

การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟัซซี
โดยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS FOR FUZZY ESTIMATION
THE DISTANCE TO A FAULT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรม ไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-070-7

การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟัซซี่
โดยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS FOR FUZZY ESTIMATION
THE DISTANCE TO A FAULT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

ISBN 974-648-070-7

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **39763**
น, เดือน, ปี **21 ส.ย. 2544**

b.....

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS FOR FUZZY ESTIMATION
THE DISTANCE TO A FAULT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2001

ISBN 974-648-070-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2001

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟัซซี่โดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS FOR FUZZY ESTIMATE
THE DISTANCE TO A FAULT

ชื่อนักศึกษา นายยุทธพงศ์ ทัพผดุง

รหัสประจำตัว 41061183

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

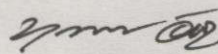
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.พิพัฒน์ เลาหสงคราม	
รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์	
รศ.ศุภี บรรจงจิตร	
ผศ.วิริยะ กองรัตน์	
รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 5 กุมภาพันธ์ 2544 เวลา 12.00-13.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น 4 (ห้อง E12-403)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว



(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัทธู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 26 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2544

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบ
พีซีซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้

นักศึกษา

นายยุทธพงศ์ ทัพผดุง

รหัสประจำตัว

41061183

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2544

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้งานของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้นั้น โดยทั่วไปจะมุ่งเน้นในส่วนของการประยุกต์ใช้งานเพื่อการควบคุมกระบวนการในรูปแบบต่างๆ วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการประยุกต์ทฤษฎีพีซีซีเพื่อช่วยในการประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจร โดยใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้เป็นตัวประมวลผล ซึ่งได้นำทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลังและค่าความต้านทานดินมาเป็นข้อมูลอ้างอิง โดยนำระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.)มาเป็นกรณีศึกษา ซึ่งผลประโยชน์ที่ได้รับจะลดระยะเวลาการเดินทางของพนักงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้องได้ ลดระยะเวลาการแก้ไขกระแสไฟฟ้า ลดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า สุดท้ายยังทำให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีความเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น

Thesis Title	Programmable Logic Controllers for Fuzzy Estimate the Distance to a Fault
Student	Mr.Yutthapong Tuppadung
Student ID.	41061183
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2001
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Vittaya Tipsuwanporn

ABSTRACT

Generally, the application of Programmable Logic Controllers (PLC) is emphasized on the Process Control. This thesis presents Fuzzy Logic application, Which can estimate the distance to a fault by means of PLC and based upon the Electrical Power System theory and ground resistance. The case study refers to the distribution lines of the Provincial Electricity Authority (PEA). Also, the thesis is supposed to be of much benefit: saving time both to go to the scene and to clear fault, reducing unpleasant impacts on customers and stabilizing reliability of the distribution lines.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนและให้คำปรึกษาด้านวิชาการจากบุคคลหลายท่านมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์ ที่ให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการและแนะนำข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ประกอบการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา และคอยให้กำลังใจต่อผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณพรสันต์ สิริโสภณวัฒนา กองฝึกรบม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณต่อผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่งที่คอยให้คำปรึกษาทั้งด้านการศึกษาและการทำงาน อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจต่อผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ อ.ทวีพล ชี้อัสตย์ เพื่อนรักที่คอยให้คำแนะนำและให้กำลังใจต่อผู้วิจัย จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณอรุณฉาย ทัพผดุง ภรรยาที่แสนดีคอยเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ กองวิจัย กองควบคุมการจ่ายไฟ กองออกแบบสถานีไฟฟ้า และพนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหลายท่าน ที่ให้ข้อมูลทางด้านเทคนิคและปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในการปฏิบัติงาน ทำให้ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะทำการวิจัยฉบับนี้ขึ้นมา

ยุทธพงศ์ ทัพผดุง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมาย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 การจ่ายกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	5
2.1 ระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.....	5
2.2 ระบบจำหน่ายแรงสูงของ กฟภ.....	6
2.2.1 ระบบ 11 กิโลโวลต์.....	6
2.2.2 ระบบ 22 กิโลโวลต์.....	6
2.2.3 ระบบจำหน่ายแรงสูง 33 กิโลโวลต์.....	6
2.3 การจัดระบบให้มีความมั่นคงและมีเสถียรภาพในการจ่ายไฟระบบจำหน่ายแรงสูง ของ กฟภ.....	8
2.3.1 ระบบเรเดียล.....	8
2.3.2 ระบบโครงข่าย.....	9
2.4 ฟอลท์.....	9
2.4.1 ฟอลท์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด.....	9
2.4.2 ฟอลท์แบ่งตามลักษณะได้ 2 แบบ.....	10

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดฟอลท์.....	10
2.5 อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบของ กฟภ.....	10
2.5.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	11
2.5.2 รีโคสเซอร์.....	12
2.5.3 ฟิวส์คัทเอาท์.....	12
2.6 อุปกรณ์ตัดตอนที่ใช้ในระบบของ กฟภ.....	13
2.6.1 ไหลดเบรกสวิตช์.....	13
2.6.2 แอร์เบรกสวิตช์.....	14
2.6.3 ดิสคอนเนคตติ้งสวิตช์.....	15
บทที่ 3 การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่าย.....	16
3.1 เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง.....	16
3.2 การลัดวงจรในระบบไฟฟ้า.....	16
3.3 การลัดวงจรแบบสมมาตร.....	17
3.3.1 ประโยชน์ของการศึกษาการลัดวงจร.....	17
3.3.2 สาเหตุของการเกิดลัดวงจร.....	18
3.3.3 การจำลองระบบ.....	21
3.3.4 กระแสลัดวงจร.....	23
3.3.5 การคำนวณกระแสลัดวงจรในทางปฏิบัติ.....	27
3.3.6 การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่าย.....	28
3.4 การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร.....	30
3.4.1 หลักการขององค์ประกอบสมมาตรในการแก้ปัญหาลัดวงจรแบบ ไม่สมมาตร.....	30
3.4.2 องค์ประกอบสมมาตร.....	33
3.4.3 ลำดับอิมพีแดนซ์.....	35

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.4 อิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจร.....	36
3.4.5 การคำนวณกระแสลัดวงจร.....	38
บทที่ 4 ทฤษฎีพหุขั้วล่อจิก.....	46
4.1 ระบบพหุขั้วล่อจิก.....	46
4.1.1 ระบบพหุขั้วบริสุทธิ.....	46
4.2 ระบบพหุขั้วของทาเคจิและซูจิโนะ.....	47
4.3 ระบบพหุขั้วล่อจิกกับตัวพหุขั้วไฟล์และตัวดีพหุขั้วไฟล์.....	48
4.4 แนวความคิดพื้นฐานของพหุขั้วและพหุขั้วล่อจิก.....	49
4.4.1 พหุขั้วเขตและทฤษฎีเขต.....	49
4.4.2 กฎการขยาย.....	51
4.4.3 ความสัมพันธ์และส่วนประกอบของพหุขั้ว.....	52
4.4.4 ขอบเขตและตัวแปลทางภาษา.....	52
4.4.5 การสรุปจากเหตุไปหาผลและการสรุปจากผลไปหาเหตุ.....	53
4.4.6 การแจกแจงเหตุสู่ผลของพหุขั้ว.....	53
4.5 กฎฐานความรู้ของพหุขั้ว.....	54
4.6 เครื่องอนุมานแบบพหุขั้ว.....	57
4.6.1 การแปลงของกฎพหุขั้ว.....	57
4.6.2 คุณสมบัติของการแปลง.....	58
4.6.3 การแมพฟังก์ชันของเครื่องอนุมานแบบพหุขั้ว.....	59
4.7 ตัวพหุขั้วไฟล์.....	60
4.8 ตัวดีพหุขั้วไฟล์.....	60
บทที่ 5 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ทฤษฎีพหุขั้วล่อจิก.....	62
5.1 ที่มาและวิวัฒนาการของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้.....	62

สารบัญ(ต่อ)

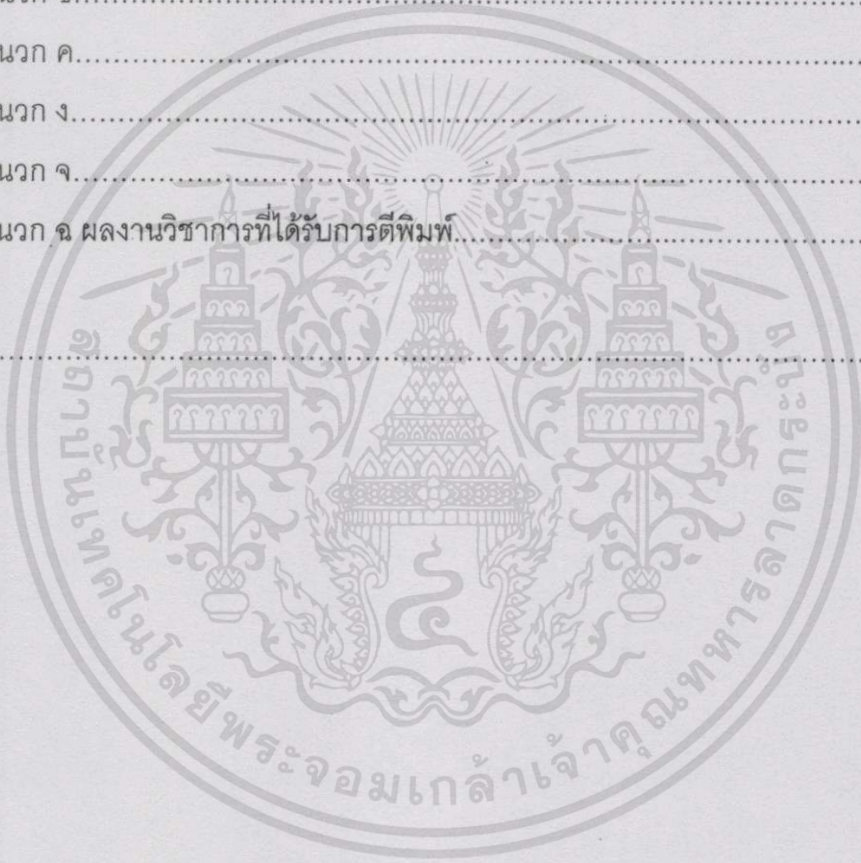
	หน้า
5.1.1 วิวัฒนาการของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้.....	63
5.1.2 สรุปข้อดีของ PLC/PC.....	63
5.2 โครงสร้างและหลักการทํางานของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้.....	64
5.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง.....	65
5.2.2 หน่วยอินพุท/เอาต์พุท.....	69
5.2.3 หน่วยป้อนโปรแกรม.....	73
5.3 ลักษณะการโปรแกรมให้กับเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้.....	74
5.3.1 โปรแกรมภาษาแลตเตอร์ไดอะแกรม.....	75
5.3.2 โปรแกรมภาษาคําสั่งแบบบูลีน.....	77
บทที่ 6 เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้กับการติดต่อสื่อสาร.....	79
6.1 การติดต่อสื่อสารข้อมูลทั่วไป.....	79
6.1.1 วิธีการส่งข้อมูล.....	79
6.1.2 ข้อตกลงในการติดต่อสื่อสาร.....	82
6.1.3 การควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูล.....	83
6.1.4 อัตราการส่งข้อมูล.....	84
6.1.5 มาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม.....	85
6.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้.....	88
6.2.1 การต่อวงจรแบบจุดต่อจุด.....	88
6.2.2 การต่อวงจรแบบหลายจุด.....	89
6.2.3 การต่อวงจรสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local area Network for PLC/PC).....	92
6.3 ข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC.....	93
6.3.1 รูปแบบของบัส.....	94
6.3.2 การคำนวณ FCS.....	94

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 การออกแบบการประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชชี.....	96
7.1 การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	96
7.2 การประยุกต์ฟิชชีเพื่อจำลองการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร.....	101
7.2.1 การสร้างฟังก์ชันในความเป็นสมาชิกฟิชชี.....	101
7.3 การประยุกต์เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เพื่อการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร.....	107
7.4 พัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล...109	
7.4.1 การรับส่งข้อมูลเพื่อปรับตั้งค่าต่างๆที่จำเป็นของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้.....	109
7.4.2 การจำลองเหตุการณ์การประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร.....	110
7.5 สร้างวงจรชุดแปลงสัญญาณมาตรฐานจาก RS 232C เป็น RS 422A.....	111
7.5.1 หลักการของ RS-422A และ RS-485.....	111
7.5.2 หลักการทำงานของวงจร.....	112
บทที่ 8 การทดสอบการทำงานและผลการทดลอง.....	114
8.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	114
8.2 การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชชีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงไป.....	114
8.3 การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชชีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆ.....	120
8.4 ผลการทดลอง.....	124
บทที่ 9 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	126
9.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	126

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก.....	129
ภาคผนวก ก.....	130
ภาคผนวก ข.....	131
ภาคผนวก ค.....	133
ภาคผนวก ง.....	136
ภาคผนวก จ.....	142
ภาคผนวก ฉ ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	144
ประวัติผู้เขียน.....	152



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 อุปกรณ์ อินพุท/เอาต์พุทแบบค่าสภาวะลอจิก.....	70
5.2 อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทแบบค่าตัวเลข.....	71
5.3 อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทสำหรับค่าสภาวะแบบหลายบิต.....	71
5.4 ตัวอย่างของการใช้ฟังก์ชันลอจิก และสัญลักษณ์พื้นฐานในการเขียนโปรแกรม แลดเดอร์ของ PLC/PC.....	75
5.5 ตัวอย่างโปรแกรมชุดคำสั่งบูตลิน.....	78
6.1 ค่าเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ RS-232 C , RS-422A , และ RS-485.....	88
7.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแสลัดวงจร เฟส-ดิน ค่าอิมพีแดนซ์ที่ จุดลัดวงจร และระยะทางหรือยาวของสายเคเบิลฟีดเดอร์ 3.....	99
8.1 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 400 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร.....	116
8.2 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 500 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร.....	117
8.3 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 600 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร.....	118
8.4 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 700 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร.....	119
8.5 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 800 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร.....	120
8.6 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.02 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่.....	121
8.7 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.05 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่.....	122
8.8 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.08 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่.....	123

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
8.9 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.1 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่.....	124



สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15การเกิด Single line to ground fault ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด.....	41
3.16Sequence network ของ Line to ground fault.....	42
3.17วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	43
3.18ฟอลท์ชนิดต่างๆ ที่มีค่าฟอลท์อิมพีแดนท์รวมอยู่ด้วย.....	44
4.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบพีชชีลอจิกบริสุทธิ์.....	47
4.2 โครงสร้างพื้นฐานระบบพีชชีลอจิกของ ทาเคจิและซูจินิเอะ.....	48
4.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบพีชชีลอจิกกับตัวพีชชีไฟล์และตัวดีพีชชีไฟล์.....	49
4.4 ความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน 3 พีชชีเซต โดยกำหนดให้ชื่อ "slow", "medium" และ "fast" สำหรับความเร็วของรถ.....	50
5.1 บล็อกไดอะแกรมของ PLC/PC.....	65
5.2 บล็อกไดอะแกรมของ CPU.....	66
5.3 การ SCAN ของ CPU.....	67
5.4 ข้อมูลเป็น บิต ไบท์ และเวิร์ด.....	68
5.5 หน่วยความจำของ PLC/PC.....	68
5.6 หน่วยความจำสำหรับผู้ใช้.....	69
5.7 บล็อกไดอะแกรมของหน่วยอินพุท/เอาต์พุท.....	70
5.8 เครื่องป้อนโปรแกรมแบบ CRT.....	73
5.9 เครื่องป้อนโปรแกรมขนาดเล็กหรือพกพา.....	74
5.10วงจรรีเลย์ควบคุมการหมุนกลับทางของมอเตอร์แบบ JOGGING.....	76
5.11แลตเตอร์ไดอะแกรมควบคุมการหมุนกลับทางของมอเตอร์แบบ JOGGING.....	76
5.12การแบ่งแลตเตอร์ไดอะแกรมออกเป็นริงค์.....	77
6.1 ความสัมพันธ์ของส่วนประกอบหลักในการสื่อสารข้อมูล.....	79
6.2 การส่งแบบทิศทางเดียว.....	79
6.3 การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์.....	80

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.4 การส่งแบบสองทิศทาง.....	80
6.5 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน.....	81
6.6 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม.....	81
6.7 โครงสร้างของแพ็กเก็ต.....	83
6.8 รูปแบบการตรวจสอบด้วย Parity Bit.....	84
6.9 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C.....	86
6.10 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A.....	87
6.11 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485.....	88
6.12 ระบบการติดต่อแบบจุดต่อจุด.....	89
6.13 การเชื่อมโยงแบบอินพุตและเอาต์พุตระยะไกล.....	89
6.14 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะทำงานปกติ.....	90
6.15 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะเมื่อมีการทำงานร่วมกับหน่วยอินพุต เอาต์พุตระยะไกล.....	90
6.16 การต่อแบบ Serial link.....	91
6.17 การต่อแบบ Parallel link.....	91
6.18 การแบ่งพื้นที่สำหรับ PC Link System.....	92
6.19 ระบบการติดต่อสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น.....	92
6.20 ระบบโครงข่ายแบบหลายจุดโดยใช้มาตรฐานการสื่อสาร RS 485.....	93
6.21 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC.....	93
6.22 รูปแบบของบล็อกร.....	94
6.23 รูปแบบของบล็อกรและการคำนวณ FCS.....	95
7.1 แผนผังตำแหน่งสวิตช์แรงสูงในเซตระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าเสเดา.....	96
7.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแสลัดวงจร เฟส-ดิน ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร และระยะทาง หรือยาวของสายเคเบิลพิดเตอร์ 3	101
7.3 ความเป็นสมาชิกของค่ากระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน.....	102

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.4 ความเป็นสมาชิกของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร.....	103
7.5 ความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลพีดเดอร์ 3.....	104
7.6 กระบวนการหาเหตุผลแบบฟิชชี.....	106
7.7 พื้นผิวความสามารถและสมรรถนะของตัวประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร.....	107
7.8 ผังขั้นตอนการโปรแกรม.....	108
7.9 ตัวอย่างการส่งข้อมูลไปยังเครื่องควบคุมทางตรรกที่โปรแกรมได้.....	109
7.10 การจำลองเหตุการณ์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร...	110
7.11 การรับส่งข้อมูลในมาตรฐาน RS-422A เปรียบเทียบกับข้อมูลส่ง.....	111
7.12 วงจรสมบูร์นของเครื่องแปลงมาตรฐาน RS-232 เป็น RS-422A และ RS-485.....	113
8.1 โปรแกรมการจำลองเหตุการณ์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุด กระแสลัดวงจร และเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆ.....	115
8.2 การเก็บข้อมูลต่างลงไฟล์เอกสาร.....	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ทฤษฎีฟิสิกส์ที่ลอจิก เพื่อประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งได้นำข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.)มาเป็นกรณีศึกษา เพื่อช่วยลดระยะเวลากระแสไฟฟ้าขัดข้อง การค้นหาตำแหน่งที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังส่งผลให้เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและสร้างภาพพจน์ที่ดีต่อผู้ใช้ไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น

ปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ได้มีการจัดระบบเป็นแบบเรเดียลและมีรูปแบบการเชื่อมโยงกับแหล่งจ่ายอื่นๆเป็นชนิด Open Loop ซึ่งสามารถถ่ายเทโหลดไปแหล่งจ่ายอื่นๆได้ ถ้าแหล่งจ่ายนั้นมีปัญหาไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ ส่วนใหญ่ระบบจำหน่ายของ กฟภ. เป็นชนิดเดินสายเหนือหัว (Over Head Line) โดยทั่วไป กฟภ. จะใช้สายเคเบิลอลูมิเนียมเปลือยและเคเบิลชนิดฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดในย่านชนบทและพื้นที่ห่างไกล สำหรับย่านชุมชนเมือง กฟภ. จะใช้สายเคเบิลแบบเต็มพิกัด จากที่กล่าวถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. มาแล้วนั้นพบว่าโอกาสที่จะมีการเกิดกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายของ กฟภ. นั้นเป็นไปได้สูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งย่านชนบทและพื้นที่ห่างไกล ส่วนใหญ่เกิดจากต้นไม้กิ่งไม้หักและขาดสายไฟ นกหรือสัตว์เลื้อยคลาน เช่นงู กิ้งก่า ตุ๊กแกขึ้นไปอาศัยบนเสาไฟฟ้าหรือตรงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นรู อุบัติเหตุจากรถชนเสาไฟฟ้าหัก อุปกรณ์ชำรุดหรือเสื่อมสภาพเช่นลูกถ้วย และอื่นๆโดยไม่ทราบสาเหตุ จากข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง พบว่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนั้นส่วนใหญ่เป็นการลัดวงจรแบบเฟส-ดิน และเป็นเฟสที่อยู่ใกล้กับต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างซึ่งมาตามตรฐานการติดตั้งของ กฟภ. นั้นเป็นเฟส C

1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมาย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึง การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟิสิกส์ที่ลอจิก เพื่อประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร โดยนำค่ากระแสลัดวงจรที่ได้คำนวณจากทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง และค่าอิมพีแดนซ์ของจุดกระแสลัดวงจรมาเป็นอินพุตของฟิสิกส์ที่ลอจิก และระยะเวลาความยาวของสายเคเบิลเป็นเอาต์พุตของฟิสิกส์ที่ลอจิก ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้จำลองการหาตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน เนื่องจากสถิติที่เกิดกระแสลัดวงจรทุกแบบนี้พบว่ามีประมาณ 70% จะเป็นการเกิดการลัดวงจรแบบเฟส-ดิน ซึ่งการเกิดกระแสลัดวงจรแบบเฟส-ดินนั้นพบว่าเป็นการยากที่จะสามารถวิเคราะห์ตำแหน่งได้ถูกต้อง เนื่องจากมีปัจจัยของอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรเข้ามา

เกี่ยวข้องทำให้การประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรผิดพลาดไปจากความเป็นจริง การเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรมีการแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของดิน ฤดูกาล และสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นๆ เป็นต้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพิสูจน์ให้เห็นว่า ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรมีผลทำให้การประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรผิดพลาดไปจากความเป็นจริง และถ้ามีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้สามารถประมาณค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ก็สามารถประมาณค่าตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาผลการจำลองที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นโปรแกรมเพื่อประมวลผลบนเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ ซึ่งเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้นั้น สามารถติดต่อกับผู้ใช้งานเพื่อทำโปรแกรม และแก้ไขเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่างๆค่อนข้างง่าย อีกทั้งยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่างๆได้ง่าย มีความน่าเชื่อถือและเสถียรภาพในการใช้งานค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นที่ยอมรับสำหรับการใช้งานในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันมีการนำเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้มาประยุกต์เพื่อใช้งานในวงการอื่นๆอีกมาก เช่น การควบคุมสถานีไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-based Substation Control System, CSCS) ของ กฟภ. บางผลิตภัณฑ์ได้ใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ มาเป็นตัวประมวลผลและควบคุมสถานีไฟฟ้า โดยจะรับสถานะต่างๆของสถานีไฟฟ้า เช่น รีเลย์ป้องกัน การลัดวงจร และการปลดวงจรต่างกันในสถานีไฟฟ้า ส่งขึ้นไปแสดงผลที่ MMI (Man Machine Interface) รวมทั้งรองรับคำสั่งจาก MMI และจะกระทำการตรวจสอบเงื่อนไขการสั่งงานก่อนที่จะส่งออกไปที่อุปกรณ์ต่างๆ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การศึกษาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีแนวทางการตั้งสมมติฐานคือ เป็นการเสนอวิธีการและแนวทางการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรโดยประยุกต์ทฤษฎีฟิสิกส์ที่ลอจิก โดยประมวลผลบนเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ ซึ่งมีการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจรแต่ละจุดบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ที่นำมาเป็นกรณีศึกษา หลังจากนั้นนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับการคำนวณตำแหน่งกระแสลัดวงจร โดยใช้ทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน ซึ่งจากผลที่ได้มีนำไปพัฒนาตามแนวทางของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่อไป ทำให้สามารถนำประสบการณ์ของพนักงาน กฟภ. ที่ปฏิบัติงานแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้องมาเป็นฐานความรู้ของทฤษฎีฟิสิกส์ที่ลอจิกได้ ซึ่งจะทำให้สามารถประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้โดยอ้างอิงกระแสลัดวงจรกับสภาพอากาศ และฤดูกาลขณะนั้นเพื่อนำมาเป็นตัวแปรในการตัดสินใจ ดังนั้นถ้ามีการเก็บข้อมูลดังกล่าวจากพนักงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องเป็นฐานความรู้ของฟิสิกส์ที่มากเพียงพอก็จะทำให้สามารถประมาณตำแหน่งที่

จุดกระแสลัดวงจรได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยไม่จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อคำนวณตำแหน่งกระแสลัดวงจรแต่อย่างใด

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขต คือมีการนำระบบจำหน่ายของ กฟภ. มาเป็นกรณีศึกษาเพื่อประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบเฟส-ดิน โดยแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งกระแสลัดวงจรนั้น มีความสัมพันธ์กับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร ซึ่งการประมาณค่าอิมพีแดนซ์ดังกล่าวนั้น ในทางปฏิบัติเป็นเรื่องที่ยุ่งยากมาก เนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวข้องของหลายประการ โดยได้นำทฤษฎีพีชชีมาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณหาตำแหน่งกระแสลัดวงจร โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อหาผลของการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้ถูกต้องที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง จากนั้นนำผลที่ได้โปรแกรมลงเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ และแสดงผลการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรเป็นช่วง โดยทำการจำลองค่ากระแสลัดวงจรการปรับแต่งค่าต่างๆ การบันทึกเหตุการณ์ผ่าน PC (เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล)

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาต่างๆสามารถแบ่งเป็นหัวข้อในการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาวงจรเส้นเดียว(Single Line Diagram) ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. โดยจะต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นดังต่อไปนี้
 - 1.1) กระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส ที่บัสบาร์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
 - 1.2) กระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน ที่บัสบาร์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
- 2) คำนวณหาความสัมพันธ์ของกระแสลัดวงจรกับค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร โดยใช้ทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง
- 3) ศึกษาทฤษฎีพีชชีลอจิกและการประยุกต์ใช้งาน
- 4) ประยุกต์ใช้ทฤษฎีพีชชีลอจิกเพื่อประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร
- 5) ศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้
- 6) โปรแกรมการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร ที่ได้จากการประยุกต์ทฤษฎีพีชชีลงบนเครื่อง PLC
- 7) พัฒนาโปรแกรมเพื่อจำลองกระแสลัดวงจรบนเครื่อง PC โดยผ่านการสื่อสารข้อมูลแบบมาตรฐาน RS 422A ไปยังเครื่อง PLC
- 8) สร้างวงจรชุดแปลงสัญญาณมาตรฐานจาก RS 232C เป็น RS 422 เพื่อเพิ่มศักยภาพในการส่งรับข้อมูล

9) บันทึกผลการทดสอบในกรณีต่างๆ เปรียบเทียบกับการคำนวณจากทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง

10) สรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีพีชชีลोजิกเพื่อลดความซับซ้อน ในการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง

1.6.2 เพื่อเป็นแนวทางให้มีการนำประสบการณ์จริงของพนักงานที่มีความชำนาญในวิเคราะห์ตำแหน่งกระแสลัดวงจร มาเป็นฐานความรู้ของพีชชีลोजิก เพื่อประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรโดยไม่จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีไฟฟ้ากำลัง

1.6.3 เป็นการนำเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้มาประยุกต์ใช้เพื่อการตัดสินใจ ประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

1.6.4 การจำลองและการทดสอบผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำให้ทราบถึงศักยภาพการทำงานของเครื่องประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบพีชชี และศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อนำไปใช้จริงต่อไป

1.6.5 การแก้ปัญหาในระบบไฟฟ้ากำลังที่ซับซ้อนนั้น สามารถแก้ปัญหาได้จากประสบการณ์ของมนุษย์โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีพีชชีได้

การจ่ายกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

2.1 ระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมในการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม จึงมีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เกิดขึ้นมาก แต่ละโรงงานมีความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะที่จะรับพลังงานไฟฟ้าจากระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดปานกลาง 22 หรือ 33 กิโลโวลต์ กฟภ. (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) จึงได้ดำเนินงานซื้อพลังงานไฟฟ้าระบบ 69 และ 115 กิโลโวลต์ จาก กฟผ. มาจ่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และได้ก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยของ กฟภ.ขึ้นเอง เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าในระบบ 69 และ 115 กิโลโวลต์ ไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยต่างๆ ในบริเวณใกล้เคียงกัน เพื่อให้การจ่ายไฟในเขตอุตสาหกรรมมีความมั่นคงยิ่งขึ้น [1]

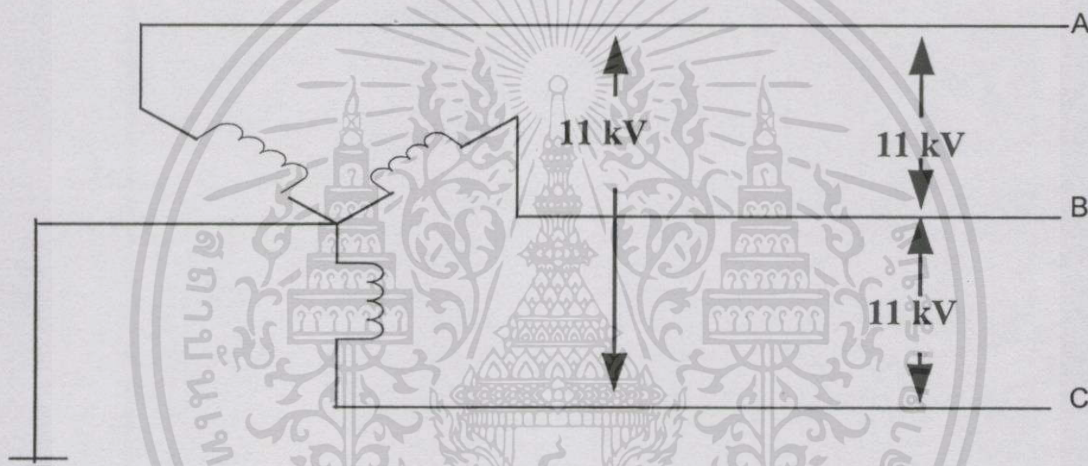
แหล่งพลังงานไฟฟ้า ของ กฟภ.

- กฟภ. ได้ซื้อพลังงานจาก กฟผ. (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย) ในระบบ 22, 33, 69 และปัจจุบันได้ซื้อที่ระดับแรงดัน 115 เควี เป็นส่วนใหญ่
- กฟภ. ผลิตพลังงานไฟฟ้า
- ติดตั้งเครื่องจักรดีเซลจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ชุมชนห่างไกล
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก เช่น เขื่อนพลังน้ำขนาดเล็กแม่เตียน และ เขื่อนพลังน้ำขนาดเล็กแม่ใจ จ.เชียงใหม่ เขื่อนพลังน้ำขนาดเล็กแม่ยะ , แม่เทย, แม่ปาย จ.แม่ฮ่องสอน
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ เช่น ที่บ้านวังหมี่ จ.นครราชสีมา
- นอกจากนี้ยังมีโครงการ Hybrid ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจากรัฐบาลออสเตรเลีย ดังนี้
 - อ.เด่นไม้ซุง จ.ตาก และ บ้านแม่กะสี จ.นครสวรรค์ ใช้พลังงานจาก Solar Cell ขนาด 56 กิโลวัตต์ จ่ายชานานเข้ากับระบบแรงต่ำของ กฟภ.
 - บ้านขุนแปะ จ.เชียงใหม่ ดังนี้
 - เครื่องยนต์ ขนาด 56 KW
 - Solar Cell ขนาด 7.2 KW
 - พลังน้ำ ขนาด 96 KW (ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ)

- ระบบแรงต่ำ กฟภ.
- เกาะกูด จ.ตราด มีดังนี้
 - เครื่องยนต์ ขนาด 120 KW จำนวน 2 เครื่อง
 - เครื่องยนต์ ขนาด 56 KW จำนวน 2 เครื่อง
 - Solar Cell ขนาด 12 KW (จ่ายเป็น Base)

2.2 ระบบจำหน่ายแรงสูงของ กฟภ. มี 3 ระบบคือ

2.2.1 ระบบ 11 กิโลโวลต์ Conventional, solidly grounded system ซึ่งมีทั้งระบบจำหน่ายแรงสูง 3 เฟส 3 สาย และ 1 เฟส 2 สาย

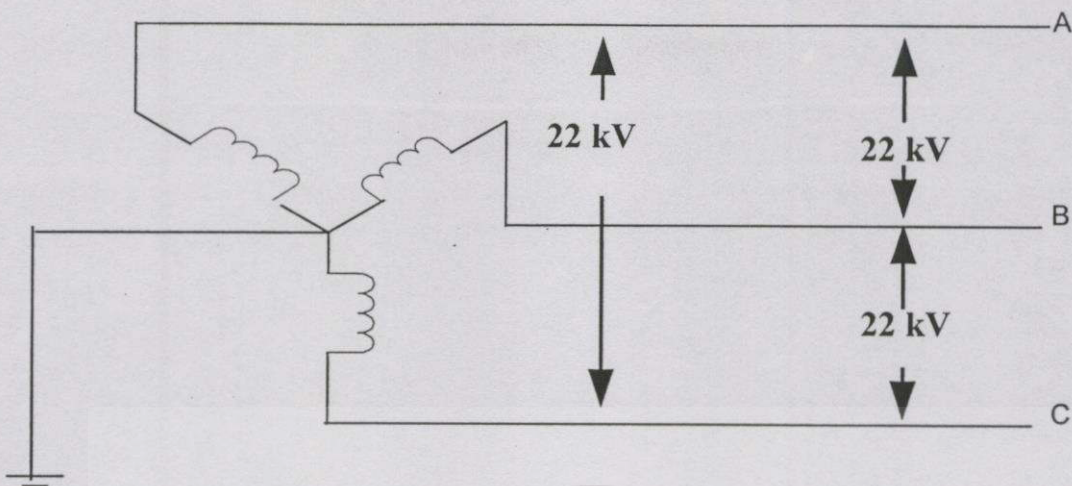


รูปที่ 2.1 ระบบ 11 กิโลโวลต์ Conventional, solidly grounded system

ระบบจำหน่ายแรงสูง 11 กิโลโวลต์นี้ กฟภ.ได้ก่อสร้างตามโครงการยื่นฮีระยะแรก แต่เนื่องจากระยะหลังโหลดได้เพิ่มสูงขึ้นมาก และต้องขยายเขตระบบจำหน่ายออกไปไกล ทำให้ระบบจำหน่ายแรงสูง 11 กิโลโวลต์ไม่เหมาะสมเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกและมีหน่วยสูญเสียมาก ดังนั้น กฟภ.จึงได้เปลี่ยนเป็นระบบ 22 กิโลโวลต์ ซึ่งดำเนินการแล้วเสร็จส่วนใหญ่ เหลืออยู่เพียงบางส่วนใน จ.เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง คาดว่าจะเปลี่ยนเป็นระบบ 22 กิโลโวลต์ ได้หมดประมาณปี พ.ศ. 2530 [1]

2.2.2 ระบบ 22 กิโลโวลต์ Conventional, solidly grounded system

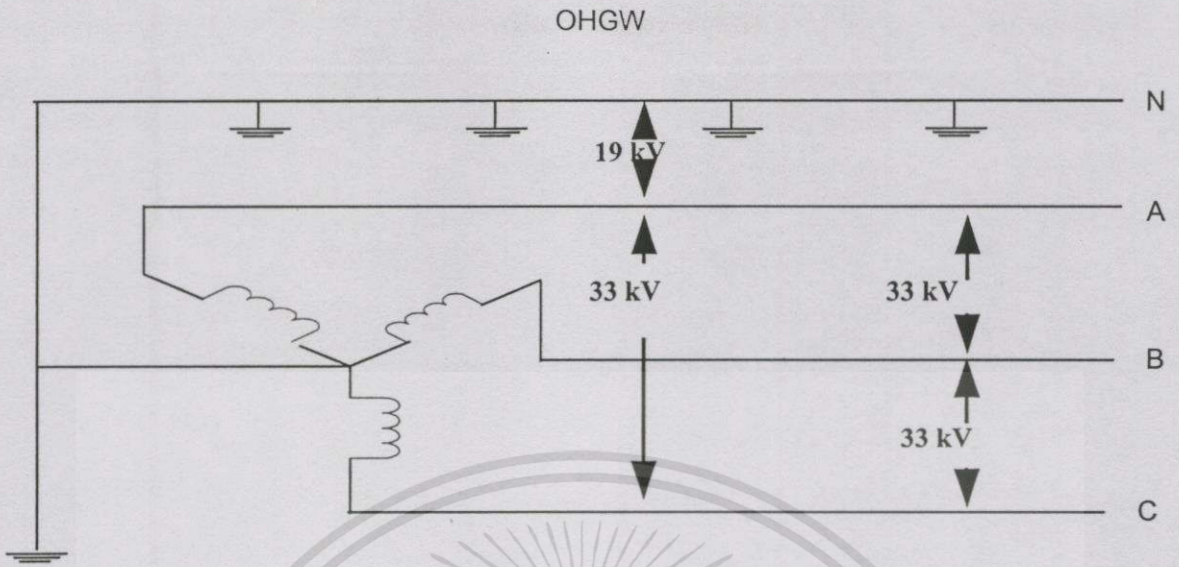
ระบบจำหน่ายแรงสูงของ กฟภ. เกือบทั้งประเทศ ยกเว้นภาคใต้ และภาคเหนือ บางส่วนจะเป็นระบบ 22 กิโลโวลต์ เกือบทั้งสิ้น ระบบนี้ก็เช่นเดียวกับระบบ 11 กิโลโวลต์ คือมีทั้งระบบ 3 เฟส 3 สาย และ 1 เฟส 2 สาย [1]



รูปที่ 2.2 ระบบ 22 กิโลโวลต์ Conventional solidly grounded system

2.2.3 ระบบจำหน่ายแรงสูง 33 กิโลโวลต์

ระบบ 33 กิโลโวลต์ ส่วนใหญ่ใช้ในภาคใต้ตั้งแต่ จ.ระนองลงไป และในภาคเหนือที่ จ.พะเยาและเชียงราย ระบบจำหน่าย 33 กิโลโวลต์ นี้แตกต่างไปจากระบบ 22 กิโลโวลต์ Conventional, solidly grounded system ซึ่งนอกจากมีจุดต่อลงดินที่จุดกลาง (Neutral) ด้าน 22 กิโลโวลต์ ของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าย่อยแล้ว ในระบบจำหน่ายแรงสูง 33 กิโลโวลต์ของ กฟภ. ยังมีสาย Overhead ground wire ต่อจากจุดต่อลงดินที่จุดกลาง ด้าน กิโลโวลต์ ของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าย่อย พาดไว้เหนือสายเฟสทั้งสามอีก 1 เส้นด้วย โดยสาย Overhead ground wire ดังกล่าวได้ต่อลงดินไว้ทุกต้นเสาของระบบจำหน่ายแรงสูงได้ ทั้งนี้สาย Overhead ground wire นอกจากจะทำหน้าที่เป็นจุดต่อลงดินหลายจุดแล้ว ยังเป็นเกราะป้องกันฟ้าผ่าลงสายเฟสด้วย ดังนั้นในระบบจำหน่าย 3 เฟส จะประกอบด้วยสายเฟส 3 สาย และ Overhead ground wire 1 สาย ส่วนระบบ 1 เฟส ประกอบด้วยสายเฟส 1 สาย และ Overhead ground wire 1 สาย [1]



รูปที่ 2.3 ระบบ 33 กิโลโวลต์ Multiground grounded system

2.3 การจัดระบบให้มีความมั่นคงและมีเสถียรภาพในการจ่ายไฟ

ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ เช่นเดียวกับธุรกิจอุตสาหกรรม นั่นคือความประหยัด (Economic) ความเชื่อถือได้ (Reliability) ความมั่นคง (Stability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และประสิทธิภาพ (Efficiency) เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวางแผนการผลิตและจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยคำนึงถึงองค์ประกอบดังกล่าว

ในระบบสายส่งหรือระบบจำหน่ายที่มีความเชื่อถือได้ ประกอบด้วยระบบสายส่ง หรือระบบจำหน่ายหลายๆ ฟีดเดอร์ และมาจากหลายสถานีไฟฟ้าย่อย ที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าทดแทนกันได้

การวางแผนจัดระบบว่าเป็นแบบ Radial system หรือ Network system และการจัดระบบควบคุมเป็นแบบ Remote control หรือ Manual control นั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพและชนิดของโหลดที่รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบนั้น [1]

2.3.1 ระบบเรเดียล

ระบบนี้เป็นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยไปในทิศทางเดียว เมื่อเกิดปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องที่สถานีไฟฟ้าย่อย หรือระบบต้นทางไฟก็จะดับหมดทั้งฟีดเดอร์ ไม่สามารถจ่ายโหลดทดแทนจากฟีดเดอร์อื่นหรือสถานีไฟฟ้าย่อยอื่น ระบบการจ่ายไฟแบบนี้จะมีความเชื่อถือได้ (Reliability) ต่ำ [1]

2.3.2 ระบบโครงข่าย

ระบบนี้เป็นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถจ่ายเชื่อมโยงโหนดทดแทนกันได้จากฟีดเดอร์อื่นหรือจากสถานีไฟฟ้าย่อยอื่น ระบบการจ่ายไฟฟ้าย่อยแบบนี้มีความเชื่อถือได้สูง โอกาสที่ไฟดับนานจะมีน้อย การจ่ายไฟระบบนี้ยังแยกเป็น 2 แบบ คือ

2.3.2.1 Close loop เป็นการจ่ายไฟขนานกันตลอดเวลาทั้งสองฟีดเดอร์ขึ้นไปซึ่งอาจมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยเดียวกันหรือต่างสถานีย่อยกัน จะมีผลในการลดหน่วยสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้าในระบบดีกว่าและมีความมั่นคงดีกว่าการจ่ายไฟแบบ Open loop แต่อาจจะมีปัญหาในการจัดระบบป้องกัน เช่น ต้องใช้ Directional Overcurrent relay แทน Overcurrent relay แบบธรรมดา กระแสลัดวงจรในระบบมีค่าสูงขึ้น และถ้าเกิดฟอลท์ขึ้น จะทำให้ไฟดับหมดทั้งสองฟีดเดอร์เป็นต้น ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับสายส่ง 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป จึงจะทำให้ระบบสายส่งมีความมั่นคง ปัญหา Voltage swing เป็นต้น และเหมาะสำหรับการจ่ายไฟจากเขื่อนพลังน้ำขนาดเล็กขนานกับระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าปานกลาง (11,22 หรือ 33 กิโลโวลต์) ซึ่งจะทำให้การจ่ายไฟจากเขื่อนพลังน้ำขนาดเล็กได้ประสิทธิภาพมากที่สุด สามารถจ่ายโหลดได้เต็มที่ตลอด 24 ชั่วโมง

2.3.2.2 Open loop แต่ละฟีดเดอร์มีการจ่ายไฟแบบ Radial โดยมีสวิตช์ตัดตอนติดตั้งที่จุดเชื่อมโยงอยู่ในลักษณะที่เปิดไว้ และในระบบจะมีสวิตช์ ตัดตอนติดตั้งแบ่งระดับออกเป็นช่วงๆ เมื่อเกิดปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องในช่วงใด ก็จะพยายามตัดช่วงที่มีปัญหาหรือต้องแก้ไขออก แล้วสับสวิตช์ที่จุดเชื่อมโยงเข้าจ่ายไฟทดแทน ระบบจำหน่ายแรงสูงของ กฟภ. เกือบทั้งหมดเป็นระบบนี้ ซึ่งเหมาะสมกว่าการจ่ายไฟแบบ Close loop เนื่องจากระบบจำหน่ายส่วนใหญ่ใช้สายอลูมิเนียมเปลือยพาดบนลูกถ้วยที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ซึ่งปักอยู่ในเขตทางหลวง มีต้นไม้อยู่ในแนวสายไฟเป็นส่วนใหญ่ทำให้เกิดปัญหาไฟดับมาก จึงไม่เหมาะที่จะจ่ายไฟแบบ Close loop ซึ่งจะทำให้ไฟดับพร้อมกันทั้งสองฟีดเดอร์ [1]

2.4 ฟอลท์

2.4.1 ฟอลท์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.4.1.1 Symmetrical fault เป็นฟอลท์แบบสมดุลงค์ ได้แก่ 3 phase fault

2.4.1.2 Unsymmetrical fault เป็นฟอลท์แบบไม่สมดุลงค์ ได้แก่ Line to ground fault, Line to line fault, Double line to ground fault

โอกาสการเกิดฟอลท์ชนิดต่างๆข้างต้นโดยอ้างอิงจากเอกสารทางวิชาการสามารถแสดงสถิติดังต่อไปนี้ [2]

Line to ground fault	= 0.70
Line to line fault	= 0.15
Double line to ground fault	= 0.10
3 phase fault	= 0.05
รวม	= 1.00

2.4.2 ฟอลท์แบ่งตามลักษณะได้ 2 แบบคือ

2.4.2.1 ฟอลท์ชั่วคราว (Temporary fault) เป็นการลัดวงจรที่เกิดขึ้นชั่วคราวแล้วหายไป เช่นกิ่งไม้หรือใบไม้ถูกลมพัดมาแตะสายไฟ แล้วหลุดออกหรืออาร์คไหม้ขาดหลุดออกไปจนไม่แตะสายไฟ ฟอลท์แบบนี้จะเกิดขึ้นประมาณ 90 %

2.4.2.2 ฟอลท์ถาวร (Permanent fault) เป็นการลัดวงจรถาวร เช่น สายไฟขาดตกลงบนพื้นดิน สายหลุดจากลูกถ้วยลงพาดบนไม้คอน เสาล้มต้นไม้ล้มทับสาย เป็นต้น ฟอลท์แบบนี้จะมีโอกาสเกิดขึ้นเพียง 10 %

2.4.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดฟอลท์

1. ต้นไม้
2. สายฉีก สายเหวี่ยง สายไฟเปลือย แตะหรือพาดกับสายไฟ
3. สัตว์ต่างๆ เช่น นก งู ลิงลม เป็นต้น
4. อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุด เช่น ลูกถ้วยแตก ร้าว หม้อแปลงเกิดลัดวงจร เป็นต้น
5. มนุษย์ เช่น คนยิงนกแล้วพลาดไปถูกสายไฟขาดลงมา หรือทำให้ลูกถ้วยแตก เป็นต้น
6. มลภาวะ (Pollution) เช่นระบบจำหน่ายใกล้ชายทะเล มีคราบจับเกาะบนผิวลูกถ้วย และไม้คอน ทำให้เกิดการวาบบนผิวลูกถ้วย (Flash Over)
7. ภัยธรรมชาติ เช่นฟ้าผ่าลงมาบนลูกถ้วย ลมพายุพัดสายไฟแตะกัน หรือทำให้เสาล้ม เป็นต้น

2.5 อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบของ กฟภ.

การเลือกชนิดของอุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจรหรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร จะทำให้ระบบมีความมั่นคงและเป็นการประหยัดด้วย ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงสภาพของโหลด ระบบแรงดันไฟฟ้า กระแสลัดวงจร เป็นต้น ดังนั้น กฟภ.จึงได้กำหนดชนิดและตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ไว้เป็นมาตรฐาน ดังนี้ [3]

2.5.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์

เป็นสวิตช์ตัดตอน และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัด สามารถเปิดและปิดวงจรไฟฟ้า มีพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (Interrupting capacity) ได้สูงตั้งแต่ 10-20 กิโลแอมแปร์ ดังนั้นจึงกำหนดให้ติดตั้งที่สถานีควบคุมการจ่ายไฟ ซึ่งมีค่ากระแสลัดวงจรสูงกว่าในระบบจำหน่าย ใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่ายที่จ่ายไฟออกไป



รูปที่ 2.4. การติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้า

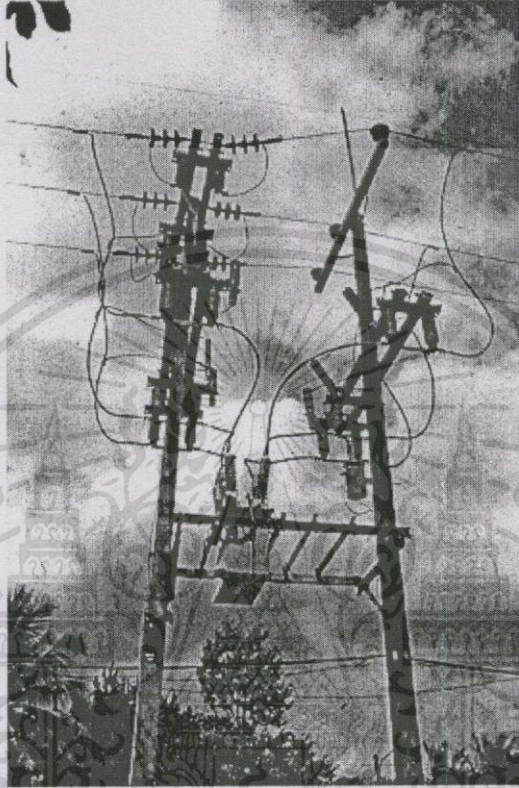
การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะถูกควบคุมการเปิดหรือปิดวงจรด้วยมือ (Manual control) โดยรีเลย์ เมื่อใดที่กระแสไฟฟ้ามีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ รีเลย์ในกระแสเกิน (Overcurrent relay) จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เปิดวงจรโดยอัตโนมัติ และออโตรีเลย์ (Auto reclose relay) จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปิดกลับวงจรเข้าไปโดยอัตโนมัติ จนครบตามจำนวนครั้งที่กำหนด เซอร์กิตเบรกเกอร์จะเปิดวงจรค้างไว้ (Look out) เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ กฟภ. จัดซื้อมาใช้งานมีตัวกลางดับอาร์คเป็น 3 แบบ คือ

- 1) แบบ SF₆ Gas สำหรับระบบ 69 และ 115 กิโลโวลท์
- 2) แบบ Oil มีทั้ง Min oil และ Bulk oil สำหรับระบบ 22 และ 33 กิโลโวลท์
- 3) แบบ Vacuum สำหรับระบบ 22 กิโลโวลท์

เซอร์กิตเบรกเกอร์พร้อมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้งานร่วมกันได้ซึ่งได้แก่ ซีที พีที รีเลย์ มิเตอร์ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ติดตั้งในสถานีควบคุมการจ่ายไฟรวมเรียกว่าสวิตช์เกียร์ (Switchgear)

2.5.2 รีโกลสเซอร์

เป็นสวิตช์ตัดตอนและอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดที่ทำงานโดยอัตโนมัติ สามารถเปิดและปิดวงจรในขณะเกิดฟอลท์ได้เช่นเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่เป็นอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบพร้อมในชุดของมัน สำหรับเปิดและปิดวงจรกลับเข้าไป โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่กำหนด โดยสามารถเปิดวงจรได้สูงสุดถึง 4 ครั้ง จึงเปิดวงจรค้างไว้



รูปที่ 2.5 การติดตั้งรีโกลสเซอร์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

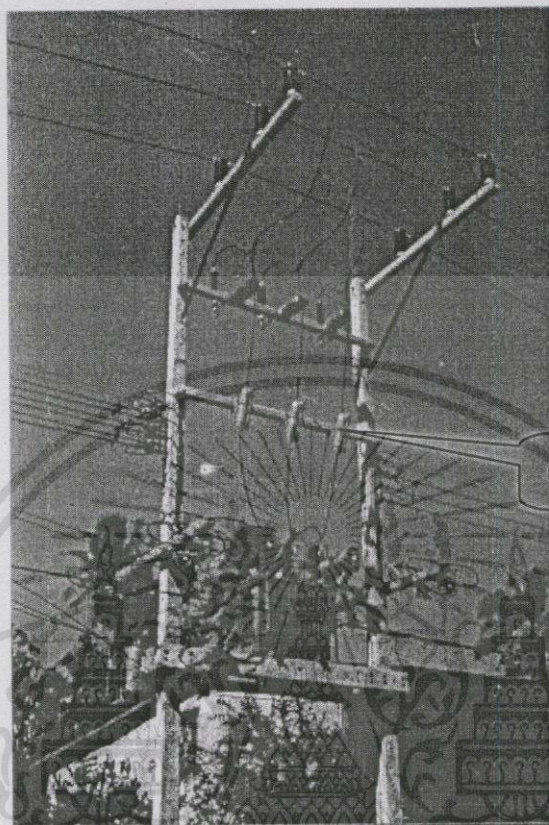
คุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งของรีโกลสเซอร์ คือมีคุณลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและเวลา (Time current characteristic curve) ทั้งทำงานแบบเร็ว (Fast curve) และทำงานแบบช้า (Slow curve) จึงตั้งให้ทำงานสัมพันธ์กับอุปกรณ์ป้องกันอื่น เช่นฟิวส์ได้ดี โดยทั่วไปรีโกลสเซอร์จะมีค่าพิกัดตัดกระแสลัดวงจรน้อยกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังนั้นจึงกำหนดให้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันระบบจำหน่าย

2.5.3 ฟิวส์คัทเอาท์

เป็นอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดที่มีราคาถูกที่สุด จึงกำหนดให้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันในสายแยกและสายย่อยที่มีโหลดไม่มากนัก และระยะทางไม่ไกลมาก ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและฟิวส์ลิงค์เป็นแบบ Extremely inverse time characteristic คือกระแสเกินพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งมีค่ามากเวลาที่ฟิวส์ลิ่งค์จะหลอมละลายก็ยิ่งเร็วขึ้น โดยที่ฟิวส์ลิ่งค์ก็จะเริ่มหลอมละลายเมื่อมีกระแสเกินพิกัดตั้งแต่สองเท่าของฟิวส์ลิ่งค์เป็นต้นไป



ดริออฟเข้าที่ฟิวส์

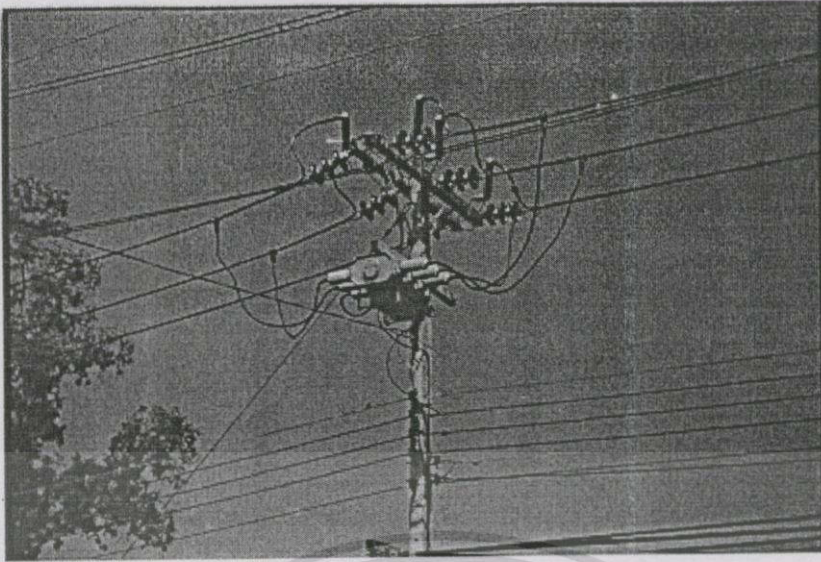
รูปที่ 2.6 การติดตั้งดริออฟเข้าที่ฟิวส์เพื่อป้องกันหม้อแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.6 อุปกรณ์ตัดตอนที่ใช้ในระบบของ กฟภ.

