



รายงานการวิจัย

การเฝ้าตรวจและควบคุมความปลอดภัยทางพลังงานไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม
(Monitoring and Control of Electrical Safety in Industry)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การเฝ้าตรวจและควบคุมความปลอดภัยทางพลังงานไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม
(Monitoring and Control of Electrical Safety in Industry)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัตชัย กุลวรรณิขพงษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2550

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้ร่วมงานทุกท่าน และหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง



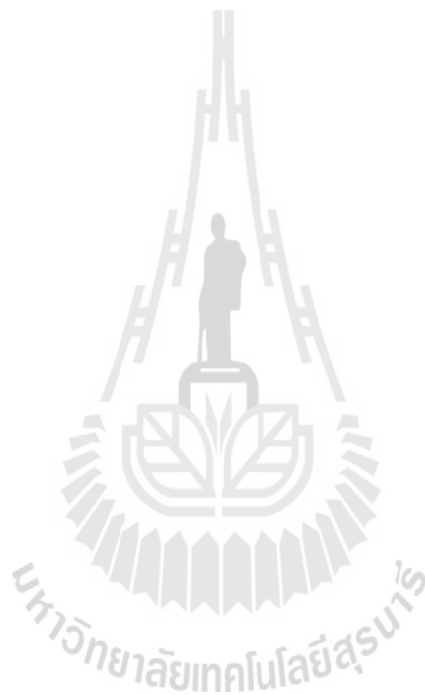
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาการวัดกำลังงานและพัฒนากการสร้างแบบจำลองโหลดในงานอุตสาหกรรมด้วยระบบมัลติเอเจนต์ โดยใช้ข้อมูลการวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองโหลดที่สามารถแทนลักษณะของโหลดในเวลาต่าง ๆ โดยแบบจำลองโหลดในงานบทความนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิติที่เรียกว่าแบบจำลองโหลด ZIP ซึ่งง่ายต่อการคำนวณและไม่ยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองแต่ยังให้ประสิทธิภาพที่ดี และได้ใช้ตัวกรองคาลมานเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด เพื่อเป็นตัวอย่างในการพัฒนาระบบเฝ้าตรวจสอบสถานะการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปได้



ABSTRACT

This research presents the study of power measurement and also the development of the industrial load model using multi-agent systems. With power measurement data from SUT electric power substation as the test example, the simple and efficient form of the static load model, called the ZIP model, is formulated. In addition, Kalman filter is applied to reduce the effect of measurement noises. This can be an example for the development of the condition monitoring in the industrial working environment.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ปรีทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวคิด (Conceptual Framework).....	6
2.3 เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์.....	9
2.4 สรุป.....	12
บทที่ 3 การจำลองผลและการทดสอบ	
3.1 กล่าวนำ.....	13
3.2 การวัดกำลังงานไฟฟ้า.....	13
3.3 การพัฒนาการตรวจวัดและแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์.....	31
3.4 สรุป.....	40
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	
4.1 สรุป.....	42
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
บรรณานุกรม.....	43
ภาคผนวก ก. ผลผลิตจากงานวิจัย.....	46

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบการหาอัตราขยายของวงจรแยกสัญญาณ.....	16
ตารางที่ 3.2 ผลจากการทดสอบค่าความไวในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....	19
ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Hall-Effect Sensor.....	23
ตารางที่ 3.4 ผลจากการทดสอบค่าความไวในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....	26
ตารางที่ 3.5 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG.....	35
ตารางที่ 3.6 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ MAG.....	36
ตารางที่ 3.7 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ LMSAG.....	36



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบของการติดตามและควบคุมความปลอดภัยทางพลังงานไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม	6
รูปที่ 2.2 ระบบมัลติเอเจนต์ของโรงงานอุตสาหกรรม.....	7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างเบื้องต้นของตัวเอเจนต์.....	10
รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์.....	12
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัดกำลังไฟฟ้า.....	13
รูปที่ 3.2 วงจรการวัดแรงดันไฟฟ้า.....	14
รูปที่ 3.3 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า.....	15
รูปที่ 3.4 การลัดวงจรของระบบไฟฟ้า.....	15
รูปที่ 3.5 Isolation Amplifier.....	16
รูปที่ 3.6 กราฟคุณลักษณะของ Isolation Amplifier.....	17
รูปที่ 3.7 วงจรกรองแบบต่ำผ่าน.....	18
รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบค่าความไวในการวัดแรงดันไฟฟ้า.....	19
รูปที่ 3.9 การวัดกระแสไฟฟ้า.....	20
รูปที่ 3.10 วงจรการวัดกระแสไฟฟ้า.....	21
รูปที่ 3.11 No magnetic field.....	22
รูปที่ 3.12 South magnetic field.....	22
รูปที่ 3.13 North magnetic field.....	23
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงค่าความไวในการวัดกระแสไฟฟ้า.....	24
รูปที่ 3.15 วงจรขยายสัญญาณ.....	24
รูปที่ 3.16 ผลการทดสอบค่าความไวในการวัดกระแสไฟฟ้า.....	26
รูปที่ 3.17 ภาคแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	28
รูปที่ 3.18 แผนภาพการทำงานภาคประมวลผลและภาคแสดงผล ส่วนที่ 1.....	29
รูปที่ 3.19 แผนภาพการทำงานภาคประมวลผลและภาคแสดงผล ส่วนที่ 2.....	30
รูปที่ 3.20 แผนภาพการทำงานภาคประมวลผลและภาคแสดงผล ส่วนที่ 3.....	30
รูปที่ 3.21 ขั้นตอนของการประมวลผลด้วย Kalman Filter ที่เวลา t_k ไต ๆ.....	34
รูปที่ 3.22 สถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์.....	37
รูปที่ 3.23 เส้นทางการรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์.....	38
รูปที่ 3.24 โครงสร้างการทำงานของระบบ.....	39
รูปที่ 3.25 ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหนดของช่วงระยะแบบจำลอง 2 ชั่วโมง.....	39
รูปที่ 3.26 ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหนดของช่วงระยะแบบจำลอง 1 วัน.....	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศทั้งในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ซึ่งมีแนวโน้มการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมมีใช้พลังงานปริมาณมาก ดังนั้นหากสามารถทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพก็จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอันนำไปใช้พัฒนาศักยภาพการผลิตในภาคอุตสาหกรรมของประเทศให้เข้มแข็งและสร้างผลประกอบการให้ดียิ่งขึ้น เพราะฉะนั้นประเทศจะต้องลงทุนจัดหาพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นเพื่อลดผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ อีกทั้งยังลดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน รัฐบาลจึงต้องกำหนดเป้าหมายลดการใช้พลังงานในงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ให้ใช้งานอย่างคุ้มค่าและยาวนาน ซึ่งจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีมาจัดการด้านพลังงาน ซึ่งประเทศต้องลงทุนเกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านการประหยัดพลังงานใหม่ ๆ โดยนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นจึงต้องค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์ประหยัดพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อลดการนำเข้า ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนแนวทางตามแผนการใช้พลังงาน การควบคุม การติดตามประเมินผล โดยจะต้องนำผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานมาทำเป้าหมายและวางแผน เพื่อช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้พลังงานโดยกำหนดเป้าหมายและวางแผนลดการใช้พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์พลังงาน การติดตามประเมินผลการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

ในนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จะมีการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายใหญ่ (IPP) เพื่อเสริมความมั่นคงในการจ่ายไฟฟ้าและได้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น ชยะ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น แล้วนำกลับมาใช้ในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานไฟฟ้า ซึ่งทำให้ระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น การไหลของกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าลัดวงจร ค่าระดับกระแสลัดวงจร และคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร เมื่อมีแหล่งจ่ายเพิ่มขึ้นจากการกระจายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือประเด็นในการเชื่อมต่อกับระบบควบคุมไปกับการจัดการป้องกันอย่างไรเพื่อให้เกิดความปลอดภัยของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญและมีราคาแพง เช่น เครื่องกำเนิด และหม้อแปลง เป็นต้น สิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาคือการจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ในการกระจายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะทำให้สูญเสียการจัดความสัมพันธ์ เมื่อเกิดฟอลต์และการไหลของกระแสเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดความเสียหายมากและความน่าเชื่อถือลดลงซึ่งจะต้องเพิ่มความเชื่อมั่นและการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่ดี และมีเสถียรภาพในการควบคุมในเหตุการณ์ทั้งหมดภายใต้สภาพแวดล้อม

ใหม่ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลง ระบบการป้องกันและควบคุมจะทำงานอย่างเดี่ยวโดยใช้การวัด และตัดสินใจ การสื่อสารซึ่งมีขอบเขตและข้อจำกัดในระบบป้องกัน โดยควบคุมประสิทธิภาพตาม ความต้องการให้มีความเชื่อมั่น และศูนย์กลางในการควบคุมตามหลักการภายใต้ขอบเขตการป้องกัน ในระบบไฟฟ้าของอุตสาหกรรมเริ่มต้นโดยการยอมรับผลกำไรในการติดต่อสื่อสารที่มีส่วนทำให้ไปสู่ การจัดลำดับความสัมพันธ์ขนาดใหญ่ทำให้เกิดการทำงานอย่างรวดเร็วและถูกต้องปลอดภัย

ในการจัดลำดับความสัมพันธ์มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกการทำงานของอุปกรณ์การป้องกัน ทั้งหมดในขณะที่เกิดฟอลต์ ในหน่วยของการป้องกันการทำงานและความเชื่อมั่นของระบบไฟฟ้า ให้มี ประสิทธิภาพและการจัดลำดับความสัมพันธ์ของระบบป้องกัน โดยกำจัดฟอลต์ให้ใช้เวลาให้น้อยที่สุดใน การแยกส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบเพื่อซ่อมแซมส่วนที่เสียหาย ในส่วนของการเพิ่มขึ้นของ อุตสาหกรรมจะต้องทำงานอย่างอัตโนมัติและข้อมูลต่าง ๆ ของการใช้ประโยชน์ ในกระบวนการของ สถานีไฟฟ้าย่อยแบบอัตโนมัติ สามารถที่จะกำหนดและพัฒนาสถานีไฟฟ้าให้ทำงานของฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบ และกระบวนการแจ้งเตือนในการเพิ่มของแรงดัน และการควบคุมของค่าที่เหมาะสมใน การจัดการพลังงานและการป้องกันอุปกรณ์ให้เกิดประสิทธิภาพในการซ่อมบำรุงซึ่งจะทำให้ระบบ เสียหายน้อย ในกระบวนการปิดการทำงานของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยกับการติดตามประเมินผล การป้องกันและการควบคุมของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า โดยให้เกิดผลเสียของค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดย ใช้อุปกรณ์ฐานข้อมูลยุคใหม่โดยใช้อุปกรณ์ IED ในการควบคุมและเลือกการป้องกัน ติดตามและ บันทึกค่าข้อมูลในการสื่อสารกับการทำงานและไม่ทำงาน

ปัจจุบันนั้นการสื่อสารของระบบไฟฟ้าจึงมีการพัฒนาผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในการ จัดลำดับความสัมพันธ์ของโครงสร้าง การหาค่าที่เหมาะสม และวิธีการอย่างชาญฉลาดในการจัดลำดับ ความสัมพันธ์ของรีเลย์ป้องกัน โดยรีเลย์แต่ละตัวจะทำกรวัดและปรับตั้งโดยการตัดสินใจเบื้องต้น กำหนด การติดต่อสื่อสารโดยการจัดลำดับความสัมพันธ์โดยใช้เอเจนต์เทคโนโลยีในการตัดสินใจของ การจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดแบบกระจาย ในบทความ นำเสนอสิ่งสำคัญในการติดต่อสื่อสารของข้อมูลในการจัดลำดับความสัมพันธ์ในการปรับตั้งรีเลย์ การ สื่อสารในการจำลองการพัฒนาของข้อมูลในการเปลี่ยนแปลงการสื่อสารระหว่างเอเจนต์รีเลย์ และ สถานีไฟฟ้าย่อย เอเจนต์ ซอฟต์แวร์เอเจนต์นี้ทำหน้าที่เป็นผู้แทนคอยกรองข่าวสารเฉพาะที่ต้องการ ในอนาคตอันใกล้นี้ เชื่อว่าจะมีการยกระดับความสามารถในการทำงาน โดยนำเอาวิชาการด้าน ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เข้ามาประกอบ ทำให้โปรแกรมซอฟต์แวร์เอเจนต์นี้ทำงาน ได้เสมือนเป็นผู้ช่วยที่เป็นมนุษย์จึงนำเสนอการจำลองผลลัพธ์ของเอเจนต์ในการป้องกันและควบคุมใน การป้องกันในการส่งจ่ายไฟฟ้า เรากำหนดใช้โปรแกรมเอเจนต์ ในการเขียนโปรแกรมควบคุมซึ่งมี คุณสมบัติของระบบอัตโนมัติและการโต้ตอบ โดยที่แต่ละเอเจนต์จะแสดงคุณสมบัติของการสื่อสาร แบบไร้สาย, ความอัจฉริยะ, การปรับปรุงและพัฒนาและการสื่อสาร ปัจจุบันมีการใช้อินเตอร์เน็ต

อย่างแพร่หลายเพิ่มมากขึ้นในการสื่อสารสำหรับพัฒนาในการป้องกันและระบบควบคุม ในส่วนนี้จึงสนใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ในการติดต่อสื่อสารในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้โปรแกรมเอเจนต์ในการพัฒนาความมั่นคงและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

โครงการวิจัยนี้ได้นำเอาหลักการของเอเจนต์เพื่อมาใช้งานกับระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และเนื่องจากการทำงานนี้ใช้การสื่อสารข้อมูลระหว่างเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัด วินิจฉัย และตัดสินใจสั่งการ ดังนั้น หากนำเอาหลักการนี้มาใช้เพื่อสร้างระบบการเฝ้าตรวจและประเมินสถานะแวดล้อมในการทำงานในงานอุตสาหกรรมจะช่วยให้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่ดี โดยการรวมเอาการตรวจวัดรูปแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากการพิจารณาระบบป้องกันไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ การตรวจวัดความร้อน เสียงรบกวน หรือแสงสว่าง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการเฝ้าตรวจและประเมินสถานะการทำงานในงานอุตสาหกรรมโดยใช้หลักการของเอเจนต์

1.2.2 เพื่อสร้างระบบการเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมในการทำงานและการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างเอเจนต์ เพื่อทำงานเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมในการทำงาน

1.3.2 ติดตั้งระบบเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมการทำงาน

1.3.3 ออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับระบบเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมการทำงาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้ระบบการเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมที่ใช้หลักการเอเจนต์ (G)
 - ได้ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของระบบเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมการทำงาน (G)
 - ได้สิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์หรือลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ระบบเฝ้าตรวจสถานะแวดล้อมการทำงานในงานอุตสาหกรรม (G)
 - ได้ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุม/วารสารทั้งในระดับชาติและนานาชาติ (G)
- หน่วยงานที่ใช้ประโยชน์จากผลการวิจัย
- ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนสถานประกอบการที่สนใจ

บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรมและสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง

2005 Dong Liu และคณะ ได้นำเสนอการใช้ MAS (Multi-Agent System) เพื่อสร้างแบบจำลองและทำการจำลองการฟื้นฟูระบบไฟฟ้ากำลัง โดยใช้วิธีการทำงานแบบเป็นลำดับ โดยแบ่งเป็น 2 เอเจนต์หลัก คือ MGAG (Management Agent) และ PCAG (Components in power system Agent) โดย PCAG ประกอบด้วย GAG (Generator Agent) SAG (Substation Agent) และ LAG (Load Agent) และใช้ MGAG สำหรับเปรียบเทียบค่าระหว่าง PCAGs ในระบบอื่น ๆ โดยแต่ละหน่วยเอเจนต์อาศัยหลักความรู้จากข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลนำมาตัดสินใจ และจากการจำลองโดยใช้ MAS จำลองการฟื้นฟูระบบไฟฟ้า ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการอ้างอิงในการปฏิบัติจริงได้ และลดความยุ่งยากลงได้

2007 Audun Botterud และคณะ นำเสนอการใช้ระบบมัลติเอเจนต์กับตลาดการซื้อขายไฟฟ้า โดยจำลองการตัดสินใจการลงทุนของผู้ซื้อขายไฟแบบกระจาย แล้วส่งเข้าประมวลผลสู่ศูนย์กลางเพื่อทำการคำนวณราคาและกำไร นอกจากนี้ยังใช้เอเจนต์กลางในการคำนวณค่าโหลตในอนาคตของผู้ซื้อให้สอดคล้องกับอัตราการผลิตไฟของผู้ขายได้ เพื่อสุดท้ายให้มีกำไรสูงสุดแก่ผู้ซื้อขายไฟฟ้า

2008 T. Funabashi และคณะ เสนอการใช้มัลติเอเจนต์ในการดำเนินงานทางไมโคร-กริดในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีวิธีการคือ กำหนดให้มีโหลตเอเจนต์ (LAGs) และเอเจนต์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (GAGs) หลาย ๆ เอเจนต์ และมีเอเจนต์ควบคุมไมโครกริด (Microgrid Control Agent: MAG) โดยใช้สถาปัตยกรรม 3 ลำดับชั้น คือให้ GAGs และ LAGs อยู่ระดับล่าง MAG อยู่ในระดับกลางและให้ GRDAG (Grid Agent) อยู่ระดับบน จากวิธีการดังกล่าวทำให้สร้างรายได้สูงสุดจากไมโครกริด

2011 Zhao Wenqing และคณะ นำเสนอการคาดการณ์โหลตทางไฟฟ้า โดยคาดการณ์ในระยะกลางถึงระยะยาว โดยใช้ระบบมัลติเอเจนต์เข้าช่วย โดยใช้เอเจนต์แต่ละตัวทำงานร่วมกัน โดยประกอบด้วย 3 เอเจนต์ด้วยกัน คือ เอเจนต์สำหรับวินิจฉัย เอเจนต์สำหรับการจัดการ และสุดท้ายคือเอเจนต์สำหรับเชื่อมโยงข้อมูลกัน โดยใช้สำหรับการศึกษาการเพิ่มขึ้นของโหลตและดูแนวโน้มของโหลต เพื่อนำไปคาดการณ์โหลตในอนาคตได้

2006 A. Maitra [18] และคณะ ได้นำเสนอการใช้ข้อมูลการวัดที่มีการรบกวนในระบบเพื่อนำมาปรับปรุงพัฒนาแบบจำลองโหลต โดยแบบจำลองดำเนินการจำลองโดยใช้กฎของการไหลของกำลังไฟฟ้าและเสถียรภาพของระบบ และที่ศึกษาเป็นหลักคือ การเกิดการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าโดย

แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองโดยทั่วไปให้ข้อสรุปโดยรวมที่ผิด ส่งผลให้การวางแผนการส่งจ่ายไฟฟ้า และผู้ปฏิบัติการผิดพลาดได้ จากงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงการประมาณค่าไม่เชิงเส้นของกำลังสองน้อยที่สุด (Nonlinear Least-square Estimation) ไปใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะของแบบจำลองโหลด

2007 Y. Li และคณะ ได้นำเสนอการใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิติ 5 แบบ ได้แก่ PSS/E static model, ZIP model, Exponential model และ EPRI model เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราว ทำให้ทราบว่า การใช้แบบจำลองโหลดสถิติก็เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพชั่วคราว

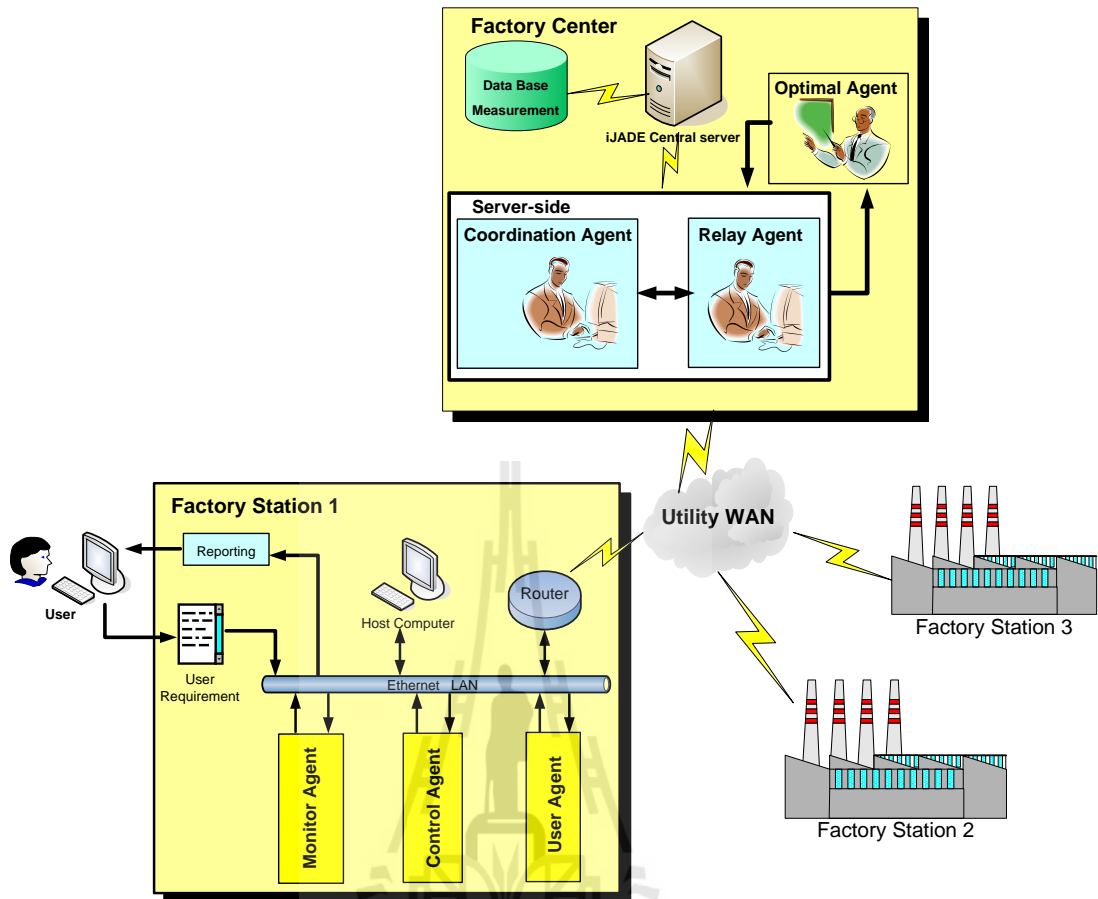
2008 Jingchao Zhang และคณะ ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองสังเคราะห์ด้วยการสำรวจโหลดและการวิเคราะห์จากกราฟการใช้โหลด (Load Curve) รวมไปถึงบันทึกการเกิดความผิดปกติในระบบและข้อมูลผลกระทบต่าง ๆ ที่มีต่อระบบด้วย และยังได้พัฒนาให้คอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองได้แบบ ณ ขณะนั้น (real-time) ให้ใกล้เคียงค่าในอนาคตและมีความเที่ยงตรงแม่นยำ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นยังเป็นแบบจำลองที่ง่ายแก่การไปใช้ในการจำลองหรือคำนวณต่อไป

2008 Jing Zhang [24] และคณะ นำเสนอการวิเคราะห์แบบจำลองโหลดรวมในพื้นที่หรือ ALAM (Aggregate Load Area Model) โดยแบบจำลองสร้างมาจากการวัดระบบไฟฟ้าในวงกว้าง (Power System Wide Area Measurement System : WAMS) แล้วทำการทดสอบแบบจำลองด้วยการปรับอัตราส่วนของหม้อแปลงและปรับค่าคงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลอง ZIP เป็นหลักและหาพารามิเตอร์ด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสม (Optimal Method) โดยแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้แทนโหลดพื้นที่ได้และมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงการใช้งานจริง

2009 M. Sadeghi และ G. Abdollahi sarvi [25] นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Optimization) และทำการทดสอบด้วยระบบทดสอบ 2 บัส เพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ

2012 Soo-Hyoung Lee และคณะ ได้ทำการเชื่อมระบบเข้ากับศูนย์ข้อมูลพลังงานของเกาหลี (K-EMS) เพื่อนำข้อมูลมาทำการสร้างแบบจำลองโหลด ณ เวลาจริงได้ โดยใช้ Kalman filter เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด

2012 Amin M. Najafabadi และ Ali T. Alouani นำเสนอการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบผสมโดยมีการคำนวณหา ณ เวลาจริง โดยใช้วิธี Extended Kalman Filter (EKF) ในการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดนี้

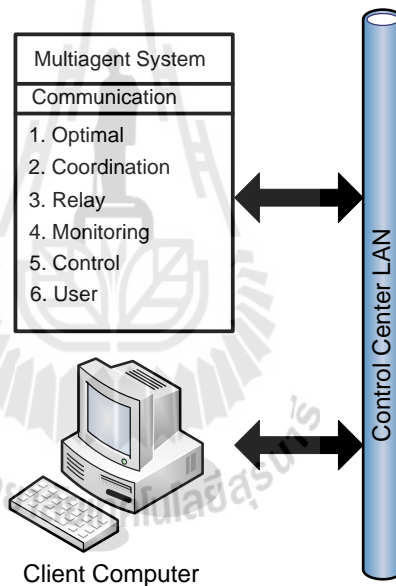


รูปที่ 2.1 ระบบของการติดตามและควบคุมความปลอดภัยทางพลังงานไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรม

2.2 ทฤษฎี สมมติฐานหรือกรอบแนวคิด (Conceptual Framework)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของมัลติเอเจนต์ที่ใช้สำหรับการการเฝ้าตรวจและควบคุมความปลอดภัยทางพลังงานไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรมแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของศูนย์ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าและระบบป้องกันไฟฟ้า กับส่วนที่เป็นมัลติเอเจนต์ประจำสถานี (Host computer) ทำหน้าที่ควบคุมในแต่ละเอเจนต์ในแต่ละเอเจนต์จะต่อเชื่อมกันผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อติดต่อในส่วนอื่น ๆ โดยจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ประจำโรงงานเพื่อจัดการและวิเคราะห์ผลของการใช้พลังงานในแต่ละโรงงานอย่างอัตโนมัติภายใต้การแลกเปลี่ยนข้อมูล จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งรีเลย์เพื่อความปลอดภัยหลังจากนั้นจะส่งข้อมูลมาทำการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบให้ทำงานตามต้องการ ระบบมัลติเอเจนต์ที่ใช้ควบคุมระบบการจ่ายไฟเป็นระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายพลังงานสามารถสรุปการทำงานได้ดังนี้

1. การรับและส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก (Communication to Input/Output device) จะมีรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายนอกที่สามารถแปลงพอร์ตเป็น TCP/IP
2. นำข้อมูลจากการวัดมาจัดเก็บบนฐานข้อมูลมาใช้ในการแสดงผลของการใช้พลังงาน
3. ทำการประมวลผลผ่านระบบมัลติเอเจนต์แล้วนำค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจัดลำดับความสัมพันธ์มาทำการปรับตั้งค่ารีเลย์แบบอัตโนมัติ
4. เมื่อมีการใช้พลังงานเกินความจำเป็นหรือระบบไฟฟ้าเกิดการลัดวงจร มัลติเอเจนต์จะทำการสั่งการควบคุมการทำงานของรีเลย์
5. ผู้ใช้สามารถติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันผ่านทางโฮมเพจ
6. ผู้ควบคุมระบบในแต่ละโรงงานสามารถเข้ามาแก้ไขและจัดการเกี่ยวกับการพลังงานได้



รูปที่ 2.2 ระบบมัลติเอเจนต์ของโรงงานอุตสาหกรรม

- Optimal Agent

ระบบนี้จะทำหน้าที่หาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งรีเลย์เพื่อให้ใช้เวลาในการทำงานไวที่สุด โดยรีเลย์ไม่มีการสูญเสียในการจัดความสัมพันธ์ตามของเขตของการป้องกัน

- Coordination Agent

ระบบการป้องกันไฟฟ้ากำลังมีความจำเป็นต้องจัดลำดับความสัมพันธ์คือจะต้องจัดลำดับเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าหลาย ๆ ตัว เพื่อที่จะแยกแยะว่าเมื่อเกิดลัดวงจรแล้ว อุปกรณ์ตัวที่อยู่ใกล้จุดที่เกิดฟอลต์จะต้องตัดวงจรก่อนอุปกรณ์อื่น ๆ ที่อยู่ถัดไป

โดยจะต้องปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันขณะเกิดฟอลต์ให้ทริปในเวลาต่ำสุดตามคุณสมบัติของรีเลย์ ในการจัดลำดับความสัมพันธ์นั้นจะต้องใช้คุณลักษณะเส้นโค้งเวลากับกระแสของรีเลย์ ข้อมูลการจัดลำดับความสัมพันธ์ได้แก่ ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุด, ระยะเวลาเพื่อจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกัน, กระแสเริ่มทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน, การป้องกันกระแสเกินตามมาตรฐาน IEC, ANSI, เส้นโค้งเวลา – กระแสของอุปกรณ์ป้องกัน, กระแสไหลสูงสุด

