้คำปรึกษาและกำลังใจตลอดมา

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้มอบโอกาสอันสูงสุดแห่งชีวิตแก่ผู้วิจัย คือ การศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินการ 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ 3

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3

2 การวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดไฟกะพริบจากหลอดไส้และหลอดฟลูออเรสเซนต์ 4

2.1 หลักการทำงานของหลอดไส้ 4

2.2 ผลตอบสนองของหลอดไส้ภายใต้แรงดันไฟกะพริบ 5

2.3 หลักการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์ 11

2.4 ผลตอบสนองของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แม่เหล็กภายใต้แรงดันที่ผิดเพี้ยน 12

2.5 ผลกระทบของหลอดไฟของผู้อยู่อาศัยภายใต้แรงดันไฟกะพริบ 17

3 แบบจำลองของเครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 27

3.1 บล็อกที่ 1 วงจรตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบและการปรับค่าแรงดันขาเข้า 27

3.2 บล็อกที่ 2 การยกกำลังสอง 27

3.3 บล็อกที่ 3 ตัวกรอง 27

3.4 บล็อกที่ 4 ตัวคูณยกกำลังสอง และตัวกรอง Sliding 32

3.5 บล็อกที่ 5 กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติ 32

บทที่ หน้า

3.5.1 การคำนวนดรรชนีไฟกะพริบระยะสั้น 32
3.5.2 การคำนวนดรรชนีไฟกะพริบระยะยาว 33
3.6 ขาออก 33
3.6.1 ขาออกที่ 1 33
3.6.2 ขาออกที่ 2 33
3.6.3 ขาออกที่ 3 34
3.6.4 ขาออกที่ 4 34
3.6.5 ขาออกที่ 5 34
3.6.6 ขาออกที่ 6 34
4 การพัฒนาโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ 35
4.1 การพัฒนาโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ 36
4.2 ส่วนเก็บค่าดรรชนีไฟกะพริบ 39
4.3 การแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน 41
4.3.1 การแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน 42
4.3.2 การแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งเดือนในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา 44
4.3.3 การแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละสัปดาห์ 47
4.3.4 การแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวัน 49
4.3.4.1 การเปรียบเทียบค่า P_{st} หรือ P_{lt} ระหว่างวัน 49
4.3.4.2 การเปรียบเทียบแบบเส้นกราฟความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Curve) ระหว่างวัน 51
4.3.4.3 การเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่งระหว่างวัน 53
4.3.5 การแสดงผลข้อมูลแต่ละวัน 56
4.3.5.1 การเปรียบเทียบค่า P_{st} หรือ P_{lt} แต่ละวัน 56
4.3.5.2 การเปรียบเทียบแบบเส้นกราฟความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Curve) แต่ละวัน 58
4.3.5.3 การเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่งแต่ละวัน 59

บทที่ หน้า

5 การทดสอบโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ 63
5.1 การทดสอบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 63
5.1.1 การวิเคราะห์ผลตอบสนองอนาล็อก 63
5.1.2 การวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม 69
5.2 การทดสอบโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบกับสัญญาณแรงดันจริง 69
5.2.1 โปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบที่ต่อผ่านการ์ด DAQ 72
5.2.2 เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa (ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 83
5.2.3 เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke (ของการไฟฟ้านครหลวง) 88
5.3 ความคลาดเคลื่อนจากการวัด 92
5.4 การวิเคราะห์ผลการวัดจากโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ 94
6 สรุปและข้อเสนอแนะ 102
6.1 สรุปผลการวิจัย 102
6.2 ข้อเสนอแนะ 103
รายการอ้างอิง 104
ภาคผนวก 106
ภาคผนวก ก การสะท้อนของแสงผ่านรูม่านตา 107
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวนหาค่าดรรชนีไฟกะพริบระยะสั้น 108
ภาคผนวก ค Data Acquisition (DAQ) รุ่น UBS NI 9215A 114
ภาคผนวก ง การออกแบบและทดสอบฮาร์ดแวร์ 116
ภาคผนวก จ การบันทึกและอ่านค่าสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW 121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	หลอดไฟที่ใช้ในการทดสอบ	20
2.2	ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้	20
2.3	ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก	22
2.4	ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	24
3.1	ค่าตัวแปรในสมการที่ (3.3)	31
5.1	ผลตอบสนองของเครื่องวัดไฟกะพริบ เมื่อแรงดันถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นไซน์	64
5.2	ผลตอบสนองของเครื่องวัดไฟกะพริบ เมื่อแรงดันถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	65
5.3	ผลการทดสอบของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ เมื่อป้อนข้อมูลตามตารางที่ 5.1 (เมื่อแรงดันถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นไซน์)	66
5.4	ผลการทดสอบของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ เมื่อป้อนข้อมูลตามตารางที่ 5.2 (เมื่อแรงดันถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม)	67
5.5	การทดสอบผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	69
5.6	ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบที่ต่อผ่านการ์ด DAQ กับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa (อ้างอิงกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa)	94
5.7	ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดระหว่างโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบที่ต่อผ่านการ์ด DAQ กับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke (อ้างอิงกับเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke)	94
5.8	ขีดจำกัดสำหรับค่าความรุนแรงของไฟกะพริบระยะสั้น (P_{st}) และค่าความรุนแรงของไฟกะพริบระยะยาว (P_{lt}) เมื่อรวมแหล่งกำเนิดแรงดันกระเพื่อมทั้งหมดที่มีผลต่อระบบไฟฟ้า ณ จุดใดๆ	95
5.9	ค่า P_{st} ที่มีค่ามากกว่า 1	95
5.10	ค่า P_{lt} ที่มีค่ามากกว่า 0.8	96
ง.1	การทดสอบหม้อแปลงทั้ง 3 ตัว	117
ง.2	การทดสอบรวม (ตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันและระบบป้องกันแรงดันเกิน)	120

