แบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
Model of Command System for Automatic Power Control

นายจิรพงศ์ คำสอน
นายภาณุพงศ์ ศิริชัยวัฒนา
นายนราวุฒิ พุทธา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ. 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ		
Thesis Title	Model of Command System for Automatic Power Control		
โดย	นายจิรพงศ์	คำสอน	055250403042-0
	นายภาณุพงศ์	ศิริชัยวัฒนา	055250403032-1
	นายนราวุฒิ	พุทธา	055250403013-1
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	อาจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ		

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
อาจารย์เวทรินทร์ ธัญสิประเสริฐ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	
อาจารย์สาคร วุฒิพัฒนพันธุ์	
อาจารย์ธนารัตน์ ตันมณีประเสริฐ	
ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ	
ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ	

วัน / เดือน /ปี ที่สอบ 7 พฤษภาคม 2556 เวลา 15.30 – 16.15 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ชั้น 2 (ห้อง 3201)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า รับรองแล้ว

(ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ)
หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
โดย	นายจิรพงศ์ คำสอน
	นายภาณุพงศ์ ศิริชัยวัฒนา
	นายนราวุฒิ พุทธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอ การออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถควบคุมสายส่งอัตโนมัติได้โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่งการผ่านอุปกรณ์ต่างๆและสามารถวิเคราะห์สิ่งที่เกิดขึ้นในสายส่งได้ การออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ สร้างแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมสายส่งอัตโนมัติ เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานในระบบสายส่งไฟฟ้าและสามาถตัดแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าออกวงจรได้ทันทีที่เกินจากการตั้งค่าไว้โดยจะเป็นการทดลองจ่ายไฟเข้าชุดแบบจำลองและต่อเข้ากับโหลดเพื่อดูค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงค่าทางหน้าต่างโปรแกรมว่าเกินหรือต่ำกว่าที่ตั้งค่าไว้หรือไม่โดยการทดลองจะเป็นการทดลองประสิทธิภาพของโปรแกรมว่ามีประสิทธิภาพดีเพียงใดและควรหมุนวาริเอเบิ้ลทรานฟลอเมอร์ให้คงที่ตลอดเพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้อง การทดลองนี้จะแสดงให้เห็นความปกติหรือผิดปกติที่จำลองในสายส่งไฟฟ้ากำลัง จากการทดลองแบบจำให้คงที่คลอดเพื่อที่จะได้ค่าที่ถูกต้องลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติสามารถที่ควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าตามที่ต้องการได้และโปรแกรมสามารถทำงานได้ดี

Project Report Title : Model of Command System for Automatic Power
By : Mr.Jirapong Kamson
: Mr.Panupong Sirichaiwattana
: Mr.Narawut Phuttha
Project Report Advisor : Dr.Nattachote Rugthaicharoencheep
Project C0- Advisor : Dr.Nattapong Pantuna
Department of : Electrical Engineering
Faculty : Engineering
Academic Year : 2012

Abstract

This project report proposes a Model of Command System for Automatic d by the device can be controlled automatic transmission. Using the computer Power Control. Generator as a second pass through devices various. And to analyze what is happening in the transmission line. Design and Create Model of Command System for Automatic Power Control This purpose Create Model of Command System for Automatic Power Control. In order to understand the transmission line. And cause occurring in the transmission line. Can be cut the voltage or current out of range immediately beyond the setting. Experiments will be power supply to model And connected to the load for the parameters In order to show the value of the program window That over or under the setting or not. By experiment will be test the effectiveness of the program That has performance any. From experimentation model of Command System for Automatic Power Control able to control the power supply according to demand.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีกลุ่มผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และอาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุนะ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา และแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านและเพื่อนทุกคน สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ บุพการี อันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยสนับสนุนคอยให้กำลังใจ และความหวังดีที่มีให้กับคณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้สนับสนุนเงินทุนโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ให้แก่คณะผู้จัดทำ ฉบับนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายจิรพงศ์ คำสอน
นายภาณุพงศ์ ศิริชัยวัฒนา
นายนราวุฒิ พุทธา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	3
2.2 ทฤษฎีของ TRANSMISSION LINE	3
2.2.1. ลักษณะของทางสายส่งกำลัง (Transmission Line Characteristics)	3
2.2.2. SERIES RESISTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว	5
2.2.3. SHUNT CAPACITANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว	8
2.2.4. SHUNT CONDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว	9
2.3 สายส่งระยะยาว	9
2.4 Modbus Protocol	11
2.5 Supervisory Control and Data Acquisition	13
2.6 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR	19
2.6.1 คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์	20
2.6.2 ขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุต	20
2.6.3 ความรู้พื้นฐานในการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์	22
2.6.4 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์	23
2.7 พอร์ตอนุกรม RS-232	24
2.7.1 การสื่อสารแบบอนุกรม	24
2.7.2 โครงสร้างของพอร์ตอนุกรม	26
2.7.3 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม	27
2.8 ภาษา ASCII	29

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.9 โปรแกรม Delphi 7	29
2.9.1 องค์ประกอบของ Delphi 7	31
2.9.2 โครงสร้างของยูนิต	32
บทที่ 3. การออกแบบและประกอบสร้าง	34
3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	34
3.2 กรอบแนวความคิด	35
3.3 การออกแบบ แบบจำลองสายส่งระยะยาวที่ 225 กิโลเมตร	35
3.3.1 การหาค่าความต้านทานของสาย	35
3.3.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ	36
3.3.3 การออกแบบตัวเก็บประจุ	38
3.3.4 การออกแบบวงจรแบบจำลองควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ	39
3.3.5 การออกแบบตู้และอุปกรณ์จำลองสายส่งระยะยาว	40
3.4 การใช้งานโปรแกรม	41
3.5 การออกแบบเอกสารประกอบการทดลอง	45
บทที่ 4. การทดลองและผลการทดลอง	51
4.1 บทนำ	51
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	51
บทที่ 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ปัญหา	55
5.3 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก	57
ภาคผนวก ข	59
ประวัติผู้เขียน	63

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดง PA ของไมโครคอรโทรลเลอร์ AVR	22
2.2 แสดงการกำหนดค่าให้กับพอร์ต PA ของ AVR ในแต่บิด	22
2.3 แสดงการเปรียบเทียบขาของหัวต่อ D-Type ชนิด 25 ขา และ D-Type ชนิด 9 ขา	27
2.4 แสดงหน้าที่ของขาคอนเนคเตอร์	27
3.1 ตารางบันทึกผลการทดลองใบงานที่2	48
3.2 ตารางบันทึกผลการทดลองใบงานที่3	50
4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองใบงานที่2	52
4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองใบงานที่3	53
ภาคผนวก ก ขนาดและคุณสมบัติของสายไฟฟ้าอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)	58

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 เครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าต่อตรงกับโหลด 3
2.2 เครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าต่อผ่านสายส่งกำลัง 4
2.3 1 Loop Mile 5
2.4 วงจรความต้านทานอันดับ 5
2.5 DISTRIBUTED SERIES INDUCTANCE 7
2.6 Shunt Capacitance 8
2.7 DISTRIBUTED SHUNT CONDUCTANCE 9
2.8 ช่วงสั้น ๆ ขนาดที่พิจารณาจากสายส่งระยะยาว 10
2.9 วงจรเทียบเคียงของสายส่งกำลังไฟฟ้า 10
2.10 OSI Layer of Modbus 11
2.11 ระบบเครือข่าย 12
2.12 โครงสร้างแบบฮาร์ดแวร์ของระบบ SCADA 14
2.13 โครงสร้างด้านซอร์ฟแวร์ของ SCADA 15
2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรม AVR (ATmega32) 19
2.15 ขาพอร์ต AVR (ATmega32) ตัวถังแบบ PDIP 21
2.16 รูปแบบที่ง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous) 25
2.17 ชนิดของพอร์ตอนุกรม 26
2.18 การต่อแบบ Null Modem 28
2.19 การต่อแบบ Loop Back Plug 28
2.20 องค์ประกอบของ Delphi 7 30
2.21 การสร้างไฟล์ยูนิตให้เขียนโค้ด 32
2.22 ส่วน interface 32
2.23 ส่วน implemention 33
2.24 โครงสร้างต่างๆ โดยรวม 33
3.1 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ 34
3.2 กรอบแนวความคิด 35
3.3 R ขนาด 50 โอมห์ เลือกใช้ที่ 20 โอมห์ 36
3.4 ตัวเหนี่ยวนำ 95 มิลลิเฮนรี 37
3.5 ตัวเก็บประจุ 2 ไมโครฟารัดส์ 38
3.6 Diagram ของแบบจำลองควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ 39
3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ 39

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.8 ตู้จำลองสายส่งระยะยาว 40
3.9 ภายในตู้จำลองสายส่งระยะยาว 40
3.10 ตู้จำลองสายส่งระยะยาว 41
3.11 การติดตั้งไดร์เวอร์ 41
3.12 คลิ๊กขวาที่ My Computer เลือก Manage 42
3.13 เลือก Device Manager/ Ports(COM & LPT)/ USB-SERIAL CH340 (COM6) 42
3.14 เลือก Port Settings/ Advanced เลือกในกรอบCOM Port Number เป็น COM1 กด OK 43
3.15 หน้าต่างโปรแกรมวัดไฟฟ้าและควบคุมระบบไฟฟ้า 43
3.16 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ 44
3.17 converter rs232-rs485 44
ภาคผนวก ข 1. Measures Supplied By Serial Communication Protocol 60
2. คำสั่งส่งและรับจากคอมพิวเตอร์และมิเตอร์ Lovato 61
3. 3. wiring diagram 62

บทที่ 1
บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันการใช้ไฟฟ้านั้นมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิตประจำวันมากไม่ว่าด้านต่างๆ ล้วนแต่นำไฟฟ้ามาใช้เมื่อมีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นก็ทำให้เกิดการขยายกำลังการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นดังนั้นการส่งจ่ายจึงต้องมีจัดทำระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความรวดเร็วและแม่นยำมีความผิดพลาดน้อยมีการแสดงการทำงานที่ชัดเจนถูกต้องมีความปลอดภัยสูงทางกลุ่มผมจึงทำการจัดทำแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติขึ้นมาแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัตินั้นมีความสามารถในการทำงานที่สูงและสามารถที่จะแสดงการทำงานด้วยจอภาพที่เป็นหน้าต่างโปรแกรมทำให้เข้าใจง่ายและมีระบบสั่งจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติซึ่งสั่งการโดยใช้คอมพิวเตอร์และมีโปรแกรมเป็นตัวควบคุม

หลักการทำงานของชุดทดลองควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติด้วยโปรแกรมเป็นการควบคุมที่คล้ายกับการกดปุ่มคำสั่งมือแต่การใช้แบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเป็นการนำโปรแกรมมาเป็นตัวควบคุมออกคำสั่งโดยที่ไม่ต้องกดด้วยตนเองใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่งการแทนการใช้โปรแกรมทำให้ เห็นการทำงานของสายส่งไฟฟ้ากำลังสามเฟสได้ชัดเจนซึ่งเนื่องจากการทำการแสดงของโปรแกรมนั้นเป็นหน้าต่างโปรแกรมที่สามารถเข้าใจได้มากขึ้นและเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นขณะที่ทำงานของสายส่งไฟฟ้าสามเฟสซึ่งลักษณะชุดทดลองและโปรแกรมที่ใช้ควบคุมคือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรมเป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม

ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ใช้ช่วยในการวัดหลายรูปแบบและมีความแม่นยำ โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อเป็นอุปกรณ์ในการทดลองเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในสายส่ง

1.2.2. เพื่อเป็นอุปกรณ์ศึกษาการใช้โปรแกรม

1.2.3. เป็นชุดจำลองเพื่อการศึกษาการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1. ออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ 1 ชุด

1.3.2. ใช้โปรแกรมแสดงในรูปการทำงานแบบกราฟิก

1.3.3. ควบคุมระบบสายส่งด้วยโปรแกรมที่มีคุณสมบัติคล้ายกับระบบManual

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงงาน

1.4.1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน

1.4.2. ออกแบบและจัดซื้ออุปกรณ์

1.4.3. สร้างชุดทดลองที่ใช้โปรแกรมควบคุมสายส่ง

1.4.4. ตรวจสอบความถูกต้องของโครงงาน

1.4.5. ทดสอบและวัดค่าต่างๆตามที่ตั้งเป้าไว้

1.4.6. บันทึกผลที่ได้จากการทดสอบ

1.4.7. ปรับปรุงและแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ

1.4.8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4.9. เรียบเรียงเอกสาร

1.4.10. จัดทำปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบจ่ายไฟฟ้าโดยโปรแกรมควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

1.5.2. เพื่อทราบถึงการทำงานของสายส่งด้วยควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

1.5.3. สามารถใช้โปรแกรมควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

1.5.4. ได้ชุดทดลองการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วยทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงงานชิ้นนี้โดยจะบอกถึงทฤษฎีของสายส่งกำลังไฟฟ้าระยะยาว, การสื่อสารผ่านอุปกรณ์เชื่อต่อ, ระบบควบคุมสายส่งไฟฟ้าแบบสกาด้า,ชนิดของไมโครคอนโทรลเลอร์,ภาษา **ASCI I**ที่ใช้เขียนโปรแกรม, และโปรแกรมที่ใช้ควบคุมสายส่งกำลังไฟฟ้า

2.2 ทฤษฎีของ สายส่งกำลัง

กล่าวทั่วไปทางสายส่งกำลัง คือ ตัวกลางการสื่อสารชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่ส่งกำลังงานไฟฟ้าจากจุดใดจุดหนึ่งไปยังปลายทางที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นการส่งกำลังงานในระบบไฟฟ้ากำลังหรือระบบทางการสื่อสาร ย่อมต้องใช้สายส่งกำลังดังกล่าวเป็นตัวกลางการสื่อสารเสมอจะผิดกันก็แต่ระดับกำลังทั้งสองระบบนี้มากน้อยไม่เท่ากันเท่านั้นในระบบการติดต่อสื่อสารหรือการส่งพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบอยู่ 3 ประการคือ

1. อุปกรณ์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น เครื่องส่งโทรศัพท์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งตั้งอยู่ที่ปลายของสายส่งกำลัง

2. อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานในรูปอื่นที่ใช้ประโยชน์ในพลังงานนั้น ๆ เช่น เครื่องรับโทรศัพท์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียงและตั้งอยู่ที่ปลายรับของสายส่งกำลัง

3. ตัวกลางในการส่งกำลังงาน คือ สายส่งกำลังในระบบจะต้องประกอบด้วยตัวนำ 2 ตัวนำ แยกกันบางครั้งจะเห็นว่ามีตัวนำเส้นเดียวแต่อีกด้านหนึ่งนั้นคือดิน

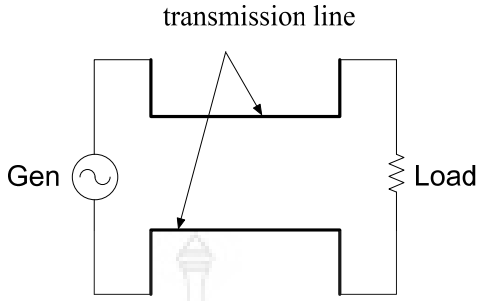
2.2.1. ลักษณะของทางสายส่งกำลัง (Transmission Line Characteristics)

คุณลักษณะของสายส่งกำลังพิจารณาจากวงจรเปรียบเทียบจะปรากฏว่าลักษณะของทางสายส่งกำลังเป็นตามลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 เครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าต่อตรงกับโหลด

จากรูปที่ 2.1 จะแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อตรงไปยังโหลดเราจะเห็นว่าความต้านทานของโหลดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

คุณลักษณะจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จ่ายไปยังโหลดโดยต่อผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องกำเนิดกำลังงานไฟฟ้าต่อผ่านสายส่งกำลัง

จากรูปที่ 2.2 สมมุติว่าจำนวนพลังงานที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จ่ายไปยังโหลดโดยต่อผ่านสายส่งกำลังพลังงานที่โหลดได้รับจะน้อยกว่าพลังงานที่แหล่งจ่ายดังนั้นสายส่งกำลังจะมีคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่ทำให้พลังงานเกิดการสูญเสียระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลดพลังงานที่สูญเสียมิได้เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งแต่จะเกิดตลอดความยาวของสายส่งกำลังการสูญเสียดังกล่าวนี้กระจายออกไปโดยสม่ำเสมอตลอดสายส่งกำลังนั้นเอง สาเหตุของการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้านี้เกิดขึ้นจากลักษณะของสายส่งกำลังเนื่องจากตัวคงที่ของสายส่งกำลังซึ่งอาจแบ่งออกได้ดังนี้

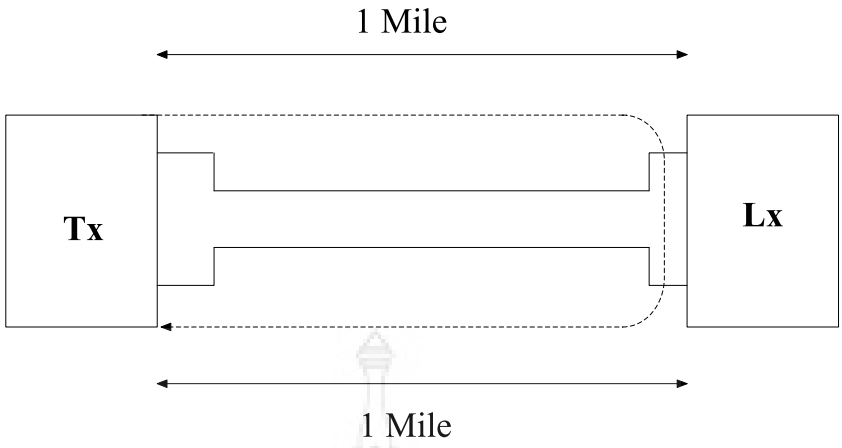
1. ตัวคงที่ที่เป็นจุด (Lumped Constants) หมายถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นเป็นจุด ๆ ไป เช่น ถ้าใส่ตัวต้านทานเข้าไปในสายส่งกำลังเป็นจุด ๆ ไปจะเกิดความสูญเสียขึ้น ณ จุดต่าง ๆ นั้น ไม่สม่ำเสมอตลอดสายส่งกำลังซึ่งจะไม่ศึกษาในส่วนนี้

2. ตัวคงที่กระจาย (Distributed Constants) หมายถึง ตัวคงที่อันเป็นลักษณะประจำของสายส่งกำลังซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าโดยสม่ำเสมอตลอดสายส่งกำลังการสูญเสียในลักษณะนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 อย่างคือ

1. SERIES RESISTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
2. SERIES INDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
3. SHUNT CAPACITANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว
4. SHUNT CONDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความ

หน่วยความยาว (Unit Length)

คำว่าหนึ่งหน่วยความยาวในที่นี้หมายถึงสายส่งกำลังซึ่งมีความยาว 1 Loop Mile แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 1 Loop Mile

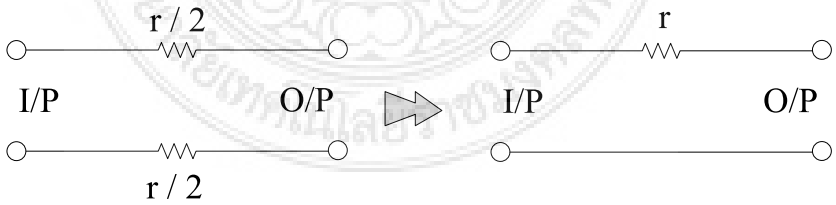
จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าสายส่งกำลังหนึ่งหน่วยความยาวเท่ากับความยาวจริงของสายส่งกำลัง ตั้งแต่ต้นทางที่ส่งกำลังงานไปจนถึงปลายทางที่รับกำลังงานนั้น ๆ และกลับไปยังต้นทางอีกทีหนึ่งนั่นแสดงว่าความยาวในหนึ่งหน่วยความยาวของสายส่งกำลังแล้วจะมีความยาวจริงเท่ากับ 2 ไมล์นั่นเอง

2.2.2. SERIES RESISTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

คือค่าของความต้านทานของวัตถุซึ่งใช้ทำสายส่งกำลังต่อหนึ่งหน่วยความยาว 2 ไมล์ โดยใช้สัญลักษณ์ คือ r มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ฉะนั้น

ความต้านทานอันดับต่อหนึ่งหน่วยความยาว = r Ω

ดังนั้นความต้านทานของ สายส่งกำลัง แต่ละเส้น = $\frac{r}{2}$ Ω



รูปที่ 2.4 วงจรความต้านทานอันดับ

จากรูปที่ 2.4 แสดง DISTRIBUTED SERIES RESISTANCE ความต้านทานรวมของสายส่งกำลังจะรู้ได้โดยการเอาค่าความต้านทานต่อหนึ่งหน่วยความยาวคูณด้วยความยาวทั้งหมด ดังนั้น ถ้าค่าความต้านทานอันดับของสายมีค่า 10 โอห์มต่อหนึ่งไมล์ และสายมีความยาว 100 ไมล์ ฉะนั้นความต้านทานรวมทั้งหมดเท่ากับ 1000 โอห์ม ขนาด DISTRIBUTED

RESISTACE ของสาย สายส่งกำลัง ขึ้นอยู่กับขนาดของสายและความยาวการเปลี่ยนแปลงไปของค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความยาวเป็นผลคูณจากสกินเอฟเฟกต์ความต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของสายลดลงความต้านทานต่อหนึ่งหน่วยความยาวขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดของเส้นลวดซึ่งใช้ทำ สายส่งกำลัง

$$r \propto \frac{1}{A}$$

A = ขนาดของเส้นลวด

2. ความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปตาม Transmission Line

$$r \propto f$$

f = ความถี่ของสัญญาณ

SERIES INDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

ความเหนี่ยวนำตัวเอง (Self Induction) เป็นลักษณะประการหนึ่งของวงจร ซึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อนตอบโต้ (Counter Electromotive Force) ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสภายในวงจร แรงเคลื่อนนี้เกิดขึ้นตลอดความยาวของ สายส่งกำลัง แสดงว่าความเหนี่ยวนำอันดับนี้มีอยู่สม่ำเสมอตลอด สายส่งกำลัง นั้น ความเหนี่ยวนำนี้ใช้สัญลักษณ์ตัว L และมีหน่วยเป็นเฮนรี่ต่อหนึ่งหน่วยความยาว (Henry per Loop Mile) ดังนั้น