2.6.1 โหลดเบรคสวิทช์

เป็นสวิทช์ที่ออกแบบให้เปิดวงจรได้ในขณะโหลด โดยจะปิดและเปิดวงจรพร้อมกันทีเดียว ทั้งสามเฟส ไม่สามารถตัดกระแสฟอลท์ที่ กฟภ. จัดซื้อมาใช้งานมี 4 ชนิดดังนี้ [3]

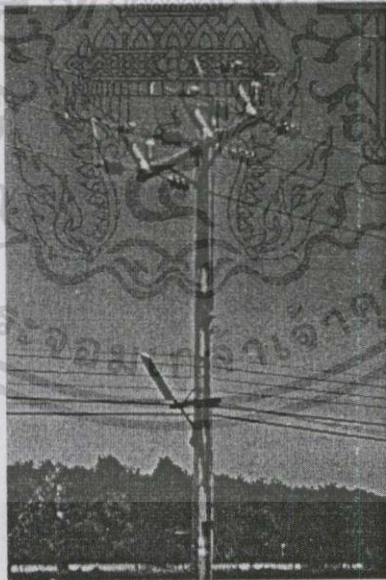
- ออยสวิทช์ (Oil switch) ใช้น้ำมันเป็นตัวดับอาร์ค
- แวกคิวอัมสวิทช์ (Vacuum Switch) ใช้สุญญากาศเป็นตัวดับอาร์ค
- โหลดอินเตอร์รัปเตอร์สวิทช์ (Load interrupter switch) เป็นแบบแอร์เบรคสวิทช์ แต่มีอุปกรณ์ดับอาร์ค (Arc shut) อยู่ในตัวอินเตอร์รัปเตอร์
- โหลดเบรคสวิทช์ SF₆ (Load Break Switch SF₆) ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นตัวดับอาร์ค



รูปที่ 2.7 การติดตั้งโหลดเบรกสวิตช์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.6.2 แอร์เบรกสวิตช์

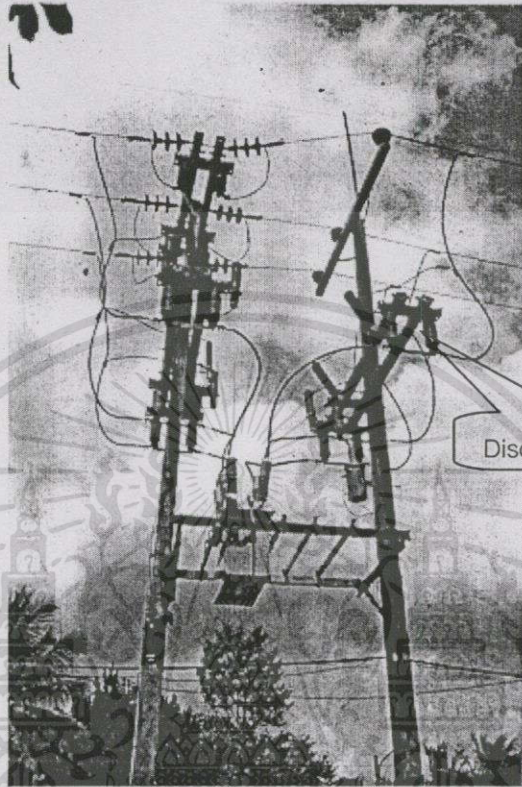
เป็นสวิตช์ที่ออกแบบให้เปิดวงจรได้ขณะไม่มีโหลด หรือมีแต่ Charging current โหลดในไลน์ โดยจะปิดและเปิดวงจรพร้อมกันทีเดียวทั้ง 3 เฟส ดังนั้น แอร์เบรกสวิตช์จึงมีพิกัดตัดกระแสได้ไม่เกิน 10 แอมแปร์



รูปที่ 2.8 การติดตั้งแอร์เบรกสวิตช์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.6.3 ดิสคอนเนคติงสวิตช์

เป็นสวิตช์ใบมีดธรรมดา 1 ขา ปิดและเปิดวงจรที่ละเฟส ไม่สามารถเปิดวงจรขณะมีโหลด จะให้เปิดวงจรได้ต้องใช้ร่วมกับโหลดบัสเตอร์ (Load buster) โหลดบัสเตอร์ เป็นตัวดับอาร์คในขณะเปิดวงจรออก



Disconnector SW.

รูปที่ 2.9 การติดตั้งดิสคอนเนคติงสวิตช์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การวิเคราะห์กระแสลัดวงจรในระบบจำหน่าย

3.1 เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังมีเสถียรภาพมากน้อยเท่าใด ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้น เช่นลัดวงจร ระบบป้องกันสามารถตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบ และระบบที่เหลือสามารถจ่ายไฟต่อไปได้ก็เรียกว่าระบบมีเสถียรภาพ การศึกษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ก็คือการศึกษาความมั่นคงของระบบไฟฟ้านั่นเองว่า เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติมากกระทบตั้งแต่เรื่องการลัดวงจรในระบบ การเพิ่มโหลดอย่างทันทีทันใด การปลดวงจรสายส่งหรือการปลดเครื่องกำเนิดออกจากระบบ ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงในระยะเริ่มแรกตั้งแต่การเปลี่ยนมุมกำลัง (Power Angle) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหลังจากเหตุการณ์ผิดปกตินั้นผ่านไป ค่ามุมกำลังที่แกว่งไป(Oscillate) สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมหรือไม่ การแกว่งของมุมกำลังของเครื่องกำเนิดก็คือการเปลี่ยนแปลงความเร็วของโรเตอร์ และความถี่ของระบบด้วยนั่นเอง ถ้าระบบไม่มีเสถียรภาพ เช่นเมื่อเกิดลัดวงจรและหลังจากนั้นเบรกเกอร์ตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบและในช่วงนั้นถ้าความถี่ของระบบความเร็วของโรเตอร์และมุมกำลังไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้คือ ความเร็วของโรเตอร์ช้าลงจนหยุด หรือความถี่แกว่งต่ำเกินไปหรือสูงเกินไปไม่คงที่ที่ค่าใหม่ ก็เรียกว่าสูญเสียซิงโครนิซึมและระบบสูญเสียเสถียรภาพไม่สามารถจ่ายโหลดของระบบต่อไปได้

ประโยชน์ของการศึกษาเสถียรภาพของระบบก็เพื่อดูขีดจำกัดการทำงานของอุปกรณ์หรือใช้ในการเลือกอุปกรณ์ เช่นเบรกเกอร์ ถ้าเลือกความเร็วการตัดน้อยเกินไป ก็ทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพได้ หลังจากเบรกเกอร์ตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบเป็นต้น ระบบที่ต้องการเสถียรภาพสูงก็ต้องลงทุนในเรื่องของอุปกรณ์มากซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีไป โดยพิจารณาถึงความจำเป็นและความเสียหายที่เกิดขึ้นมาเป็นเกณฑ์ [4]

3.2 การลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่ดีไม่ได้หมายถึงระบบที่มีการผลิตและจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเดียวเมื่อต้องการโหลดต้องมีการเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถป้องกันหรือทนต่อเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เสียหาย การเกิดลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นเรื่องปกติที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้หมดและมีสาเหตุของการเกิดได้หลายประการ เช่น ฟิวส์ลัดวงจร และสายส่งเกิดแฟลชโอเวอร์ที่ฉนวนลูกถ้วย เกิดคลื่นสวิตชิ่งและเกิดอาร์คระหว่างสายกับสายหรือ สายกับเสาส่ง กิ่งไม้พาดสายในระบบจำหน่าย ชาวบ้านยิงลูกถ้วยเล่นเป็นต้น

เมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ป้องกันประเภท เซอร์คิตเบรกเกอร์ หรือฟิวส์ สามารถตัดไฟได้อย่างปลอดภัยโดยอุปกรณ์ไม่เสียหาย กรณีที่เลือกขนาดของอุปกรณ์ผิด เมื่อเกิดลัดวงจรรุนแรงขึ้น อุปกรณ์ป้องกันดังกล่าวอาจเสียหายและไม่สามารถนำมาใช้งานได้อีก ดังนั้น การศึกษาและวิเคราะห์การลัดวงจรไฟฟ้าในระบบก็เพื่อเลือกอุปกรณ์ให้สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้อย่างปลอดภัย

เกิดลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้ามีทั้งการลัดวงจรแบบสมมาตร (Symmetrical fault) หรือที่เรียกว่าการลัดวงจร 3 เฟส และการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical fault) ซึ่งได้แก่การลัดวงจรแบบ สาย - สาย (Line to Line fault) สาย-ดิน (Line to Ground fault) และ สาย - สาย - ดิน (Line to Line to Ground fault) การลัดวงจรแบบสมมาตรไม่ได้รุนแรงกว่าการลัดวงจรแบบไม่สมมาตรเสมอไป ในระบบสายส่งการลัดวงจรแบบไม่สมมาตรอาจรุนแรงกว่าการลัดวงจรแบบสมมาตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอิมพีแดนซ์ในระบบและการต่อขดลวดที่หม้อแปลงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อการวิเคราะห์และการลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป ส่วนในระบบจำหน่ายและระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ การลัดวงจรแบบสมมาตร ให้กระแสลัดวงจรรุนแรงกว่าการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร ก็ยังมีความจำเป็นอยู่เหมือนกันเพราะการพิจารณาเรื่องอาร์คชิ่ง ฟอลท์ (Arcing fault) หรือการป้องกันเพลิงไหม้อันเนื่องมาจากฟอลท์ลงดิน ก็ยังต้องใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจรลงดินเหมือนกัน [4]

3.3 การลัดวงจรแบบสมมาตร

การศึกษาเรื่องการลัดวงจรเป็นสิ่งจำเป็นในการป้องกันอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าแรงสูง การลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าแรงสูงมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่คือ การลัดวงจรแบบสมมาตร และการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร การลัดวงจรแบบสมมาตรเป็นที่รู้จักกันดีคือ การลัดวงจรแบบ 3 เฟส ส่วนการลัดวงจรแบบไม่สมมาตร ได้แก่ การลัดวงจรระหว่าง เฟส-เฟส เฟส-ดิน เฟส-เฟส-ดิน ในที่นี้จะกล่าวถึงความจำเป็นในการศึกษาเรื่องการลัดวงจร สาเหตุของการเกิดลัดวงจรซึ่งรวมทั้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร และจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณหากระแสลัดวงจรแบบสมมาตรทั้งในระบบแรงสูงและระบบจำหน่าย [4]

3.3.1 ประโยชน์ของการศึกษาการลัดวงจร

การลัดวงจรในระบบแรงสูงหรือในระบบจำหน่ายเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ทั้งจากธรรมชาติหรือความผิดพลาดและหรือจงใจของมนุษย์ ทุกครั้งที่เกิดลัดวงจรภายในระบบจะมีกระแสไหลมากผิดปกติ และถ้าไม่มีการป้องกันหรือขจัดจุดที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบให้เร็วที่สุดจะทำให้อุปกรณ์ต่างๆภายในระบบเสียหายได้เนื่องจากกระแสจำนวนสูงที่ไหล

ผ่าน ดังนั้นอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบแรงสูงและแรงต่ำไม่ว่าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงสาย เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน เช่นฟิวส์หรือเบรกเกอร์

การศึกษาการลัดวงจรประกอบด้วยการคำนวณหาขนาดของกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นว่ามีความรุนแรงมากน้อยเพียงใด เพื่อหาขนาดของอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมเช่นฟิวส์หรือเบรกเกอร์ คำว่าอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสมในที่นี้ หมายถึงอุปกรณ์ป้องกันที่ต้องมีความสามารถในการตัดวงจรออกจากระบบและสามารถป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ให้เกิดความเสียหาย โดยยังสามารถนำมาใช้งานได้ดีดังเดิมโดยต้องมีความสามารถในการตัดกระแสลัดวงจรไม่สูงเกินความจำเป็น ซึ่งเปลืองเงินลงทุนประกอบกับอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้สูงๆ มีราคาแพงมากตามความเร็ว ยิ่งตัดได้เร็วยิ่งมีราคาแพงมาก ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ในทรנסะของวิศวกรผู้ออกแบบที่ดีคือ การเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมและประหยัดไม่ใช่เลือกอุปกรณ์แบบเผื่อมากเกินไปหรือเลือกของที่ดีที่สุดหรือแพงที่สุดไว้ก่อนซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ถูกต้องเพราะเกินความจำเป็นไปนั่นเอง

ประโยชน์ของการศึกษาการลัดวงจรพอจะกล่าวสรุปได้ดังนี้คือ คำนวณหากระแสลัดวงจรเพื่อใช้ประกอบในการเลือกอุปกรณ์ป้องกัน เช่นฟิวส์ เบรกเกอร์ รีเลย์ เป็นต้น ให้สามารถป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบได้อย่างสมบูรณ์ และตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบให้ได้โดยมีประสิทธิภาพคือ ตัดส่วนของระบบเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับจุดลัดวงจรออกให้น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องเดือดร้อนในเรื่องดังกล่าว [4]

3.3.2 สาเหตุของการเกิดลัดวงจร

ฟอลท์เป็นปรากฏการณ์ของสภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 2 หัวข้อใหญ่คือ ฟอลท์อนุกรม (Series fault) และฟอลท์ขนาน (Shunt fault) ฟอลท์อนุกรมเป็นสภาวะผิดปกติในเฟส (Phase) ของระบบ เช่นสายส่งขาดหรือไม่สามารถจ่ายไฟได้หนึ่งเฟสหรือ 2 เฟส เป็นต้น ส่วนฟอลท์ขนานเป็นสภาวะผิดปกติที่เกิดระหว่างเฟสหรือระหว่างเฟสกับกราวด์ (Ground) ซึ่งได้แก่การลัดวงจรแบบต่างๆ ฟอลท์แบบขนานมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์มากกว่าฟอลท์อนุกรม เพราะกระแสที่เกิดขึ้นในฟอลท์ขนานมีขนาดสูงมากและทำให้เกิดอุณหภูมิสูงมากในอุปกรณ์ ถ้าไม่รีบกำจัดฟอลท์ออกจากระบบ ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบส่วนใหญ่จึงเน้นหนักไปทางด้านกรลัดวงจรเมื่อพูดถึงเรื่องฟอลท์ แต่ความจริงแล้วควรจะคำนึงถึงฟอลท์ทั้งสองอย่างเพราะฟอลท์อนุกรมก็มีผลทำให้การส่งจ่ายไฟทำได้น้อยลงหรือต้องหยุดชะงัก การศึกษาฟอลท์ขนานก็เพื่อหาขนาดของกระแสลัดวงจรและขนาดของอุปกรณ์ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์และระบบการป้องกัน เช่นระบบรีเลย์ต่างๆ ส่วนการศึกษาฟอลท์อนุกรมนั้นมีประโยชน์เมื่อต้องการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง [4]

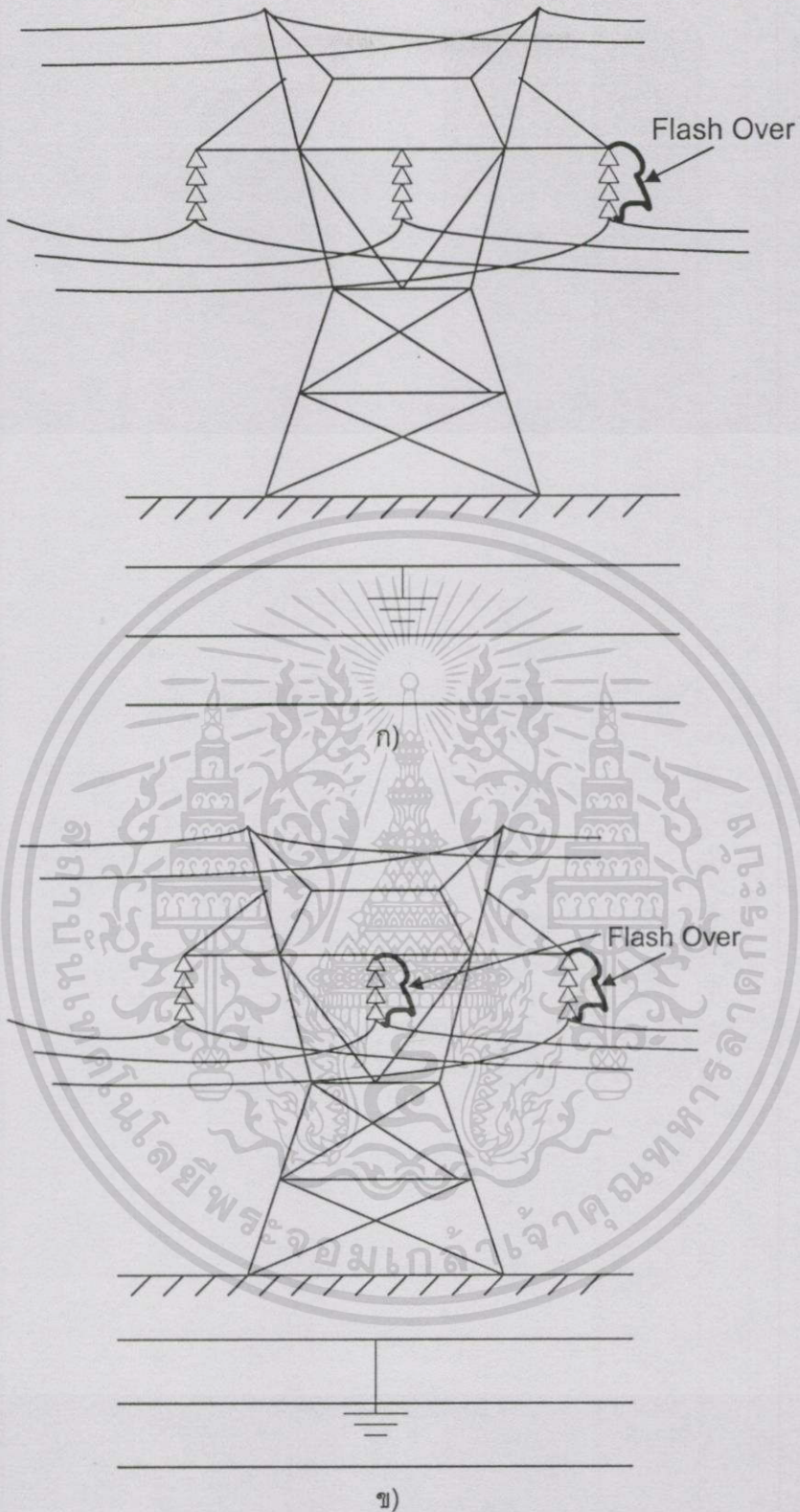
การเกิดฟลลท์ในระบบไฟฟ้ากำลังอาจเกิดขึ้นช่วงไหนของระบบก็ได้แต่ส่วนใหญ่เกิดในสายส่งเหนือดิน (Overhead) ประมาณ 50-70 % นอกนั้นเป็นสายส่งใต้ดิน หม้อแปลง สถานีไฟฟ้าย่อย ฟลลท์ที่เกิดขึ้นเริ่มแรกเกือบทั้งหมดเป็นฟลลท์แบบขนานหรือการลัดวงจร [4]

3.3.2.1 การลัดวงจรในสายส่งเหนือดิน

ส่วนใหญ่เกิดเนื่องมาจากฟ้าผ่า การปิดเปิดวงจรซึ่งทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าเกินอัตรา (Overvoltage) ขึ้นในสายส่ง และถ้าฉนวนลูกถ้วยทนต่อศักดาไฟฟ้าเหล่านี้ไม่ได้เกิดแฟลชโอเวอร์จากสายผ่านฉนวนลูกถ้วยลงดินไปตามเสาส่ง บางท่านอาจสงสัยว่าทำไมไม่ใส่ฉนวนลูกถ้วยมากขึ้นไปอีกเพื่อป้องกันการเกิดแฟลชโอเวอร์ที่เกิดจากศักดาไฟฟ้าเกินอัตราสูงๆ การเพิ่มอัตราลูกถ้วยให้มากขึ้นไปอีกนั้น เป็นการลงทุนมากเกินไปเพราะศักดาไฟฟ้าเกินอัตราสูงมากจะมีจำนวนที่เกิดขึ้นน้อย การออกแบบว่าควรใช้จำนวนลูกถ้วยเท่าใดนั้น ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันก็พยายามที่จะป้องกันการศักดาไฟฟ้าเกินอัตราที่เกิดขึ้นมากกว่า 50% จำนวนที่ใช้ก็เพิ่มจำนวนขึ้นจนถึงที่ว่าค่าลงทุนจำนวนลูกถ้วยที่เพิ่ม และเสาส่งอากาศที่ต้องรับน้ำหนักสูงมากเกินไปจนต้องยอมให้อุปกรณ์ในระบบเสียหายบ้างเวลาเกิดศักดาไฟฟ้าในอัตราสูงมากจริงๆ ดังนั้นในระบบสายส่งที่เป็นอยู่ในปัจจุบันจึงมีการลัดวงจรเกิดขึ้นทุกครั้งที่ม้อตราสูงๆ เกิดขึ้น

การลัดวงจรในสายส่งเหนือดิน ไม่ว่าจะในระบบสายส่งหรือในระบบจำหน่ายก็เกิดขึ้นมากเนื่องจากฉนวนลูกถ้วยสกปรก เพราะฝุ่นผงเกาะมากหรือมีคราบเกลือเกาะอยู่ เช่นในกรณีสายส่งที่เดินใกล้ชายฝั่งทะเล เป็นต้น สาเหตุดังกล่าวทำให้ความทนต่อศักดาไฟฟ้าเกินอัตราของฉนวนลูกถ้วยลดลงมากและเกิดแฟลชโอเวอร์ได้ง่ายขึ้น รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างการเกิดลัดวงจรของสายส่งเหนือดินเนื่องจากเกิดแฟลชโอเวอร์ที่ฉนวนลูกถ้วย

การเกิดลัดวงจรในสายส่งเหนือดินในระบบจำหน่ายมีสาเหตุของการเกิดต่างจากระบบสายส่งแรงสูงเหนือดินบ้าง เพราะในระบบจำหน่ายมีระดับศักดาไฟฟ้าของสายส่งไม่สูงมากนักระดับสายส่งจึงสูงจากพื้นดินไม่มาก ดังนั้นสาเหตุของการลัดวงจรอื่นๆ นอกเหนือจากศักดาไฟฟ้าเกินอัตราแล้ว ก็คือต้นไม้หักพาดถูกสายไฟฟ้าแล้วเกิดลัดวงจรลงดิน ฉนวนลูกถ้วยแตกเนื่องจากลูกปืนชาวบ้าน หรือรถเครนหรือปั้นจั่นไปเกี่ยวเอาสายที่เดินพาดเหนือถนน เป็นต้น



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการเกิดลัดวงจรที่สายส่งเหนือดินเมื่อเกิดแฟลชโอเวอร์ที่ฉนวนลูกถ้วย
 ก) การลัดวงจรระหว่างเฟสกับกราวด์ ข) การลัดวงจรระหว่างเฟสกับเฟสลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 การลัดวงจรในสายส่งใต้ดิน (Underground)

ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากความชื้นที่เข้าไปในสายไฟและทำให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนของเคเบิลเสื่อมลงมากจนเกิดการเบรคดาวน์ของฉนวนและลัดวงจร นอกจากนี้รอยต่อ (Splicing) ของสายเคเบิลก็เป็นจุดที่มีการเกิดการลัดวงจรได้ หากต่อเข้ากันไม่ดีความชื้นอาจเกิดขึ้นภายใน หรืออาจเกิดโคโรน่าและเกิดการกระทบของไอออนที่เกิดจากดีสชาร์จกับฉนวนจนเกิดเบรคดาวน์

3.3.2.3 การเกิดลัดวงจรในสถานีไฟฟ้าย่อย

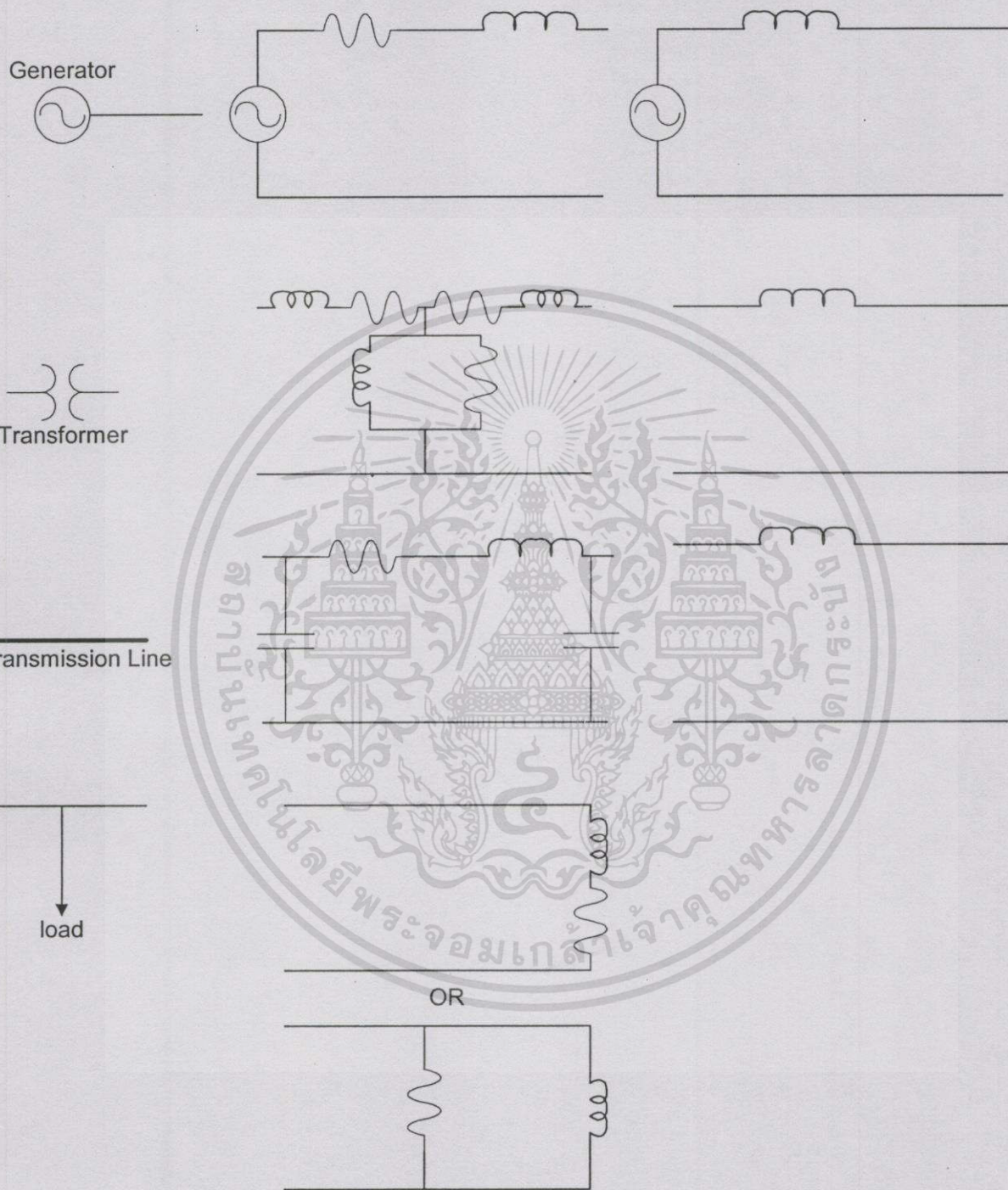
ในระบบหรือในโรงงานเกิดขึ้นเนื่องมาจากหลายสาเหตุ อาจเกิดจากสัตว์ เช่น หนู แมว หรือนกที่เข้าไปในสถานีไฟฟ้าย่อยแล้วไปพาดระหว่างเฟสของระบบไฟฟ้าย่อยแล้วไปพาดระหว่างเฟสของระบบไฟฟ้าหรือระหว่างเฟสกับกราวด์ทำให้เกิดลัดวงจรผ่านตัวสัตว์ได้ สาเหตุอาจเกิดเนื่องมาจากผงฝุ่นเกาะตามฉนวนลูกถ้วย และไม่ได้มีการบำรุงรักษาความสะอาด หรือบางโรงงานอาจมีปล่องระบายความร้อนหรือปล่องควันซึ่งอยู่ใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อยทำให้เกิดฝุ่นผงหรือละอองน้ำเข้าไปในสถานีจับตามผิวลูกถ้วยเกิดแฟลชโอเวอร์และลัดวงจรขึ้น

3.3.3 การจำลองระบบ

การคำนวณกระแสลัดวงจรจำเป็นต้องทราบแบบจำลองของระบบซึ่งประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่ง โหลด เป็นต้นว่าจะมีรูปร่างวงจรสมมุทธ์เป็นอย่างไรบ้าง วงจรสมมุทธ์ของระบบมีอยู่ด้วยกันหลายแบบคือ วงจรสมมุทธ์อิมพีแดนซ์ วงจรสมมุทธ์รีแอกแตนซ์ และวงจรสมมุทธ์ความต้านทาน

วงจรสมมุทธ์อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์แต่ละอย่างได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ข.) ถ้าหากนำวงจรสมมุทธ์นี้ไปใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจรจะยุ่งยากมากเนื่องจากอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีพารามิเตอร์ทั้งความต้านทาน ความเหนี่ยวนำและความจุ โดยทั่วไปอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังมีความต้านทานต่ำเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเหนี่ยวนำหรือความจุ ดังนั้นในการคำนวณเราอาจไม่คิดค่าความต้านทาน โดยเฉพาะความเหนี่ยวนำและความจุ เพราะกระแสลัดวงจรเหนี่ยวนำที่ต้องการคือ ขนาดเท่านั้น และการคำนวณโดยไม่คิดความต้านทานจะทำได้ง่ายมากขึ้น ผลที่ได้จากการคำนวณโดยไม่คิดความต้านทาน ทำให้กระแสลัดวงจรที่คำนวณออกมาได้มีค่าสูงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย แต่เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันมีอัตรา(Rating)ของกระแสลัดวงจรที่ทนได้นั้นค่อนข้างห่างกันมากในแต่ละขั้นตอน ดังนั้นผลการคำนวณดังกล่าวที่ไม่คิดค่าความต้านทานจึงเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าใช้ได้ วงจรสมมุทธ์ของระบบที่ไม่คิดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ค.) และเรียกว่าวงจรสมมุทธ์รีแอกแตนซ์ ส่วนวงจรสมมุทธ์ความต้านทานของระบบใช้ในสมัยก่อนที่ยังไม่มีดิจิตอลคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณโดยการจำลองค่าอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบก็ถูกย่อสเกลลงมาด้วยในแง่ไฟฟ้าเพื่อให้

สามารถวัดค่าได้ด้วยมิเตอร์ธรรมดา การจำลองด้วยระบบแบบนี้ต้องใช้แผงไฟขนาดใหญ่มากทำให้ไม่สะดวกและเสียเวลาในการจำลองมากและในปัจจุบันได้เลิกใช้ไปแล้ว



รูปที่ 3.2 วงจรสมมูลย์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

ก) ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของวงจร ข) วงจรสมมูลย์อิมพีแดนซ์ ค) วงจรสมมูลย์รีแอกแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดของระบบและอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีพารามิเตอร์ขนาน (Shunt parameter) ไม่ต้องนำมาคิด เพราะขณะคิดการลัดวงจรภายในระบบ กระแสจะไหลผ่านจุดลัดวงจรเสียส่วนใหญ่โดยมีกระแสย่อยมากที่ไหลผ่านโหลดและพารามิเตอร์ขนาน ดังนั้นวงจรสมมูลย์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้คำนวณกระแสลัดวงจรจึงอยู่ในรูปง่าย ๆ ที่ประกอบด้วยรีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดหม้อแปลงและสายส่งเท่านั้น

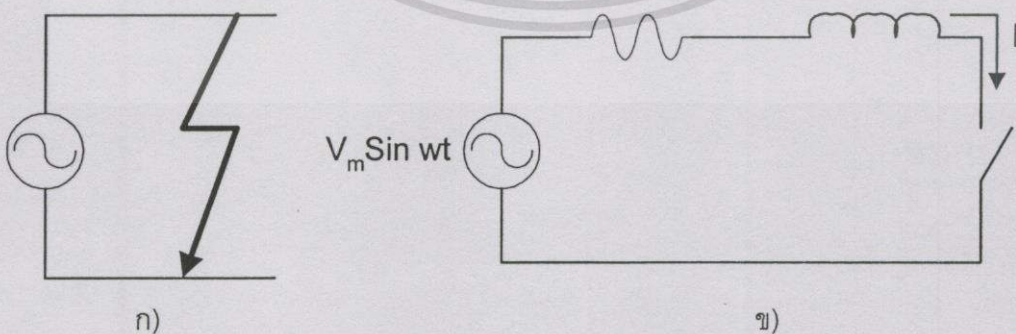
การคำนวณกระแสลัดวงจรจากวงจรสมมูลย์ของระบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถทำได้ง่ายขึ้นในกรณีที่สมารถตัดความต้านทานของอุปกรณ์ต่างๆออก รวมทั้งพารามิเตอร์ขนานออก แต่ในการคำนวณด้วยดิจิทัลคอมพิวเตอร์นั้นใช้เวลาสั้นมากๆ ดังนั้นถ้าต้องการผลการคำนวณที่ละเอียดอ่อนก็สามารถที่จะคิดวงจรสมมูลย์ิมพีแดนซ์ของระบบไฟฟ้ากำลังคือไม่ตัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ไม่ตัดโหลด และพารามิเตอร์ขนานของระบบออก

3.3.4 กระแสลัดวงจร

กระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลานับตั้งแต่เริ่มเกิดลัดวงจรจนกระทั่งกระแสลัดวงจรเข้าสู่ค่าคงที่ (steady state value) การเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรเนื่องจากแพคเตอร์สองประการคือ เนื่องจากพารามิเตอร์ R,L,C ของระบบ และประการที่สองเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ในเครื่องจักร (ไม่ว่าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือมอเตอร์) แบบซิงโครนัส (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังแบบซิงโครนัส) หลังจากที่เกิดลัดวงจรเกิดขึ้น

3.3.4.1 การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรตามเวลาเนื่องจาก R,L,C

นับตั้งแต่เริ่มเกิดลัดวงจร 3 ϕ โดยพิจารณาวงจรง่าย ๆ ในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเกิดลัดวงจรที่ขั้วของเครื่องกำเนิดและสมมติแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดมีค่าคงที่ $V_m \sin \omega t$



รูปที่ 3.3 การเกิดลัดวงจรที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก) ไดอะแกรมเส้นเดียว ข) วงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กระแสลัดวงจร i ในรูปที่ 3.3 ข) สามารถหาได้จากสมการ

$$V_m \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (3.1)$$

α - มุมของสัญญาณคิกดาไฟฟ้าขณะเกิดลัดวงจร

และสมการ (3.1) สามารถหาค่า i ได้เป็น

$$i = \frac{V_m}{|Z|} \sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-Rt/L} \sin(\alpha - \theta) \quad (3.2)$$

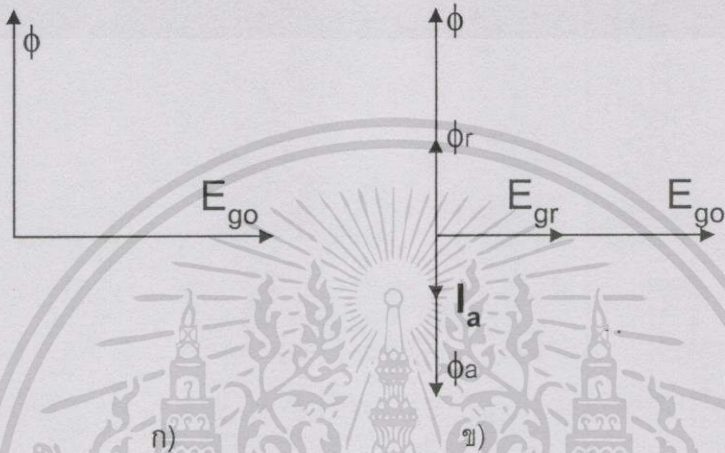
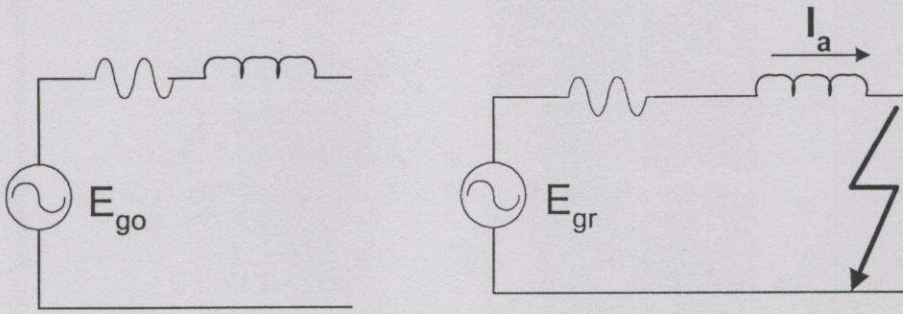
$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$$

สมการที่ (3.2) ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกคือค่าคงที่สัญญาณไซน์ และส่วนที่สองคือค่าที่ลดลงตามเวลา หรือพูดง่าย ๆ ก็คือสัญญาณกระแสลัดวงจรประกอบด้วยกระแสลัดวงจรสลับและกระแสลัดวงจรตรง (ac. & dc. Components) กระแสลัดวงจรเริ่มแรกมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกระแสตรงที่เกิดขึ้น และกระแสตรงที่เกิดขึ้นมีค่ามากน้อยเท่าใด พิจารณาได้จากสมการที่ (3.2) คือ ถ้า $\alpha - \theta$ มีค่าเป็น 0 กระแสตรงก็ไม่เกิด ดังนั้นกระแสลัดวงจรก็มีเฉพาะกระแสสลับอย่างเดียว แต่ถ้า $(\alpha - \theta) = \pi/2$ กระแสตรงที่เกิดขึ้นก็มีค่าสูงสุด ในระบบ $1\phi(\alpha - \theta)$ มีโอกาสเป็นศูนย์แต่ในระบบ $3\phi(\alpha - \theta)$ ของทุกเฟสไม่มีโอกาสเป็นศูนย์หมดทั้งสามเฟส ดังนั้นในระบบ 3ϕ กระแสตรงเกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น .

กระแสลัดวงจรที่พิจารณาอยู่นี้เราได้สมมติให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าคงที่เท่ากับ $|V_m|$ แต่ในความจริง $|V_m|$ มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย

3.3.4.2 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์

ในการพิจารณากระแสลัดวงจรเนื่องจาก R,L,C ของระบบที่ผ่านมาเราได้สมมติแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าคงที่แต่ความเป็นจริงแล้วมันมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหลังจากเกิดลัดวงจร ในที่นี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร และกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นทั้งหมดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเนื่องจากพารามิเตอร์ R,L,C ของระบบมีค่าเป็นอย่างไร พิจารณารูปที่ 3.4 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนและหลังจากเกิดลัดวงจรพร้อมเวกเตอร์ไดอะแกรม



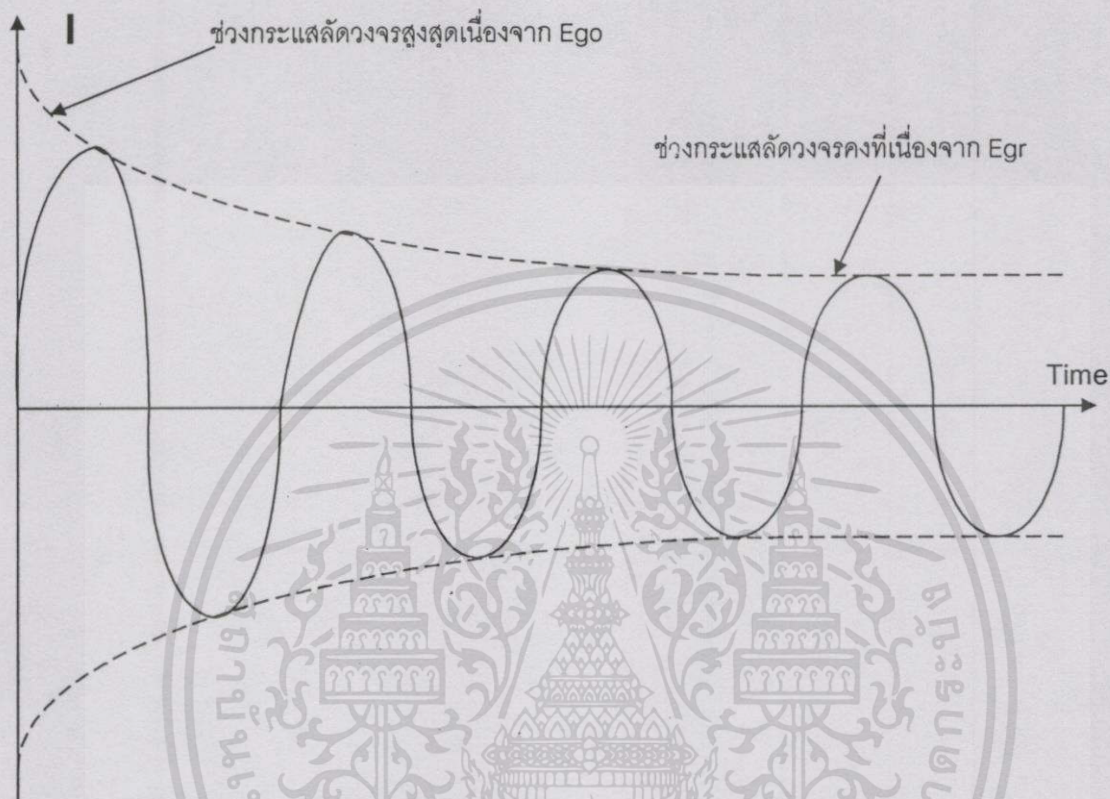
- ก) ϕ - ฟลักซ์ที่สร้างจากสนามไฟฟ้ากระแสตรง (dc. Field excitation) และสร้าง E_{go}
- ข) ϕ_a - ฟลักซ์อาเมเจอร์รีแอกชั่นเนื่องจาก I_a
- ค) ϕ_r - ฟลักซ์ลัพท์ที่ไปสร้างศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_{gr} : $\phi_r = \phi - \phi_a$

รูปที่ 3.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนและหลังเกิดลัดวงจร

ก) ก่อนเกิดลัดวงจร ข) หลังเกิดลัดวงจร

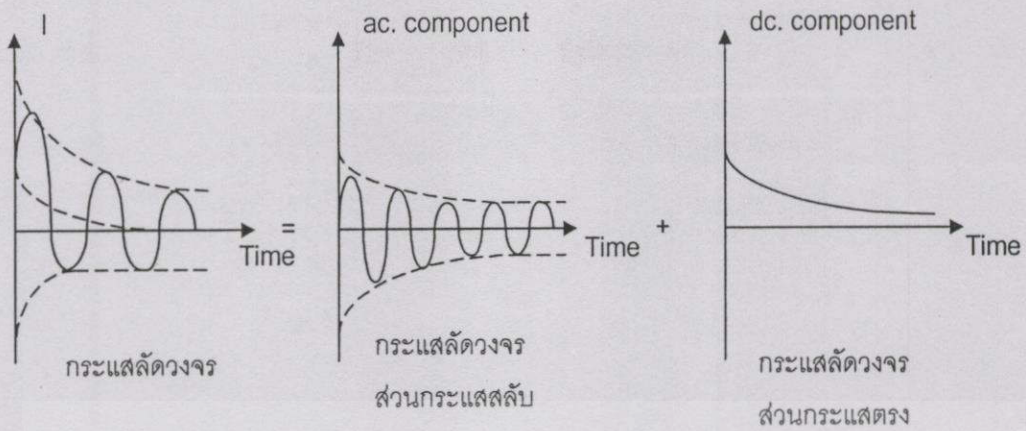
พิจารณารูปที่ 3.4 ก) ซึ่งแสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนเกิดลัดวงจร ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น E_{go} เกิดเนื่องจากฟลักซ์จากสนามไฟฟ้ากระแสตรงที่โรเตอร์และเมื่อเกิดลัดวงจรตามในรูปที่ 3.4 ข) มีกระแสลัดวงจร I_a ไหลผ่านทำให้สร้างฟลักซ์ ϕ_a สวนทางกับ ϕ (กระแส I_a ต่างเฟสจาก E_{go} ประมาณ 90° เนื่องจากอิมพีแดนซ์ในวงจรส่วนใหญ่คือค่ารีแอกแตนซ์เพราะค่าความต้านทานมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับรีแอกแตนซ์) ทำให้เกิดฟลักซ์ ϕ_r ขึ้น และฟลักซ์ ϕ_r นี้ ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_{gr} ขึ้น สรุปได้ว่าศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำก่อนเกิดลัดวงจรมีค่า E_{go} และหลังจากเกิดลัดวงจรจะเปลี่ยนไปเป็น E_{gr} แต่เนื่องจากฟลักซ์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดได้ตามทฤษฎีฟลักซ์คงที่ (ϕ ที่ t_- ใดๆ เท่ากับ ϕ ที่ t_+ เสมอ) ดังนั้นเมื่อเริ่มเกิดลัดวงจรขึ้น ฟลักซ์ยังคงมีค่าเป็น ϕ และเมื่อเวลาผ่านไป ฟลักซ์ ϕ จะค่อยๆ ลดลงและเปลี่ยนไปเป็น ϕ_r นั่นคือ ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำหลังจากเกิดลัดวงจรจะมีค่าเป็น E_{go} และค่อยๆ มีค่าลดลงเปลี่ยนเป็น E_{gr} ดังนั้นกระแส

ลัดวงจรที่เกิดขึ้นจึงมีค่าสูงเนื่องจาก E_{go} และค่อยๆ ลดลงจนเป็นกระแสลัดวงจรที่คงที่เนื่องจาก E_{gr} ดังแสดงในรูป 3.5 จากเหตุผลข้างต้น กล่าวสรุปได้ว่ากระแสลัดวงจรมีค่าสูงมากและค่อยๆ ลดลงนั้นมีสาเหตุเนื่องมาจากอาเมเจอร์รีแอคชั่น เกิดขึ้นและฟลักซ์ในแกนเหล็กไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ทำให้ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงตามเวลา



รูปที่ 3.5 กระแสลัดวงจรตามเวลา

รูปที่ 3.5 แสดงกระแสลัดวงจรตามเวลาซึ่งเป็นส่วนของกระแสลัดเท่านั้น แต่ถ้าพิจารณาถึงตอนลัดวงจรว่าเกิดช่วงใดของสัญญาณศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ ก็ต้องคำนึงถึงกระแสตรง (dc.component) เกิดขึ้นด้วย ดังนั้น กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริงต้องประกอบด้วยกระแสตรงและกระแสสลับดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระแสลัดวงจรในระบบที่คิดทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ

3.3.5 การคำนวณกระแสลัดวงจรในทางปฏิบัติ

ในทางปฏิบัติเราจะคำนวณกระแสลัดวงจรจากวงจรสมมูลย์จะทำได้อย่างไรเพราะกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนั้นมีทั้งกระแสลัดวงจรส่วนกระแสตรงและกระแสลัดวงจรส่วนกระแสสลับก็ไม่ใช้สัญญาณไซน์ และในส่วนของกระแสลัดวงจรส่วนกระแสตรงมีค่าไม่แน่นอนด้วยขึ้นอยู่กับจังหวะการเกิดลัดวงจรว่าจะเกิดในช่วงสัญญาณใดของแหล่งจ่ายไฟ และกระแสลัดวงจรส่วนกระแสตรงนี้มีค่าลดลงจนเป็นศูนย์เมื่อนานๆไป วิธีการพิจารณาคำนวณกระแสลัดวงจรในทางปฏิบัติจึงทำดังนี้

ก. ในส่วนของกระแสลัดวงจรกระแสตรงให้ใช้แฟกเตอร์คูณแทนที่จะหาค่ากระแสตรงที่แท้จริงซึ่งอาจจะเป็น 1.6, 1.4 หรืออื่นๆก็แล้วแต่ระบบ

ข. ในส่วนของกระแสลัดวงจรกระแสสลับนั้นค่ากระแสเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแต่ช่วงที่สำคัญและนำมาใช้ในทางปฏิบัติจริงๆนั้นมีอยู่ 3 ช่วงเท่านั้นคือ

1) ช่วงเกิดลัดวงจรเริ่มแรก(อุปกรณ์ป้องกัน เช่นเบรกเกอร์ หรือฟิวส์ ยังไม่เปิดวงจรออก) กระแสลัดวงจรจะมีค่าสูงมากและอุปกรณ์ป้องกันสามารถทนได้ในช่วงเริ่มแรกนี้หรือไม่

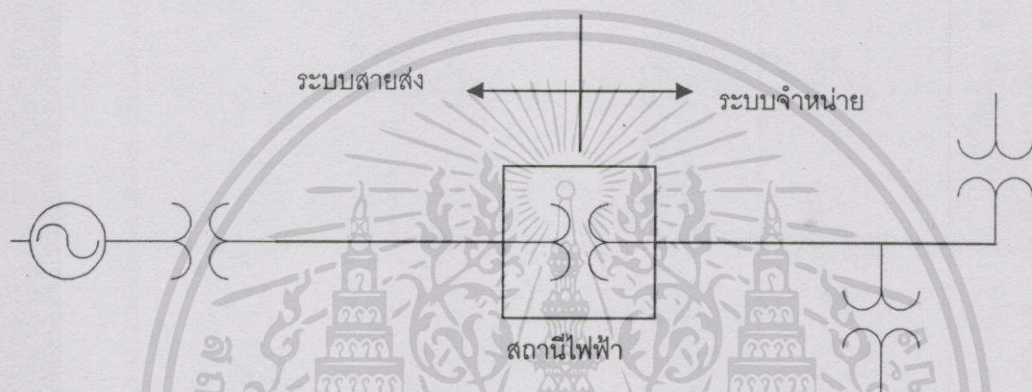
2) ช่วงอุปกรณ์ป้องกันเปิดวงจรออก ซึ่งช่วงนี้จะเกิดอาร์คที่หน้าสัมผัสของอุปกรณ์ กระแสลัดวงจรในช่วงนี้มีค่าน้อยกว่าตอนเกิดเริ่มแรกและอุปกรณ์ป้องกันสามารถตัดกระแสลัดวงจรในช่วงนี้ได้หรือไม่

3) ช่วงเกิดลัดวงจรคงที่ ถ้าอุปกรณ์ป้องกันไม่เปิดวงจร ซึ่งก็ต้องพิจารณาถึงกระแสดังกล่าวเพื่อดูว่าก่อความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบอย่างไร ถ้ามีกระแสลัดวงจรคงที่ขนาดดังกล่าวไหลผ่านตลอดเวลา

ดังนั้นแทนที่จะต้องหาค่ากระแสลัดวงจรของกระแสลัดตามเวลาที่เป็นเรื่องยุ่งยากพอสมควรก็เหลือเพียงการหาค่ากระแสลัดวงจรใน 3 ช่วงดังกล่าวเท่านั้น ที่จะนำค่ากระแสที่คำนวณได้มาใช้ในการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อไป

3.3.6 การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่าย

การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายก็เหมือนกับคำนวณในระบบไฟฟ้ากำลังหรือสายส่งแรงสูง อาจแตกต่างกันบ้างในเรื่องของข้อกำหนดตอนเริ่มแรกเท่านั้น เพราะในระบบจำหน่ายเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำลงมาจากการแปลงไฟของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้างั้นแสดงในรูปที่ 3.7



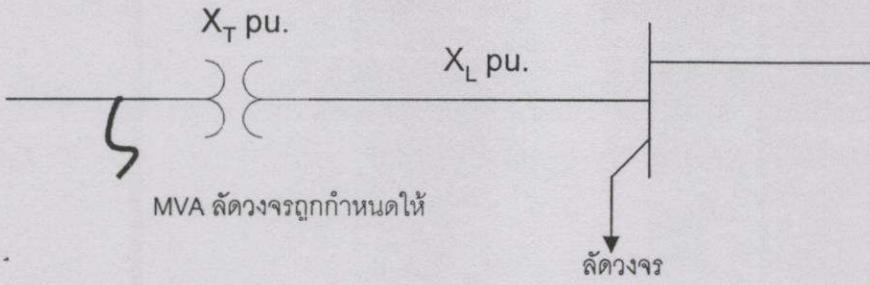
รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมของระบบสายส่งต่อกับระบบจำหน่าย

ซึ่งการคำนวณกระแสลัดวงจรจะเริ่มตั้งแต่หม้อแปลงที่สถานีโดยที่ต้นทางหม้อแปลงจนถึงเขื่อนหรือโรงจักรไม่จำเป็นต้องทราบว่าเป็นอย่างไร เพียงแต่ต้องทราบค่ากระแสลัดวงจรหน้าหม้อแปลงที่จุด A หรือกระแสลัดวงจรที่จุด B ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายได้แล้ว

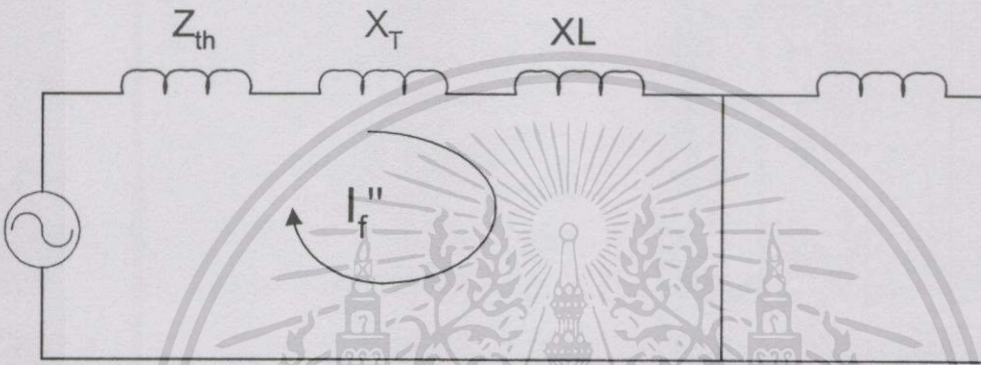
โดยทั่วไปกระแสลัดวงจรหน้าหม้อแปลงที่ A หรือ B จะกำหนดมาให้จากการไฟฟ้าที่รับผิดชอบทางด้านกรำเนิดและส่งไฟฟ้าและมักบอกมาเป็นค่ากระแสลัดวงจร KA หรือบอกมาในรูปแบบ MVA (ลัดวงจร) ถ้าหากบอกมาในรูปแบบ MVA ลัดวงจร เราสามารถคำนวณกระแสลัดวงจรที่ A หรือ B ได้โดยคิดเป็นระบบ 3 เฟส ตามต้องการ

$$MVA(\text{ลัดวงจร}) = \sqrt{3} \times KV(\text{line}) \times I_{sc}(KA) \quad (3.3)$$

พิจารณาระบบจำหน่ายในรูปที่ 3.8 ก.) และวงจรสมมูลรีแอกซ์ันไดอะแกรมเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ข) ระบบจำหน่ายดังกล่าวสมมติว่ามีแหล่งกำเนิดจ่ายมาจากทางด้านซ้ายผ่านหม้อแปลงมาทางเดียวกัน ดังนั้นรีแอกซ์ันทางด้านขวามือของจุดลัดวงจรเป็นต้นไปไม่ต้องนำมาคิด กรณีทราบค่า MVA ลัดวงจรและรีแอกซ์ันของอุปกรณ์ในระบบทั้งหมดก็สามารถคำนวณกระแสลัดวงจรได้ดังนี้



n)



ข)

รูปที่ 3.8 ระบบจำหน่ายและการคิดกระแสลัดวงจร

ก) ไดอะแกรมเส้นเดียวระบบจำหน่าย ข) รีแอกแตนซ์ไดอะแกรม

$$\begin{aligned}
 Z_{th} &= \frac{V_{phase}}{I_{fault}} \times \frac{1}{Z_{BASE}} \quad pu. \\
 &= \frac{V_{phase}}{I_{fault}} \times \frac{MVA_{BASE}}{(KV)^2} \quad pu. \\
 &= \frac{KV}{\sqrt{3} \times KA_{(fault)}} \times \frac{MVA_{BASE}}{(KV)^2} \quad pu. \\
 &= \frac{MVA_{BASE}}{MVA_{fault}} \quad pu. \tag{3.4}
 \end{aligned}$$

$$I_f'' = \frac{1.0}{Z_{th} + X_T + X_L} \quad pu. \tag{3.5}$$

$$= \frac{1.0}{\frac{MVA_{BASE}}{MVA_{fault}} + X_T + X_L} \quad pu. \tag{3.6}$$

สมการ I_f'' ที่ (3.6) ต้องแน่ใจว่า X_T และ X_L เป็นค่ารีแอกแตนซ์เปอร์ยูนิตที่แปลงเข้าหาฐานของระบบเรียบร้อยแล้ว ในทางปฏิบัติการคำนวณหา I_f'' ต้องพิจารณาถึงขนาดเพราะค่า MVA_{fault} นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าเปลี่ยนไปทุกครั้งที่มีการปลดหรือเพิ่มเครื่องกำเนิดปลดหรือเพิ่มสายส่ง ดังนั้นถ้าหากยึด MVA_{fault} ในสภาพระบบปัจจุบันเพื่อหา I_f พอมีการเพิ่มเครื่องกำเนิดหรือสายส่งค่า MVA_{fault} จะสูงขึ้นทำให้ I_f ในอนาคตมีค่าสูงขึ้นและอุปกรณ์ป้องกันที่ใส่ไว้เดิมก็ไม่ถูกต้อง

