ระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์

นาย ชนวรรณ เกตุดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3776-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

18 มี.ค. 2549

I21234000

A LINUX BASED SCADA SYSTEM

Mr. Chanawan Khetdee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3776-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์
โดย	นายชนวรรณ เกตุดี
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวธีรานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์)

ชนวรรณ เกตุดี : ระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์.(A LINUX BASED SCADA SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ , 152 หน้า. ISBN 974-17-3776-9.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาระบบสกาดาซึ่งเป็นระบบวัดและบันทึกข้อมูลในอุตสาหกรรมบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ ระบบมีคุณสมบัติในการรวบรวมข้อมูลวัดจาก RTU (Remote Terminal Unit) นำมาแสดงผลการทำงานในขณะเวลาจริงพร้อมทั้งการเตือนภัยในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายรวมถึงการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล ระบบที่พัฒนามีคุณสมบัติต่างๆของสกาดาพร้อมทั้งให้บริการทางด้านเครือข่ายในรูปแบบของระบบรับ-ให้บริการ (Client-Server) โดยระบบรับบริการเป็นได้ทั้งวินโดว์และลีนุกซ์ ผลจากการทดลองสร้างระบบสกาดาพบว่าการพัฒนาระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากระบบปฏิบัติการมีการจัดการทรัพยากรอย่างดีและมีเครื่องมือสนับสนุนในการพัฒนามาก ระบบสกาดาที่ได้มีเสถียรภาพ ราคาถูกและมีคุณสมบัติเทียบเท่าระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟต์วินโดว์

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2546	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

4470694521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : SCADA / LINUX / MODBUS (ASCII) PROTOCOL /

CHANAWAN KHETDEE : A LINUX BASED SCADA SYSTEM. THESIS ADVISOR : KRISADA VISAVATEERANON, ASSOC. PROF., THESIS COADVISOR : MANOP WONGSAISUWAN, ASST. PROF., 152 pp. ISBN 974-17-3776-9.

This thesis presents the development of Supervisory Control and Data Acquisition system on Linux Operating System (SCADA). The Linux SCADA has equivalent performances which can replace that on MS-Windows. It is able to collect data from Remote Terminal Unit (RTU) and display in real-time together with alarm systems. Furthermore, it contains various functions of SCADA system. Users can use the actual monitoring applications on MS-Windows or Linux OS through client-server network service. Moreover, the Linux SCADA can be easily developed since Linux provides effective resource management and there are many available supporting tools from the Open Source Software Community. In addition, the system stability can be obtained with reasonable budget.

Department	Electrical Engineering	Student's signature	
Field of study	Electrical Engineering	Advisor's signature	
Academic year	2003	Coadvisor's signature	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผศ.ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมซึ่งได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิจัยด้วยดีตลอดมา จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี และรองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้าขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการไบโออิเลกทรอนิกส์ ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัยและสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิจัย รวมถึงเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการศึกษาอย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ของข้าพเจ้าที่ได้เลี้ยงดูและสนับสนุนด้านการศึกษาด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 บทนำทั่วไป 1

1.2 ที่มาของปัญหา 1

1.3 ประวัติการศึกษาและวิจัยระบบสกาดา (SCADA) บนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 2

1.4 วัตถุประสงค์ 2

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่

2. ทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 4

2.1 ความหมายของระบบสกาดา (SCADA) 4

2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสกาดา (SCADA) 4

2.2.1 สถานีหลัก (Master Terminal Unit) 5

2.2.2 หน่วยควบคุมปลายทางระยะไกล (Remote Terminal Unit) 7

2.2.3 ระบบสื่อสาร (Communication System) 7

2.3 การใช้งานของระบบสกาดา 8

2.4 ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 13

2.4.1 พื้นฐานของระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 13

2.4.2 คุณสมบัติของลีนุกซ์ที่สนับสนุนการทำงานของระบบสกาดา 13

2.5 การสื่อสารทางพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 14

บทที่ หน้า

2.5.1 พื้นฐานการสื่อสารข้อมูลอนุกรม 15

2.5.2 การสื่อสารด้วยมาตรฐาน RS – 232 / RS – 485..... 19

2.5.3 สื่อกลางการสื่อสารแบบมอส์ดบัส (Modbus Protocol) 21

บทที่

3. การออกแบบโครงสร้างระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 28

3.1 โครงสร้างแบบจำลองของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 28

3.3.1 โครงสร้างของสถานีหลัก (MTU)..... 28

3.3.2 โครงสร้างของหน่วยควบคุมปลายทางระยะไกล (RTU) 30

3.3.3 โครงสร้างของระบบสื่อสาร (Communication System) 32

3.2 คุณสมบัติของซอฟต์แวร์สกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 33