- Relay Agent

เขตการป้องกันเป็นระบบที่ใช้ป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ซึ่งจะมีเขตรับผิดชอบในการป้องกันเมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ โดยแต่ละส่วนจะทำหน้าที่ป้องกันอย่างเหมาะสมในการป้องกันระบบไฟฟ้าจะแบ่งเขตป้องกันตามชนิดของรีเลย์ที่ใช้ในระบบป้องกันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

B.1) รีเลย์หลัก (Primary relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้ป้องกันในเขตป้องกันโดยปกติจะแบ่งเขตป้องกันไว้เฉพาะ เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นภายในเขตป้องกัน รีเลย์หลักจะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกตัวในเขตการป้องกันนั้นทริป เขตการป้องกันหลักจะแบ่งให้คาบเกี่ยวกันเพื่อป้องกันไม่ให้มีจุดบอดขึ้นในระบบป้องกัน รีเลย์หลักที่ทำงานถูกต้องจะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานน้อยที่สุดโดยจะสั่งทริปเฉพาะส่วนที่เกิดฟอลต์ขึ้นเท่านั้น

B.2) รีเลย์สำรอง (Back-up relay) จะใช้ป้องกันแทนรีเลย์หลัก กรณีรีเลย์หลักไม่ทำงานอาจเกิดขึ้นเนื่องจากไม่ได้จ่ายแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรสั่งทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์หรือกลไกขัดข้อง เวลาในการทำงานของรีเลย์สำรองจะช้ากว่ารีเลย์หลักซึ่งจะอยู่คนละตำแหน่งกับรีเลย์หลัก คืออยู่ต่างสถานีไฟฟ้าย่อย การทำงานของรีเลย์สำรองอาจทำให้ส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องสั่งให้ทริปเบรกเกอร์ไปด้วย นอกจากนี้หน้าที่อีกอย่างหนึ่ง คือ เป็นรีเลย์หลักในกรณีที่มีการซ่อมบำรุงรีเลย์หลัก

- Control Agent

การสั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานนั้นสามารถทำได้อยู่ 2 วิธี คือ การสั่งการผ่านรีเลย์ โดยรีเลย์จะทำหน้าที่ตามขอบเขตเงื่อนไขของการจัดลำดับความสัมพันธ์ที่ได้ปรับตั้งค่า เมื่อตรวจสอบเกิดการผิดปกติก็จะสั่งการให้เบรกเกอร์ทริป ส่วนอีกแนวทางนั้นในบทความนี้นำเสนอการสั่งการโดยตรงจากผู้ควบคุมระบบผ่าน LAN จะมีไว้ใช้สำหรับกรณีในการเชื่อมต่อระหว่าง LAN กับรีเลย์เกิดปัญหาที่จะเป็นการสำรองเมื่อระบบขัดข้อง นอกจากนั้นยังใช้แสดงสถานะการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการสั่ง เปิด – ปิด วงจร

- Monitoring Agent

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวัดและการติดตามแสดงผลของสถานีไฟฟ้าซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมในการตรวจสอบสภาวะปกติ/ ผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า เช่น การเกิดกระแสลัดวงจร, การเกิดกระแสเกิน, การเกิดแรงดันเกิน เป็นต้น โดยทำการตรวจวัดปริมาณของกระแสและแรงดันโดยใช้หม้อแปลงลดระดับเพื่อความปลอดภัยในการทำงานและสะดวกในการออกแบบวงจรควบคุมซึ่งจะได้ค่า แรงดัน, กระแส, กำลังไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าย้อนกลับ และ ตัวประกอบกำลัง ซึ่งนำไปใช้ในการจัดการพลังงาน

นอกจากนี้ การตรวจวัดอาจจะเพิ่มเติมได้ในรูปของการตรวจวัดสภาวะแวดล้อมการทำงานอื่น ๆ เช่น ความร้อน เสียงรบกวน ฝุ่นละออง หรือ แสงสว่าง เป็นต้น ทำให้การประเมินและควบคุมสภาวะการทำงานมีความหลากหลายและครอบคลุมยิ่งขึ้น

- User Agent

ในการเฝ้าและติดตามผลในการจัดการพลังงานนั้นสามารถที่จะเข้าไปดูข้อมูลผ่านทางโฮมเพจ โดยผู้ควบคุมระบบในแต่ละโรงงานสามารถเข้ามาแก้ไขและจัดการเกี่ยวกับการพลังงานตามเป้าหมายที่ได้วางแผนไว้

2.3 เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์

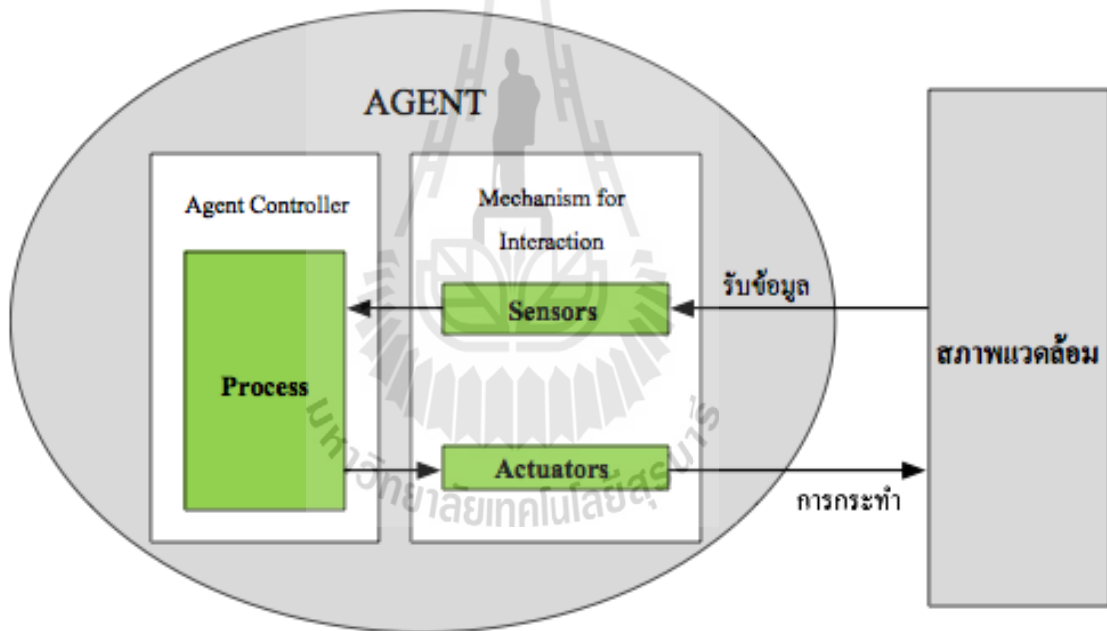
เทคโนโลยีเอเจนต์ (Agent Technology) เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer Science) ประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านโรงงาน ด้านการทหาร และด้านการออกแบบซอฟต์แวร์ เอเจนต์หลาย ๆ เอเจนต์สามารถทำงานร่วมกันเป็นทีม เป็นเครือข่าย ซึ่งทำหน้าที่ทำงานแทนคน เพื่อวัตถุประสงค์หนึ่ง ๆ ได้ ซึ่งได้กล่าวคุณสมบัติของเอเจนต์ ไว้ 4 ข้อ คือ อัตโนมติ (Autonomy) เอเจนต์ถูกควบคุมโดยคนหรืออะไรก็ได้ที่สามารถดำเนินการ และควบคุมพฤติกรรม สถานะข้างในได้ด้วยตัวของเอเจนต์เอง ความสามารถในการติดต่อสื่อสาร (Communication ability) เอเจนต์สามารถที่จะแลกเปลี่ยนข้อมูลกับเอเจนต์อื่นด้วยภาษาการสื่อสาร ความสามารถในการโต้ตอบ (Reaction ability) เอเจนต์สามารถโต้ตอบกับ สิ่งแวดล้อมได้ที่เป็นทั้งโลกความจริงและที่จำลองขึ้น ความสามารถในการปรับปรุงตัวเอง (Spontaneous ability) โปรแกรมทั่วไปมักถูกผู้ดูแลโปรแกรมทำการปรับระบบเอง แต่เอเจนต์สามารถที่จะพัฒนาตนเองได้ต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป

2.3.1 คำนิยามของเอเจนต์

เอเจนต์ (agent) คือ สิ่งที่ได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่ตามที่มนุษย์ต้องการ หรือสิ่งที่ทำหน้าที่บางอย่างแทนมนุษย์ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของเอเจนต์ 2 ส่วนหลัก คือ

1. Mechanism for interaction เป็นส่วนกลไกรับข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ (Sensor) และการตอบสนองผ่าน actuators กับสภาพแวดล้อมภายนอกได้ โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่เอเจนต์ควรต้องมี
2. Agent controller เป็นส่วนควบคุมกระบวนการทำงานของเอเจนต์ โดยลักษณะภายในส่วนนี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเอเจนต์แต่ละประเภท

เอเจนต์ทำงานโดยรับข้อมูลต่าง ๆ อย่างเป็นลำดับ (percept sequence) จากสภาพแวดล้อม (environment) ภายนอกผ่านตัวเซ็นเซอร์ของเอเจนต์และสามารถตอบสนองกลับด้วยการกระทำ (action) ไปยังสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านทาง actuators ของเอเจนต์ได้ แสดงโครงสร้างพื้นฐานเบื้องต้นของเอเจนต์ได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างเบื้องต้นของตัวเอเจนต์

เอเจนต์สามารถนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับมาจากสภาพแวดล้อมภายนอก มาประมวลผล แล้วให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นการกระทำเพื่อตอบสนองกลับไปสภาพแวดล้อมได้จึงเขียนเป็นฟังก์ชันคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$f_a = P^* \rightarrow A \quad (2.1)$$

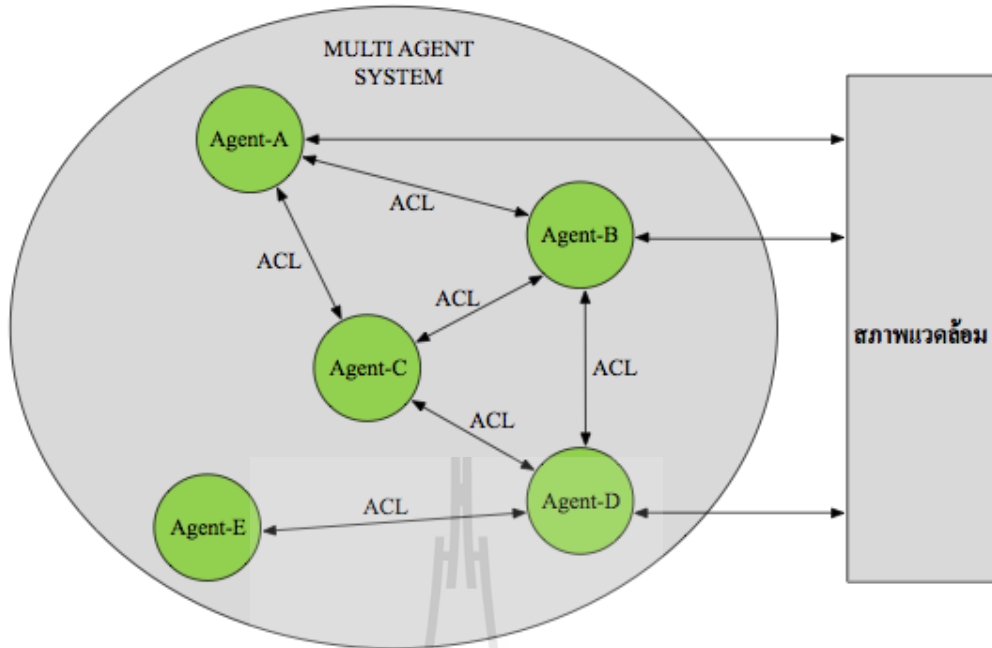
โดยที่ f_a คือ ฟังก์ชันของเอเจนต์
 P^* คือ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับ
 A คือ การกระทำ

หรือมีการนิยามเอเจนต์เป็นตัวแทนปัญญา ซึ่งหมายถึง หน่วยของซอฟต์แวร์ที่สามารถดำเนินการหรือประมวลผลบางอย่างให้กับผู้ใช้หรือให้กับโปรแกรมอื่นได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ การดำเนินการบางอย่างจะต้องใช้ความรู้เข้ามาร่วมพิจารณาโดยองค์ความรู้สามารถได้รับจากการเขียนโปรแกรมของผู้พัฒนา หรือรับรู้จากข้อมูลที่ได้รับมาจากสภาพแวดล้อม เพื่อนำองค์ความรู้นั้นมาสรุปความ เพื่อให้ได้การกระทำตามความต้องการของผู้ใช้หรือโปรแกรมอื่นได้ วัตถุประสงค์หลักของตัวแทนปัญญา คือ การทำงานหน้าที่บางอย่างแทนมนุษย์ ซึ่งเปรียบเสมือนตัวแทนของมนุษย์ โดยลักษณะการดำเนินเป็นไปแบบอัตโนมัติ และผลลัพธ์ที่ได้ต้องมีประสิทธิภาพมากกว่าหรือเทียบเท่ากับมนุษย์ แบ่งประเภทของเอเจนต์ตามตำแหน่งที่เอเจนต์ทำการประมวลผลได้ 2 ประเภท คือ

1. เอเจนต์แบบคงที่ (stationary agent) คือเอเจนต์ที่จะทำการประมวลผลได้เฉพาะบนระบบที่เอเจนต์นั้นทำการเริ่มต้นการประมวลผลเท่านั้น หากว่าเอเจนต์ต้องการข้อมูลที่อยู่บนระบบอื่น เอเจนต์ต้องทำการติดต่อผ่านกลไกการสื่อสาร เช่น Remote Procedure Call (RPC)
2. เอเจนต์แบบเคลื่อนที่ (mobile agent) คือเอเจนต์ที่ไม่ถูกผูกติดกับระบบที่เอเจนต์เริ่มทำการประมวลผลโดยสามารถเคลื่อนที่ตัวมันเองไปยังระบบอื่น ๆ ในเครือข่ายได้ ความสามารถในการเคลื่อนที่นี้ทำให้เอเจนต์เคลื่อนย้ายไปยังระบบเอเจนต์ปลายทางที่มีวัตถุประสงค์ซึ่งเอเจนต์จะสามารถติดต่อด้วยได้ และเอเจนต์อาจใช้ประโยชน์จากบริการของวัตุนั้นได้ ข้อดีของใช้เอเจนต์แบบเคลื่อนที่ คือ การลดการใช้งานเครือข่ายในการติดต่อระหว่างไคลเอนต์ (client) กับเซิร์ฟเวอร์ (server)