ค่ารวมของความเหนี่ยวนำจะเท่ากับความเหนี่ยวนำต่อหนึ่งหน่วยความยาวคูณด้วยความยาวของ สายส่งกำลัง

ความเหนี่ยวนำอันดับทำให้เกิดการต่อต้านต่อกระแสไฟฟ้าของคลื่นเสียงในรูปของความต้านทานการเหนี่ยวนำ (Inductive Reactance - XL) มีหน่วยเป็นเป็น โอห์ม (Ω)
การหาค่า XL หาได้จากสมการดังนี้

XL = $2\pi fL$ Ω

f = ความถี่ ซึ่งมีหน่วยเป็นไซเกิลต่อวินาที

L = ความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็น Henry

ค่าของความเหนี่ยวนำ (L) ขึ้นอยู่กับลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความเหนี่ยวนำ L เป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะห่างของขดลวดในแต่ละรอบ

$$L \propto D$$

D = ระยะห่างของขดลวดในแต่ละรอบ

2. ความเหนี่ยวนำ L เป็นปฏิภาคกลับกับขนาดของลวดตัวนำ

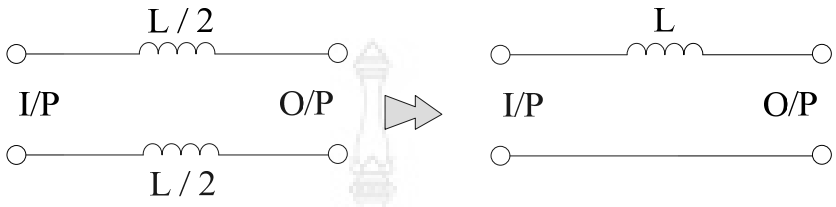
$$L \propto \frac{1}{d}$$

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำ

ลวดตัวนำที่มีความยาวเท่ากัน พอจะสรุปได้ดังนี้

1. เส้นลวดที่มีขนาดเล็ก เมื่อพันเป็นความเหนี่ยวนำแล้วจะได้จำนวนรอบมากกว่า ดังนั้นค่า *L* จะมีค่ามาก

2. เส้นลวดที่มีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาพันเป็นความเหนี่ยวนำแล้วจะได้จำนวนรอบน้อยกว่า ดังนั้น ค่า *L* จะมีค่าน้อย



รูปที่ 2.5 DISTRIBUTED SERIES INDUCTANCE

ค่าอินดักแตนซ์ที่เกิดขึ้นเองในวงจรทำให้นย้อนกลับ เกิดแรงดป้อนเข้าในวงจรโดยการเปลี่ยนแปลงกระแสในวงจร ในสาย สายส่งกำลัง ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของกระแส แรงดันก็จะเกิดสภาพวะเหนี่ยวนำตลอดทางสายชี้ให้เห็นว่าซีรี่อินดักแตนซ์เกิดขึ้นแล้วในวงจรของสายขนาดที่เกิดขึ้นนี้ย่อมขึ้นอยู่กับขนาดของการเหนี่ยวนำในสายและความถี่ มันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นค่าความเหนี่ยวนำมีสัญญลักษณ์ย่อว่า *L* มีหน่วยวัดเป็น HENRY ต่อหนึ่งรอบไมล์ ค่าซีรี่อินดักแตนซ์มีปฏิกริยาขัดขวางการเปลี่ยนแปลงของกระแสเสียงในรูปของ INDUCTIVE REACTANCE (*XL*)

2.2.3. SHUNT CAPACITANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

ปฏิกริยาซึ่งเกิดขึ้นในสายส่งกำลัง เนื่องจากความจุนั้นจะเกิดขึ้นในลักษณะของตัวเก็บประจุ สายส่งกำลังสองสายจะเปรียบได้กับแผ่นความจุในหม้อตุนและมีอากาศหรือวัตถุอื่นเป็นฉนวนปฏิกริยาดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะของความต้านทานความจุ (Capacitive Reactance = *XC*) ซึ่งต่อขนานกับ สายส่งกำลัง เป็นผลให้กระแสไฟฟ้าของคลื่นเสียงลัดวงจรกลับแหล่งกำเนิดสัญญาณ ทำให้กระแสดังกล่าวไปถึงปลายทางน้อยลง
การหาค่า Capacitive Reactance จะหาได้จากสมการดังนี้

$$XC = \frac{1}{2\pi fC}$$

f = ความถี่ ซึ่งมีหน่วยเป็นไซเกิลต่อวินาที

C = ความจุ มีหน่วยเป็นฟาหรัด (Farads)

ค่า *C* มีค่ามาก ค่า *XC* จะมีค่าน้อย ดังนั้นกระแสไหลผ่าน *C* ได้มาก ทำให้กระแสที่ไหลไปยังปลายทาง จะมีค่าน้อยด้วย แต่ถ้าค่า *C* มีค่าน้อย ค่า *XC* จะมีค่ามาก ทำให้กระแสไหลผ่าน *C* ได้น้อย จะทำให้กระแสที่ไหลไปยังปลายทางมีค่ามาก

ค่าของความจุ C ใน สายส่งกำลัง จะขึ้นอยู่กับลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความจุ C เป็นปฏิภาคโดยตรงกับขนาดของลวดตัวนำที่ใช้ทำ สายส่งกำลัง

   $C \quad \propto \quad d$

   $d \quad = \quad$ เส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำ

2. ความจุ C เป็นปฏิภาคกลับกับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดตัวนำทั้งสอง

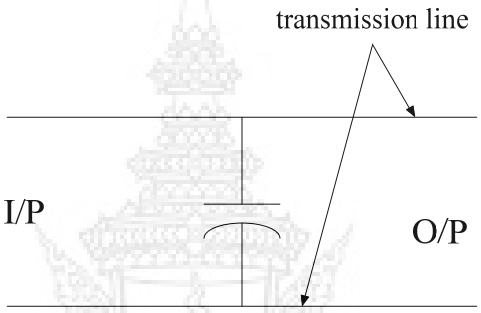
   $C \quad \propto \quad \frac{1}{D}$

   $D \quad = \quad$ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของลวดตัวนำทั้งสอง

3. ความจุ C เป็นปฏิภาคโดยตรงกับธรรมชาติของ Dielectric Constant ของลวดตัวนำ

   $C \quad \propto \quad K$

   $K \quad = \quad$ Dielectric Constant ของลวดตัวนำ



รูปที่ 2.6 Shunt Capacitance

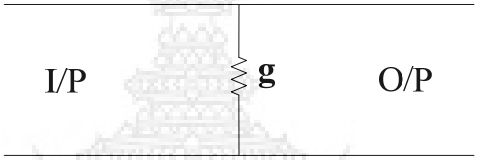
จากรูปที่ 2.6 แสดง DISTRIBUTED SHUNT CAPACITANCE ตัวคาปาซิสเตอร์ประกอบด้วยแผ่นโลหะสองอันอยู่แยกกัน โดยมีสารที่มิใช่ตัวนำกั้นกลาง เช่น อากาศหรือวัตถุอย่างอื่นที่ใช้เป็นฉนวนค่าความเก็บประจุจะมากขึ้นเมื่อขนาดของตัวนำโตขึ้นซึ่งหมายถึงขนาดของแผ่นเพลทในตัวเก็บประจุนั่นเองและค่าความเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างแผ่นเพลทลดลงในสายสายส่งกำลังก็ประกอบด้วยโลหะตัวนำสองอันแยกจากกันด้วยฉนวน ด้วยเหตุผลนี้ค่าความเก็บประจุจะเกิดการกระจายทั่วไปตลอดทางสายอย่างไรก็ตามพื้นที่ของสายตัวนำในสาย สายส่งกำลัง มีขนาดเล็กกว่าแผ่นเพลทในตัวตัวเก็บประจุและระยะห่างระหว่างคู่สายก็มากกว่า ดังนั้นค่า DISTRIBUTED CAPACITANCE ของสายสายส่งกำลัง จึงมีค่าน้อยกว่าค่านี้เรียกว่า SHUNT CAPACITANCE ค่าของมันพิจารณาต่อหนึ่งหน่วยความยาวซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของสายระยะห่างระหว่างสายและประเภทของ ฉนวนค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของสายตัวนำเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะห่างระหว่างคู่สายลดลงและเมื่อค่าความเป็นฉนวนเพิ่มขึ้น DISTRIBUTED CAPACITANCE มีสัญลักษณ์ย่อว่า C มีหน่วยเป็น FARAD ต่อหนึ่งรอบไมล์ ที่ต้องจำไว้คือว่า DISTRIBUTED CAPACITANCE ทำให้ CAPACITIVE REACTANCE (XC) เกิดขึ้นตลอดทางสายสายส่งกำลังซึ่งมีผลต่อกระแสของเสียงคร่อมสายซึ่งจะเป็นเหตุให้กระแสผ่านไปยังโหลดน้อยลง

2.2.4. SHUNT CONDUCTANCE ต่อหนึ่งหน่วยความยาว

เนื่องจากฉนวนซึ่งแยกหรือหุ้มห่อสายส่งกำลังนั้นไม่อาจจะป้องกันการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าคลื่นเสียงระหว่างคู่สาย สายส่งกำลังได้อย่างสมบูรณ์ฉะนั้นจึงมีกระแสบางส่วนรั่วไหลกลับระหว่างคู่สายเสียก่อนที่จะถึงปลายทางเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าได้รับ ณ ปลายทางน้อยลง ความนำ (g) ในการส่งกำลังแสดงด้วยความต้านทานต่อขนานกับสายส่งกำลังมีหน่วยวัดเป็น Semen

$$g = \frac{1}{r} \quad \text{Semen}$$

ความนำขนานนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของฉนวนในกรณีที่เป็นสายโถง หรือฉนวนที่หุ้มหรือห่อ สายส่งกำลัง ในกรณีที่เป็นเคเบิล นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะความชื้นของอากาศอีกด้วย

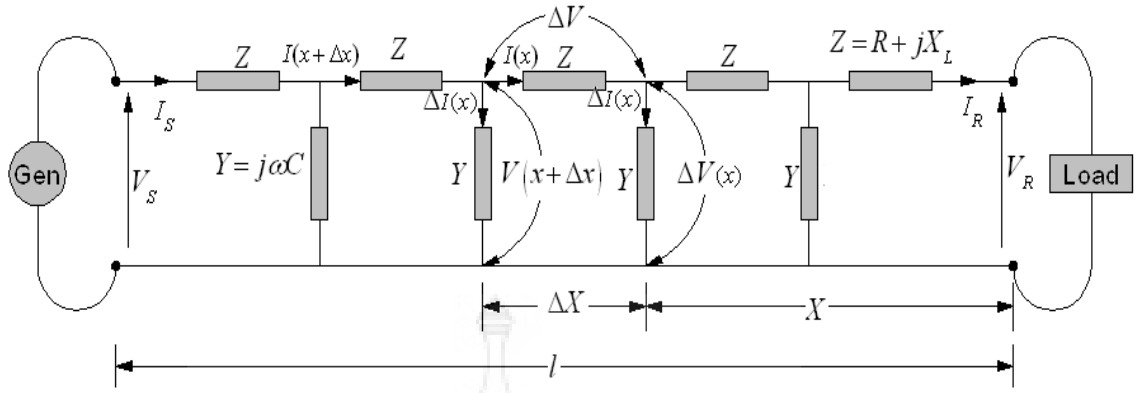


รูปที่ 2.7 DISTRIBUTED SHUNT CONDUCTANCE

จากรูปที่ 2.7 เนื่องจากคุณสมบัติของฉนวนระหว่างสองตัวนำในสายสายส่งกำลังไม่ได้เป็นฉนวนที่สมบูรณ์อย่างแท้จริงฉะนั้นจะมีการรั่วระหว่างสองตัวนำนั้นซึ่งจะเกิดคุณสมบัตินี้เกิดขึ้นตลอดทางสายในกรณีที่สายส่งกำลังเป็นสายโถง (OPEN WIRE LINE) เราจะรู้ว่าฉนวนระหว่างสายทั้งสองคืออากาศซึ่งอากาศเกือบจะเป็นฉนวนที่แท้จริงเมื่ออากาศข้างนอกค่อนข้างแห้งแต่จะมีค่านำกระแสมากเมื่ออากาศชื้นขึ้น ส่วนใหญ่ค่านำกระแสจึงขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ เราเรียก SHUNT CONDUCTANCE มีสัญลักษณ์ย่อว่า g มีหน่วยเป็นโอห์มต่อหนึ่งรอบไมล์ ผลของ g ที่คร่อมกระแสเสียงจะเป็นเหตุให้พลังงานไปถึงโหลดที่ปลายทางน้อยลง

2.3 สายส่งระยะยาว

การหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างปลายสายทั้ง 2 ข้างของสายส่งสามารถกระทำได้โดยใช้วงจรเทียบเคียงของสายส่งต่อเฟสในการวิเคราะห์หาค่าดังกล่าว โดยวงจรเทียบเคียงจะใช้แทนสายส่งที่ระยะต่าง ๆ กัน 3 ระยะ คือ สายส่งระยะสั้น , ปานกลาง และ ระยะยาว ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ (G) , รีซีสเตอร์ (R) , คาปาซิเตอร์ (C) และ คอนดักแตนซ์ (L) โดยเฉพาะค่าคาปาซิแตนซ์ นั้นจะวิเคราะห์ในรูปที่ 2.8 ซัสเซปแตนซ์ (jBC) ส่วน อินดักแตนซ์จะวิเคราะห์ในรูปรีแอกแตนซ์ (jXL) นิวทรัลบัส



รูปที่ 2.8 ช่วงสั้น ๆ ขนาดที่พิจารณาจากสายส่งระยะยาว

สายส่งระยะยาว

X = ระยะที่วัดจากจุดปลายทางมาถึงจุดที่พิจารณาเป็นช่วงสั้นๆ

$V(x)$ = เฟสเซอร์แรงดัน ณ ที่ตำแหน่งความยาว x เมื่อวัดเข้าจากจุดปลายทาง

$I(x)$ = เฟสเซอร์กระแส ที่วิ่งออกจากจุดหรือช่วงสั้นๆ ที่พิจารณา

Z = $R + jXL$ = Series impedance ต่อหน่วยความยาวมีหน่วย เป็น $/m$

Y = Shunt admittance ต่อหน่วยความยาว (S/m)

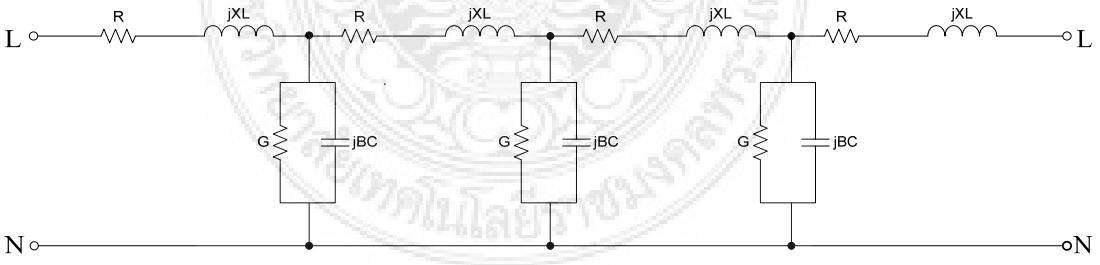
V_S = $V(l)$ = sending end voltage.

V_R = $V(0)$ = Receiving end voltage

I_S = $I(l)$ = Sending end current.

I_R = $I(0)$ = Receiving end current.

l = ความยาวตลอดสายส่ง



รูปที่ 2.9 วงจรเทียบเคียงของสายส่งกำลังไฟฟ้า

วงจรเทียบเคียงตามรูปที่ 2.9 อาจเรียกว่า วงจรเทียบเคียงพารามิเตอร์แบบกระจาย และพึงตระหนักไว้ว่า การวิเคราะห์วงจรสายส่งทั้ง 3 ระยะ จะใช้วงจรเทียบเคียงต่างกันไป ด้วย อักษรและสัญลักษณ์ที่ใช้แทน เพื่อสื่อ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้ามี ดังต่อไปนี้

V_S คือ แรงดันไฟฟ้า ต้นทางของสายส่งต่อเฟส

V_R คือ แรงดันไฟฟ้า ปลายทางของสายส่งต่อเฟส

I_S คือ กระแสไฟฟ้า ต้นทางของสายส่ง

I_R คือ กระแสไฟฟ้า ปลายทางของสายส่ง

l คือ ความยาวของวงจรสายส่ง

r คือ ค่าความต้านทานต่อหน่วยความยาวต่อเฟส

xl คือ รีแอคแตนซ์ต่อหน่วยความยาวต่อเฟส

y คือ แอดมิตแตนซ์ต่อหน่วยความยาวต่อเฟสถึงนิวทรัล

Pf คือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power facter)

R = rl คือ ค่าความต้านทานของสายส่งตลอดความยาวต่อเฟส

x = xll คือ รีแอคแตนซ์ของสายส่งตลอดความยาวต่อเฟส

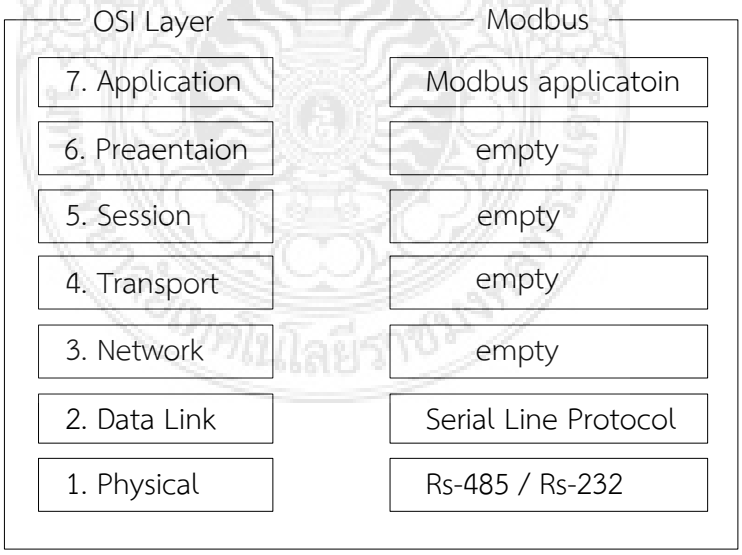
z = $r + jxll$ คือ อิมพีแดนซ์ต่อหน่วยความยาวต่อเฟส

Z = zl = $rl + jxll$ = คือ อิมพีแดนซ์ของสายส่งตลอดความยาวต่อเฟส

Y = yl คือ แอดมิตแตนซ์ของสายส่งตลอดความยาวต่อเฟสถึงนิวทรัล

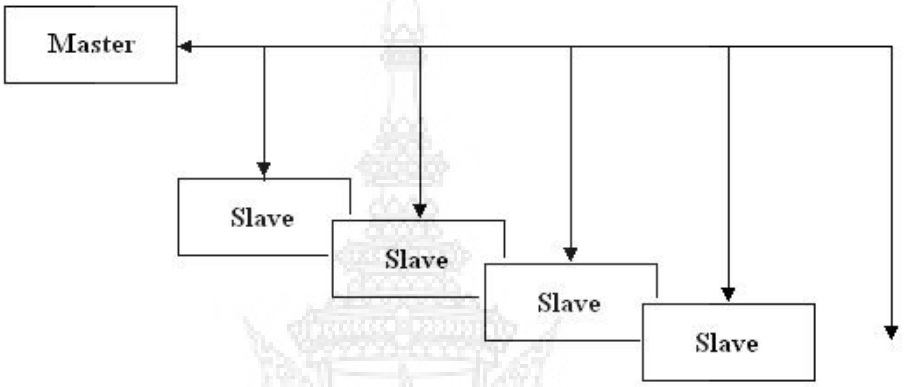
2.4 Modbus Protocol

Modbus เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารซึ่งถูกพัฒนาโดย MODICON, Inc. ในปี 1979. Modbus เป็น open standard ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใน การติดต่อสื่อสารที่เป็นแบบ network protocol ในงานอุตสาหกรรมที่เป็นแบบแบบ Automation. นอกจากนี้แล้ว Modbus ยังสามารถรองรับ และใช้งานร่วมกับ application จำพวก SCADA และ HMI software ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.10 OSI Layer of Modbus

Modbus จะบริการให้อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารกันผ่านทาง serial port (RS-232/422/485) แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้อุปกรณ์สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่บนเครือข่าย Ethernet ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อ-สารแบบ Modbus protocol ส่วนใหญ่จะเป็นจำพวก PLCs, DCSs, HMIs, instruments และ meters เป็นต้น อย่างไรก็ตาม Modbus จำเป็นต้องมีอุปกรณ์จำพวก gateway หรือ bridge ในการติดต่อสื่อสารระหว่าง serial line กับ Ethernet โดยทั่วไป Modbus network จะเป็นแบบ master and slave. ยกเว้น Modbus Plus network เท่านั้นที่จะเป็นแบบ token ring (master fighting master)



รูปที่ 2.11 ระบบเครือข่าย

Controllers สามารถส่งผ่านข้อมูลบน standard Modbus networks ที่เป็นแบบ serial lineได้อยู่ 2 modes คือ ASCII หรือ RTU. นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถที่จะ Setup parameter ต่างๆ ของ serial port (baud rate, parity mode, etc) ค่า serial parameters ของอุปกรณ์ทุกตัวที่ติดตั้งอยู่บน Modbus network. จะมีค่า parameter เหมือนกันทุกตัวแม้ว่าจะใช้อยู่ในโหมดใดก็ตาม