3.3 การออกแบบโครงสร้างทางซอฟต์แวร์ของระบบสกาดา..... 33

3.3.1 องค์ประกอบที่สำคัญของซอฟต์แวร์สกาดา..... 34

3.3.1.1 ส่วนติดต่อสื่อสารผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Serial Port) 34

3.3.1.2 ส่วนการทำงานกับฐานข้อมูล (DataBase) 42

3.3.1.3 ส่วนการติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) 45

3.3.2 ผังและโครงสร้างรายละเอียดการทำงานของซอฟต์แวร์สกาดา..... 47

3.4 เครื่องมือสำหรับการออกแบบซอฟต์แวร์สกาดา..... 52

บทที่

4. การทดสอบและประเมินผล 53

4.1 คุณลักษณะของซอฟต์แวร์ของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ต้นแบบ.... 53

4.1.1 คุณสมบัติทางซอฟต์แวร์ของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 53

4.1.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 54

4.2 ข้อกำหนดของระบบและอุปกรณ์ในการทดสอบซอฟต์แวร์ของระบบสกาดา
บนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ต้นแบบ..... 61

4.2.1 โครงสร้างการติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์สำหรับการทดสอบการทำงานของ
ระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ต้นแบบ..... 61

4.2.2 ข้อกำหนดทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของสถานีหลัก (MTU) 62

4.2.3 ข้อกำหนดทางฮาร์ดแวร์ของสถานีปลายทางระยะไกล..... 62

4.2.4 ข้อกำหนดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ..... 63

บทที่ หน้า

4.3 การทดสอบซอฟต์แวร์ของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ต้นแบบ..... 64

4.3.1 ทดสอบตามคุณสมบัติของโปรแกรม (Functional)..... 64

4.3.1.1 การทดสอบการติดต่อสื่อสารกับหน่วยควบคุมปลายทาง ระยะไกล (RTU) ตามมาตรฐาน RS-485 64

4.3.1.2 การทดสอบการแสดงผลเทียบกับเวลาจริง 69

4.3.1.3 การทดสอบการควบคุมระยะไกลเทียบกับเวลาจริง 72

4.3.1.4 การทดสอบการบันทึกข้อมูลเทียบกับเวลาจริง 77

4.3.1.5 การทดสอบระบบรับ –ให้บริการ (Client – Server) 80

4.3.2 ตรวจสอบการใช้ทรัพยากรของซอฟต์แวร์สกาดา 80

4.3.3 การคำนวณหน่วยความจำที่ใช้สำหรับการบันทึกข้อมูล..... 85

บทที่

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 88

5.1 สรุปผล 88

5.2 ข้อเสนอแนะ 90

รายการอ้างอิง 92

ภาคผนวก 94

ภาคผนวก ก รายละเอียดซอฟต์แวร์ของการสื่อสารพอร์ตอนุกรม 95

ภาคผนวก ข รายละเอียดการติดตั้งและกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนการใช้งานระบบ ควบคุมและรวบรวมข้อมูลสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 120

ภาคผนวก ค คู่มือการใช้ซอฟต์แวร์สกาดา..... 128

ภาคผนวก ง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จากการประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 26..... 145

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 152

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดสายสัญญาณของจุดข้อต่อทั้งแบบ DB-9 และ DB-25..... 17

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของระดับสัญญาณ..... 18

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของมาตรฐาน RS – 232 และ RS – 485..... 20

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดของรหัสการทำงานแบบสาธารณะ..... 25

ตารางที่ 3.1 ตัวบ่งชี้ (flag) ในการกำหนดการทำงานให้กับพอร์ตอนุกรม..... 35

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของตัวบ่งชี้ (flag) c_cflag..... 37

ตารางที่ 3.3 การกำหนดรหัสที่ใช้บอกสถานะของข้อมูล..... 40

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดของฐานข้อมูลที่แสดงประเภทของช่องสัญญาณที่ใช้วัด 43