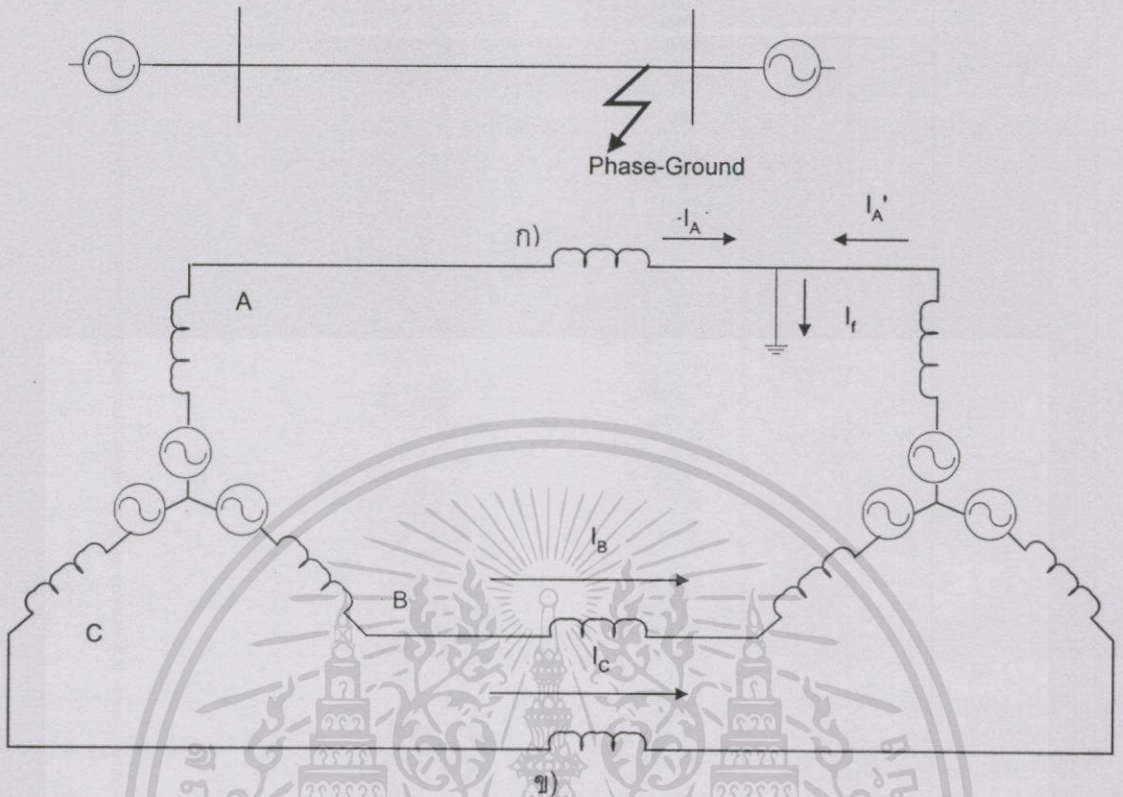
3.4 การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร

การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร หมายถึงการลัดวงจรในระบบแล้วกระแสในสามเฟสมีขนาดไม่เท่ากัน/หรือมุมของกระแสไม่ห่างกัน 120 องศา กล่าวง่าย ๆ คือ การลัดวงจรแบบไม่สมมาตร หมายถึงการลัดวงจรที่ไม่ใช่การลัดวงจรแบบสามเฟสนั่นเอง โดยทั่วไปการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่มักเป็นแบบไม่สมมาตรเพราะโอกาสที่จะเกิดลัดวงจรแบบสามเฟสพร้อมกันมีน้อย ขนาดของกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสไม่ได้รุนแรงที่สุดเสมอ บางระบบอาจให้กระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรรุนแรงกว่าระบบสามเฟสได้

การลัดวงจรแบบไม่สมมาตรทำให้เกิดการลัดวงจรในแต่ละเฟสมีขนาดไม่เท่ากันหรือมุมอาจไม่เท่ากัน ดังนั้นการคำนวณกระแสลัดวงจรจึงไม่สามารถคำนวณจากวงจรสมมูลหนึ่งเฟส (Single phase equivalent circuit) ได้ จึงต้องใช้วิธีการขององค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical component) มาช่วยแปลงระบบลัดวงจรไม่สมมาตรดังกล่าวให้เป็นระบบลัดวงจรสมมาตรจึงสามารถคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้ง่าย ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการขององค์ประกอบสมมาตรจึงสามารถคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้ง่าย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการขององค์ประกอบสมมาตร ลำดับเน็ตเวิร์ค (Network sequence) ที่ได้จากการแปลงของวิธีการขององค์ประกอบสมมาตร [4]

3.4.1 หลักการขององค์ประกอบสมมาตรในการแก้ปัญหาลัดวงจรแบบไม่สมมาตร

ก่อนพิจารณาหลักการขององค์ประกอบสมมาตร เรามาพิจารณาถึงความยากลำบากในการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรก่อนพิจารณาระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 3.9 ก) กรณีที่เกิดลัดวงจรจากเฟสลงดินที่เฟส A วงจรรูปที่ 3.9 ก) แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 ข) การหาขนาดกระแสลัดวงจร I_f และกระแสลัดวงจร I_A, I_B, I_C ดังในรูปไม่ใช่เรื่องง่าย การแก้ปัญหาที่ทำได้คือ ใช้กฎกระแสและศักดาไฟฟ้าของเคอร์ชอฟ (KIRCHOFF current's law & voltage's law) และถ้าระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่ การแก้ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นเรื่องที่ยากลำบากมาก สาเหตุสำคัญที่ทำให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ยากก็คือ ไม่สามารถแทนระบบด้วยวงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้ ดังนั้นวิธีองค์ประกอบสมมาตรที่มีประโยชน์มากและทำให้การคำนวณกระแสลัดวงจรสามารถทำได้ง่ายก็คือ สามารถแปลงระบบไฟฟ้าเดิมให้เป็นระบบไฟฟ้าใหม่สามรูปแบบเรียกว่าเน็ตเวิร์ค]ลำดับบวก



รูปที่ 3.9 ระบบไฟฟ้าลัดวงจรเฟส-ดิน

ก) ไดอะแกรมเส้นเดียว ข) วงจรสมมูล

เน็ตเวิร์กลำดับบวกและเน็ตเวิร์กลำดับศูนย์ (Positive, Negative and Zero Sequence Networks) ซึ่งแต่ละแบบสามารถเขียนวงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้ การลัดวงจรแบบไม่สมมาตรต่างๆ เช่นการลัดวงจรเฟส-ดิน เฟส-เฟสและเฟส-เฟส-ดิน จะมีการต่อของเน็ตเวิร์กสามแบบต่างกัน เมื่อดำเนินการวิเคราะห์ลัดวงจรใน เน็ตเวิร์กลำดับบวก ลบ และศูนย์ได้แล้วก็แปลงโดยวิธีการขององค์ประกอบสมมาตรกลับมาเป็นระบบไฟฟ้าเต็มเฟส A,B,C ก็จะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ พิจารณาหลักการขององค์ประกอบสมมาตรที่ใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจรของระบบรูปที่ 3.10 ซึ่งแต่ละบล็อกในรูปอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

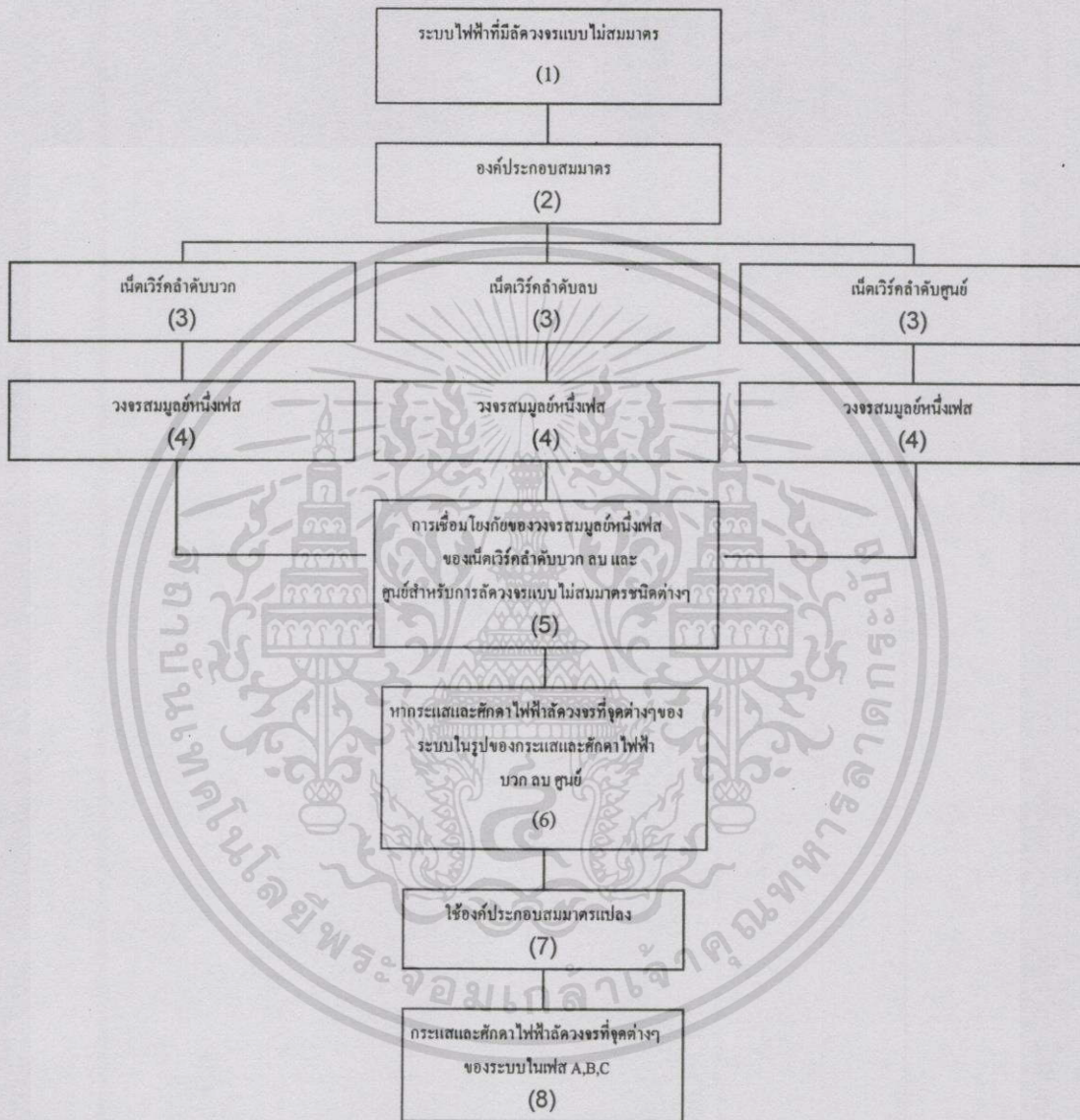
บล็อก 1 ระบบไฟฟ้าไดอะแกรมเส้นเดียวแสดงจุดเกิดเหตุแบบไม่สมมาตร

บล็อก 2 แสดงบล็อกขององค์ประกอบสมมาตรที่จะแปลงระบบไฟฟ้าเต็มออกมาเป็นระบบไฟฟ้าใหม่ 3 ระบบ คือเน็ตเวิร์กลำดับบวก ลบ และศูนย์

บล็อก 3 เน็ตเวิร์กลำดับบวก ลบ และศูนย์ เหล่านี้ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบเต็มแต่อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เน็ตเวิร์กลำดับบวกได้แก่อิมพีแดนซ์ลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บวก(Positive Sequence Impedance) ส่วนอิมพีแดนซ์ที่ใช้ในเน็ตเวิร์คลำดับลบก็ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ลำดับลบของอุปกรณ์ต่างๆ(Negative Sequence Impedance)และเน็ตเวิร์คลำดับศูนย์ก็ประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ลำดับศูนย์(zero sequence impedance) มาต่อกันเป็นเน็ตเวิร์คลำดับ จะเห็นว่าอุปกรณ์แต่ละชนิดก็มีอิมพีแดนซ์ลำดับบวก ลบและศูนย์ ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง



รูปที่ 3.10 หลักการขององค์ประกอบสมมาตรในการคำนวณกระแสลัดวงจร

บล็อก 4 เน็ตเวิร์คลำดับในบล็อก 3 นี้ทั้งเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์ ต่างก็เป็นเน็ตเวิร์คลำดับที่มีกระแสและศักดาไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีขนาดเท่ากัน และมุมห่างเท่ากัน ดังนั้นจึงสามารถเขียนวงจรสมมูลหนึ่งเฟสได้ดังในบล็อก 4

บล็อก 5 การเกิดลัดวงจรแบบไม่สมมาตรแต่ละชนิดเช่น การลัดวงจรเฟส-ดิน ก็มีการเชื่อมโยงกันของเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์อย่างหนึ่ง การลัดวงจรเฟส-เฟส ก็มีการเชื่อมโยงกัน

ของเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์อีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นเมื่อต้องการหากระแสและความศักดากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของการลัดวงจรแบบใดก็นำเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์ มาเชื่อมโยงกันเพื่อทดแทนการเกิดลัดวงจรแบบนั้นๆ

บล็อก 6 เมื่อได้รูปการเชื่อมโยงของเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์ เพื่อแทนการเกิดการลัดวงจรแบบที่ต้องการพิจารณาแล้วคำนวณหากระแสและศักดาไฟฟ้าลัดวงจรในเน็ตเวิร์คลำดับทั้งสามนั้น

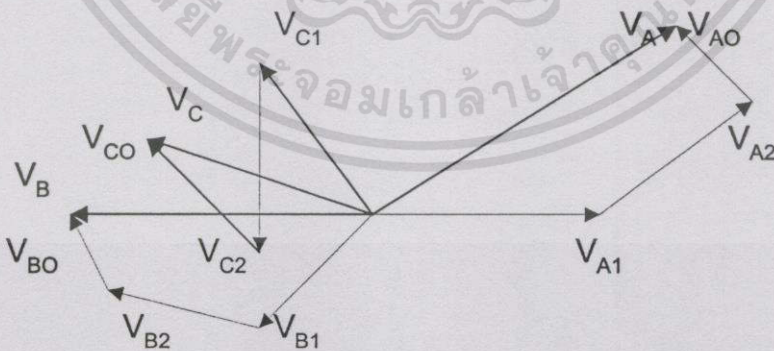
บล็อก 7 ใช้องค์ประกอบสมมาตรแปลงกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าลัดวงจรที่หาได้ในบล็อก 6 ของเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์ ให้เป็นกระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าลัดวงจรกลับไปเป็นระบบไฟฟ้าเดิม A,B,C

บล็อก 8 ผลลัพธ์กระแสไฟฟ้าและศักดาไฟฟ้าลัดวงจรที่ได้ออกมาจากบล็อกที่ 7

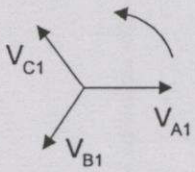
3.4.2 องค์ประกอบสมมาตร

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เกี่ยวกับหลักการขององค์ประกอบสมมาตรในการแก้ปัญหาลัดวงจรแบบไม่สมมาตรว่า วิธีการขององค์ประกอบสมมาตรมีไว้เพื่อใช้แปลงระบบเดิมที่มีกระแสหรือศักดาไฟฟ้าไม่สมดุลย์ (Unbalance) ให้เป็นระบบเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์ที่มีกระแสหรือศักดาไฟฟ้าสมดุลย์ (Balance) หรืออาจแปลงในทางกลับกันคือ เมื่อดำเนินการกระแสหรือศักดาไฟฟ้าลัดวงจรได้ในเน็ตเวิร์คลำดับบวก ลบ และศูนย์ แล้วแปลงกลับไปเป็นกระแสและศักดาไฟฟ้าลัดวงจรของระบบเดิมได้ [1]

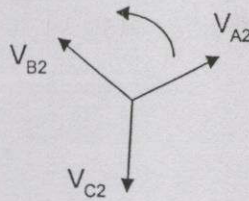
พิจารณาเวกเตอร์ไดอะแกรมของศักดาไฟฟ้าที่ไม่สมดุลย์ V_A, V_B, V_C ซึ่งเกิดจากบวกันโดยเวกเตอร์ขององค์ประกอบลำดับศักดาไฟฟ้าบวก ลบ และศูนย์ ในรูปที่ 3.11 โดยความสัมพันธ์



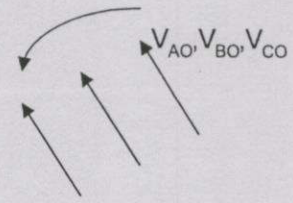
ก)



วงจรประกอบลำดับบวก



วงจรประกอบลำดับลบ



วงจรประกอบลำดับศูนย์

รูปที่ 3.11 วงจรต่อรูปดาวและวงจรต่อรูปสามเหลี่ยมประกอบขึ้นจากวงจรประกอบลำดับตัดดาไฟฟ้าบวก ลบ และศูนย์ของตัดดาไฟฟ้าภายในวงจรประกอบลำดับบวก ลบ และศูนย์ เป็นไปตามสมการ

$$V_{A1} = aV_{B1} = a^2V_{C1} \quad (3.7)$$

$$V_{A2} = a^2V_{B2} = aV_{C2} \quad (3.8)$$

$$V_{A0} = V_{B0} = V_{C0} \quad (3.9)$$

$$a = 1\angle 120^\circ, a^2 = 1\angle 240^\circ, a^3 = 1, a^4 = a, a^5 = a^2 \quad (3.10)$$

$$1 + a + a^2 = 0$$

ความสัมพันธ์ของตัดดาไฟฟ้าระบบเดิมและระบบของลำดับบวก ลบ ศูนย์ เป็นดังนี้

$$V_A = V_{A0} + V_{A1} + V_{A2} \quad (3.11)$$

$$V_B = V_{B0} + V_{B1} + V_{B2} \quad (3.12)$$

$$V_C = V_{C0} + V_{C1} + V_{C2} \quad (3.13)$$

ในสมการที่ 3.11-3.13 ทางขวามือมีตัวแปรทั้งหมด 9 ตัว ใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ 3.7-3.10 เปลี่ยนตัวแปรทั้งหมด 9 ตัว ให้อยู่ในรูปของ V_{A0}, V_{A1}, V_{A2} จะได้

$$V_A = V_{A0} + V_{A1} + V_{A2} \quad (3.14)$$

$$V_B = V_{A0} + a^2V_{A1} + aV_{A2} \quad (3.15)$$

$$V_C = V_{A0} + aV_{A1} + a^2V_{A2} \quad (3.16)$$

หรือเขียนในรูปแมทริกได้เป็น

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{A1} \\ V_{A2} \end{bmatrix} \quad \text{หรือ } V_{ABC} = AV_{012} \quad (3.17)$$

หรือเขียนเป็นรูปแมทริกได้เป็นอินเวอร์ท(Invert)สมการที่(3.17)ได้

$$\begin{bmatrix} V_{A0} \\ V_{B1} \\ V_{C2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

จากสมการที่ (3.18) กรณีที่ทราบค่าของ V_A, V_B, V_C สามารถหาค่า V_{A0}, V_{A1}, V_{A2} ได้ และทุกครั้งทีทราบค่า V_{A0} ก็ทราบ V_{B0} และ V_{C0} ตามความสัมพันธ์สมการที่(3.9) เมื่อทราบค่า V_{A1} ก็

สามารถทราบ V_{B1}, V_{C1} เช่นกันตามสมการที่(3.7) ในทำนองเดียวกันเมื่อทราบ V_{A2} ก็ทราบค่า V_{B2} และ V_{C2} ตามสมการที่(3.8)

ย้อนกลับไปพิจารณารูปที่ 3.10 ก) อีกครั้ง เมื่อกำหนด V_A, V_B, V_C ซึ่งเป็นศักดาไฟฟ้าแบบไม่สมดุลงค์เราสามารถหาองค์ประกอบลำดับบวก ลบ และศูนย์ ได้ด้วยสมการที่ 3.18 สังเกตว่า องค์ประกอบลำดับบวกมีเฟสเรียงกันแบบ ABC มีขนาดเท่ากันและมุมห่างกัน 120° จึงเรียกว่า องค์ประกอบลำดับบวก (Positive sequence component) องค์ประกอบลำดับลบมีเฟสเรียงกันแบบ ACB มุมห่างกัน 120° หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือมีเฟสเรียงกันแบบมุม ABC ห่างกัน 120° ซึ่งเรียงเฟสกลับกันหนือตรงกันข้ามกันกับองค์ประกอบลำดับบวกจึงมีชื่อเรียกว่า องค์ประกอบลำดับลบ (Negative sequence component) ส่วนองค์ประกอบลำดับศูนย์มีชื่อเรียกเช่นนี้ก็เนื่องจากเวกเตอร์ V_{A0}, V_{B0}, V_{C0} มีมุมต่างกันเป็นศูนย์องศาเท่านั้นเอง

ความสัมพันธ์ของกระแสในระบบเดิมเฟส ABC ที่ไม่สมดุลงค์กันกับกระแสในองค์ประกอบลำดับบวก ลบ และศูนย์ ก็เหมือนกันของศักดาไฟฟ้าดังแสดงในสมการที่ 3.19 และ 3.20

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

$$\begin{bmatrix} I_{A0} \\ I_{A1} \\ I_{A2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

ในระบบไฟฟ้าใด กระแสและศักดาไฟฟ้าที่จุดใดซึ่งอยู่ในรูปเฟส ABC สามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบลำดับกระแสหรือศักดาไฟฟ้า บวก ลบ หรือศูนย์ได้ ถ้าหากระบบเดิมกระแสและศักดาไฟฟ้าเฟส ABC สมดุลงค์ (Balance) ก็สามารรถหากระแสและศักดาไฟฟ้าจากวงจรสมดุลงค์หนึ่งเฟสของระบบเดิมที่ไม่สมดุลงค์หนึ่งเฟสของระบบเดิมได้โดยไม่ต้องแตกมาเป็นองค์ประกอบลำดับบวก ลบ และศูนย์ แต่ถ้ากระแสและศักดาไฟฟ้าในระบบเดิมไม่สมดุลงค์แทนที่จะพิจารณาหากระแสและศักดาไฟฟ้าโดยตรงเลยคือ เฟส ABC ก็สมควรหาจากกระแสและศักดาไฟฟ้าองค์ประกอบลำดับบวก ลบ และศูนย์ และลบมากกว่าเพราะกระแสและศักดาไฟฟ้าไม่สมดุลงค์ในระบบเดิม ABC จะมีค่าสมดุลงค์ (Balance) ในระบบ บวก ลบ และศูนย์

3.4.3 ลำดับอิมพีแดนซ์ (Sequence impedance)

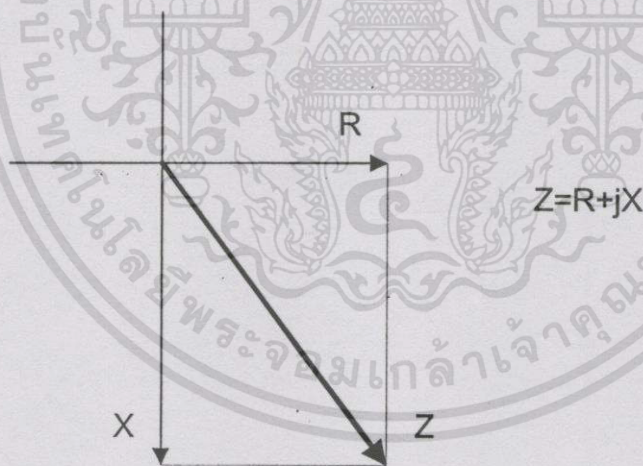
มีความสับสนในการใช้คำว่า Sequence impedance กับ Sequence components โดยทั่วไปคำว่า "Positive Sequence impedance" ไม่ได้หมายถึง Positive Sequence components ของชุดอิมพีแดนซ์ Z_a, Z_b, Z_c ที่ไม่สมดุลงค์ ซึ่งจะหาค่าได้จากสมการที่ (3.20-3.23) คือ $(Z_a + aZ_b + a^2Z_c)/3$ แต่ตามความหมายที่แท้จริงแล้ว หมายถึง อิมพีแดนซ์ของระบบ 3 เฟส สมดุลงค์ ที่วัดได้โดยการจ่ายพลังงานให้ระบบด้วย Positive sequence voltage source เช่นระบบ

จำหน่าย 3 เฟส สมดุลย์เกิดลัดวงจรที่ปลายข้างหนึ่ง และถูกจ่ายพลังงานให้ด้วย 3 Phase positive sequence voltage ที่ปลายอีกข้างหนึ่งจะมีเฉพาะ Positive sequence current เท่านั้นที่ใหญ่ในระบบจำหน่ายทั้ง 3 เฟส เมื่อเอาค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส A เมื่อเทียบกับดินที่ต้นกำลังของระบบจำหน่ายหารด้วยกระแสลัดวงจรในเฟส A ค่าที่ได้คือ Positive sequence impedance ของระบบจำหน่าย ในทำนองเดียวกัน คำว่า Negative sequence impedance และ Zero sequence impedance หมายถึงอิมพีแดนซ์ที่เกิดเนื่องจากค่า Negative sequence current และ Zero sequence current สัญลักษณ์ที่นิยมใช้แทน [1]

Positive sequence impedance	คือ	Z_1
Negative Sequence current	คือ	Z_2
Zero Sequence current	คือ	Z_3

3.4.4 อิมพีแดนซ์ที่ใช้ในการคำนวณกระแสลัดวงจร

ขนาดของกระแสลัดวงจรจะถูกกำหนดโดยอิมพีแดนซ์ของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง, สายส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า บางครั้งก็รวมถึงรีแอกเตอร์ และคาปาซิเตอร์ ดังนั้นในการคำนวณหากระแสลัดวงจร จึงต้องทราบค่าของอิมพีแดนซ์ทั้งหมดตั้งแต่แหล่งผลิตจนถึงจุดที่เกิดฟอลท์[1]



รูปที่ 3.12 ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ค่าที่ได้ทางเวกเตอร์ของความต้านทาน (R) กับรีแอกแตนซ์ (X)

ในอุปกรณ์บางชนิดเช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลง, รีแอกเตอร์ เป็นต้น ค่า R มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า X เราจึงตัดค่า R ทิ้งไม่นำมาคิดในกระดาศคำนวณ จึงทำให้ $Z = jx$ แต่สำหรับสายที่ต้องนำค่า R มาคิดในการคำนวณด้วย เพราะจะมีค่ามากตามความยาวของสายไฟ

ค่า R และ Z จะเขียนออกมาในหน่วยของโอห์ม หรือ % ก็ได้ แต่โดยทั่วไปสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลง, รีแอกเตอร์ ผู้ผลิตจะระบุเป็น % คิดเทียบจากพิกัดแรงดันไฟฟ้าและขนาด KVA ของอุปกรณ์นั้น สำหรับสายไฟจะระบุเป็นโอห์มต่อกิโลเมตรและคุณสมบัติอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์แต่ละชนิด ดังนี้

3.4.4.1 อิมพีแดนซ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากความต้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าน้อยมาก จึงคิดแต่ค่ารีแอกแตนซ์ ซึ่งประกอบด้วย

X_d (direct axis synchronous reactance) ใช้ค่านี้สำหรับคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในช่วงหลังจากเกิดฟอลท์แล้ว 40-50 ไซเคิล หรืออยู่ในสถานะ Steady state

$X'd$ (direct axis transient reactance) ใช้ค่านี้สำหรับคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในช่วงหลังจากเกิดฟอลท์แล้ว 3-40 ไซเคิล

$X''d$ (direct axis subtransient reactance) ใช้ค่านี้สำหรับคำนวณค่ากระแสลัดวงจรในช่วงเวลาเริ่มเกิดฟอลท์ถึง 3 ไซเคิล ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้นี้ใช้ในการเลือกพิกัดตัดกระแสลัดวงจร (interrupting capacity) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์

สำหรับ Positive sequence impedance จะใช้ค่า $X''d$, $X'd$ หรือ X_d ก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าการหาค่าฟอลท์ในช่วงเวลาไหน ส่วน Negative Sequence impedance สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน (Turbine generator) และแบบ Salient – pole machine จะมีค่าเท่ากับ $X''d$ ส่วน Zero Sequence impedance จะแปรค่าตาม Armature winding pitch ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และจะมีค่าประมาณ 10-70 % ของ $X''d$ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน (Turbine generator) จะมีค่า Zero Sequence impedance จาก 0.01-0.14 per unit แต่เนื่องจากระบบทั่วไปก็จะมีหม้อแปลงมาคั่นระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับสายส่งหรือสายจำหน่าย ถ้าทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงต่อขดลวดแบบเดลต้า (Delta) หรือเป็นแบบ Ungrounded ค่า Zero Sequence impedance ของอุปกรณ์ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ก็จะไม่นำค่ามาคิดในการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร

3.4.4.2. อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

Positive และ Negative sequence impedance ของหม้อแปลง จะมีค่าเท่ากับ % Impedance voltage ที่ระบุค่าไว้บน Nameplate ของหม้อแปลงเครื่องนั้นๆ ส่วน Zero Sequence impedance ขึ้นอยู่กับการต่อขดลวดของหม้อแปลงและระบบการต่อลงดิน เช่นถ้าด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแบบวายกราวด์ $Z_0 = Z_1 = Z_2$ ถ้าด้านทุติยภูมิต่อแบบ Ungrounded $Z_0 = \infty$

ด้านทฤษฎีของหม้อแปลงแบบวายกราวด์ $Z_0 = Z_1 = Z_2$ ถ้าด้านทฤษฎีมีต่อแบบ Ungrounded $Z_0 = \infty$

3.4.4.3 อิมพีแดนซ์ของสายไฟ

ค่า Sequence impedance ของสายไฟจะขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

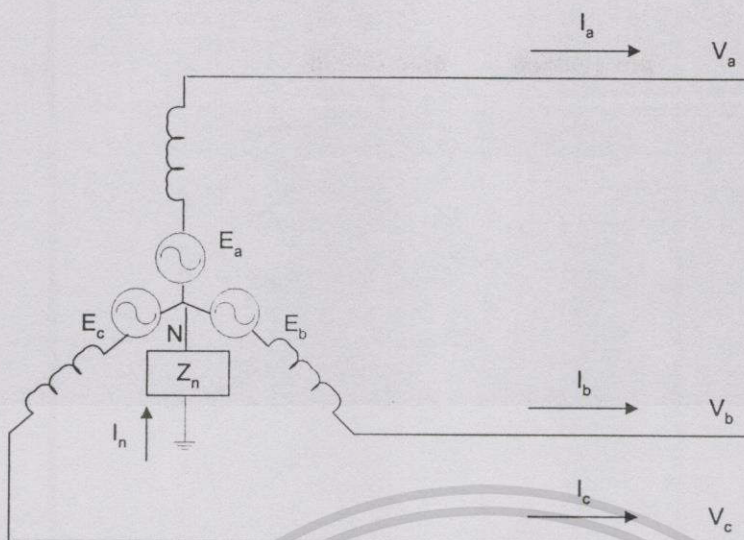
- 1) ชนิดของสายไฟ เช่น สายอลูมิเนียม, อลูมิเนียมอัลลอย, อลูมิเนียมแกนเหล็ก เป็นต้น ซึ่งจะมีค่าความต้านทาน (Resistance) แตกต่างกัน
- 2) ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟ จำนวนและขนาดของเส้นลวดตีเกลียว
- 3) ระยะห่างระหว่างสายเฟส, สาย Overhead ground wire
- 4) อุณหภูมิ และ Skin effect ที่มีผลต่อความต้านทานของสายไฟ
- 5) ลักษณะการพาดสายแบบวงจรเดี่ยว (Single circuit) หรือวงจรคู่ (Double circuit)

3.4.4.4 อิมพีแดนซ์ที่จุดเกิดลัดวงจร (Fault Impedance)

การลัดวงจรในระบบที่วิเคราะห์มาตั้งแต่ต้นเราสมมติว่าการลัดวงจรไม่ว่าจะเป็น เฟสลงดิน หรือเฟส - เฟส หรือ เฟส-เฟส-ดิน อิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรเป็นศูนย์ในแต่ละทางปฏิบัติ หรือสิ่งที่เกิดขึ้นจริงนั้น ถ้าหากเป็นการลัดวงจรเกิดเนื่องจากวัตถุไปพาดสายเช่นความต้านทานดิน, ความต้านทานของกิ่งไม้ เป็นต้น ก็ต้องคิดอิมพีแดนซ์ของวัตถุนั้นๆ ด้วย หรือถ้าเกิดลัดวงจรธรรมชาติก็ตาม ก็มีอาร์คเกิดขึ้น ซึ่งอาร์คดังกล่าวก็มีความต้านทานด้วย ดังนั้นทุกครั้งที่เกิดลัดวงจรจึงมีอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเกิดขึ้นเสมอ เมื่อเอาอิมพีแดนซ์ดังกล่าวมาคิดรวมไปด้วย ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นจากความต้านทานในระบบขณะเกิดฟอลท์ รวมเรียกว่า ฟอลท์อิมพีแดนซ์ (Z_f) โดย กฟภ. ได้กำหนดเป็นค่าเฉลี่ยทั้งประเทศมีค่า 40 โอห์ม จึงใช้ค่านี้ในการคำนวณ Minimum line to ground fault ซึ่งค่าฟอลท์อิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นจริงๆ ในแต่ละครั้งที่เกิดฟอลท์อาจจะมีค่าน้อยหรือมากกว่าค่าเฉลี่ยนี้ได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ สภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

3.4.5 การคำนวณกระแสลัดวงจร

การหาค่ากระแสลัดวงจร จะต้องอาศัยหลักการของ Symmetrical component ในที่นี้จะแสดงการหาค่ากระแสลัดวงจรแบบ Single line to ground fault ส่วนค่ากระแสลัดวงจรแบบอื่นก็สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน [1,5]



รูปที่ 3.13 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสายกราวด์ผ่านอิมพีแดนซ์ Z_n

จากรูปที่ 3.13 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นดังนี้

$$V_{a1} = E_{a1} - I_{a1}Z_1 \quad (3.20)$$

$$V_{a2} = E_{a2} - I_{a2}Z_2 \quad (3.21)$$

$$V_{a0} = E_{a0} - I_{a0}Z_0 \quad (3.22)$$

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงดันสมมูลย์ $V_{a2} = E_{a0} = 0$ และ $E_{a1} = E_a$ โดยค่า Z_1 และ Z_2 จะเป็น Positive และ Negative Sequence impedance ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนค่า Z_0 ในสมการที่(3.22) ไม่ใช่ Z_0 ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว จะต้องรวมค่า Z_n ซึ่งเป็นค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างจุด N และกราวด์

จากกฎของ Kirchoff จะได้ว่า

$$I_n = I_a + I_b + I_c$$

แทนค่า I_a, I_b, I_c ในรูปของ Symmetrical component จะได้

$$I_n = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} + I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} + I_{c1} + I_{c2} + I_{c0}$$

แต่ระบบที่สมมูลย์ใน Symmetrical component

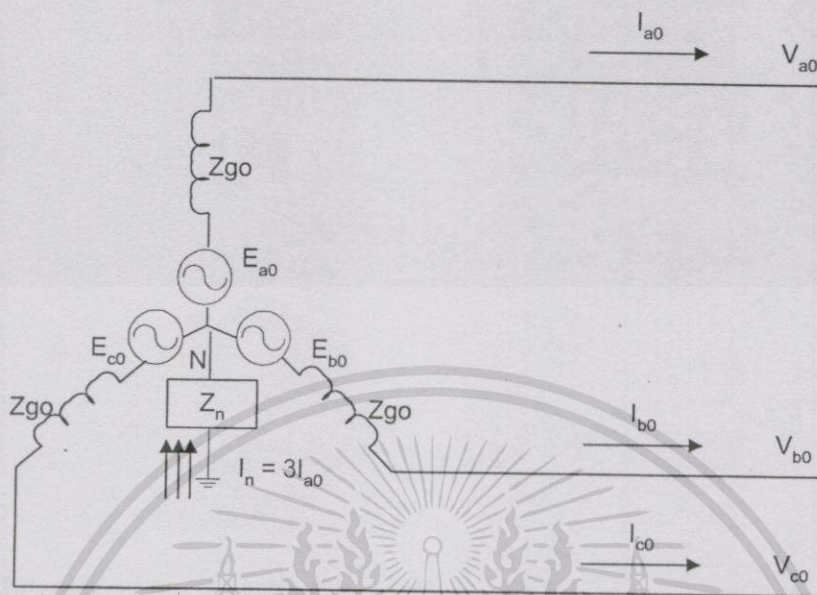
$$I_{a1} + I_{b1} + I_{c1} = I_{a2} + I_{b2} + I_{c2} = 0$$

$$\text{และ } I_{a0} = I_{b0} = I_{c0}$$

$$\text{ดังนั้น } I_n = 3I_{a0} \quad (3.23)$$

ดังนั้นถ้าจะพิจารณาเฉพาะ Zero Sequence component จะได้ดังวงจรในรูป 3.13

ดังนั้นถ้าจะพิจารณาเฉพาะ Zero Sequence component จะได้ดังวงจรในรูป 3.13



รูปที่ 3.14 Zero Sequence component ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.14 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเฟส A กับกราวด์ เขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{a0} &= -I_n Z_n + E_{a0} - I_{a0} Z_{g0} \\ &= -3I_{a0} Z_n + E_{a0} - I_{a0} Z_{g0} \\ &= E_{a0} - I_{a0} (3Z_n + Z_{g0}) \end{aligned} \quad (3.24)$$

เปรียบเทียบกับสมการที่ (3.22) กับ (3.24) จะเห็นว่า

$$Z_0 = 3Z_n + Z_{g0} \quad (3.25)$$

ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าสมมูลย์

$E_{a2} = E_{a0} = 0$ และ $E_{a1} = E_a$ ดังนั้นสมการที่(3.20)-(3.22) จะเป็นดังนี้

$$V_{a1} = E_a - I_{a1} Z_1 \quad (3.26)$$

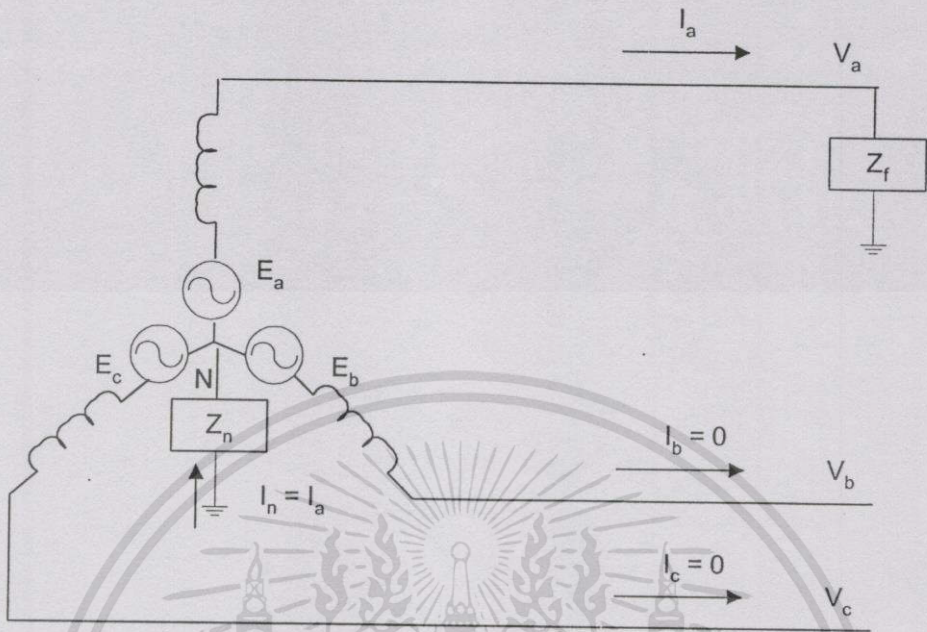
$$V_{a2} = -I_{a2} Z_2 \quad (3.27)$$

$$V_{a0} = -I_{a0} (3Z_n + Z_{g0}) \quad (3.28)$$

สมการข้างบนนี้เป็นสมการทั่วไปสำหรับ Symmetrical component ของ Line to ground Voltage ของเฟส A ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสายกราวด์ ที่มีแรงดันสมมูลย์ ซึ่งใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ Symmetrical component ของระบบที่ไม่สมมูลย์ symmetrical component

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปจะพิจารณาหาสูตรการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบ Single line to ground fault



รูปที่ 3.15 การเกิด Single line to ground fault ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด ในสถานะที่ไม่มีโหลด จะได้

$$I_b = I_c = 0 \quad V_a = I_a Z_f$$

จากสมการที่ (3.20-3.22) Symmetrical component ของกระแส

$$I_{a1} = (I_a + aI_b + a^2I_c)/3 = I_a/3$$

$$I_{a2} = (I_a + a^2I_b + aI_c)/3 = I_a/3$$

$$I_{a0} = (I_a + I_b + I_c)/3 = I_a/3$$

$$\text{ดังนั้น } I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = I_a/3$$

(3.29)

(3.30)

และจาก $V_a = I_a Z_f$

$$\text{แต่ } V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

นำค่า V_{a1} , V_{a2} และ V_{a0} จากสมการที่(3.26),(3.27),(3.28) มาแทนค่า

$$\text{จะได้ } I_a Z_f = E_a - I_{a1}Z_1 - I_{a2}Z_2 - I_{a0}(3Z_n + Z_{g0})$$

$$\text{แต่ } I_a = 3I_{a1} \text{ และ } I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ } 3I_{a1}Z_f = E_a - I_{a1}Z_1 - I_{a1}Z_2 - I_{a1}(3Z_n + Z_{g0})$$

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_{g0} + 3Z_n + 3Z_f}$$

(3.31)

จากรูปที่ 3.14 เมื่อ $I_a = 3I_{a1}$

$$I_n = 3I_{a0} = 3I_{a1}$$

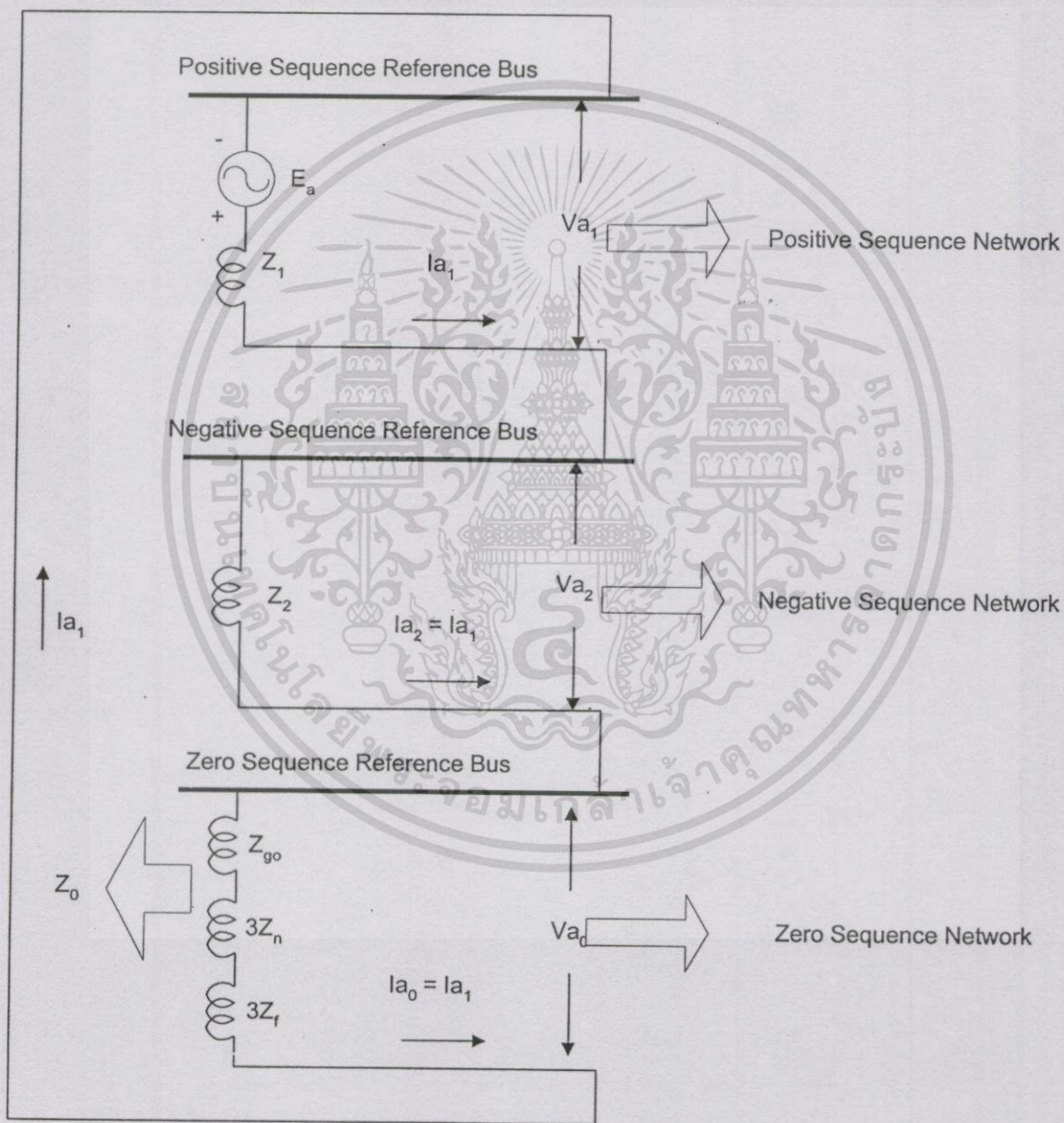
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่ากระแสลัดวงจร } I_f = I_a = I_n = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_{g0} + 3Z_n + 3Z_f} \quad (3.32)$$

$$\text{และถ้าให้ } Z_{g0} + 3Z_n = Z_0 \quad (3.33)$$

$$\text{จะให้ } I_{a1} = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (3.34)$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็น Sequence network ได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.16 Sequence network ของ Line to ground fault

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.34) เป็นสูตรการคำนวณกระแสลัดวงจรแบบ Line to ground fault ที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด อย่างไรก็ตามสูตรข้างต้นสามารถนำมาใช้กับระบบทั่วไปที่สลับซับซ้อนโดยใช้ทฤษฎีของ Thevenin

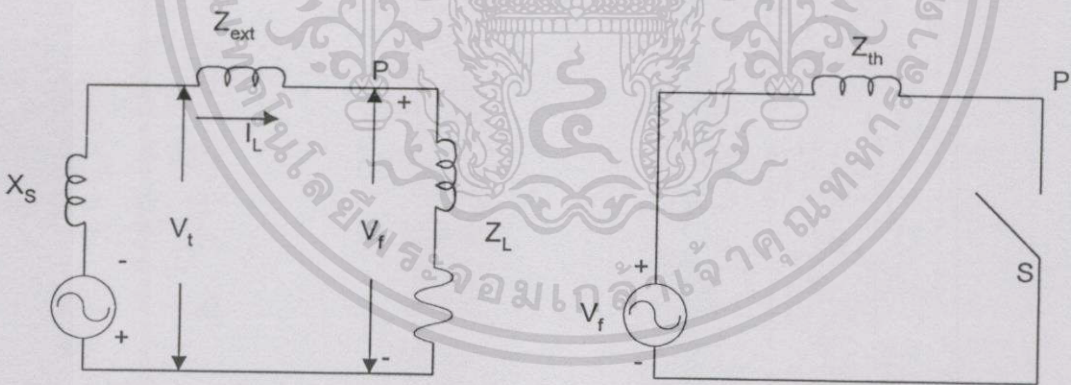
ทฤษฎีของ Thevenin กล่าวไว้ว่า ระบบหนึ่งซึ่งสิ้นสุดที่ 2 จุด คือ a และ b และประกอบด้วย Voltage source หลายชุด จะสามารถแทนได้ด้วย Voltage source ชุดเดียว และอิมพีแดนซ์ที่ต่ออนุกรมระหว่างจุด a กับ b อิมพีแดนซ์ที่ต่ออนุกรมนี้ คืออิมพีแดนซ์ของระบบที่วัดระหว่างจุด a กับ b ด้วย Internal voltage short-circuit โดย voltage source ชุดเดียวจะมีค่าเท่ากับ Open circuit voltage ที่วัดระหว่างจุด a กับ b

ดังนั้นสมมติว่า ระบบไฟฟ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายชุด จะมีวงจรเป็นแบบ Close loop เราก็อาศัยทฤษฎีของ Thevenin เปลี่ยนเป็นระบบง่าย ๆ เหมือนรูปที่ 3.15

ดังนั้น สัญลักษณ์ ในสมการที่ (3.32) จะมีความหมายใหม่เป็นดังนี้

E_a คือ Thevenin Equivalent open circuit voltage ที่จุดเกิดฟอลต์ หรือมีค่าเท่ากับ Line to ground voltage ก่อนเกิดฟอลต์ (V_f)

Sequence impedance จะไม่ได้หมายความถึงเฉพาะ อิมพีแดนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ Neutral impedance แต่จะหมายถึง Equivalent impedance ของระบบทั้งหมดที่มองจากจุดเกิดฟอลต์กลับเข้าไปในระบบที่ Voltage source ทุกชุด Short circuit (Z_{th})



รูป 3.17 (ก) วงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะ
จ่ายโหลดก่อนเกิดฟอลต์ที่จุด P

(ข) วงจรสมมูลย์ของรูปที่ 2.17 (ก)
ตามทฤษฎีของ Thevenin

ดังนั้นจากทฤษฎีของ Thevenin เราสามารถเขียนสูตรการคำนวณกระแสลัดวงจรของฟอลต์ชนิดต่างๆ โดยอาศัยการวิเคราะห์จาก Symmetrical component ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นดังนี้

Three phase fault

$$I = \frac{V_f}{Z_1 + Z_f} \quad (3.35)$$

Line to line fault

$$I = \frac{\sqrt{3}V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (3.36)$$

Line to ground fault

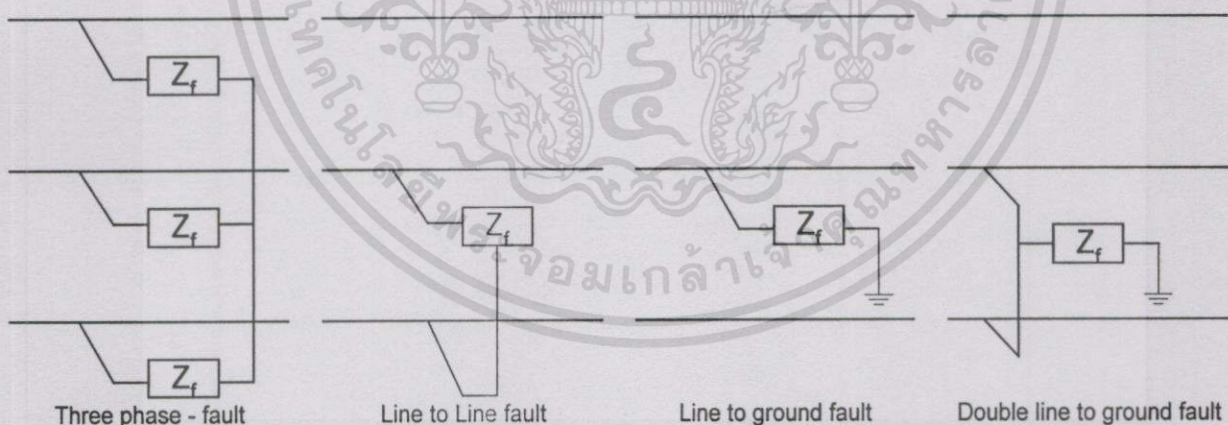
$$I = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} \quad (3.37)$$

Double line to ground fault

$$I = \sqrt{3}V_f \frac{Z_0 + 3Z_f - aZ_2}{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \quad (3.38)$$

โดยที่

- I = กระแสลัดวงจรที่ไหลในเฟสที่เกิดฟอลต์
- V_f = Line to ground Voltage ที่จุดเกิดฟอลต์ขณะก่อนเกิดฟอลต์
- Z_1 = Positive sequence impedance
- Z_2 = Negative Sequence impedance
- Z_0 = Zero Sequence impedance
- Z_f = Fault impedance ขณะเกิดฟอลต์ชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ฟอลต์ชนิดต่างๆ ที่มีค่าฟอลต์อิมพีแดนซ์รวมอยู่ด้วย

ในการศึกษาค่ากระแสลัดวงจรขณะเกิดฟอลต์ ปกติจะพิจารณาเฉพาะค่ากระแสลัดวงจรเมื่อเกิดฟอลต์ชนิด Tree phase fault และ Single line to ground fault เนื่องจาก Tree phase fault โดยปกติจะให้ค่าลัดกระแสวงจสูงสุด (ยกเว้นที่สถานีไฟฟ้าย่อย ส่วนใหญ่ Single line to

ground fault ในระบบจำหน่ายจะมีค่ามากกว่า Tree phase fault) และ Single line to ground fault เป็นฟอลท์ที่เกิดขึ้นได้มากที่สุด และเมื่อรวมค่าฟอลท์อิมพีแดนซ์ ซึ่งรวมค่าความต้านทานดินด้วยแล้ว ส่วนใหญ่จะให้ค่าวงจรต่ำสุด โดยปกติถ้าต้องการคำนวณกระแสลัดวงจรสูงสุด จะสมมติให้ค่าฟอลท์อิมพีแดนซ์ Z_f มีค่าเป็น ศูนย์ ซึ่งเป็นจริงตามสมการที่ 3.35 ถึง 3.37 ส่วนในสมการที่ 3.38 ถ้าค่า Z_f มีค่าน้อยจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรในเฟสหนึ่งของ Double line to ground fault มีค่ามากกว่ากระแสลัดวงจรเมื่อสมมติว่า Z_f มีค่าเป็น ศูนย์ [5]



ทฤษฎีฟuzzyลอจิก

4.1 ระบบฟuzzyลอจิก

ระบบฟuzzyลอจิกเป็นชื่อระบบที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับแนวคิดฟuzzy (เช่น ฟuzzyเซต, ตัวแปรภาษาและอื่นๆ) และฟuzzyลอจิก ระบบฟuzzyลอจิกสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ ระบบฟuzzyบริสุทธิ, ระบบฟuzzy ทาเคจิ และซุจิโนะ และระบบฟuzzyรวมกับตัวฟuzzyไฟล์และตัวดีฟuzzyไฟล์ ซึ่งได้อธิบายโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [6]

4.1.1 ระบบฟuzzyบริสุทธิ

รูปแบบพื้นฐานของระบบฟuzzyบริสุทธิ ดังรูปที่ 4.1 เมื่อฐานความรู้ประกอบด้วย กฎฟuzzy IF-THEN และเครื่องอนุมานฟuzzy โดยจะใช้กฎฟuzzy IF-THEN เพื่อหาการแมพฟuzzyจากฟuzzyเซตของอินพุต เอกภพสัมพัทธ์ $U \subset R^n$ ไปยังฟuzzyเซตในเอาต์พุตเอกภพสัมพัทธ์ $V \subset R$ โดยใช้หลักของฟuzzyลอจิก และได้แสดงกฎฟuzzy IF-THEN ดังนี้

$$R^{(i)}: \text{ IF } x_1 \text{ is } F_1' \text{ and } x_n \text{ is } F_n', \text{ THEN } y \text{ is } G' \quad (4.1)$$

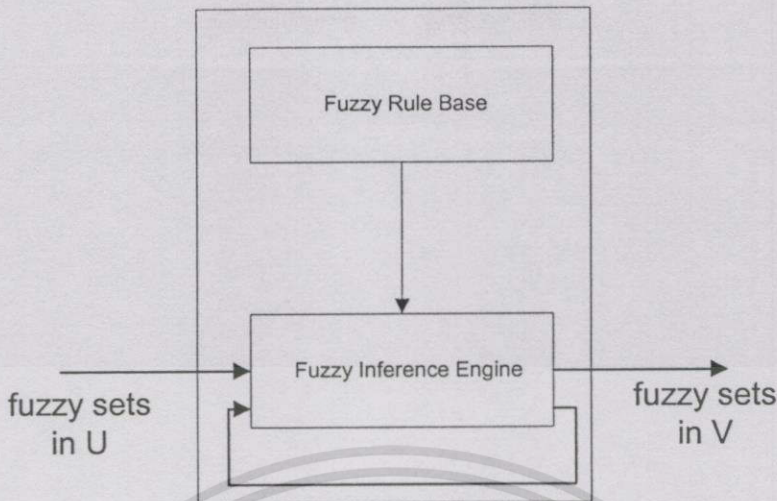
เมื่อ F_i' และ G' เป็นฟuzzyเซต $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in U$ และ $y \in V$ เป็นอินพุตและเอาต์พุตตัวแปรทางภาษาและ $i = 1, 2, \dots, M$ ในการปฏิบัติได้แสดงกฎฟuzzy IF-THEN เพื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญของมนุษย์ ในแต่ละกฎฟuzzy IF-THEN ดังสมการที่ 4.1 เป็นการกำหนดฟuzzyเซต $F_1' \times \dots \times F_n' \rightarrow G'$ ใน โปรดักสเปซ $U \times V$ ส่วนใหญ่ฟuzzyลอจิกในเครื่องอนุมานฟuzzy จะเรียกว่า ซัพสตาร์ คอมโพสิตชัน ซึ่ง A' เป็น อะบิทาร์ฟuzzyเซตใน U ซึ่ง A' เป็นอินพุตของระบบฟuzzyบริสุทธิในรูปที่ 4.1 ดังนั้นเอาต์พุตจะได้จากแต่ละกฎฟuzzy IF-THEN ของสมการที่ 4.1 ซึ่งเป็นฟuzzyเซต $A' \circ R^{(i)}$ ใน V โดยสมาชิกฟังก์ชันจะเป็น

$$\mu_{A' \circ R^{(i)}}(y) = \sup_{x \in U} [\mu_{A'}(x) * \mu_{F_1' \times \dots \times F_n' \rightarrow G'}(x, y)] \quad (4.2)$$