สื่อนำสัญญาณสื่อสาร (Communication Media)

สื่อสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลในระบบ SAS มีผลต่อความปลอดภัยและความต่อเนื่องในการทำงานของระบบ SAS ประเภทของการติดต่อสื่อสารข้อมูลระดับล่าง (Physical and Data link) ในระบบ SAS หลัก มี 3 ประเภทคือ

1. RS232C หรือรู้จักกันทั่วไปในชื่อของ Com Port หรือ Serial Port เป็นการสื่อสารแบบหนึ่งต่อหนึ่งในแบบอนุกรม หรือ หนึ่ง RS232C พอร์ต สามารถสื่อสารกับ IED ได้เพียงตัวเดียว โดยการสื่อสารสามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน (Full Duplex) ข้อดีของ RS232C คือสามารถกำหนดช่วงเวลาการเข้าถึงข้อมูลได้แน่นอนที่สุด (Quality of Service) ข้อเสียคือระยะทางของสายสัญญาณพื้นฐาน (ทองแดง) ประมาณ 10 เมตร และอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดโดยทั่วไปอยู่ที่ 38,400bps

2. RS485 เป็นการสื่อสารแบบหนึ่งต่อหลายตัวในแบบอนุกรม หรือ หนึ่ง RS485 พอร์ต สามารถสื่อสารกับ IED ได้หลายตัว (RS485 Network) โดยการสื่อสารต้องรับและส่งข้อมูลในช่วงเวลาที่ต่างกัน (Haft Duplex) ข้อดีของ RS485 คือระยะทางของสายสัญญาณไกลประมาณ 1,200 เมตรเนื่องจากเป็นส่งสัญญาณแบบสมดุล (Balance Mode) และอัตราการส่งข้อมูลค่อนข้างสูงอยู่ที่ 5 mbps ขึ้นอยู่กับระยะทางและสภาพแวดล้อม ข้อเสียคือ Quality of Service ต่ำกว่า RS232C ขึ้นอยู่กับจำนวนของ IED ที่ใช้สื่อสัญญาณเดียวกัน

3. Ethernet (IEEE 802.3) เป็นรูปการรับส่งข้อมูลพื้นฐานในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มีความเร็วสูงตั้งแต่ 10 mbps ถึงระดับหลายกิกะบิต ระยะทางของสายสัญญาณพื้นฐานโดยประมาณอยู่ที่ 100 เมตร ข้อเสียคือ Quality of Service ค่อนข้างต่ำรวมทั้งการทำการเข้าจังหวะเวลาระหว่าง IED ทำได้ยาก อันเนื่องมาจากไม่สามารถคาดการณ์การชนข้อมูลได้อย่างแน่นอน ส่งผลให้การวัดการหน่วงของเวลาในสายสัญญาณไม่แน่นอน แต่ในปัจจุบันได้พัฒนากลไกการทำงานเพื่อเพิ่ม Quality of Service โดยใช้ตัวบอกระดับความสำคัญของข้อมูล (Priority Tag)

สำหรับในสถานีย่อยที่มีระยะห่างระหว่าง IED ค่อนข้างไกลนั้นไม่สมควรที่ใช้สายสัญญาณที่เป็นสายทองแดงเนื่องจากอาจจะถูกรบกวนจากคลื่นสนามแม่เหล็กได้โดยง่าย โดยเฉพาะในขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเริ่มทำงาน สายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) เป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ โดยปกติสายใยแก้วนำแสงสามารถผลิตจากแก้วหรือพลาสติก ซึ่งสายใยแก้วนำแสงที่สร้างจากพลาสติกจะมีราคาค่อนข้างถูกแต่จะมีข้อเสียในเรื่องของอัตราการเสื่อมสภาพที่สูงกว่าแก้วค่อนข้างมาก

2.5 สกาด้า(SCADA)

SCADA นั้นย่อมาจากคำว่า Supervisory Control And Data Acquisition เป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Real-time ใช้ในการตรวจสอบสถานะตลอดจนถึงควบคุมการทำงานของระบบควบคุมในอุตสาหกรรมและงานวิศวกรรมต่าง ๆ เช่น งานด้านโทรคมนาคมสื่อสาร การประปา การบำบัดน้ำเสีย การจัดการด้านพลังงาน อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันและก๊าซ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ การขนส่ง กระบวนการนิวเคลียร์ในโรงไฟฟ้าเป็นต้น ตัวอย่างการใช้งานเช่นใช้ SCADAตรวจสอบข้อมูลเช่นการรั่วไหลของของเหลวที่เกิดขึ้นในท่อขนส่งจากตัวตรวจจับแล้วส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้พนักงานทราบ โดยส่งข้อมูลสู่ส่วนกลางของระบบ SCADA เป็นต้น นอกจากนั้น SCADA อาจทำหน้าที่คำนวนและประมวลผลข้อมูลที่ได้จากฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ เช่น PLC, Controller, DCS, RTU แล้วแสดงข้อมูลทางหน้าจอ หรือส่งสัญญาณควบคุมฮาร์ดแวร์ดังกล่าว เช่นหากอุณหภูมิของอุปกรณ์สูงเกินพิกัด ให้ทำการปิดอุปกรณ์นั้นเป็นต้น โดยสั่งงานผ่าน PLC หรือController ที่ติดต่ออยู่ ทั้งนี้ SCADA สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากระบบควบคุมทั้งหมดไว้ในฐานข้อมูลเพื่อให้พนักงานหรือโปรแกรมอื่น ๆ สามารถนำไปใช้งานได้ SCADA นั้นเข้าไปมีส่วนใ
นงานควบคุมทั้งเล็กและใหญ่ที่ต้องการแสดงผล แลกเปลี่ยนข้อมูล หรือควบคุมระบบต่าง ๆ จากส่วนกลาง เพื่อการทำงานของระบบรวมที่สัมพันธ์กัน มองเห็นภาพรวมได้อย่างชัดเจนและมีความรวดเร็วต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ระบบ SCADA ในปัจจุบันมีความสามารถในการสื่อสาร ควบคุม

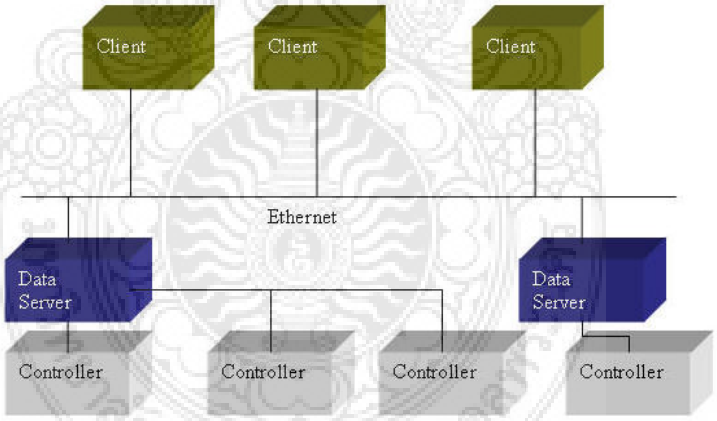
และประมวลผลข้อมูลจาก I/O ของอุปกรณ์เช่น PLC, DCS, RTU ได้ถึงระดับที่เกินหนึ่งแสน I/O แล้ว และได้รับการพัฒนาให้มีความสามารถรองรับความต้องการใหม่ ๆ ของผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอดมา

SCADA เริ่มใช้งานในคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ระบบปฏิบัติการ DOS, VMS และ UNIX จนมาถึงระบบปฏิบัติการWindows NT, XP, Server 2003 และ LINUX ในที่นี้จะแสดงลักษณะสำคัญของ SCADA ตามโครงสร้าง (Architecture) หน้าที่การทำงาน(Functionality) และ การพัฒนาโปรเจ็ค (Application Development) เพื่อให้คุณผู้อ่านได้เข้าใจส่วนสำคัญของSCADA ได้อย่างละเอียด

โครงสร้างของ SCADA (Architecture)

1. โครงสร้างด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware Architecture)

SCADA แบ่งตามโครงสร้างฮาร์ดแวร์ได้สองระดับคือ Client และ Data Server โดยที่ Client คือคอมพิวเตอร์ที่รับและส่งข้อมูลไปยัง Data Server โดยฝั่ง Client นี้จะแสดงผลการทำงานของระบบควบคุมเช่น แสดงเป็นกราฟิก กราฟแบบต่อเนื่อง หรือระบบแจ้งเตือนเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินหรือต้องการแจ้งเตือน เป็นต้น ฝั่ง Client สามารถสั่งงานควบคุมไปยัง Data Server เพื่อส่งสัญญาณไปยัง PLC, DCS หรือ Controller อีกทอดหนึ่ง ส่วน Data Server จะทำหน้าที่ติดต่อกับ PLC, DCS, Controller หรือ RTU ต่าง ๆ เพื่อรับสัญญาณและส่งสัญญาณไปยัง Client และรับการร้องขอจาก Client เพื่อควบคุมอุปกรณ์ PLC และ Controller ต่าง ๆ Client และ Data Server ส่วนใหญ่ติดต่อกันผ่านระบบเครือข่าย Ethernet ดังรูปที่ 2-12



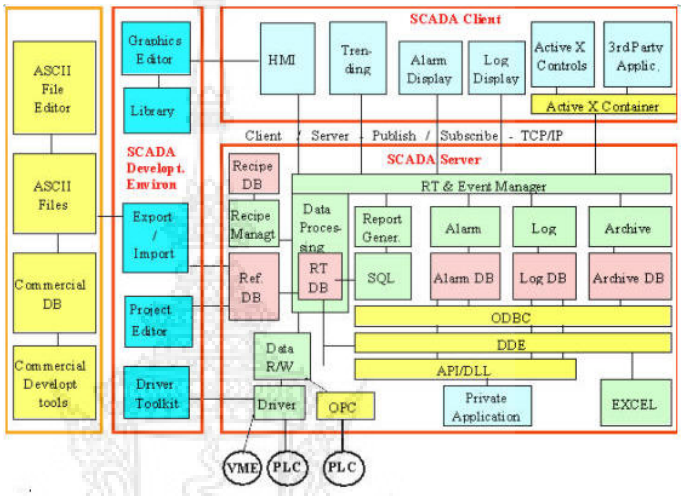
รูปที่ 2.12 โครงสร้างแบบฮาร์ดแวร์ของระบบ SCADA

จากรูปที่ 2.12 นั้น Controller จะติดต่อกับอุปกรณ์ Field Instrument ต่าง ๆ เช่นเซ็นเซอร์ รีเลย์ เป็นต้นเพื่อนำสัญญาณมาให้กับ Data Server

2. โครงสร้างด้านซอร์ฟแวร์ (Software Architecture)

โครงสร้างด้านซอร์ฟแวร์ของระบบ SCADA นั้นมีข้อที่ต้องทราบคือ SCADA ใช้เทคโนโลยีในการสื่อสารกับฮาร์แวร์ (เช่น PLC, DCS) ต่าง ๆ กันไปตามผู้ผลิต เช่นการใช้ Driver เฉพาะของผู้ผลิต SCADA เพื่อสื่อสารกับ PLC, DCS เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันมีการ

กำหนดมาตรฐานกลางคือ OPC ขึ้นมาเพื่อยุติปัญหาการใช้เทคโนโลยีเฉพาะด้านในการสื่อสารนอกจากนั้นยังมีความสามารถในการบริการข้อมูลให้กับ Client ที่รวดเร็วและมีเสถียรภาพโครงสร้างด้านซอร์ฟแวร์ของ SCADA แสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างด้านซอร์ฟแวร์ของ SCADA

จากรูป 2.13 จะพบว่าในส่วนของ SCADA Server นั้น การติดต่อกับ PLC หรือ Controller นั้น ทำได้ทั้งผ่าน Driver หรือOPC โดยที่ OPC และ Driver สามารถรับคำสั่งแบบ Read / Write เพื่ออ่านข้อมูลจาก PLC หรือ เขียนข้อมูลเพื่อสั่งงานไปยัง PLC ได้

SCADA Server จะทำหน้าที่จัดการข้อมูล RTDB (Real Time Data Base) ที่ได้จาก PLC แล้วส่งให้กับSCADA Client โดยที่ SCADA Server บางประเภทจะติดต่อกับ SCADA Client ผ่าน DDE Server ซึ่งทำให้สามารถนำเข้าข้อมูลจาก PLC เข้าสู่โปรแกรมเช่น MS Excel หรือโปแกรม Client อื่น ๆ ที่ติดต่อกับ DDE Server ได้

SCADA บางตัวจะออกแบบให้ SCADA Server ทำหน้าที่ตรวจจับ Alarm และเก็บไว้ใน Alarm DB หรือเก็บข้อมูลที่เป็น Historian ไว้ใน Log DB เป็นต้นเพื่อส่งให้ Alarm Display และ Log Display ทางฝั่ง SCADA Client ต่อไป

สำหรับส่วน Development Environment นั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของ SCADA ซอร์ฟแวร์นั้น ๆ ซึ่งโดยทั่วไปก็จะมีเครื่องมือในการสร้างและจัดการกราฟิก (Graphic Editor) เครื่องมือในการจัดการโปรเจ็คที่สร้างขึ้นมา (Project Editor) มีเครื่องมือในการนำเข้าและส่งออก Text file ที่เก็บค่าคอนฟิกูเรชั่นของการติดต่อกับ Driver หรือ OPC Serverไว้

3. โครงสร้างด้านการสื่อสาร (Communications)

การสื่อสารระหว่าง Client-Server จะสื่อสารผ่านโปรโตคอลโดยทั่วไป เช่น TCP/IP โดย Client จะติดต่อกับพารามิเตอร์หรือ Tag ภายใน Server ที่บริการข้อมูลด้วยรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามผู้ผลิต เช่นมีการส่งค่าจาก Server เมื่อค่าของ I/O ของ PLC มีการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น

การสื่อสารกับอุปกรณ์นั้น Server จะทำการตรวจสอบค่าจากอุปกรณ์ตามช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ (Defined polling rate) โดยอาจจะต่างกันไปตามพารามิเตอร์ประเภทต่าง ๆ โดยตัว Controller จะส่งค่าพารามิเตอร์ตามที่ถูกร้องขอให้กับ Data Server พร้อมค่าเวลาขณะนั้น (Time Stamp) การสื่อสารกับอุปกรณ์ของ Data Server นั้นอาจเป็นการสื่อสารแบบ Modbus, Profibus, CAN bus เป็นต้น ขึ้นอยู่กับมาตรฐานการสื่อสารของอุปกรณ์นั้น ๆ ว่าเป็นแบบใด ในปัจจุบันมีการสร้าง OPC Server ที่สนับสนุนการติดต่อด้วยมาตรฐานต่างๆ เพิ่มขึ้นมากมายจนครอบคลุมอุปกรณ์ทุกประเภท และมีการพัฒนาให้ทั่วถึงไปยังอุปกรณ์ใหม่ ๆ อย่างต่อเนื่อง

4. โครงสร้างอินเทอร์เฟส (Interface)

การติดต่อระหว่าง Data Server กับอุปกรณ์หรือระหว่าง Data Server และ Data Server และกับ Client นั้น มีการผลิตเป็น Driver ออกมามากมายตามเทคนิคเฉพาะของแต่ละผู้ผลิต ต่อมาจึงมีการกำหนดมาตรฐานของอินเทอร์เฟสขึ้นมาเป็น OPC ซึ่งมีความรวดเร็วในการสื่อสารและบริการข้อมูลโดยมีการจัดตั้ง OPC Foundation ขึ้นเป็นองค์กรณ์หลักในการกำหนดมาตรฐานและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่สมาชิก OPC จึงเป็นมาตรฐานกลางที่เปิดกว้างมากที่สุด

การติดต่อกับฐานข้อมูลภายนอกของ SCADA Software นั้น มีการสร้างให้สามารถติดต่อได้ผ่าน ODBC, OLEDB, DDE เป็นต้น เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือทำการเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ ในปัจจุบันมีการพัฒนาให้สามารถติดต่อกับโปรแกรม ERP ต่าง ๆ เช่น SAP เป็นต้นได้ด้วย

5. โครงสร้างความสามารถในการขยายระบบ (Scalability)

Scalability คือความสามารถในการรองรับและต่อขยายระบบ SCADA กับส่วนต่าง ๆ เช่น I/O ของอุปกรณ์Controller และจำนนเครื่อง SCADA Client ที่เพิ่มขึ้น หรือการต่อพ่วงกับระบบ SCADA ของยี่ห้ออื่น ๆ เป็นต้น ถ้าหากData Server เป็นแบบ Driver ที่สร้างด้วยเทคโนโลยีเฉพาะในการติดต่อกับอุปกรณ์ ก็เป็นเรื่องลำบากในการต่อขยาย เพราะ Driver บางประเภทสามารถติดต่อได้เฉพาะ SCADA Software บางยี่ห้อเท่านั้น ปัญหานี้เป็นที่วิพากวิจารณ์กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งปัจจุบันได้หันมาใช้มาตรฐานกลางคือ OPC เพื่อแก้ไขปัญหานี้

6. โครงสร้างการสำรองระบบ (Redundancy)

SCADA Software ส่วนใหญ่มีความสามารถในการทำสำรองระบบของ Data Server โดยที่เมื่อ Data Server เกิดความขัดข้องก็จะสั่งงานให้ Data Server อีกตัวหนึ่ง

ทำงานแทนที่ โดยจะมีการกำหนดคอนฟิกูเรชั่นไว้ที่ Client ว่าจะให้เลือกติดต่อกับ Data Server ตัวไหนเมื่อเกิดความขัดข้องเกิดขึ้น

ในบางครั้งโมดูลที่ทำหน้าที่จัดการด้าน Redundancy นี้อาจจะทำหน้าที่อีกประการหนึ่งคือเป็นจุดพักข้อมูลที่รับมาจาก Data Server เพื่อนำไปส่งให้กับ Client ต่าง ๆ เพราะในกรณีที่มี Client จำนวนมากติดต่ออยู่กับ Data Server ตัวเดียวนั้นอาจมีความล่าช้าในการบริการข้อมูลของ Data Server เพราะต้องให้บริการข้อมูล Client ให้ครบจำนวนก่อนที่จะไปรับข้อมูลใหม่จากอุปกรณ์มาได้ ดังนั้นโมดูลที่ทำหน้าที่ Redundant จึงทำหน้าที่เป็นจุดรับข้อมูลแล้วช่วยส่งต่อให้ Clientต่างๆ อีกทอดหนึ่ง Data Server จะได้ทำหน้าที่บริการข้อมูลให้แก่โหนดเพียงจุดเดียว จึงมีความรวดเร็วในการบริการข้อมูล

7. หน้าที่การทำงาน (Functionality)

การเข้าถึงพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ หมายถึงความสามารถในการเข้าถึงกลุ่มของพารามิเตอร์ในอุปกรณ์เช่น I/O ของ PLC เป็นต้น ความสามารถของ Data Server ในการกำหนดว่าพารามิเตอร์ใดอ่านได้อย่างเดียวเขียนได้อย่างเดียวหรือทั้งอ่านทั้งเขียนเป็นต้น

8. ระบบแสดงผลแบบ MMI (Man Machine Interface)

คือความสามารถในการแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ในรูปแบบกราฟิกข้อความสัญลักษณ์แผนภาพเป็นต้น โดยสามารถเชื่อมโยงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกราฟิกเหล่านี้กับพารามิเตอร์จาก Data Serverได้ ความสามารถในการสั่งงานผ่านระบบกราฟิกเช่น การปิด/เปิด สวิทช์บนจอมอนิเตอร์ส่งผลไปยัง I/O ของ PLC เป็นต้น

ความสามารถในการจัดการกราฟิกเช่นการย่อขยายการกำหนดการเคลื่อนไหวแบบต่าง ๆ เช่น การหมุนการเคลื่อนที่แบบซิกแซกตามสัญญาณของ Data Server การแสดงผลสัญญาณในรูปแบบมิเตอร์และเกจวัดแบบต่าง ๆ การนำเข้ากราฟิกประเภทต่างๆ การจัดแบ่งเลเยอร์ เป็นต้น เหล่านี้เป็นข้อเปรียบเทียบความสามารถของ SCADA Software ทั้งสิ้น

9. ระบบแสดงกราฟสัญญาณแบบต่อเนื่อง (Trending)

Trending เป็นความสามารถในการพล็อตกราฟต่อเนื่องกันไปบนจอภาพเพื่อแสดงค่าสัญญาณจาก Data Serverโดยอาจจะสามารถพล็อตสัญญาณได้หลายสัญญาณเช่น 8 – 24 สัญญาณ พร้อมกันในหน้าต่างเดียว เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสัญญาณที่พล็อตได้ และไม่จำกัดว่าจะสร้างหน้าต่างพล็อตจำนวนเท่าใด

Trending อาจมีความสามารถในการ ซูมสัญญาณที่พล็อต และหยุดการพล็อตเพื่อเลื่อนดูค่าที่พล็อตในแต่ละช่วงเวลาได้ด้วยตัวของผู้ใช้งานเอง นอกจากนั้นการพล็อตอาจสามารถเลือกได้ว่าจะให้เป็นการพล็อตแบบใดเช่น Time plot, Logarithmic plot, Strip Chart, Bar Chart, Circular, X-Y plot เป็นต้น นอกจากนั้นบางผู้ผลิตยังสามารถนำค่า Historian หรือข้อมูลสัญญาณที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลออกมาพล็อต ได้อีกด้วย

โดย Trending Module นี้อาจเป็นแบบ ActiveX Control คือสามารถนำไปใช้งานในแอปลิเคชั่นอื่นที่สนับสนุนการนำเข้า ActiveX ได้