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของการกำหนดรหัสการทำงาน..... 44

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดของฐานข้อมูลที่แสดงชุดคำสั่งในการควบคุมสถานีปลายทาง..... 44

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดของฐานข้อมูลที่แสดงฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลค่าจากการวัดของ
สถานีปลายทางระยะไกล..... 45

ตารางที่ 4.1 การกำหนดบิตในการรับส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม..... 66

ตารางที่ 4.2 การกำหนดชุดคำสั่งที่ใช้ทดสอบการทำงานกับพอร์ตอนุกรม..... 67

ตารางที่ 4.3 การตอบสนองของสถานีปลายทางระยะไกลจากสถานีต่างๆ..... 67

ตารางที่ 4.4 ความหมายจากการตอบสนองของสถานีปลายทางระยะไกล..... 68

ตารางที่ 4.5 รหัสและความหมายรายงานการใช้ทรัพยากรบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 81

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรของระบบขณะใช้งานและยุติการใช้งาน..... 85

ตารางที่ 4.7 การคำนวณพื้นที่ในการเก็บข้อมูลสำหรับอินพุตแอนะล็อกและดิจิตอล..... 85

ตารางที่ 4.8 การคำนวณพื้นที่ในการเก็บข้อมูลสำหรับชุดคำสั่ง..... 86

ตารางที่ 4.9 การคำนวณพื้นที่ในการเก็บข้อมูลสำหรับชนิดของอุปกรณ์..... 86

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบระหว่างคุณสมบัติสมมติฐานกับผลการทดสอบจริง..... 87

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสกาดา..... 4
รูปที่ 2.2 การทำงานของสถานีหลักแบบรวมฟังก์ชันไว้ที่ศูนย์กลาง..... 5
รูปที่ 2.3 การทำงานของสถานีหลัก แบบกระจายฟังก์ชัน..... 6
รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันการทำงานของหน่วยควบคุมปลายทางระยะไกล (RTU)..... 7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างสกาดาของระบบป้องกันน้ำท่วมของกรุงเทพ ฯ 9
รูปที่ 2.6 การวัดในรูปมาตรวัด..... 10
รูปที่ 2.7 วัดในรูปแบบของกราฟ..... 11
รูปที่ 2.8 แสดงสถานะการทำงานด้วยหลอดไฟแอลอีดีและแสดงผลในรูปตัวอักษร 12
รูปที่ 2.9 การเตือนความผิดปกติด้วยหลอดไฟแอลอีดี..... 12
รูปที่ 2.10 การดูข้อมูลในอดีต..... 12
รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานบนมาตรฐาน RS – 485..... 15
รูปที่ 2.12 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส..... 16
รูปที่ 2.13 รูปแบบการสื่อสารแบบประสานเวลา..... 16
รูปที่ 2.14 จุดข้อต่อแบบ DB-9 และ DB-25 17
รูปที่ 2.15 ระดับสัญญาณของภาครับและภาคส่ง..... 19
รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อกันแบบจุดต่อจุดของมาตรฐาน RS – 485..... 20
รูปที่ 2.17 การสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ต่างชนิดกันบนระบบบัสต่างชนิดกัน..... 21
รูปที่ 2.18 การสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ต่างชนิดกันบนระบบบัสต่างชนิดกัน..... 22
รูปที่ 2.19 โครงสร้างพื้นฐานของการส่งข้อมูลแบบมอส์ดบัส..... 22
รูปที่ 2.20 การทำงานในสภาวะปกติ..... 24
รูปที่ 2.21 การทำงานในขณะที่เกิดความผิดพลาดในของชุดคำสั่ง 24
รูปที่ 2.22 ข้อกำหนดของรหัสการทำงานแบบสาธารณะและผู้ใช้เป็นคนกำหนดเอง... 25
รูปที่ 2.23 รูปแบบโครงสร้างในการส่งข้อมูลไปยังสถานีปฏิบัติการ..... 26
รูปที่ 2.24 รูปแบบของการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง 26
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการส่งชุดคำสั่งไปยังสถานีปฏิบัติการ..... 27
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการตอบกลับจากสถานีปฏิบัติการ..... 27
รูปที่ 3.1 โครงสร้างที่ใช้ทดสอบการทำงานของลีนุกซ์สกาดา..... 29
รูปที่ 3.2 โครงสร้างการทำงานของสถานีหลัก..... 30