เมื่อ "*" โอเปอเรเตอร์ เป็น "min", "product" เราใช้ μ_A เพื่อแสดงสมาชิกฟังก์ชันฟuzzyเซต A สำหรับเอาต์พุตสุดท้ายของระบบฟuzzyบริสุทธิจะเป็นฟuzzyเซต $A' \circ (R^{(1)}, \dots, R^{(M)})$ ใน V และจะรวมกับฟuzzyเซต M ของสมการที่ 4.2 ดังแสดง

$$\mu_{A' \circ (R^{(1)}, \dots, R^{(M)})}(y) = \dots \mu_{A' \circ R^{(1)}}(y) + \dots + \mu_{A' \circ R^{(M)}}(y) \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซีลอจิกปริสทุธิ์

เมื่อ "+" โอเปอเรเตอร์ เป็น "max", "algebraic sum" ($x + y = x + y - xy$) ถ้ามีการป้อนกลับดังแสดงเป็นเส้นลูกศรรูปที่ 4.1 เราเรียกว่าระบบฟัซซีไดนามิก และนั่นคือระบบฟัซซีลอจิกปริสทุธิ์ซึ่งอินพุทจะแปรตามเอาต์พุท

ระบบฟัซซีปริสทุธิ์ประกอบส่วนที่จำเป็นของระบบฟัซซีลอจิกซึ่งเป็นโครงสร้างทั่วไปโดยการแนะนำภาษาจากจำนวนความเชี่ยวชาญของมนุษย์และหลักการของฟัซซีลอจิกปริสทุธิ์จะถูกใช้ทำระบบของการแนะนำภาษา สำหรับข้อเสียของระบบฟัซซีปริสทุธิ์คืออินพุทและเอาต์พุทจะเป็นฟัซซีเซต ซึ่งส่วนใหญ่ในระบบวิศวกรรม อินพุทและเอาต์พุทจะเป็นตัวแปรค่าจริง และจากข้อเสียนี้เองทำให้ ทาเคจิและซุจิโนะ ได้ประยุกต์ใช้ระบบฟัซซีให้อินพุทและเอาต์พุทเป็นตัวแปรค่าจริง

4.2 ระบบฟัซซีของทาเคจิและซุจิโนะ

แทนที่จะพิจารณาของกฎฟัซซี IF-THEN ดังสมการที่ 4.1 ทาเคจิและซุจิโนะได้ทำการกำหนดการใช้กฎฟัซซี IF-THEN ดังต่อไปนี้ [6]

$$\begin{aligned} L^{(l)} : & \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and and } x_n \text{ is } F_n^l, \\ & \text{THEN } y^l = c_0^l + c_1^l x_1 + \dots + c_n^l x_n \end{aligned} \quad (4.4)$$

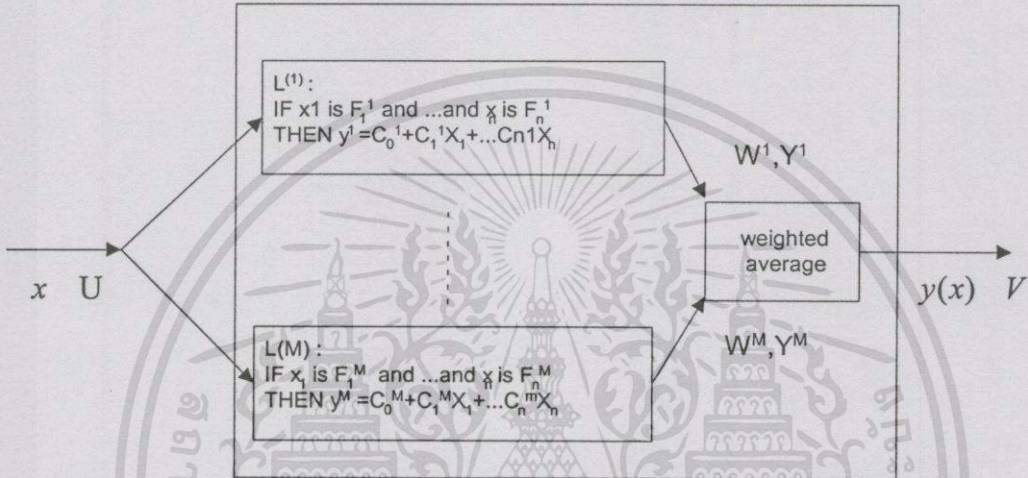
เมื่อ F_i^l เป็นฟัซซีเซต c_i เป็นพารามิเตอร์ค่าจริง y^l เป็นเอาต์พุทของระบบซึ่งสัมพันธ์กับกฎ $L^{(l)}$ และ $l = 1, 2, \dots, M$ ดังนั้นเมื่อพิจารณากฎฟัซซีคือ IF จะเป็นส่วนของฟัซซีส่วน THEN จะเป็นคริช ซึ่งเอาต์พุทจะเป็นการร่วมกับแบบเชิงเส้นของตัวแปรอินพุท สำหรับเวกเตอร์ของอินพุทค่า

จริง $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ โดยเอาที่พหุ $y(\underline{x})$ ของระบบพีชคณิตของทาเคจิและซุจิโนะจะเป็นแบบเฉลี่ยน้ำหนัก ของ y^l

$$y(\underline{x}) = \frac{\sum_{l=1}^M w^l y^l}{\sum_{l=1}^M w^l} \quad (4.5)$$

เมื่อ น้ำหนัก คือ w^l แสดงให้เห็นว่าเป็นค่าจริงของกฎ L^l สำหรับอินพุตและคำนวณได้จาก

$$w^l = \prod_{i=1}^n \mu_{F_i^l}(x_i) \quad (4.6)$$



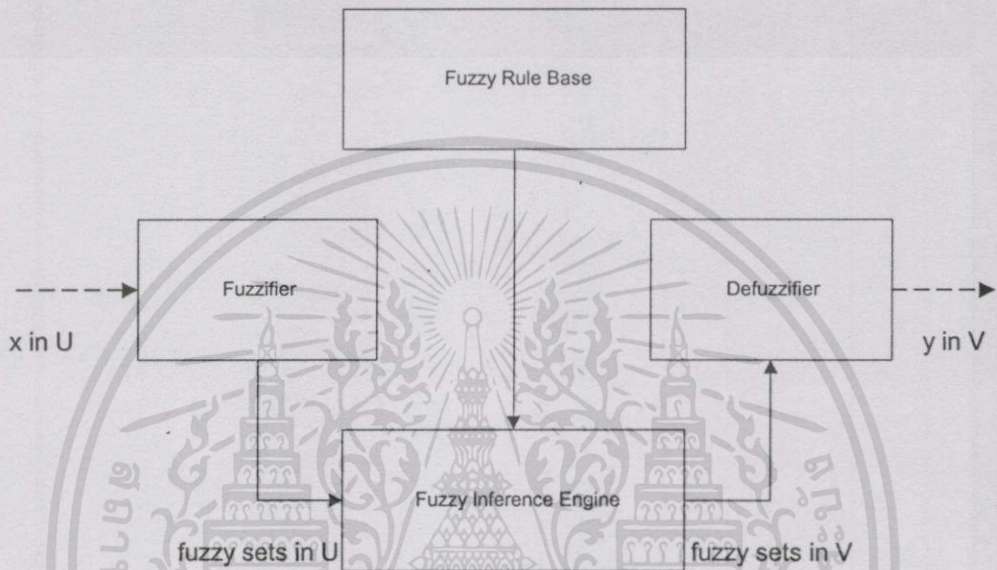
รูปที่ 4.2 โครงสร้างพื้นฐานระบบพีชคณิตลอจิกของ ทาเคจิและซุจิโนะ

ข้อกำหนดของระบบพีชคณิตดังรูปที่ 4.2 ซึ่งระบบพีชคณิตของ ทาเคจิและซุจิโนะ ได้ประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้งานจริง ข้อดีของระบบพีชคณิตนี้ จะใช้สมการที่ 4.5 และการประมาณพารามิเตอร์ และวิธีหาอันดับสามารถพัฒนาเพื่อประมาณพารามิเตอร์ c'_l และอันดับ M ได้ สำหรับจุดอ่อนของพีชคณิตระบบนี้จะเป็นในส่วนของ THEN ของกฎซึ่งจะไม่ใช่พีชคณิต ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องสร้างโครงสร้าง เพื่อร่วมกับกฎพีชคณิต ซึ่งได้จากความเชี่ยวชาญของมนุษย์ จากเหตุนี้การปรับปรุงกฎพีชคณิตบริสุทธิ์ ดังสมการที่ 4.1 (เช่นเปลี่ยน " y is G " to " c'_0 " เมื่อ c'_0 คือศูนย์กลางของ μ_{G^l}) ต้องกระทำร่วมกับระบบพีชคณิตลอจิก

4.3 ระบบพีชคณิตลอจิกกับตัวพีชคณิตไฟล์และตัวดีพีชคณิตไฟล์

การใช้ระบบพีชคณิตลอจิกบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.1 ในระบบวิศวกรรม เมื่ออินพุตและเอาต์พุตเป็นค่าตัวแปรจริง ส่วนมากแล้วทิศทางของอินพุตจะส่งต่อไปยังตัวพีชคณิตไฟล์และตัวดีพีชคณิตไฟล์จะส่งเอาต์พุตของระบบพีชคณิตบริสุทธิ์ออกมา ข้อกำหนดพื้นฐานของระบบพีชคณิตลอจิกกับตัวพีชคณิตไฟล์และ

ตัวดีฟัซซีไฟล์ ดังรูปที่ 4.3 ตัวดีฟัซซีไฟล์จะทำการแมพฟังก์ชันค่าคริสเซต เป็นใน U ไปเป็นฟัซซีเซตใน U และตัวดีฟัซซีไฟล์จะแมพจากฟัซซีเซตใน V ไปเป็นคริสเซตใน V กฎฐานความรู้ฟัซซีและตัวอนุมานฟัซซีจะเหมือนกับในระบบฟัซซีลอจิกบริสุทธิ์ ในบางครั้งระบบฟัซซีนี้จะเรียกว่า ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ดังนั้นจึงถูกใช้เป็นตัวควบคุมหลัก ซึ่งได้ถูกกำหนดครั้งแรกโดย Mandani และประสบความสำเร็จกับการประยุกต์ในระบบกระบวนการอุตสาหกรรมและผลิตภัณฑ์ที่ใช้อำนวยความสะดวกภายในบ้านเป็นอย่างมาก



รูปที่ 4.3 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซีลอจิกกับตัวดีฟัซซีไฟล์และตัวดีฟัซซีไฟล์

ระบบฟัซซีลอจิกกับตัวดีฟัซซีไฟล์และตัวดีฟัซซีไฟล์ จะมีส่วนประกอบหลายส่วน ประการแรก การหาระบบวิศวกรรมที่เหมาะสมเพราะว่าค่าอินพุตและเอาต์พุตจะเป็นค่าตัวแปรจริง ประการที่สอง จัดเตรียมโครงร่างเพื่อร่วมกับกฎฟัซซี IF-THEN จากความเชี่ยวชาญของมนุษย์ ประการที่สาม การเลือกตัวดีฟัซซีไฟล์, ตัวอนุมานฟัซซีและตัวดีฟัซซีไฟล์ ได้ตามความเหมาะสมซึ่งจะมีหลากหลายวิธีให้เลือก

4.4 แนวความคิดพื้นฐานของฟัซซีและฟัซซีลอจิก

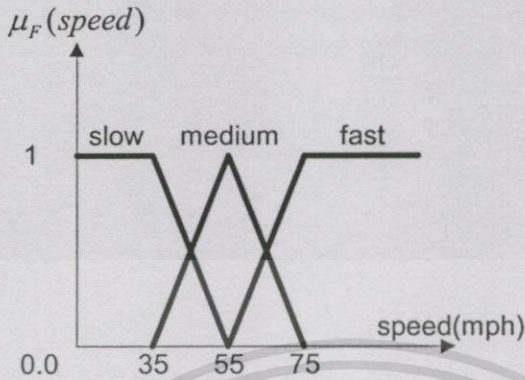
ในหัวข้อนี้ได้แสดงแนวคิดพื้นฐานของฟัซซีเซตและฟัซซีลอจิก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เป็นประโยชน์กับระบบฟัซซีลอจิก [6]

4.4.1 ฟัซซีเซตและทฤษฎีเซต

นิยาม 4.1 ฟัซซีเซต: ให้ U เป็นตัวสะสมของวัตถุ ตัวอย่างเช่น $U = R^n$ และเรียกว่า เอกภพสัมพัทธ์ ฟัซซีเซต F ใน U เป็นคุณสมบัติโดยสมาชิกฟังก์ชัน $\mu_F: U \rightarrow [0,1]$ กับ $\mu_F(\mu)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นการแสดงเกรด ของสมาชิก μ_U ในฟัซซีเซต F โดยฟัซซีเซตอาจจะถูกสร้างโดยแนวคิดของครีเซต ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกจะใช้เพียง 2 ค่า คือ $\{0,1\}$



รูปที่ 4.4 ความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน 3 ฟัซซีเซต โดยกำหนดให้ชื่อ "slow", "medium" และ "fast" สำหรับความเร็วของรถ

รูปที่ 4.4 แสดงเป็นสมาชิกฟังก์ชันของ 3 ฟัซซีเซต คือ "slow", "medium" และ "fast" สำหรับความเร็วของรถยนต์ ตัวอย่างนี้ เอกภพสัมพัทธ์เป็นความเร็วของรถยนต์ทั้งหมดคือ $U = [0, V_{\max}]$ เมื่อ V_{\max} เป็นความเร็วสูงสุดของรถยนต์ ที่ความเร็ว 45 mph ดังตัวอย่างเช่น ฟัซซีเซตจะเป็น ค่าความเป็นสมาชิก มีค่าเป็น 0.5 หมายความว่า $\mu_{\text{slow}}(45) = 0.5$ และฟัซซีเซตจะเป็น "medium" ค่าความเป็นสมาชิกมีค่าเป็น 0.5 หมายความว่า $\mu_{\text{medium}}(45) = 0.5$ และฟัซซีเซตจะเป็น "fast" ว่าค่าความเป็นสมาชิกมีค่าเป็น 0 หมายความว่า $\mu_{\text{fast}}(45) = 0$

นิยาม 4.2 ซัพพอร์ต, เซ็นเตอร์และฟัซซีซิงเกิลตัน : ซัพพอร์ตของฟัซซีเซต F เป็น ครีเซตของทุกจุด μ_U ดังเช่น $\mu_F(u) > 0$ เซ็นเตอร์ของฟัซซีเซต F เป็นจุด μ_U ซึ่ง $\mu_F(u)$ จะเป็นค่าสูงสุด ถ้าซัพพอร์ตของฟัซซีเซต F เป็นจุดเดียวใน U ซึ่ง $\mu_F = 1$ โดย F จะเรียกว่า ฟัซซีซิงเกิลตัน

นิยาม 4.3 อินเตอร์เซคชัน, ยูเนียน และคอมพลีเมนต์ : ให้ A และ B เป็นฟัซซีเซต 2 ชุด ใน U โดย อินเตอร์เซคชัน $A \cap B$ ของ A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U กับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ถูกกำหนด μ_U ทั้งหมดโดย

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad (4.7)$$

ยูเนียนของ $A \cup B$ ของ A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U กับความเป็นสมาชิกถูกกำหนด μ_U โดย

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \quad 4.8$$

โดยปกติ อินเตอร์เซกชันและยูเนียน โอเปอร์เรเตอร์ ซึ่งได้แสดงเป็น ของ คอมพลีเมนต์ \bar{A} ของ A เป็นฟังก์ชันเซตใน U กับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ถูกกำหนดเป็น $\mu_{\bar{A}}(u)$ โดย

$$\mu_{\bar{A}}(u) = 1 - \mu_A(u) \quad (4.9)$$

นิยาม 4.4 T-norm และ T-conorm : t-norm ได้แสดงสัญลักษณ์เป็น * ซึ่งจะ เป็น 2 ฟังก์ชันจาก $[0,1]$ $[0,1]$ ไป $[0,1]$ ซึ่งจะรวมเป็นฟังก์ชัน อินเตอร์เซกชัน, อะจิบอริลิก โปรดัคท์, บาวโปรดัคท์ และดราสติกโปรดัคท์ ซึ่งจะกำหนดได้เป็น

$\min\{x, y\}$ fuzzy intersection

xy algebraic product

$$x * y = \max\{0, x + y - 1\} \quad \text{bounded product} \quad (4.10)$$

x if $y = 1$

y if $x = 1$ drastic product

0 if $x, y < 1$

เมื่อ $x, y \in [0,1]$ t-conorm ได้แสดงสัญลักษณ์เป็น + เป็น 2 ฟังก์ชัน จาก $[0,1]$ $[0,1]$ ไป $[0,1]$ ซึ่งจะรวมฟังก์ชันยูเนียน, อะจิบอริลิกซัม, บาวซัม และดราสซัม ดังแสดง

$\max\{x, y\}$ fuzzy union

$x + y - xy$ algebraic sum

$$x + y = \min\{1, x + y\} \quad \text{bounded sum} \quad (4.11)$$

x if $y = 0$

y if $x = 0$ drastic sum

1 if $x, y > 0$

เมื่อ $x, y \in [0,1]$ รูปแบบอื่นๆของ t-norm และ t-conorm ได้แสดงในหลักการของฟังก์ชันเซตทั่วไป

4.4.2 กฎการขยาย (The Extension Principle)

กฎการขยายเป็นเครื่องมือสำหรับการสร้างแนวคิดทางคณิตศาสตร์ของคริสเซต ไปเป็นฟังก์ชันเซต ซึ่งกฎการขยายจะถูกใช้สำหรับหลักการของฟังก์ชัน

นิยาม 4.5 กฎการขยาย : ให้ U และ V เป็น 2 เอกภพสัมพัทธ์ และ f เป็นแมพพิง จาก U ไป V สำหรับฟังก์ชันเซต A ใน U กฎการขยายกำหนดให้ฟังก์ชันเซต B ใน V โดย

$$\mu_B(v) = \sup_{u \in f^{-1}(v)} \mu_A(u) \quad (4.12)$$

จากสมการที่ 4.12 $\mu_B(v)$ เป็น superior ของ $\mu_A(u)$ สำหรับทุก $u \in U$ ดังเช่น $f(u) = v$ เมื่อ $v \in V$ และเราสมมติให้ $f^{-1}(v)$ จะเป็นเซตไม่ว่างถ้า $f^{-1}(v)$ เป็นเซตว่างสำหรับบาง $v \in V$ ถูกกำหนด $\mu_B(v) = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ความสัมพันธ์และส่วนประกอบของฟัซซี่

นิยาม 4.6 ความสัมพันธ์ของฟัซซี่ : ให้ U และ V เป็นเอกภพสัมพัทธ์ ซึ่งความสัมพันธ์ของฟัซซี่ R เป็นฟัซซี่เซตในโปรดักท์สเปซ $U \times V$ โดย R จะมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_R(u, v)$ เมื่อ $u \in U$ และ $v \in V$

นิยาม 4.7 สับสตาร์คอมโพสิชัน : ให้ R และ S เป็นความสัมพันธ์ของฟัซซี่ใน $U \times V$ และ $V \times W$ จะได้สับสตาร์คอมโพสิชันของ R และ S เป็นความสัมพันธ์ของฟัซซี่ที่สามารถแสดงโดย $R \circ S$

$$\mu_{R \circ S}(u, w) = \sup_{v \in V} [\mu_R(u, v) * \mu_S(v, w)] \quad (4.13)$$

เมื่อ $\mu \in U, w \in W$ และ $*$ เป็นโอเปอเรเตอร์ในชั้นของ t-norm ดังแสดงในสมการที่ 4.10 โดย $R \circ S$ เป็นฟัซซี่เซตใน $U \times W$ ซึ่งจะเป็นไปได้ที่ S เป็นเพียงฟัซซี่เซตใน V ในกรณีนี้ $\mu_S(v, w)$ ในสมการที่ 4.13 จะเป็น $\mu_S(v)$, $\mu_{R \circ S}(u, w)$ จะเปลี่ยนเป็น $\mu_{R \circ S}(u)$ และอื่นๆ ก็เช่นกัน

4.4.4 ขอบเขตและตัวแปรทางภาษา(Linguistic Variables and Hedges)

มี 2 ตัวแปรสำหรับแนวทางของตัวแปรทางภาษา โดยทั่วไปตัวแปรทางภาษาสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

นิยาม 4.8 ตัวแปรทางภาษา(แบบปกติ) : ตัวแปรทางภาษาเป็นคุณสมบัติ โดย quintuple $(x, T(x), U, G, M)$ ซึ่ง x เป็นชื่อของตัวแปร $T(x)$ เป็นเทอมของเซต x ซึ่งชื่อเซตของค่าทางภาษาของ x กับแต่ละค่าของฟัซซี่เซตถูกกำหนดโดย U และ G เป็นกฎที่ประกอบขึ้นสำหรับการสร้างชื่อของค่า X และ M เป็นกฎที่ประกอบขึ้นสำหรับการรวมของแต่ละค่า

จากนิยามดังกล่าว ได้แสดงความรู้สึกของตัวแปรทางภาษาว่าเป็นแนวคิดรวม แต่จุดมุ่งหมายของการเสนอแนวคิดตัวแปรทางภาษาได้แสดงแนวทางแบบปกติซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า ตัวแปรอาจจะเป็นคำพูดของภาษาธรรมชาติ ตัวอย่างเช่น ถ้าเราสามารถพูดว่า Speed เป็น Fast ดังนั้นตัวแปร Speed ควรจะเข้าใจเป็นตัวแปรทางภาษาแต่ก็ไม่ได้หมายความว่าตัวแปร Speed ไม่สามารถเป็นค่าจริงได้

นิยาม 4.9 ตัวแปรทางภาษา(แบบสัญชาตญาณ) : ถ้าตัวแปรสามารถใช้คำพูดภาษาธรรมชาติ(เช่น small, fast และอื่นๆ)เป็นค่าต่าง โดยตัวแปรดังกล่าวนี้จะถูกกำหนดเป็นตัวแปรทางภาษา ซึ่งคำพูดจะเป็น label ของฟัซซี่เซต ซึ่งตัวแปรทางภาษาสามารถใช้คำพูดหรือไม่ก็ใช้ตัวเลขก็ได้

ตัวอย่างเช่น ตัวแปรทางภาษาของ Speed สามารถใช้ "slow", "medium" และ "fast" เป็นค่าได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งสามารถใช้ค่าตัวแปรเลขจริงใดๆ ในช่วง $[0, V_{\max}]$ เป็นค่าตัวแปรทางภาษา ซึ่งเป็นแนวคิดที่มีความสำคัญที่ใช้กับแบบปกติ

โดยทั่วไป รายละเอียดของรูปแบบภาษาส่วนมากเราจะใช้กำหนดขอบเขตบ่อยๆ เช่น "very" และ "more หรือ less" เราจำเป็นต้องนิยามรูปแบบจำเป็นปกติเพื่อให้ทราบว่าความหมายเป็นอย่างไร ถึงแม้ว่าทุกวันเราได้ใช้ขอบเขต "very" ไม่ได้กำหนดความหมายไว้ถูกต้องนัก ซึ่งเป็นเพียงแสดงการกระทำ เราได้แสดงค่านิยามสำหรับ 2 คำที่ใช้เป็นขอบเขตคือ "very" และ "more หรือ less"

นิยาม 4.10 ขอบเขต : ให้ F เป็นฟัซซีเซตใน U (ตัวอย่างเช่น $F = \text{small}$) ดังนั้น "very F " จะถูกกำหนดเป็นฟัซซีเซตใน U กับฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_{\text{very } F}(u) = (\mu_F(u))^2 \quad (4.14)$$

และ "more หรือ less F " เป็นฟัซซีเซตใน U กับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน

$$\mu_{\text{more or less } F}(u) = (\mu_F(u))^{1/2} \quad (4.15)$$

4.4.5 การสรุปจากเหตุไปหาผลและการสรุปจากผลไปหาเหตุ (Generalized modus ponens, GMP และ Generalized modus tollens, GMT)

ในฟัซซีลอจิกและการประมาณเหตุผล เป็นกฎอนุมานของฟัซซี 2 ส่วน ที่สำคัญคือ GMP และ GMT

นิยาม 4.11 GMP: GMP ถูกกำหนดขั้นตอนอนุมานดังต่อไปนี้

premise 1: x is A'
 premise 2: IF x is A , THEN y is B
 consequence : y is B'

เมื่อ A', A, B และ B' เป็นฟัซซีเซตและ x และ y เป็นตัวแปรทางภาษา

นิยาม 4.12 GMT : GMT ถูกกำหนดขั้นตอนอนุมานดังต่อไปนี้

premise 1: y is B'
 premise 2: IF x is A , THEN y is B
 consequence : x is A'

เมื่อ A', A, B' และ B เป็นฟัซซีเซตและ x และ y เป็นตัวแปรทางภาษา

4.4.6 การแจกแจงเหตุผลของฟัซซี

นิยาม 4.13 การแจกแจงเหตุผลของฟัซซี : ใน A และ B เป็นฟัซซีเซตใน U และ V การแจกแจงเหตุผลของฟัซซีนั้น แสดงโดย $A \rightarrow B$ เป็นชนิดพิเศษของความสัมพันธ์ฟัซซีใน $U \times V$ กับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันดังแสดง

- Fuzzy conjunction:

$$\mu_{A \rightarrow B}(u, v) = \mu_A(u) * \mu_B(v) \quad (4.16)$$

- Fuzzy disjunction:

$$\mu_{A \cup B}(u, v) = \mu_A(u) + \mu_B(v) \quad (4.17)$$

- Material implication:

$$\mu_{A \supset B}(u, v) = \mu_{\neg A}(u) + \mu_B(v) \quad (4.18)$$

- Propositional calculus:

$$\mu_{A \supset B}(u, v) = \mu_{\neg A}(u) + \mu_{A \supset B}(v) \quad (4.19)$$

- Generalization of modus ponens:

$$\mu_{A \supset B}(u, v) = \sup\{c \in [0,1] \mid \mu_A(u) * c \leq \mu_B(v)\} \quad (4.20)$$

- Generalization of modus tollens:

$$\mu_{A \supset B}(u, v) = \inf\{c \in [0,1] \mid \mu_B(v) + c \leq \mu_A(u)\} \quad (4.21)$$

การแจกแจงเหตุผลของพีชคณิต $A \supset B$ สามารถทำความเข้าใจดังเช่นกฎพีชคณิต IF-THEN เป็นตัวแปรทางภาษาจากสมการที่ 4.17 – 4.21 แสดงให้เห็น 6 ตัวแปลงกฎพีชคณิต IF-THEN โดยใช้เงื่อนไข Generalization ของ Classical logic

4.5 กฎฐานความรู้ของพีชคณิต

จากรูปที่ 4.3 เราได้แสดงข้อกำหนดขั้นพื้นฐานของระบบพีชคณิตลอจิกสำหรับหัวข้อนี้และถัดไป จะแสดงรายละเอียด 4 ส่วนประกอบที่สำคัญพื้นฐานคือ กฎฐานความรู้ของพีชคณิต, เครื่องอนุมานแบบพีชคณิต, และตัวพีชคณิตไฟล์ และตัวดีพีชคณิตไฟล์ [6]

กฎฐานความรู้ของพีชคณิตได้แสดงกฎของพีชคณิตในรูปแบบต่อไปนี้

$$R^{(l)}: \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^l \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^l, \text{ THEN } y \text{ is } G^l \quad (4.22)$$

เมื่อ F_i^l และ G^l เป็นพีชคณิตเซตใน U_i , R และ V R เกี่ยวข้องกับ $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \in U_1 \times \dots \times U_n$ และ $y \in V$ เป็นตัวแปรทางภาษา โดยให้ M เป็นจำนวนกฎของพีชคณิต IF-THEN ในสมการที่ 4.22 ในกฎฐานความรู้ของพีชคณิต $l = 1, 2, \dots, M$ ในสมการที่ 4.22 \underline{x} และ y เป็นอินพุตและเอาต์พุต ของระบบพีชคณิตลอจิก เราสามารถจะพิจารณาระบบพีชคณิตแบบหลายอินพุต แต่มีเพียงเอาต์พุตเดียว สำหรับระบบที่มีหลายอินพุตนั้นสามารถแยกออกเป็นส่วนใหญ่ของระบบเอาต์พุตเดียวได้

กฎฐานความรู้ของพีชคณิต เป็นหัวใจของระบบพีชคณิตลอจิก เมื่อเปรียบเทียบกับ 3 ส่วนที่เหลือ นั้น ในทางปฏิบัติเราได้แสดงกฎของพีชคณิต IF-THEN ของสมการที่ 4.22 เพื่อทำให้ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งาน ร่วมกับความเชี่ยวชาญหรือประสบการณ์ของมนุษย์

เราอาจจะปฏิบัติตามคำถามพื้นฐานเกี่ยวกับฐานความรู้ของฟuzzy ได้ดังนี้

1. กฎในรูปแบบของสมการที่ 4.22 เพียงพอที่จะใช้งานได้หรือไม่ ?
2. เราสร้างกฎฟuzzy IF-THEN ด้วยวิธีใด ?
3. เราหาวิธีความเป็นสมาชิกของ F'_i และ G' ได้อย่างไร ?

เราสามารถจะตอบคำถามแรกได้โดยแสดงกฎได้โดยสมการที่ 4.22 ซึ่งได้รวมหลายรูปแบบของกฎฟuzzy ได้เป็นกรณีพิเศษ

ข้อเท็จจริง 4.1 กฎในสมการที่ 4.22 ประกอบด้วย "incomplete-IF-part rule" เช่นกรณีพิเศษ

$IF \ x_1 \text{ is } F'_1 \text{ and } \text{and } x_m \text{ is } F'_m, \text{ THEN } y \text{ is } G'$
เมื่อ $m < n$

พิสูจน์ ได้แสดงการสมมูลย์ของ incomplete-IF-part rule

$IF \ x_1 \text{ is } F'_1 \text{ and } \text{and } x_m \text{ is } F'_m \text{ and } x_{m+1} \text{ is } G' \text{ and } x_n \text{ is } I_1, \text{ THEN } y \text{ is } G'$

เมื่อ I_1 เป็นฟuzzy เซตใน R กับ $\mu_{I_1}(x) = 1$ สำหรับทุก $x \in R$ จากการศึกษาจะเห็นว่าสมการที่ 4.23 เป็นความจริง

ข้อเท็จจริง 4.2 กฎในสมการที่ 4.23 ประกอบด้วย "OR rule" ในกรณีพิเศษดังนี้

$IF \ x_1 \text{ is } F'_1 \text{ and } \text{and } x_m \text{ is } F'_m \text{ or } x_{m+1} \text{ is } F'_{m+1} \text{ and } \text{and } x_n \text{ is } F'_n, \text{ THEN } y \text{ is } G'$

พิสูจน์ ใช้พื้นฐานความหมายของสัญลักษณ์ของ ลอจิกโอเพอร์เรเตอร์ "or" สามารถแสดงให้เห็นกฎ OR สมมูลย์ 2 กฎดังต่อไปนี้

$IF \ x_1 \text{ is } F'_1 \text{ and } \text{and } x_m \text{ is } F'_m \text{ THEN } y \text{ is } G'$

$IF \ x_{m+1} \text{ is } F'_{m+1} \text{ and } \text{and } x_n \text{ is } F'_n \text{ THEN } y \text{ is } G'$

จากข้อเท็จจริง 4.1 เราสามารถพิสูจน์ 2 กฎได้ เป็นกรณีพิเศษของสมการที่ 4.23 ดังนั้นข้อเท็จจริงนี้เป็นความจริง

ข้อเท็จจริง 4.3 กฎในสมการที่ 4.23 ประกอบด้วยสถานะฟuzzy

$y \text{ is } G'$

เช่นกรณีพิเศษ

พิสูจน์ สามารถแสดงสมมูลย์ของสถานะฟuzzy ได้เป็น

$IF \ x_1 \text{ is } I_1 \text{ and } \text{and } x_n \text{ is } I_1 \text{ THEN } y \text{ is } G'$
ซึ่งเป็นไปในสมการที่ 4.23

ข้อเท็จจริง 2.4 กฎในสมการที่ 4.23 ประกอบด้วย "gradual rule" เช่นกรณีพิเศษ

The smaller the x, the bigger the y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิสูจน์ให้ B เป็นฟังก์ชันที่แสดงโดยให้แสดงเป็น "smaller" ดังตัวอย่าง $\mu_S(x) = 1/(1 + \exp(x+2))$ และ B เป็นฟังก์ชันที่แสดงโดยให้แสดงเป็น "bigger" ดังตัวอย่าง $\mu_B(y) = 1/(1 + \exp(-5(y-2)))$ ดังนั้นเราสามารถแสดง "gradual rule" แบบสมมูลย์เป็น

IF x is S , *THEN* y is B

ข้อเท็จจริง 4.5 กฎของสมการที่ 4.23 ประกอบด้วย "unless rule" เช่นกรณีพิเศษ

y is G' unless x_1 is F_1' and and x_n is F_n'

พิสูจน์ โดยใช้ความหมายของสัญชาตญาณของ unless ซึ่งสามารถแสดงความสมมูลย์ได้ดังต่อไปนี้

IF not(x_1 is F_1' and and x_n is F_n'), *THEN* y is G'
ซึ่งโดยใช้พื้นฐานของ De Morgan's Law จะได้

IF x_1 is not F_1' or or x_n is not F_n' , *THEN* y is G'

ดังแสดง F_i' ไม่ใช่ฟังก์ชันที่เซตเดียว ดังนั้นจากข้อเท็จจริง 4.2 สามารถแสดงกฎในกรณีพิเศษของสมการที่ 4.23

ข้อเท็จจริง 4.6 จากกฎในสมการที่ 4.23 ประกอบด้วยกฎที่ไม่ใช้กฎของฟังก์ชัน (หมายความว่า เป็นกฎทั่วไป) เช่นกรณีพิเศษนี้

พิสูจน์ ถ้าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน F_i' และ G' สามารถใช้ค่า 1 และ 0 เพียงอย่างเดียว ดังนั้นกฎในสมการที่ 4.23 จะกลายเป็นกฎที่ไม่ใช้กฎของฟังก์ชัน

สำหรับคำถามที่ 2 จะมี 2 แนวทาง ที่สามารถหากฎ IF-THEN ได้ แนวทางที่ 1 สอบถามผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีประสบการณ์สูง แนวทางที่ 2 ให้เงื่อนไขการฝึกอบรมด้วยการวัดและเก็บข้อมูลจริง สำหรับแนวทางแรกเป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาสำหรับการหากฎ แต่ความเชี่ยวชาญของมนุษย์นั้นในบางกรณีอาจจะไม่พอสำหรับการสร้างกฎได้

สำหรับคำถามที่ 3 จะมี 2 แนวทางเช่นกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าได้กฎของฟังก์ชันมาจากวิธีใด ถ้ากฎของฟังก์ชันได้มาจากความเชี่ยวชาญของมนุษย์ ดังนั้นความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน F_i' และ G' ควรจะถูกกำหนดจากความเชี่ยวชาญของมนุษย์ เนื่องจากฟังก์ชันดังกล่าวจะรวมไปถึงส่วนของความรู้ไปด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้เชี่ยวชาญพูดว่า "IF the error is large ,THEN the control is large" เขาควรจะบอกว่าความหมายของคำว่า large โดยการกำหนดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน large ถ้ากฎของฟังก์ชันหาได้จากข้อมูลตัวเลข ดังนั้นประการแรกจะต้องหารูปแบบของฟังก์ชัน $\mu_{F_i'}$ และ $\mu_{G'}$ ซึ่งส่วนมากจะใช้ฟังก์ชัน Gaussian, triangular และ trapezoid โดยคุณสมบัติของ Gaussian จะมีความต่อเนื่อง แต่ triangular และ trapezoid นั้นจะเป็นฟังก์ชันที่ง่ายต่อการ

คำนวณหลังจากเลือกฟังก์ชัน μ_{F_1} และ μ_{G_1} ได้แล้ว ปัญหาต่อไปก็คือจะหาวิธีใดที่จะให้พารามิเตอร์ μ_{F_1} และ μ_{G_1} เป็นไปตามข้อมูลที่วัดได้

4.6 เครื่องอนุมานแบบฟัซซี

การอนุมานแบบฟัซซี โดยหลักการของฟัซซีลอจิกจะใช้ร่วมกับกฎของฟัซซี IF-THEN ในฐานความรู้ของฟัซซี โดยการแมพฟังก์ชันจากฟัซซีเซตใน $U = U_1 \dots U_n$ ไปยังฟัซซีเซตใน V สำหรับคำถามแรก เครื่องอนุมานแบบฟัซซีคืออะไร เราจะทำอย่างไรจึงจะแปลงกฎฟัซซี IF-THEN ในรูปแบบในสมการที่ 4.23 ? [6]

4.6.1 การแปลงของกฎฟัซซี (Interpretations of a Fuzzy IF-THEN)

จากสมการที่ 4.23 จะสามารถแปลงเป็นฟัซซีอิมพลีเคชัน $F_1^I \dots F_n^I \rightarrow G^I$ ใน $U \rightarrow V$ ให้ฟัซซีเซต A^I ใน U เป็นอินพุตไปยัง เครื่องอนุมานแบบฟัซซี ดังนั้นแต่ละกฎฟัซซี IF-THEN สมการที่ 4.23 สามารถหาฟัซซีเซตด้วยการใช้สัจพจน์คอมโพสิชัน ดังสมการที่ 4.13

$$\mu_{B^I}(y) = \sup_{x \in U} [\mu_{F_1^I \dots F_n^I}(x, y) * \mu_{A^I}(x)] \quad (4.24)$$

จากนิยามที่ 4.20 เราจะพบว่า มี 6 ตัวแปลงจากสมการที่ 4.17-4.22 สำหรับการทำฟัซซีอิมพลีเคชัน และแต่ละการแปลงเราอาจจะแสดงความแตกต่างด้วย t-norms หรือ t-conorms ดังนั้นกฎฟัซซี IF-THEN สมการที่ 4.23 สามารถแปลงได้หลายแนวทาง ดังต่อไปนี้เราได้แสดงการแปลงสำหรับกฎของฟัซซี IF-THEN เมื่อแสดงให้ง่ายคือ $F_1^I \rightarrow F_n^I = A$ และ $G^I = B$ และสมการที่ 4.23 ดังนั้นสามารถแสดงเป็น $A \rightarrow B$

- Mini-operation rule of fuzzy implication :

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(y)\} \quad (4.25)$$

- Product-operation rule of fuzzy implication :

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \mu_B(y) \quad (4.26)$$

- Arithmetic rule of fuzzy implication :

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min\{1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)\} \quad (4.27)$$

- Maxmin rule of fuzzy implication :

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{\min[\mu_A(x), \mu_B(y)], 1 - \mu_A(x)\} \quad (4.28)$$

- Boolean rule of fuzzy implication :

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max\{1 - \mu_A(x), \mu_B(y)\} \quad (4.29)$$

- Goguen's rule of fuzzy implication :

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \frac{1 - \mu_A(x) \mu_B(y)}{1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)} \quad (4.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_B(y) / \mu_A(x) \quad \mu_A(x) > \mu_B(y)$$

ในสมการที่ 4.25-4.30, $\mu_A(x) = \mu_{F_1, F_n}(x)$ ได้ถูกกำหนดเป็นไปตาม Mini-operation rule

$$\mu_{F_1, F_n}(x) = \min\{\mu_{F_1}(x_1), \dots, \mu_{F_n}(x_n)\} \quad (4.31)$$

หรือไม่ก็เป็นไปตาม Product-operation rule

$$\mu_{F_1, F_n}(x) = \mu_{F_1}(x_1) \cdot \mu_{F_n}(x_n) \quad (4.32)$$

4.6.2 คุณสมบัติของการแปลง

เราสามารถหาผลลัพธ์ เมื่อเราประยุกต์จากสมการที่ 4.25-4.30 ในการอนุมานในแบบพีชคณิตและโดยเฉพาะ GMP และ GMT ใน GMP เราจะได้ผลลัพธ์ B' ของสมการคอมโพสิชันดังแสดง

$$B' = A' \circ R \quad (4.33)$$

สำหรับ A' สามารถแสดงได้

$$A' : A' = A, A' = \text{very } A \text{ ((4.15)), } A' = \text{more or less } A \text{ ((4.14)) และ}$$

$A = A'$ เมื่อ R ได้แสดง $A \rightarrow B$ ในสมการ ที่ 4.25-4.30 และ \circ เป็น Sup-min operator ได้

แสดงในสมการที่ 4.13 เมื่อ $*$ = min ในทำนองเดียวกัน GMT เราได้แสดงผลลัพธ์ดังนี้

$$A' = R \circ B' \quad (4.34)$$

สำหรับ $B' = \bar{B}, \text{not very } B, \text{not more or less } B, \text{and } B$

อันดับแรก เราได้ใช้กฎโปรดักต์-โอเปอเรชัน ดังสมการที่ 4.26 ใน GMT ต่อไป

เราสมมติให้ $\sup_{x \in U} [\mu_A(x)] = 1$ ถ้า $A' = A$ ดังแสดง

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \sup_{x \in U} \{\min[\mu_A(x)\mu_B(y), \mu_A(x)]\} \\ &= \sup_{x \in U} [\mu_A(x)\mu_B(y)] \\ &= \mu_B(y) \end{aligned} \quad (4.35)$$

ถ้า $A' = \text{very } A$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \sup_{x \in U} \{\min[\mu_A(x)\mu_B(y), \mu_A^2(x)]\} \\ &= \mu_B(y) \end{aligned} \quad (4.36)$$

ถ้า $A' = \text{more or less } A$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \sup_{x \in U} \{\min[\mu_A(x)\mu_B(y), \mu_A^{1/2}(x)]\} \\ &= \mu_B(y) \end{aligned} \quad (4.37)$$

และถ้า $A' = \bar{A}$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{B'}(y) &= \sup_{x \in U} \{\min[\mu_A(x)\mu_B(y), 1 - \mu_A(x)]\} \\ &= \frac{\mu_B(y)}{1 + \mu_B(y)} \end{aligned} \quad (4.38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\mu_B(y)}{1 + \mu_B(y)} \quad (4.38)$$

เราได้ใช้กฎโปรดักต์โอเปอร์เรชั่น ดังสมการที่ 4.26 ใน GMT เราสมมติให้

$\sup_{y \in V} [\mu_B(y)] = 1$ ถ้า $B' = \bar{B}$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{A'}(x) &= \sup_{y \in V} \{ \min[\mu_A(x)\mu_B(y), 1 - \mu_B(y)] \} \\ &= \frac{\mu_A(x)}{1 + \mu_A(x)} \end{aligned} \quad (4.39)$$

ถ้า $B' = \text{not very } B$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{A'}(x) &= \sup_{y \in V} \{ \min[\mu_A(x)\mu_B(y), 1 - \mu_B^2(y)] \} \\ &= \frac{\mu_A(x) \sqrt{\mu_A^2(x) + 4 - \mu_A^2(x)}}{2} \end{aligned} \quad (4.40)$$

ถ้า $B' = \text{not more or very less } B$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{A'}(x) &= \sup_{y \in V} \{ \min[\mu_A(x)\mu_B(y), 1 - \mu_B^{1/2}(y)] \} \\ &= \frac{1 + 2\mu_A(x) - \sqrt{1 + 4\mu_A^2(x)}}{2\mu_A^2(x)} \end{aligned} \quad (4.41)$$

ถ้า $B' = B$ เราให้

$$\begin{aligned} \mu_{A'}(x) &= \sup_{y \in V} \{ \min[\mu_A(x)\mu_B(y), \mu_B(y)] \} \\ &= \mu_A(x) \end{aligned} \quad (4.42)$$

4.6.3 การแมพฟังก์ชันทั้งหมดของเครื่องอนุมานแบบฟัซซี่

สำหรับอินพุท A' (ฟัซซี่เซตใน U) เอาท์พุทเครื่องอนุมานแบบฟัซซี่ สามารถใช้ได้ 2 รูปแบบ (1) M ฟัซซี่เซต $B' (l=1, 2, \dots, M)$ ในรูปแบบของสมการที่ 4.24 กับแต่ละส่วนซึ่งสามารถหาได้โดยกฎของฟัซซี่ IF-THEN ส่วนหนึ่งในรูปแบบของสมการที่ 4.23 และ (2) ฟัซซี่เซต B' ซึ่งเป็นยูเนียนของ M ฟัซซี่เซต B' ซึ่งจะได้

$$\mu_{B'}(y) = \mu_{B^1}(y) + \dots + \mu_{B^M}(y) \quad (4.43)$$

ซึ่งจะเป็นอินพุทเดี่ยวและเอาท์พุทของเครื่องอนุมานแบบฟัซซี่สามารถเป็นการสะสมฟัซซี่เซตของ M หรือไม่ก็เป็นยูเนียนของฟัซซี่เซต M สำหรับความแตกต่างของเอาท์พุท ทั้งสองรูปแบบเราได้ใช้ความแตกต่างของตัวดีฟัซซี่ไฟล์เพื่อทำการดีฟัซซี่ไฟล์ไปยังจุดเดียวในเอาท์พุท สเปซ V

4.7 ตัวฟuzzyไฟล์

ตัวฟuzzyไฟล์จะทำการแมพฟuzzyจากจุดคริซ $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$ ไปยังฟuzzyเซต A' ใน U มีอย่างน้อย 2 ทางเลือกของการแมพฟuzzyนี้ [6]

- ตัวฟuzzyไฟล์แบบซิงเกิลตัน : ฟuzzyไฟล์แบบซิงเกิลตันกับซัพพอร์ต \underline{x} ซึ่ง $\mu_{A'}(\underline{x}') = 1$ สำหรับ $\underline{x}' = \underline{x}$ และ $\mu_{A'}(\underline{x}') = 0$ และอื่นๆ $\underline{x}' \in U$ กับ $\underline{x}' \neq \underline{x}$
- ตัวฟuzzyไฟล์แบบไม่ใช่ซิงเกิลตัน : $\mu_{A'}(\underline{x}) = 1$ และ $\mu_{A'}(\underline{x}')$ ได้ลดรูปลงจาก 1

$$\text{เช่น } \underline{x}' \text{ เคลื่อนที่จาก } \underline{x} \text{ ดังตัวอย่าง } \mu_{A'}(\underline{x}') = \exp\left[-\frac{(\underline{x}' - \underline{x})^T (\underline{x}' - \underline{x})}{\sigma^2}\right] \text{ เมื่อ } \sigma^2$$

เป็นรูปทรงกลมสมบัติพารามิเตอร์ของ $\mu_{A'}(\underline{x}')$

ดูเหมือนว่าจะมีการใช้ฟuzzyซิงเกิลตันเพียงอย่างเดียว แต่สำหรับตัวฟuzzyไฟล์แบบไม่ใช่ซิงเกิลตันอาจจะมีประโยชน์มากที่สุด ถ้าอินพุตมีการถูกรบกวน

4.8 ตัวดีฟuzzyไฟล์

ตัวดีฟuzzyไฟล์จะทำการแมพฟuzzyจากฟuzzyเซตใน V ไปยังจุดคริซ $y \in V$ ซึ่งมีอย่างน้อย 3 ทางเลือกของการแมพฟuzzyนี้ [6]

- Maximum defuzzifier กำหนดให้เป็น

$$y = \arg \sup_{y \in V} (\mu_B(y)) \quad (4.44)$$

เมื่อ $\mu_B(y)$ ดังแสดงในสมการที่ 4.43

- Center average defuzzifier กำหนดให้เป็น

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} (\mu_B(y^{-l}))}{\sum_{l=1}^M (\mu_B(y^{-l}))} \quad (4.45)$$

เมื่อ y^{-l} เป็นศูนย์กลางของฟuzzyเซต G^l ซึ่งจุดใน V ซึ่ง $\mu_{G^l}(y)$ จะเป็นค่าสูงสุดและ $\mu_B(y)$ ให้เป็นไปในสมการที่ 4.24

- Modified center average defuzzifier กำหนดให้

$$y = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} (\mu_B(y^{-l}) / \delta^l)}{\sum_{l=1}^M (\mu_B(y^{-l}) / \delta^l)} \quad (4.46)$$

เมื่อ δ^l เป็นคุณสมบัติรูปทรงพารามิเตอร์ของฟuzzyเซต $\mu_{G^l}(y)$ ดังเช่นรูปทรงที่แคบของ $\mu_{G^l}(y)$

ความเล็กจะเป็น δ^l ดังตัวอย่างถ้า $\mu_{G^l}(y) = \exp\left[-\left(\frac{y - y^{-l}}{\delta^l}\right)^2\right]$ ดังนั้น δ^l จะเป็นพารามิเตอร์

การปรับปรุงตัวพีชชีไฟล์แบบค่าเฉลี่ยกึ่งกลางสามารถทำได้ดังนี้ โดยแนวความคิดพื้นฐานได้แสดงความคมของรูปทรงของ $\mu_{G'}(y)$ จะทำให้ได้เอาท์พุท y ใกล้กับจุดกึ่งกลางของ G' (เป็นไปตามกฎ $R^{(1)}$ สมการที่ 4.23) สำหรับตัวพีชชีไฟล์ค่าเฉลี่ยศูนย์กลางแบบมาตรฐานในสมการที่ 4.45 จะเป็นการเฉลี่ยน้ำหนักของ y^{-1} และน้ำหนัก $\mu_{B'}(y^{-1})$ หาได้โดย สมการที่ 4.24 โดยไม่ได้ใช้รูปทรงของ $\mu_{G'}(y')$ มาพิจารณาจากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าไม่เป็นไปตามแนวคิดพื้นฐาน ดังนั้นเราสามารถแก้ไขได้โดย การปรับปรุงตัวพีชชีไฟล์ค่าเฉลี่ยศูนย์กลางดังสมการที่ 4.46



ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องควบคุมแบบตรรก ที่โปรแกรมได้

5.1 ที่มาและวิวัฒนาการของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้

การควบคุมแบบลำดับขั้น (Sequence Control) เป็นการควบคุมแบบหนึ่งที่ต้องการให้เครื่องจักรหรือระบบการทำงานตามช่วงเวลา ตามลำดับขั้นตอน ตลอดจนตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้โดยมีลักษณะของการควบคุมเป็นแบบ "ON" หรือ "OFF" การควบคุมแบบลำดับขั้นหรือแบบ ซีควอนซ์นี้จะพบเห็นอยู่เสมอในงานอุตสาหกรรมแทบทุกชนิด ตัวอย่างของการควบคุมแบบนี้ได้แก่ ระบบควบคุมเครื่องจักร ระบบลำรถอัตโนมัติ ระบบป้องกันวัตถุ ระบบการผลผลิต ระบบควบคุมลิฟท์ เป็นต้น

ในอดีตที่ผ่านมา ระบบควบคุมแบบซีควอนซ์จะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกล (Electromechanical Device) เช่น รีเลย์แม่เหล็กไฟฟ้า (Relay) ตัวตั้งเวลา (Timer) ตัวนับ (Counter) มาประกอบกันเป็นวงจรควบคุมเพื่อให้เครื่องจักรหรือระบบกระบวนการทำงานตามช่วงเวลา ตามลำดับขั้นตอน และตามเงื่อนไขที่วิศวกรหรือผู้ออกแบบระบบกำหนดได้ อย่างไรก็ตามระบบควบคุมแบบซีควอนซ์ที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกลที่กล่าวมานี้ มีข้อเสียมากคือขนาดของวงจรควบคุมจะมีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองทั้งเนื้อที่และพลังงานสูง ราคาแพง ไม่สามารถจะใช้กับระบบควบคุมที่มีขั้นตอนการทำงานยุ่งยากซับซ้อน เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นในวงจรควบคุมก็ตรวจสอบแก้ไขยาก การขยายระบบทำได้ยาก และที่สำคัญคือถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอนหรือเงื่อนไขของการทำงาน วงจรควบคุมแบบรีเลย์ที่มีอยู่เดิม จะเปลี่ยนแปลงเพื่อใช้กับงานใหม่ได้ยาก ต่อมาเมื่ออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Solid State Device) ได้แพร่หลาย และก้าวหน้าขึ้น จึงได้มีการนำเอาเกต (Gate) ต่างๆ มาประกอบกันเป็นวงจรควบคุมแทนรีเลย์ และสามารถลดข้อเสียของระบบเดิมลงไปได้มาก เช่น วงจรควบคุมแทนรีเลย์ และสามารถลดข้อเสียการขยายระบบทำได้ง่ายขึ้น และยังสามารถต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อการเก็บข้อมูลและอื่นๆ ได้เป็นต้น แต่ก็ยังไม่สามารถจะลดข้อเสียบางอย่างที่สำคัญลงได้ นั่นคือการตรวจสอบแก้ไข เมื่อมีปัญหาที่ยังทำได้ยาก และไม่สามารถจะเปลี่ยนแปลงลำดับขั้นตอน หรือเงื่อนไขของการทำงาน จึงได้มีการสร้างเครื่องควบคุมที่สามารถกำหนดโปรแกรมการทำงาน (Programmable Controller) ขึ้นมาเพื่อให้นำมาประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมแบบซีควอนซ์ได้ทุกระบบโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขวงจรควบคุมแต่อย่างใด

5.1.1 วิวัฒนาการของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

PLC หรือ Programmable Logic Controllers และ PC หรือ Programmable Controller เป็นเครื่องควบคุมที่สามารถกำหนดโปรแกรมการทำงานได้ PLC/PC ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์นอกจากจะใช้ในการควบคุมเครื่องจักรโดยทั่วไปแล้ว ยังมีการพัฒนาให้มีความสามารถและขอบเขตของงานได้กว้างขวางขึ้น เช่น มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น ทำให้การควบคุมเป็นได้ทั้งแบบ ON-OFF หรือแบบอนาล็อก เช่น PID (Proportional +Integral +Derivative) สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์วัดและควบคุม (Instrumentation) อื่นๆ จำนวนของอินพุต/เอาต์พุต(Input/Output) ขยายให้มากขึ้นได้ หรือการใช้อินพุต/เอาต์พุตแบบรีโมท (Remote) เพื่อลดการเดินสาย การติดต่อสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ ตลอดจนอุปกรณ์พิเศษอื่นๆ เช่น เครื่องอ่านรหัสแถบเพื่อจำแนกหรือจัดทำฐานข้อมูล การเชื่อมโยงข้อมูลลักษณะโครงข่ายท้องถิ่น (LAN) เป็นต้น หน่วยความจำก็ขยายได้มาก ทำให้ใช้กับระบบกระบวนการใหญ่ๆได้ และมีการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลได้ตามต้องการ [7-9]

5.1.2 สรุปข้อดีของ PLC/PC

ข้อดีของ PLC/PC สามารถจำแนกออกได้เป็นข้อๆดังนี้

1. ลีนเปลืองเนื้อที่น้อยเพราะมีขนาดเล็ก
2. สามารถจะใช้ควบคุมเครื่องจักรหรือระบบกระบวนการใดๆก็ได้ถ้าเลือกขนาดของ PLC/PC ที่เหมาะสม
3. การเปลี่ยนลำดับขั้นตอนหรือเงื่อนไขของการทำงานก็ทำได้ตามต้องการ เพราะใช้หลักของการโปรแกรม
4. ตัวตั้งเวลาและตัวนับจะเป็นซอฟต์แวร์ ทำให้การกำหนดค่าต่างๆ่ายเปลี่ยนแปลงค่าได้ตลอดเวลาไม่ต้องมีฮาร์ดแวร์ร่วม และทำให้ราคาถูกลง
5. รีเลย์ภายใน(Internal relay) ก็เป็นซอฟต์แวร์เช่นเดียวกัน จึงลดค่าใช้จ่ายในการเดินสาย ลดฮาร์ดแวร์ และทำให้ขนาดเล็กลงด้วย
7. การติดตั้งทำ ได้ง่ายและสะดวก
8. การขยายระบบให้ใหญ่ขึ้นทำได้โดยง่าย
9. ราคาถูกกว่าระบบรีเลย์
10. ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ดีเพราะเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ไม่มีการเดินสายมาก ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับหน้าสัมผัส (Contact) แบบรีเลย์
11. มีระบบตรวจสอบหาที่ผิดพลาดด้วยตัวเอง การตรวจสอบแก้ไขเมื่อมีปัญหา จึงทำได้เร็ว