10. ระบบแจ้งเตือน (Alarm)

SCADA Software ส่วนใหญ่มีระบบแจ้งเตือนโดย Alarm Display จะรับสัญญาณมาจาก Alarm DB ในฝั่งSCADA Server โดย Alarm DB สามารถที่จะทำการกำหนดคอนฟิกูเรชั่นว่าจะนำสัญญาณตัวใดมาเป็นตัวพารามิเตอร์ในการแจ้งเตือนบ้าง และมีการแบ่งระดับของ Priority, Limit อย่างไร เป็นต้น

ระบบแจ้งเตือนยังสามารถที่จะเก็บข้อมูลการแจ้งเตือนไว้ในฐานข้อมูลประเภทต่าง ๆ ได้เช่น MS SQL Server, MS Access, Oracle, MS Excel เป็นต้น และบางยี่ห้อสามารถแสดงออกมาเป็นรายงานในรูปแบบตารางหรือ แผนภูมิได้อีกด้วย

11. การทำงานแบบ Automation

เป็นความสามารถที่ SCADA ทำหน้าที่ต่าง ๆ ตามที่กำหนด เช่น ส่งอีเมล์ แสดงข้อความแบบ Instance Messageบนหน้าจอ เปิดไปยังหน้าจออื่น ๆ เก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล เปิดโปรแกรม หรือรันคำสั่งสคริปต์ เป็นต้น ตามสัญญาณที่ได้รับจาก Data Server และข้อกำหนดที่สร้างขึ้น

12. การสร้างและพัฒนา (Application Development)

การกำหนดคอนฟิกูเรชั่น

การกำหนดคอนฟิกูเรชั่นขั้นแรกต้องมีการกำหนดว่าจะติดต่อกับพารามิเตอร์หรือ Tag ใดบ้างจาก Data Server ดังนั้นจะต้องทำการป้องกันที่ Data Server ก่อนว่า Tag แต่ละตัวหมายถึง Address ที่เท่าใดของอุปกรณ์ (PLC, DCS, RTU, Controller ต่างๆ) โดยทั่วไปสามารถทำการนำเข้าคอนฟิกูเรชั่นไฟล์ที่สร้างไว้ก่อนเข้ามาได้ และสามารถ Export ไปยัง Data Server อื่น ๆ ได้จากนั้นโปรแกรมย่อยอื่น ๆ ของ SCADA Software ฝั่งไคลเอนท์ จึงทำคอนฟิกูเรชั่นตามหน้าที่การทำงานของตนเอง เช่น โมดูลที่มีหน้าที่แสดงผลกราฟิกก็ต้องกำหนดว่ากราฟิกนั้น ๆ จะเชื่อมโยงกับ Tag ใดจาก Data Server ส่วนโมดูลที่ทำหน้าที่แจ้งเตือนก็ต้องทำคอนฟิกูเรชั่นว่าจะนำ Tag ใด มาเป็นสัญญาณแจ้งเตือน และกำหนดระดับสัญญาณ Limit เป็นต้น

13. เครื่องมือในการพัฒนา (Development Tool)

เครื่องมือในการสร้างและพัฒนาระบบ SCADA โดยทั่วไปจะประกอบด้วย

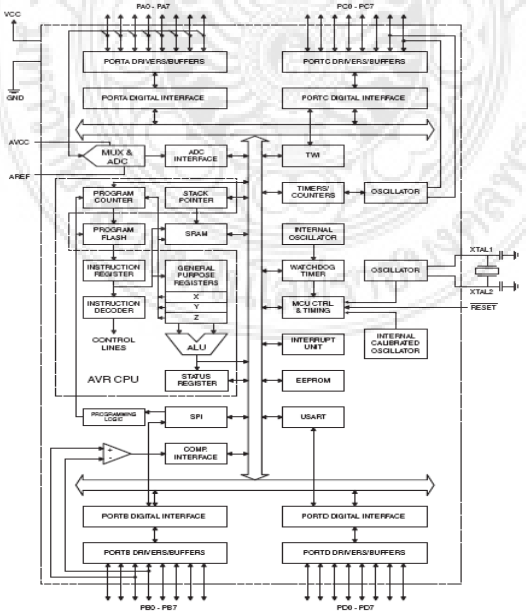
- เครื่องมือในการสร้างระบบกราฟิก ที่ประกอบด้วยเครื่องมือวาดภาพ เครื่องมือกำหนดเอ็ฟเฟ็คพิเศษต่าง ๆ ไลบรารี่ของกราฟิกสำเร็จรูปในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ
- เครื่องมือในการสร้าง Trending
- เครื่องมือในการสร้างระบบAlarm
- เครื่องมือในการกำหนดการติดต่อกับฐานข้อมูลเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของ Trending และ Alarm ลงไว้ในฐานข้อมูล

- เครื่องมือในการช่วยสร้าง Script เช่น Java script, VB Script
- เครื่องมือจัดการด้านความปลอดภัย การแบ่งระดับ User และขอบเขตการใช้งานของ User
- เครื่องมือในการสร้าง Web application เพื่อให้สามารถควบคุมและตรวจสอบระบบควบคุมผ่าน Web browser ได้

ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นลักษณะของ SCADA และ SCADA Software ส่วนใหญ่ ทั้งนี้คุณผู้อ่านก็คงจะพอเห็นภาพว่าSCADA นั้นสามารถเป็นศูนย์กลางของระบบควบคุมทั้งหมดขององค์กร และมีส่วนช่วยในการตรวจสอบการทำงานของระบบให้เป็นไปตามปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึง ภายในเวลาอันรวดเร็ว มีส่วนช่วยในการตัดสินใจในการดำเนินงานจากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับจากระบบ SCADA นอกจากนี้เรายังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จาก SCADA เข้ากับข้อมูลทางธุรกิจอื่น ๆ เพื่อประมวลผลร่วมกัน เช่น ข้อมูลจำนวนของเสียเป็นกิโลกรัมที่ตรวจสอบได้จาก SCADA ถูกนำมาคำนวนร่วมกับค่าใช้จ่ายอื่น ๆ แบบ Real time เพื่อสรุปเป็นรายงานค่าใช้จ่ายประจำวันเป็นต้นได้อย่างรวดเร็ว

2.6 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR เป็นหนึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL (ผู้นำทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51) AVR จัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่จาก ATMEL มีสถาปัตยกรรมแบบ RISC (Advanced RISC architecture) คือหนึ่งคำสั่งทำงานใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูก (instructions in a single clock cycle) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูงแบ่งออกเป็นหลายอนุกรมในแต่ละอนุกรมยังแบ่งออกเป็นหลายเบอร์เพื่อรองรับความต้องการที่แตกต่างของผู้ใช้งานในขณะที่ยังคงความประสิทธิภาพที่เท่ากัน สำหรับไมโครคอนโทรเลอร์ AVR ที่นำมาใช้ในปริญญานิพนธ์นี้ใช้เบอร์ ATmega32 รายละเอียดและคุณสมบัติภายในไมโครคอนโทรเลอร์ ATmega32 แสดงดังไดอะแกรมดังรูปที่ 2.14



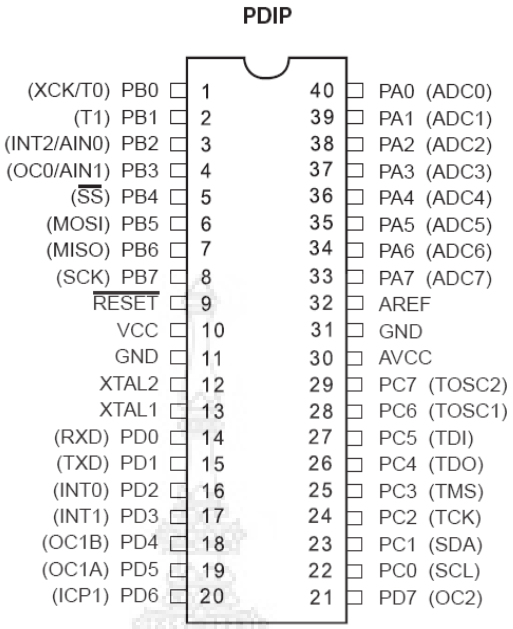
รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรม AVR (ATmega32)

2.6.1 คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์

- สถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบ Advanced RISC (Reduce Instruction Set Computer)
- มีคำสั่งควบคุมการทำงานมากกว่า 100 คำสั่งโดยมีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา (1 MIP/1 MHz)
- มีรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป 8 บิต จำนวน 32 ตัว (ทำให้สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C เป็นอย่างมาก)
- ความเร็วในการทำงาน 1 MIPS ต่อ 1 MHz และมากถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ที่ 16 MHz (ความสามารถในการใช้งานความถี่สัญญาณนาฬิกาขึ้นอยู่กับเบอร์ที่เลือกใช้งาน)
- หน่วยความจำ ROM แบบ Flash (มีโหลดป้องกันหน่วยความจำ) ขนาด 16 กิโลไบต์ (เขียน/ลบได้ 10,000 ครั้ง)
- หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 1 กิโลไบต์
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้งแบบ 8 บิตและ 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์
- มีระบบตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของซอฟต์แวร์ (Watchdog Timer with On-Chip Oscillator)
- โมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulator) มีจำนวน 4 ช่อง
- มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ขนาด 10 บิต มากถึง 8 ช่อง
- โมดุลเปรียบเทียบแรงดันอนาลอก (Analog Comparator)
- การสื่อสารข้อมูลอนุกรมทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver - Transmitters) หรือแบบ RS232 , SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นต้น
- พอร์ตอินพุตเอาต์พุตขึ้นอยู่กับเบอร์ AVR ที่เลือกใช้งาน มีตั้งแต่ 8 ขา จนมากกว่า 100 ขา พอร์ต (ATmega 32 มีขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 32 ขา)
- แรงดันไฟเลี้ยงและความเร็วในการทำงานขึ้นอยู่กับเบอร์ AVR ที่เลือกใช้งาน

2.6.2 ขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุต

ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 32 มีจำนวน 40 ขาโดยแบ่งเป็น ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตอิสระ จำนวน 32 ขา ประกอบไปด้วย PA, PB, PC, PD ขนาด 8 บิต และขาพอร์ตที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณอนาลอกจำนวน 2 ขาพอร์ตคือ AREF และ AVCC ดังรายละเอียดขาพอร์ตทั้งหมดแสดงรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ขาพอร์ต AVR (ATmega32) ตัวถังแบบ PDIP

รายละเอียดในแต่ละขาพอร์ต

- VCC ขาแรงดันไฟตรง
- GND ขากราวด์
- Port A (PA0..PA7) ขาพอร์ตเป็นอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) และสามารถกำหนดใช้งานเป็นพอร์ต อินพุตสัญญาณอนาลอก (A/D Converter)ได้
- Port B (PB0..PB7) เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ต ได้ (internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษอีกด้วย เช่นขาสำหรับโปรแกรมชิพ ขาป้อนสัญญาณนาฬิกาภายนอก เป็นต้น
- Port C (PC0..PC7) นอกจากจะเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล ที่กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) แล้วยังเป็นขาพอร์ตหน้าที่พิเศษ เช่น ขาเชื่อมต่อกับดีบักและ โปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อกับดีบักและโปรแกรมด้วยการเชื่อมต่อแบบ JTAG เป็นต้น
- Port D (PD0..PD7) เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิตอล กำหนดการพูลอัพภายในขาพอร์ตได้ (internal pull-up register) และเป็นขาพอร์ตทำหน้าที่พิเศษ เช่น ขาเชื่อมต่ออนุกรม ขาอินเตอร์รัปต์ เนื่องจากสัญญาณภายนอก เป็นต้น
- RESET ขาเซตวงจร
- XTAL1 ขาต่อคริสตอลออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านอินพุต
- XTAL2 ขาต่อคริสตอลออสซิลเลเตอร์ ช่องที่ 1 ด้านเอาต์พุต
- AVCC ขาแรงดันสำหรับพอร์ต A และโมดูลแปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นดิจิตอล
- AREF ขาแรงดันอนาลอกอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

- /RESET ขารีเซตวงจร

- XTAL1 ขาต่อคริสตอลออสซิเลเตอร์ ช่องที่1 ด้านอินพุต

- XTAL269 ขาต่อคริสตอลออสซิเลเตอร์ ช่องที่2 ด้านอินพุต

- AVCC ขาแรงดันสำหรับพอร์ต A และโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

- AREF ขาแรงดันอนาลอกอ้างอิงสำหรับโมดูลแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล

2.6.3 ความรู้พื้นฐานในการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์

รายละเอียดเนื้อหาในส่วนนี้ เป็นส่วนสำคัญสำหรับเริ่มต้นการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงจำเป็นต้องศึกษาทำความเข้าใจ แล้วนำหลักการนี้ไปใช้ในการเขียนโปรแกรม

เลขฐานสอง (Binary Numbers) เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เป็นอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ ที่มีหน่วยประมวลผลเริ่มต้นขนาด 8 บิต รายละเอียดต่าง ๆ จึงถูกอ้างอิงกับข้อมูลขนาด 8 บิต แต่ละบิตประกอบไปด้วยเลขศูนย์กับหนึ่ง หรือที่เรียกว่าเลขฐานสอง การศึกษาและเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องทำความเข้าใจกับตัวเลขฐานสองเช่นพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตหรือ 8 ขาในแต่ละขาสามารถกำหนดสถานะได้สองสถานะได้สองสถานะในการทำงานคือสถานะลอจิก 0 และสถานะลอจิก 1 หรือ High ตัวอย่างเช่น พอร์ต PA ของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR มีขนาด 8 บิตโดยบิตนัยสำคัญสูงสุดเรียกว่า MSB (Most significant bit) และบิตสำคัญต่ำสุดเรียกว่า LSB (Least -significant bit) ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดง PAของไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR

PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
X	x	X	X	x	X	x	X

MSB LSB

หากต้องการให้บิตที่ 3 และบิตที่ 4 ติด เราสามารถกำหนดค่าได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงการกำหนดค่าให้กับพอร์ต PA ของ AVR ในแต่ละบิต

PA7	PA6	PA5	PA4	PA3	PA2	PA1	PA0
0	0	0	1	1	0	0	0

MSB LSB

หรือเทียบได้กับเลขฐานสองเท่ากับ 00011000 และเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ต PA ได้ดังนี้ PA = 0b00011000 โดย 0b แสดงถึงตัวเลขที่ตามมานั้นเป็นเลขฐานสอง

แต่เนื่องจากการอ้างอิงพอร์ตขนาน 8 บิตด้วยเลขฐานสองเมื่อนำไปเขียนโค้ดโปรแกรมจะเกิดความไม่สะดวก และยืดยาวหากต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละบิตจึงแทนค่าเลขฐานสองด้วยเลขฐานสิบหกซึ่งได้เท่ากับ 0x18 (0x ในโค้ดโปรแกรมแสดงถึงตัวเลขที่ตามมานั้นเป็นตัว-เลขฐานสิบหก) เช่น

PA = 0xF0; การสื่อสารชัดเจนสะดวกต่อการเขียน F เท่ากับ 1111 แสดงถึงค่า 4 บิตบน คือ

PA7-PA4 และ 0 เท่ากับ 0000 แสดงถึงบิตล่าง คือ PA3-PA0

PA = 0b11110000; สื่อสารชัดเจนแต่เขียนยุ่งยากการเปลี่ยนแปลงค่ายุ่งยาก

PA = 15; ไม่สามารถบอกได้ว่าบิตใดเท่ากับ 0 หรือ 1 ต้องแปลงเลขฐานก่อน

จำนวนเลขฐานสิบหกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อตัวเลขมากขึ้นค่าแต่ละหลักยังคงแทนด้วย 0-Fเช่น

เลขฐานสอง	1010	1011	0001	1010	1110	0001
เลขฐานสิบหก	A	B	1	A	E	1
เลขฐานสิบ	11213537					

การใช้เลขฐานสองและเลขฐานสิบหกจะสะดวกกว่าการใช้เลขฐานสิบเมื่อนำมาใช้ในการกำหนดค่าให้กับพอร์ตและรีจิสเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์เลขฐานสิบเหมาะที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าทางคณิตศาสตร์หรือการคำนวณทั่วๆไป

2.6.4 หลักการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์จะแตกต่างจากการเขียนโปรแกรมใช้งานบนคอมพิวเตอร์เนื่องจากการเขียนโปรแกรมกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องคำนึงถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวที่เลือกใช้เป็นหลักซึ่งจะมีคุณสมบัติข้อกำหนด และ ความสามารถแตกต่างกัน การเขียนโปรแกรมควบคุมจึงมีหลักการดั้งนี้

1. ทำความเข้าใจกับส่วนที่ต้องการใช้งานในไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือที่เรียกว่าโมดูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น โมดูลพอร์ต ทำหน้าที่เกี่ยวกับอินพุต เอาต์พุตพอร์ตโมดูลทามเมอร์เกี่ยวข้องกับการนับเวลาหรือการจับเวลาเป็นต้น

2. เมื่อเข้าใจการทำงานในโมดูลที่ต้องการแล้วให้ศึกษาทำความเข้าใจกับรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโมดูลนั้น ๆ เนื่องจากรีจิสเตอร์เปรียบเสมือนสวิตช์เปิด/ปิดการใช้งานในโมดูลนั้น ๆ เมื่อกำหนดสวิตช์ เปิด/ปิดเรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเริ่มทำงานตามที่ได้กำหนดไว้ในรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวของทันที(ตามสวิตช์ที่ได้กำหนดไว้)

3. รีจิสเตอร์ในบางโมดูลจะมีบิตเฉพาะ สำหรับใช้ในการ เปิด/ปิด การใช้งานหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นสวิตช์หลักแต่บางโมดูลจะไม่มีเพียงกำหนดรีจิสเตอร์ที่จะใช้งานก็เริ่มต้นทำงานได้ทันที

4. บางโมดูลนอกจากกำหนด เปิด/ปิด แล้วยังต้องมีการกำหนดส่วนทำงานของโมดูลนั้น ๆ ด้วยเช่น โมดูลที่เกี่ยวข้องกับอินเตอร์รัปต์ (งานที่ขัดจังหวะงานหลักที่ทำอยู่) ต้องมีการกำหนดฟังก์ชันที่เกี่ยวกับอินเตอร์รัปต์ของโมดูลที่ใช้งานด้วย

5. หลังจากที่กำหนดค่าบิตในรีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูลแล้วจากนั้นการเขียนโปรแกรมจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานการเขียนโปรแกรมของแต่ละบุคคลรวมถึงพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์หากมีความสามารถในการเขียนโปรแกรมให้ทำงานได้เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีพื้นฐานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เลยผลลัพธ์

การทำงานของโปรแกรมที่ได้อาจไม่ถูกต้องเนื่องจากการต่อวงจรใช้งานผิดพลาดดังนั้นการเขียนโปรแกรม ควบคุมไมโครคอนโทรเลอร์จึงต้องมีพื้นฐานทางด้าน

อิเล็กทรอนิกส์บ้างซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรม และการใช้งานไมโครคอนโทรเลอร์เป็นไปตามความต้องการมากขึ้น

2.7 พอร์ตอนุกรม RS-232

การที่จะเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกันมีช่องการติดต่อการรับส่งข้อมูลแบบขนาน และการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมการรับส่งข้อมูลแบบขนานจะเป็นการรับหรือส่งข้อมูลครั้งละ 4 หรือ 8 บิต ในเวลาเดียวกันซึ่งจะทำให้การรับและส่งข้อมูลทำได้ที่ความเร็วสูง หมายความว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการส่งจะต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่จะส่งก็ได้ ซึ่งเป็นปัญหาในเรื่องราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพง

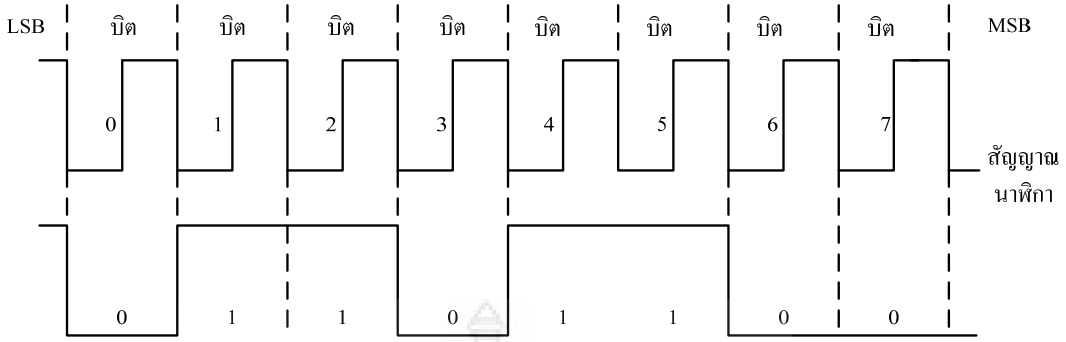
การส่งข้อมูลแบบทีละไบต์ หรือการส่งแบบขนาน เป็นวิธีที่เร็วแต่ถูกรบกวนได้ง่ายจากสัญญาณรบกวนต่างๆ และมีราคาแพงเนื่องจากใช้ปริมาณสายส่งมากซึ่งอาจใช้สายตั้งแต่ 9 เส้น ถึง 25 เส้นจึงเป็นเหตุให้วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมในการส่งข้อมูลในระยะทางไกลในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิตแต่ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้คราวละหลายๆบิตได้หากแต่จะต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวส่ง และตัวรับว่าจะรับส่งคราวละกี่บิตตัวรับจะต้องรอข้อมูลมาให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงทำการประมวลผลการส่งข้อมูลแบบอนุกรม จะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่าอย่างน้อยที่สุดใช้เพียง 2-3 เส้นเท่านั้นแต่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลจะช้ากว่าแบบขนาน อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถทำได้มากกว่า