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของระบบสื่อสาร 32
รูปที่ 3.4 โครงสร้างการติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบสกาดาบน ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 34
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนของกิจกรรมเมื่อมีการเรียกใช้พอร์ตอนุกรม..... 38
รูปที่ 3.6 โครงสร้างการโพลลิ่งข้อมูล..... 41
รูปที่ 3.7 รูปแบบของการเก็บบันทึกข้อมูล..... 42
รูปที่ 3.8 รูปแบบการทำงานอย่างง่ายของระบบสกาดา..... 48
รูปที่ 3.9 โครงสร้างเริ่มต้นการทำงานของส่วนการประยุกต์ใช้งานบนเซิร์ฟเวอร์..... 45
รูปที่ 3.10 โครงสร้างขณะที่ทำงานของส่วนการประยุกต์ใช้งานบนเซิร์ฟเวอร์..... 46
รูปที่ 3.11 โครงสร้างเริ่มต้นการทำงานของส่วนการประยุกต์ใช้งานบนไคลเอนท์.....47
รูปที่ 3.12 โครงสร้างขณะทำงานของการประยุกต์ใช้งานบนไคลเอนท์..... 48
รูปที่ 4.1 หน้าต่างแสดงการทำงานของการประยุกต์ใช้งานของเซิร์ฟเวอร์..... 55
รูปที่ 4.2 หน้าต่างแสดงการทำงานของส่วนการประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 51
รูปที่ 4.3 หน้าต่างฟังก์ชันการตรวจสอบรหัสผู้ใช้ของส่วนการประยุกต์การใช้งาน บนไคลเอนท์..... 55
รูปที่ 4.4 หน้าต่างฟังก์ชันการตรวจสอบการติดต่อกับฐานข้อมูลของส่วนการประยุกต์ การใช้งานบนไคลเอนท์..... 56
รูปที่ 4.5 หน้าต่างฟังก์ชันตรวจสอบการติดตั้ง RTU ของส่วนการประยุกต์การใช้งานบน ไคลเอนท์..... 56
รูปที่ 4.6 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับการควบคุม RTU ของส่วนการประยุกต์การใช้งานบน ไคลเอนท์..... 57
รูปที่ 4.7 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับแสดงสถานะของอินพุต / เอาต์พุต ดิจิตอลของ RTU ในการส่วนประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 57
รูปที่ 4.8 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับการกำหนดการแจ้งความผิดพลาดของ RTU ในส่วนการ ประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 57
รูปที่ 4.9 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับแสดงสถานะของอินพุตแอนะล็อกของ RTU ในส่วนการ ประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 58
รูปที่ 4.10 หน้าต่างแสดงผลในรูปแบบทั่วไปของส่วนการประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์ 58

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.11 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับแสดงสถานะของการกำหนดการแจ้งจากการประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์ไปยัง RTU 59
รูปที่ 4.12 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับแสดงสถานะของอินพุตแอนะล็อกและอินพุตดิจิตอลในรูปแบบของกราฟของ RTU ในส่วนการประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 59
รูปที่ 4.13 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับแสดงข้อมูลประวัติของสถานะของอินพุตแอนะล็อกของ RTU ในส่วนการประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 60
รูปที่ 4.14 หน้าต่างฟังก์ชันสำหรับแสดงข้อมูลประวัติของสถานะอินพุตแอนะล็อกและดิจิตอลในรูปแบบของกราฟในการประยุกต์การใช้งานบนไคลเอนท์..... 60
รูปที่ 4.15 โครงสร้างการติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบสกาดาบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 62
รูปที่ 4.16 ตัวแปลงสัญญาณมาตรฐาน RS-232 เป็น RS-485..... 62
รูปที่ 4.17 ตัวรับสัญญาณแอนะล็อก(Analog Input Module AI 210) 63
รูปที่ 4.18 หัววัดอุณหภูมิอาร์ทีดี พีที-100 (R.T.D PT-100)..... 63
รูปที่ 4.19 ตัวแปลงสัญญาณหัววัดอุณหภูมิอาร์ทีดี พีที-100 (R.T.D PT-100) เป็นกระแสในช่วง 4-20 มิลิแอมป์ 100 องศาเซลเซียส..... 64
รูปที่ 4.20 ตัวจ่ายสัญญาณมาตรฐาน (Calibrator) 64
รูปที่ 4.21 ชุดหลอดไฟ 220 โวลต์..... 65
รูปที่ 4.22 ชุดขับรีเลย์ขับหลอดไฟ 220 โวลต์..... 65
รูปที่ 4.23 การเลือกพอร์ตสื่อสารอนุกรมบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 66
รูปที่ 4.24 ตัวอย่างการส่งชุดคำสั่งไปยัง RTU..... 67
รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการตอบกลับจาก RTU..... 67
รูปที่ 4.26 หน้าต่างที่ใช้ทดสอบการทำงานของพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 68
รูปที่ 4.27 ผลการทดสอบการทำงานของพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 68
รูปที่ 4.28 ผลการทดสอบตรวจสอบการติดตั้ง RTU..... 69
รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบการแยกประเภทช่องสัญญาณของ RTU..... 70
รูปที่ 4.30 ผลการทดสอบการอ่านข้อมูลจาก RTU..... 70
รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบการแสดงผลในรูปทั่วไปของส่วนประสานงานกับผู้ใช้บนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์..... 71