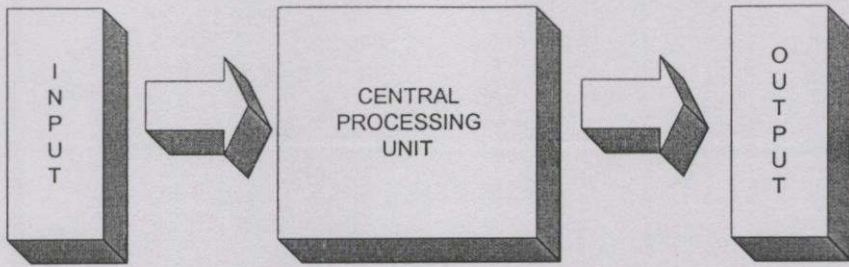
12. ลดการเดินสายยาวๆและลดค่าใช้จ่ายในการเดินสายได้ เพราะมีอินพุท เอาท์พุทแบบรีโมท
13. การบำรุงรักษาทำได้ง่าย
14. เวลาในการทำงานเร็วกว่าระบบที่ใช้รีเลย์
15. มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้แก่ บวก ลบ คูณ หาร และอื่นๆ ทำให้สามารถใช้สำหรับการควบคุมแบบ ON-OFF หรือแบบอนาล็อก เช่น PID ได้
16. สามารถเชื่อมต่อ กับอุปกรณ์การวัด เช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) และอื่นๆได้นอกจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่เป็นสวิตช์
17. ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ เช่น การเก็บข้อมูลการกระจายการควบคุม(Distributed Control) เป็นต้น
18. การโปรแกรมทำได้หลายแบบ เช่น คำสั่งในรูปของแลตเตอร์ไดอะแกรม คำสั่งบูลีนคำสั่งในรูปบล็อก หรือคำสั่งภาษาเบสิก
19. ใช้ได้ในทุกสภาพแวดล้อมของงานอุตสาหกรรม
20. การโปรแกรมทำได้โดยใช้เครื่องป้อนโปรแกรม (Program Loader) หรือโปรแกรมลงบน CRT

จากที่กล่าวมานี้จะเห็นว่า PLC/PC เป็นเครื่องควบคุมที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์อย่างยิ่งต่องานอุตสาหกรรมในปัจจุบันและในอนาคต

5.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้หรือ PLC/PC เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับควบคุมเครื่องจักร หรือระบบกระบวนการให้ทำงานตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ (User Program) และข้อมูลต่างๆ ที่ได้รับจากอินพุท/เอาท์พุทของ PLC/PC จะเป็นได้ทั้งการทำงานตามช่วงเวลา ตามลำดับขั้นตอนฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ และอื่นๆ PLC/PC มีส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ [7-9]

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU (Central Processing Unit)
2. หน่วยอินพุท/เอาท์พุท (Input/Output Unit)



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมของ PLC/PC

นอกจากส่วนประกอบทั้งสองแล้ว PLC/PC ยังประกอบด้วยหน่วยป้อนโปรแกรม ผู้ใช้สามารถติดต่อกับ PLC/PC หรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมคำสั่งตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร หรือระบบกระบวนการ ตลอดจนตรวจสอบสภาพการทำงานของ PLC/PC ได้ทางหน่วยป้อนโปรแกรม เพื่อป้อนหรือเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรม คำสั่งตรวจสอบสภาพการทำงานของเครื่องจักร หรือระบบกระบวนการ ตลอดจนตรวจสอบสภาพการทำงานของ PLC/PC

รูปที่ 5.1 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญทั้ง 2 ส่วนของ PLC/PC

5.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง

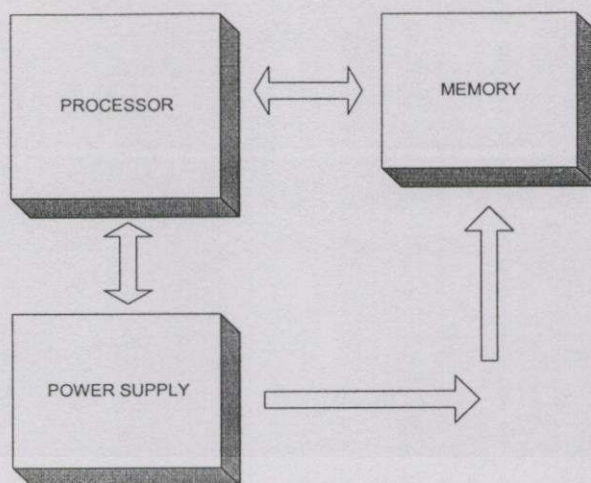
หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

5.2.1.1 หน่วยประมวลผล (Processor)

5.2.1.2 หน่วยความจำ (Memory)

5.2.1.3 หน่วยจ่ายกำลัง (Power Supply)

รูปที่ 5.2 แสดงส่วนประกอบของ CPU โดยทั่วไป CPU จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งเป็น วงจรรวม (I.C. : Integrated Circuit) ที่มีความสามารถทั้งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การจัดการข้อมูล และการตรวจสอบตัวเอง ในขณะที่วงจรรวมที่ใช้รีเลย์หรือไอซีพวงแหวน ต่างๆ ไม่สามารถจะทำได้ PLC/PC จึงมีข้อดีและประโยชน์มากกว่าระบบแบบเก่าอย่างเห็นได้ชัด

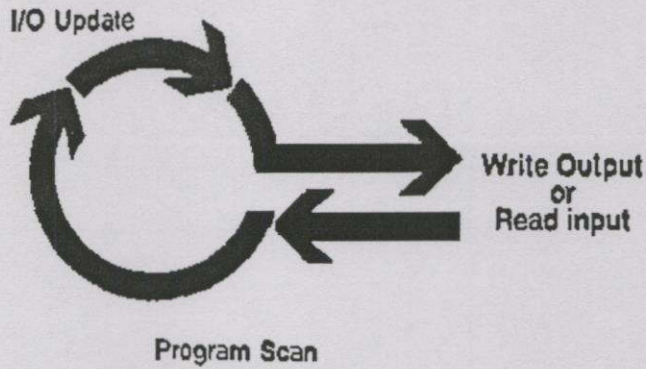


รูปที่ 5.2 บล็อกไดอะแกรมของ CPU

5.2.1.1 หน่วยประมวลผล

หน่วยประมวลผลของ CPU ทำหน้าที่ควบคุมและดูแลการทำงานของระบบทั้งหมด โดยรับข้อมูลจากหน่วยอินพุตมาทำการประมวลผลตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ และส่งผลที่ได้ออกไปยังหน่วยเอาต์พุต ในปัจจุบันหน่วยประมวลผลของ CPU จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดตั้งแต่ 4 บิต 8 บิต หรือ 16 บิต จำนวน 1 ตัว หรือหลายๆ ตัวมาทำงานร่วมกัน ในกรณีที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์หลายๆ ตัว จะมีข้อดีคือ การทำงานของระบบจะเร็วขึ้น ทำให้ PLC/PC มีขีดความสามารถสูงขึ้น เช่น การใช้ชุดเชื่อมต่อพิเศษที่มีไมโครโปรเซสเซอร์และหน่วยความจำภายใน จะทำให้การทำงานควบคุมดียิ่งขึ้นและเป็นอิสระไม่ขึ้นกับ CPU ตัวอย่างก็คือชุดควบคุม PID ที่ใช้สำหรับควบคุมระบบแบบลูปปิด (Closed-Loop Control) ซึ่งทำงานอิสระจาก CPU

การทำงานของ CPU 1 รอบ เริ่มจากการรับข้อมูลจากการรับข้อมูลจากหน่วยอินพุตเข้ามา ประมวลผลตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ ส่งผลที่ได้ไปยังหน่วยเอาต์พุต ตรวจสอบการทำงานของระบบทั้งหมดและติดต่อกับผู้ใช้ เรียกว่าการ SCAN โดยทั่วไปเวลา SCAN ของ CPU จะใช้เวลาประมาณ 0.001 ถึง 0.1 วินาที เวลา SCAN จะอ้างอิงถึงขนาดของหน่วยความจำที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้เสมอ เช่น เวลา SCAN เท่ากับ 0.01 วินาทีต่อโปรแกรมคำสั่งขนาด 1 กิโลไบต์ (K-byte) อย่างไรก็ตามเวลา SCAN จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เช่นการใช้ชุดอินพุต/เอาต์พุตแบบรีโมทจะทำให้เวลา SCAN ของ CPU เพิ่มขึ้น



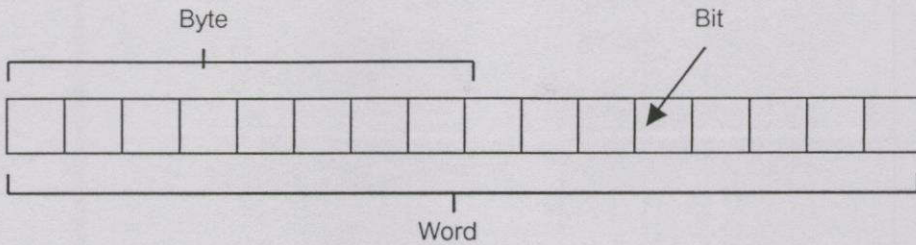
รูปที่ 5.3 การ SCAN ของ CPU

ช่วงเวลา SCAN ของ CPU จะทำให้ทราบถึงความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุต/เอาต์พุต ของ PLC/PC ว่ารวดเร็วเพียงไร เวลา SCAN จึงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการเลือกใช้ PLC/PC ให้เหมาะสมกับงาน เช่น ถ้าต้องการที่จะตรวจสอบสัญญาณอินพุตที่เปลี่ยนค่าสภาวะถึง 2 ครั้งภายใน 0.008 วินาที การใช้ PLC/PC ที่มีช่วงเวลา SCAN เท่ากับ 0.01 วินาที จะไม่สามารถตรวจสอบค่าสภาวะที่ถูกต้อง และอาจทำให้เครื่องจักรหรือกระบวนการที่ควบคุมทำงานผิดพลาดได้ นอกจากนี้ หน่วยประมวลผลใน CPU ยังทำหน้าที่ในการติดต่อกับระบบย่อย (Sub system) ตรวจสอบความผิดพลาดต่างๆ เช่น การทำงานของ หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หรือสภาพของแบตเตอรี่จ่ายกำลังสำรอง เป็นต้น

5.2.1.2 หน่วยความจำ

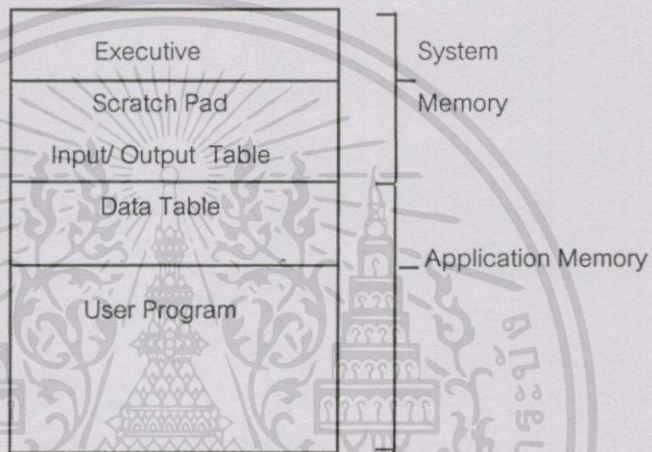
หน่วยความจำ เป็นที่เก็บโปรแกรมและข้อมูลที่หน่วยประมวลผลใช้ในการควบคุมการทำงานของ PLC/PC และการทำงานตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ ขนาดของหน่วยความจำจะแบ่งออกเป็นบิตข้อมูลภายในหน่วยความจำ 1 บิต จะมีค่าสภาวะทาง ลอจิก "1" หรือ "0" ข้อมูลขนาด 8 บิต และ 16 บิต รวมกันเรียกว่าไบต์ (Byte) และ เวิร์ด (Word) ตามลำดับ

หน่วยความจำแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือหน่วยความจำที่ข้อมูลสูญหายเมื่อไม่มีแหล่งจ่ายกำลัง (Volatile) และหน่วยความจำที่ข้อมูลคงอยู่แม้ไม่มีแหล่งจ่ายกำลัง (Non-Volatile) หรืออาจจะแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ตามคุณลักษณะคือ RAM (Random Access Memory) หรือ NOVRAM (Non-Volatile RAM) และ ROM (Read Only Memory) นอกจากนี้ ROM ยังจำแนกออกได้เป็น PROM (Programmable ROM) EPROM (Erasable Programmable ROM) EAROM (Electrically Alterable ROM) และ EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)



รูปที่ 5.4 ข้อมูลเป็น บิต ไบท์ และเวิร์ด

หน่วยความจำของ PLC/PC แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ตามรูปที่ 5.5 เพื่อให้เก็บข้อมูลและโปรแกรมต่างๆ คือ



รูปที่ 5.5 หน่วยความจำของ PLC/PC

1. โปรแกรมจัดการ (Execute program) เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าควบคุม ดูแล และตรวจสอบการทำงานของ PLC/PC ทั้งหมด
2. ข้อมูลชั่วคราว (Processor Work Area หรือ Scratch pad) หน่วยความจำส่วนที่สอง ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นระหว่าง PLC/PC ทำงานตามโปรแกรมจัดการและโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้
3. ตารางข้อมูล (Data Table) หน่วยความจำส่วนที่สามทำหน้าที่เก็บ ค่าของอินพุทเอาต์พุท และตัวแปรต่างๆ จากการทำงานตามโปรแกรมคำสั่ง ของผู้ใช้ ทั้งที่เป็นค่า สภาวะทางลอจิกและตัวเลข
4. หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้ (User Program Memory)

Input Table	Data Table
Output Table	Area
Internal Storage Bits	
Storage Registers	
Control Program	User Program Area
Instructions	

รูปที่ 5.6 หน่วยความจำสำหรับผู้ใช้

หน่วยความจำของผู้ใช้จะแตกต่างกันตามขนาดของ PLC/PC ใน PLC หรือ PC ขนาดใหญ่ขนาดของหน่วยความจำดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้ตามต้องการ การเลือกใช้ PLC/PC จึงต้องคำนึงถึงขีดความสามารถและขีดจำกัดต่างๆ ประกอบด้วย เช่น ขนาดโปรแกรม คำสั่งของผู้ใช้ จำนวนอินพุท/เอาต์พุทที่จะขยายได้สูงสุด ขนาดของหน่วยความจำภายในที่ใช้เก็บข้อมูล และฟังก์ชันพิเศษต่างๆ เช่น รีเลย์ภายใน ตัวตั้งเวลา และตัวนับ

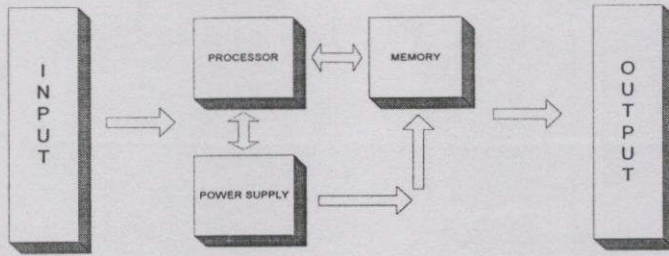
5.2.1.3 หน่วยจ่ายกำลัง

หน่วยจ่ายกำลังจะทำหน้าที่จ่ายและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (D.C Voltage) ให้กับหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ และหน่วยอินพุท/เอาต์พุท ตามความต้องการ และทำหน้าที่เตือนให้หน่วยประมวลผลทราบเมื่อเกิดปัญหา

5.2.2 หน่วยอินพุท/เอาต์พุท

หน่วยอินพุททำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่าง CPU กับอุปกรณ์ภายนอก โดยรับค่าสถานะหรือปริมาณทางกายภาพต่างๆ จากอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ของเครื่องจักรหรือกระบวนการ เช่น ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) พร็อกซิมีตีส์วิตช์ (Proximity Switch) ตำแหน่งอุณหภูมิ ระดับแรงดัน กระแสไฟ และอื่นๆ ส่งไปยัง CPU เพื่อประมวลผลตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้

หน่วยเอาต์พุททำหน้าที่รับค่าสถานะหรือคำสั่งควบคุมที่ได้จาก CPU เพื่อส่งไปควบคุมอุปกรณ์ภายในเครื่องจักรหรือกระบวนการเช่น วาล์ว(Valve) มอเตอร์(Motor) ปั๊ม(Pump) และอื่นๆให้ทำงานตามค่าสถานะหรือคำสั่งที่ CPU ต้องการ



รูปที่ 5.7 บล็อกไดอะแกรมของหน่วยอินพุท/เอาต์พุท

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในช่วงแรก PLC/PC ถูกใช้แทนรีเลย์สำหรับการควบคุมแบบ ON-OFF หน่วยอินพุท/เอาต์พุทในขณะนั้นจึงเป็นแบบที่ใช้สำหรับค่าสภาวะลอจิกเท่านั้น แต่ต่อมาเมื่อ PLC/PC ได้ถูกพัฒนาจนมีการควบคุมแบบอนาล็อกรวมอยู่ด้วย โดยใช้หน่วยอินพุท/เอาต์พุทที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อ รับ-ส่งสัญญาณแบบอนาล็อกโดยเฉพาะ ปัจจุบันหน่วยอินพุทและเอาต์พุทของ PLC/PC อาจแบ่งได้ดังนี้คือ

5.2.2.1 อินพุท/เอาต์พุทแบบค่าสภาวะลอจิก

อินพุท/เอาต์พุทแบบนี้จะใช้กันมากที่สุด ข้อมูลจะมีค่าสภาวะอยู่ 2 สภาวะคือ "1" หรือ "ON" หมายถึง สวิตช์ หรือหน้าสัมผัสของรีเลย์แตะกัน และสภาวะ "0" หรือ "OFF" หมายถึง สวิตช์หรือหน้าสัมผัสของรีเลย์เปิดออก

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุทมีหลายแบบ การเลือกใช้หน่วยอินพุท/เอาต์พุท แบบค่าสภาวะลอจิกจึงต้องเลือกใช้ให้ถูกต้อง ตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็น ตัวอย่างของอุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทแบบลอจิก

ตารางที่ 5.1 อุปกรณ์ อินพุท/เอาต์พุทแบบค่าสภาวะลอจิก

อุปกรณ์ทางด้านอินพุท	อุปกรณ์ทางด้านเอาต์พุท
Selector Switches	Alarms
Push Buttons	Control Relays
Photoelectric Eyes	Fans
Limit Switches	Lights
Circuit Breakers	Horns
Proximity Switches	Valves
Level Switches	Motor Starters
Motor Starter Contacts	Solenoid
Relay Contacts	

5.2.2.2 อินพุท/เอาต์พุทแบบค่าตัวเลข

หน่วยอินพุท/เอาต์พุทแบบค่าตัวเลขนี้จะมีอยู่ใน PLC/PC ตั้งแต่ขนาดกลางที่มีฟังก์ชัน การคำนวณทางคณิตศาสตร์รวมอยู่ด้วย โดยทั่วไปแล้วหน่วยอินพุท/เอาต์พุทแบบค่าตัวเลขนี้จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือหน่วยอินพุท/เอาต์พุทสำหรับสัญญาณอนาล็อก และหน่วยอินพุท/เอาต์พุท สำหรับค่าสภาวะแบบหลายบิต

หน่วยอินพุทสำหรับสัญญาณอนาล็อกจะรับสัญญาณอินพุทจากอุปกรณ์ต่างๆ และหน่วยเอาต์พุทจะส่งสัญญาณอนาล็อกไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ตารางที่ 5.2 แสดงถึงอุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทบางแบบ

ตารางที่ 5.2 อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทแบบค่าตัวเลข

อุปกรณ์อินพุทแบบอนาล็อก	อุปกรณ์เอาต์พุทแบบอนาล็อก
Temperature Transducers	Analog Valves and Actuators
Pressure Transducers	Chart Recorders
Load Cell Transducers	Electric Motor Drives
Humidity Transducers	Analog Meters
Flow Transducers	

5.2.2.3 อินพุท/เอาต์พุทสำหรับค่าสภาวะแบบหลายบิต

หน่วยอินพุท/เอาต์พุทสำหรับค่าสภาวะแบบหลายบิตนี้ จะทำงานเหมือนกับหน่วยอินพุทเอาต์พุท แบบค่าสภาวะลอจิกทุกอย่าง ต่างกันก็แต่เพียงการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งสามารถทำได้ครั้งละหลายๆ บิตในเวลาเดียวกัน เช่น อินพุท/เอาต์พุทแบบ BCD เป็นต้น ตารางที่ 5.3 แสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับหน่วยอินพุท/เอาต์พุทสำหรับค่าสภาวะแบบหลายบิต

ตารางที่ 5.3 อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุทสำหรับค่าสภาวะแบบหลายบิต

อุปกรณ์อินพุทแบบหลายบิต	อุปกรณ์เอาต์พุทแบบหลายบิต
Thumbwheel Switches	Seven - Segment Displays
Bar Codes Readers	Intelligent Display

5.2.2.4 อินพุท/เอาต์พุทแบบพิเศษ

สำหรับ PLC/PC ตั้งแต่ขนาดกลางขึ้นไปจะสามารถนำเอาหน่วยอินพุทเอาต์พุท แบบพิเศษมาต่อเพื่อใช้งานเฉพาะด้านได้ อินพุท/เอาต์พุทสำหรับงานเฉพาะด้านนั้นมีหลายอย่างดังต่อไปนี้

1. อินพุทที่เป็นเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Input) หน่วยอินพุทสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนี้จะทำหน้าที่ปรับระดับสัญญาณ (Signal Conditioning) ที่รับมาโดยตรงจากเทอร์โมคัปเปิลให้มีระดับที่เหมาะสม การทำงานของหน่วย อินพุทชนิดนี้จะเหมือนกับหน่วยอินพุทสัญญาณอนาล็อกจาก เทอร์โมคัปเปิลนี้จะถูกกรอง ขยาย และทำให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นถูกส่งไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อการทำงานตามโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้
2. อินพุทที่เป็นพัลส์หน่วยอินพุทสำหรับรับอินพุทที่เป็นพัลส์นี้จะทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็วกว่า 1 ช่วงเวลาของการ SCAN ของ CPU
3. อินพุท/เอาต์พุทที่เป็นรหัส ASCII หน่วยอินพุท/เอาต์พุทแบบนี้ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูลที่เป็นตัวอักษรในรหัส ASCII
4. อินพุทที่เป็นสเตรนเกจ (Strain Gage Input) หน่วยอินพุทสำหรับสัญญาณอนาล็อกจากสเตรนเกจเหมือนกับหน่วยอินพุทสำหรับเทอร์โมคัปเปิล แตกต่างกันที่วงจรปรับระดับสัญญาณ ซึ่งถูกออกแบบไว้รับสัญญาณจากสเตรนเกจเท่านั้น
5. เอาต์พุทที่เป็นพัลส์ (Pulse Output) หน่วยเอาต์พุทนี้ทำหน้าที่ส่งพัลส์ไปควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์ โดยเฉพาะ ตำแหน่งของมอเตอร์จะถูกกำหนดจากจำนวนของพัลส์เอาต์พุทที่ถูกนับไว้ก่อน และคำสั่งให้หมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา
6. หน่วยเชื่อมต่อเซอร์โว (Servo Interface) หน่วยเชื่อมต่อเซอร์โว เป็นหน่วยอินพุทเอาต์พุทที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อตรวจสอบ และควบคุมตำแหน่งของเครื่องจักรโดยเฉพาะ เช่นการควบคุมในระบบ NC (Numerical Control)
7. หน่วย APM (Axis Positioning Module) หน่วย APM เป็นหน่วยเชื่อมต่อของ PC ที่ได้รับการออกแบบขึ้นเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบ และควบคุมตำแหน่งของเครื่องจักร เช่นเดียวกับหน่วยเชื่อมต่อเซอร์โว แต่สามารถจะเข้าร่วมกับการควบคุมแบบซีคอนซ์ได้โดยที่การทำงานที่แยกเป็นอิสระจาก CPU
8. หน่วย PID เป็นหน่วยอินพุท/เอาต์พุทที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้ควบคุมในระบบลูปปิดที่ต้องการฟังก์ชัน การควบคุมแบบ PID (Proportional ,Integral ,Derivative)
9. หน่วยเชื่อมต่อโครงข่าย (Network Interface Module) หน่วยเชื่อมต่อนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อเพิ่มสมรรถนะการทำงานของ PC ให้สูงขึ้น โดยช่วยให้ PC หลายๆ ระบบเชื่อมต่อกันและติดต่อกันได้ หรือติดต่อกับระบบคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นหน่วยควบคุมหลัก

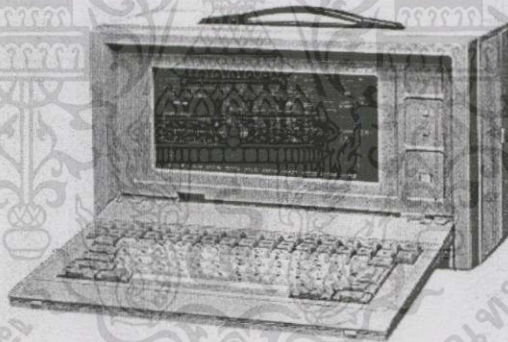
10. หน่วยอินพุท/ เอาท์พุทแบบรีโมท หน่วยอินพุท/ เอาท์พุทแบบรีโมท จะใช้กับ PC ขนาดใหญ่ที่มี อินพุท/เอาท์พุท จำนวนมากๆ และมีระบบย่อยๆ หลายระบบ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์จากจุดต่างๆ หลายจุดในเวลาเดียวกัน ภายใต้การควบคุมของ CPU

5.2.3 หน่วยป้อนโปรแกรม

หน่วยป้อนโปรแกรมของ PLC/PC ทำหน้าที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้และ PLC/PC ทั้งระบบ คือ การป้อนโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้เข้าสู่หน่วยความจำของ CPU ตรวจสอบสถานะการทำงาน รับ-ส่งข้อมูลระหว่าง CPU กับหน่วยป้อนโปรแกรม รับ-ส่ง ข้อมูลระหว่าง CPU กับเทป หรืออื่นๆ ตามฟังก์ชันการใช้งานที่มีอยู่ หน่วยป้อนโปรแกรมของ PLC/PC แบ่งออกได้หลายชนิดคือ

5.2.3.1 เครื่องป้อนโปรแกรมแบบ CRT

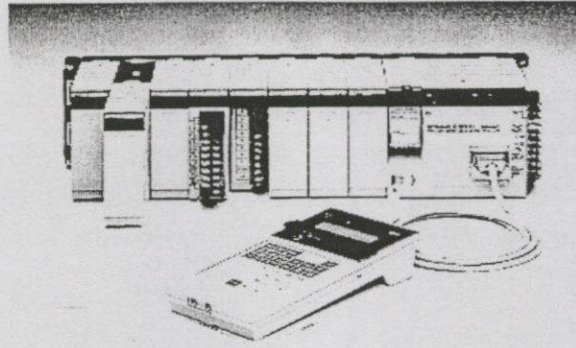
หน่วยป้อนโปรแกรม CRT ประกอบด้วยจอภาพและแป้นพิมพ์ เป็นเครื่องป้อนโปรแกรมแบบที่สะดวกที่สุดเครื่องป้อนโปรแกรมแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือแบบดัมป์ CRT(Dumb CRT) ซึ่งเป็นแบบที่ไม่มีหน่วยประมวลผลภายในตัว การทำงานทุกอย่างจะถูกควบคุมจาก CPU ของ PLC/PC และแบบอินเทลลิเจนต์ CRT (Intelligent CRT) ซึ่งจะมีหน่วยประมวลผลภายในตัว การทำงานเป็นอิสระจาก CPU จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบ ดัมป์



รูปที่ 5.8 เครื่องป้อนโปรแกรมแบบ CRT

5.2.3.2 เครื่องป้อนโปรแกรมขนาดเล็ก (Mini Programmer)

เป็นเครื่องป้อนโปรแกรมขนาดเล็กที่สามารถพกติดตัวและเคลื่อนย้ายไปมาได้สะดวก แต่ประสิทธิภาพจะด้อยกว่าเครื่องป้อนโปรแกรมแบบ CRT ปกติแล้ว จะใช้จอ LCD ในการแสดงผล เครื่องป้อนโปรแกรมแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบอินเทลลิเจนต์ และ แบบดัมป์



รูปที่ 5.9 เครื่องป้อนโปรแกรมขนาดเล็กหรือพกพา

5.2.3.3 เครื่องป้อนโปรแกรมลงในหน่วยหน่วยความจำของ PLC/PC หรือ เทป

เครื่องป้อนโปรแกรมแบบนี้สามารถใช้ป้อนหรือแก้ไขโปรแกรมคำสั่งของผู้ใช้เข้าไปในหน่วยความจำของ PLC/PC ได้โดยตรงหรือใช้ในการรับ-ส่งโปรแกรมและส่งข้อมูลต่างๆ ระหว่าง PLC/PC และเทป

5.2.3.4. เครื่องป้อนโปรแกรมลงในหน่วยความจำ (Memory Burner)

เครื่องป้อนโปรแกรมแบบนี้ทำหน้าที่ถ่ายโปรแกรมที่มีอยู่ลงเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบ ROM เพื่อให้โปรแกรมต่างๆ คงอยู่ตลอดเวลา เมื่อโปรแกรมต่างๆ ได้ถูกตรวจสอบและแก้ไขจนเรียบร้อยสมบูรณ์แล้ว

5.2.3.5. คอมพิวเตอร์

เครื่องควบคุม PLC/PC บางรุ่นได้ออกแบบให้ สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ เพื่อให้การโปรแกรมทุกอย่างสามารถทำบนคอมพิวเตอร์ได้

5.3 ลักษณะการโปรแกรมให้กับเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคำสั่งสำหรับ PLC/PC นั้นสามารถจะจำแนกออกได้เป็น 4 ภาษาคือ

1. ภาษาแลตเตอร์ไดอะแกรม
2. ภาษาคำสั่งบูลีน
3. ภาษาคำสั่งในรูปแบบล็อก
4. ภาษาระดับสูง

ภาษาแลตเตอร์ไดอะแกรมหรือคำสั่งบูลีนเป็นภาษาที่นิยมใช้และเข้าใจ ได้ง่ายสำหรับการเขียนโปรแกรมคำสั่งของ PLC/PC ในการควบคุมแบบซีควีนซ์ที่เป็น ON-OFF การเขียนโปรแกรมคำสั่งในภาษาแลตเตอร์ ไดอะแกรมหรือคำสั่งบูลีนจึงใช้กันมากใน PLC หรือ PC ทุกขนาด ส่วน

ภาษาคำสั่งในรูปแบบบล็อก หรือ ภาษาระดับสูง เช่นภาษาซี ภาษาปาสคาล ภาษาฟอร์แทรน นั้น จะเหมาะสำหรับ PLC/PC ในการควบคุมแบบอนาล็อกการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลการทำรายงาน และอื่นๆ ซึ่งมักจะเป็น PLC ขนาดใหญ่ PLC แต่ละแบบอาจใช้คำสั่งเพียงภาษาเดียวหรือหลายภาษารวมกันในการเขียนโปรแกรมคำสั่งได้ เช่น ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรมร่วมกับ คำสั่งบูตลินเพียงภาษาเดียว หรือใช้ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรมหรือคำสั่งในรูปแบบบล็อก ภาษาคำสั่งบูตลินร่วมกับ คำสั่งในรูปแบบบล็อก หรือภาษาคำสั่งบูตลินร่วมกับภาษาระดับสูง เป็นต้น อย่างไรก็ตามในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเขียนโปรแกรมคำสั่งของ PLC/PC โดยใช้ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม และคำสั่งบูตลินเท่านั้น

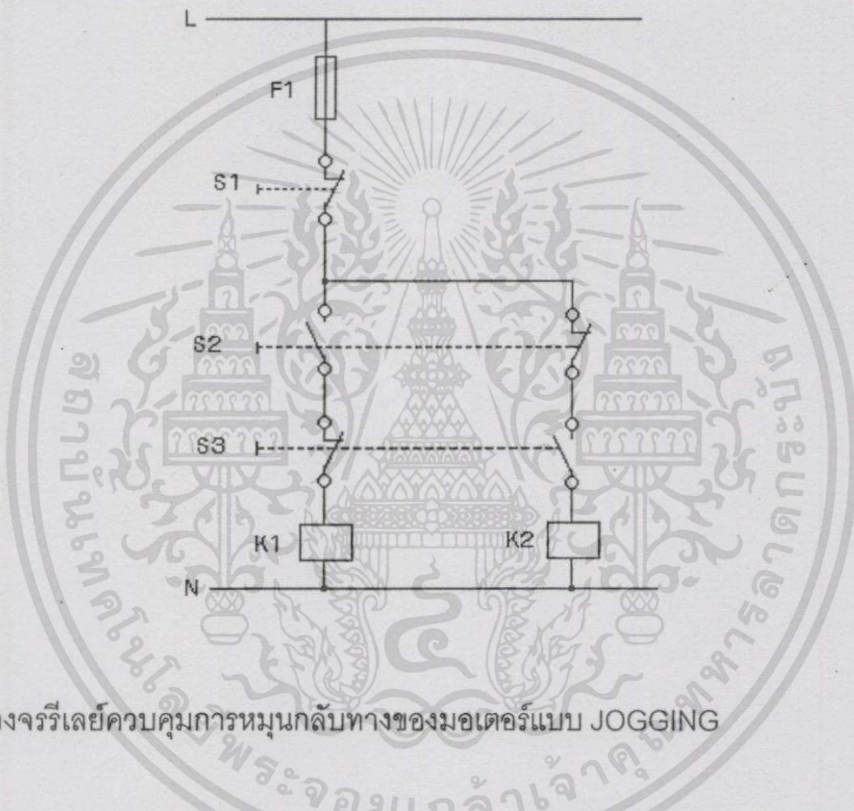
5.3.1 โปรแกรมภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม

สัญลักษณ์พื้นฐานของภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม ดังที่ทราบกันแล้วว่า PLC/PC เป็นเครื่องควบคุมที่ใช้วิธีการโปรแกรม และใช้ซอฟต์แวร์แทนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น รีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมคำสั่งจึงใช้สัญลักษณ์พื้นฐานต่อไปนี้แทนอุปกรณ์ต่างๆ

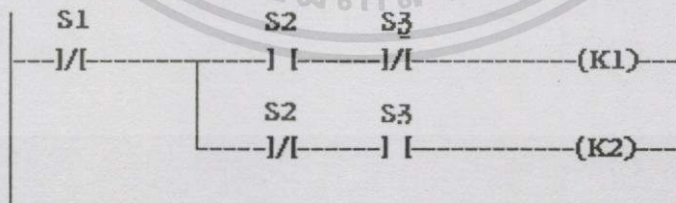
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างของการใช้ฟังก์ชันลอจิก และสัญลักษณ์พื้นฐานในการเขียนโปรแกรมแลดเดอร์ของ PLC/PC

สัญลักษณ์	ความหมาย
++-] [--+	จะใช้แทนอุปกรณ์ทางด้านอินพุตต่างๆ ได้แก่ สวิตช์ ไฟฟ้าหรือหน้าสัมผัสของรีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ หรือรีเลย์ภายในเป็นต้น โดยที่อุปกรณ์นั้นปกติจะมีค่า สภาวะเป็นลอจิก "0" หน้าสัมผัสปกติเปิดหรือ N.O.
++-] / [--+	จะใช้แทนอุปกรณ์ทางด้านอินพุตต่างๆ ได้แก่ สวิตช์ไฟฟ้าหรือหน้าสัมผัสของรีเลย์ ตัวตั้งเวลา ตัวนับ หรือรีเลย์ภายในเป็นต้น โดยที่อุปกรณ์นั้นปกติจะมีค่าสภาวะเป็นลอจิก "1"
++-()--+	เอาท์พุทปกติไม่ทำงานจะใช้แทนอุปกรณ์ทางด้านเอาท์พุทต่างๆ ได้แก่ หลอดไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้า ขดลวดของรีเลย์ ขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid) ตัวตั้งเวลา ตัวนับ รีเลย์ภายใน เป็นต้น โดยที่ปกติแล้วอุปกรณ์ทางด้านเอาท์พุทจะมีค่าสภาวะเป็นลอจิก "0"
++-(/)--+	เอาท์พุทปกติทำงาน จะใช้แทนอุปกรณ์ทางด้านเอาท์พุทต่างๆ ได้แก่ หลอดไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้า ขดลวดของรีเลย์ ขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid) ตัวตั้งเวลา ตัวนับ รีเลย์ภายใน เป็นต้น โดยที่ปกติแล้วอุปกรณ์ทางด้านเอาท์พุทจะมีค่า สภาวะเป็น ลอจิก "1"

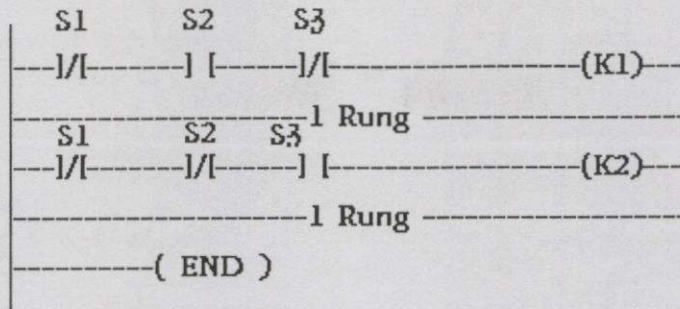
ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม เป็นการโปรแกรมที่เข้าใจได้ง่าย เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับรีเลย์ไดอะแกรมจึงทำได้ง่าย ดังตัวอย่างแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง รีเลย์ไดอะแกรมซึ่งเป็นวงจรควบคุมการกลับทางหมุนของมอเตอร์แบบ JOGGING ในรูปที่ 5.10 และเปลี่ยนมาใช้ PLC/PC ควบคุมโดยเขียนเป็นโปรแกรมแลดเดอร์ไดอะแกรม ในรูปที่ 5.11 แลดเดอร์ไดอะแกรมแบ่งออกเป็น ส่วน ๆ แต่ละส่วนคือ เอาท์พุท 1 จุดหรือเอาท์พุทมากกว่า 1 จุด แต่เอาท์พุทเหล่านี้มีลอจิกเหมือนกันแต่ละส่วนเหล่านี้เรียกว่า "รันค (RUNG)" ดังในรูปที่ 5.12 เป็นโปรแกรมที่ให้ผลการควบคุมเหมือนเดิม แต่แยกออกเป็น 2 รันค



รูปที่ 5.10 วงจรรีเลย์ควบคุมการหมุนกลับทางของมอเตอร์แบบ JOGGING



รูปที่ 5.11 แลดเดอร์ไดอะแกรมควบคุมการหมุนกลับทางของมอเตอร์แบบ JOGGING



รูปที่ 5.12 การแบ่งแลดเดอร์ไดอะแกรมออกเป็นรังค์

การโปรแกรมด้วยแลดเดอร์ไดอะแกรมจะสะดวกและมีประสิทธิภาพมาก แต่ข้อเสียของการโปรแกรมแบบนี้ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมจะต้องมีหน่วยแสดงผลที่สามารถแสดงอักษรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการโปรแกรมแบบนี้มักจะใช้จอ CRT แต่ปัจจุบันจะมีซอฟต์แวร์สนับสนุนการเขียนแลดเดอร์บนคอมพิวเตอร์และเชื่อมโยงข้อมูลกับ PLC/PC ทางพอร์ทอนุกรม โดยคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการสร้าง และแก้ไขแลดเดอร์ไดอะแกรม แล้วทำการแปลเป็นชุดคำสั่งของเครื่องควบคุมนอกจากนั้นแล้วขณะที่เครื่องควบคุมทำงานอยู่ก็สามารถตรวจสอบการทำงานได้โดยการแสดงผลซึ่งจะแสดงเป็นแลดเดอร์ไดอะแกรมและเมื่ออินพุท หรือเอาต์พุทตัวใดมีการเปลี่ยนแปลงสภาพก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะของอินพุทหรือเอาต์พุทตัวนั้นๆ ด้วย

5.3.2 โปรแกรมภาษาคำสั่งแบบบูลีน

การโปรแกรมชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับสัญลักษณ์ของพีชคณิตบูลีนนอกจากจะเป็นสัญลักษณ์ ของพีชคณิตบูลีนแล้วยังมีการใช้ฟังก์ชันพิเศษต่างๆ อีกมากเช่น ตัวนับ ตัวตัวเวลา เป็นต้น ภาษาคำสั่งบูลีน จะมีความสัมพันธ์กันกับ ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม สามารถที่จะแปลความหมายถึงกันได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 5.5 ซึ่งเป็นชุดคำสั่งบูลีนที่เขียนจากแลดเดอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 5.12 การเขียนโปรแกรมเป็นแลดเดอร์ไดอะแกรมสามารถแสดงกระบวนการของโปรแกรมได้ง่ายต่อการเข้าใจ แต่ไม่สะดวกในการป้อนลงบนเครื่องควบคุม จึงมีการแปลงจากแลดเดอร์ไดอะแกรม เป็นภาษาคำสั่งบูลีน เพื่อป้อนลงชุดรับข้อมูลแบบพกพาของเครื่อง ควบคุม PLC/PC ซึ่งจะกระทำได้สะดวกมากขึ้น

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างโปรแกรมชุดคำสั่งบูลีน

แอดเดรส	คำสั่ง	อุปกรณ์อินพุท/เอาต์พุท
0000	LD NOT	S1
0001	AND	S2
0002	AND NOT	S3
0003	OUT	K1
0004	LD NOT	S1
0005	AND NOT	S2
0006	AND	S3
0007	OUT	K2
0008	END	



บทที่ 6

เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้กับการติดต่อสื่อสาร

6.1 การติดต่อสื่อสารข้อมูลทั่วไป

ส่วนประกอบเบื้องต้นในการสื่อสารข้อมูลแบ่งได้ออกเป็น 3 ส่วน คือ [9]

6.1.1 ฝ่ายกำเนิดข้อมูล (Transmitter)

6.1.2 ตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูล (Medium)

6.1.3 ฝ่ายรับข้อมูล (Receiver)



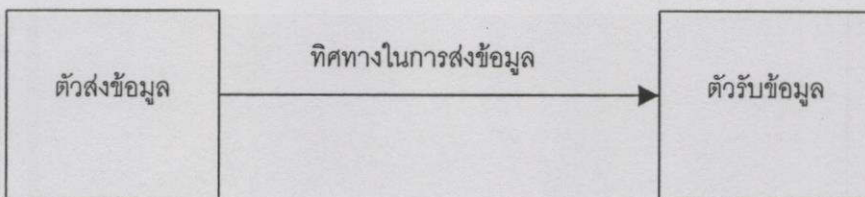
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของส่วนประกอบหลักในการสื่อสารข้อมูล

การจำแนกรูปแบบในการสื่อสารข้อมูลอาจจัดแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามชนิดของสัญญาณของข้อมูล คือ การสื่อสารข้อมูล อนาล็อก (Analog) และ การสื่อสารข้อมูลดิจิทัล (Digital) หรือแบ่งตามวิธีการส่งข้อมูล ในบทนี้จะกล่าวถึงการสื่อสารข้อมูลดิจิทัล ซึ่งเป็นข้อมูลชนิดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคอมพิวเตอร์และ เครื่องควบคุม PLC/PC

6.1.1 วิธีการส่งข้อมูล

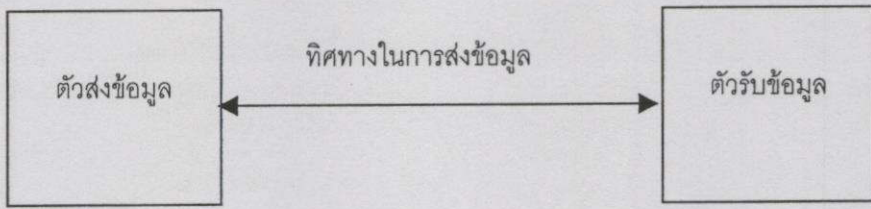
แบ่งได้ออกเป็น 3 แบบคือ

1. การส่งแบบทิศทางเดียว (Simplex) การส่งแบบนี้ทิศทางการส่งจะคงที่โดยกำหนดในครั้งแรกว่าฝ่ายใดเป็นฝ่ายส่ง ฝ่ายใดเป็นฝ่ายรับ การส่งแบบนี้แม้ไม่คล่องตัวแต่เหมาะสมในการใช้งานบางประเภท



รูปที่ 6.2 การส่งแบบทิศทางเดียว (Simplex)

2. การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งข้อมูลในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในเวลาใดเวลาหนึ่ง คือ ทั้ง 2 สถานีสามารถผลัดกันส่งได้แต่จะส่งพร้อมๆกันไม่ได้



รูปที่ 6.3 การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)

3. การส่งแบบสองทิศทาง(Full Duplex) เป็นการส่งข้อมูลในทิศทางใด ก็ได้ เวลาใดก็ได้ คือ สามารถส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกัน

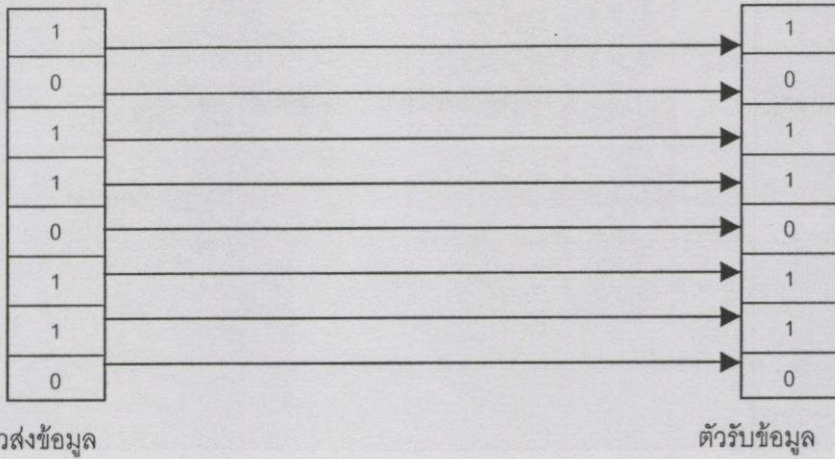


รูปที่ 6.4 การส่งแบบสองทิศทาง (Full Duplex)

วิธีการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลของคอมพิวเตอร์แบ่งเป็น 2 ชนิด

1. การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน (Parallel)

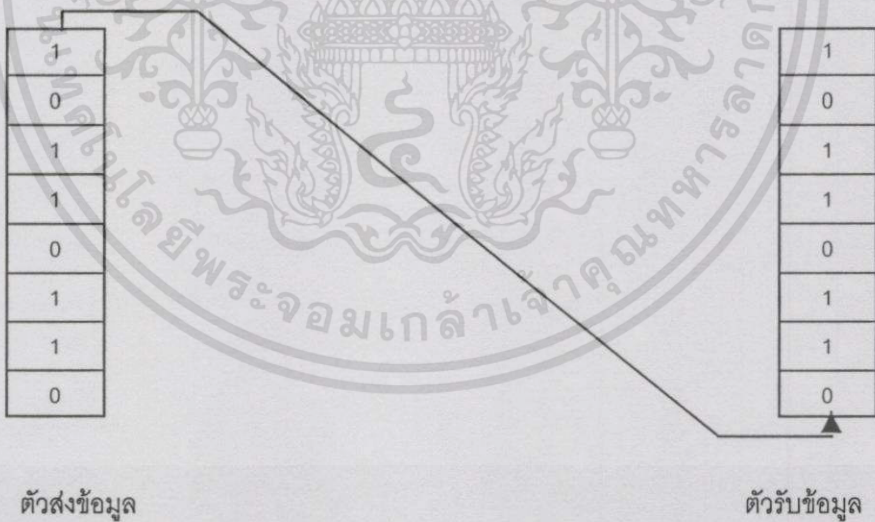
เป็นการติดต่อสื่อสารโดยส่งข้อมูลออกเป็นครั้งละ 1 ไบต์ คือ ครั้งละ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ดังนั้นตัวกลางระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะใช้เป็นสายขนานแต่เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับอิมพีแดนซ์ของสาย ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะทางของสาย ดังนั้นระยะทางระหว่างเครื่องสองเครื่อง ไม่ควรเกิน 100 ฟุต ทำให้การส่งแบบนี้ได้ระยะทางไม่ไกลนักแต่สามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็วเพราะส่งออกมาพร้อมกันทีละ 8 บิต อุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ เช่น เครื่องพิมพ์ เป็นต้น



รูปที่ 6.5 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน

2. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial)

ในการติดต่อแบบนี้ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่าง จุดส่งและจุดรับ ซึ่งการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าการส่งแบบขนาน แต่ใช้ตัวกลางในการสื่อสารเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับสื่อกลางถูกกว่าแบบขนาน การส่งแบบนี้ใช้สำหรับส่งในระยะทางไกลมากกว่า 100 ฟุต ข้อมูลจากจุดส่งจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกไปทีละบิต ไปยังจุดรับ ที่จุดรับจะต้องมีรูปแบบในการเปลี่ยนข้อมูลที่ถูกส่งมาให้เป็นแบบขนาน ในการแปลงต้องมีรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดของข้อมูล



รูปที่ 6.6 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

6.1.2 ข้อตกลงในการติดต่อสื่อสาร (โพรโตคอล : Protocols)

ในการสื่อสารข้อมูลจะต้องมีกฎหรือข้อกำหนดในการสื่อสารข้อมูล หรือที่นิยมเรียกว่า โพรโตคอล (Protocols) ซึ่งเป็นส่วนที่จะกำหนดมาตรฐานในการควบคุม และจัดการระบบการสื่อสารข้อมูล

สำหรับรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อนี้จะเกี่ยวข้องเฉพาะในส่วนของโพรโตคอลการควบคุมการเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Control Protocols หรือ DLCP) ซึ่งจัดการในส่วนของขั้นตอนและหลักการต่างๆคือโครงสร้างและรายละเอียดของข้อมูล วิธีในการสื่อสารข้อมูลการตรวจสอบแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล และขบวนการในการควบคุมการติดต่อสื่อสาร โดย DLCP แบ่งได้ตามโครงสร้างของข้อมูล 2 แบบ คือ Byte-Oriented Protocols และ Bit-Oriented Protocols

6.1.2.1. ไบต์โอเรียนโพรโตคอล (Byte-oriented protocols)

โพรโตคอลแบบนี้เป็นโพรโตคอลที่การสื่อสารข้อมูล และการควบคุมการทำงานจะทำได้โดยใช้ลักษณะข้อมูลที่เป็นตัวอักษร(character) หรือไบต์(byte) หรืออาจเรียกว่า Character Oriented Protocols ซึ่งแบ่งออกเป็น

1. อะซิงโครนัสโพรโตคอล (Asynchronous protocols) โพรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลนี้ใช้การสื่อสารข้อมูลแบบ Half-Duplex ที่มีลักษณะการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบพื้นฐานที่ใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว จึงมีรายละเอียดและขั้นตอนในการสื่อสารข้อมูลที่ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้น้อย และยังมีข้อดีที่การสื่อสารข้อมูลแบบนี้มีในโครงสร้างการทำงานที่ง่าย อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลก็ไม่ต้อซับซ้อน และมีราคาถูก โพรโตคอลแบบนี้จึงเหมาะสำหรับใช้ในระบบขนาดเล็ก

2. ไบนารีซิงโครนัสโพรโตคอล (Binary synchronous protocols) โพรโตคอลแบบนี้จะมีลักษณะการทำงานที่ใช้งานข้อมูลเป็นลักษณะไบต์ และยังคงใช้การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส มีรายละเอียดและขั้นตอนในการสื่อสารข้อมูลที่ทำให้ความน่าเชื่อถือมากกว่า อีกทั้งยังสามารถใช้อัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่สูงกว่าโดยตัวอย่าง ของการสื่อสารข้อมูลแบบนี้ที่ได้กำหนดเป็นมาตรฐานแล้วคือ การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานBSC(Binary Synchronous Communications) ซึ่งเป็นโพรโตคอลที่มีลักษณะของข้อมูลแบบไบต์ที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งาน

6.1.2.2 บิตโอเรียนท์โพรโตคอล (Bit-oriented protocols)

โพรโตคอลแบบนี้เป็นโพรโตคอลที่การสื่อสารข้อมูล และการควบคุมการทำงานโดยใช้ลักษณะข้อมูลที่เป็นบิตโดยมีตัวอย่างของการสื่อสารข้อมูลในลักษณะนี้ที่มีการกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานแล้ว คือ HDLC (High-level Data Link Control) โดยมีโครงสร้างของ ข้อมูลแบบซิงโครนัส เช่นเดียวกับ BSC แต่ต่างกันที่มีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบบิต ซึ่งโพรโตคอลแบบนี้มีข้อ

ดีที่สามารถสื่อสารข้อมูลแบบสองทางได้ทำให้การสื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วกว่า แต่โปรโตคอลแบบนี้ก็มีรายละเอียด และโครงสร้างในการสื่อสารข้อมูลที่สลับซับซ้อนมากทำให้การควบคุมการทำงานทำได้ยากและต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูง จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานกับระบบขนาดเล็ก

6.1.2.3 แพ็กเกจ (Packet of Information)

รูปแบบของแพ็กเกจในระบบโครงข่ายจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. HEADER จะประกอบด้วย

-Preamble or start of packet indicator เป็นส่วนเริ่มแรกของแพ็กเกจ และในบางระบบอาจใช้ในการซิงค์กับสัญญาณนาฬิกาของตัวส่งและตัวรับด้วย

-Control information ส่วนนี้เป็นข้อมูลที่บอกถึงวัตถุประสงค์ของแพ็กเกจนั้นว่าใช้ทำอะไร เช่นเพื่อการจัดการระบบเพื่อดู Status ของ mode หรืออื่นๆ

นอกจากส่วนต่างๆ เหล่านี้แล้ว ในส่วน Header อาจจะมีส่วนที่เป็น Sequential Number เป็นส่วนที่บอกให้ทราบถึงลำดับของแพ็กเกจในกรณีที่ข้อมูลมีความยาวหลายแพ็กเกจ

2. INFORMATION

-Data field เป็นส่วนของข้อมูลจริงที่ต้องการจะส่ง

3. TAILER

-Frame Check Sequence (FCS) เป็นส่วนที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลซึ่งอาจเป็น parity bit, Check sum หรือ CRC เป็นต้น

-End of Packet Indicator เป็นส่วนที่บอกให้ทราบว่าสิ้นสุดของข้อมูลแล้ว

PREAMBLE	DA	SA	CONTROL	INFORMATION	FCS	STOP
HEADER			INFORMATION		TAILER	

รูปที่ 6.7 แสดงโครงสร้างของแพ็กเกจ

6.1.3 การควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูล (Error Control)

การที่วงจรส่งข้อมูลขาดชั่วขณะ และผลกระทบต่อสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าลดลงเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดในการส่ง ดังนั้นต้องทำการค้นหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งข้อมูลและแก้ไขความผิดพลาดให้ถูกต้อง

6.1.3.1 วิธีการเพิ่มบิตเข้าไปที่ข้อมูล(Parity Bit) เพื่อตรวจสอบความผิดพลาด มี 2 วิธี

1.วิธี Parity แนวนอน

ทำการเพิ่ม 1 บิต เข้าไปที่แต่ละตัวอักษรที่จะส่งโดยจะกำหนดว่าเป็นการตรวจสอบแบบ Odd หรือ Even Number แล้วผลรวมของข้อมูลจะเป็น Odd Number ที่ด้านรับจะทำการตรวจสอบว่าผลรวมของข้อมูลจะเป็น Odd Number หรือ Even Number

2.วิธี Parity แนวตั้ง

ทำการตรวจสอบความผิดพลาดโดยการเพิ่ม 1 บิตเข้าไปที่ในแต่ละบล็อก

01101101	1	
01100110	0	
10111010	1	
10010111	1	
00101001	1	Parity แนวนอน
00010110	1	
10101110	1	
11110010	1	
01000101	1	
		Parity แนวตั้ง

รูปที่ 6.8 แสดงรูปแบบการตรวจสอบด้วย Parity Bit

6.1.3.2. วิธี Patrol Diffuse Inspection หรือ การใช้ FCS: Frame Check Sequence

สำหรับข้อมูลอันหนึ่งจะสร้าง Error Inspection Sign (CRC Sign) ขนาด 2 Byte ที่คำนวณได้บนพื้นฐานของกฎที่กำหนดไว้ แล้วเพิ่มเครื่องหมายไปที่ข้อมูลอันนั้นที่ทางด้านรับจะตรวจสอบข้อมูลโดย Inspection Sign ได้กำหนดไว้โดยสูตรการคำนวณที่เหมือนกัน (Blast Error ความผิดพลาดของข้อมูลที่ต่อเนื่อง) ก็สามารถตรวจสอบได้ ทำให้มีความน่าเชื่อถือสูง