2.7.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การสื่อสารอนุกรมแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) และการสื่อสารอนุกรมแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous) การสื่อสารข้อมูลแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) การสื่อสารข้อมูลแบบเข้าจังหวะนั้นจะมีสัญญาณนาฬิกาต่อร่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณ ตัวอย่างในการส่งข้อมูลแบบเข้าจังหวะคือแป้นพิมพ์ของคอมพิวเตอร์ซึ่งจะใช้สายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา สายสัญญาณอีกเส้นหนึ่งจะเป็นสายสัญญาณข้อมูล ดังนั้นในการติดต่อแบบเข้าจังหวะจะต้องใช้สายสัญญาณในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุดสามเส้น คือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และกราวด์ การสื่อสารข้อมูลแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous) การสื่อสารข้อมูลแบบไม่เข้าจังหวะ คือการรับและส่งข้อมูลในสายสัญญาณ โดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยเหมือนกันกับการรับส่งข้อมูลแบบเข้าจังหวะ แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับ และภาคส่งให้มีค่าเท่ากันเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับ และภาคส่งนี้ว่าอัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบไม่เข้าจังหวะนั้น จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วนคือ

- บิตเริ่มต้น จะมีขนาด 1 บิต (Start Bit)
- บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต (Data Bit)
- บิตตรวจสอบพาริตี้ จะมีขนาด 1 บิต หรือไม่มี (Parity Bit)
- บิตปิดท้ายจะมีขนาด 1,1.5 หรือ 2 บิต (Stop Bit)



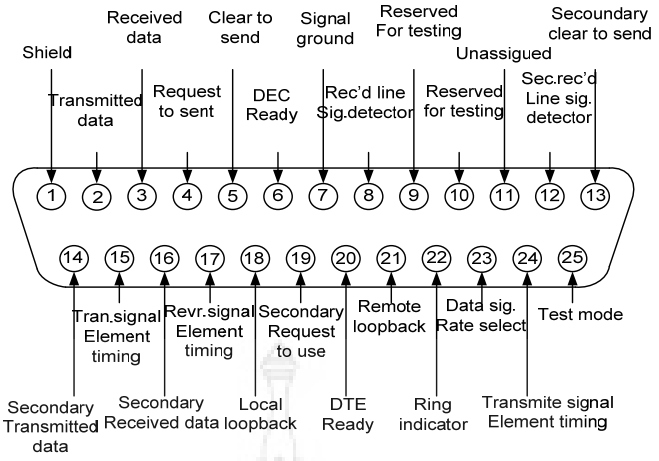
รูปที่ 2.16 รูปแบบที่ง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous)

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ แบบคู่ หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตี้การตรวจสอบพาริตี้เป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็นลอจิก 1 ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ โดยต้องรวมบิตพาริตี้เข้าไปด้วย ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต และมีค่าเท่ากับ 99 ฐานสิบหก หรือ 1001 1001 ฐานสอง จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก 1 จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่นี้ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ค่าในบิตพาริตี้จะต้องมีลอจิกเป็น 0 แต่ถ้าพาริตตี้เป็นคี่ ค่าที่บิตพาริตี้จะต้องเป็น 1 เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมบิตพาริตี้มีจำนวนบิตที่เป็นลอจิก 1 มีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่

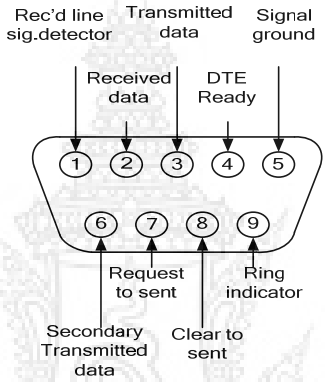
บิตพาริตี้ของข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบไม่เข้าจังหวะ ซึ่งทางภาครับจะต้องทำการกำหนดคุณสมบัติของการตรวจสอบพาริตี้ให้ตรงกันว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่ หรือ พาริตี้คู่จากนั้นภาครับของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบไม่เข้าจังหวะ จะทำการตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็น คู่ หรือ เป็นคี่ โดยการนับจำนวน 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดไว้เป็นคู่แต่อ่านตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ นับว่าเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการถ่ายข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่จะเชื่อถือได้มีบิตข้อมูลที่ทำการส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับ และภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

2.7.2 โครงสร้างของพอร์ตอนุกรม

พอร์ตอนุกรมมี 2 ขนาดคือ หัวต่อ D-Type ชนิด 25 ขา และ D-Type ชนิด 9 ขามีลักษณะหัวต่อคล้ายอักษร D ที่ด้านหลังคอมพิวเตอร์หัวต่อจะเป็นตัวผู้แสดงในรูปที่ 2.17 (ก) แสดงหัวต่อ D-Type ชนิด 25 ขา และ 2.17 (รูปที่ ข) แสดงหัวต่อ D-Type ชนิด 9 ขา



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.17 ชนิดของพอร์ตอนุกรม

(ก) แสดงหัวต่อ D-Type ชนิด 25 ขา

(ข) แสดงหัวต่อ D-Type ขนิด 9 ขา

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบขาของหัวต่อ D-Type ชนิด 25 ขา และ D-Type ชนิด 9 ขา

ชนิด DB 25	ชนิด DB 9	ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
Pin 2	Pin 3	TD	Transmit Data
Pin 3	Pin 2	RD	Receive Data
Pin 4	Pin 7	RTS	Request To Send
Pin 5	Pin 8	CTS	Clear To Send
Pin 6	Pin 6	DSR	Data Set Ready
Pin 7	Pin 5	SG	Signal Ground
Pin 8	Pin 1	DCD	Data Carrier Detect
Pin 20	Pin 4	DTR	Data Terminal Ready
Pin 22	Pin 9	RI	Ring Indicator

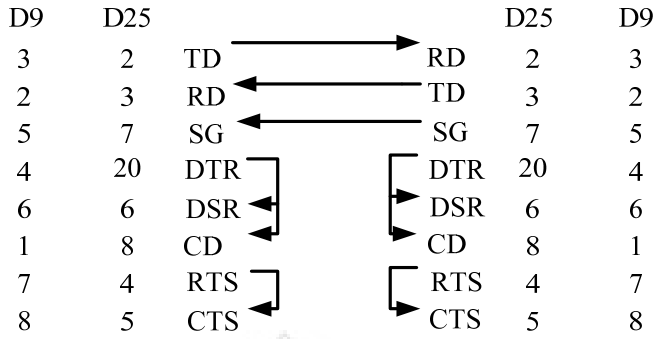
ตารางที่ 2.4 แสดงหน้าที่ของขาคอนเนคเตอร์

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม	หน้าที่
TD	Transmit Data	Serial Data Output (TXD)
RD	Receive Data	Serial Data input (RXD)
CTS	Clear To Send	บอกว่าโมเด็มพร้อมที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูล
DCD	Data Carrier Detect	เมื่อโมเด็มตรวจรับจับสัญญาณ Carrier ก็จะ Active
DSR	Data Set Ready	บอก UART ว่าโมเด็มพร้อมติดตั้ง Link
DTR	Data Terminal Ready	บอกโมเด็มว่า UART พร้อมติดตั้ง Link
RTS	Request To Send	บอกโมเด็มว่า UART พร้อมจะแลกเปลี่ยนข้อมูล
RI	Ring Indicator	จะ Active เมื่อโมเด็มตรวจจับสัญญาณ ring จาก PSTN

2.7.3 การเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม

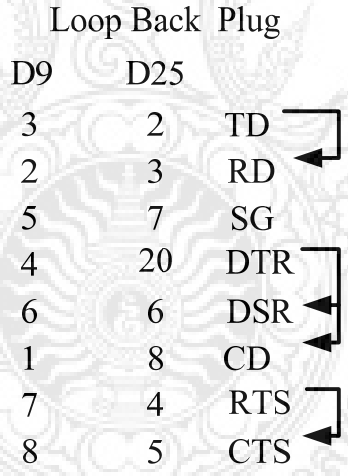
การต่อแบบ Null Modem เป็นวิธีการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ DTE 2 เครื่อง เข้าด้วยกันโดยไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเนื่องจากจะใช้สายยาวซึ่งต่อระหว่างอุปกรณ์ DTE เพียง 3 เส้น เท่านั้น คือ ขาส่ง ขารับ กราวด์ (TD,RD&SG)

จุดประสงค์ของการต่อแบบ Null Modem ก็คือทำให้คอมพิวเตอร์คิดว่ากำลังติดต่อกับโมเด็มหรืออุปกรณ์ DCE อยู่แทนที่จะเป็นคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ DTE เครื่องอื่นโดยการต่อสายจาก TD ของคอมพิวเตอร์เครื่องแรกไปยัง RD ของคอมพิวเตอร์ที่สอง ทำให้ข้อมูลสามารถส่งไปได้ ลักษณะการต่อแบบ Null Modem แสดง ดังภาพที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การต่อแบบ Null Modem

การต่อแบบ Loop Back Plug บางครั้งในการเขียนโปรแกรมสื่อสารผ่านทางพอร์ตอนุกรมอาจมีการทดสอบการรับส่งข้อมูลภายในเครื่องเดียวกัน ก่อนที่จะออกสู่อุปกรณ์ภายนอกการต่อใช้ Loop Back Plug จะต่อขารับ และขาส่งเข้าด้วยกันเพื่อข้อมูลที่ส่งออกจากพอร์ตอนุกรมจะถูกรับทันทีโดยพอร์ตเดียวกัน เช่น ถ้าต่อ Loop Back Plug เข้ากับพอร์ตอนุกรมและใช้โปรแกรมเทอร์มินัลเมื่อส่งค่าอะไรไปก็ปรากฏบนหน้าจอทันที ลักษณะการต่อแสดงใน รูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การต่อแบบ Loop Back Plug

2.8 ภาษา ASCII

ตัวเลขเป็นภาษาของคอมพิวเตอร์เมื่อต้องการติดต่อสื่อสารกับโปรแกรม (และกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น) คอมพิวเตอร์ของคุณจะแปลงอักขระและสัญลักษณ์เป็นตัวแทนสัญลักษณ์และอักขระที่เป็นตัวเลขในช่วงทศวรรษ 1960 ความต้องการที่จะทำให้การสื่อสารดังกล่าวเป็นมาตรฐานจึงทำให้เกิดโค้ดที่เรียกว่า American Standard Code for Information Interchange (ASCII) (อ่านว่าแอสกี) โดยตาราง ASCII ประกอบด้วยตัวเลข 128 ตัวซึ่งจะใช้แทนอักขระ ทั้งนี้ ASCII ให้วิธีที่คอมพิวเตอร์สามารถเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นและโปรแกรมอื่น ๆ ได้ ข้อความที่มีการจัดรูปแบบ ASCII จะไม่มีข้อมูลที่มีการจัดรูปแบบ เช่น ตัวหนา ตัวเอียง หรือแบบอักษรเมื่อคุณใช้ Microsoft Notepad หรือบันทึกแฟ้มเป็นข้อความธรรมดาใน Microsoft Office Word แล้ว ASCII จะถูกใช้งานคุณอาจได้อ่านโฆษณาสำหรับการเปิดรับสมัครงานที่นายจ้างถามถึงประวัติย่อในรูปแบบ ASCII ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าคุณจะส่งประวัติย่อของคุณในข้อความอีเมลโทรสารหรือสำเนาที่พิมพ์ก็ตามผู้จ้างต้องการประวัติย่อของคุณที่ไม่มีลักษณะการจัดรูปแบบพิเศษข้อความที่มีการจัดรูปแบบ ASCII จะทำงานได้ดีกับซอฟต์แวร์การสแกนประเภทการรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR) ที่บริษัทขนาดใหญ่หลายแห่งมักจะใช้เพื่อสแกนประวัติย่อ

2.9 โปรแกรม Delphi 7

คือซอฟต์แวร์ที่เรานำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแอพพลิเคชั่น หรือซอฟต์แวร์อีกทีโดยจะประกอบไปด้วยเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมได้อย่างสะดวกDelphi 7 จัดเป็นเครื่องมือเขียนโปรแกรมชนิด Visual Programming เช่นเดียวกับ Visual Basic หรือ Visual C++ โดยมีข้อดีคือ สามารถเขียนโปรแกรมได้ง่าย และให้ผลงานออกมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะแตกต่างจากเครื่องมือเขียนโปรแกรมรุ่นเดิม ๆ เช่น Turbo Pascal หรือ Borland C ที่มีความยุ่งยากในการใช้งานและการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรม ดังนั้นจึงจัดให้ Delphi 7 เป็นซอฟต์แวร์ประเภท RAD หรือ Rapid Application Development ซึ่งแปลว่าสามารถสร้างแอพพิเคชันได้อย่างรวดเร็วจุดเด่นของ Delphi 7

Delphi 7 ผ่านการพัฒนามาเกือบ 10 ปี ตั้งแต่เวอร์ชัน 1.0 ที่ทำงานบน Windows 3.1X โดยมีจุดเด่นมาก ๆ คือโปรแกรมที่ได้จากการเขียนโปรแกรมมีขนาดเล็ก ทำงานได้รวดเร็ว ซึ่งมักจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ Visual Basic 3.0 ในสมัยนั้น อีกประการหนึ่ง Delphi 7 ใช้ภาษาออบเจ็กต์ปาสคาลจึงเคยถูกเปรียบเทียบเป็น Visual Pascal มาแล้ว

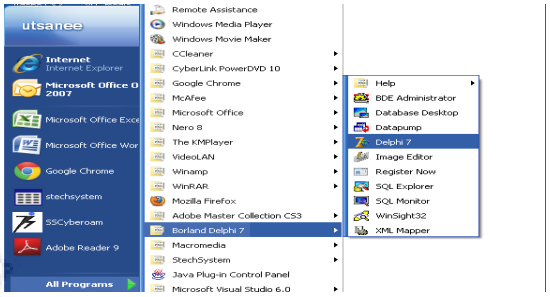
เวอร์ชันปัจจุบันของ Delphi 7 นั้นได้ราบการพัฒนาให้สามารถสร้างแอพพลิเคชันที่ทำงานบน Windows ได้ดีเหมือนเดิม โดยมีการปรับปรุงให้สามารถพัฒนาแอพพลิเคชันตามแนวความคิดของ .NET ซึ่งจะช่วยให้สามารถเขียนโปรแกรมครั้งเดียว แล้วนำไปใช้งานบนอุปกรณ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น PDA, โทรศัพท์มือถือ และบนเว็บได้

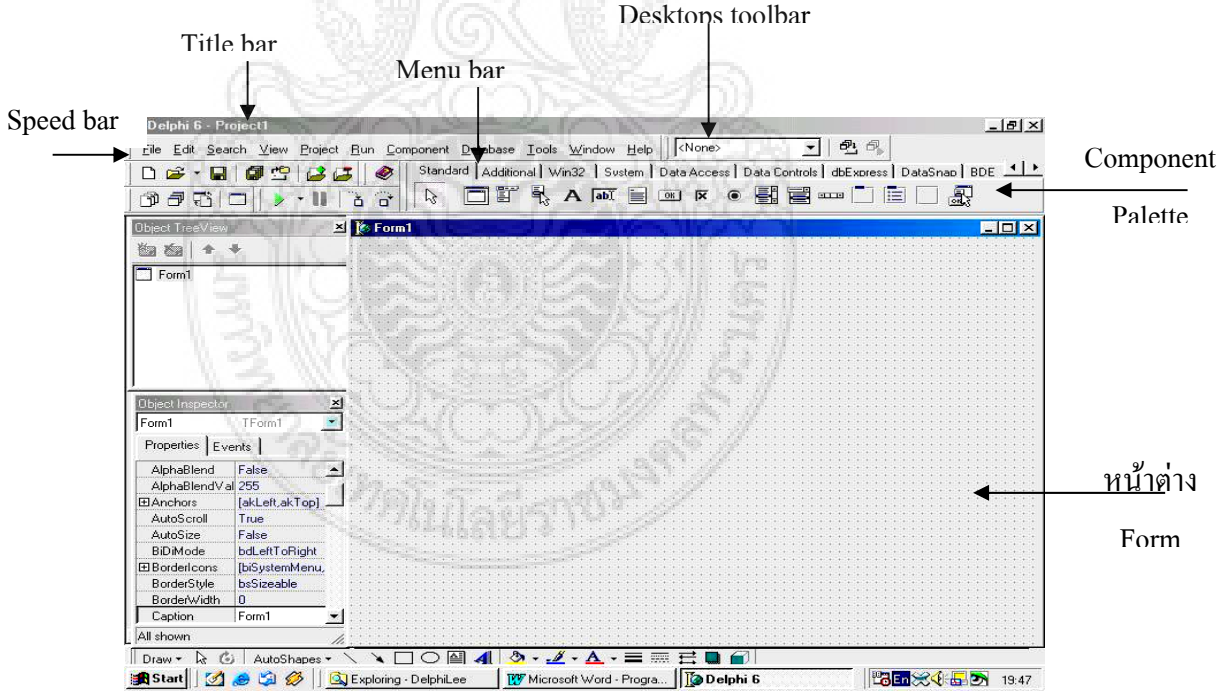
Delphi เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาแอปพลิเคชั่นบน Windows ซึ่งภาษาพื้นฐานที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคือ ภาษา Pascal เป็นหลักในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโครงสร้างภาษาที่เขียนง่าย และถึงแม้ว่าผู้ใช้จะไม่มีความรู้เกี่ยวกับภาษาปาสคาลเลยก็ไม่ได้เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาโปรแกรม เนื่องจาก Delphi มีเครื่องมือช่วยเหลือในการนำคำสั่งต่าง ๆ มาใช้งานได้อย่างสะดวกรวดเร็ว มีสิ่งอำนวยความสะดวกไว้อย่างครบถ้วน โดยมีสภาพแวดล้อมในการทำงาน (Development

Environment) ที่ช่วยให้สามารถทำทุกอย่างได้จากใน Delphi เอง มีเครื่องมือทุกชนิดที่จำเป็นสำหรับการสร้างแอปพลิเคชั่นบน Windows ทั้งในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้ การแสดงกราฟิก การติดต่อระบบฐานข้อมูล การจัดการระบบ ตลอดจนการพัฒนาแอปพลิเคชั่นเพื่อทำงานบนอินเตอร์เน็ตและด้วยคุณสมบัติที่มีอยู่มากมาย

การเริ่มใช้งาน Delphi 7

1. คลิก Start เลือก All Programs
2. เลือก Borland Delphi 7
3. เลือก Delphi 7





รูปที่ 2.20 องค์ประกอบของ Delphi 7

2.9.1 องค์ประกอบของ Delphi 7

วินโดว์หลัก (Main Window) วินโดว์หลักทำหน้าที่เป็นตัวกลางสำหรับควบคุมกระบวนการในการพัฒนาโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นการจัดการเกี่ยวกับไฟล์ภายในแอปพลิเคชั่น การคอมไพล์ และการตรวจสอบข้อผิดพลาด เมื่อรันโปรแกรม Delphi จะเห็นวินโดว์หลักเป็นวินโดว์ที่อยู่บนสุด โดยภายในวินโดว์หลักจะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนคือ Title Bar, Menu bar, Desktops toolbar, Speed bar และ Component Palette โดยมีรายละเอียดดังนี้

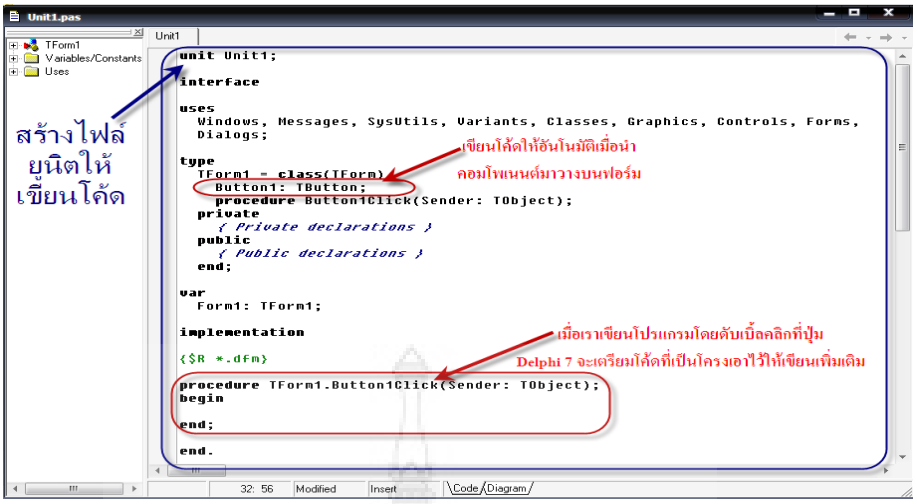
1. ไตเติลบาร์ (Title Bar) เป็นส่วนที่อยู่บนสุด แสดงชื่อโปรแกรม Delphi และโปรเจ็คที่ทำงานอยู่ในขณะนั้น
2. เมนูบาร์ (Menu Bar) เป็นส่วนประกอบที่จะพบได้ในแอปพลิเคชั่นบน Windows ทั่วไป โดยจะอยู่ใต้ไตเติลบาร์ ภายในเมนูบาร์จะเป็นส่วนที่แสดงเมนูคำสั่งของ Delphi ซึ่งใช้ในการทำงานต่างๆ เกือบทั้งหมด เช่น เมนู File ใช้ทำงานกับแฟ้มข้อมูลไม่ว่าจะเป็นการเปิด ปิด หรือการบันทึกแฟ้มข้อมูลเป็นต้น
3. เดสก์ท็อปทูลบาร์ (Desktops toolbar)เดสก์ท็อปทูลบาร์เป็นคุณสมบัติใหม่ใน Dellphi ซึ่งจะใช้สำหรับการบันทึกเลย์เอาต์ของเดสก์ท็อปทั้งในขณะออกแบบและขณะดีบักโปรแกรม ซึ่งก็คือตำแหน่งของวินโดว์ต่างๆ รวมทั้งไดอะล็อกบ็อกซ์ที่เปิดขึ้นมาใน Delphi โดยส่วนของเดสก์ท็อปทูลบาร์นี้ประกอบด้วย