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของหลอดไส้	4
2.2	วงจรสมมูลของหลอดไส้	6
2.3	การจำลองเมื่อหลอดไส้ได้รับรูปคลื่นแรงดันที่ถูกมอดูเลต ด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	7
2.4	ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ส่องสว่างเมื่อหลอดไส้ได้รับแรงดัน รูปคลื่นไซน์ที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	8
2.5	การจำลองผลเมื่อหลอดไส้ได้รับแรงดันรูปคลื่นไซน์ที่ถูกมอดูเลต ด้วยรูปคลื่นไซน์	9
2.6	ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ส่องสว่างเมื่อหลอดไส้ได้รับแรงดัน รูปคลื่นไซน์ที่ถูกมอดูเลตด้วยรูปคลื่นไซน์	9
2.7	แรงดันอาร์เอ็มเอสที่มีอินเตอร์ฮาร์มอนิก	10
2.8	วงจรพื้นฐานของหลอดฟลูออเรสเซนต์	11
2.9	หลอดไส้	13
2.10	หลอดฟลูออเรสเซนต์	13
2.11	ผลของความผิดเพี้ยนแรงดันกับมุม γ และกระแส	14
2.12	หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก	15
2.13	ผลตอบสนองของวงจรตามรูปที่ 2.12	16
2.14	การทดสอบของหลอดฟลูออเรสเซนต์	16
2.15	เส้นโค้งความไวของ UIE	18
2.16	ระบบที่ใช้ทดสอบหลอดไฟ	18
2.17	รูปคลื่นแรงดันและกระแสของหลอดไส้ I1 ที่ $\Delta V_{10} = 0\%$	19
2.18	รูปคลื่นลักส์ของหลอดไส้ I1 ที่ค่า ΔV_{10} แตกต่างกัน	21
2.19	สเปกตรัมความถี่ของรูปคลื่นลักส์ของหลอดไส้ I1 ที่ค่า ΔV_{10} แตกต่างกัน	21
2.20	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta\text{Lux}(\%)$ และ $\Delta V_{10}(\%)$ ของหลอดไส้	21
2.21	รูปคลื่นแรงดันและกระแสของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก F2 ที่ $\Delta V_{10} = 0\%$	22

รูปที่ หน้า

2.22 รูปคลื่นลักส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปที่ใช้บัสลาสต์แกนเหล็ก F2 ที่ค่า ΔV_{10} แตกต่างกัน 22
2.23 สเปกตรัมความถี่ของรูปคลื่นลักส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปที่ใช้บัสลาสต์แกนเหล็ก F2 ที่ค่า ΔV_{10} แตกต่างกัน 23
2.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta \mathrm{Lux}(\%)$ และ $\Delta V_{10}(\%)$ ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัสลาสต์แกนเหล็ก 23
2.25 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ C2 ที่ $\Delta V_{10} = 0\%$ 24
2.26 รูปคลื่นลักส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ C2 ที่ค่า ΔV_{10} แตกต่างกัน 24
2.27 สเปกตรัมความถี่ของรูปคลื่นลักส์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ C2 ที่ค่า ΔV_{10} แตกต่างกัน 25
2.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\Delta \mathrm{Lux}(\%)$ และ $\Delta V_{10}(\%)$ ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัสลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ 25
2.29 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของลักส์ของหลอดไฟที่ได้รับแรงดันไฟกะพริบ 26
3.1 เครื่องวัดไฟกะพริบตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 28
3.2 คุณลักษณะของตัวกรองความถี่สูงอันดับ 1 29
3.3 คุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำชนิด Butterworth อันดับ 6 สำหรับระบบ 230 V/50 Hz 30
3.4 คุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำชนิด Butterworth อันดับ 6 สำหรับระบบ 120 V/60 Hz 30
3.5 คุณลักษณะของตัวกรอง Weighting สำหรับระบบ 230 V/50 Hz 31
3.6 คุณลักษณะของตัวกรอง Weighting สำหรับระบบ 120 V/60 Hz 31
3.7 คุณลักษณะของตัวกรองความถี่ต่ำอันดับ 1 32
4.1 การทำงานของโปรแกรม 36
4.2 การบันทึกสัญญาณแรงดันของข้อมูลชุด A และ B 37
4.3 การบันทึกสัญญาณแรงดันของข้อมูลชุด A (ชุดเดียว) 38