6.1.4 อัตราการส่งข้อมูล (Data Transmission Rate)

Transmission Rate นั้นแยกออกได้เป็น "Data Transmission Speed" และ "Modulation Speed"

6.1.4.1. Data Transmission Speed

Data Transmission Speed หรือ Bit rate นั้นแสดงในรูปของจำนวน Bit ที่สามารถส่งได้ภายใน 1 วินาที มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที โดยเขียนว่า Bit / Sec หรือ Bps ซึ่งแสดง Definition ของ Data Transmission Speed โดยแสดงด้วยสมการข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = (1/T) \log_2 n$$

S : Data Transmission Speed

T : Continue Time ของ 1 pulse ของ Transmission Pulse

n : จำนวนของค่าสถานะใน 1 Pulse

ในกรณีที่ Pulse 1 ลูก มีค่า 2 ค่าคือ 0 และ 1 เป็น สมการจะเป็น $S = 1/T$ โดยที่ T เป็น เวลาต่อเนื่อง(Continue Time) ของ Pulse 1 $1/T$ จึงแสดงถึงจำนวนของ Pulse ใน 1 วินาที ซึ่งก็คือจำนวนบิตที่สามารถส่งไปได้ใน 1 วินาทีนั่นเอง

6.1.4.2 Modulation Speed

Modulation Speed หรือ Baud rate คือจำนวนครั้งที่สามารถ Modulate ได้ใน 1 วินาที วิธีการ Modulation นั้นมี Amplitude Mod , Frequency Mod , Phase Mod และอื่นๆ ในกรณีที่แสดงถึงช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสถานะนั้น จะสามารถกำหนดได้ดังสมการโดยหน่วยจะเป็น Baud

$$B = 1/T$$

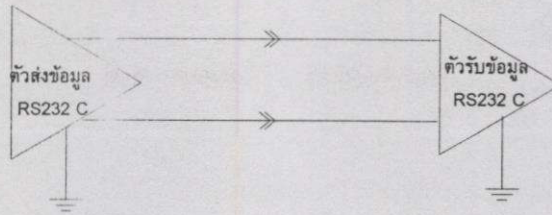
B : Modulation Speed (Baud)

T : เวลาในการเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งเป็นอีกสถานะ

6.1.5 มาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

6.1.5.1. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

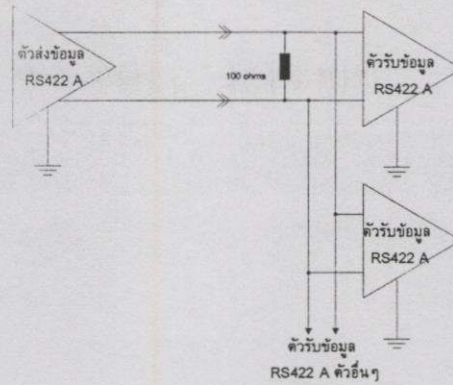
การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลไว้หลายแบบ แต่ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างมาก คือการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C และที่มาตรฐานนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีใช้อย่างแพร่หลายมากจากอดีตจนถึงปัจจุบันมาตรฐานการสื่อสารนี้ในการออกแบบเบื้องต้นได้ออกแบบ สำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องโมเด็ม (MODEM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายโทรศัพท์ ซึ่งทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลถูกจำกัดให้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ มาตรฐาน RS-232C นี้ได้ออกแบบให้มีโครงสร้างการสื่อสารเป็นแบบจุดต่อจุดเท่านั้น โดยมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 6.1 และรูปที่ 6.9 [9]



รูปที่ 6.9 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

6.1.5.2. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-422A

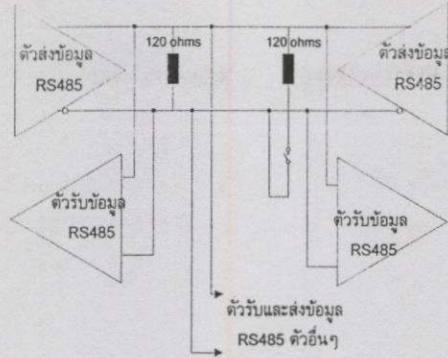
ในการออกแบบระบบสื่อสารข้อมูลจากที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพยายามที่จะออกแบบให้การสื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วขึ้นและมีระยะในการสื่อสารที่มากขึ้นด้วย ซึ่งที่ผ่านมา การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232C ได้ออกแบบเพื่อใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มเท่านั้น จึงไม่ได้คำนึงถึงความเร็วและระยะทางในการสื่อสารต่อมาได้มีมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลใหม่ที่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการให้การรับส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลและรวดเร็ว มาตรฐานนี้คือ RS-422A ซึ่งการที่มาตรฐานสื่อสารนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลและรวดเร็วขึ้นเนื่องมาจากหลักการที่ใช้สัญญาณเป็นแบบดิฟเฟอเรนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 6.10 ซึ่งหลักการก็คือสัญญาณที่รับส่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ 2 เส้นเทียบกับมาตรฐาน RS-232C ที่สัญญาณทุกสัญญาณจะเทียบกับกราวด์ ซึ่งในการสื่อสารในระยะทางไกลๆ แล้วสัญญาณจะถูกลดทอนไปและเมื่อสัญญาณถูกลดทอนถึงจุดๆ หนึ่งสัญญาณนั้นก็จะมีผลลดทอนไปจากความเป็นจริง ทำให้การรับส่งข้อมูลเกิดผิดพลาดขึ้น แต่สำหรับสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล การลดทอนของสัญญาณก็จะไปลดทอนทั้งสองสายด้วยค่าที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันและความแตกต่างของสัญญาณทั้ง 2 เส้น จากตัวส่งไปยังตัวรับก็ยังมีค่าเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อย จึงทำให้ผลของการลดทอนต่อสัญญาณที่ระยะการสื่อสารที่ไกลไม่มีผลต่อการสื่อสารข้อมูล พร้อมทั้งสามารถติดต่อกับตัวรับได้ถึง 10 ตัว ดังแสดงตารางในตารางที่ 6.1 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล [9]



รูปที่ 6.10 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A

6.1.5.3. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นคือ RS-232C นั้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลในแบบที่ใช้สื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่ออุปกรณ์หรือจุดต่อจุด (Point-to-Point) ส่วน RS-422A นั้นเป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก RS-232C ให้ได้ระยะทางไกลขึ้นและอัตราการสื่อสารเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังเป็นการสื่อสารข้อมูลจากอุปกรณ์หนึ่งตัวไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ได้สูงสุด 10 ตัว เท่านั้นไม่สามารถส่งย้อนกลับจากอุปกรณ์ตัวรับมาตัวส่งได้ หรือกล่าวได้ว่าการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-422A นั้นเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบ Simplex คือทิศทางของข้อมูลเป็นแบบทางเดียวตลอดเวลา ดังนั้นถ้าต้องการออกแบบระบบให้เป็นลักษณะโครงข่ายข้อมูลก็ไม่สามารถทำได้ จึงมีการพัฒนามาตรฐานการสื่อสารข้อมูลขึ้นใหม่เพื่อรองรับความต้องการนี้ คือ มาตรฐาน RS-485 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่อาศัยหลักการของสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลเช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422A แต่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทางในสายสัญญาณเพียงคู่เดียว ซึ่งก็คือการสื่อสารข้อมูลแบบ Half-Duplex จากผลของการใช้สัญญาณในลักษณะดิฟเฟอเรนเชียลนี้ ทำให้ระยะทางและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีค่าสูง เช่นเดียวกับมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล RS-422A แต่มาตรฐาน RS-485 สามารถที่จะสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้งการส่งของอุปกรณ์ได้สูงสุด 32 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่าการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 เป็นการสื่อสารแบบหลายจุด (Multipoint- Communication) ดังแสดงค่าเปรียบเทียบในตารางที่ 6.1 และแสดงโครงสร้างในรูปที่ 6.11 รายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงในภาคผนวก จ. [9-10]



รูปที่ 6.11 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

ตารางที่ 6.1 ค่าเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ RS-232 C, RS-422A, และ RS-485

	RS232	RS422	RS485
Cabling	single ended	single ended multi-drop	multi-drop
Number of Devices	1 transmit 1 receive	5 transmitters 10 receivers	32 transmitters 32 receivers
Communication Mode	full duplex	full duplex half duplex	half duplex
Max. Distance	50 feet at 19.2 Kbps	4000 feet at 100 Kbps	4000 feet at 100 Kbps
Max. Data Rate	19.2 Kbps for 50 feet	10 Mbps for 50 feet	10 Mbps for 50 feet
Signaling	Unbalanced	Balanced	Balanced
Mark (data 1)	-5 V min. -15 V max.	2 V min. (B>A) 6 V max. (B>A)	1.5 V min. (B>A) 5 V max. (B>A)
Space (data 0)	5 V min. 15 V max.	2 V min. (A>B) 6 V max. (A>B)	1.5 V min. (A>B) 5 V max. (A>B)
Input Level Min.	+/- 3 V	0.2 V difference	0.2 V difference
Output Current	500 mA (Note that the driver ICs normally used in PCs are limited to 10 mA)	150 mA	250 mA

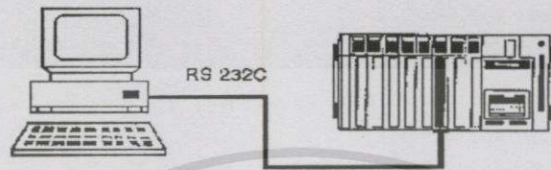
6.2 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้

การต่อวงจรในการติดต่อสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุม PLC/PC อาจแบ่งออกได้ 3 แบบด้วยกันคือ [7-9]

6.2.1 การต่อวงจรแบบจุดต่อจุด(Point to Point)

ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด จะใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS 232C ซึ่งเป็นการติดต่อในระยะทางที่ไม่ไกลมาก เช่น การติดต่อระหว่างเครื่องควบคุม PLC/PC กับเครื่อง

คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการตรวจสอบผลภาวะการทำงาน หรือ การควบคุมจากคอมพิวเตอร์ หรือ สนับสนุนการทำงานอื่นๆ การติดต่อระหว่างเครื่องควบคุม PLC/PC กับอุปกรณ์อื่น เช่น โมเด็ม (MODEM) อุปกรณ์ควบคุมสัมผัสหน้าจอ (Touch Screen) คีย์บอร์ด (Key board) เครื่องอ่านรหัสแถบ (Bar-code Reader) เครื่องพิมพ์ เครื่องบันทึก (Recorder) เครื่องรายงานผล (Reporter) เป็นต้น

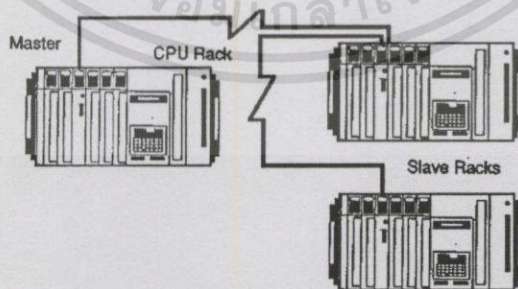


รูปที่ 6.12 ระบบการติดต่อแบบจุดต่อจุด

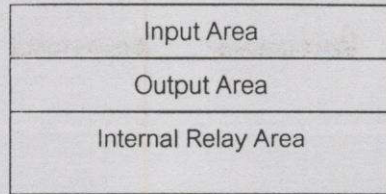
6.2.2 การต่อวงจรแบบหลายจุด (Multi point)

6.2.2.1 การติดต่อแบบอินพุทและเอาต์พุทระยะไกล (Remote I/O System)

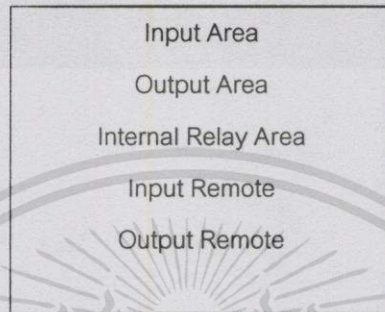
เป็นการเชื่อมโยงสื่อสารข้อมูลในลักษณะ ที่ตัวประมวลผลของเครื่องควบคุมหลัก กับ ปลายทางอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมอยู่ไกลกัน และอาจมีมากกว่า 1 จุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะ มีการเชื่อมโยงในระยะไกล ในการติดต่อดังลักษณะนี้จะให้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS 485 บนตัวนำสองเส้น โดยที่ตัวควบคุมหลัก(Master) จะทำการรับอินพุททั้งจากพื้นที่ของตัวควบคุม และ หน่วยระยะไกล(Slave) จากนั้นจะทำการประมวลผล แล้วส่งเอาต์พุทไปยังส่วนต่างๆ โดยที่อินพุท และเอาต์พุทของหน่วยระยะไกลจะจองพื้นที่ของรีเลย์ภายใน (Internal Relay) ของตัวควบคุมหลักโดยการเซตระบบนั้นจะแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 6.13 การเชื่อมโยงแบบอินพุทและเอาต์พุทระยะไกล (Remote I/O System)



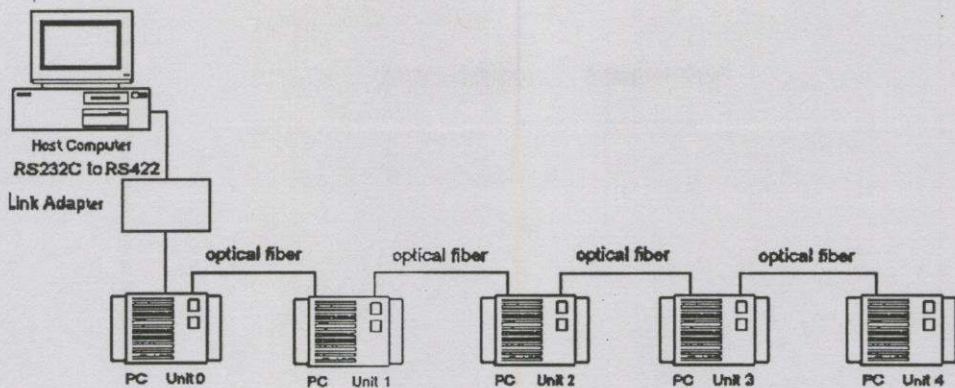
รูปที่ 6.14 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะทำงานปกติ



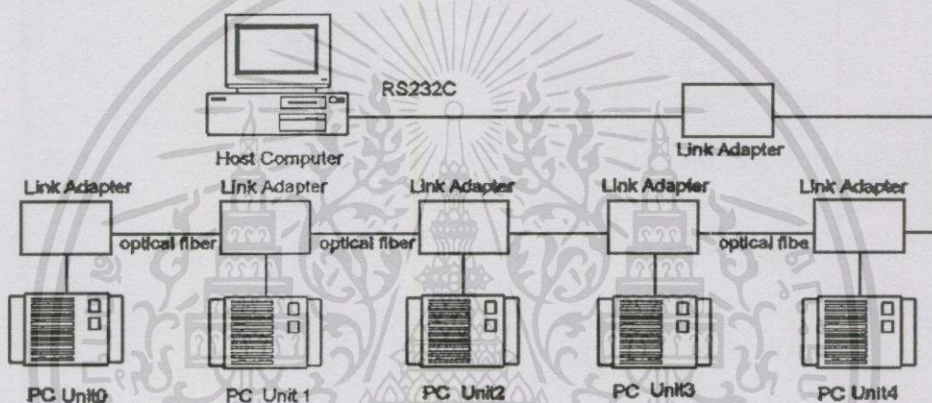
รูปที่ 6.15 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะเมื่อมีการทำงานร่วมกับหน่วยอินพุทเอาต์พุทระยะไกล

6.2.2.2 การติดต่อแบบพีซีลิงค์ (PC Link System)

เป็นการเชื่อมโยงสื่อสารข้อมูลในลักษณะของการแบ่งพื้นที่ในการอ่านเขียนของ PLC/PC แต่ละตัว เครื่องควบคุม PLC/PC แต่ละตัวสามารถรับรู้ข่าวสารซึ่งกันและกันได้ มาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลชนิดนี้มักจะเป็นแบบ RS422A หรือเป็นรูปแบบการสื่อสารผ่านสายใยแก้วนำแสง (Fiber optic) หรือผ่านสายโคแอกเชียล โดยจะมีตัว Link Adapter เป็นตัวแปลงรูปแบบข้อมูลให้เป็นมาตรฐานตรงกัน อาจจะมีการเชื่อมโยงกับเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาในระบบการลิงค์เพื่อสนับสนุนการทำงานของเครื่องควบคุม PLC/PC ซึ่งจะเรียกว่าโฮสคอมพิวเตอร์ (Host Computer) มีลักษณะการต่อวงจรดังนี้

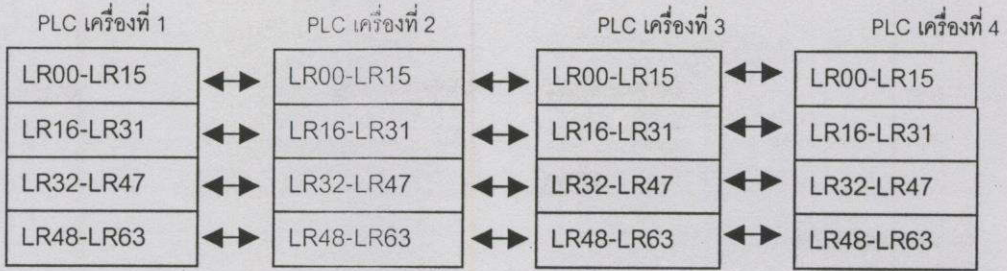


รูปที่ 6.16 การต่อแบบ Serial link



รูปที่ 6.17 การต่อแบบ Parallel link

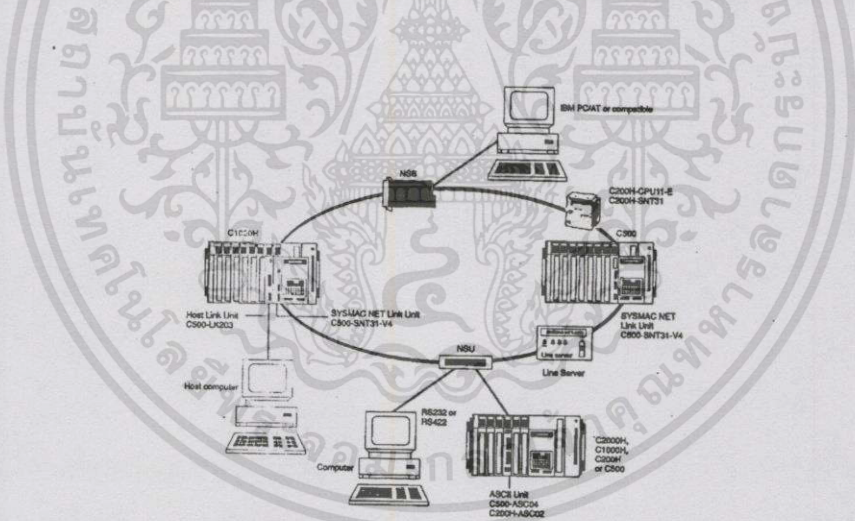
ตัวอย่างการจัดแบ่งพื้นที่ของเครื่องควบคุม PLC/PC กำหนดให้มีเครื่องควบคุมจำนวน 4 ชุด เชื่อมโยงในเครื่องควบคุมแต่ละเครื่องจะมีพื้นที่ของรีเลย์ที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงข้อมูล (Link -Relay) ถ้ามีเครื่องควบคุมที่เชื่อมต่อในระบบมากพื้นที่ก็จะถูกแบ่งออกไปตามจำนวน เช่น 4 ชุด พื้นที่จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เช่นเครื่องควบคุมมีพื้นที่ของ ลิงค์รีเลย์จำนวน 64 Word ก็จะถูกแบ่งเป็นส่วนละ 16 Word ส่วนแรกจะเป็นพื้นที่ของเครื่องควบคุมตัวที่ 1 ส่วนที่สองจะเป็นของเครื่องควบคุมตัวที่ 2 และสามตามลำดับ โดยพื้นที่ส่วนอื่นจะถูกกันไว้ไม่ให้สามารถเขียนข้อมูลลงไปได้ (Read Only) ยกเว้นพื้นที่ของตัวเอง ดังนั้นถ้า PLC/PC เครื่องที่ 1 ต้องการรับข้อมูลของ PLC เครื่องที่ 3 ก็สามารถอ่านได้จากพื้นที่ของเครื่องควบคุมส่วนที่สาม และถ้าต้องการส่งข้อมูลให้ก็เขียนลงในพื้นที่ของส่วนแรกแล้ว PLC ตัวที่ 3 จะทำการอ่านข้อมูลในส่วนแรก ก็จะสามารถทราบข้อมูลของเครื่องควบคุม PLC ตัวที่ 1



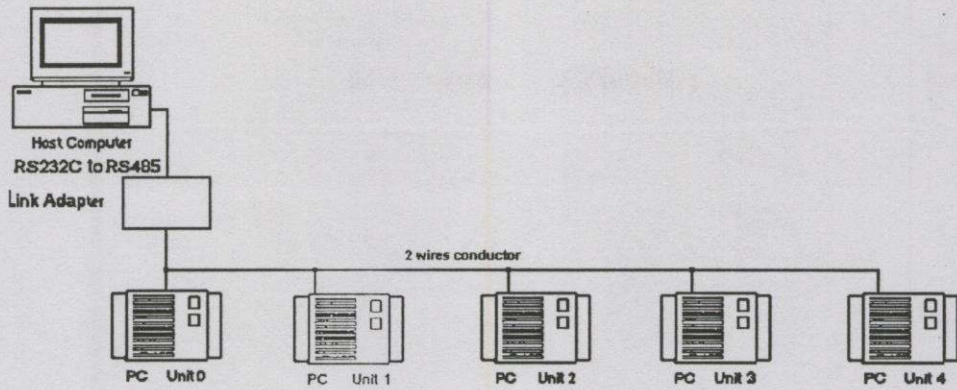
รูปที่ 6.18 การแบ่งพื้นที่สำหรับ PC Link System

6.2.3 การต่อวงจรสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local area Network for PLC/PC)

การเชื่อมโยงในลักษณะของเครือข่ายท้องถิ่นนี้เป็นระบบขนาดใหญ่ประกอบด้วย อุปกรณ์ หลายชนิดและหลายวงรอบด้วยกัน ซึ่งจะเป็นลักษณะเครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Network) ในแต่ละวงรอบ สามารถที่จะเชื่อมโยงไปยังวงรอบอื่นๆได้ ซึ่งจะมีความซับซ้อนในระบบ การติดต่อสื่อสารมากขึ้น รูปแบบสายนำสัญญาณจะมีทั้งสายใยแก้วนำแสง (Fiber optic) และ สายตัวนำในแบบต่างๆ ในระบบโครงข่ายก็จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่เป็นตัวจัดการข้อมูลเช่นเดียวกับกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (Computer Server) บนโครงข่ายของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 6.19 ระบบการติดต่อสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น

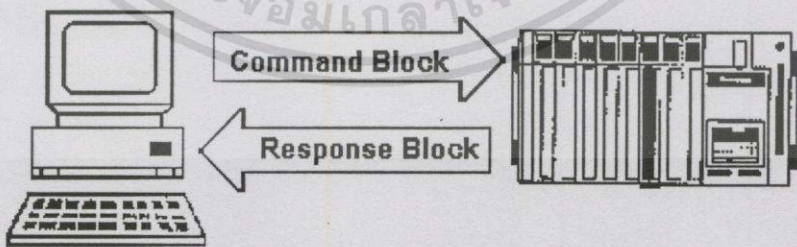


รูปที่ 6.20 ระบบโครงข่ายแบบหลายจุดโดยใช้มาตรฐานการสื่อสาร RS 485

6.3 ข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC

รูปแบบของข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะการถามตอบกันระหว่างเครื่องควบคุมกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกมักจะเป็นฝ่ายถามก่อนโดยการส่งบล็อกคำสั่ง (Command Block) ออกไป จากนั้นเครื่องควบคุมจะทำการตรวจสอบแล้วส่งบล็อกตอบสนองกลับมา (Response Block) ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC

รูปแบบของข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะการถามตอบกันระหว่างเครื่องควบคุมกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกมักจะเป็นฝ่ายถามก่อน โดยการส่งบล็อกคำสั่ง (Command Block) ออกไป จากนั้นเครื่องควบคุมจะทำการตรวจสอบแล้วส่งบล็อกตอบสนองกลับมา (Response Block) ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC



รูปที่ 6.21 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC

6.3.1 รูปแบบของบล็อก (Block Format)

ลักษณะของบล็อกของเครื่องควบคุม PLC/PC แต่ละผู้ผลิตจะแตกต่างกันไปแต่จะมีพื้นฐานเดียวกันดังตัวอย่างของบล็อกคำสั่งต่อไปนี้ [9,11]

@	X	X	X	X		X	X	*	↵
หมายเลขเครื่อง XX		HEADER		TEXT		FCS		TERMINAL	

รูปที่ 6.22 รูปแบบของบล็อก

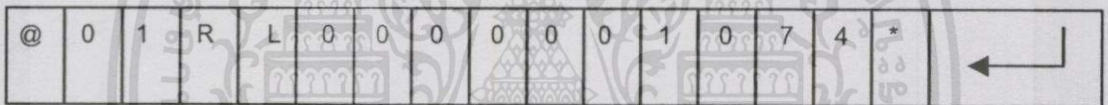
1. หมายเลขเครื่อง ในการเชื่อมต่อที่เป็นโครงข่ายแบบหลายจุดนั้นเครื่องควบที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบจะมีมากกว่า 1 เครื่อง การกำหนดว่าต้องการส่งข้อมูลให้กับเครื่องควบคุมตัวใด เช่น @05 คือ เครื่องหมายเลขที่ 05
2. ส่วน HEADER เป็นส่วนของคำสั่งหลักที่จะกำหนดว่าต้องการกระทำกับข้อมูลส่วนใด เช่น ต้องการอ่านข้อมูลของอินพุท ต้องการเขียนข้อมูลให้กับตัวนับ เป็นต้น
3. ส่วน TEXT เป็นส่วนของข้อมูล เช่น ค่าที่อ่านได้จากอินพุท หรือ ค่าที่จะต้องเขียนลงในพื้นที่ต่างๆ
4. ส่วนของ FCS เป็นส่วนของการควบคุมความผิดพลาดของข้อมูลซึ่งได้จากการคำนวณ
5. ส่วนของ TERMINAL เป็นส่วนที่ปิดท้ายบอกให้ทราบว่าจบบล็อก และมักจะติดตามด้วยรหัสของ Carrier Return (CR)

6.3.2 การคำนวณ FCS

FCS หรือ Frame Check Sequence เป็นสิ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการสื่อสาร เป็นการเปลี่ยนข้อมูล 8 บิต เป็น 2 ตัวอักษรข้อมูล ASCII แล้วนำมาทำการ EXCLUSIVE -OR (XOR) โดยเริ่มจาก @ จนถึงตัวอักษรตัวสุดท้ายของ TEXT การคำนวณ FCS สามารถจะใช้วิธีอื่นนอกจากจะใช้วิธี XOR ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.1.3 เรื่อง การควบคุมความผิดพลาด

อักขระ	รหัส(ASCII BINARY)	(HEX)	XOR (HEX)
@	0100 0000	[40]	
0	0011 0000	[30]	112 [70]
1	0011 0001	[31]	65 [41]
R	0101 0010	[52]	19 [13]
L	0100 1100	[4C]	95 [5F]
0	0011 0000	[30]	111 [6F]
0	0011 0000	[30]	95[5F]
0	0011 0000	[30]	111[6F]
0	0011 0000	[30]	95 [5F]
0	0011 0000	[30]	111 [6F]
0	0011 0000	[30]	95 [5F]
1	0011 0001	[31]	110 [6E]
0	0011 0000	[30]	94 [5E]
*	0010 1010	[2A]	116 [74]

จากการคำนวณที่ได้จะสร้างเป็นบล็อกได้ดังนี้



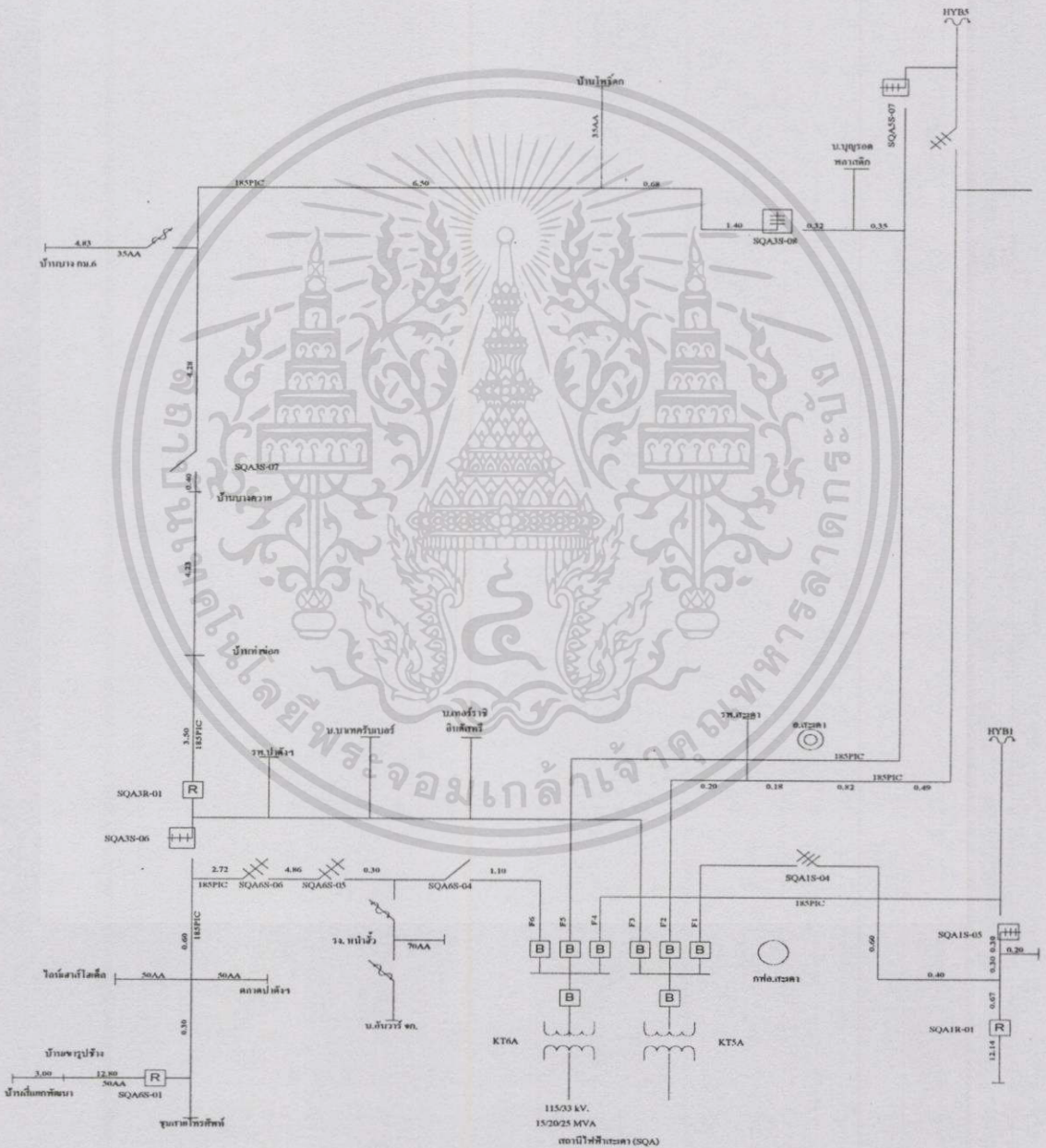
รูปที่ 6.23 รูปแบบของบล็อกและการคำนวณ FCS

ในบทนี้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบในการสื่อสารข้อมูลของคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับการติดต่อสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC ซึ่งจะเป็แนวทางในการพัฒนาการติดต่อสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุม PLC/PC เพื่อให้เครื่องควบคุม PLC/PC สามารถควบคุมเครื่องจักรในระบบที่มีขนาดใหญ่ให้สามารถทำงานได้อย่างสัมพันธ์กัน ซึ่งจะทำการควบคุมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงในภาคผนวก ง.

บทที่ 7

การออกแบบการประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัด วงจรแบบพีซีซี

7.1 การคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 7.1 แผนผังตำแหน่งสวิตช์แรงสูงในเขตระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าสะเดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณกระแสลัดวงจรของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. มาเป็นกรณีศึกษาโดยใช้แผนผังตำแหน่งสวิตช์แรงสูงในเขตรบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าสะเดา อ.สะเดา จ.สงขลา ซึ่งสถานีไฟฟ้างกล่าวว่าจะเป็นระบบแรงดัน 33 kV. โดยรับพลังงานไฟฟ้าจาก กฟผ. ดังรูปที่ 7.1

จากรูปที่ 7.1 แสดงแผนผังตำแหน่งสวิตช์แรงสูงในเขตรบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าสะเดา ซึ่งทำให้ทราบรายละเอียดต่างๆของระบบจำหน่าย เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการคำนวณกระแสลัดวงจร เช่นขนาดและชนิดสายเคเบิล ระยะทางหรือความยาวโดยประมาณของสายเคเบิล ชนิดของวงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ตัดตอนและป้องกันในระบบจำหน่าย ถึงแม้ว่าแผนผังตำแหน่งสวิตช์แรงสูงในเขตรบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าสะเดา จะให้รายละเอียดทางเทคนิคเป็นอย่างมากก็ตาม แต่เราก็จำเป็นต้องทราบรายละเอียดบางส่วนเพิ่มคือ ขนาดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ขนาดของค่ากระแสลัดวงจรที่บัสบาร์ ทั้งชนิด 3 เฟส(ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด) และ เฟส - ดิน(ค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุด) ดังนั้นขั้นตอนการคำนวณกระแสลัดวงจร ดังแสดงต่อไปนี้ [1]

การคำนวณแบบ Per Unit System กำหนดฐาน(Base) เป็น 33 kV 25 MVA

$$I_{base} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}kV_{base}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 33} = 437.28 \quad A \quad (7.1)$$

$$Z_{base} = \frac{(kVA_{base})^2}{MVA_{base}} = \frac{(33)^2}{25} = 43.56 \quad \Omega \quad (7.2)$$

เราทราบค่ากระแสลัดวงจรที่บัส 33 kV ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) ทำให้เราสามารถคำนวณค่าลำดับอิมพีแดนซ์($Z_1 = \text{Positive}$, $Z_2 = \text{Negative}$, $Z_0 = \text{Zero}$)ของระบบจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามาถึง 33 kV ของ กฟภ. ได้ดังนี้
ที่บัส :

$$I_{3\phi} = 2300.71 \quad A$$

$$I_{\phi-g} = 2867.57 \quad A$$

$$I_{3\phi} = \frac{V_{pu}}{Z_{1pu}} \times I_{base} \quad A \quad (7.3)$$

$$Z_{1pu} = \frac{V_{pu} \times I_{base}}{I_{3\phi}} \quad pu \quad (7.4)$$

$$= \frac{1 \times 437.38}{2300.71} = j0.1901 \quad pu$$

$$I_{\phi-g} = \frac{3 V_{pu} \times I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)_{pu}} \quad A \quad (7.5)$$

$$(Z_1 + Z_2 + Z_0)_{pu} = \frac{3 \times V_{pu} \times I_{base}}{I_{\phi-g}} pu \quad (7.6)$$

$$= \frac{3 \times 1 \times 437.38}{2867.57} = j0.4575 \quad pu$$

สำหรับโครงการนี้ได้ทำการคำนวณและจำลองเหตุการณ์ที่ฟีดเดอร์ 3 ของสถานีไฟฟ้า สะเดา โดยใช้สายเคเบิลหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดขนาด 185 ต.มม. ชนิดวงจรเดี่ยว ซึ่งมีระยะทาง 30 กม. จากบัส 33 kV จนถึงจุดเชื่อมต่อระหว่างฟีดเดอร์ 5 มาเป็นกรณีศึกษา

จากตารางลำดับอิมพีแดนซ์ของสาย แบบที่ SB2-015/41004

$$Z_1 = Z_2 \text{ ของสายเคเบิลหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดขนาด 185 ต.มม. วงจรเดี่ยว}$$

$$= 0.214360 + j0.339760 \text{ โอห์ม/กม.}$$

$$Z_0 \text{ ของสายเคเบิลหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดขนาด 185 ต.มม. วงจรเดี่ยว}$$

$$= 0.392290 + j1.553700 \text{ โอห์ม/กม.}$$

เมื่อทราบค่า Z_1 , Z_2 และ Z_0 จากด้านต้นกำลังถึงบัส 33 kV แล้วเราจะหาค่ากระแสลัดวงจรที่จุดใด ๆ ก็เพียงนำความต้านทานของสายคูณกับระยะทางบวกเข้าไปก็จะหาค่ากระแสลัดวงจรแบบต่างๆตามตำแหน่งที่ต้องการได้ดังนี้

โดยแสดงการหาค่ากระแสลัดวงจรที่ปลายสายที่ระยะ 30 กม. ดังนี้

$I_{3\phi}$:

$$Z_{1total} = j0.1901 + \frac{(0.21436 + j0.339760) \times 30}{43.56}$$

$$= 0.14752 + j0.42393$$

$$= 0.4488 \angle 70.81^\circ \quad pu$$

$$I_{3\phi} = \frac{V_{pu} \times I_{base}}{Z_{1pu}} A$$

$$= \frac{1 \times 437.38}{0.4488} = 974.55 \quad A$$

(7.7)

$I_{\phi-g}, I_{\phi-g \text{ min}}$:

$$(Z_1 + Z_2 + Z_0)_{total} = j0.4575 + \frac{2(0.21436 + j0.339760) \times 30}{43.56}$$

$$+ \frac{(0.392290 + j1.553700) \times 30}{43.56}$$

$$= 0.56495 + j1.9944$$

$$= 2.0728 \angle 74.18^\circ \quad pu$$

$$I_{\phi-g} = \frac{3V_{pu} \times I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)_{pu}} \quad A \quad (7.8)$$

$$= \frac{3 \times 1 \times 437.38}{2.0728} = 633.027 \quad A$$

การหากระแสลัดวงจรค่าต่ำสุด ($I_{\phi-g \min}$) สามารถคำนวณจากสมการที่ 7.9 แต่ในความเป็นจริงค่ากระแสลัดวงจรค่าต่ำสุด จะมีปัจจัยที่สำคัญเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อให้การคำนวณได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นคือค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร (Z_f) ซึ่งค่าดังกล่าวที่นิยมใช้ Z_f จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 40 Ω สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่า Z_f อยู่ระหว่าง 20 และ 40 Ω [5] ซึ่งเหตุผลที่ใช้ค่าดังกล่าวนั้นเนื่องจากในความเป็นจริงจะเป็นไปเสียมิได้เลยที่ขณะเกิดการลัดวงจรนั้นที่จุดเกิดการลัดวงจรจะไม่มีค่าอิมพีแดนซ์เลย ดังตัวอย่างแสดงการคำนวณ $I_{\phi-g \min}$ บางส่วน โดยใช้ค่า $Z_f = 40 \Omega$

$$\text{ดังนั้น} \quad 3Z_f = 3 \times 40 = 120 \quad \Omega$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{120}{43.56} = 2.754 \quad pu$$

$$I_{\phi-g \min} = \frac{3V_{pu} \times I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f)_{pu}} \quad A \quad (7.9)$$

$$= \frac{3 \times 1 \times 437.38}{0.56495 + j1.9944 + 2.754} = 338.88 \quad A$$

สำหรับการคำนวณ $I_{\phi-g \min}$ โดยใช้ $Z_f = 20, 30$ และ 40 Ω ดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแสลัดวงจร เฟส-ดิน ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร และ ระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลพิดเดอร์ 3

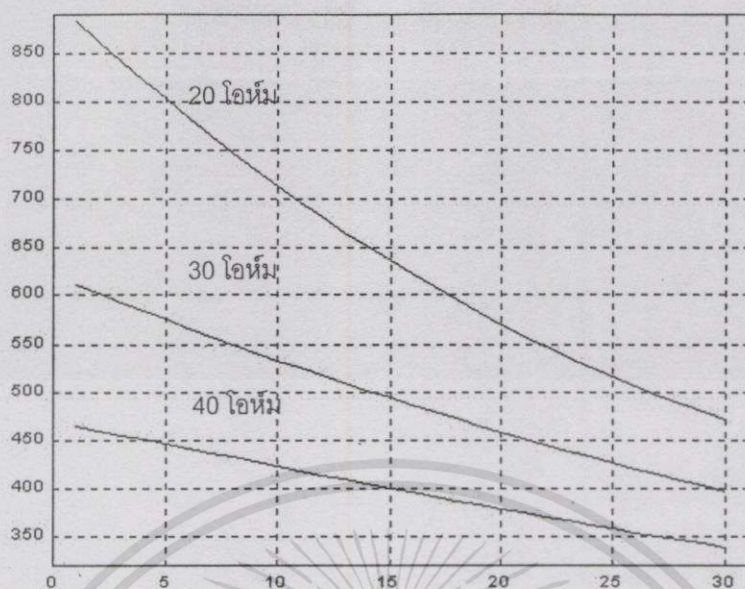
ระยะทาง (ก.ม.)	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุด เฟส-ดิน(แอมป์)		
	$Z_f = 20$	$Z_f = 30$	$Z_f = 40$
1	882.98	611.43	465.44
2	862.2	602.75	460.84
3	841.79	594.06	456.2
4	821.81	585.39	451.55
5	802.28	576.76	446.88
6	783.26	568.18	442.2
7	764.75	559.67	437.52
8	746.77	551.24	432.84
9	729.33	542.9	428.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

ระยะทาง (ก.ม.)	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุด เฟส-ดิน(แอมป์)		
	$Z_f = 20$	$Z_f = 30$	$Z_f = 40$
10	712.43	534.67	423.53
11	696.07	526.54	418.9
12	680.24	518.54	414.3
13	664.93	510.65	409.73
14	650.14	502.9	405.19
15	635.85	495.28	400.69
16	622.04	487.79	396.22
17	608.71	480.45	391.8
18	595.83	473.24	387.42
19	583.39	466.17	383.09
20	571.38	459.24	378.81
21	559.77	452.45	374.57
22	548.56	445.8	370.39
23	537.73	439.28	366.26
24	527.26	432.91	362.18
25	517.14	426.67	358.16
26	507.35	420.56	354.19
27	497.89	414.58	350.27
28	488.73	408.74	346.41
29	479.87	403.02	342.61
30	471.3	397.43	338.86

จากตารางที่ 7.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสลัดวงจร เฟส-ดิน ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร และระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลพีดเดอร์ 3 ดังแสดงใน รูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากระแสลัดวงจร เฟส-ดิน ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร และระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลฟีดเดอร์ 3

7.2 การประยุกต์พีชชีเพื่อจำลองการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร

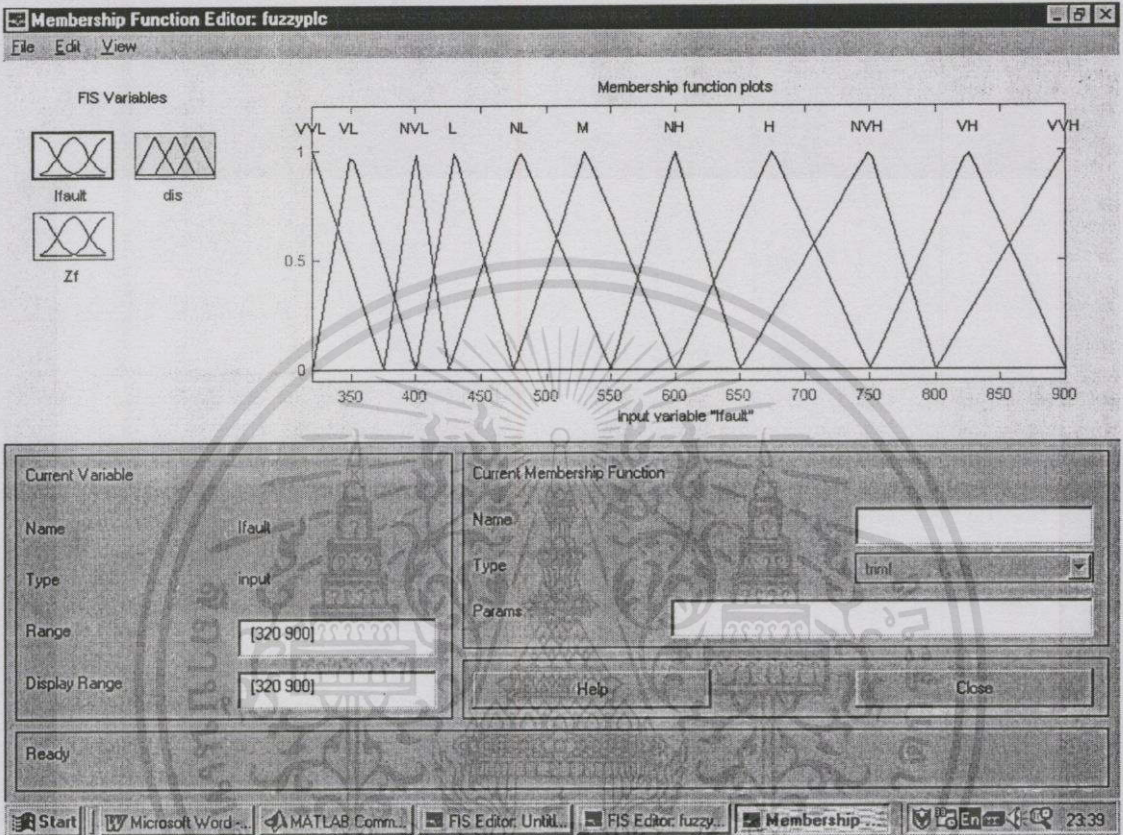
การประยุกต์พีชชีเพื่อจำลองการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร สำหรับโครงการนี้ได้นำโปรแกรม MATLAB ซึ่งมี Toolbox เพื่อใช้จำลองและสร้างตัวควบคุมแบบพีชชี มาช่วยจำลองตัวประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรของโครงการนี้ขึ้น โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ [12-13]

7.2.1 การสร้างฟังก์ชันในความเป็นสมาชิกพีชชี

การสร้างฟังก์ชันในความเป็นสมาชิกของพีชชีนั้น ได้อาศัยรูปที่ 7.2 ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 7.1 เพื่อเป็นข้อมูลในการแบ่งความเป็นสมาชิก(Membership Function) โดยกำหนดให้ค่ากระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน และค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรเป็นความเป็นสมาชิกของอินพุทและความเป็นสมาชิกของเอาต์พุทเป็นระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลฟีดเดอร์ 3 ดังในรายละเอียดแต่ละความเป็นสมาชิกดังต่อไปนี้

7.2.1.1 ความเป็นสมาชิกของค่ากระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน

การกำหนดความเป็นสมาชิกของค่ากระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน ซึ่งสามารถเพิ่มลดความเป็นสมาชิกตามความเหมาะสมเพื่อหาความเป็นสมาชิกของพีชที่ได้เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 7.3

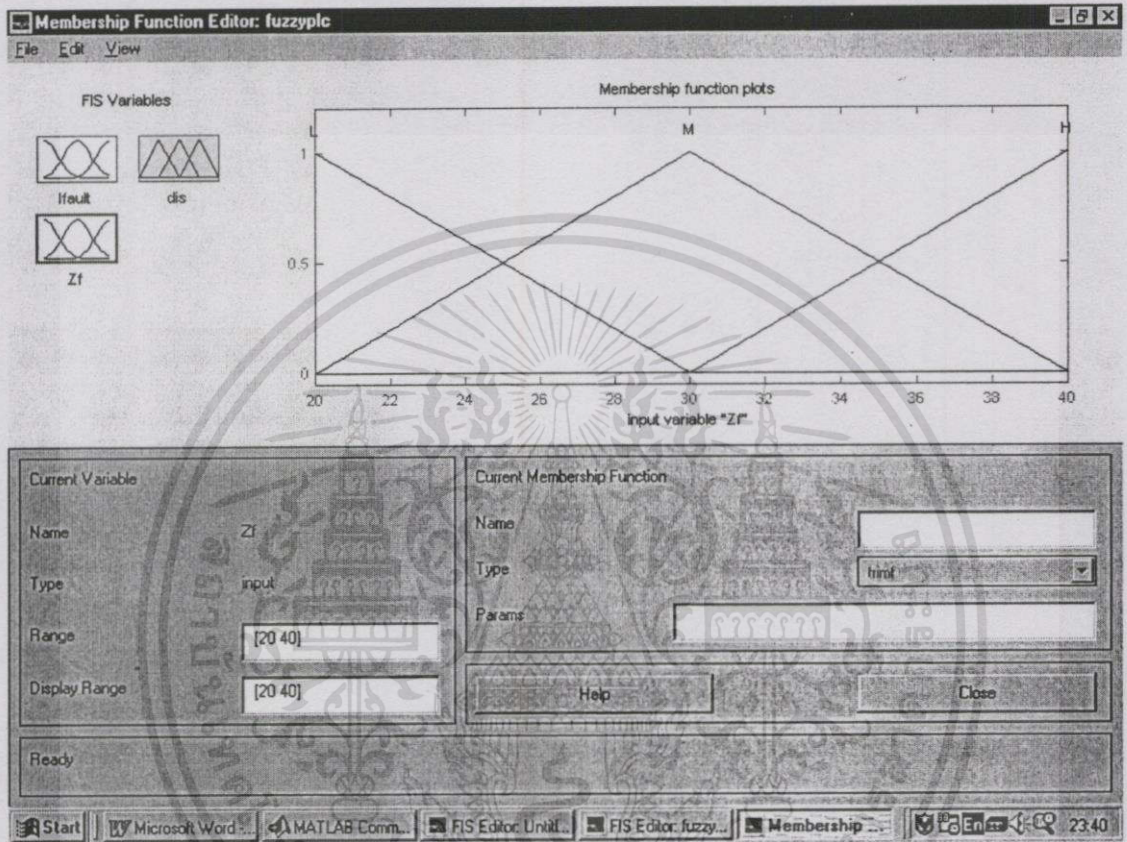


รูปที่ 7.3 ความเป็นสมาชิกของค่ากระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน

7.2.1.2 ความเป็นสมาชิกของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร

การกำหนดความเป็นสมาชิกของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร ซึ่งสามารถเพิ่มลดความเป็นสมาชิกตามความเหมาะสมเพื่อหาความเป็นสมาชิกของพีชที่ได้เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่

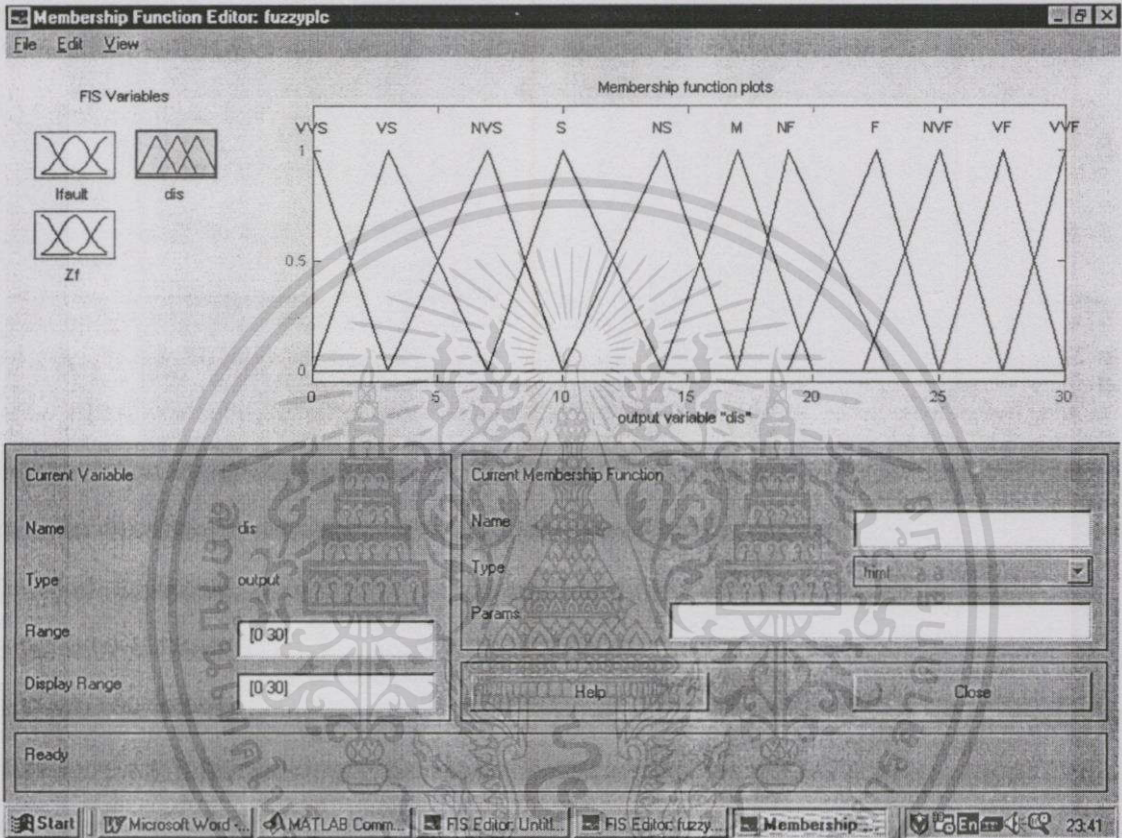
7.4



รูปที่ 7.4 ความเป็นสมาชิกของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร

7.2.1.3 ความเป็นสมาชิกของเป็นระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลพิดเดอร์ 3

การกำหนดความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลพิดเดอร์ 3 ซึ่งสามารถเพิ่มลดความเป็นสมาชิกตามความเหมาะสมเพื่อหาความเป็นสมาชิกของฟัซซี่ที่เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 ความเป็นสมาชิกของระยะทางหรือความยาวของสายเคเบิลพิดเดอร์ 3

7.2.1.4 การสร้างฐานความรู้แบบฟัซซี่

ในส่วนของฐานความรู้จะประกอบไปด้วยกฎที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งกฎต่างๆนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอินพุต ซึ่งในการวิเคราะห์แบบฟัซซี่ในบทความนี้ประกอบด้วยทั้งหมด 33 กฎ โดยมีรายละเอียดดังนี้ และสามารถดูรายละเอียดคำนิยามในภาคผนวก ข.