4. สปีดบาร์ (Speed Bar) คือกลุ่มของคำสั่งที่ใช้บ่อยซึ่งแสดงอยู่ใต้เมนูบาร์ทางด้านซ้ายของวินโดว์หลัก ภายในสปีดบาร์ประกอบด้วยปุ่มแทนรายการต่าง ๆ ของเมนู เมื่อคลิกเมาส์ที่ปุ่มใดก็จะเหมือนกับการเลือกคำสั่งจากเมนู และเมื่อเลื่อนเมาส์ไปหยุดที่บนปุ่มใดก็จะเห็น กรอบข้อความ (tooltips) แสดงชื่อเมนู และฟังก์ชันคีย์ซึ่งเป็นคีย์ลัดสำหรับใช้แทนปุ่มนั้น
5. คอมโพเนนต์พาเล็ต (Component Palette) คอมโพเนนต์พาเล็ตคือส่วนที่อยู่ถัดจากสปีดดบาร์ไปทางขวา ประกอบด้วยคอมโพเนนต์สำหรับสร้างแอปพลิเคชั่น โดยจัดกลุ่มไว้ในแท็ปต่างๆ คลิกที่แท็ปเพื่อแสดงคอมโพเนนต์ในแต่ละกลุ่ม และเมื่อเลื่อนเมาส์ไปหยุดบนคอมโพเนนต์ใดก็จะปรากฏกรอบข้อความแสดงชื่อคอมโพเนนต์นั้นขึ้น

รู้จักกับภาษาออบเจ็กต์ปาสคาล

ภาษาออบเจ็กต์ปาสคาลในการเขียนโปรแกรมกับ Delphi 7 จะเก็บซอร์สโค้ดที่ได้เขียนขึ้นไว้ในไฟล์ที่เรียกว่า ยูนิต (Unit) ซึ่งจะถูกบันทึกไว้ในไฟล์ .pas และเมื่อไฟล์ยูนิตถูกคอมไพล์ก็จะสร้างไฟล์ที่เป็นผลจากการคอมไพล์มีนามสกุลเป็น .dcu เมื่อเริ่มสร้างแอพพลิเคชันใน Delphi 7 (ก็คือการสร้างโปรเจ็กต์ใหม่ขึ้นมา) จะมีการสร้างไฟล์ชื่อ Unit1.pas ขึ้นมาให้เราเขียนโค้ดเข้าไป เมื่อเราตรวจสอบจาก Code Editor จะพบว่า Delphi ได้เขียนโค้ดบางส่วนไว้อยู่แล้ว

ไฟล์ยูนิตหนึ่ง ๆ จะใช้กับการเขียนโค้ดสำหรับฟอร์ม 1 ฟอร์ม ถ้าโปรเจ็กต์มีมากกว่าหนึ่งฟอร์มสามารถจะมีไฟล์ยูนิตที่มีนามสกุล .pas ได้มากว่า 1 ไฟล์

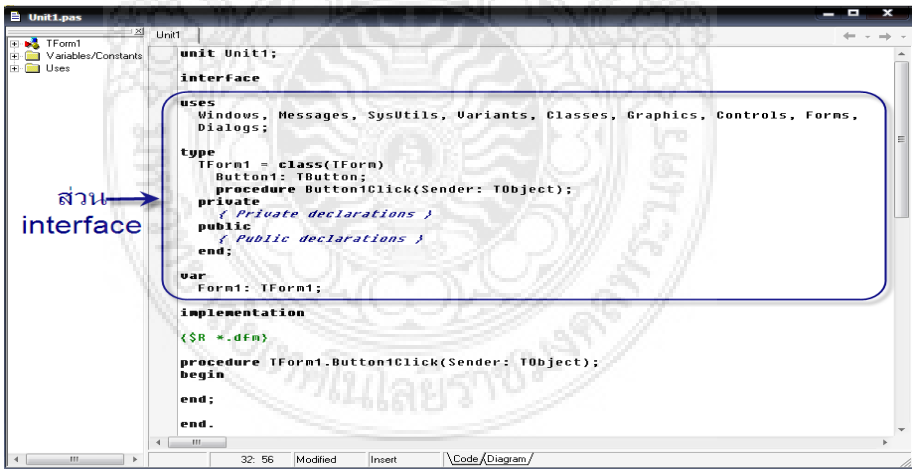


รูปที่ 2.21 การสร้างไฟล์ยูนิตให้เขียนโค้ด

2.9.2 โครงสร้างของยูนิต

ไฟล์ยูนิต Unit1.pas ที่ Delphi สร้างไว้ให้สามารถแบ่งโค้ดออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

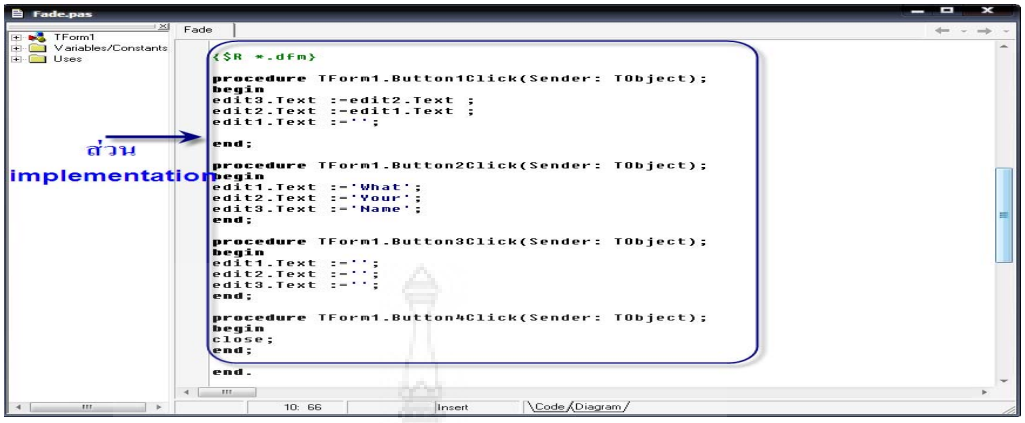
- ส่วน interface ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้ ประกาศชนิดข้อมูล, ตัวแปร, ค่าคงที่, Object, Procedure และ Function ทุกสิ่งที่บรรจุไว้ในส่วนนี้ สามารถเข้าถึง และใช้งานได้จาก Unit อื่นๆ เนื่องจาก Project หนึ่งๆ มีหลาย Unit ซึ่งพื้นที่ส่วน interface นี้เริ่มจากคำว่า interface ไปจนถึง implementation



รูปที่ 2.22 ส่วน Interface

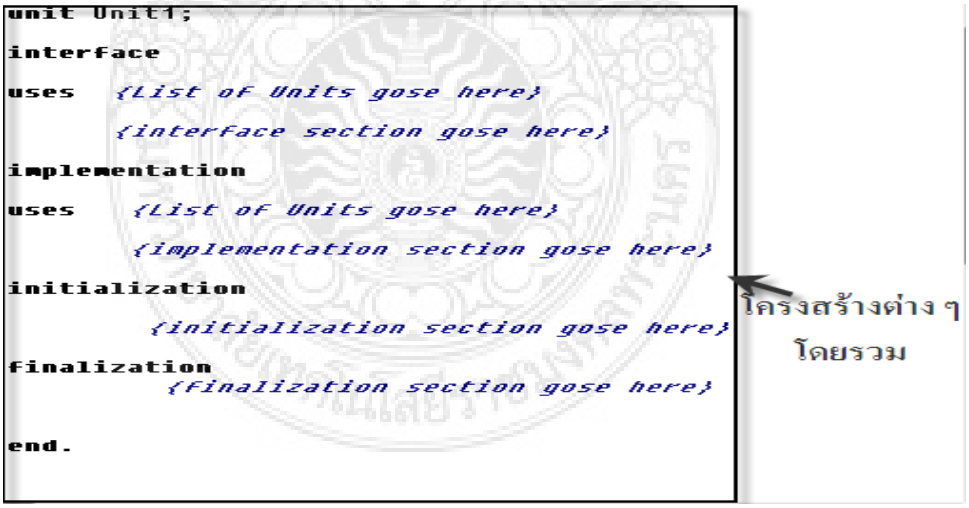
- ส่วน implementation ส่วนนี้จะทำหน้าที่เหมือนกับส่วน Interface ต่างกันตรงที่ขอบเขตการเข้าถึงข้อมูลคือ จะเข้าถึงข้อมูล, ตัวแปร, ค่าคงที่, Object, Procedur และ Function ได้จากสิ่งที่อยู่ ใน Unit นี้เท่านั้น Unit อื่นๆ ไม่มีสิทธิ์เข้าถึง Unit

ซึ่งพื้นที่ส่วน implementation นี้เริ่มจากคำว่า Implementation ไปจนถึง Initialization



รูปที่ 2.23 ส่วน Implementaion

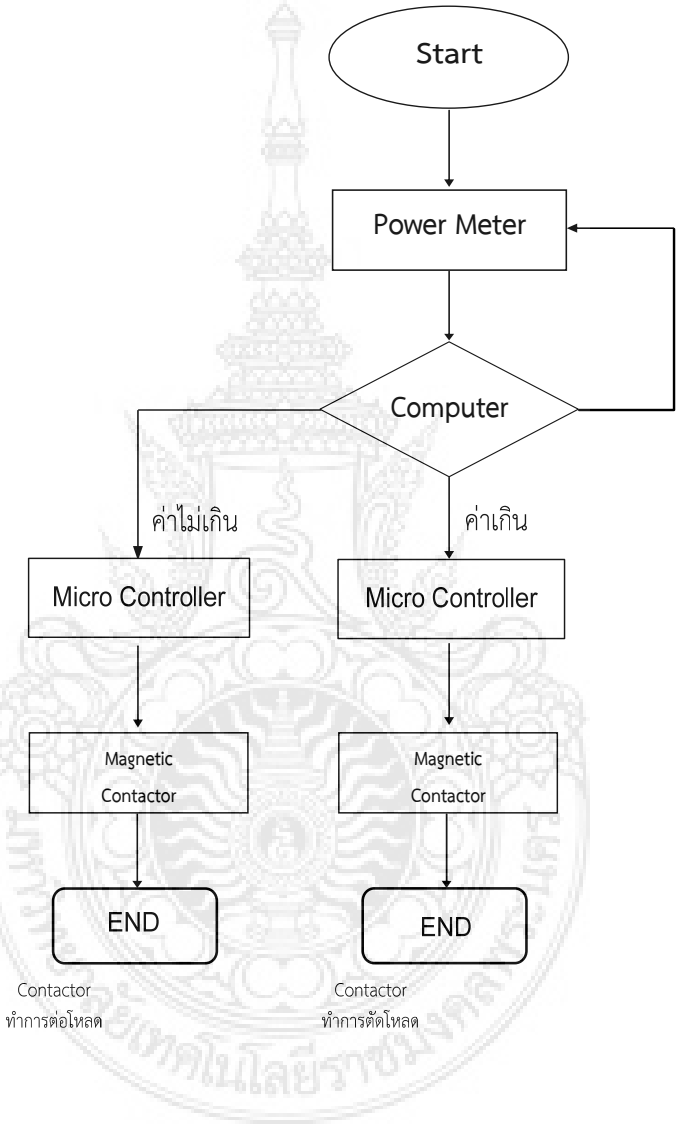
- ส่วน Initialization ส่วนนี้จะใช้เก็บคำสั่งที่ถูกเรียกใช้งานก่อนการทำงานของ Application โดยปกติจะทำงานก่อนที่จะมีการสร้าง Object หรือ Form ขึ้นมา ดังนั้นเราจึงมักใช้พื้นที่ส่วนนี้กำหนดค่าให้กับตัวแปรบางตัว ซึ่งพื้นที่ส่วน Initialization นี้เริ่มจากคำว่า Initialization ไปจนถึง finalization (ถ้าไม่มี finalization ก็จะถึง end.)ส่วนนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้แล้วแต่โปรแกรม
- ส่วน finalization ส่วนนี้ทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับ Initialization ซึ่งพื้นที่ส่วน finalization นี้ จะเริ่มตั้งแต่ คำว่า finalization ไปจนถึง end.



รูปที่ 2.24 โครงสร้างยูนิตโดยรวม

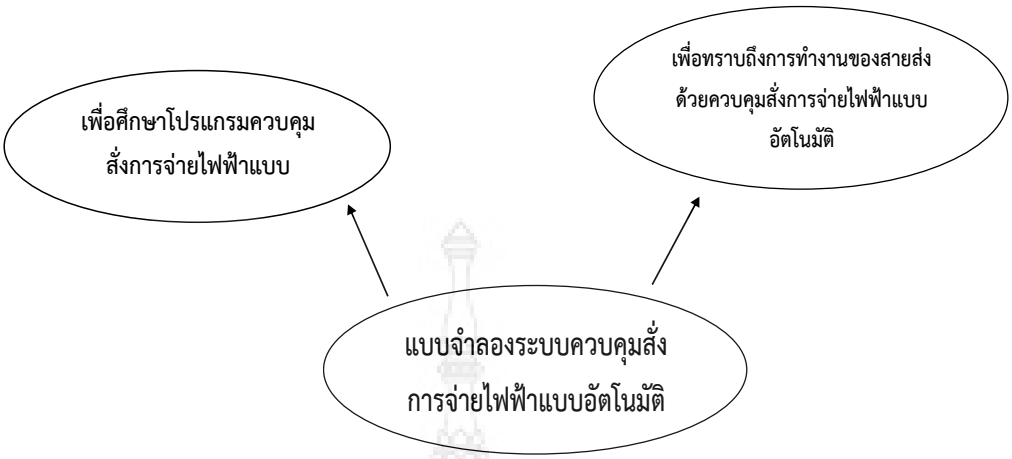
บทที่ 3
การออกแบบและประกอบสร้าง

3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

3.2 กรอบแนวความคิด



รูปที่ 3.2 กรอบแนวความคิด

3.3 การจำลองสายส่งแบบระยะยาวที่ 225 กิโลเมตร

การจำลองสายส่งเป็นส่วนหนึ่งในการทำโครงงานแบบจำลองอุปกรณ์ควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติซึ่งทั้งนี้ได้ทำการจำลองการใส่ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับแรงดันที่ใช้ทำการทดลองซึ่งแรงดันที่ใช้ในการทดลองนี้อยู่ที่ 380 V ความถี่ 50 รอบต่อวินาที

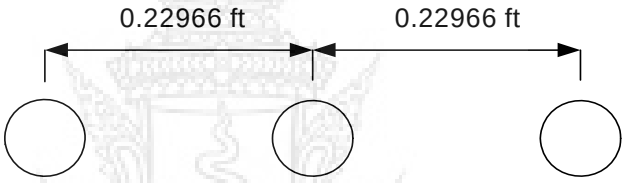
สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้อ้างอิงมาจากหนังสือ (การผลิต ส่งและจ่ายไฟฟ้าของอาจารย์โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ และตำราเรียนวิชา Electric Power System ของอาจารย์อดิศักดิ์ วิริยกรรม) ซึ่งการคำนวณมีดังนี้ ที่ความยาวสายส่ง 225.308 กิโลเมตร โดยกำหนดใช้สาย 795 MCM ACSR ที่ความถี่ 50 รอบต่อวินาที จากค่าพารามิเตอร์ของสายส่งนั้นจะมีค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า

3.3.1การหาค่าความต้านทานของสาย

การหาค่าความต้านทานของสายได้อ้างอิงค่าจากตารางขนาดและคุณสมบัติของสายไฟฟ้าอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR) ซึ่งสาย 795 MCM ACSR มีค่าความต้านทาน ที่ 50 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.1339 (โอห์ม/สาย/ไมล์) ดังนั้นที่ความยาว 140 ไมล์ เท่ากับ $140 \text{ x } 0.1339$ = 18.746 (โอห์ม/สาย/ไมล์) ดังนั้นจึงเลือกใช้ R ที่ 20 Ω

รูปที่ 3.3 R ขนาด 50 โอมห์ เลือกใช้ที่ 20 โอมห์

การหาค่าความเหนี่ยวนำของสาย ทั้งนี้ได้กำหนดระยะห่างของสายให้เหมาะสมกับแรงดันที่ทำการจำลองดังนี้



ค่า GMR = 0.0347 ฟุต

ใช้ความยาวระหว่าสาย 7 ซม. = 0.2296 ฟุต

ค่า Dm = $\sqrt[3]{0.22966 \times 0.22966 \times 0.45932}$ = 0.289 ฟุต

จากสูตรการหา $L = 0.7411 \log \frac{0.289}{0.0347}$ = 0.6832 (มิลลิเฮนรี /เฟส/ไมล์)

ที่ 140 ไมล์ จะได้ = 140×0.6832 = 95.648 มิลลิเฮนรี

3.3.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ

สูตรการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ

$$L = \frac{N^2 * A * u}{l}$$

โดยที่ L = ค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็น เฮนรี่ (H)

N = จำนวนของขดลวด

A = พื้นที่ของขดลวด มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m2)

u = ค่าความซาบซึมได้ (Permeability)

l = ความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็น เมตร (m)

สูตรการคำนวณหาจำนวนรอบตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็ก

L = 0.095648 เฮนรี่ (H)

A = 0.0024 ตารางเมตร (m2)

u = 0.0069

l = 0.115 เมตร (m)

$$N = \sqrt{\frac{L * l}{A * u}}$$

$$N = \sqrt{\frac{0.095648 * 0.115}{0.0024 * 0.0069}}$$

= 26 รอบ

รูปที่ 3.4 ตัวเหนี่ยวนำ 95 มิลลิเฮนรี

3.3.3 การออกแบบตัวเก็บประจุ

การหาค่าความจุไฟฟ้าในการคำนวณจะหาค่าเฉลี่ยจากเฟสไปยัง neutral โดยถือได้ทำการไขว้สลับตำแหน่งของสายไฟฟ้าจนครบรอบแล้ว ดังนั้นค่า Deq = 0.2296 ฟุต รัศมีของสาย 795 MCM ACSR , r = 0.044 ฟุต

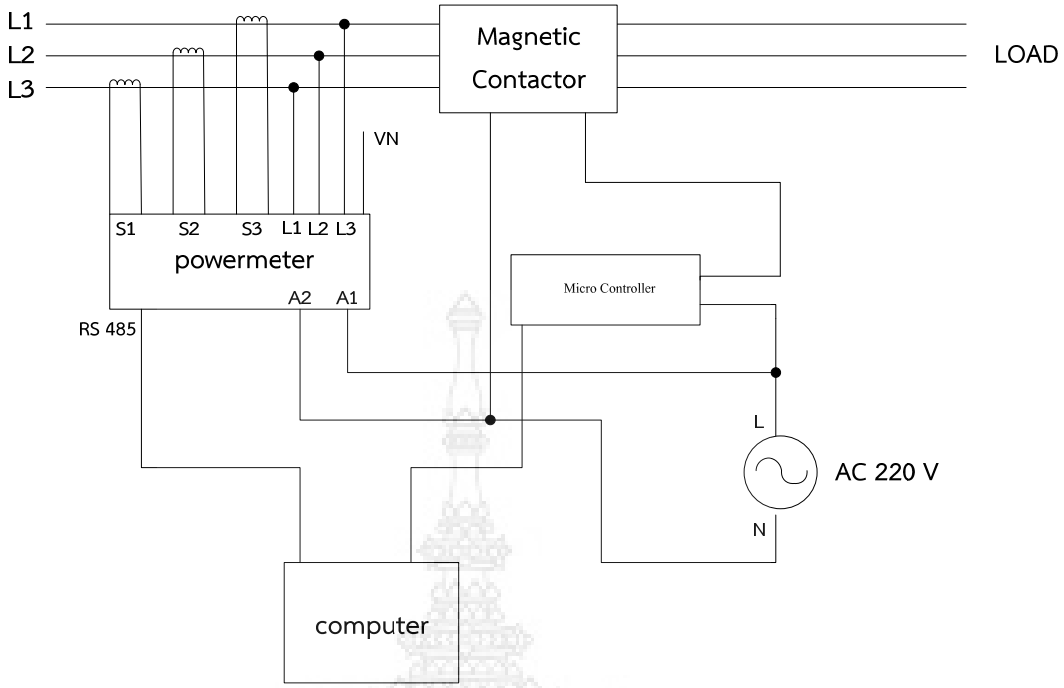
จากสูตรการหา $C = \frac{0.0388}{\log\frac{0.289}{0.044}}$ = 0.0475 (ไมโครฟารัดส์/ไมล์ , to neutral)

ที่ 140 ไมล์ จะได้ = 140x 0.0475 = 6.65 ไมโครฟารัดส์

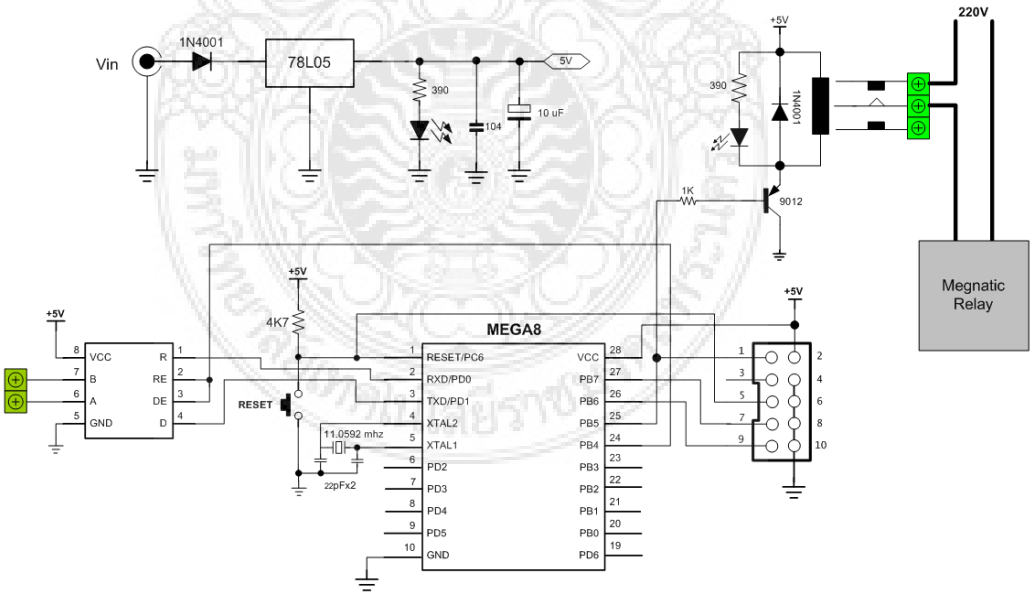
เลือกใช้ C ที่ 2 ไมโครฟารัดส์

รูปที่ 3.5 ตัวเก็บประจุ 2 ไมโครฟารัดส์

3.3.4 การออกแบบวงจรแบบจำลองควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