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.32 ผลการทดสอบการแสดงผลในรูปแบบของกราฟของส่วนประสานงาน
กับผู้ใช้บนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ 72
รูปที่ 4.33 ผลการทดสอบการแสดงผลในรูปแบบทั่วไปของส่วนประสานงานกับผู้ใช้
บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 2000 (Win2000) 72
รูปที่ 4.34 ผลการทดสอบการแสดงผลในรูปแบบของกราฟของส่วนประสานงานกับผู้ใช้
บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 2000 73
รูปที่ 4.35 ผลการทดสอบการควบคุมและรายงานผลจากเครื่องไคลเอนท์ไปยัง RTU..... 74
รูปที่ 4.36 ผลการทดสอบการควบคุมจากเครื่องไคลเอนท์ไปยัง RTU..... 74
รูปที่ 4.37 การกำหนดค่าการแจ้งเตือนความผิดปกติ 75
รูปที่ 4.38 ผลการกำหนดค่าการแจ้งเตือนความผิดปกติ..... 75
รูปที่ 4.39 การเตือนความผิดปกติผ่านส่วนประสานงานกับผู้ใช้ของไคลเอนท์..... 76
รูปที่ 4.40 การเตือนความผิดปกติผ่านทาง RTU ในกรณีที่สัญญาณแอนะล็อกที่อ่าน
เข้ามามีค่าน้อยกว่า 4 โวลต์ 76
รูปที่ 4.41 การเตือนความผิดปกติผ่านทาง RTU ในกรณีที่สัญญาณแอนะล็อกที่อ่าน
เข้ามามีค่าอยู่ระหว่าง 4 - 5.5 โวลต์..... 76
รูปที่ 4.42 การเตือนความผิดปกติผ่านทาง RTU ในกรณีที่สัญญาณแอนะล็อกที่อ่าน
เข้ามามีค่ามากกว่า 5.5 โวลต์..... 77
รูปที่ 4.43 การอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลของส่วนประสานงานผู้ใช้ของระบบเซิร์ฟเวอร์..... 78
รูปที่ 4.44 การอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลประเภทชั่วคราวที่ใช้สำหรับแสดงผลขณะเวลาจริง.... 78
รูปที่ 4.45 การอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลประวัติขณะบันทึกที่เวลาจริง..... 79
รูปที่ 4.46 การอ่านข้อมูลประเภทชนิดอุปกรณ์จากฐานข้อมูลประวัติ..... 79
รูปที่ 4.47 การรายงานการบริหารการใช้ทรัพยากรขณะซอฟต์แวร์สกาดายังไม่เริ่มทำงาน 82
รูปที่ 4.48 การรายงานการบริหารการใช้ทรัพยากรขณะซอฟต์แวร์สกาดาเริ่มทำงาน..... 83
รูปที่ 4.49 การรายงานการบริหารการใช้ทรัพยากรขณะซอฟต์แวร์สกาดามีการอ่านข้อมูล
จากสถานีปลายทางระยะไกล 3 สถานี จำนวน 3,000 ครั้ง..... 83
รูปที่ 4.50 การรายงานการบริหารการใช้ทรัพยากรขณะซอฟต์แวร์สกาดายุติการทำงาน..... 84