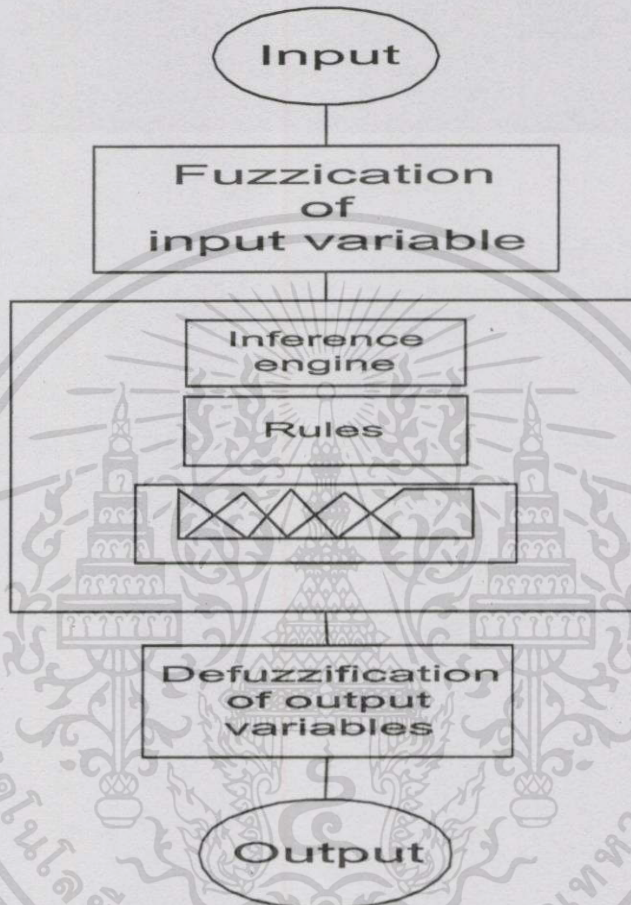
1. If (Ifault is VWL) and (Zf is L) then (dis is VVF) (1)
2. If (Ifault is VL) and (Zf is L) then (dis is VF) (1)
3. If (Ifault is NVL) and (Zf is L) then (dis is VF) (1)
4. If (Ifault is L) and (Zf is L) then (dis is VF) (1)

5. If (Ifault is NL) and (Zf is L) then (dis is VF) (1)
6. If (Ifault is M) and (Zf is L) then (dis is VF) (1)
7. If (Ifault is NH) and (Zf is L) then (dis is M) (1)
8. If (Ifault is H) and (Zf is L) then (dis is NS) (1)
9. If (Ifault is NVH) and (Zf is L) then (dis is NVS) (1)
10. If (Ifault is VH) and (Zf is L) then (dis is VS) (1)
11. If (Ifault is VVH) and (Zf is L) then (dis is VVS) (1)
12. If (Ifault is VVL) and (Zf is M) then (dis is VVF) (1)
13. If (Ifault is VL) and (Zf is M) then (dis is VVF) (1)
14. If (Ifault is NVL) and (Zf is M) then (dis is VF) (1)
15. If (Ifault is L) and (Zf is M) then (dis is VF) (1)
16. If (Ifault is NL) and (Zf is M) then (dis is NF) (1)
17. If (Ifault is M) and (Zf is M) then (dis is NVS) (1)
18. If (Ifault is NH) and (Zf is M) then (dis is VVS) (1)
19. If (Ifault is H) and (Zf is M) then (dis is VVS) (1)
20. If (Ifault is NVH) and (Zf is M) then (dis is VVS) (1)
21. If (Ifault is VH) and (Zf is M) then (dis is VVS) (1)
22. If (Ifault is VVH) and (Zf is M) then (dis is VVS) (1)
23. If (Ifault is VVL) and (Zf is H) then (dis is VVF) (1)
24. If (Ifault is VL) and (Zf is H) then (dis is NVF) (1)
25. If (Ifault is NVL) and (Zf is H) then (dis is M) (1)
26. If (Ifault is L) and (Zf is H) then (dis is VS) (1)
27. If (Ifault is NL) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)
28. If (Ifault is M) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)
29. If (Ifault is NH) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)
30. If (Ifault is H) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)
31. If (Ifault is NVH) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)
32. If (Ifault is VH) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)
33. If (Ifault is VVH) and (Zf is H) then (dis is VVS) (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.1.5 กระบวนการหาเหตุผล

กระบวนการหาเหตุผลทำหน้าที่หาค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซีจากค่าตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี ดังรูปที่ 7.6 [14]



รูปที่ 7.6 กระบวนการหาเหตุผลแบบฟัซซี

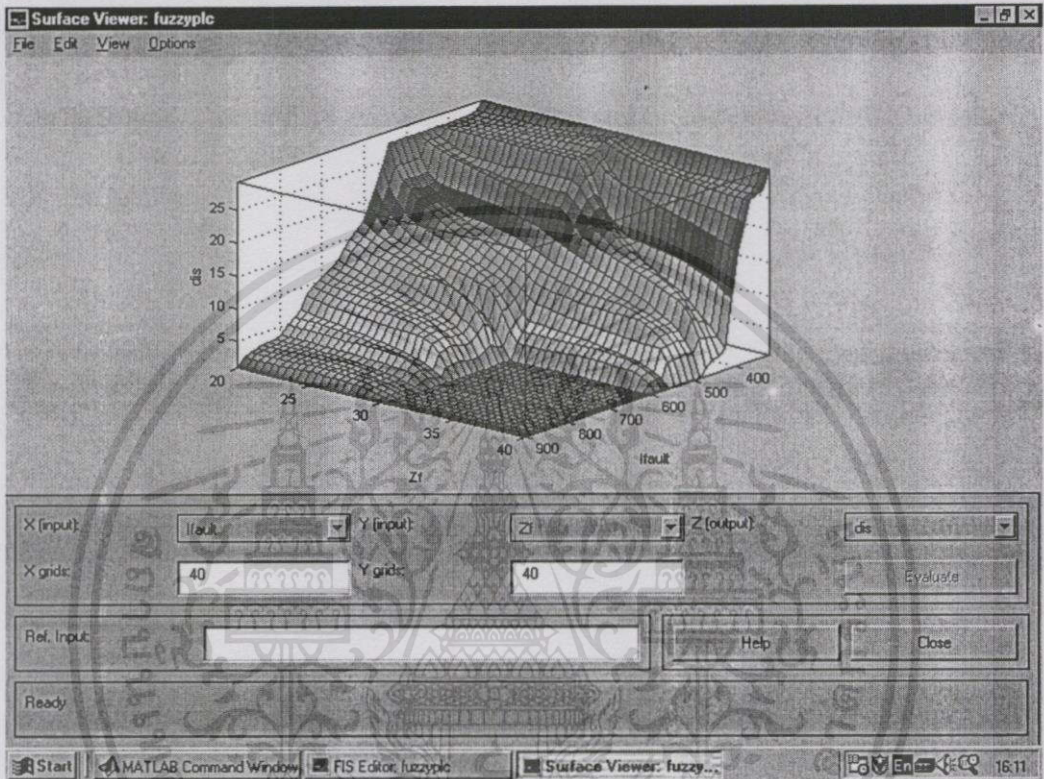
เมื่ออินพุตป้อนเข้าสู่ระบบส่วนกลางของการควบคุมระบบฟัซซีจะทำการ FUZZIFIED โดยการผ่านค่าของอินพุตซึ่งได้แก่ค่ากระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน และค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร

7.2.1.6 DEFUZZIED

DEFUZZIFICATION เป็นกระบวนการแปลงตัวแปร ฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นค่า Crisp Set ซึ่งในโปรแกรม MATLAB ได้มี DEFUZZIFICATION หลายวิธี สำหรับการจำลองของโครงการนี้ได้ใช้วิธี Centroid method เป็นการประมาณค่าของตัวแปรเอาต์พุตโดยการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ของกฎทุกข้อที่มีค่าความเป็นสมาชิกมากกว่าศูนย์ ดังสมการที่ 7.10 [14]

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z) \xi \, dz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z) \, dz} \quad (7.10)$$

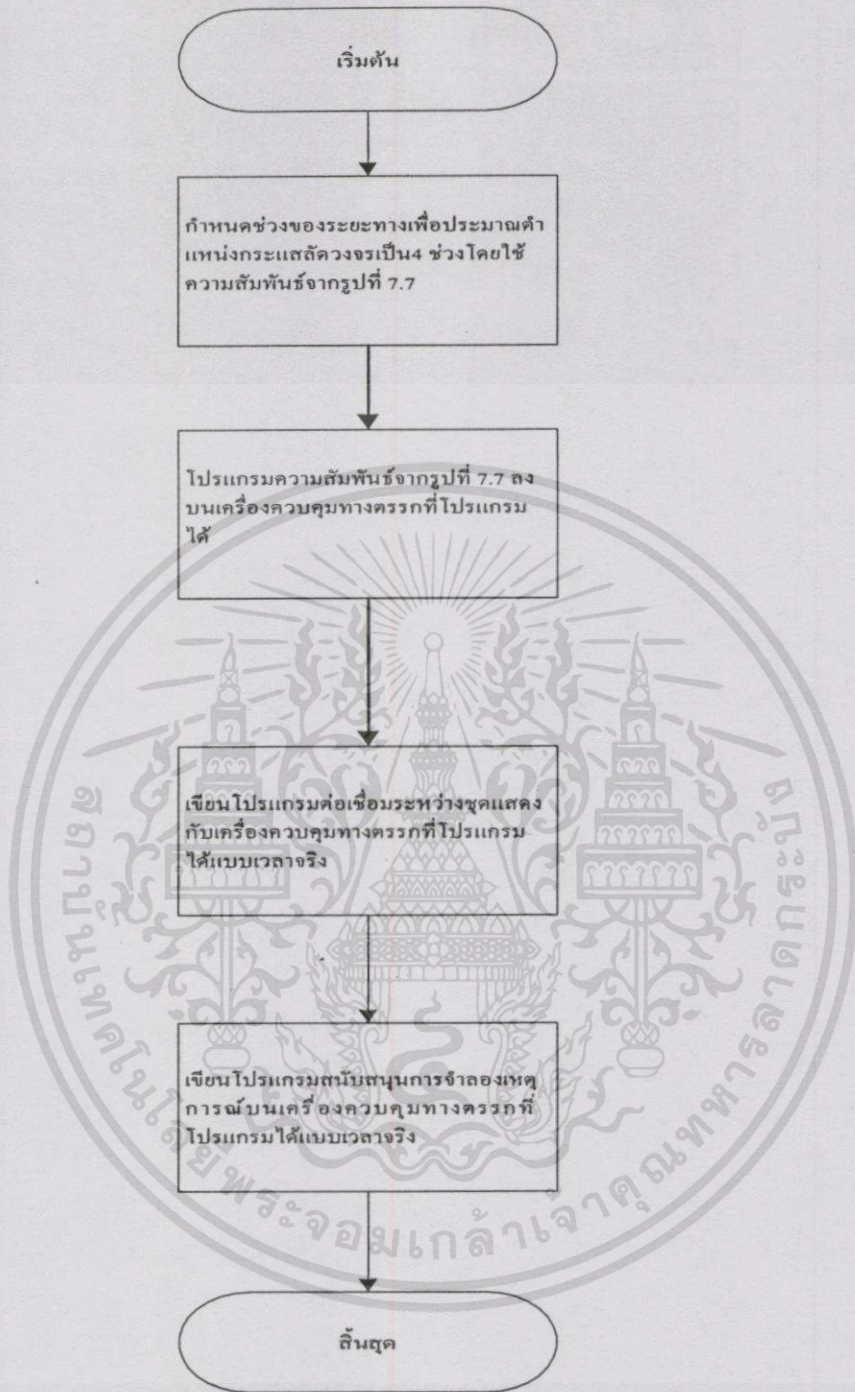
จากการประยุกต์ใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟัซซี ทำให้ทราบถึงความสามารถและสมรรถนะในการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร ดังรูปที่ 7.7 โดยเปรียบเทียบกับค่าจริงด้วยทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง ดังแสดงในภาคผนวก ก.



รูปที่ 7.7 พื้นผิวความสามารถและสมรรถนะของตัวประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร

7.3 การประยุกต์เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้เพื่อการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร

พื้นผิวแสดงความสามารถและสมรรถนะจากการใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการวิเคราะห์และจำลองจนกระทั่งได้สมรรถนะที่เหมาะสมที่สุดแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำโปรแกรมความสัมพัทธ์ต่างของพื้นผิวแสดงความสามารถและสมรรถนะลงบนเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ โดยสามารถดูรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับการทดลองได้ในภาคผนวก ค. และแสดงผังขั้นตอนการโปรแกรมในรูปที่ 7.8



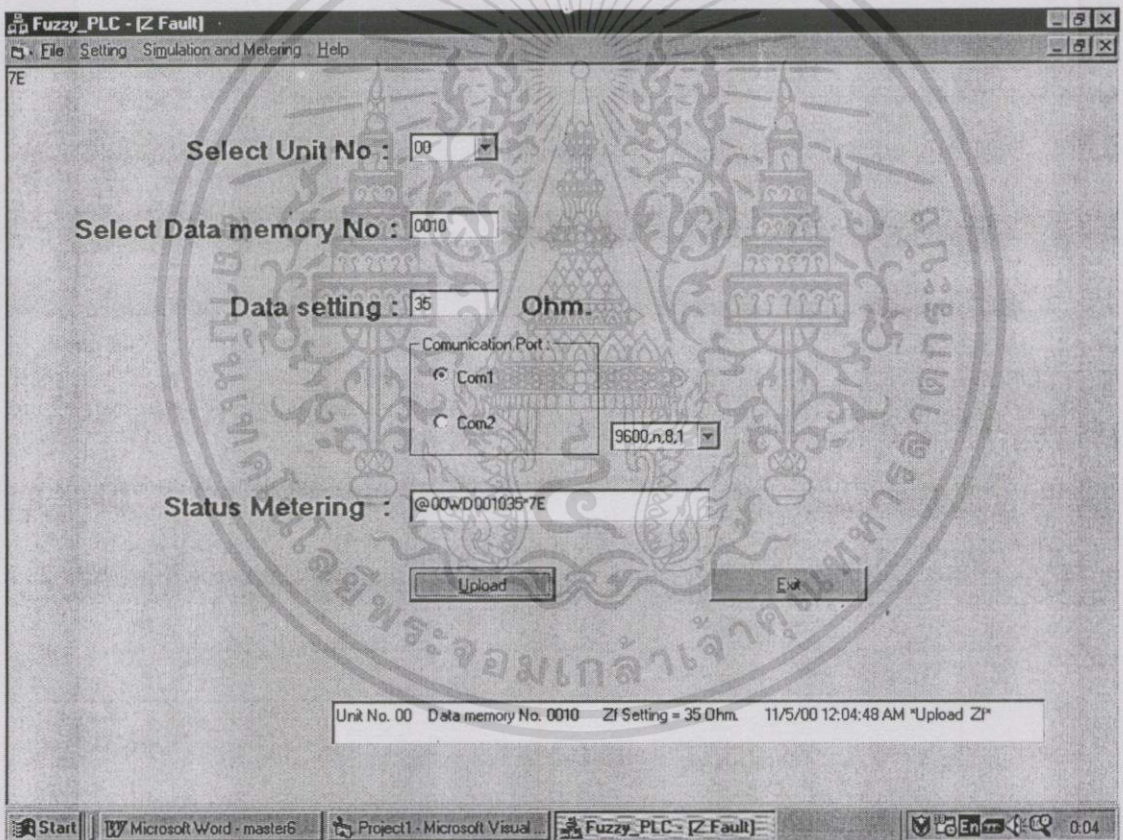
รูปที่ 7.8 ผังขั้นตอนการโปรแกรม

7.4 พัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

การพัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยจะเขียนโปรแกรมบน Visual Basic 6.0 ซึ่งได้เขียนโปรแกรมสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์ในกรณีต่างๆบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้โดยผ่านข้อกำหนดการสื่อสารมาตรฐาน RS422A ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

สำหรับโปรแกรมสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์ในกรณีต่างๆนั้นได้ออกแบบความสามารถในการจำลองเหตุการณ์ซึ่งแสดงรายละเอียดของการจำลองดังต่อไปนี้

7.4.1 การรับส่งข้อมูลเพื่อปรับตั้งค่าต่างๆที่จำเป็นของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้



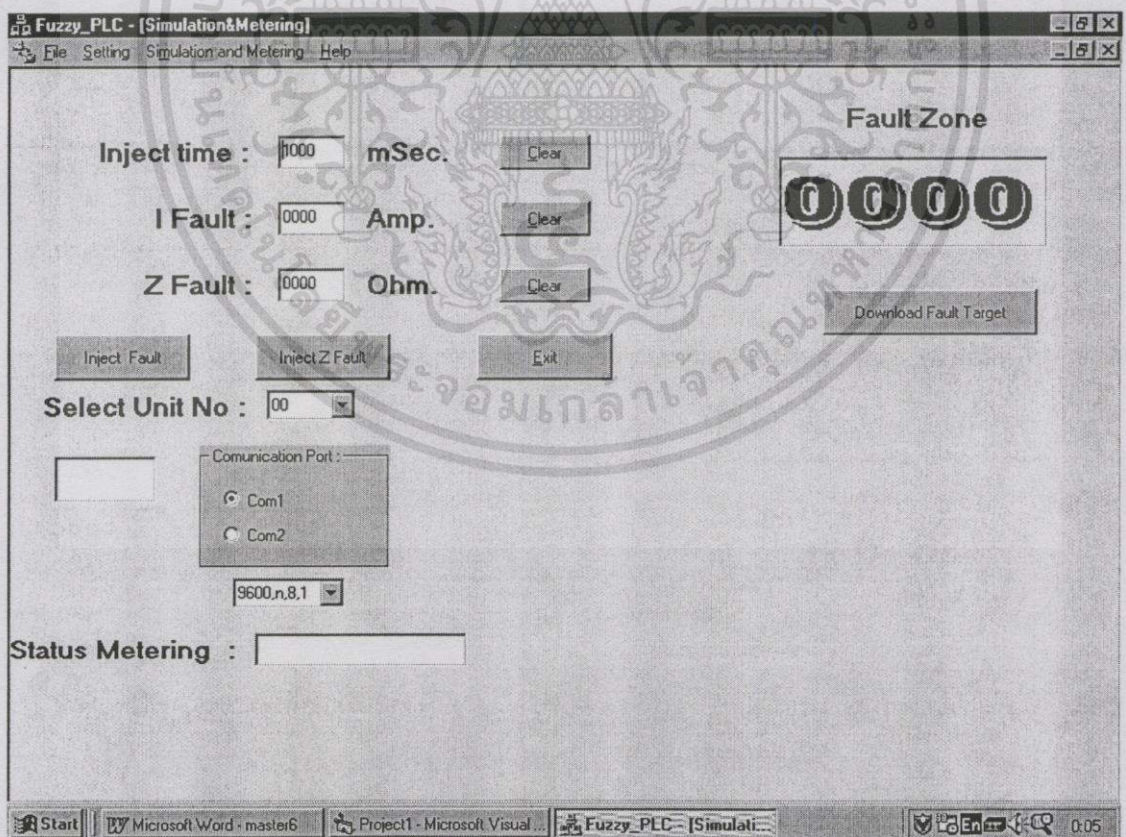
รูปที่ 7.9 ตัวอย่างการส่งข้อมูลไปยังเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้

การรับส่งข้อมูลไปยังเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้นั้นมีจุดประสงค์เพื่อทำการปรับตั้งค่าที่กำหนดลงไปใน DATA MEMORY ของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ โดยจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการใช้งานเครื่องประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรแล้วเป็นระยะเวลาานานๆ

บางครั้งเมื่อมีความจำเป็นต้องปรับปรุงฐานความรู้ของเครื่องดังกล่าวก็สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ มีโปรโตคอลที่เป็นมาตรฐานซึ่งถ้าเราใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้อย่างกว้างขวางแล้วนั้นก็จะมีซอฟต์แวร์ที่สนับสนุนเพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้กับมนุษย์(Man Machine Interface) ยกตัวอย่างเช่นโปรแกรมที่ชื่อ Factory Link Ver.4.0 [15-16] ดังรูปที่ 7.9 แสดงตัวอย่างโปรแกรมการส่งข้อมูลไปยังเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ที่พัฒนาขึ้นเอง

7.4.2 การจำลองเหตุการณ์การประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร

การจำลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรแบบ เฟส-ดิน ของโครงงานนี้นั้น ได้ทำการพัฒนาให้โปรแกรมเพื่อให้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นและยังสามารถตั้งเวลาช่วงที่เกิดกระแสลัดวงจรได้เพื่อทดสอบความสามารถในการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบเวลาจริงของเครื่องว่ามีประสิทธิภาพและมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด และยังสามารถตั้งค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่างเช่นสภาพอากาศ คุณสมบัติของดิน ภูมิประเทศของพื้นที่นั้นๆ ดังรูปที่ 7.10



รูปที่ 7.10 การจำลองเหตุการณ์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5 สร้างวงจรชุดแปลงสัญญาณมาตรฐานจาก RS 232C เป็น RS 422A

เครื่องคอมพิวเตอร์พีซีที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบันแทบทุกเครื่องจะพ่วงมาตรฐาน RS-232 มาให้ด้วย มาตรฐาน RS-232 นั้นมีระดับแรงดัน 3 โวลต์จนถึง 15 โวลต์ สำหรับลอจิก 0 และ -3 โวลต์ถึง -15 โวลต์ สำหรับลอจิก 1 สัญญาณ จากแหล่งจ่ายเหล่านี้ที่เป็นค่าที่อ้างอิงเทียบกับกราวด์ ทำให้เมื่อมีการต่อสายที่ระยะทางไกลๆ จะเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นภายในสายได้ ทำให้มาตรฐาน RS-232 สามารถรับส่งข้อมูลได้ในวงไม่เกิน 50 ฟุตเท่านั้น

มาตรฐานที่จะเข้ามาแก้ไขปัญหานี้ได้คือ RS-422 ซึ่งมันจะช่วยลดข้อจำกัดของ RS-232 โดยวิธีการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างไปจากเดิม ซึ่งจะให้สายตีเกลียวเพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในสายการนำเอาหลักของมาตรฐาน RS-232 เป็น RS-422A และ RS-485 มาใช้งานซึ่งจะช่วยการส่งข้อมูลที่เป็นอยู่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอีกมาก [17]

7.5.1 หลักการของ RS-422A และ RS-485

ภายใต้มาตรฐานนี้การส่งข้อมูลจะส่งออกไปด้วยสายเพียงสองเส้นตีเกลียวกันไป โดยเมื่อสายสัญญาณเส้นหนึ่งมีแรงดัน +5 โวลต์ สายสัญญาณอีกเส้นที่ตีคู่กันไปจะมีแรงดัน 0 โวลต์ และถ้าสัญญาณอีกด้านมีแรงดัน 0 สายเส้นที่ตีคู่กันไปก็จะมีแรงดัน +5 โวลต์ ทำให้อิมพีแดนซ์และกระแสที่ไหลในสายเท่ากัน สัญญาณรบกวนต่างๆก็จะถูกหักล้างกันไปหมด ซึ่งรูปแบบการส่งข้อมูลของ RS-422A จะแสดงดังรูปที่ 7.11



รูปที่ 7.11 การรับส่งข้อมูลในมาตรฐาน RS-422A เปรียบเทียบกับข้อมูลส่ง

สำหรับไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลจากมาตรฐาน RS-232 นั้นจะใช้ไอซีเบอร์ 75176 ซึ่งเอาท์พุทหรืออินพุทของไอซี 75176 ขาด้านหนึ่งจะเป็นขานอนอินเวอร์ตติง ส่วนขาอีกข้างหนึ่งจะเป็นขานอนอินเวอร์ตติง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคส่งจะมีค่าอิมพีแดนซ์ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นภาครับบนสายสัญญาณจะต้องต่อตัวต้านทานต่ำๆ ครอบคลุมไว้ด้วย ซึ่งค่าความต้านทานนี้มีค่าประมาณ 150 โอห์ม ซึ่งทำให้สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในสายมีน้อยหรือไม่มีเลย

กระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสัญญาณรบกวนจะไม่มีผลกระทบกับแรงดันทางด้านภาครับ และด้วยเหตุผลนี้จึงไม่มีผลต่อสถานะลอจิกของภาครับ ทำให้สัญญาณสามารถถูกส่งออกไปได้ถึง 1000 ฟุต ที่อัตราบอดเรตค่อนข้างสูง

มาตรฐาน RS-485 ก็มีลักษณะของแรงดันเช่นเดียวกับแบบ RS-422A แต่จะใช้สายดีเกิลียวเพียงคู่เดียวเพื่อการรับส่งข้อมูลแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์เมื่อเทียบกับ RS-422A ต้องการสายดีเกิลียว 2 คู่ สำหรับการสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ ดังนั้นไอซี 75176 นั้นจะมีขาสัญญาณสำหรับใช้เป็นขาควบคุม 2 ขา เพื่อใช้เป็นตัวเลือกภาครับหรือภาคส่ง โดยการใช้งานจะต่อขาสัญญาณ 2 ขานี้เข้าด้วยกันไอซี 75176 จะทำงานในโหมดภาครับเมื่อระดับแรงดันที่ขาควบคุมมีสถานะเป็น LOW หรือทำงานเป็นภาคส่งเมื่อระดับแรงดันที่ขาควบคุมมีสถานะเป็น HIGH เพราะฉะนั้นการควบคุมทิศทางการส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดได้จากขาควบคุมเพื่อส่งและรับข้อมูลแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องนั้น สำหรับการสื่อสารแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ เครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่อง จะต้องมีความสัมพันธ์กัน เช่นด้านหนึ่งทำหน้าที่ส่งข้อมูล อีกด้านหนึ่งก็ทำหน้าที่เป็นภาครับ

มาตรฐาน RS-232 ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการต่อเชื่อมเข้ากับโมเด็ม จึงทำให้มันต้องมีขาสัญญาณหลายๆขา สำหรับใช้ในการติดต่อแสดงสถานะโมเด็ม ส่วนมาตรฐาน RS-422A และ RS-485 นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้กับการสื่อสารข้อมูลโดยใช้สายโดยเฉพาะ จึงไม่จำเป็นต้องมีสายสำหรับแสดงสถานะต่างๆ จะมีก็แต่การใช้สัญญาณ RTS เพื่อควบคุมทิศทางของสัญญาณสำหรับการการส่งข้อมูลด้วยมาตรฐาน RS-485 เท่านั้น

7.5.2 หลักการทำงานของวงจรถ

วงจรถมบูรณ์ของวงจรถจะแสดงในรูปที่ 7.11 วงจรถแปลงนี้จะใช้ไอซี MAX-232 คอยทำหน้าที่แปลงแรงดันในมาตรฐาน RS-232 ให้อยู่ในรูปที่ทีแอล และในทางกลับกันคือแปลงแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้า MAX 232 ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน RS-232 เพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ไอซี 75176 อีก 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณให้เป็นมาตรฐาน RS-422A หรือ RS-485 โดย RS-485 ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์จะใช้สายสัญญาณ RTS มาทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของการสื่อสารภาคแหล่งจ่ายไฟก็จะใช้วงจรถริดจ์เรกติไฟล์และตัวเก็บประจุ C_7 สำหรับกรองแรงดันส่งผ่านไปให้ IC_4 ทำหน้าที่เป็นเรกกูเรเตอร์เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ไว้ที่ 5 โวลต์ จากการใช้วงจรถริดจ์เรกติไฟล์ ทำให่วงจรถนี้สามารถที่จะใช้แรงดันได้ทั้ง แรงดันกระแสสลับ 6-9 โวลต์ หรือแรงดันกระแสตรง 9-12 โวลต์

บทที่ 8

การทดสอบการทำงานและผลการทดลอง

8.1 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองการประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องว่าสามารถทำได้ถูกต้องแม่นยำตามเงื่อนไขหรือไม่ อีกทั้งเพื่อทดสอบหาจุดบกพร่องในกรณีต่างๆที่ทำการจำลองเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

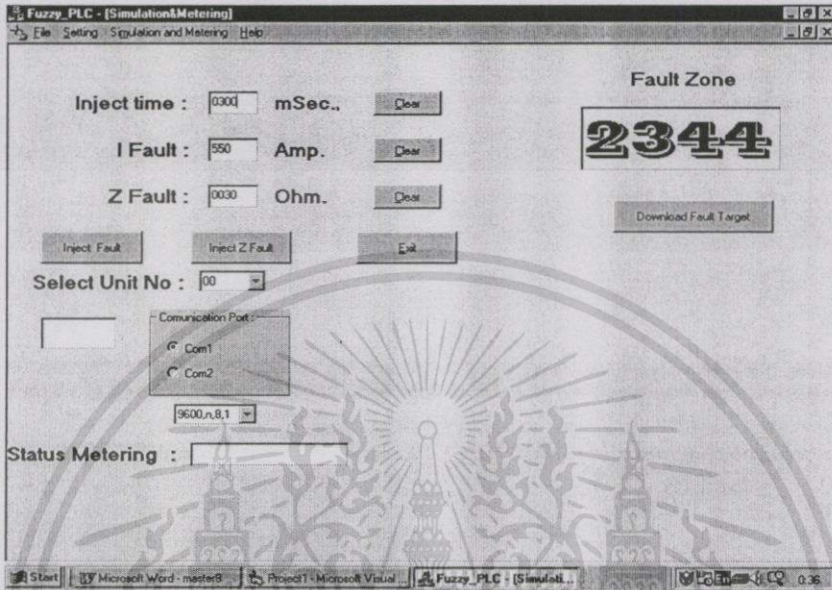
การจำลองเหตุการณ์เพื่อทดสอบเครื่องดังกล่าว โดยทำการจำลองในกรณีการเกิดกระแสลัดวงจรแบบเฟส-ดิน ที่มีปัจจัยหรือตัวแปรต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ประมาณค่ากระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำการจำลองเหตุการณ์ในกรณีต่างๆ อาทิเช่น การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงไป การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆ โดยได้กำหนดช่วงของระยะทางการประมาณตำแหน่งของกระแสลัดวงจรได้ดังต่อไปนี้

- เมื่อชุดแสดงผล ได้แสดงเลข "1" จะหมายความว่า ตำแหน่งกระแสลัดวงจรอยู่ระหว่าง 0 - 7 ก.ม.
- เมื่อชุดแสดงผล ได้แสดงเลข "2" จะหมายความว่า ตำแหน่งกระแสลัดวงจรอยู่ระหว่าง 7 - 15 ก.ม.
- เมื่อชุดแสดงผล ได้แสดงเลข "3" จะหมายความว่า ตำแหน่งกระแสลัดวงจรอยู่ระหว่าง 15 - 23 ก.ม.
- เมื่อชุดแสดงผล ได้แสดงเลข "4" จะหมายความว่า ตำแหน่งกระแสลัดวงจรอยู่ระหว่าง 23 - 30 ก.ม.

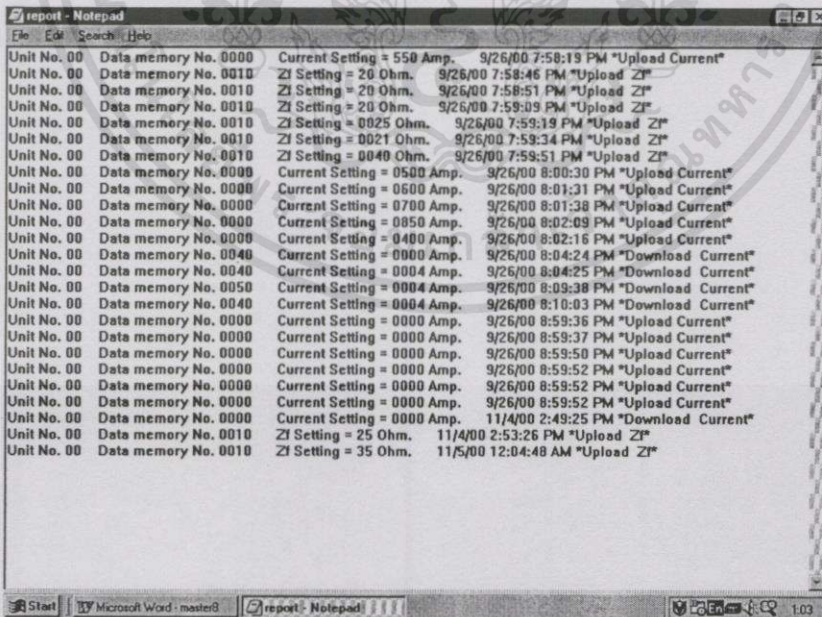
8.2 การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงไป

การทดลองของหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ในทางปฏิบัติจะเปลี่ยนแปลงหรือแปรผันตาม สภาพแวดล้อม คุณสมบัติของดิน ฤดูกาลและสภาพอากาศในเวลานั้นๆ แต่สำหรับในทาง

ทฤษฎีจะทำการกำหนดค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรเป็นค่าๆหนึ่ง เพื่อใช้คำนวณค่ากระแสลัดวงจรในแบบต่างๆเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบ การปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันหรือการจัดอุปกรณ์ให้สัมพันธ์กันในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังได้แสดงขั้นตอนการจำลองเหตุการณ์และผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 8.1 โปรแกรมการจำลองเหตุการณ์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและ เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 8.2 การเก็บข้อมูลต่างลงไฟล์เอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8.1 แสดงโปรแกรมสำหรับการจำลองเหตุการณ์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและเมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆและยังสามารถส่ง-รับข้อมูลการปรับตั้งหรือการทำงานของเครื่องอื่นๆที่ต่อรวมอยู่ในโครงข่ายได้และสามารถเก็บเหตุการณ์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 8.2

ตารางที่ 8.1 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 400 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร

ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ช่วงของการประมาณที่กำหนด	ช่วงของการประมาณที่วัดได้	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	3	3	3
22	3	3	3
24	3	3	3
26	3	3	3
28	3	3	3
30	3	4	4
32	3	4	4
34	3	4	4
36	4	4	4
38	4	4	4
40	4	4	4
ผลสรุปทางสถิติ			
%รีพีทหะบิลิตี้	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนกัน/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		100
%ความไม่ไบอัส	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนและถูกต้อง/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		72.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.2 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 500 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร

ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ช่วงของการประมาณที่กำหนด	ช่วงของการประมาณที่วัดได้	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	1	1	1
22	2	2	2
24	2	2	2
26	2	2	2
28	2	2	2
30	3	3	3
32	3	3	3
34	3	3	3
36	3	3	3
38	3	3	3
40	4	3	3
ผลสรุปทางสถิติ			
%รีพีทเทบิลิตี	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนกัน/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		100
%ความไม่ไบอัส	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนและถูกต้อง/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		90.9

ตารางที่ 8.3 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 600 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ
ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร

ค่าอิมพีแดนซ์ที่ จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ช่วงของการ ประมาณที่กำหนด	ช่วงของการ ประมาณที่วัดได้	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	1	1	1
22	1	1	1
24	1	1	1
26	1	2	2
28	1	2	2
30	1	2	2
32	1	2	2
34	2	2	2
36	2	2	2
38	2	2	2
40	3	3	3
ผลสรุปทางสถิติ			
%รีพีทอะบิลิตี	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนกัน/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		100
%ความไม่ไบอัส	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนและถูกต้อง/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		63.63

ตารางที่ 8.4 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 700 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ
ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร

ค่าอิมพีแดนซ์ที่ จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ช่วงของการ ประมาณที่กำหนด	ช่วงของการ ประมาณที่วัดได้	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	1	1	1
22	1	1	1
24	1	1	1
26	1	1	1
28	1	1	1
30	1	2	2
32	2	2	2
34	2	2	2
36	2	2	2
38	2	2	2
40	2	2	2
ผลสรุปทางสถิติ			
%รีพีทอะบิลิตี	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนกัน/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		100
%ความไม่ไบอัส	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนและถูกต้อง/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		90.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 ผลการทดลองเหตุการณ์กระแสลัดวงจรขนาด 800 แอมป์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
ของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร

ค่าอิมพีแดนซ์ที่ จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ช่วงของการ ประมาณที่กำหนด	ช่วงของการ ประมาณที่วัดได้	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
20	1	1	1
22	1	1	1
24	1	1	1
26	1	1	1
28	1	1	1
30	1	1	1
32	1	1	1
34	1	1	1
36	1	1	1
38	1	1	1
40	1	1	1
ผลสรุปทางสถิติ			
%รีพีทเทบิลิตี	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนกัน/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		100
%ความไม่ไบอัส	จำนวนครั้งที่วัดได้เหมือนและถูกต้อง/จำนวนค่าที่ทดสอบทั้งหมด		100

8.3 การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบพีซีซีโดยเครื่อง ควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่ เวลาต่างๆ

การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบพีซีซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกะที่
โปรแกรมได้เมื่อเกิดกระแสลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความ
สามารถของการประมวลผลแบบเวลาจริงของเครื่องดังกล่าวว่ารวดเร็วมากน้อยเพียงใด เมื่อเกิด
การลัดวงจรแบบชั่วคราว ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นการเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวนั้นส่วนใหญ่จะเกิด
เนื่องจากสาเหตุ กิ่งไม้แตะสายระบบจำหน่าย จากสัตว์เลื้อยคลานชนิดต่างๆ จากสาเหตุที่กล่าว
นั้นจะมีระยะเวลาที่แตกต่างกันไป ผลประโยชน์ที่ได้รับก็คือสามารถประมาณตำแหน่งของการเกิด
กระแสลัดวงจรได้เพื่อเพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับทำแผนบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าต่อไปเพื่อเพิ่ม

เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าให้มากยิ่งขึ้นและสร้างภาพพจน์ที่ดีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้งภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม โดยมีรายละเอียดการดังตารางผลการทดลองต่อไปนี้

ตารางที่ 8.6 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.02 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่

ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ค่ากระแสลัดวงจร (แอมป์)	ช่วงของการประมาณที่วัดได้	ช่วงของการประมาณที่กำหนด
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	-	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
20	500	1	1
ผลสรุปทางสถิติ			
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X$		0.81

ตารางที่ 8.7 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.05 วินาที
โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่

ค่าอิมพีแดนซ์ที่ จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ค่ากระแสลัดวงจร (แอมป์)	ช่วงของการ ประมาณที่วัดได้	ช่วงของการ ประมาณที่กำหนด
25	600	2	2
25	600	2	2
25	600	-	2
25	600	-	2
25	600	2	2
25	600	2	2
25	600	2	2
25	600	2	2
25	600	2	2
25	600	2	2
25	600	2	2
ผลสรุปทางสถิติ			
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X$		0.81

ตารางที่ 8.8 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.08 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่

ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ค่ากระแสลัดวงจร (แอมป์)	ช่วงของการประมาณที่วัดได้	ช่วงของการประมาณที่กำหนด
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	-	4
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	4	4
30	350	4	4
ผลสรุปทางสถิติ			
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X$		0.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.9 ผลการทดลองเหตุการณ์ เมื่อมีเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวเป็นเวลา 0.1 วินาที โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่

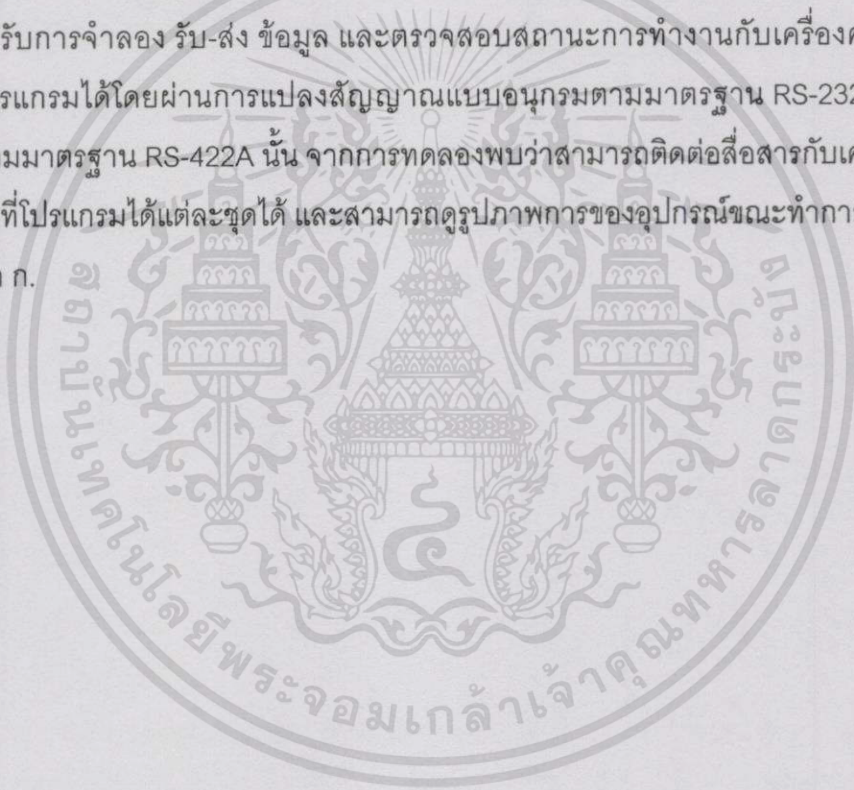
ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจร (โอห์ม)	ค่ากระแสลัดวงจร (แอมป์)	ช่วงของการประมาณที่วัดได้	ช่วงของการประมาณที่กำหนด
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
35	700	2	2
ผลสรุปทางสถิติ			
ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X$		1

8.4 ผลการทดลอง

จากตารางที่ 8.1-8.5 มีจุดประสงค์เพื่อทดลอง เปรี่เซนต์รีทเทบิลิตีและความไม่ไบอัสของเครื่องประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกระแสลัดวงจรและกำหนดให้ค่ากระแสลัดวงจรคงที่ โดยการทดสอบเปรีเซนต์รีทเทบิลิตีมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความแม่นยำของเครื่อง ถ้าเปรีเซนต์รีทเทบิลิตี มีคะแนนต่ำกว่า 100% แล้วแสดงว่าจำเป็นต้องปรับปรุงความมีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ของเครื่อง ส่วนเปรีเซนต์ความไม่ไบอัสนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องของเครื่อง ถ้าเปรีเซนต์ความไม่ไบอัส มีคะแนนต่ำกว่า 100% แล้ว แสดงว่าจำเป็นต้องปรับปรุงโปรแกรมเพื่อให้เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้อง จากผลการทดลองจากตารางที่ 8.1-8.5 จะเห็นได้ว่ามีเพียงค่าเปรีเซนต์ความไม่ไบอัสของแต่ละตารางเท่านั้นที่มีคะแนนต่ำกว่า 100% ดังนั้นการแก้ไขจุดบกพร่องดังกล่าวได้โดยการแก้ไขโปรแกรมให้เหมาะสมและถูกต้อง [18-19]

จากตารางที่ 8.6-8.9 มีจุดประสงค์เพื่อทดลองค่ารีทเทอริ่งของเครื่องประมาณตำแหน่ง กระแสลัดวงจร เมื่อมีเกิดการลัดวงจรแบบชั่วคราวที่เวลาต่างๆกัน โดยกำหนดให้ค่าอิมพีแดนซ์ที่ จุดกระแสลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจรคงที่ จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อเกิดกระแสลัดวงจร ในเวลาที่รวดเร็วเกิน(น้อยกว่า 0.02 วินาที) จะทำให้เครื่องไม่สามารถวิเคราะห์หรือประมาณ ตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้ถูกต้องมากนัก แต่ในทางปฏิบัติและใช้งานจริงนั้นเครื่องประมาณ ตำแหน่งกระแสลัดวงจรก็ยังคงสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพในกรณีการเกิดเหตุการณ์ กระแสลัดวงจรแบบชั่วคราว ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าว กฟภ. ได้นิยามไว้ว่าเป็นลักษณะการจ่ายไฟฟ้า ไม่ต่อเนื่อง ไฟฟ้าจะดับเป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 0.3-30 นาที [20] แล้วไฟจะกลับมาสู่สภาวะ ปกติ จากผลการทดลองดังตารางที่ 8.6-8.9 จะเห็นได้ว่าเครื่องประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร สามารถตรวจจับได้อย่างถูกต้องมากขึ้นตามเวลาการเกิดกระแสลัดวงจรที่นานขึ้นเช่นกัน

สำหรับการจำลอง รับ-ส่ง ข้อมูล และตรวจสอบสถานะการทำงานกับเครื่องควบคุมแบบ ตรรกที่โปรแกรมได้โดยผ่านการแปลงสัญญาณแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C เป็นแบบ อนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A นั้น จากการทดลองพบว่าสามารถติดต่อสื่อสารกับเครื่องควบคุม แบบตรรกที่โปรแกรมได้แต่ละชุดได้ และสามารถดูรูปภาพการของอุปกรณ์ขณะทำการทดลองได้ที่ ภาคผนวก ก.



สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้นั้น จะเห็นได้ว่าสามารถประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแสดงการพิสูจน์ด้วยวิธีทางสถิติคือค่าเปอร์เซ็นต์รีพีทเทเบิลิตีและเปอร์เซ็นต์ [18-19] ความไม่ไบอัส แสดงถึงสมรรถนะที่ดีของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ เมื่อมีการนำไปติดตั้งและใช้งานจริงตามเงื่อนไขที่กำหนด ปัจจุบันการประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรในระบบจำหน่ายของ กฟภ. นั้นใช้เพียงประสบการณ์ของพนักงานประจำสถานีไฟฟ้านั้นๆ เป็นผู้ประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจร เนื่องจากพนักงานประจำสถานีไฟฟ้าจะมีประสบการณ์และรับทราบข้อมูลของเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง อีกทั้งยังทราบข้อมูลของค่ากระแสลัดวงจรและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเมื่ออุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายทำงาน ที่ผ่านมาประสบการณ์ของพนักงานประจำสถานีไฟฟ้าก็ไม่สามารถประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้ถูกต้องเสมอไป สาเหตุเนื่องจากปัจจัยหลายประการที่ทำให้การประมาณตำแหน่งกระแสลัดวงจรผิดพลาดไป ปัจจัยหนึ่งที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอคือค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรซึ่งจะแปรผันตามสภาพแวดล้อม คุณสมบัติของดิน ฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงเป็นต้น สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมการจ่ายไฟของ กฟภ. ในอนาคต นั้น กฟภ. ได้พยายามนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาช่วยปรับปรุงเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น ระบบ SCADA เป็นต้น การประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงนั้นสามารถเป็นไปได้ โดยอ้างอิงจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าสามารถประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรได้อย่างถูกต้องถึงแม้ว่าจะมีบางกรณีที่เกิดการผิดพลาดบ้างแต่ก็ทราบสาเหตุและสามารถปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องได้

แนวทางการพัฒนาการประมาณระยะทางของตำแหน่งกระแสลัดวงจรแบบฟิชซีโดยเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้นั้น คือการพัฒนาให้เครื่องสามารถวิเคราะห์ได้ครอบคลุมการเกิดกระแสลัดวงจรทุกแบบ และการพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุได้อย่างต่อเนื่องโดยผ่านโครงข่ายการสื่อสารข้อมูลที่กำหนดไว้

สุดท้ายวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงให้เห็นถึงการใช้งานของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ที่เป็ผลผลิตภัณฑ์ของไทยสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายและมีสมรรถนะทัดเทียมกับเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ต่างประเทศ

เอกสารอ้างอิง

- [1]. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2531. การจัดอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าของ กฟภ. พิมพ์ครั้งที่ 1
กรุงเทพฯ : ศูนย์ฝึกอบรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [2] Turan G. Electric Power Distribution System Engineering. 1st Ed. Singapore :
McGraw-Hill Book Company, Inc. 1986.
- [3] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2543. เอกสารประกอบการฝึกอบรม "วิศวกรใหม่".
กรุงเทพฯ : กองฝึกอบรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [4] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรม
ไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] COOPER POWER SYSTEM. 1990. Electrical Distribution-System Protection. 3rd Ed.
The United States : COOPER POWER SYSTEM.
- [6] Li-Xin W. Adaptive Fuzzy System and Control. The United States of America :
Prentice-Hall International, Inc. 1994.
- [7] สุพรรณ กุลพานิชย์. เทคนิคและการใช้งานเบื้องต้น Programmable Controller เล่ม 1.
กรุงเทพฯ : บริษัท ออมร่อน ตรีศักดิ์ จำกัด.
- [8] สุพรรณ กุลพานิชย์. เทคนิคและการประยุกต์ใช้งาน Programmable Controller
เล่ม 2. กรุงเทพฯ : บริษัท ออมร่อน ตรีศักดิ์ จำกัด.
- [9] ทวีพล ชี้อัสต์ย์. "การออกแบบเครื่องควบคุมแบบตรรกและระบบโครงข่ายผ่านไฮส
คอมพิวเตอร์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [10] R E SMITH. "Quick Reference For RS485,RS422,RS232 and RS423." [Online].
Available : <http://www.rs485.com/rs485spec.html>. 2000.
- [11] บริษัท แฟคทอรีคอนซัลเตนท์ จำกัด. คู่มือการใช้งาน Programmable Controller
PC84SF Ver 2.00 กรุงเทพฯ : บริษัท แฟคทอรีคอนซัลเตนท์ จำกัด.
- [12] The MathWorks, Inc. "Fuzzy Logic Toolbox For Use with MATLAB." [Online].
Available : <http://www.mathwork.com>. 1999.
- [13] The MathWorks, Inc. "SIMULINK Dynamic System Simulation for MATLAB."
[Online]. Available : <http://www.mathwork.com>. 1999.

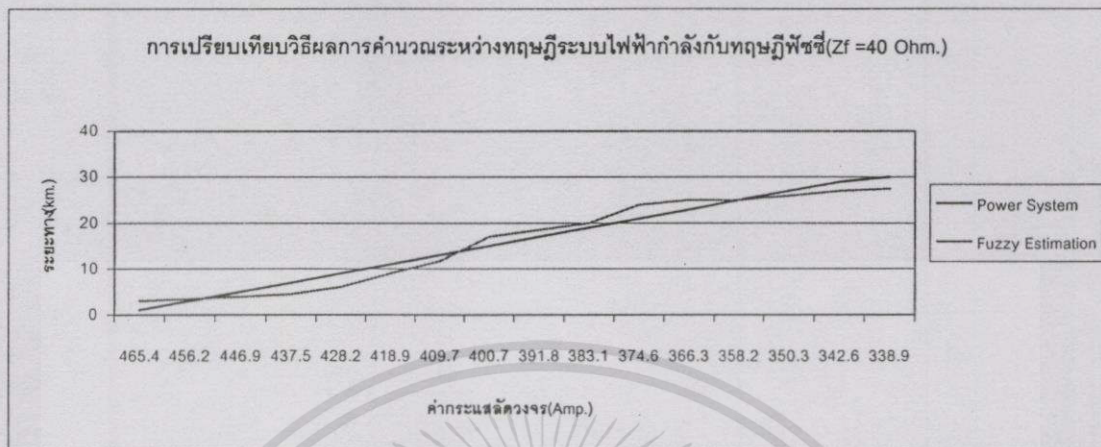
- [14] ยุทธพงศ์ ทัพผดุง และคณะ. "การวิเคราะห์หาตำแหน่งกระแสลัดวงจรโดยการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบพีซี." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22. พ.ศ. 2542 . หน้า 171-174.
- [15] SRI U-THONG CO., LTD. 2000. Software Engineering Document of Computer Based Substation Control System(CSCS) PART: Operation Manual. Bangkok : SRI U-THONG CO., LTD.
- [16] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2543. เอกสารประกอบการฝึกอบรม "พนักงานประจำสถานีไฟฟ้า 115 เควี". กรุงเทพฯ : กองฝึกอบรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [17] กฤษดา ใจเย็น. 2540. "เครื่องแปลงพอร์ตอนุกรม RS-232 ให้เป็น RS-422/485." เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 168 : หน้า 38-43.
- [18] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2537.
- [19] Jone P Bentley. Principles of Measurement System. 2nd Ed. The United States : Division of Instrumentation and Control Engineering Teesside Polytechnic.
- [20] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2543. เอกสารประกอบการฝึกอบรม "การปฏิบัติการบำรุงรักษาสายส่ง". กรุงเทพฯ : กองฝึกอบรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.
- [21] Thaibit. "PC Serial Port." [Online]. Available : <http://thaibit.hypermart.net/Hardware/SerialPort.htm>. 1999.

ภาคผนวก

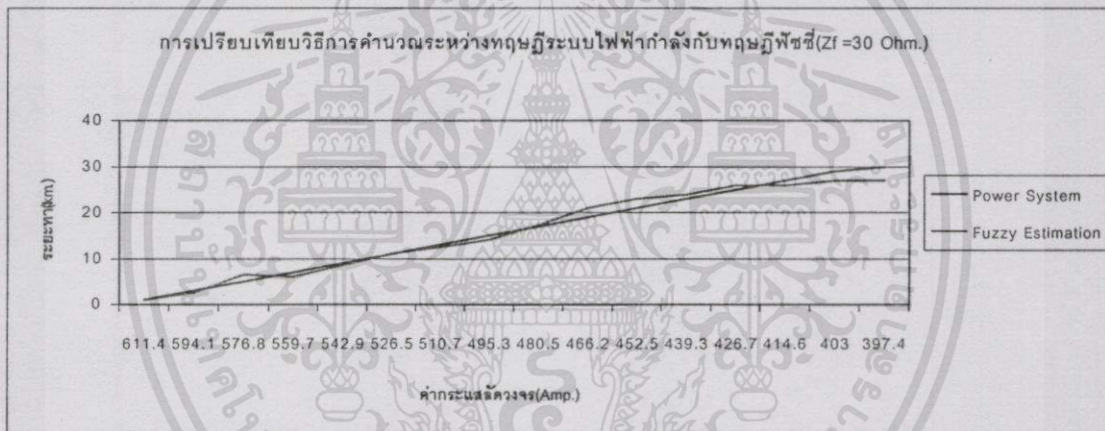


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

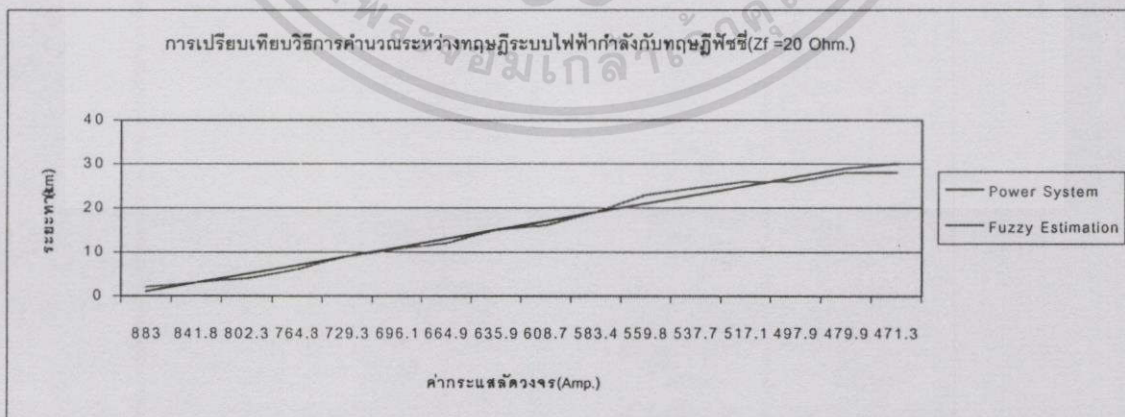
ภาคผนวก ก.



ก)



ข)



ค)

รูปที่ 1 เปรียบเทียบวิธีผลการคำนวณระหว่างทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลังกับทฤษฎีฟuzzy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รายละเอียดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชัน

1. รายละเอียดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันของกระแสลัดวงจร

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
1	VVL	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำมากๆ
2	VL	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำมาก
3	NVL	ค่ากระแสลัดวงจรค่อนข้างต่ำมาก
4	L	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำ
5	NL	ค่ากระแสลัดวงจรค่อนข้างต่ำ
6	M	ค่ากระแสลัดวงจรปานกลาง
7	NH	ค่ากระแสลัดวงจรค่อนข้างสูง
8	H	ค่ากระแสลัดวงจรสูง
9	NVH	ค่ากระแสลัดวงจรค่อนข้างสูงมาก
10	VH	ค่ากระแสลัดวงจรสูงมาก
11	VVH	ค่ากระแสลัดวงจรสูงมากๆ

2. รายละเอียดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันของค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจร

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
1	L	ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรต่ำ
2	M	ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรปานกลาง
3	H	ค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดลัดวงจรสูง

3. รายละเอียดความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันของระยะทางของตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจร

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
1	VVS	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรใกล้มากๆ
2	VS	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรใกล้มาก
3	NVS	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรค่อนข้างใกล้มาก
4	S	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรใกล้
5	NS	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรค่อนข้างใกล้
6	M	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรปานกลาง
7	NF	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรค่อนข้างไกล
8	F	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรไกล
9	NVF	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรค่อนข้างไกลมาก
10	VF	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรไกลมาก
11	VVF	ตำแหน่งการเกิดกระแสลัดวงจรไกลมากๆ

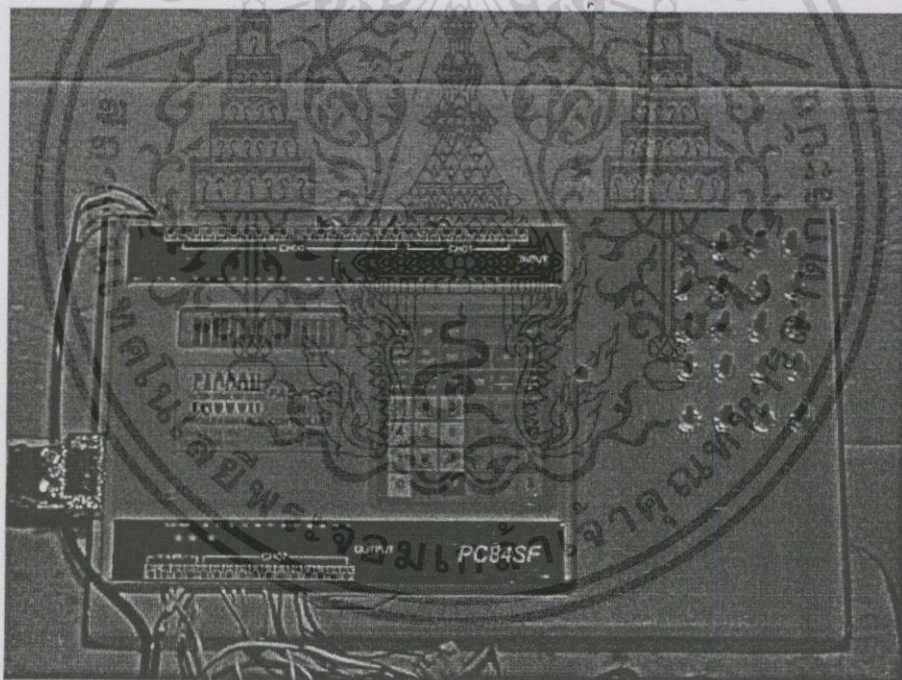
ภาคผนวก ค.