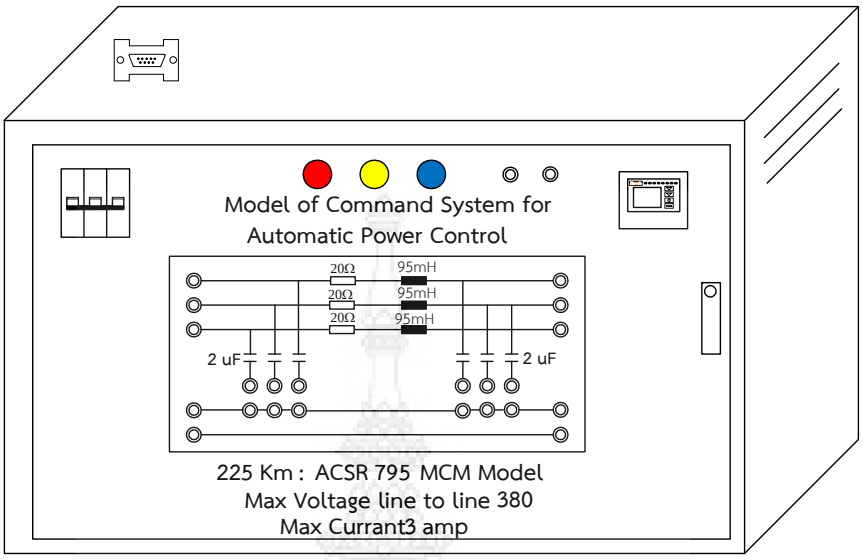


รูปที่ 3.6 Diagram ของแบบจำลองควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ



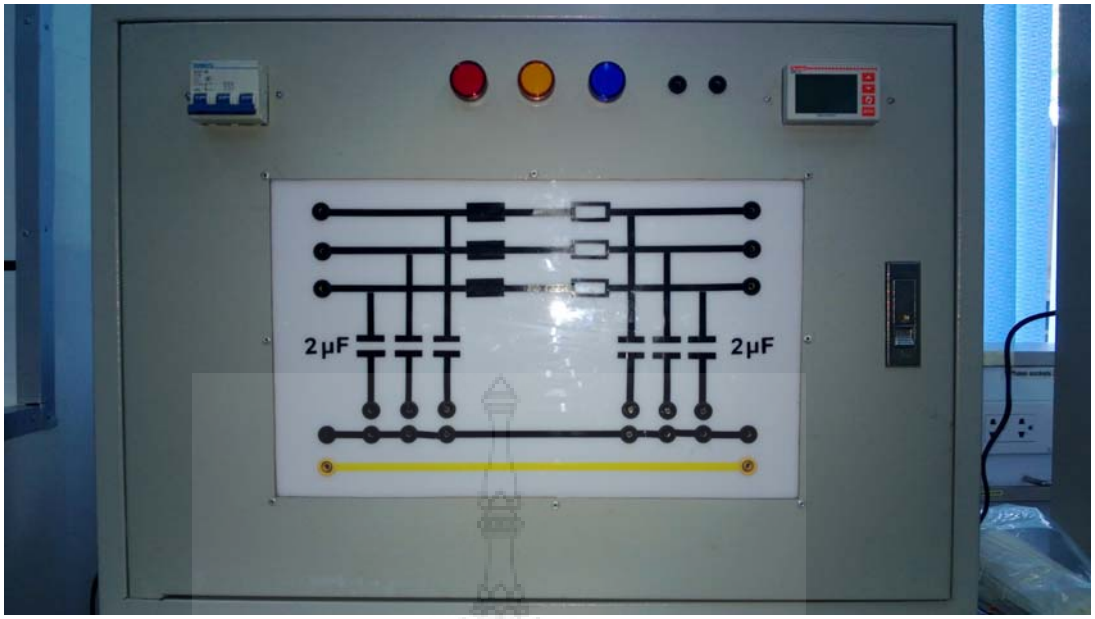
รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.5 การออกแบบตู้และอุปกรณ์จำลองสายส่งระยะยาว



รูปที่ 3.8 ตู้จำลองสายส่งระยะยาว

รูปที่ 3.9 ภายในตู้จำลองสายส่งระยะยาว

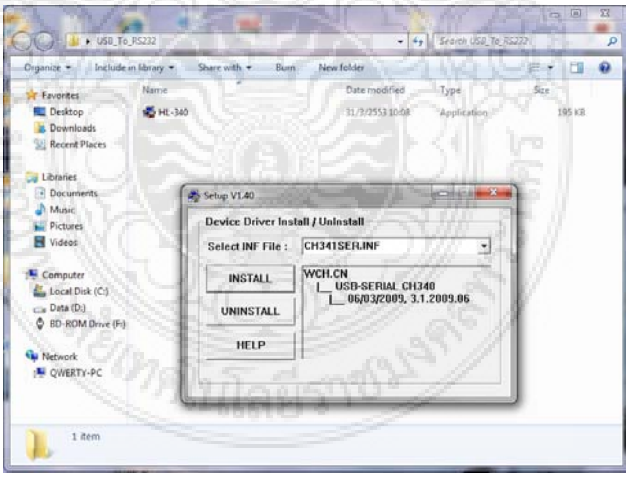


รูปที่ 3.10 ตู้จำลองสายส่งระยะยาว

3.4 การใช้งานโปรแกรม

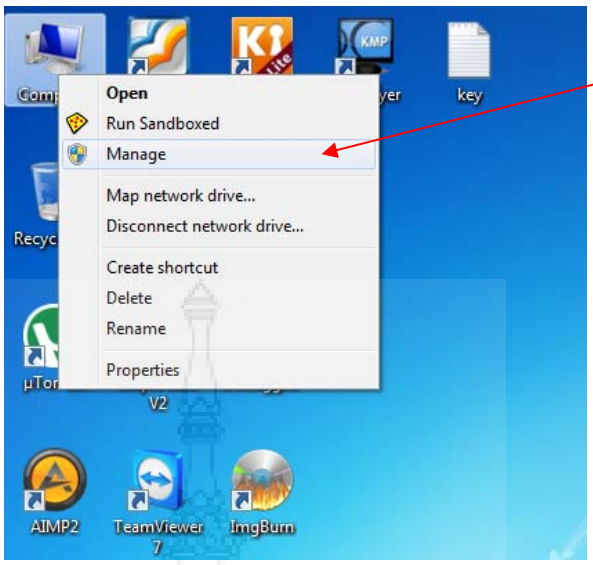
ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 ติดตั้งไดร์เวอร์ USB_To_RS232 รันชื่อไฟล์ HL-340.exe แล้วเลือก INSTALL

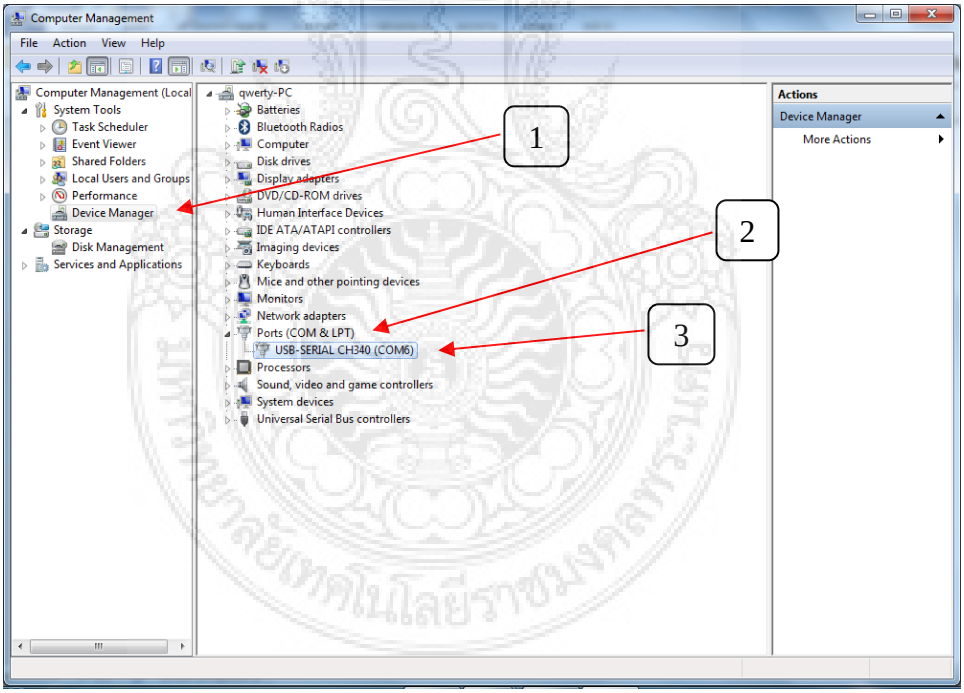


รูปที่ 3.11 การติดตั้งไดร์เวอร์

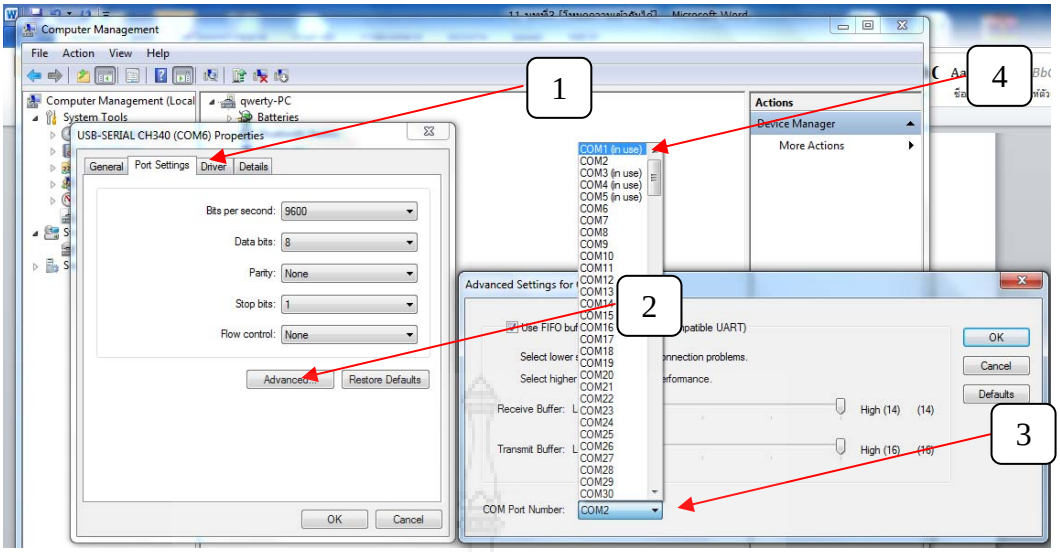
ขั้นตอนที่ 2 การตั้งค่าพอร์ตเพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่อพ่วง



รูปที่ 3.12 คลิ๊กขวาที่ My Computer เลือก Manage

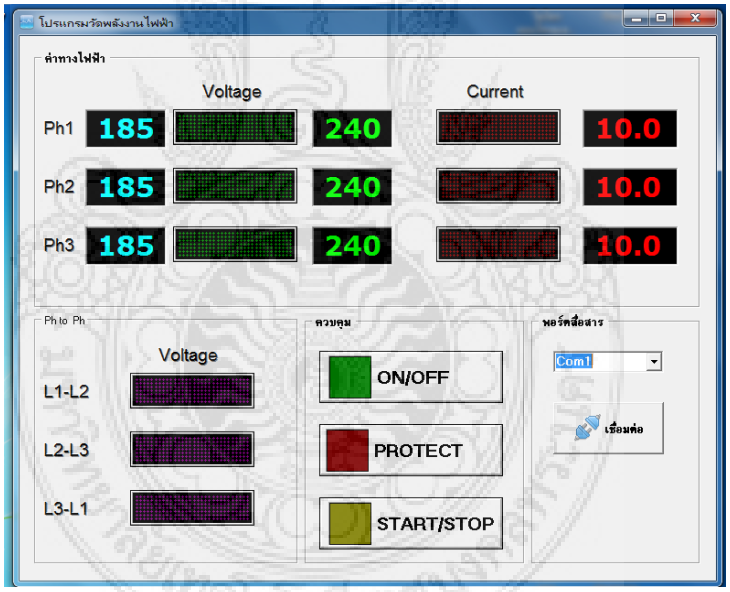


รูปที่ 3.13 เลือก Device Manager/ Ports(COM & LPT)/ USB-SERIAL CH340 (COM6)

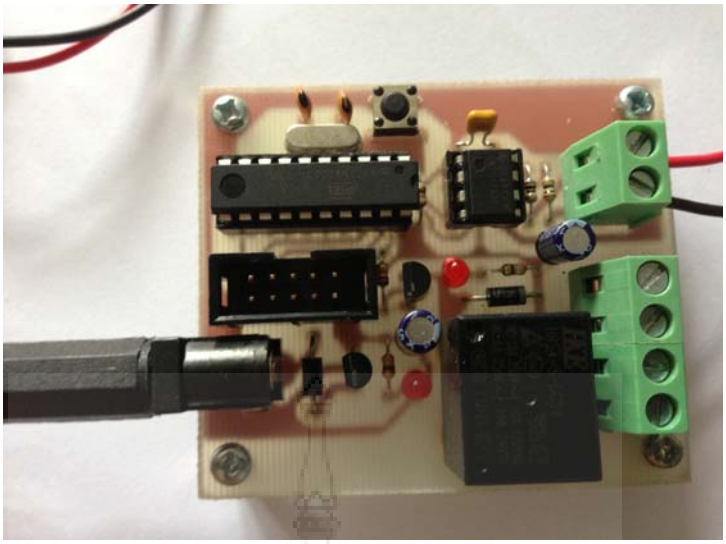


รูปที่ 3.14 เลือก Port Settings/ Advanced
เลือกในกรอบCOM Port Number เป็น COM1 กด OK

ขั้นตอนที่ 3 เปิดโปรแกรมชื่อ power



รูปที่ 3.15 หน้าต่างโปรแกรมวัดไฟฟ้าและควบคุมระบบไฟฟ้า



รูปที่ 3.16 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

รูปที่ 3.17 converter rs232-rs485

3.5 การออกแบบเอกสารประกอบการทดลอง

รายวิชา ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง	ใบงานที่ 1 เรื่อง การทดลองเพิ่ม/ลดแรงดันเพื่อทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรม	

วัตถุประสงค์

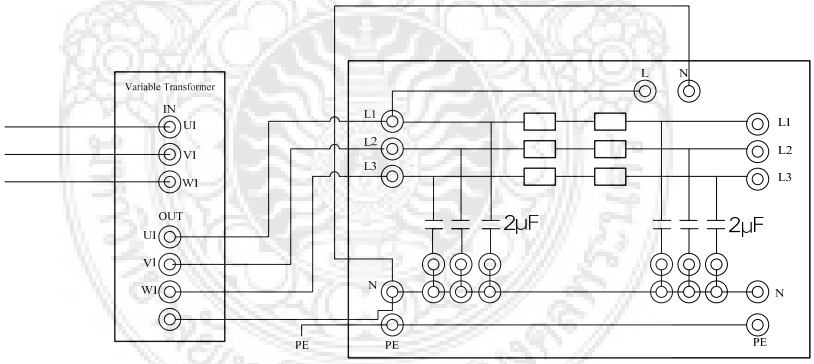
1. เพื่อเป็นอุปกรณ์ศึกษาการใช้โปรแกรม
2. เพื่อเป็นอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรม

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดจำลองสายส่ง
2. หม้อแปลง 3 เฟสปรับค่าได้
3. สายต่อวงจร
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 V
5. ชุดตัดต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตู้จำลองสายส่ง



2. ตั้งค่าโปรแกรมที่ Vmax เท่ากับ 240 V/Phase และ Vmin เท่ากับ 185 V/Phase
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 V. เข้าระบบสายส่ง
4. ทดลองปรับแรงดันไฟฟ้า เพิ่มขึ้น จนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ตัดวงจรการทำงาน
5. บันทึกผลการทดลอง
6. ทดลองปรับแรงดันไฟฟ้า ลดลง จนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ตัดวงจรการทำงาน
7. บันทึกผลการทดลอง
8. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รายวิชา ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง	ใบงานที่ 2 เรื่อง การทดลองการปลดสายส่ง 1 เฟส เพื่อวิเคราะห์โปรแกรม	

วัตถุประสงค์

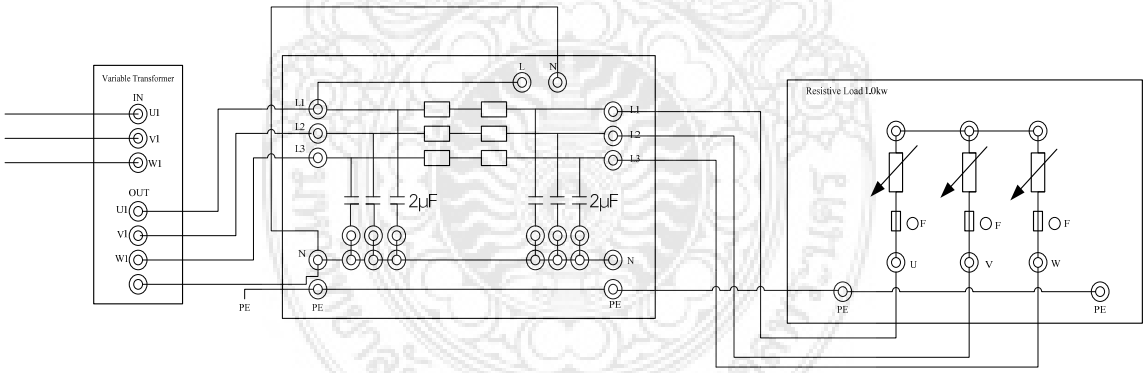
1. เพื่อเป็นอุปกรณ์ศึกษาการใช้โปรแกรม
2. เพื่อเป็นอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรม
3. เพื่อเป็นอุปกรณ์ทดลองสภาวะเฟสไม่สมดุล

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดจำลองสายส่ง
2. หม้อแปลง 3 เฟสปรับค่าได้
3. สายต่อวงจร
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 V
5. ชุดตัดต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ตู้จำลองโหลด R ปรับค่าได้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตู้จำลองสายส่ง และ ตู้จำลองโหลด



2. ตั้งค่าโปรแกรมที่ Vmax เท่ากับ 230 V/Phase และ Vmin เท่ากับ 185 V/Phase
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 V. เข้าระบบสายส่ง
4. ปรับค่าโหลดไว้ที่ 100%
5. ทดลองปลดสายไฟ Ph1,Ph2,Ph3 ครั้งล่ะเฟส
6. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
7. สรุปผลการทดลอง

3.1 ตารางบันทึกผลการทดลองใบงานที่2

	phase1(V)	phase2(V)	phase3(V)
Disconnect Ph1			
Disconnect Ph2			
Disconnect Ph3			

	phase1(A)	phase2(A)	phase3(A)
Disconnect Ph1			
Disconnect Ph2			
Disconnect Ph3			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

รายวิชา ปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง	ใบงานที่ 3 เรื่อง การทดลองการสั่งจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลด เพื่อวิเคราะห์โปรแกรม	

วัตถุประสงค์

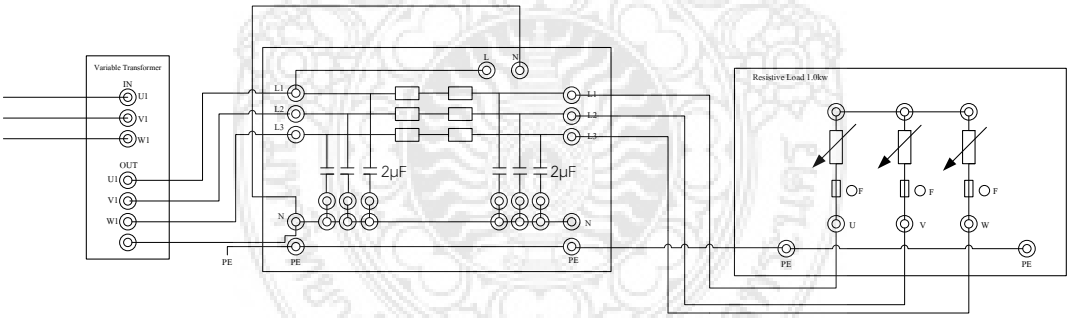
1. เพื่อเป็นอุปกรณ์ศึกษาการใช้โปรแกรม
2. เพื่อเป็นอุปกรณ์ทดสอบประสิทธิภาพโปรแกรม
3. เพื่อเป็นอุปกรณ์ทดลองการตัดการทำงานแบบอัตโนมัติของสายส่ง

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดจำลองสายส่ง
2. หม้อแปลง 3 เฟสปรับค่าได้
3. สายต่อวงจร
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 V
5. ชุดตัดต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ตู้จำลองโหลด R ปรับค่าได้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตู้จำลองสายส่ง และ ตู้จำลองโหลด