รูปที่ หน้า

4.4 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ 38

4.5 หน้าจอของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ 39

4.6 แผนผังขั้นตอนการทำงานของส่วนเก็บค่าดรรชนีไฟกะพริบ 40

4.7 หน้าจอของส่วนบันทึกค่าดรรชนีไฟกะพริบ 41

4.8 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมก่อนที่จะทำการแสดงผล 42

4.9 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน 43

4.10 หน้าจอการแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน 44

4.11 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งเดือน ในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา 45

4.12 หน้าจอการแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งเดือนในรูปแบบ ของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา 46

4.13 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูล แต่ละสัปดาห์ 47

4.14 หน้าจอการแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละสัปดาห์ 48

4.15 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลการเปรียบเทียบค่า P_{st} หรือ P_{lt} ระหว่างวัน 50

4.16 หน้าจอการแสดงผลการเปรียบเทียบค่า P_{st} หรือ P_{lt} ระหว่างวัน 51

4.17 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการเปรียบเทียบแบบเส้นกราฟ ความน่าจะเป็นสะสมระหว่างวัน 52

4.18 หน้าจอการเปรียบเทียบแบบเส้นกราฟความน่าจะเป็นสะสมระหว่างวัน 53

4.19 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่งระหว่างวัน 54

4.20 การเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่งระหว่างวัน 55

4.21 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการแสดงผลการเปรียบเทียบค่า P_{st} หรือ P_{lt} แต่ละวัน 56

4.22 หน้าจอการแสดงผลการเปรียบเทียบค่า P_{st} หรือ P_{lt} ในแต่ละวัน 57

4.23 แผนผังการทำงานของการเปรียบเทียบแบบเส้นกราฟความน่าจะเป็นสะสม แต่ละวัน 58

4.24 หน้าจอการเปรียบเทียบแบบเส้นกราฟความน่าจะเป็นสะสมแต่ละวัน 59

รูปที่ หน้า

4.25 แผนผังขั้นตอนการทำงานของการเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่งแต่ละวัน 60
4.26 การเปรียบเทียบแบบแผนภูมิแท่งแต่ละวัน 61
5.1 จุดจ่ายไฟฟ้าให้กับสถานีย่อยบางโพงพาง 70
5.2 จุดที่ทำการวัดในสถานีย่อยบางโพงพาง 70
5.3 สายป้อนต่าง ๆ ในสถานีย่อยบางโพงพาง 71
5.4 การต่อวัดสัญญาณแรงดันที่รีเลย์ (R Y และ B) 71
5.5 การต่อกับสายนิวทรอล (N) 71
5.6 จุดต่อร่วมของเครื่องวัดทั้ง 3 เครื่องวัด 72
5.7 การต่อสายที่เครื่องวัด Power Visa 72
5.8 การต่อสายที่ตัวตรวจวัดแรงดันและระบบป้องกันแรงดันเกิน 73
5.9 การต่อสายที่การ์ด DAQ 73
5.10 การต่อสายจากการ์ด DAQ ไปยังพอร์ต USB ของโน้ตบุ๊ต 73
5.11 ภาพด้านข้างของการต่อวงจรของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบที่ต่อผ่านการ์ด DAQ 73
5.12 หน้าจอของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ (ก่อนถึงเวลาที่เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 75
5.13 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน (ก่อนถึงเวลาที่เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 75
5.14 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งเดือนในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา(ก่อนถึงเวลาที่เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 76
5.15 หน้าจอของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ (เมื่อถึงเวลาที่เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 76
5.16 หน้าจอของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 30 นาที) 77
5.17 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 30 นาที) 77
5.18 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งเดือนในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 30 นาที) 78