2.3.2 ระบบมัลติเอเจนต์

ปัจจุบันเอเจนต์ไม่ได้ทำงานอยู่เพียงลำพัง แต่สามารถทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์อื่นได้ แต่เพราะเอเจนต์ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับกับงานเฉพาะด้านเท่านั้น ดังนั้น บางองค์กรที่มีงานเฉพาะด้านที่หลากหลาย จึงจำเป็นต้องออกแบบเอเจนต์หลายตัวทำงานร่วมกันเป็นระบบ เพื่อรองรับงานเฉพาะด้านที่มีภายในองค์กรนั้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น ระบบการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์หลายตัว เรียกว่า “ระบบมัลติเอเจนต์”



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์

แต่ละเอเจนต์ภายในระบบมัลติเอเจนต์กำหนดให้ทำงานตามหน้าที่ในส่วนรับผิดชอบอย่างอิสระ และไม่ได้ถูกควบคุมจากศูนย์กลาง บางครั้งงานของเอเจนต์ที่เสร็จแล้วสามารถส่งมอบไปให้เอเจนต์อื่นที่เกี่ยวข้องให้นำไปทำงานต่อได้ นอกจากนี้สามารถทำงานร่วมกันได้แล้วเอเจนต์ยังสามารถโต้ตอบสื่อสารระหว่างกันได้ โดยใช้ภาษาการสื่อสารของเอเจนต์โดยเฉพาะ หรือที่เรียกว่า “Agent Communication Language (ACL)” เป็นภาษามาตรฐานที่ใช้สื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลและตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายนอกได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์

2.4 สรุป

บทนี้กล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องการตรวจวัดโดยใช้มัลติเอเจนต์เป็นตัวกลางในการนำเสนอ การตรวจวัดในที่นี้เน้นไปที่การตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าโดยใช้มัลติเอเจนต์ผ่านการสร้างแบบจำลองโหนดดังจะได้นำเสนอต่อไป

บทที่ 3

การจำลองผลและการทดสอบ

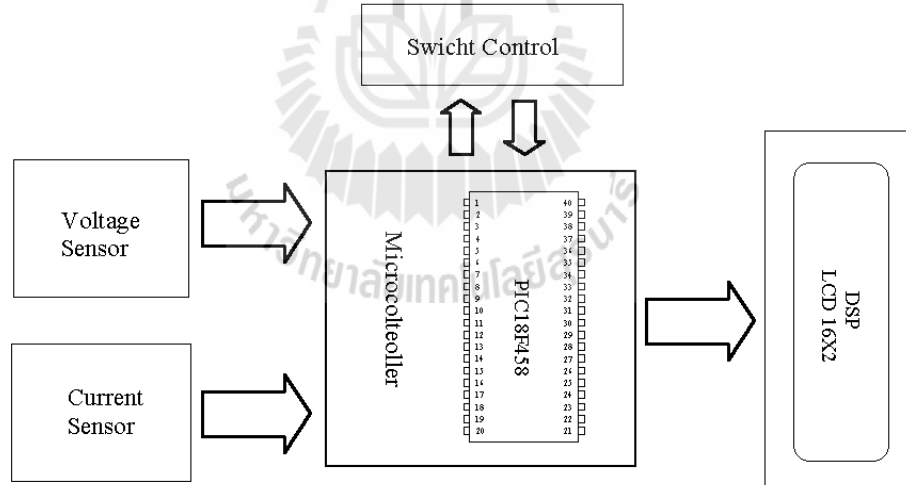
3.1 กล่าวนำ

การศึกษาเน้นไปที่การวัดกำลังไฟฟ้าและระบบมัลติเอเจนท์เพื่อช่วยในการตรวจวัด ดังนั้นในบทนี้จะแบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยหลักการวัดกำลังงานไฟฟ้าและการพัฒนาอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า ส่วนที่ 2 นี้ เป็นการนำเสนอการสร้างแบบจำลองโหลดจากข้อมูลการวัดผ่านระบบมัลติเอเจนท์ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2 การวัดกำลังงานไฟฟ้า

ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าของระบบทางไฟฟ้าโดยตรงนั้น ค่อนข้างมีความซับซ้อนมาก เนื่องจากปริมาณของกำลังไฟฟ้าจะประกอบด้วยองค์ประกอบหลายๆส่วน คือ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าจินตภาพ และยังมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) เข้ามาเกี่ยวข้องอีก ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากค่อนข้างมาก

ในปัจจุบันการหาค่ากำลังไฟฟ้า สามารถหาได้จากปริมาณทางไฟฟ้ารูปแบบอื่น นั่นคือปริมาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งปริมาณทางไฟฟ้าทั้งสองสามารถใช้เครื่องตรวจวัดที่ไม่ต้องมีความซับซ้อนมากนัก



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัดกำลังไฟฟ้า

3.2.1 โครงสร้างของระบบการวัดกำลังไฟฟ้า

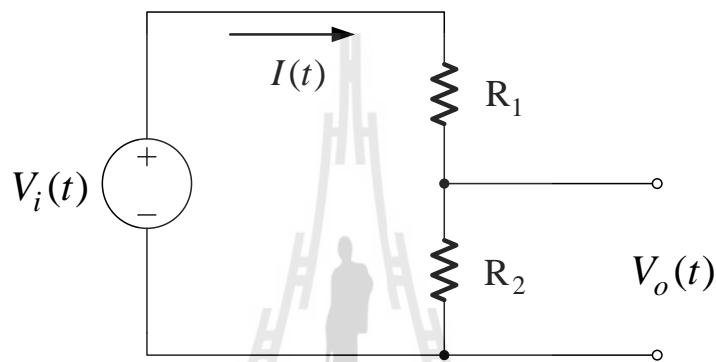
ในการหาค่ากำลังไฟฟ้า จำเป็นที่จะต้องทราบทั้งปริมาณของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และผลต่างเฟสของปริมาณทางไฟฟ้าทั้งสอง ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะได้จากเครื่องตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและเครื่องตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ที่มีการปรับเทียบกับเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน จากนั้นทำการแปลง

สัญญาณให้อยู่ในรูปของระบบเชิงตัวเลข (Analog to Digital Converter) เพื่อให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการประมวลผลทางพีชคณิตต่อไป ดังรายละเอียดในรูปที่ 3.1

3.2.2 การวัดแรงดันไฟฟ้า

ในการวัดแรงดันไฟฟ้านั้น จะใช้หลักการแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทานเพื่อให้ได้อัตราส่วนของแรงดันระหว่างด้านแรงดันต่ำกับด้านแรงดันสูงตามที่ต้องการ และทำการแยกสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Isolated) ของด้านแรงสูงกับแรงต่ำออกจากกันด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Isolation Amplifier ก่อนที่จะไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- หลักการของการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 วงจรการวัดแรงดันไฟฟ้า

พิจารณาวงจรไฟฟ้าลูปเดียวดังรูปที่ 3.2 มีแรงดันไฟฟ้า $V_i(t)$ จากแหล่งจ่ายด้านอินพุตของวงจร มีตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ต่ออนุกรมกัน มีกระแส $i(t)$ ไหลในวงจรก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้า $V_o(t)$ ซึ่งเป็นแรงดันเอาต์พุตที่ตกคร่อม R_2 ดังรูป

จากวงจรอาจเขียนแสดงสมการวงจร โดยอาศัย KVL ได้ดังนี้

$$V_i(t) - R_1 i(t) - R_2 i(t) = 0$$

จะได้

$$i(t) = \frac{V_i(t)}{R_1 + R_2}$$

$$V_o(t) = R_2 i(t)$$

$$= R_2 \left(\frac{V_i(t)}{R_1 + R_2} \right)$$

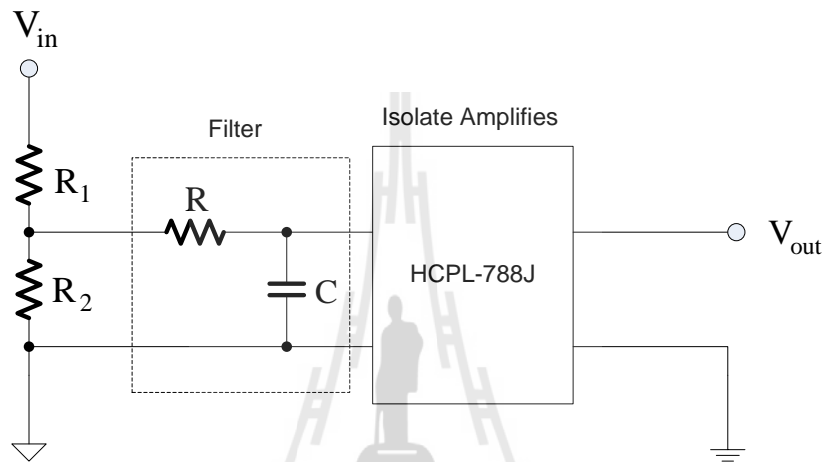
ดังนั้น

$$V_o(t) = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot V_i(t) \quad (3.1)$$

- โครงสร้างของวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

ในส่วนแรกจะเป็นส่วนของวงจรแบ่งแรงดัน (voltage divider) ทำหน้าที่ในการลดระดับของแรงดันไฟฟ้าให้มีอยู่ในช่วงที่ต้องการ โดยจะมีอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านแรงต่ำกับด้านแรงสูงคงที่และสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมากรองสัญญาณรบกวนออกด้วยวงจรกรองความถี่ (filter) ซึ่งเป็นชนิดความถี่ต่ำผ่าน (low-pass filter) แบบพาสซีฟ (passive)

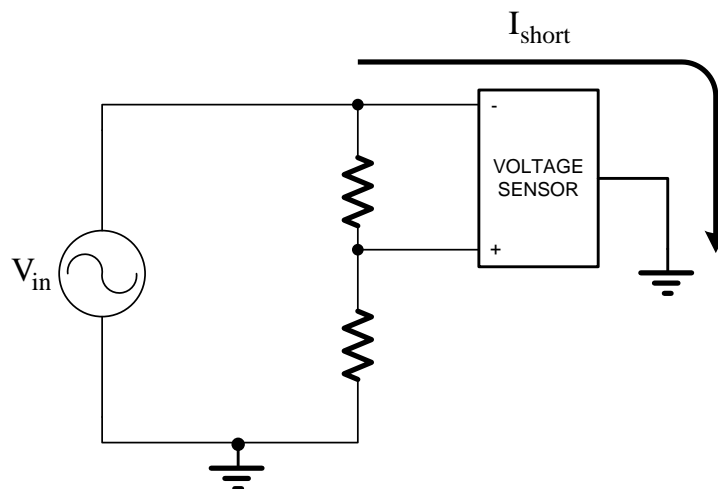
ทำการแยกสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (isolated) ของด้านแรงสูงกับแรงต่ำออกจากกันด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า "Isolation Amplifier" ก่อนที่จะไปเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

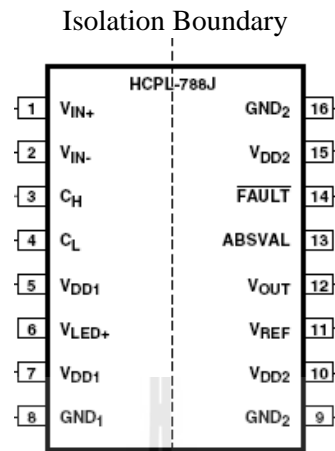
- วงจรแยกสัญญาณ (isolate circuit)

ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องทำการแยกสัญญาณของด้านแรงดันต่ำและด้านแรงดันสูงออกจากกัน เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบทางด้านแรงต่ำที่อาจจะเกิดจากการลัดวงจรของระบบทางด้านแรงสูง ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 การลัดวงจรของระบบไฟฟ้า

อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการแยกสัญญาณดังกล่าว คือ Isolation Amplifier HCPL-788 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีขนาดเล็ก ทำงานในช่วงแรงดันไฟฟ้าต้นต่ำ ดังรูปที่ 3.5



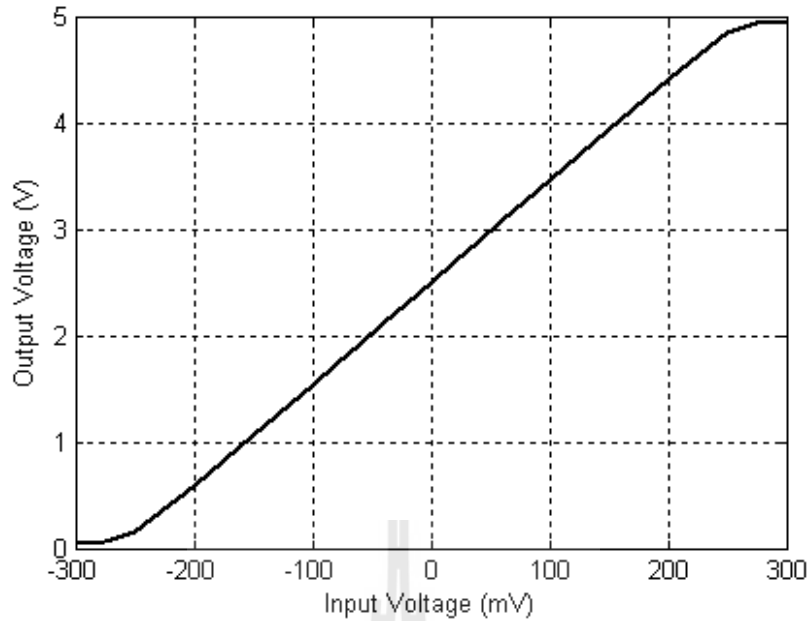
รูปที่ 3.5 Isolation Amplifier

เนื่องจากสัญญาณทางด้านอินพุตและเอาต์พุตมีขนาดที่ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบเพื่อหาอัตราขยายสัญญาณของ Isolation Amplifier ที่แน่นอน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบการหาอัตราขยายของวงจรแยกสัญญาณ

$V_{input} (mV)$	$V_{output} (V)$	$V_{input} (mV)$	$V_{output} (mV)$
0	2.5	-	-
20	2.69	-20	2.32
40	2.88	-40	2.11
60	3.08	-60	1.92
100	3.46	-100	1.55
150	3.94	-150	1.06
200	4.41	-200	0.60
250	4.84	-250	0.16
300	4.96	-300	0.05