2. ตั้งค่าโปรแกรมที่ Vmax เท่ากับ 240 V./Phase และ Vmin เท่ากับ 185 V./Phase.
3. ตั้งค่ากระแสในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ 0.5 A
4. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 V เข้าระบบสายส่ง
5. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 100%
6. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
7. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 80%
8. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
9. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 60%
10. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง

11.ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 40%
12.บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
13.ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 20%
14.บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
15.สรุปผลการทดลอง

3.2 ตารางบันทึกผลการทดลองใบงานที่3 (ทุกการทดลองต้องปรับแรงดันให้คงที่ ที่ 240 V เสมอ)

โหลดปรับค่า 100%	Voltage	Ampare
Ph1		
Ph2		
Ph3		

โหลดปรับค่า 80%	Voltage	Ampare
Ph1		
Ph2		
Ph3		

โหลดปรับค่า 60%	Voltage	Ampare
Ph1		
Ph2		
Ph3		

โหลดปรับค่า 40%	Voltage	Ampare
Ph1		
Ph2		
Ph3		

โหลดปรับค่า 20%	Voltage	Ampare
Ph1		
Ph2		
Ph3		

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

บทที่ 4
การทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองอุปกรณ์แบบจำลองควบคุมสั่งการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยทำการทดลองจ่ายที่แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลท์ และต่อกับตู้โหลดแบบตัวทานต้านปรับค่าได้ และใช้โปรแกรมในคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงาน

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ใบงานการทดลองที่ 1

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตู้จำลองสายส่ง
2. ตั้งค่าโปรแกรมที่ Vmax เท่ากับ 230 V/Phase และ Vmin เท่ากับ 185 V/Phase
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 V. เข้าระบบสายส่ง
4. ทดลองปรับแรงดันไฟฟ้า เพิ่มขึ้น จนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ตัดวงจรการทำงาน
6. บันทึกผลการทดลอง
7. ทดลองปรับแรงดันไฟฟ้า ลดลง จนโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ตัดวงจรการทำงาน
10. บันทึกผลการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการตั้งค่าแรงดันสูงสุด (Vmax) ในสายส่ง 230 V/Phase จากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์พบว่า มีการตัดวงจรจริงที่ค่าแรงดัน 236.82 V./Phase

จากการตั้งค่าแรงดันต่ำสุด (Vmin) ในสายส่ง 185 V/Phase จากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์พบว่า มีการตัดวงจรจริงที่ค่าแรงดัน 182.0 V/Phase

วิจารณ์ผล

ในการทดลองนี้จากการที่ทดลองจ่ายแรงสูงสุดและต่ำสุด ทำให้เห็นความมีประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้งานได้ดี

ใบงานการทดลองที่ 2

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตู้จำลองสายส่ง
2. ตั้งค่าโปรแกรมที่ Vmax เท่ากับ 230 V/Phase และ Vmin เท่ากับ 185 V/Phase
3. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 V. เข้าระบบสายส่ง
4. ปรับค่าโหลดไว้ที่ 100%
5. ทดลองปลดสายไฟ Ph1,Ph2,Ph3 ครั้งล่ะเฟส
6. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง

ตารางที่ 4.1 บันทึกผลการทดลองใบงานที่2

Voltage	phase1(V)	phase2(V)	phase3(V)
Disconnect Ph1	0	214.24	217.85
Disconnect Ph2	216.84	0	217.85
Disconnect Ph3	216.84	214.24	0

Current	phase1(A)	phase2(A)	phase3(A)
Disconnect Ph1	0	0.1355	0.12
Disconnect Ph2	0.183	0	0.12
Disconnect Ph3	0.183	0.1355	0

ผลการทดลอง

จากการทดลองปลดสายส่งเฟสใดเฟสหนึ่งออก พบว่าเมื่อแรงดันเฟสนั้นๆที่ทำการปลดออกมีค่าแรงดันหายไป จนต่ำกว่าค่า Vmin ที่ตั้งไว้ โปรแกรมจึงทำการตัดวงจรทันที

วิจารณ์ผล

ในการทดลองนี้จะแสดงให้เห็นว่าการทดลองปลดเฟสใดเฟสหนึ่งค่าแรงดันและกระแสในเฟสนั้นๆก็จะหายไปโดยเฟสอื่นที่ไม่ได้ปลดค่าจะคงอยู่เหมือนเดิม

ใบงานการทดลองที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลองตู้จำลองสายส่ง และ ตู้จำลองโหลด
2. ตั้งค่าโปรแกรมที่ Vmax เท่ากับ 230 V./Phase และ Vmin เท่ากับ 185 V./Phase.
3. ตั้งค่ากระแสในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ 0.5 A
4. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 V เข้าระบบสายส่ง
5. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 100%
6. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
7. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 80%
8. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
9. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 60%
10. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
11. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 40%
12. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง
13. ทดลองปรับค่าโหลด Maximum 20%
14. บันทึกผลการทดลองลงในตาราง

ตารางที่ 4.2 บันทึกผลการทดลองใบงานที่ 3 (ทุกการทดลองต้องปรับแรงดันให้คงที่ ที่ 220 V เสมอ)

โหลดปรับค่า 100%	Voltage	Ampare
Ph1	216.84	0.1888
Ph2	214.24	0.1308
Ph3	217.63	0.0005

โหลดปรับค่า 80%	Voltage	Ampare
Ph1	218.01	0.2324
Ph2	215.61	0.16
Ph3	218.9	0.0006

โหลดปรับค่า 60%	Voltage	Ampare
Ph1	215.76	0. 3152
Ph2	213.51	0.2128
Ph3	217.19	0.0008

โหลดปรับค่า 40%	Voltage	Ampare
Ph1	210.81	0.4712
Ph2	208.91	0.3128
Ph3	212.01	0.0012

โหลดปรับค่า 20%	Voltage	Ampare
Ph1	194.73	0.8942
Ph2	193.2	0.5792
Ph3	195.76	0.0022

ผลการทดลอง

จากการทดลองการตั้งค่าสูงสุดของกระแส ที่ 0.5 A เมื่อทดลองจ่ายไฟให้กับโหลดที่แรงดัน 380 V จะเห็นได้ว่าค่าโหลดยิ่งมากกระแสจะยิ่งลดลงแต่ถ้าโหลดน้อยกระแสจะเยอะแรงดันจะน้องลงจากการทดลองที่โหลด20%นั้นมีกระแสเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้จึงทำให้โปรแกรมสั่งตัดโหลดส่วนโหลดที่40-100%นั้นค่ากระแสและแรงดันไม่มีค่าที่เกินกว่าโปรแกรมที่ดั้งไว้ โปรแกรมจึงไม่มีการทำงาน

วิจารณ์ผล

ในการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการที่ปรับโหลดอยู่ที่100%คือการปรับโหลดสูงสุดแล้วเปลี่ยนย่านวัดลงมาถึง20%ในระหว่างที่ปรับโหลดไว้ที่100%-40%ค่ากระแสยังอยู่ในเกินที่ไม่เกินจากโปรแกรมที่ตั้งไว้คือ0.5Aพอปรับมาที่20%ทำให้โปรแกรมตัดการทำงานเพราะมีค่าเกินกว่าที่ตั้งไว้คือยิ่งความต้านทานน้อยทำให้กระแสสูงขึ้น

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของระบบควบคุมสายส่งอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวสั่งการและมีการทดลองวิเคราะห์การทำงานในระบบสายส่งและหากเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่ากำหนดที่เกิดจากความผิดพลาดในแหล่งจ่ายสายส่งก็จะสามารถแก้ไขได้ทันที

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากโครงงานที่ได้ทำการทดลองพบว่าในการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ชุดจำลองสายส่งนั้นเกิดความผิดพลาดที่โปรแกรมเนื่องจากมีการคลื่นรบกวนในสายสัญญาณทำให้การอ่านค่าพารามิเตอร์เกิดอาการค้าง หลังจากการแก้ไขการเดินสายโปรแกรมสามารถทำงานสั่งจ่ายไฟได้ตามจุดประสงค์

5.2 ปัญหา

การทดลองอาจจะคลาดเคลื่อนไปบ้างเนื่องจากการปรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าเร็วเกินไป โปรแกรมในบางครั้งเกิดข้อผิดพลาดอยู่บ้างจากความไม่เสถียร

5.3 ข้อเสนอแนะ

-ทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยจะทำให้ค่า error น้อยลง

-การเดินสายสัญญาณควรแยกออกจากระบบเป็นพิเศษเพื่อป้องกันสัญญาณรบการที่มาจากอุปกรณ์ต่างๆ

บรรณานุกรม

กิตติพัฒน์ ตันตระรุ่งโรจน์.ทฤษฎีสายส่งไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2541.

ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช. การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพริ้นติ้ง, 2538.

Johnson, W.C. transmission line and networks. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo 1950.

Eaton, J.Robert. Electric Power Transmission Systems. London: Premtirce-Hall, Inc, 1972.

สำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. พิมพ์ครั้งที่ 3.สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2549.

Seshadri. S.R., Fundamentals of Transmission Line and Electromagnetic Fields, Addison-Wesley, 1971

ชวลิต ดำรงรัตน์. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: เอช-เอน การพิมพ์, 2533.

ดอนสัน ปงผาบ,ทิพวัลย์ คำน้ำนอง. ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุต์ใช้งาน. กรุงเทพฯ, 2552.

เอกชัย มะการ.(2552). เรียนรู้ เข้าใจ ใช้งาน ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino. กรุงเทพฯ : บริษัทอีทีที จำกัด.

Arduino.(2010). บอร์ด **ET-BASE AVR EASY 88** . Retrieved 31.12.2010 from the World Wide Web http://www.ett.co.th

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ขนาดและคุณสมบัติของสายไฟฟ้าอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)

ขนาดสายMCM และAWG	จำนวนเส้น อลูมิเนียม ต่อเหล็ก	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอกของสาย ไฟฟ้า(นิ้ว)	แรงดึง สูงสุด (ปอนด์)	น้ำหนัก ต่อ1ไมล์ ปอนด์	GMR (ฟุต)	ความต้านทาน ที่ 50 C (โอห์ม/สาย/ไมล์)	Inductive Reactance ที่ระยะห่าง1ฟุต (โอห์ม/สาย/ไมล์)	Capacitive Reactance ที่ระยะห่าง1ฟุต (ล้านโอห์ม/สาย/ไมล์)
1590	54/19	1.545	56,000	10,777	0.0520	0.0675	0.2992	0.0977
*1272	54/19	1.382	44,800	8,621	0.0465	0.0840	0.3100	0.1016
954	54/7	1.196	34,200	6,479	0.0403	0.1118	0.3250	0.1068
795	54/7	1.093	28,500	5,399	0.0368	0.1358	0.3342	0.1100
*795	42/7	1.055	21,050	4,518	0.0347	0.1339	0.4078	0.0930
636	54/7	0.977	23,600	4,319	0.0329	0.1678	0.450	0.1140
636	26/7	0.990	25,000	4,616	0.0335	0.1618	0.3433	0.1135
477	30/7	0.883	23,300	3,933	0.0304	0.1960	0.3533	0.1176
*477	26/7	0.858	19,430	3,462	0.0290	0.1960	0.3583	0.1186
336.4	30/7	0.741	17,040	2,774	0.0255	0.2780	0.3708	0.1238
*336.4	26/7	0.721	14,050	2,442	0.0244	0.2780	0.3758	0.1248
*266.8	26/7	0.642	11,250	1,936	0.0217	0.3850	0.3975	0.1289
*266.8	6/7	0.633	9,645	1,802	0.00684	0.5100	0.5042	0.1294
*4/0	6/1	0.563	8,420	1,542	0.00814	0.5670	0.4842	0.1336
2/0	6/1	0.447	5,345	970	0.00510	0.8660	0.5342	0.1418
*1/0	6/1	0.398	4,280	769	0.00446	1.0800	0.5466	0.1460

ภาคผนวก ข

1.Measures Supplied By Serial Communication Protocol

TABELLA 2:
MISURE FORNITE DAL PROTOCOLLO DI COM.
(Utilizzabili con funzioni 03 e 04)

TABLE 2:
MEASURES SUPPLIED BY SERIAL COMMUNICATION PROTOCOL
(To be used with functions 03 and 04)

Indirizzo Address	WORDS	MISURA	MEASURE	UNITA' UNIT	FORMATO FORMAT	DMG 210	DMG 300	DMG 700	DMG 800	DMG 900
		MISURA ISTANTANEA (IN)	ISTANTANEOUS MEASURE (IN)							
0002H	2	Tensione di fase L1	L1 Phase Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0004H	2	Tensione di fase L2	L2 Phase Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0006H	2	Tensione di fase L3	L3 Phase Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
006AH	2	Tensione Neutro-Terra	Neutral-Earth Voltage	V/100	Unsigned long					•
0008H	2	Corrente di fase L1	L1 Current	A/10000	Unsigned long	•	•	•	•	•
000AH	2	Corrente di fase L2	L2 Current	A/10000	Unsigned long	•	•	•	•	•
000CH	2	Corrente di fase L3	L3 Current	A/10000	Unsigned long	•	•	•	•	•
0048H	2	Corrente di Neutro	Neutral Current	A/10000	Unsigned long					•
000EH	2	Tensione L1-L2	L1-L2 Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0010H	2	Tensione L2-L3	L2-L3 Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0012H	2	Tensione L3-L1	L3-L1 Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0014H	2	Potenza Attiva L1	L1 Active Power	W/100 ❶	Signed long	•	•	•	•	•
0016H	2	Potenza Attiva L2	L2 Active Power	W/100 ❶	Signed long	•	•	•	•	•
0018H	2	Potenza Attiva L3	L3 Active Power	W/100 ❶	Signed long	•	•	•	•	•
001AH	2	Potenza Reattiva L1	L1 Reactive Power	Var/100 ❶	Signed long	•	•	•	•	•
001CH	2	Potenza Reattiva L2	L2 Reactive Power	Var/100 ❶	Signed long	•	•	•	•	•
001EH	2	Potenza Reattiva L3	L3 Reactive Power	Var/100 ❶	Signed long	•	•	•	•	•
0020H	2	Potenza Apparente L1	L1 Apparent Power	VA/100 ❶	Unsigned long	•	•	•	•	•
0022H	2	Potenza Apparente L2	L2 Apparent Power	VA/100 ❶	Unsigned long	•	•	•	•	•
0024H	2	Potenza Apparente L3	L3 Apparent Power	VA/100 ❶	Unsigned long	•	•	•	•	•
0026H	2	Fattore Di Potenza L1	L1 Power Factor	/10000	Signed long	•	•	•	•	•
0028H	2	Fattore Di Potenza L2	L2 Power Factor	/10000	Signed long	•	•	•	•	•
002AH	2	Fattore Di Potenza L3	L3 Power Factor	/10000	Signed long	•	•	•	•	•
002CH	2	CosPhi L1	L1 CosPhi	/10000	Signed long					•
002EH	2	CosPhi L2	L2 CosPhi	/10000	Signed long					•
0030H	2	CosPhi L3	L3 CosPhi	/10000	Signed long					•
0032H	2	Frequenza	Frequency	Hz/100 DMG210 Hz/1000 DMG300, 700,800,900	Unsigned long	•	•	•	•	•
0034H	2	Tensione di fase equivalente	Eqv. Phase Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0036H	2	Tensione concatenata equivalente	Eqv. Phase-To-Phase Voltage	V/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0038H	2	Corrente equivalente	Eqv. Current	A/10000	Unsigned long	•	•	•	•	•
003AH	2	Potenza Attiva equivalente	Eqv. Active Power	W/100	Signed long	•	•	•	•	•
003CH	2	Potenza Reattiva equivalente	Eqv. Reactive Power	Var/100	Signed long	•	•	•	•	•
003EH	2	Potenza Apparente equivalente	Eqv. Apparent Power	VA/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0040H	2	Fattore Di Potenza equivalente	Eqv Power Factor	/10000	Signed long	•	•	•	•	•
0042H	2	Asimmetria Tensione Fase-Fase	Phase-Phase Voltage Asymmetriy	%/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0044H	2	Asimmetria Tensione Fase-Neutro	Phase-Neural Voltage Asymmetriy	%/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0046H	2	Asimmetria Corrente	Current Asymmetry	%/100	Unsigned long	•	•	•	•	•
0048H	2	Corrente di Neutro	Neutral Current	A/10000	Unsigned long	•	•	•	•	•

2. คำสั่งส่งและรับจากคอมพิวเตอร์และมิเตอร์ Lovato

คำสั่งที่ส่งไปให้ Lovato **แบบ** ASCII

จำนวนไบท์	1	2	2	4	4	2	2
	:	Address Slave	Read	Address Register	Number Of Data	CheckSum	CRLF
อ่านค่า Volt	:	01	04	0001	0006	6F	0x0D,0x0A
อ่านค่า Amp	:	01	04	0007	0006	6E	0x0D,0x0A

ข้อมูลที่ส่งกลับมาจาก Lovato

จำนวนไบท์	1	2	2	2	x 8	2	2
	:	Address Slave	Read	Number Of Data	Data	CheckSum	CRLF
	:	01	04	0C	xx xx xx xx xx xx xx xx xx xx xx xx	CheckSum	0x0D,0x0A

LRC CALCULATION (CHECKSUM for ASCII)

Example of LRC calculation:

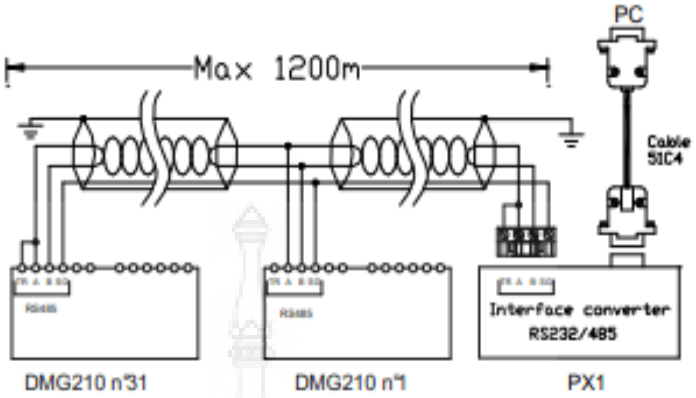
Address	01	00000001
Function	04	00000100
Start address hi.	00	00000000
Start address lo.	00	00000000
Number of registers	08	00001000
	Sum	00001101
1. complement		11110010
	+ 1	00000001
2. complement		11110101

LRC result **F5**

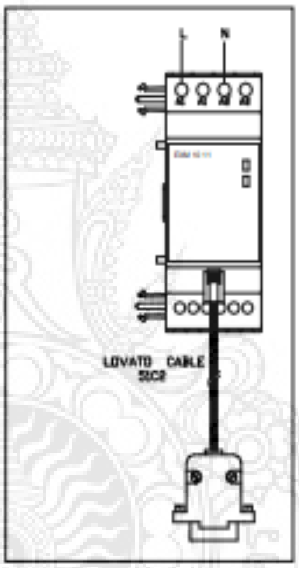
3. wiring diagram

Schemi di collegamento **Wiring diagrams**

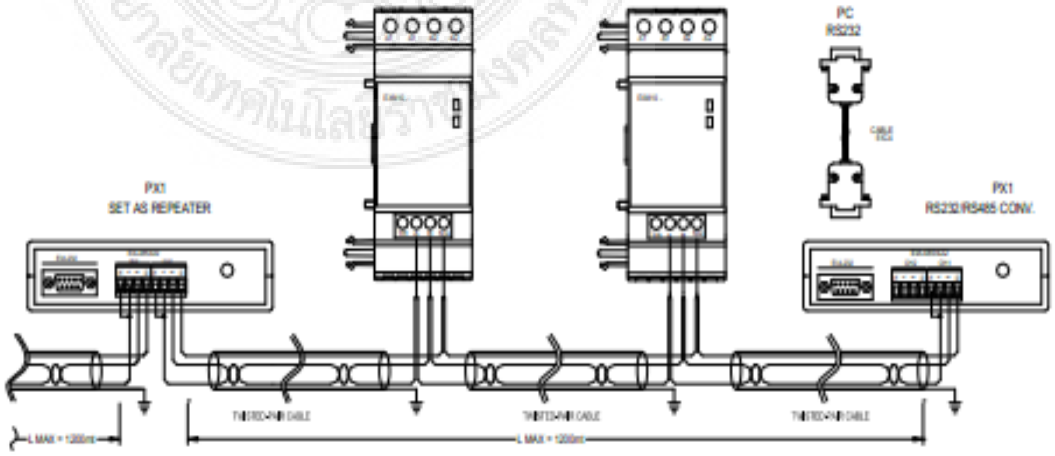
- **DMG210**



- **EXM 10 11 RS 232**



- **EXM 10 12 RS485**



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายจิรพงศ์ คำสอน
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 13 พฤศจิกายน 2533
สถานที่เกิด	จังหวัด กรุงทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	4/40 ซ.เพรชบุรี13 แขวง พญาไท เขต ราชเทวี กทม 10400

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551	สำเร็จการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ขส.ทบ.
พ.ศ. 2552	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์ พระนครเหนือ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายภาณุพงศ์ ศิริชัยวัฒนา
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 19 ตุลาคม 2533
สถานที่เกิด	จังหวัด กรุงทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	95/215 ม.6 ต.บางรักพัฒนา อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี 11110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551	สำเร็จการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกล ขส.ทบ.
พ.ศ. 2552	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์ พระนครเหนือ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นาย นราวุฒิ พุทธา
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 09 กันยายน 2533
สถานที่เกิด	จังหวัด ระยอง
ที่อยู่ปัจจุบัน	122/5 ม.4 ต.ตะพง อ.เมือง จ.ระยอง 21000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2551	สำเร็จการศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนเทคโนโลยีไออาร์พีซี
พ.ศ. 2552	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์ พระนครเหนือ