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย

1. รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รุ่น AMD K6II 350 MHz หน่วยความจำ 64 Mbyte
- 1.2 เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ ผลิตในประเทศไทย ผลิตภัณท์ FACCON รุ่น PC84SF Ver.2.00 พร้อมโปรแกรมสนับสนุน LadPro Ver.1.00
- 1.3 ชุดแสดงผล 7 ส่วน ที่ผลิตในประเทศไทย ผลิตภัณท์ FACCON รุ่น FAC-DP02,DP06
- 1.4 ชุดแปลงสัญญาณมาตรฐาน 2 ชุด

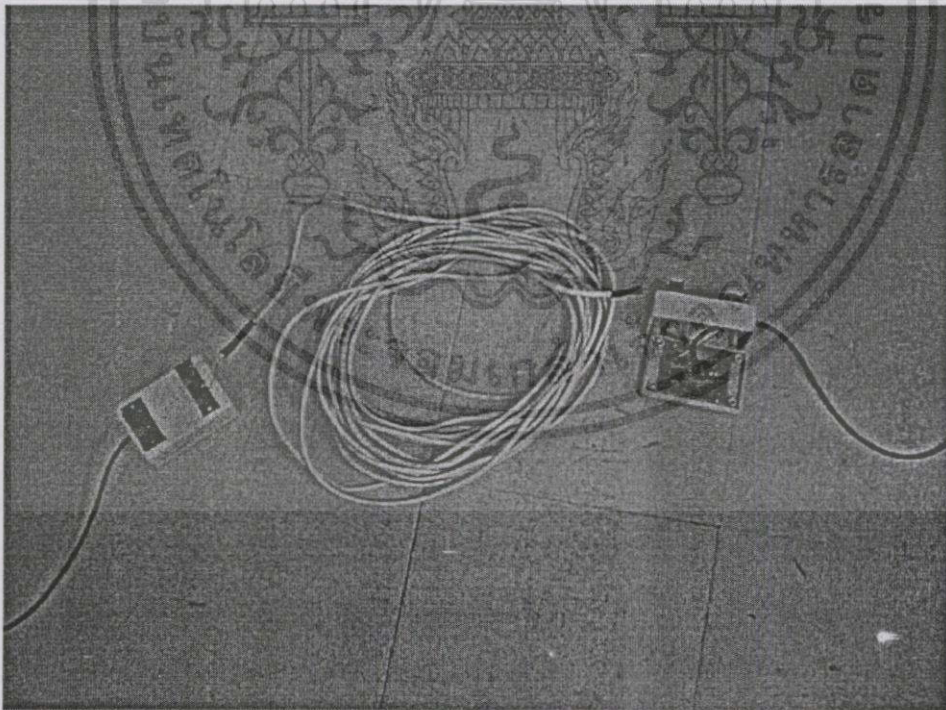
2. รูปภาพอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย



รูปที่ 1 เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ ผลิตภัณท์ FACCON รุ่น PC84SF Ver.2.00



รูปที่ 2 ชุดแสดงผล 7 ส่วน ผลิตภัณท์ FACCON รุ่น FAC-DP02,DP06

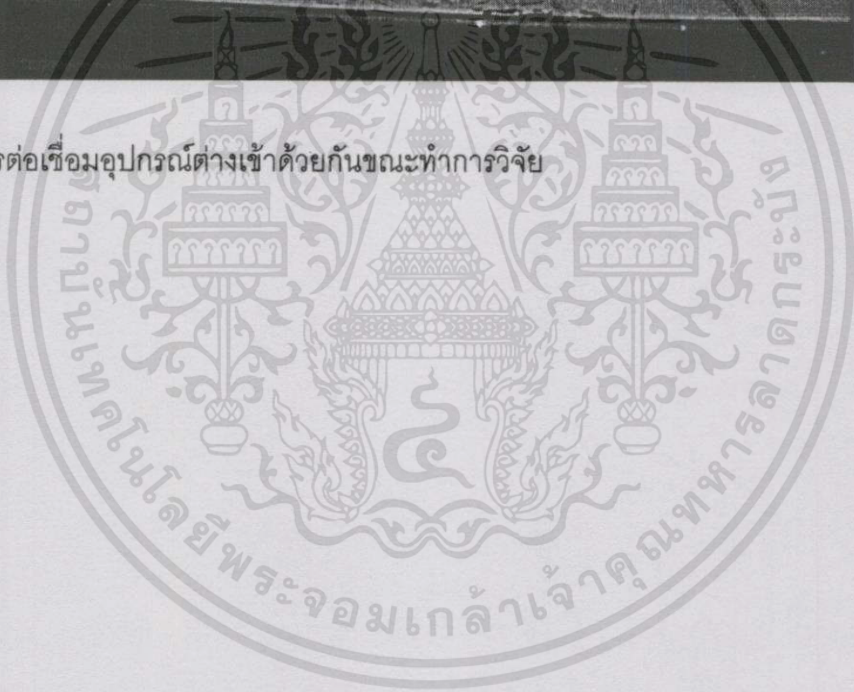


รูปที่ 3 ชุดแปลงสัญญาณมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 การต่อเชื่อมอุปกรณ์ต่างเข้าด้วยกันขณะทำการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

ข้อกำหนดในการสื่อสาร(Communication Protocol)ของเครื่องควบคุมแบบตรรก
ที่โปรแกรมได้ ผลิตภัณฑ์ FACCON รุ่น PC84SF Ver 2.00

ชุดของข้อมูลในการสื่อสารจะถูกเรียกว่าบล็อก [9,11] บล็อกของข้อมูลจะถูกส่งจากเครื่อง
คอมพิวเตอร์ ไปในระบบการเชื่อมต่อ ซึ่งจะเรียกว่า บล็อกคำสั่ง (COMMAND BLOCK) และ
บล็อกของข้อมูลที่ถูกส่งจากระบบการเชื่อมต่อไปสู่ HOST จะเรียกว่า บล็อกตอบ
สนอง(RESPONSE BLOCK) ในระบบการเชื่อมต่อสื่อสารแบบหลายจุด แต่ละ บล็อก ไม่ว่าจะ
เป็นบล็อกคำสั่งหรือ บล็อกตอบสนองก็ตาม จะเริ่มต้นด้วย อักขระ "@" ตามด้วยตำแหน่งเฉพาะ
(UNIT NUMBER) ตามด้วยคำสั่ง (HEADER) ข้อมูล (DATA) และ อักขระ "*" สิ้นสุดด้วยรหัส
กำกับบล็อก (FRAME CHECK SEQUENCE CODE : FCS) และรหัสปิดท้ายบล็อกที่เป็นอักขระ
[CR]

@	X	X	X	X	DATA	*	X	X	CR
ตำแหน่ง	คำสั่ง					FCS	ปิดท้าย		

รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของบล็อกตอบสนอง

จำนวนอักขระในแต่ละบล็อกทั้งหมดจะต้องไม่เกิน 128 ตัว และช่วงของการคำนวณเพื่อหา
รหัสดำกับบล็อกจะอยู่ระหว่างอักขระเริ่มต้น (@)ไปจนถึงสิ้นสุด DATA ที่ เป็น "*"

คำสั่งและคำตอบสนอง

ในขณะที่ทำการเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารข้อมูล HOST สามารถที่จะทำการเฝ้ามองการดำเนินการ
และสามารถที่จะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องควบคุม ถ้าอยู่ในสถานะการเฝ้ามองโฮสต์
คอมพิวเตอร์จะต้องส่งคำสั่งไปตามตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการแต่ละเครื่องควบคุม หรือถ้าใน
สถานะการควบคุมก็สามารถที่จะส่งคำสั่งไปทำการเปลี่ยนแปลงค่าของข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความ
จำโดยตรง เช่น ข้อมูลของ อินพุท/เอาต์พุท เป็นต้น เวลาของการตอบสนองจะแปรไปขึ้นอยู่กับ
ความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล จำนวนของข้อมูล และเวลาในการสแกนของเครื่องควบคุม และถ้า
เวลาในการสื่อสารมากขึ้นก็เป็นผลให้เวลาในการสแกนมากขึ้นตามไปด้วย ต่อไปจะเป็นคำสั่ง
ต่าง ๆ ที่เป็นข้อกำหนด ที่ใช้ในการสื่อสาร

1. บล็อกคำสั่งประกาศ

บล็อกคำสั่งประกาศถูกส่งโดยโฮสต์ไปเพื่อตรวจสอบว่ามีเครื่องควบคุมอยู่ในการเชื่อมต่อหรือในเครือข่ายหรือไม่

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	AT	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	---	-------	------

เช่น บล็อกคำสั่ง เป็น "@01AT*7E[CR]" หมายถึง โฮสต์ส่งออกไปเพื่อประกาศถามถึงเครื่องควบคุมที่อยู่ในการเชื่อมต่อมีตำแหน่งเฉพาะที่ 01 หรือไม่ ถ้าเครื่องควบคุมมีจริงและได้รับคำสั่งประกาศ ดังกล่าวก็จะส่งคำตอบสนองออกไป ดังนี้

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	PC84	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	------	---	-------	------

เช่น บล็อกคำตอบสนองเป็น "@01PC84*74[CR]" หมายถึงเครื่องควบคุมตำแหน่ง เฉพาะที่ 01 เท่านั้นที่ตอบออกไป ซึ่งจะแสดงให้ HOST ทราบว่าเครื่องควบคุมที่ตำแหน่ง 01 ในระบบการเชื่อมต่อยังคงทำงานปกติ

2. บล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่ Input/Output/Internal Relay

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	RI	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[จำนวนข้อมูล]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	---------------	---	-------	------

เช่น ถ้าโฮสต์ต้องการอ่านพื้นที่ของ I/O หรือ Internal Relay ของเครื่องควบคุมที่วางอยู่ในระบบการเชื่อมต่อตำแหน่งเฉพาะที่ 02 ตำแหน่ง I/O ที่ 0010 มาจำนวน 5 ตำแหน่งก็สามารถจัดบล็อกคำสั่ง ได้ดังนี้ "@02RI00100005"XX[CR]" (FCS XX : ASCII 2 digit)

@	[Unit Number]	RI	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[ข้อมูลXX(1)]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	---------------	----------------	---------------	---	-------	------

รูปแบบคำตอบสนอง

เช่น ถ้าคำตอบสนองของเครื่องควบคุม PLC/PC ในตำแหน่งเฉพาะ ที่02ตอบมาเป็น "@02RI0010234455566AB*XX[CR]" ก็หมายความว่า ตำแหน่งหน่วยความจำของ I/O หรือ Internal Relay ที่ 0010 มีข้อมูล 23,44,55,66,AB [ฐาน16] ตามลำดับ

3. บล็อกคำสั่งเขียนพื้นที่ Input/Output/Internal Relay

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	WI	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[ข้อมูลXX(1)]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	---------------	----------------	---------------	---	-------	------

เช่น ถ้าต้องการเขียนข้อมูลลงในตำแหน่ง I/O หรือ Internal Relay ของเครื่องควบคุมที่ตำแหน่งเฉพาะ 03 ในตำแหน่งที่ 0010 ด้วยข้อมูล 12,34,56,78,9A จำนวน 5 ตำแหน่ง ก็สามารถจัด บล็อกคำสั่ง ได้ดังนี้ "@03WI0010123456789A*XX[CR]"

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	WI	[รหัสตอบสนอง]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	---------------	---	-------	------

(XX :Response Code)

00 = Data Complete

08 = Data Error

และถ้าเรียบร้อยก็จะตอบออกมาเป็น "@03WI00*XX[CR]"

4. บล็อกคำสั่งอ่านค่าเป้าหมาย Timer

เพื่อสามารถให้ไฮสตรูคค่าเป้าหมาย (Set Value) ที่ได้ตั้งไว้ที่ตัวเวลา

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	RT	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[จำนวน]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	---------	---	-------	------

เช่น ถ้าต้องการอ่านค่าเป้าหมายของตัวตั้งเวลาที่ 12 ของเครื่องควบคุมที่อยู่ในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 สามารถจัด บล็อกคำสั่ง ได้ดังนี้ "@04RT00120001*XX[CR]"

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	RT	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	----------------	---------------	---	-------	------

และถ้าเครื่องควบคุมในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 รับคำสั่งได้จากระบบเชื่อมต่อ ก็จะทำให้ค่า ตอบสนองออกมาสมมุติว่าค่าเป้าหมายของตัวตั้งเวลาตำแหน่งที่ 12 มีค่า #0150 และ Block Response เป็น "@04RT00120150*XX[CR]"

5. บล็อกคำสั่งอ่านค่าเป้าหมาย Counter

เพื่อสามารถให้ ไฮสตรูคค่าเป้าหมาย (Set Value) ที่ได้ตั้งไว้ที่ตัวตั้งนับ

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	RC	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[จำนวน]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	---------	---	-------	------

เช่น ถ้าต้องการอ่านค่าเป้าหมายของตัวนับที่10 ของเครื่องควบคุมที่อยู่ในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 สามารถจัด บล็อกคำสั่ง ได้ดังนี้ "@04RT00100001*XX[CR]"

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	RC	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	----------------	---------------	---	-------	------

และถ้าเครื่องควบคุมในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 รับคำสั่งได้จากระบบเชื่อมต่อ ก็จะทำให้คำตอบสนองออกมา สมมติว่าค่าเป้าหมายของตัวนับตำแหน่งที่ 10 มีค่า #8000 และ บล็อกตอบสนองเป็น "@04RT0010800*XX[CR]"

6. บล็อกคำสั่งเขียนค่าเป้าหมาย Timer

เพื่อที่โฮสสามารถตั้ง แกไขค่าเป้าหมายใหม่ของตัวตั้งเวลาแก่เครื่องควบคุมที่อยู่ในระบบ เชื่อมต่อได้ตามต้องการ

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	WT	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	----------------	---------------	---	-------	------

เช่น ถ้าต้องการตั้งค่าเป้าหมายแก่ตัวตั้งเวลาของเครื่องควบคุมที่วางในระบบเชื่อมต่อที่มีตำแหน่งเฉพาะที่ 05 และตัวตั้งเวลาตำแหน่งที่ 00 ด้วยค่าเวลา #0200 สามารถจัด บล็อกคำสั่งได้ดังนี้ "@05WT0000200*XX[CR]"

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	WT	[รหัสตอบสนองXX]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-----------------	---	-------	------

(XX : Response Code)

00 = Data Complete

08 = Data Error

และถ้าเรียบร้อยก็จะตอบออกมาเป็น "@05WT00*XX[CR]"

7. บล็อกคำสั่งเขียนค่าเป้าหมาย Counter

ลักษณะของข้อกำหนดจะเหมือนกับเขียนค่าเป้าหมายให้กับตัวตั้งเวลา ต่างกันที่ Header

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	WC	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	----------------	---------------	---	-------	------

เช่นถ้าต้องการตั้งค่าเป้าหมายแก่ตัวนับของเครื่องควบคุมที่วางในระบบเชื่อมต่อที่มีตำแหน่งเฉพาะที่ 05 และตัวตั้งเวลาตำแหน่งที่ 00 ด้วยค่านับ #0200 สามารถจัดบล็อกคำสั่งได้ดังนี้ "@05WC00000200*XX[CR]"

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit number]	WC	[รหัสตอบสนองXX]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-----------------	---	-------	------

(XX : Response Code)

00 = Data Complete

08 = Data Error

และถ้าเรียบบร้อยก็จะตอบออกมาเป็น "@05WC00*XX[CR]"

8. บล็อกคำสั่งอ่านค่าปัจจุบัน Timer

เพื่อให้โฮสสามารถที่จะทำการเฝ้ามองความเป็นไปของค่าเวลาที่กำลังทำงานของตัวตั้งเวลาในเครื่องควบคุมตำแหน่งเฉพาะใด ๆ ที่วางในระบบเชื่อมต่อได้

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	PT	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[จำนวน]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	---------	---	-------	------

เช่นถ้าต้องการอ่านค่าเป้าหมายของตัวตั้งเวลาที่ 12 และ 13 ของเครื่องควบคุมที่อยู่ในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 สามารถจัด บล็อกคำสั่ง ได้ดังนี้ "@04PT00120002*XX[CR]"

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	PT	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(n)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	----------------	---------------	---	-------	------

และถ้าเครื่องควบคุมในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 รับคำสั่งได้จากระบบเชื่อมต่อ ก็จะทำให้คำตอบสนองออกมา สมมุติว่าค่าเป้าหมายของตัวตั้งเวลาตำแหน่งที่ 12 มีค่า #0150 และตัวตั้งเวลาตำแหน่งที่ 13 มีค่า #0200 บล็อกตอบสนอง เป็น "@04RT001201500200*XX[CR]"

9. อ่านค่าปัจจุบัน Counter

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	PC	[ตำแหน่งเริ่มต้น]	[จำนวนXX]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-------------------	-----------	---	-------	------

และถ้าเครื่องควบคุมในตำแหน่งเฉพาะที่ 04 รับคำสั่งได้จากระบบเชื่อมต่อ ก็จะทำให้คำตอบสนองออกมา สมมุติว่าค่าเป้าหมายของตัวนับตำแหน่งที่ 10 มีค่า #8000 และ บล็อกตอบสนองเป็น "@04PT00108000*XX[CR]"

10. อ่านจากพื้นที่โปรแกรม Up Load Program

เพื่อให้โฮสสามารถที่จะนำข้อมูลส่วนโปรแกรมบูตลินที่ผู้ใช้ได้ทำการโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำนั้นขึ้นมาที่ โฮส เพื่อทำการเก็บรักษาไว้

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	UL	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	---	-------	------

เช่นถ้าโฮสต้องการนำโปรแกรมส่วนบูตลินจาก เครื่องควบคุมที่มีตำแหน่งเฉพาะเป็น 01 มาจากจุดเริ่มโปรแกรมถึงคำสั่งสุดท้าย(END) มาสามารถจัดบล็อกคำสั่งได้เป็น "@01UL*72[CR]" และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมที่ตำแหน่งเฉพาะ 01 จะให้คำตอบสนองออกมาเป็นชุดข้อมูลที่ละ 20 ไบท์ เริ่มที่ตำแหน่งในหน่วยความจำที่ 8000 และชุดต่อไปของข้อมูลจะมีตำแหน่งเริ่มต้นที่ สอดคล้องกับตำแหน่งที่ถูกถ่ายเทขึ้นมาด้วย หรือจนกว่าจะพบคำสั่ง END ดังรูปแบบดังต่อไปนี้ ข้อสังเกตรูปแบบคำตอบสนอนั้นจะมีลักษณะเหมือนกับคำสั่งในการเขียนลงพื้นที่โปรแกรม ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะให้สามารถนำชุดข้อมูลดังกล่าวนั้นเขียนลงไปใหม่ที่ส่วนโปรแกรมได้เลยโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงรูปแบบ

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	UL	[ตำแหน่งเริ่ม8000]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูลXX(20)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	--------------------	----------------	----------------	---	-------	------

11. เขียนลงพื้นที่โปรแกรม Down Load Program

เพื่อให้โฮสสามารถทำการส่งผ่านข้อมูลส่วนโปรแกรมบูตเข้าไปได้ในพื้นที่โปรแกรมของเครื่องควบคุมที่มีตำแหน่งเฉพาะนั้น ๆ ได้

รูปแบบคำสั่ง

@	[Unit Number]	DL	[ตำแหน่งเริ่ม8000]	[ข้อมูลXX(..)]	[ข้อมูล (20)]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	--------------------	----------------	---------------	---	-------	------

ข้อมูลของโปรแกรมบูตที่ต้องการเขียนลงในหน่วยความจำส่วนโปรแกรมนั้นก็จะต้องไม่มากกว่า 20 ไบท์ เช่นเดียวกัน และตำแหน่งที่ต้องการวางลงในหน่วยความจำก็สามารถกำหนดได้ (ตำแหน่งในหน่วยความจำส่วนโปรแกรมบูต เริ่มที่ 8000)

รูปแบบคำตอบสนอง

@	[Unit Number]	DL	[รหัสตอบสนองXX]	*	[FCS]	[CR]
---	---------------	----	-----------------	---	-------	------

(XX : Response Code)

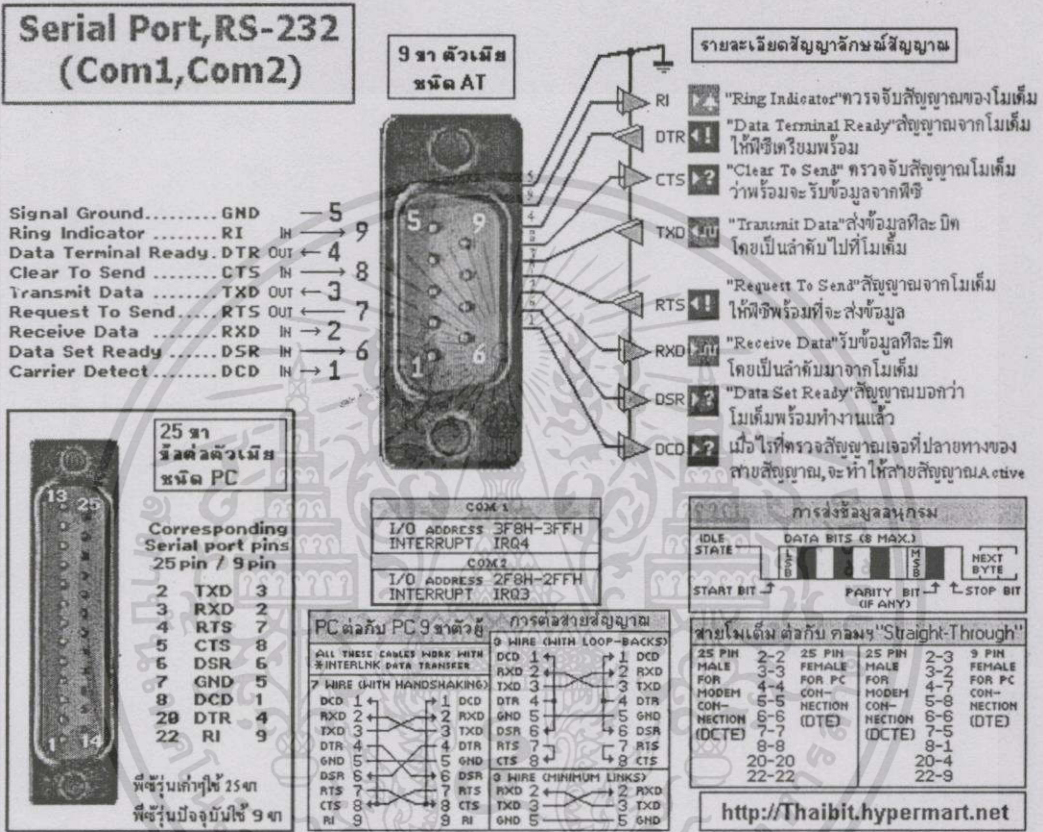
00 = Data Complete

08 = Data Error

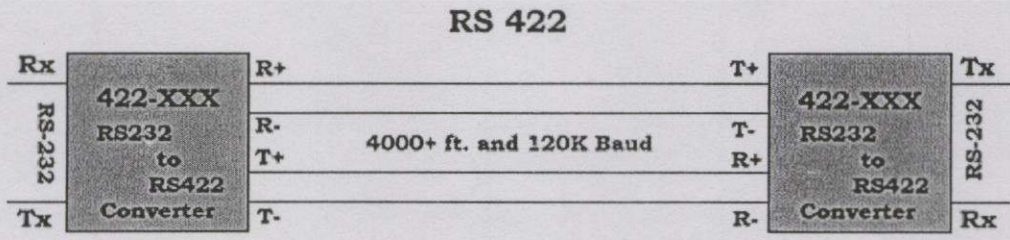
และถ้าเรียบบร้อยก็จะตอบออกมาเป็น "@01DL00*XX[CR]"

ภาคผนวก จ.

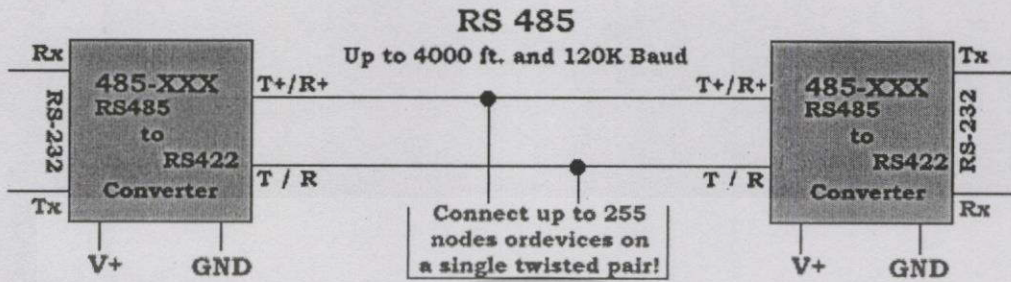
1. การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C [21]



2. รูปแบบการแปลงสัญญาณแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C เป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A [10]



3. รูปแบบการแปลงสัญญาณแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C เป็นแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485 [10]



ภาคผนวก จ.

ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาตำแหน่งกระแสลัดวงจรโดยการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่

Application of Fuzzy Expert System for Fault Locator Analysis

ยุทธพงศ์ ทัพผดุง วิทยา ทิพย์สุวรรณพร วิริยะ กองรัตน์ ทวีพล ชื้อสตัย และ สุพรรณ กุลพานิชย์

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2 หมู่ 3 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร (02) 3267346-7 ต่อ 105 โทรสาร (02) 3267346-7 ต่อ 103

บทคัดย่อ

การแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้องที่รวดเร็วจะช่วยลดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าภาคธุรกิจอุตสาหกรรม ทำให้เกิดเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายเพิ่มขึ้น ในบทความนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องด้วยการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ โดยนำทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลังและค่าความต้านทานดินของบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์เป็นข้อมูลอ้างอิง ซึ่งได้นำระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นกรณีศึกษา

Abstract

In a short time of fault clearing is reduced effect to consumers, which also increase stability and reliability. In this paper presents the application of fuzzy expert system for fault locator analysis by using Electrical Power System theory and local ground impedance to be database. The case study in this paper referred the distribution lines of Provincial Electricity Authority (PEA).

1. คำนำ

ในระบบจำหน่ายจะต้องคำนึงถึงความเชื่อถือได้ (Reliability) ความมั่นคง (Stability) และประสิทธิภาพ (Efficiency) การลดระยะเวลากระแสไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายและการแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้องที่รวดเร็วจะเป็นการช่วยลดผลกระทบและความเสียหายกับผู้ใช้ไฟ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้อง โดยอ้างอิงระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นกรณีศึกษา ซึ่งปัจจุบันระบบจำหน่ายของ กฟภ. ได้จัดระบบเป็นแบบเรเดียลเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องที่ระบบต้นทางไฟฟ้าก็จะดับหมดทั้งฟีดเดอร์ ระบบการจ่ายไฟแบบนี้จะมีความเชื่อถือได้ (Reliability) ต่ำ ดังนั้นการหาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องและการแก้ไขที่รวดเร็ว จะช่วยลดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนในการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายโดยการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลักได้ดังนี้คือ การคำนวณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่จุดต่างๆในระบบจำหน่ายและการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่

2.1 การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่จุดต่างๆ

สำหรับบทความนี้จะใช้เชิงเส้นไดโอดอะแกรมของสถานีควบคุมการจ่ายไฟอุบลราชธานีดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเราสามารถคำนวณค่ากระแสลัดวงจรจุดต่างๆได้ดังนี้

การคำนวณแบบ Per Unit System กำหนดฐาน (Base) เป็น 22 kV 25 MVA

$$I_{base} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}kV_{base}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \times 22} = 656 \text{ A} \quad (1)$$

$$Z_{base} = \frac{(kV_{base})^2}{MVA_{base}} = \frac{(22)^2}{25} = 19.36 \text{ } \Omega \quad (2)$$

เรทราบบค่ากระแสลัดวงจรที่บัส 22 kV ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ทำให้เราสามารถคำนวณค่าอิมพีแดนซ์ (Z_1 =Positive, Z_2 =Negative, Z_3 =Zero) ของระบบจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามาถึง 22 kV ของ กฟภ. ได้ดังนี้

$$I_{3\phi} = 2380 \text{ A}$$

$$I_{\phi-g} = 3154 \text{ A}$$

$$I_{3\phi} = \frac{V_{pu}}{Z_{1pu}} \times I_{base} \text{ A} \quad (3)$$

$$Z_{1pu} = \frac{V_{pu} \times I_{base}}{I_{3\phi}} pu \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1 \times 656}{2380} = 0.27563 \text{ pu}$$

$$= 3.921068 \angle 70^\circ \quad \Omega$$

$$I_{\phi-g} = \frac{3 V_{pu} \times I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{pu}} A \quad (5)$$

$$I_{\phi-g} = \frac{3 V_{pu} \times I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_0)_{pu}} A \quad (8)$$

$$= \frac{3 \times 1 \times 656}{3.921068} = 502 \text{ A}$$

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{pu} = \frac{3 \times V_{pu} \times I_{base}}{I_{\phi-g}} \text{ pu} \quad (6)$$

$$= \frac{3 \times 1 \times 656}{3154} = j0.623970 \text{ pu}$$

หาค่า I-g min โดยกำหนดค่าค่าฟอลต์อิมพีแดนซ์ Zf มีค่า 3X40=120 โอห์ม หรือ 120/19.36=6.198 pu

$$I_{\phi-g} = \frac{3 V_{pu} \times I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + 3 Z_f)_{pu}} A \quad (9)$$

$$= \frac{3 \times 1 \times 656}{1.318813 + j3.692629 + 6.198} = 234.98 \text{ A}$$

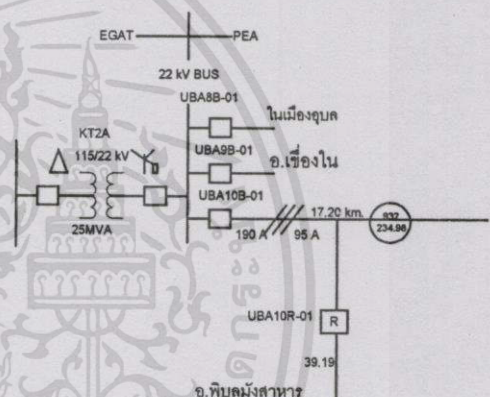
การหาค่ากระแสแฉัดวงจรที่ UBA10R-01 (สายอลูมิเนียม ขนาด 95 ค.ม.ม. วงจรคู่ระยะทาง 17.20 กม. จากบัส 22 kV)

จากตารางชี้เควินอิมพีแดนซ์ของสาย

$$Z_1 = Z_2 \text{ ของสายอลูมิเนียม 95 ค.ม.ม. วงจรคู่} \\ = 0.396144 + j0.371552 \text{ โอห์ม/กม.}$$

$$Z_3 \text{ ของสายอลูมิเนียม 95 ค.ม.ม. วงจรคู่} \\ = 0.692144 + j2.70922 \text{ โอห์ม/กม.}$$

เมื่อทราบค่า Z₁, Z₂ และ Z₃ จากด้านต้นกำลังถึงบัส 22kV จะหาค่ากระแสแฉัดวงจรที่จุดใดก็คำนวณความต้านทานของสายคู่ระยะทางบวกเข้าไปก็จะหาค่ากระแสแฉัดวงจรแบบต่างๆตามตำแหน่งที่ต้องการได้ดังนี้



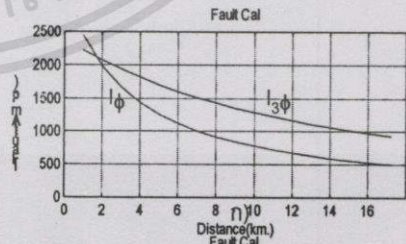
ในทำนองเดียวกันการหาค่ากระแสแฉัดวงจรที่ระยะต่างๆดังแสดงกราฟกระแสแฉัดวงจรในรูปที่ 2 รูปที่ 1 แผนผังซึ่งเกิดไลน์โคอะแกรมของสถานีไฟฟ้าอุบลราชธานี

I_{3φ} :

$$Z_{1total} = j0.275630 + \frac{(0.396144 + j0.371552) \times 17.2}{19.36}$$

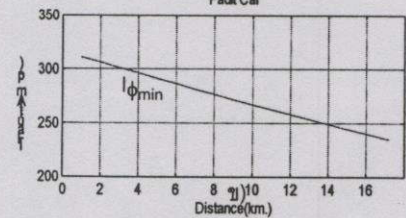
$$= 0.351946 + j0.605728$$

$$= 0.703862 \angle 60^\circ \quad \Omega$$



$$I_{3\phi} = \frac{V_{pu} \times I_{base}}{Z_{1pu}} A \quad (7)$$

$$= \frac{1 \times 656}{0.703862} = 932 \text{ A}$$



I_{φ-g} > I_{φ-g min} :

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{total} = j0.623970 + \frac{2(0.396144 + j0.371552)17.2}{19.36}$$

$$+ \frac{(0.692144 + j2.710922) 17.2}{19.36}$$

รูปที่ 2 กระแสแฉัดวงจรต่อระยะทางของฟอลต์แต่ละ

ชนิด ก) I_{3φ}, I_φ ฟอลต์ ข) I_{φmin} ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่

2.2.1 ฟังก์ชันในความเป็นสมาชิก

อาศัยกราฟรูปที่ 2 ดังกล่าวที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่

2.1 เป็นข้อมูลในการแบ่งความเป็นสมาชิก (Membership Function) อินพุตของกระแสลัดวงจร U(I) โดยกำหนดดังนี้และแสดงในรูปที่ 3

VH = VERY HIGH CURRENT

H = HIGH CURRENT

NH = NEARY HIGH CURRENT

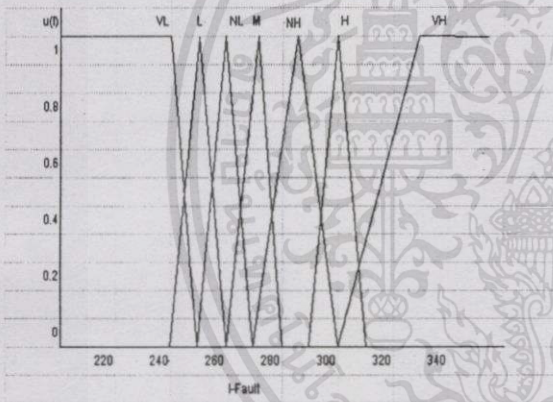
M = MEDIUM

NL = NEARY LOW CURRENT

L = LOW CURRENT

VL = VERY LOW CURRENT

เนื่องจากสาเหตุของการเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของ กฟภ. ส่วนใหญ่ 80 เปอร์เซ็นต์เป็นฟอลต์ชั่วคราวและเป็นแบบ Line to ground fault ดังนั้นในบทความนี้จึงใช้ข้อมูลของ I_{0min} ในรูปที่ 2 ข) เป็นข้อมูลความเป็นสมาชิกอินพุตของกระแสลัดวงจร U(I)



รูปที่ 3 กราฟฟัซซี่เซตอินพุตของกระแสลัดวงจร

ฟัซซี่เซตเอาต์พุตของความยาวของสายในระบบจำหน่าย

U(L) ซึ่งจะทดลองในช่วง 1 ถึง 17 กม. โดยกำหนดดังนี้ และแสดงในรูปที่ 4

VL=VERY LONG

L=LONG

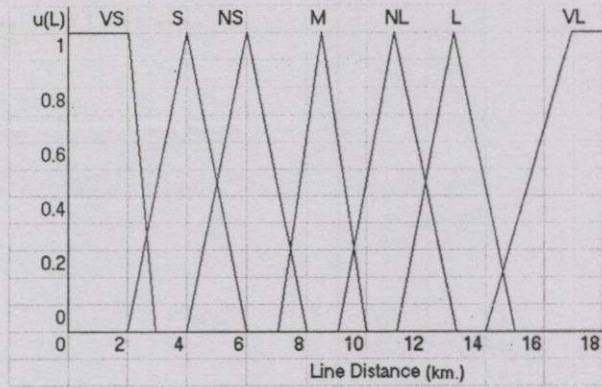
NL=NEARY LONG

M=MEDIUM

NS=NEARY SHORT

S=SHORT

VS=VERY SHORT



รูปที่ 4 กราฟฟัซซี่เซตเอาต์พุตของความยาวของสายระบบจำหน่าย

2.2.2 ฐานความรู้แบบฟัซซี่

ในส่วนของฐานความรู้จะประกอบไปด้วยกฎที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งกฎต่างๆนี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอินพุต ซึ่งในการวิเคราะห์แบบฟัซซี่ในบทความนี้ประกอบด้วยทั้งหมด 7 กฎ โดยมีรายละเอียดดังนี้

IF U(I) = VH THEN U(L) = VS

IF U(I) = H THEN U(L) = S

IF U(I) = NH THEN U(L) = NS

IF U(I) = M THEN U(L) = M

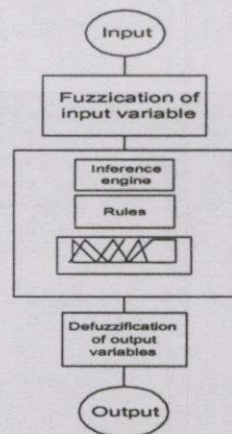
IF U(I) = NL THEN U(L) = NL

IF U(I) = L THEN U(L) = L

IF U(I) = VL THEN U(L) = VL

2.2.3 กระบวนการหาเหตุผล

กระบวนการหาเหตุผลทำหน้าที่หาค่าเอาต์พุตของระบบฟัซซี่จากค่าตัวแปรอินพุตแบบฟัซซี่แบบรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวิเคราะห์แบบฟัซซี่

เมื่ออินพุตป้อนเข้าสู่ระบบส่วนกลางของการควบคุม ระบบฟัซซี่จะทำการ FUZZIFIED โดยการผ่านค่าของอินพุตซึ่งได้แก่ค่ากระแสลัดวงจรU(I)

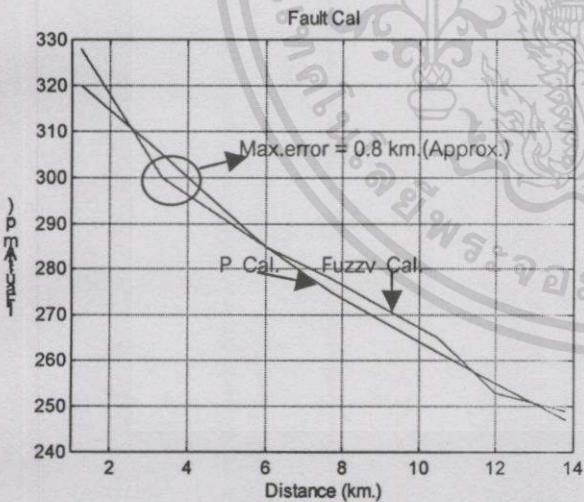
2.2.4 DEFUZZIED

DEFUZZIFICATION เป็นกระบวนการแปลงตัวแปรฟัซซี่เอาท์พุทให้เป็นค่าCrisp Set ซึ่งบทความนี้ได้ใช้วิธี Weighted average เป็นการประมาณค่าของตัวแปรเอาท์พุท โดยการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่ของกฎที่ถูกกระตุ้นการคำนวณจะใช้ค่าความจริงของกฎทุกข้อที่มีค่าความเป็นสมาชิกมากกว่าศูนย์ ดังสมการต่อไปนี้

$$Z^* = \frac{\sum u_c(\bar{Z}) \cdot \bar{Z}}{\sum u_c(\bar{Z})} \quad (10)$$

3. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ด้วยการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่ วิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าช๊อตนั้นมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System) ซึ่งมีความซับซ้อนและจะให้ผลแม่นยำมากที่สุดตั้งแต่ 4 กม. ขึ้นไป



รูปที่ 6 ผลการคำนวณกับผลการทดลองแบบฟัซซี่

การลดค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้ประสบการณ์ของพนักงานของ กฟภ. ที่ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เพื่อนำไปสร้างกฎ และสร้างสมาชิกของอิมพีแดนซ์ของดินเป็นอินพุทร่วมกับสมาชิกของกระแสลัดวงจร เพื่อให้ทราบค่าอิมพีแดนซ์ของดินบริเวณที่วิเคราะห์ ซึ่งค่าดังกล่าวนี้ก็จะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ทำให้ลดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าช๊อตสำหรับบทความนี้จะใช้อิมพีแดนซ์ของดินเท่า

กับ 40 โอห์ม ซึ่งโดยปกติแล้ว กฟภ. จะใช้ค่าเท่ากับ 40 หรือ 25 โอห์ม ในการคำนวณการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย (Line Coordination) ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่และภูมิประเทศที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

บทสรุป

จากบทความนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่เป็นแนวทางหนึ่งในการวิเคราะห์หาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าช๊อตได้ แม้ว่าผลการทดลองจะมีความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณ แต่จะช่วยลดระยะเวลาในการหาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าช๊อตได้รวดเร็วขึ้นซึ่งในปัจจุบันในเขตความรับผิดชอบของ กฟภ. ในถิ่นทุรกันดารระบบจำหน่ายต้องผ่านป่าไม้และภูเขา ต้องใช้พนักงานขับรถยนต์สำรวจระบบจำหน่ายเพื่อหาตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุกระแสไฟฟ้าช๊อตทำให้สิ้นเปลืองเวลา จากกรณีวิเคราะห์จะช่วยพนักงาน กฟภ. ทราบตำแหน่งที่ทำให้เกิดสาเหตุที่ทำให้กระแสไฟฟ้าช๊อตได้ ทำให้ลดเวลาในการหาตำแหน่งดังกล่าวได้รวดเร็ว และลดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ แผนกวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ได้คำปรึกษาด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Mark Halpin, F. Burch, " Applicability of Neural Networks to Industrial and Commercial Power System: A Tutorial Overview" IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.33, pp.1355-1361, Sept./Oct., 1997.
- [2] J. Ross, "FUZZY LOGIC WITH ENGINEERING APPLICATIONS", McGraw-Hill, Inc., pp. 130-150, 1995.
- [3] D. William, Jr. Stevenson, "Element of Power System Analysis", McGraw-Hill, Inc., pp. 275-336, 1982.
- [4] B. RAVINDRANATH, M. CHANDER AND C.S.JHA, "POWER SYSTEM PROTECTION and SWITCHGEAR, John Wiley & Sons., pp. 3-34, 1987
- [5] กองฝึกอบรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "การจัดอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าของ กฟภ.", หน้า 64-67, 2531.
- [6] รัชณี สุภคพานิช และ กิตติ โพธิ์จรัสวัฒนกิจ, "การประยุกต์ระบบผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่นิเวทรอลไลเซชัน", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 15, หน้า 45-53, ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2541.

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuzzy Estimation for Fault Location

V. Tipsuwanporn, Y. Tuppadung, T. Suesut, S. Rukkaphan and N. junkrob*
 Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
 (Tel: (66-2) 739-2406: Ext.102, E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th)
 * Faculty of Engineering South-East Asia University, Bangkok 10160 Thailand. (E-mail: Seri@sau.ac.th)

Abstract

This paper presented Fuzzy logic application to Electrical power system analysis for fault location estimation in distribution lines and apply the Power system theory to be fuzzy logic database The case study referred to the Overhead distribution line of the Provincial Electricity Authority (PEA.), Thailand which mostly the distribution line of PEA. are Radial schemes. These benefits include reduced outage time, help in locating momentary faults, enhance safety to the line crews and provide notification of an outage without receiving calls from the consumer, Which these benefits also increase Reliability, Stability and Efficiency.

1. Introduction

The distribution line of PEA. has supplied the voltage level at 22 and 33 kV, to consumer and the distribution line is Open Loop Schemes for increase Reliability and Stability of system. Which each feeders are Radial Schemes and installed Load Break Switch at tie line as shown in Fig. 1. [4].



Fig. 1. The Open-Loop Schemes.

The fault location Estimation is serious problem for distribution system. Because of the Power system theory not able to solve this problem perfectly. In practical when a fault occurred, the Fault impedance is depending on weather, surrounding and ground properties. So very difficult to define Z_f correctly to be the parameter for Fault current calculation by the power system theory. Therefore the fuzzy logic theory to help for the estimation fault distance is easily than the power system calculating.

2. Fault Location Determination

The fault location design can be divided into two parts such as the following [2]:

2.1 Fault Calculation

For this papers referred the single line diagram of Phakthongchai Substation is in Fig.2. on a base of 25 MVA, 22kV [5].

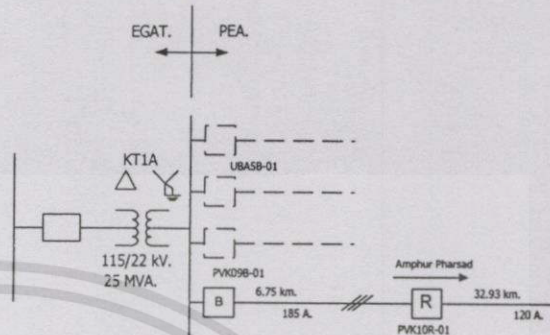


Fig. 2. The Single line Diagram of Phakthongchai Substation.

$$I_{base} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3}kV_{base}} = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 22} = 656 \text{ A} \quad (1)$$

$$Z_{base} = \frac{(kVA_{base})^2}{MVA_{base}} = \frac{(22)^2}{25} = 19.36 \text{ } \Omega \quad (2)$$

The fault current at busbar was informed by Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT.) and able to fine impedance. (Z_1 = Positive Sequence, Z_2 = Negative Sequence and Z_3 = Zero Sequence) of system from Power Plant to 22 kV. busbar of PEA. are At Busbar :

$$I_{3\phi} = 5255 \text{ A}$$

$$I_{\phi-g} = 7175 \text{ A}$$

$$I_{3\phi} = \frac{V_{pu}}{Z_{1pu}} I_{base} \text{ A} \quad (3)$$

$$Z_{1pu} = \frac{V_{pu} I_{base}}{I_{3\phi}} pu \quad (4)$$

$$= \frac{1 \cdot 656}{5255} = j0.12821 \text{ pu}$$

$$I_{\phi-g} = \frac{3V_{pu} I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{pu}} \text{ A} \quad (5)$$

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{pu} = \frac{3 V_{pu} I_{base}}{I_{\phi-g}} \text{ A} \quad (6)$$

$$= \frac{3 \cdot 1 \cdot 656}{7175} = j0.274280 \text{ pu}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ท่านนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For Example to determine the fault current at Feeder UBA09R-01 and referred to the cable technical data (Bare Aluminum Conductor Type and Size=185 sq.mm. and 120 sq.mm.).This paper assumed the distance estimation between 22 kV. Busbar and the end of feeder about 40 km. The cable sequence impedance are:
For the cable size = 185 sq.mm.(Double circuit)

$$Z_1 = Z_2 = 0.1757130 + j0.3495670 \quad \Omega / km .$$

$$Z_3 = 0.4717130 + j2.688937 \quad \Omega / km .$$

and the cable size = 120 sq.mm. (Single circuit)

$$Z_1 = Z_2 = 0.2664320 + j3486920 \quad \Omega / km .$$

$$Z_3 = 0.4144320 + j1.5755050 \quad \Omega / km .$$

The fault current calculation of each points on the cable were determined by multiply the cable impedance with the desire distance and plus impedance as follow

$I_{3\phi}$:

$$Z_{1,total} = j0.124821 + \frac{(0.1757130 + j0.349567) \cdot 6.75}{19.36}$$

$$+ \frac{(0.266432 + j0.348692) \cdot 32.93}{19.36}$$

$$= 0.5144445 + j0.8398$$

$$= 0.984844 \quad 58.50^\circ \quad pu$$

$$I_{3\phi} = \frac{V_{pu} \cdot I_{base}}{Z_{1,pu}} \quad A \quad (7)$$

$$= \frac{1 \cdot 656}{0.984844} = 666.09 \quad A$$

$I_{\phi-g} I_{\phi-gmin}$:

$$(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{total} = j0.274285 + \frac{2(0.175713 + j0.349567) \cdot 6.75}{19.36}$$

$$+ \frac{(0.4717130 + j2.688937) \cdot 6.75}{19.36}$$

$$+ \frac{2(0.66432 + j348692) \cdot 32.93}{19.36}$$

$$+ \frac{(0.41432 + j1.575505) \cdot 32.93}{19.36}$$

$$= 3.251645713 + j5.321584277$$

$$= 6.236381889 \quad 58.57^\circ \quad \Omega$$

$$I_{\phi-g} = \frac{3V_{pu} \cdot I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)_{pu}} \quad A \quad (8)$$

$$= \frac{3 \cdot 1 \cdot 656}{6.236381889} = 315.56 \quad A$$

To determine the minimum line to ground fault ($I_{\phi-gmin}$) able to calculate as Eq.9, But $I_{\phi-gmin}$ depending on Z_f (between 0 and 40 Ω). In this paper used the Z_f between 20 and 40 Ω . Such as Example The calculation for $I_{\phi-gmin}$, at $Z_f = 40 \Omega$.

Then $3Z_f = 3 \cdot 40 = 120 \quad \Omega$

or $\frac{120}{19.36} = 6.198 \quad pu$

$$I_{\phi-gmin} = \frac{3V_{pu} \cdot I_{base}}{(Z_1 + Z_2 + Z_3 + 3Z_f)_{pu}} \quad A \quad (9)$$

$$= \frac{3 \cdot 1 \cdot 656}{3.251645713 + j5.321584277 + 6.198} = 181.485 \quad A$$

$I_{\phi-gmin}$ calculated based on $Z_f = 20, 30$ and 40Ω as shown in Fig. 3.

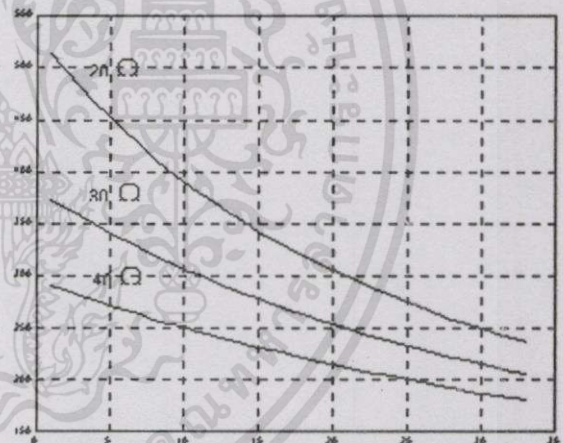


Fig. 3. The Minimum Single Line to Ground are depending on Z_f .

2.2 Basic fuzzy logic system

In this section, we shall simply describe some basic concepts of fuzzy set theory and fuzzy logic used in this paper. The more detailed discussions can be found.

For an n -input and single output fuzzy system, it implement a mapping from $U \rightarrow R^n \rightarrow R$. Assume the universe of discourse of the n -input are U_1, U_2, \dots, U_n respectively; i.e. $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ For $U_i, i = 1, 2, \dots, n$, there are m_i membership functions defined. Each membership function μ_{A_i} maps the input to the premise of a fuzzy rule. Since there are n inputs and the i th input has m_i membership functions. It comes at most $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$ rules. The Cartesian product of A_1, \dots, A_n is a

fuzzy set in the product space $U_1 U_2 \dots U_n$ with the membership function

$$\mu_{A_i}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min[\mu_{A_1}(u_1), \mu_{A_2}(u_2), \dots, \mu_{A_n}(u_n)] \quad (10)$$

or

$$= \mu_{A_1}(u_1) \mu_{A_2}(u_2) \dots \mu_{A_n}(u_n) \quad (11)$$

where $u_i \in U_i$. For calculating firing strengths for each rule, we assume that there are n conditions in the premise of each rule and its consequence is described only by a crisp set. Each condition is represented with a linguistic fuzzy set A_i . μ_{A_i} is the matching degree of input μ_i and the i th condition. Then for a specific rule, the firing strength is obtained through Cartesian product (10) or (11). Next, we shall combine all the firing rules by a defuzzifying strategy. Assume the form of the i th rule is:

Rule i : if μ_1 is A_1^i and...and μ_n is A_n^i then μ is a_i (12)

Where A_j^i is the fuzzy set of the j th condition of the i th rule, and a_i is a fuzzy singleton for simplicity. Let the firing strength of the i th rule be μ_i ; i.e.

$$\mu_i = \min[\mu_{A_1}(u_1), \mu_{A_2}(u_2), \dots, \mu_{A_n}(u_n)] \quad (13)$$

or

$$\mu_i = \mu_{A_1}(u_1) \mu_{A_2}(u_2) \dots \mu_{A_n}(u_n) \quad (14)$$

The concept of defuzzification is: the larger the firing strength is, the more it contributes and the defuzzifying formula is written as [2].

$$u = \frac{\sum \mu_i \cdot a_i}{\sum \mu_i} \quad (15)$$

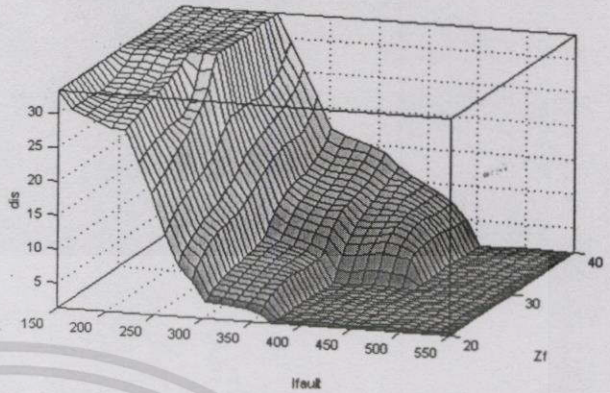
3. Experiment Result

There are four types of faults which can occur in a distribution system and the average probabilities of occurrence of various faults are [5], [6]:

- Single line-to-ground fault (SLG) = 70 %
- Line-to-Line fault (L-L) = 15 %
- Double line-to-ground fault (2LG) = 10 %
- Three-phase ground or ungrounded fault (3 ϕ) = 5 %

As the average probabilities of occurrence of various faults above, therefore this paper was interested only in SLG and simulation from 1st recloser (PVK09R-01) to the end of feeder (approximated 33 km). Which use the relation of I_f , Z_f and Fault distance as shown in Fig.3 to be a fuzzy database. The experiment result as shown in Fig.4. can be accepted, based upon the comparison to the Power System theory calculating. In the practice should be

acquiring the knowledge from line crew to be a fuzzy database for fuzzy rules creation. Because Z_f is a highly variable item depending on the cause of the fault, the type of fault and the environment a fallen conductor will be a



low Z_f fault it is the cable dropping into a stream or ground water, but it can be a high Z_f fault if it drops to a dry pavement where ground contact resistance is high.

Fig.4. The experiment result of the fuzzy estimation for fault location.

4. Conclusion

The fuzzy logic system is able to analyze the electrical power system problem. This paper is one of the case studies by the fuzzy logic application. The fuzzy logic approach is an alternative for estimating distribution fault location by using power system theory, fault impedance as a database. If the fuzzy logic is modified based on the experience of line crew, which helps the fuzzy logic to correctly estimate fault distance, when the distribution system is operated in the normal configuration. In the future, the prototype of Fuzzy Estimation for Fault Location will be created.

References

- [1] G. E. Hager, A. S. Baum. Automated Distribution Fault Locating System. *IEEE Trans. Ind.*, vol. 32, no. 3, pp. 704-708, May/June, 1996.
- [2] C.H. Lee, S.D. Wang. A self-organizing adaptive fuzzy controller. *Fuzzy Sets and System*, 80(1996) 295-313.
- [3] Y. Tuppabung, and others. Application of Fuzzy Expert System for Fault Locator Analysis. *EECON 22*, Bangkok, Thailand, pp. 171-174, Dec. 1999.
- [4] V. Tipsuwanpon, and others. Neurofuzzy Estimation for Fault Locator. *Proceedings of the 3rd Asian Control Conference*, Shanghai, China, July, 2000.
- [5] B. Ravindranath, M. Chander and C. S. Jha, "POWER SYSTEM PROTECTION and SWITCHGEAR", John Wiley & Sons., pp. 3-34, 1987.
- [6] A.S. Pabla. "Electric Power Distribution System", Tata McGraw-Hill, pp.66-69, 1989.

ประวัติผู้เขียน

นายยุทธพงศ์ ทัพผดุง เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2515 ที่จังหวัดอุดรดิตถ์ สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2538 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ ปีการศึกษา 2534

ปี พ.ศ. 2539 - 2540 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรคุณภาพและสอบเทียบเครื่องมือวัด บริษัทฮานาไมโครอิเล็กทรอนิกส์(มหาชน) จำกัด

ปี พ.ศ. 2540 - 2543 เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรระดับ 4 แผนกฝึกอบรมด้านระบบ ไฟฟ้า กงฝึกอบรม และปัจจุบัน สังกัด แผนกบำรุงรักษาสายส่งและระบบจำหน่าย1 กงบำรุง รักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ขณะศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีผลงานวิชาการตีพิมพ์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 2 เรื่อง

ผลงานวิชาการ

1. ยุทธพงศ์ ทัพผดุง และคณะ. "การวิเคราะห์หาตำแหน่งกระแสลัดวงจรโดยการประยุกต์ระบบ ผู้เชี่ยวชาญแบบฟัซซี่." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22, ธันวาคม 2542. หน้า 171-174.
2. Y. Tuppadung et al., "Fuzzy Estimation for Fault Location." 15th Korea Automatic Control Conference, Yong-In, Korea, 2000.