จากค่าในตารางนำมาพล็อตกราฟได้ดังกราฟในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กราฟคุณลักษณะของ Isolation Amplifier

จากผลการทดสอบทำให้ทราบคุณสมบัติของ Isolation Amplifier นั้นคือ สัญญาณแรงดันไฟฟ้า ด้านอินพุต (Input Voltage) อยู่ในช่วงประมาณ $\pm 200\text{mV}$ มีอัตราการขยายสัญญาณเท่ากับ 9.83 เท่า ซึ่งสามารถหาแรงดันเอาต์พุตจากสมการ

$$\begin{aligned} V_{out} &= 2.5 + \text{Gain} \times V_{in} \\ &= 2.5 + 9.83 \times V_{in} \end{aligned}$$

จะได้แรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตสูงสุดเท่ากับ $2.5 + 1.97 \text{ V}$

- วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (voltage Divider)

อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้างดกล่าวนี จะกำหนดให้สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด $300 V_{RMS} + 5\%$ หรือประมาณ $450 V_{peak}$ ดังนั้นจะได้อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนของแรงดัน} &= \frac{200\text{mV}}{450\text{V}} \\ &\cong 0.00044 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3.1) จะได้

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\ 0.00044 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

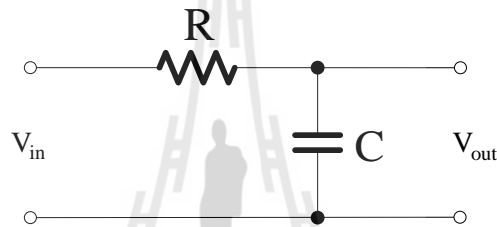
จากวงจรรูปที่ 3.4 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานของ R_1 ควรที่จะมีค่าสูงๆ เนื่องจากต้องการให้กระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าต่ำ จึงกำหนดให้ $R_1 = 820k\Omega$ แทนค่าในสมการข้างต้นจะได้ $R_2 = 364.6 \cong 365\Omega$ และขนาดของตัวต้านทานได้จากสมการ

$$P_{R1,max} \cong \frac{(450/\sqrt{2})^2}{820k + 365} = 0.123W$$

ดังนั้นทำการเลือก R_1 ขนาด $1/2$ W และ R_2 ขนาด $1/4$ W

- วงจรกรองความถี่ (RC filter)

ในส่วนของวงจรนี้จะใช้วงจรกรองแบบต่ำผ่าน (low-pass filter) แบบพาสซีฟ (passive) โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ห้วงจรด้วยอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรกรองแบบต่ำผ่าน

จากวงจรรูปที่ 3.7 สามารถเขียนสมการวงจรได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{V_o(t)}{V_i(t)} &= \frac{1}{R + \frac{1}{j2\pi f_c C}} \\ &= \frac{1}{1 + j2\pi f_c RC} \end{aligned}$$

กำหนดให้ $C = 0.1\mu F$ และ $R = 39\Omega$ ดังนั้น จะได้ความถี่แบนด์วิดท์

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(39)(0.1 \times 10^{-6})} = 40.8\text{kHz}$$

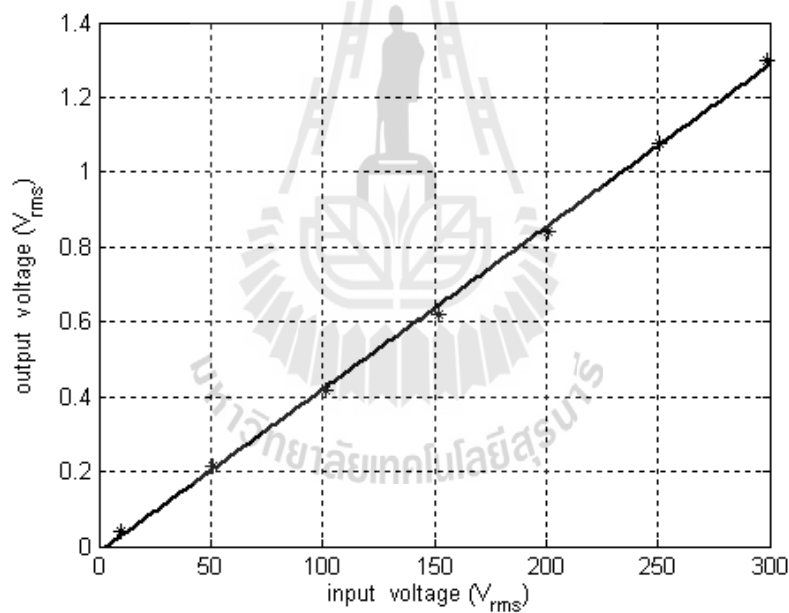
- ความไวในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (sensitivity of voltage sensor)

เมื่อทำการประกอบอุปกรณ์ในส่วนต่าง ๆ แล้ว จะต้องทำการทดสอบการตรวจวัดขอเครื่องตรวจวัดแรงดันไฟฟ้างกล่าวนี้ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน เพื่อหาค่าความไวในการ ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (sensitivity of voltage sensor)

ตารางที่ 3.2 ผลจากการทดสอบค่าความไวในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

$V_{input} (V_{RMS})$	$V_{output} (V_{RMS})$
10	0.042
51.2	0.215
101.1	0.418
151.6	0.622
200.8	0.842
250.6	1.075
298.5	1.311

จากค่าในตารางนำมาพล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 3.8 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบค่าความไวในการวัดแรงดันไฟฟ้า

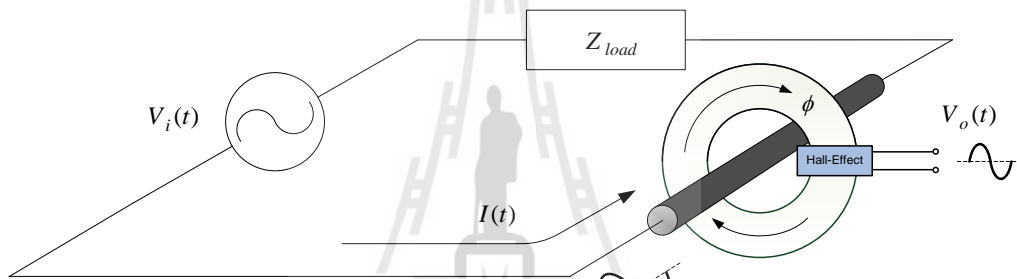
จากผลการทดสอบ สามารถหาค่าความไวในการวัดแรงดันไฟฟ้า (sensitivity of voltage sensor) ได้จากความชันของกราฟดังต่อไปนี้

$$\text{Sensitivity} = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 0.00429 \text{ V/V}$$

3.2.3 การวัดกระแสไฟฟ้า

ในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าง่ายๆ นี้ จะใช้ Hall-Effect Sensor มาเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กและสะดวกในการนำมาใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนช่วงของการวัดได้กว้าง ใช้ได้กับงานหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในด้านอิเล็กทรอนิกส์หรือแม้แต่ในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเหมาะกับการที่ต้องการความละเอียดและความแม่นยำสูง เช่น ในงานเครื่องมือวัด และในระบบควบคุมอัตโนมัติ การดำเนินงานวิเคราะห์และการออกแบบ ระบบวงจรการวัดแรงดันไฟฟ้าดังกล่าว จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่อยู่ในรูปของสมการและตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะอาศัยหลักการและกฎพื้นฐานที่เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กและวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เช่น กฎของโอห์ม (ohm' law) กฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (kirchhoff voltage law, KVL)

- หลักการของการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 การวัดกระแสไฟฟ้า

พิจารณาวงจรไฟฟ้าลูปเดียว ดังรูปที่ 3.9 มีแรงดันไฟฟ้า $V_i(t)$ จากแหล่งจ่ายด้านอินพุตของวงจร มีโหลด Z_{load} ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้า $I(t)$ ในวงจร จากกระแสไฟฟ้าง่ายๆ นี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในแกนโลหะ ซึ่งจะมีสัดส่วนคงที่ และ Hall-Effect จะทำการตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า $V_o(t)$

จากวงจรสนามแม่เหล็กอาจเขียนแสดงสมการ โดยอาศัยการประยุกต์กฎของโอห์ม (ohm' law) ได้ดังนี้

$$\mathcal{F} = \phi \mathcal{R}$$

เมื่อ \mathcal{F} = magneto-motive force of circuit

ϕ = flux of circuit

\mathcal{R} = reluctance of circuit

จะได้
$$\phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}} = \frac{N \cdot i}{\mathcal{R}}; \text{ เมื่อ } N = 1$$

$$\text{ดังนั้น } \phi = \frac{I_{in}}{\mathcal{R}}$$

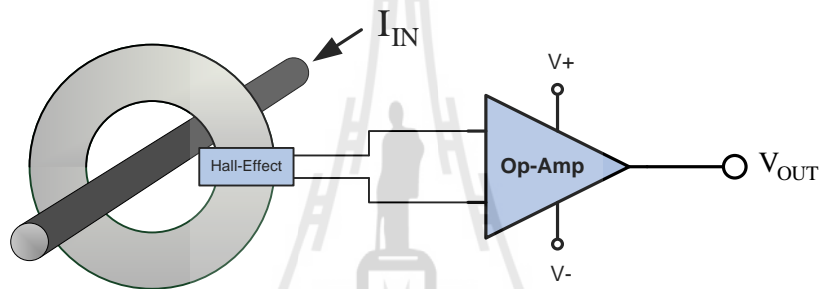
พิจารณาการตรวจวัดสนามแม่เหล็กของ Hall-Effect ได้ดังนี้

$$V_o = k \cdot \phi$$

เมื่อ k = calibrated device sensitivity of hall-effect (V/G)

- โครงสร้างของระบบการวัดกระแสไฟฟ้า

ในส่วนแรกจะเป็นวงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่ประกอบด้วยแกนโลหะและHall-Effect sensor ทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามา ดังรูปที่ 3.10 สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะถูกนำมาปรับแต่งสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณ เพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณที่เหมาะสม รวมทั้งการกรองสัญญาณรบกวนก่อนที่จะไปเข้าส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลต่อไป



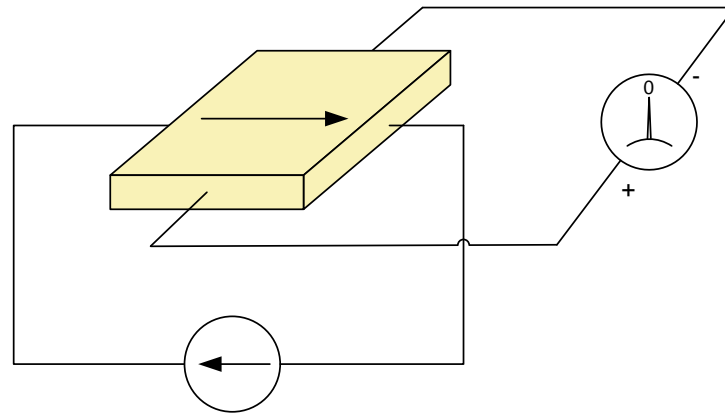
รูปที่ 3.10 วงจรการวัดกระแสไฟฟ้า

- วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

ในส่วนของวงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรมแม่เหล็ก ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดขึ้นในแกนโลหะ จากสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวนำเข้ามา โดยมีสัดส่วนคงที่ดังนี้

$$\phi = \frac{I}{\mathcal{R}}; \mathcal{R} = \text{reluctance of circuit}$$

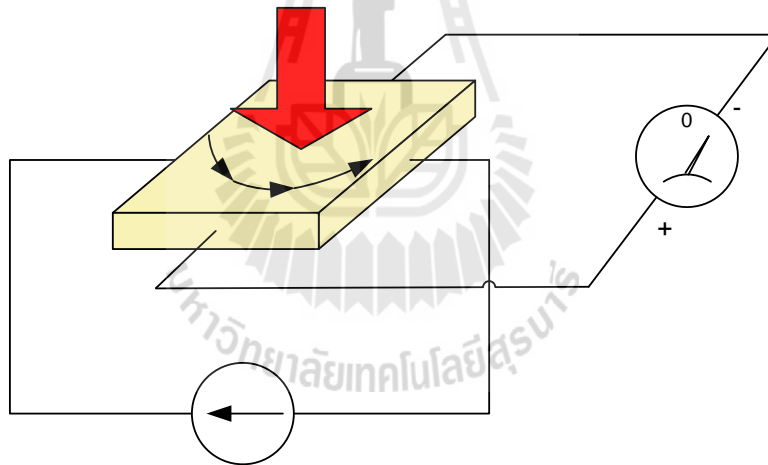
ส่วนที่สองจะเป็นวงจร Hall-Effect Sensor ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ภายใน Hall-Effect จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ ที่สภาวะปกติ ค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละส่วนของสารกึ่งตัวนำดังกล่าว จะมีค่าเท่ากัน จึงทำให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในตัวนำเป็นเส้นตรง ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวนำในแนวขวางมีค่าเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 3.11



CONSTANT CURRENT SOURCE

รูปที่ 3.11 No magnetic field

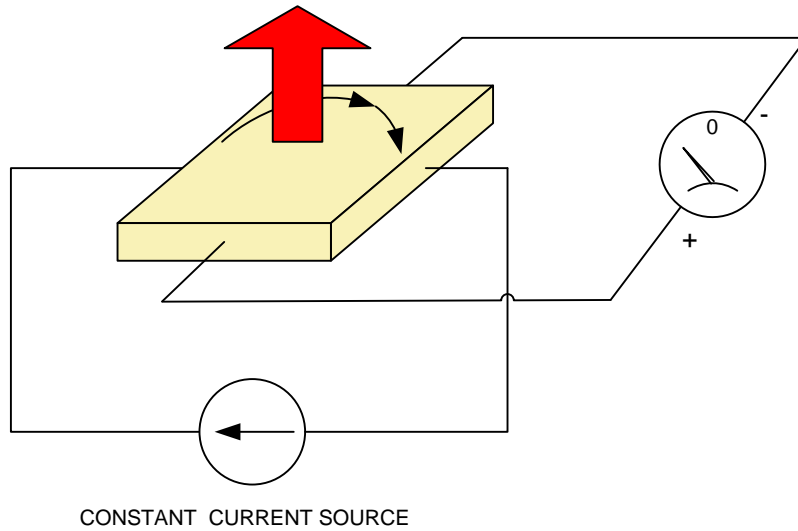
เมื่อมีสนามแม่เหล็กตัดผ่าน จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของตัวนำในแต่ละด้านไม่เท่ากันทำให้ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าถูกเบี่ยงเบนไปด้านข้าง จึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวนำในแนวขวางขึ้น ดังรูปที่ 3.12