รูปที่ หน้า

5.19 หน้าจอของโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 78
5.20 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบปฏิทิน (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 79
5.21 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลทั้งเดือนในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 79
5.22 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละสัปดาห์ (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 80
5.23 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบค่า P_{st} ระหว่างวัน (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 80
5.24 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบกราฟความสะสมระหว่างวัน (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 81
5.25 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลการเปรียบเทียบรูปแบบแผนภูมิแท่ง (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 81
5.26 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลค่า P_{st} ของวันที่ 20 กรกฎาคม 2551 (หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 82
5.27 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบกราฟความสะสมของวันที่ 20 กรกฎาคม 2551(หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 82
5.28 หน้าจอของโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิแท่งของวันที่ 20 กรกฎาคม 2551(หลังจากเริ่มวัดสัญญาณแรงดัน 25 วัน) 83
5.29 การต่อสายที่เครื่องวัด Power Visa 84
5.30 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa (หลังตั้งเวลาเริ่มต้น) 84
5.31 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa (เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 85
5.32 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa โหมดอ่านค่าแรงดัน (เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 85
5.33 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa โหมดอ่านดรรชนีไฟกะพริบ (เริ่มวัดสัญญาณแรงดัน) 85

รูปที่ หน้า

5.34 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa(หลังจากวัดสัญญาณแรงดัน 17 วัน) 86
5.35 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa โหมดสโคป(หลังจากวัดสัญญาณแรงดัน 17 วัน) 86
5.36 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa โหมดอ่านค่าดรรชนีไฟกะพริบ (หลังจากวัดสัญญาณแรงดัน 17 วัน) 86
5.37 หน้าจอของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa โหมดอ่านข้อมูลของค่าดรรชนีไฟกะพริบ (หลังจากวัดสัญญาณแรงดัน 17 วัน) 87
5.38 โปรแกรม Dran-View เพื่ออ่านข้อมูลที่เก็บได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa (ข้อมูล P_{st} ทั้ง 3 เฟส)การต่อสายที่การ์ด DAQ 87
5.39 โปรแกรม Dran-View เพื่ออ่านข้อมูลที่เก็บได้จากเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa (ข้อมูล P_{lt} (Slide) ทั้ง 3 เฟส) 88
5.40 การต่อสายของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 89
5.41 ค่า P_{st} ทั้ง 3 เฟส ในช่วงที่ 1 ของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 89
5.42 ค่า P_{lt} ทั้ง 3 เฟส ในช่วงที่ 1 ของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 90
5.43 ค่า P_{st} ทั้ง 3 เฟส ในช่วงที่ 2 ของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 90
5.44 ค่า P_{lt} ทั้ง 3 เฟส ในช่วงที่ 2 ของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 91
5.45 ค่า P_{st} ทั้ง 3 เฟส ในช่วงที่ 3 ของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 91
5.46 ค่า P_{lt} ทั้ง 3 เฟส ในช่วงที่ 3 ของเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke 92
5.47 การเปรียบเทียบค่า P_{st} จากโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa และเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke ของเฟส A 92
5.48 การเปรียบเทียบค่า P_{st} จากโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa และเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke ของเฟส B 93
5.49 การเปรียบเทียบค่า P_{st} จากโปรแกรมเครื่องวัดไฟกะพริบ เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Power Visa และเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า Fluke ของเฟส C 93
ก.1 เส้นทางของสัญญาณในการสะท้อนของแสงผ่านรูม่านตา 107
ข.1 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันขาเข้า 108
ข.2 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันขาเข้า (รูปขยาย) 109

รูปที่ หน้า

ข.3 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 1 109
ข.4 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 2 110
ข.5 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 3 110
ข.6 รูปคลื่นสัญญาณที่ออกจากบล็อกที่ 4 111
ข.7 กราฟ CPF ของบล็อกที่ 5 112
ข.8 วิธีการหา Linear interpolation 112
ค.1 DAQ รุ่น UBS NI 9215A 114
ค.2 ช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A 115
ค.3 การต่อแต่ละช่องสัญญาณของ DAQ รุ่น UBS NI 9215A 115
ง.1 หม้อแปลงแรงดัน 220 V:6 V 116
ง.2 วงจรป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน 118
ง.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้าและขาออกของวงจรป้องกัน 118
ง.4 ส่วนของฮาร์ดที่ได้จากการออกแบบและทดสอบ (ด้านบน) 119
ง.5 ส่วนของฮาร์ดที่ได้จากการออกแบบและทดสอบ (ด้านข้าง) 119
จ.1 ตัวอย่างหน้าจอแสดงผลของโปรแกรม LabVIEW 121
จ.2 ตัวอย่าง Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW 122
จ.3 หลักการทำงานของโปรแกรม LabVIEW 123
จ.4 หน้าจอของโปรแกรมที่บันทึกค่าสัญญาณ 124
จ.5 Block Diagram ของโปรแกรมที่บันทึกค่าสัญญาณ 124
จ.6 รายละเอียดของคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วนที่ใช้ในการบันทึก
ค่าสัญญาณ 124
จ.7 หน้าจอของโปรแกรมที่อ่านค่าสัญญาณ 125
จ.8 Block Diagram ของโปรแกรมที่อ่านค่าสัญญาณ 125
จ.9 รายละเอียดของคำสั่ง TDMS แบบรวมทุกส่วนที่ใช้ในการอ่านค่าสัญญาณ 126