CONSTANT CURRENT SOURCE

รูปที่ 3.12 South magnetic field

แต่เมื่อมีแม่เหล็กตัดผ่านในทิศตรงกันข้าม จะทำให้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าถูกเบี่ยงเบนไปอีกด้านหนึ่ง จึงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้ามีทิศทางกลับกันด้วย ดังรูปที่ 3.13

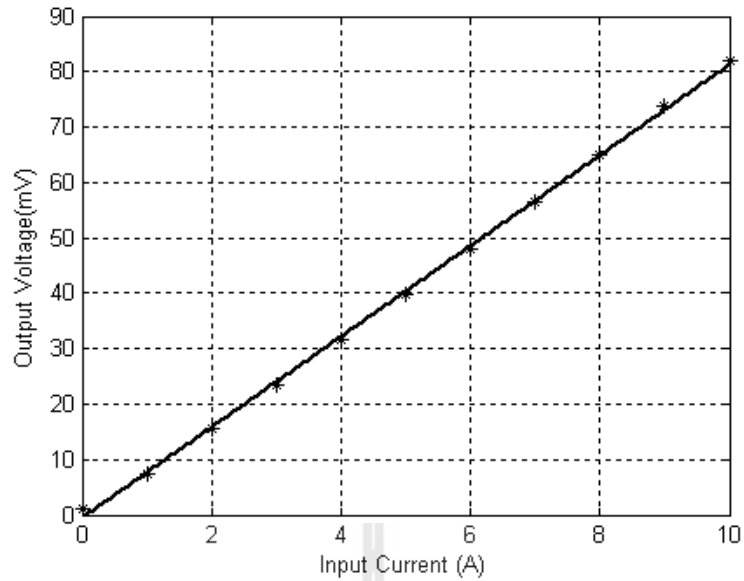


รูปที่ 3.13 North magnetic field

อุปกรณ์ Hall-Effect Sensor ที่ใช้ในการตรวจวัดกระแสคือ IC UGN3503U เป็นชนิด Ratiometric, Linear Hall-Effect Sensor มีแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง $0 - 1.5 V_{peak}$ และใช้แกนเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัด

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าด้วย Hall-Effect Sensor

$I_{in} (A)$	$V_{out} (mV)$
1.0	8.0
2.0	15.7
3.0	23.6
4.0	31.6
5.0	39.8
6.0	47.9
7.0	56.6
8.0	64.9
9.0	73.7
10.0	81.9



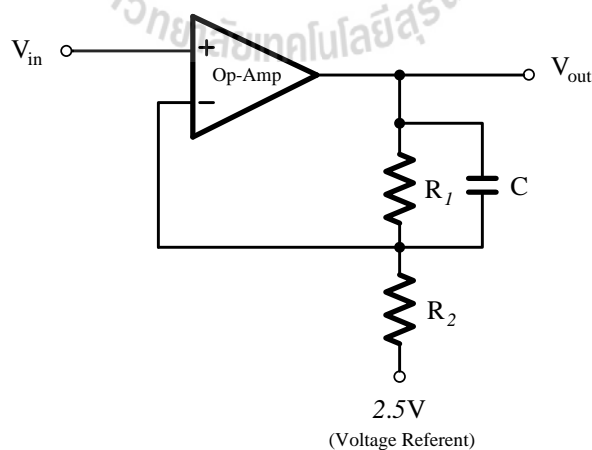
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงค่าความไวในการวัดกระแสไฟฟ้า

จากกราฟในรูปที่ 3.14 สามารถหาค่าความไวในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าของ Hall-Effect Sensor ได้จากค่าความชันของกราฟดังนี้

$$\text{Sensitivity} = \text{slope} = 8.15 \text{ mV/A}$$

- วงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall-Effect sensor มีค่าน้อยมาก จึงจำเป็นต้องทำการขยายสัญญาณ เพื่อให้ขนาดของสัญญาณอยู่ในช่วงที่เหมาะสม การขยายสัญญาณจะใช้วงจร Op-Amp ซึ่งมีวงจรดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.15 วงจรขยายสัญญาณ

ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัด 10 A หรือประมาณ $14.5 \text{ A}_{\text{peak}}$ ทำการเผื่อ 10% $= 16 \text{ A}_{\text{peak}}$ และ กำหนดให้ค่าสูงสุดของสัญญาณเอาต์พุต $= 2.5 \text{ V}_{\text{peak}}$

จะได้

$$\text{Gain} = \frac{2.5\text{V}}{16\text{A} \times 8.2\text{mV/A}} = 19.05 \cong 19$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าสูงสุดด้านเอาต์พุตของไอซีแรงดันอ้างอิง (voltage reference) มีค่าเท่ากับ $20\mu\text{A}$
ดังนั้น

$$R_2 \geq \frac{V_{\text{in,max}}}{I_{\text{ref,max}}} = \frac{16\text{A} \times 8.15\text{mV/A}}{20\mu\text{A}} = 6.5\text{k}\Omega$$

จากวงจรสามารถเขียนสมการวงจรโดยอาศัย KVL ได้ดังนี้

$$V_o - I(R_1 + R_2) = 0$$

จะได้

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_o}{R_1 + R_2} \\ V_i &= R_2 I \\ &= R_2 \left(\frac{V_o}{R_1 + R_2} \right) \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\text{Gain} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

เลือก $R_2 = 10\text{k}\Omega$ จะได้

$$R_1 = (\text{Gain} - 1)R_2 = (19 - 1)(10\text{k}\Omega) = 180 \text{ k}\Omega$$

- วงจรกรองความถี่ (Filter)

ในส่วนของวงจรขยายนี้จะใช้วงจรกรองแบบต่ำผ่าน (low - pass filter) แบบแอกทีฟ (active) โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์วงจรด้วยอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน

จากรูปวงจรที่ 3.15 จะได้

$$\begin{aligned} Z_1 &= R_1 // C = \frac{R_1}{1 + j\omega R_1 C} \quad \text{และ} \quad Z_2 = R_2 \\ \frac{V_o(t)}{V_i(t)} &= 1 + \frac{Z_1}{Z_2} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{(1 + j2\pi f_c R_1 C)} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้

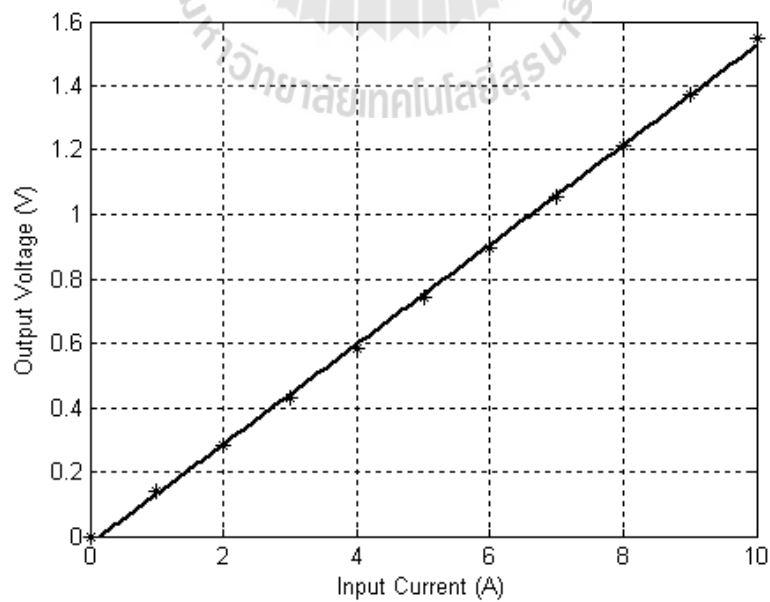
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C} = \frac{1}{2\pi(180 \times 10^3)(560 \times 10^{-12})} = 1,579\text{Hz}$$

- ความไวในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (sensitivity of current sensor)

เมื่อทำการประกอบอุปกรณ์ในส่วนต่าง ๆ แล้ว จะต้องทำการทดสอบการตรวจวัดของเครื่องตรวจวัดกระแสไฟฟ้าง่าย ๆ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน เพื่อหาค่าความไวในการตรวจกระแสไฟฟ้า (sensitivity of current sensor) ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลจากการทดสอบค่าความไวในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

$I_{in} (A)$	$V_{out} (V)$
1.0	0.137
2.0	0.281
3.0	0.423
4.0	0.585
5.0	0.740
6.0	0.895
7.0	1.055
8.0	1.210
9.0	1.383
10.0	1.560



รูปที่ 3.16 ผลการทดสอบค่าความไวในการวัดกระแสไฟฟ้า

จากผลการทดสอบ สามารถหาค่าความไวในการวัดแรงดันไฟฟ้า (sensitivity of voltage sensor) ได้จากความชันของกราฟดังนี้

$$\text{Sensitivity} = \text{Slope} = 155 \text{ mV/A}$$

3.2.3 การประมวลผลและการแสดงผล

ในส่วนของการประมวลผลจะใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอก ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) และ อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) ไปเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter) และทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อที่จะไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า และแสดงผลด้วยจอแสดงผล (LCD) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

- On-Chip RAM 1536 Bytes
- On-Chip EEPROM 256 Bytes
- DC-40 MHz Clock input
- 10-Bit Analog to Digital Converter

- การแปลงสัญญาณ อะนาลอกเป็นสัญญาณ ดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

- ขนาดของข้อมูล (Data Converter) = 10-bite
- ช่วงของแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Voltage Range) = $5V_{\text{prk-to-peak}}$
- จะได้ความละเอียดของสัญญาณ = $5V / 1023 = 4.891 \text{ mV} / \text{code}$

- การแปลงข้อมูลให้อยู่ในหน่วยของแรงดันและกระแสไฟฟ้า

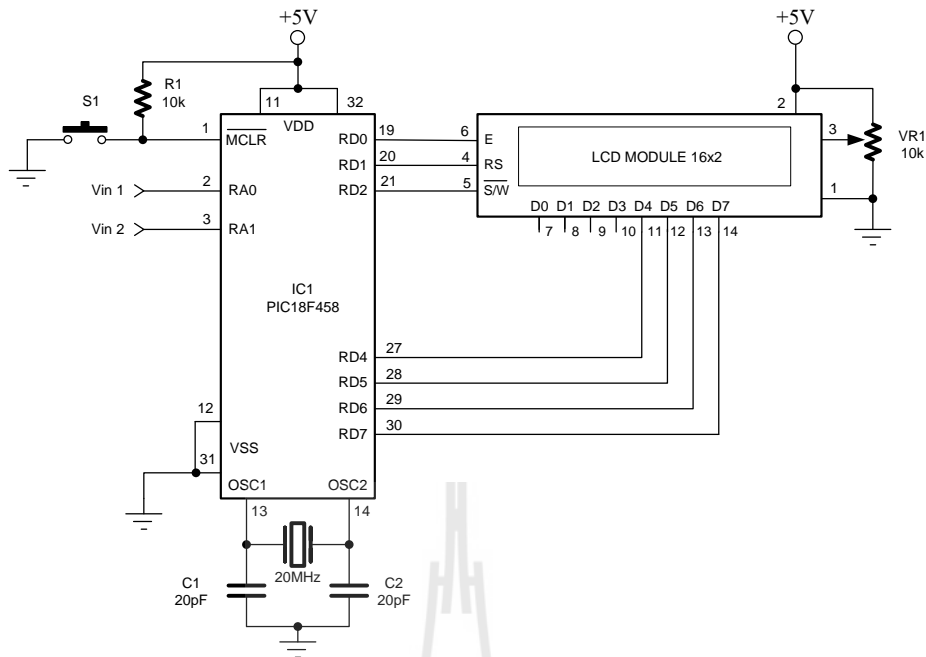
- แรงดันไฟฟ้า

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \frac{V_{\text{reff}}}{1023} \times \frac{V_{\text{data,rms}}}{A_v} \\ &= \frac{5V}{1023} \times \frac{V_{\text{data,rms}}}{0.00429} \\ &= 1.13936 \times V_{\text{data,rms}} \end{aligned}$$

- กระแสไฟฟ้า

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \frac{V_{\text{full-scal}}}{1023} \times \frac{I_{\text{data,rms}}}{\text{Sensitivity}} \\ &= \frac{5V}{1023} \times \frac{I_{\text{data,rms}}}{0.155 \text{ V/A}} \\ &= 1.13936 \times V_{\text{data,rms}} \end{aligned}$$

● การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 และจอแสดงผล LCD



รูปที่ 3.17 ภาคแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

■ ข้อมูลอินพุต (Data input)

V_1 (Voltage) \Rightarrow Port A0/NA0

V_2 (Current) \Rightarrow Port A1/NA1

■ ส่งข้อมูลไปยังจอ LCD

Data Bus \Rightarrow Port D4 – D7

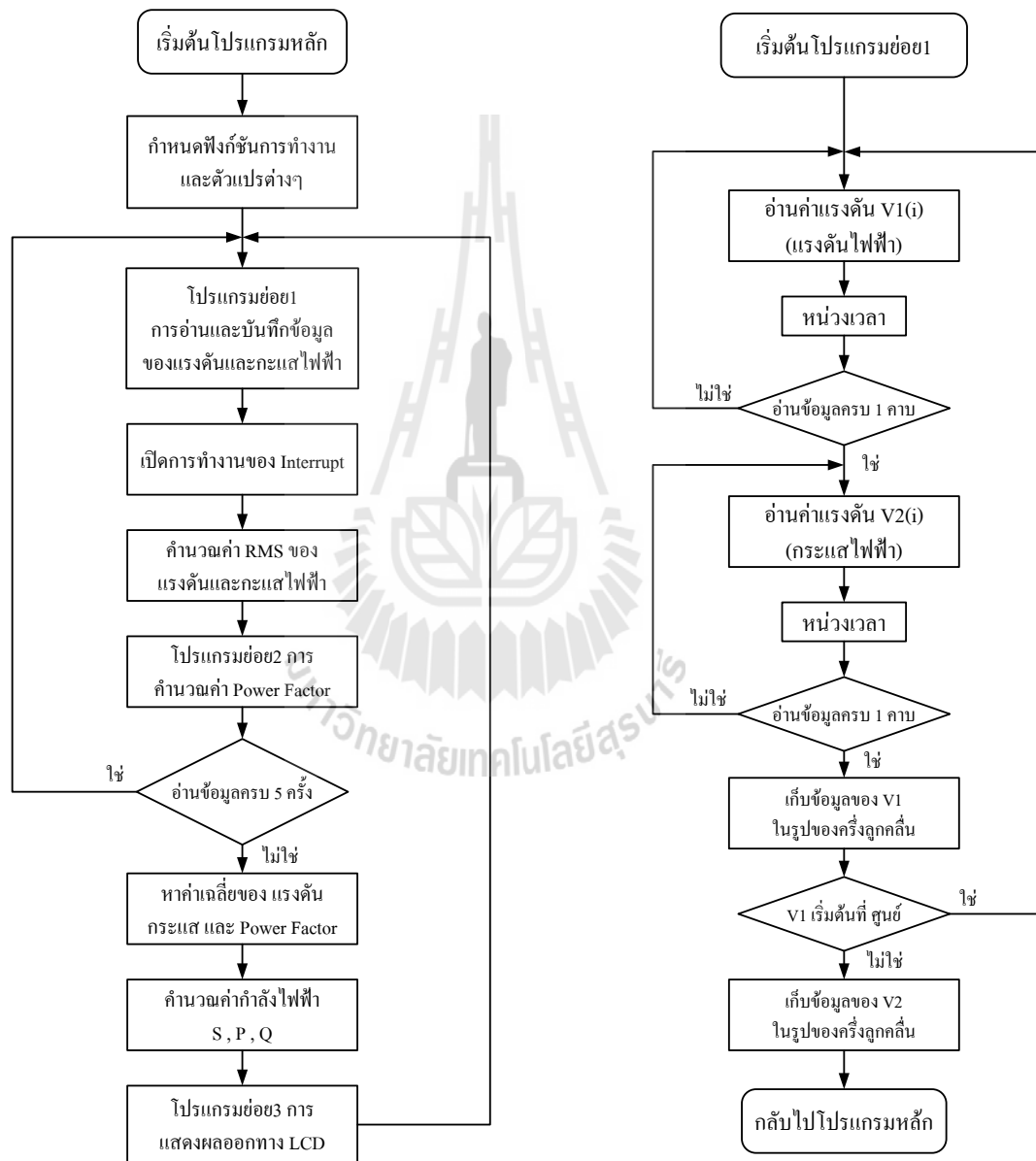
Enable pin \Rightarrow Port D0

RS pin \Rightarrow Port D1

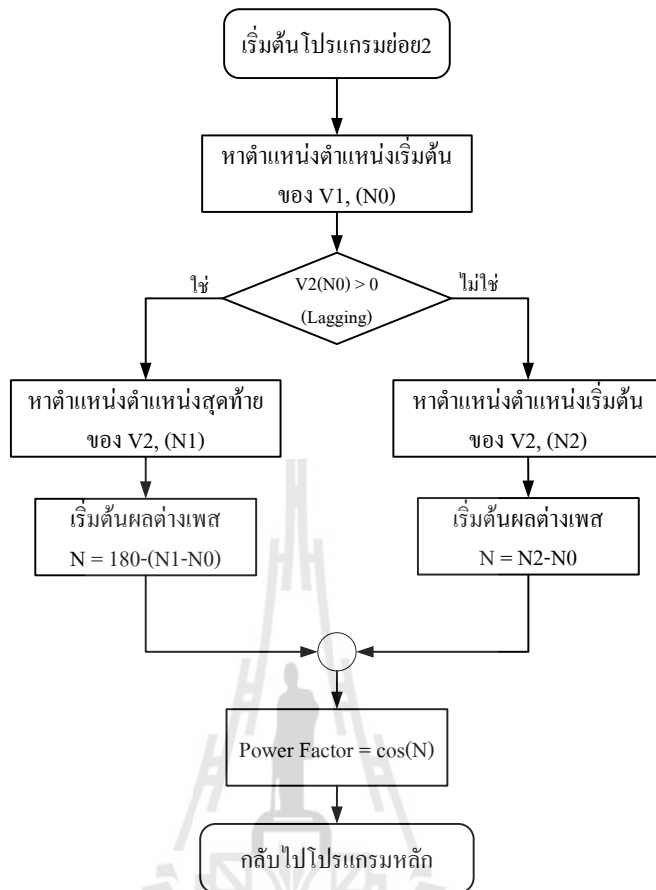
R/\overline{W} pin \Rightarrow Port D2

● **แผนผังการทำงานของโปรแกรมตรวจวัดและแสดงผล**

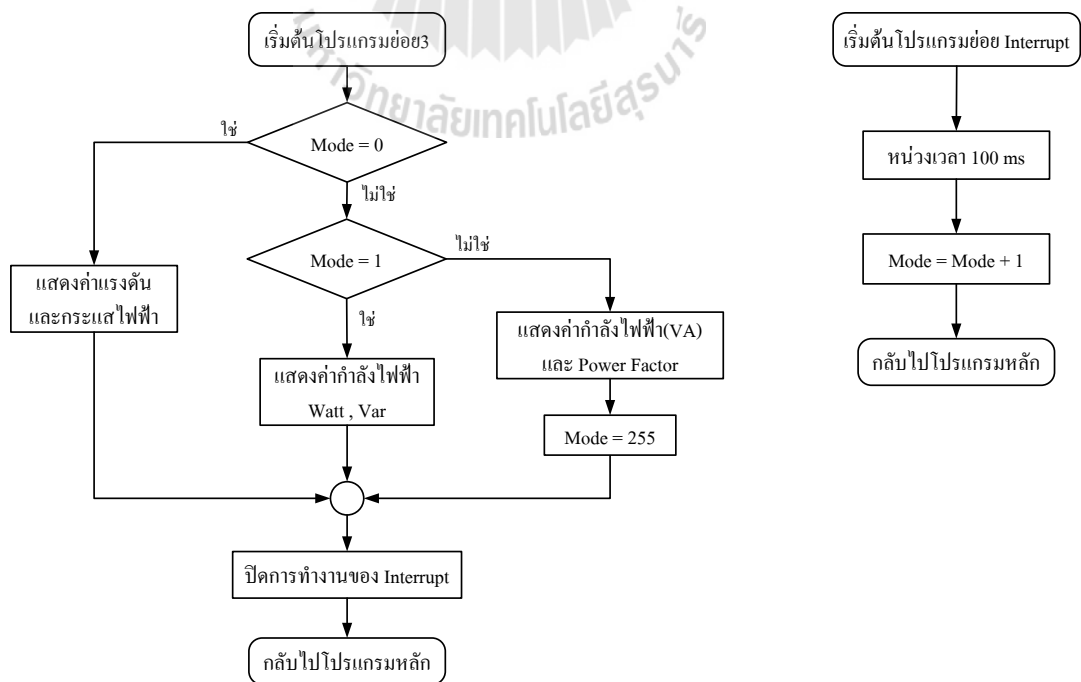
การตรวจวัดและแสดงผลการวัดกำลังไฟฟ้าอาศัยผลการวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าผ่านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ จากนั้นสามารถแสดงผลในรูปของค่ากำลังไฟฟ้าได้จากการคำนวณผลการเปรียบเทียบระหว่างกระแสและแรงดันในช่วงคาบเวลาที่พิจารณา การทำงานนี้สรุปได้ดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 3.18 – 3.20



รูปที่ 3.18 แผนภาพการทำงานภาคประมวลผลและภาคแสดงผล ส่วนที่ 1



รูปที่ 3.19 แผนภาพการทำงานภาคประมวลผลและภาคแสดงผล ส่วนที่ 2



รูปที่ 3.20 แผนภาพการทำงานภาคประมวลผลและภาคแสดงผล ส่วนที่ 3

3.3 การพัฒนาการตรวจวัดและแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์

การจำลองผลระบบ (System Simulation) ถือว่าเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ วินิจฉัยที่สำคัญสำหรับการวางแผนและการปฏิบัติการควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ตัวอย่างเช่น การจำลองเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง หรือในการจำลองการไหลในสายส่ง เป็นต้น แบบจำลองโหลดก็ถือเป็นส่วนสำคัญมากในการจำลองผล เนื่องจากแบบจำลองโหลดแต่ละแบบก็ทำให้ผลการจำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลอย่างมากและสำคัญต่อผลลัพธ์ของการจำลองผล และจากงานวิจัยหลายชิ้นที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดโดยได้นำระเบียบวิธีต่าง ๆ มาใช้ เช่น Genetic Algorithm, Neural Network, Nonlinear Least-Square เป็นต้น นอกจากนี้ยังลดความยุ่งยากในการคำนวณแบบจำลองโหลดโดยการลดพารามิเตอร์ของแบบจำลองลง แต่หากเป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่มาก ๆ ความเป็นพลวัตจะไม่มีผลมากกับระบบ ระบบที่ใหญ่มาก ๆ จึงเพียงพอที่จะใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิต และเนื่องจากแนวโน้มในปัจจุบัน การควบคุมและการวางแผนปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง มีแนวโน้มกลายมาเป็นการควบคุมและวางแผนโดยอัตโนมัติ การจำลองผลรวมไปถึงการสร้างแบบจำลองโหลดจึงควรมีการสร้างขึ้นเองโดยอัตโนมัติจากค่าข้อมูลจากการวัดในภาคสนาม โดยมีการประยุกต์โดยนำเทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์เข้ามาช่วย ซึ่งเป็นการรวมกันของหลาย ๆ เอเจนต์เพื่อบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ ระบบมัลติเอเจนต์จึงเป็นการเพิ่มเติมเครื่องมือช่วยในสร้างแบบจำลองโหลดที่มีความซับซ้อนและต้องทำการตรวจวัดอยู่ตลอดเวลา โดยระบบเอเจนต์นั้นเป็นระบบอัตโนมัติที่ปราศจากคนในการปฏิบัติการ สามารถที่จะโต้ตอบกับเอเจนต์อื่นผ่านภาษาทางการสื่อสารเอเจนต์ ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทางผู้วิจัยเล็งเห็นถึงข้อสำคัญในการนำระบบมัลติเอเจนต์มาประยุกต์ใช้กับการสร้างแบบจำลองโหลดโดยอัตโนมัติได้ เพื่อสามารถนำไปประกอบกับการจำลองผลในระบบต่อไป

3.3.1 แบบจำลองโหลด

ในกรณีการสร้างแบบจำลองโหลด คือการแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ที่วัดได้ที่บัส และค่ากำลังที่โหลดผลาญไป ที่เป็นค่ากำลังแอกทีฟและรีแอกทีฟ การแบ่งแบบจำลองโหลดจะแบ่งเป็นหลัก ๆ คือ แบบจำลองสถิตและแบบจำลองพลวัต แบบจำลองสถิต จะไม่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา ดังนั้นจึงเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแอกทีฟ รีแอกทีฟในทุกเวลากับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ ณ เวลาหนึ่ง ส่วนแบบจำลองพลวัตนั้นเป็นฟังก์ชันของแรงดัน และ/หรือ ความถี่(ที่สถานะคงตัว)ให้สัมพันธ์ในทุกเวลา ซึ่งในบทความนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิต โดยแบบจำลองโหลดสถิตจะเหมาะกับการใช้สำหรับการศึกษาในระยะยาว (long-term) ตัวอย่างเช่น โหลดที่เป็นค่าความต้านทาน และโหลดแสงสว่าง เป็นต้น

ก. แบบจำลอง ZIP หรือแบบจำลองพหุนาม (ZIP Model or Polynomial Model)

โดยทั่วไป ค่าคงที่ของโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟมักถูกใช้ในโปรแกรมจำลองการไหลของระบบไฟฟ้า แต่มันควรพิจารณาด้วยค่ากระแสไฟฟ้า แรงดัน และอิมพีแดนซ์ของโหลดในทุก ๆ เวลา ไม่ใช่ค่าคงที่ และแปรเปลี่ยนไปตามโหลด ดังนั้นผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นค่าคงที่เมื่อนำไปคำนวณจะไม่ใช่ว่าที่ถูกต้องนัก

แบบจำลองค่าคงที่ของกระแส กำลังไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ นั้นรู้จักในชื่อ “แบบจำลองแบบ ZIP (ZIP model)” ซึ่งเป็นหนึ่งในแบบจำลองที่สำคัญและเหมาะสม แบบจำลองนี้สร้างขึ้นในรูปแบบของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ ซึ่งในบทความนี้ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ จึงได้สมการของแบบจำลองดังแสดงในสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$P = P_0 \left[Z_p \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (3.2)$$

$$P = P_0 \left[Z_q \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_q \right] \quad (3.3)$$

โดยที่ P_0 , Q_0 , V_0 คือค่าพิกัดของโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โหลดกำลังไฟฟารีแอกทีฟ และแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ และ Z_p , I_p , P_p , Z_q , I_q และ P_q คือสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองโหลดหรือเพื่อความง่ายในการนำไปใช้ จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) และ (2) สมมติว่าค่า P , Q และ V เป็นค่าต่อหน่วย (per unit) ดังนั้นจากสมการที่ (1) และ (2) ทำให้อยู่ในรูปแบบสมการที่ง่ายขึ้นดังสมการที่ 3.4 และ 3.5

$$P = Z_p V^2 + I_p V + P_p \quad (3.4)$$

$$P = Z_q V^2 + I_q V + P_q \quad (3.5)$$

ข. วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกับการคำนวณพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด

พารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP สามารถหาได้โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งก็ได้ โดยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้คือวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด สมมติว่ามีชุดข้อมูลการวัด y_n รวมกลุ่มกันสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ส่วน x_n คือ ปัญหา กำลังสองน้อยที่สุดที่ต้องการหา ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.6

$$\min_p \sum_{n=1}^N (y_n - px_n)^2 \quad (3.6)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ควรหาค่าเหมาะที่สุดคือสมการที่ 3.7

$$\lambda = \sum_{i=1}^n (Z_p \cdot V_i^2 + I_p \cdot V_i + P_p - P_i)^2 \quad (3.7)$$

โดยที่ P_i และ V_i คือ ค่าอินพุตต่อหน่วย นั่นคือค่าแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปที่สอดคล้องกับแรงดันที่บัส

วิธีการแก้ไขปัญหาคือหาคำตอบคือแปลงสมการในสมการที่ 3.7 เพื่อให้ได้พารามิเตอร์แต่ละตัว (Z_p, I_p, P_p) จึงทำอนุพันธ์เทียบแต่ละตัวแปร แล้วให้แต่ละสมการมีค่าเท่ากับศูนย์ อย่างน้อยจึงมี 3 สมการ ใน 3 ตัวแปรเพื่อทำการหาค่า โดยสมการที่ได้คือสมการที่ 3.8, 3.9 และ 3.10

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^4 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i^3 + P_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 = \sum_{i=1}^n 2V_i^2 P_i \quad (3.8)$$

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^3 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 + P_p \sum_{i=1}^n 2V_i = \sum_{i=1}^n 2V_i P_i \quad (3.9)$$

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i + P_p \cdot 2n = \sum_{i=1}^n 2P_i \quad (3.10)$$

ทำให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ดังสมการที่ 3.11 และของกำลังไฟฟารีแอกทีฟดังสมการที่ 3.12

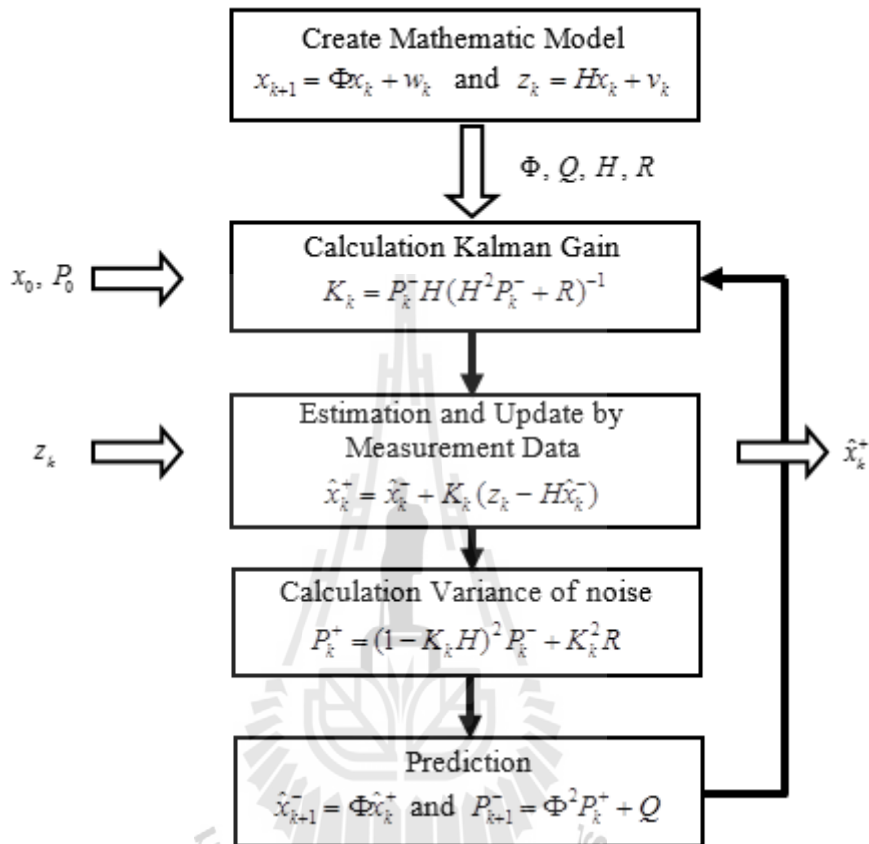
$$\begin{bmatrix} Z_p \\ I_p \\ P_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2V_i^4 & \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i & 2n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2P_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2P_i V_i \\ \sum_{i=1}^n 2P_i \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\begin{bmatrix} Z_q \\ I_q \\ P_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2V_i^4 & \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i & 2n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2Q_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2Q_i V_i \\ \sum_{i=1}^n 2Q_i \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

3.3.2 การลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัดด้วยตัวกรองคาลมาน

โดยปกติ สิ่งที่ต้องการรู้เมื่อวิเคราะห์ระบบคือ ณ เวลาหนึ่ง ๆ ระบบมีสถานะ (States) เป็นอย่างไร และสถานะของระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นอย่างไร ในทางปฏิบัติบ่อยครั้งการหาสถานะของระบบไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะมีข้อจำกัดหลายปัจจัย เช่น ความไม่สมบูรณ์ของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดสถานะของระบบและความคลาดเคลื่อนในการวัด วิธีหนึ่งสำหรับหาสถานะของระบบคือใช้ Kalman Filter ซึ่งเป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ (Algorithm) พัฒนาโดย R.E. Kalman ในปี ค.ศ. 1960 ปัจจุบัน

Kalman Filter ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อใช้ ประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายประเภท ภายใต้สัญญาณรบกวน (Noise) จากหลายแหล่งเพื่อหาค่าประมาณของสถานะของระบบที่ดีที่สุด (Data Fusion) โดยมีระเบียบขั้นตอนของตัวกรองคาลมานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.21 ขั้นตอนของการประมวลผลด้วย Kalman Filter ที่เวลา t_k ใด ๆ

- เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในรูปแบบของ Process Model $x_{k+1} = \Phi x_k + w_k$ และ Measurement Model $z_k = H x_k + v_k$ บันทึกค่า Φ , Q , H และ R
- หาค่าประมาณเริ่มต้นที่ดีที่สุดของสถานะของระบบ \hat{x}_0 และ Variance ของความคลาดเคลื่อน P_0
- คาดการณ์สถานะของระบบ \hat{x}_k^- ที่เวลา t_k ล่วงหน้าจาก $\hat{x}_k^- = \Phi \hat{x}_{k-1}^+$ และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์จาก $P_k^- = \Phi^2 P_{k-1}^+ + Q$
- ณ เวลา t_k ที่เซ็นเซอร์วัดค่า z_k ได้ สามารถคำนวณค่า Kalman Gain K_k ได้จาก $K_k = P_k^- H (H^2 P_k^- + R)^{-1}$ ใช้ค่า Kalman Gain K_k เพื่อแก้ไขค่าที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้าจาก $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k [z_k - H \hat{x}_k^-]$ และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการประมาณจาก $P_k^+ = (1 - K_k H)^2 P_k^- + K_k^2 R$

5. คาคการณ้สถานะของระบบ \hat{x}_{k+1}^- ณ เวลา t_{k+1} ล่วงหน้าจาก $\hat{x}_{k+1}^- = \Phi \hat{x}_k^+$ และค่านวมของ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการคาคการณ้จาก $P_{k+1}^- = \Phi^2 P_k^+ + Q$

6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 และ 5 ที่เวลา t_{k+1}, t_{k+2}, \dots ไปเรื่อย ๆ

หรือสรุปได้ดงแผนภาพในรูปที่ 3.21 โดยทำตามระเบียบวิธีดงรูปที่ 3.21 สำหรับการทงานของตัวกรองคาลมาน เพื่อนำไปลดผลกระทบอันเนื่องจากสัญญาณรบกวน โดยจะนำตัวกรองคาลมานนี้ใช้กับค่าที่วัดได้แต่ละค่าอันได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟและค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

3.3.3 การออกแบบมัลติเอเจนท์

การออกแบบเอเจนท์ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือในการสร้างเอเจนท์คือ JADE ซึ่งมีพื้นฐานเป็นภาษาจาวา ซึ่งมีความปล้อยภัยสูง ง่ายต่อการเข้าใจ สามารถแก้ไขเฉพาะผู้ออกแบบเอเจนท์เท่านั้น และสามารถนำไปใช้ได้ทุกแพลตฟอร์มที่มีจาวาติดตั้งอยู่

การออกแบบระบบมัลติเอเจนท์นี้ ประกอบด้วยเอเจนท์ที่ทำหน้าที่ อันได้แก่ เอเจนท์สำหรับนำข้อมูลการวัดจากเครื่องมือวัด เอเจนท์สำหรับรวบรวมค่า และเอเจนท์หลักสำหรับการประมวลผลให้ประสพผลสำเร็จและเก็บข้อมูล เพื่อนำมาใช้ได้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป ดงนั้นการออกแบบมัลติเอเจนท์จึงได้กำหนดชื่อและหน้าที่ของแต่ละเอเจนท์ ได้ดงนี้

ก. เอเจนท์ PAG, QAG และ VAG

เอเจนท์ PAG, QAG และ VAG เอเจนท์ทั้งสามนี้มีหน้าที่ในการทงานที่คล้ายคลึงกัน คือทำการนำค่าจากเครื่องมือวัดแล้วส่งออกไป ซึ่งกำหนดให้เอเจนท์ทงานด้วยพฤติกรรมแบบทงานเป็นเวลาหรือก็คือให้เอเจนท์ส่งข้อมูลการวัดเป็นระยะ ๆ

ตารางที่ 3.5 ประเภทข้อมูลของเอเจนท์ PAG, QAG และ VAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of PAG, QAG and VAG	Integer
PAG Active Power capacity	MW
QAG Reactive Power capacity	MVAR
VAG Voltage	kV
Content	String
Language	String

ข. เอเจนต์ MAG

เอเจนต์ MAG นี้ ทำหน้าที่สำหรับการรวบรวมค่าที่ส่งมาจากทั้ง 3 เอเจนต์ คือ เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG แล้วจัดข้อมูลการวัดให้อยู่ในรูปแบบแฟ้มเกจเดียวเพื่อส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMSAG ซึ่งกำหนดให้เอเจนต์ MAG ทำงานด้วยพฤติกรรมแบบวงจร ทำงานเป็นวงรอบไปเรื่อย ๆ เพื่อรอรับข้อมูลจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ที่จะเข้ามาเวลาไหนก็ได้

ตารางที่ 3.6 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ MAG

คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of MAG	Integer
MAG Active Power capacity	MW
MAG Reactive Power capacity	MVAR
MAG Voltage	kV
Content	String
Language	String

ค. เอเจนต์ LMSAG

เอเจนต์นี้ทำหน้าที่ในการรวบรวมค่าจากแต่ละเอเจนต์ MAG เพื่อส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMDAG ต่อไป ซึ่งอีกหน้าที่หนึ่งของเอเจนต์นี้คือการทำหน้าที่ติดต่อรับข้อความจากเอเจนต์เครื่องลูกข่ายที่อาจอยู่ห่างไกลออกไปเข้ามายังเครื่องหลักผ่านเครือข่ายภายใน

ตารางที่ 3.7 ประเภทข้อมูลของเอเจนต์ LMSAG

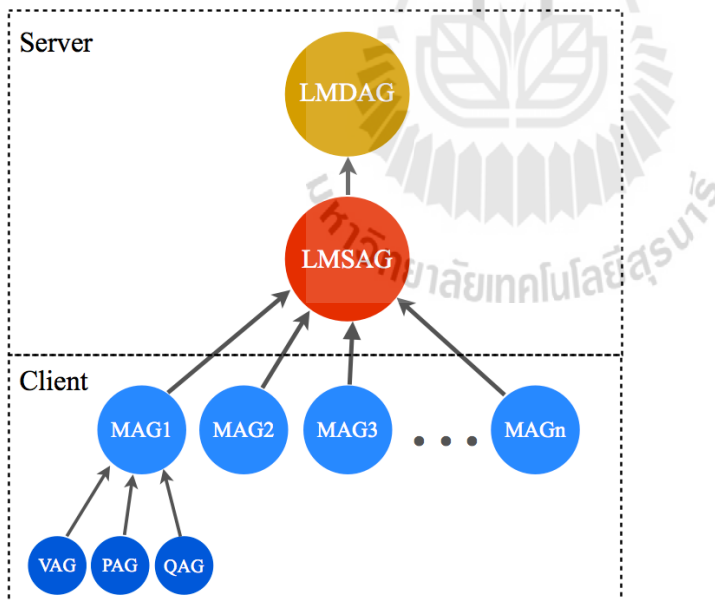
คุณลักษณะ	ค่าที่ปรับตั้ง
ID of LMSAG	Integer
LMSAG Active Power capacity	MW
LMSAG Reactive Power capacity	MVAR
LMSAG Voltage	kV
Content	String
Language	String

ง. เอเจนต์ LMDAG

เอเจนต์นี้ถือว่าเป็นเอเจนต์หลักและสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่สำหรับคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนด โดยเอเจนต์นี้ทำการเรียกใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อความสะดวกในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เมื่อได้พารามิเตอร์ออกมาแล้วจึงทำการจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความ (Text file) เพื่อสามารถนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์เมื่อต้องการด้วยการดึงข้อมูลแบบจำลองโหนดจากไฟล์ข้อความดังกล่าว

จ. การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ที่ได้ออกแบบ

การทำงานเริ่มต้นที่ เอเจนต์ VAG, PAG และ QAG ทำการวัดในภาคสนามในแต่ละสถานที่แล้วส่งข้อมูลไปยังเอเจนต์ MAG เพื่อเอเจนต์ MAG ส่งค่าแรงดัน ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ไปยังเอเจนต์ LMSAG โดยการทำงานนี้จะเรียงลำดับคือ จะเริ่มที่ MAG1 ต่อไปเป็น MAG2 ต่อไปเรื่อย ๆ จนถึง MAGn (เพื่อจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโหนดได้ตามลำดับ) แล้ว LMSAG ก็ทำการรับค่าจากแต่ละ MAG จะส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMDAG โดยเอเจนต์ LMDAG ทำหน้าที่รับค่ามาแล้วนำไปคำนวณและหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนดโดยโปรแกรม คำสั่ง MATLAB แล้วทำการเก็บข้อมูลไว้



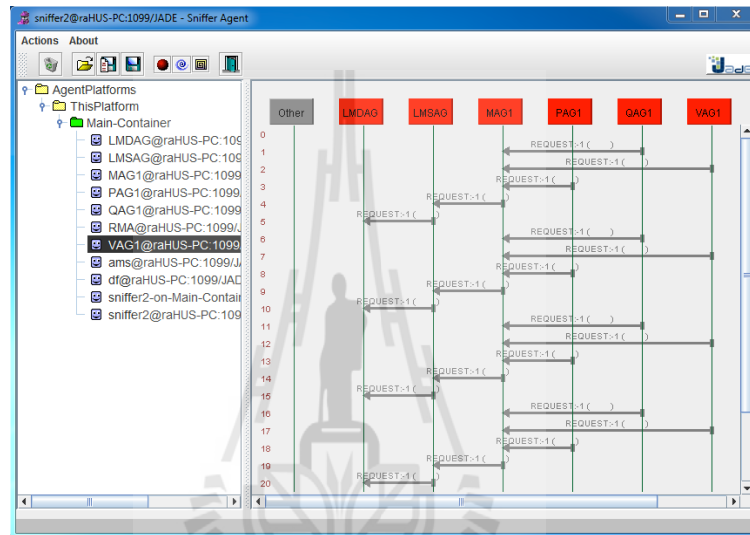
รูปที่ 3.22 สถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์

จากรูปที่ 3.22 สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือส่วนที่เป็นเครื่องลูกข่าย (Client) ซึ่งประกอบด้วยเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ภายในเอเจนต์ MAG ซึ่งแต่ละเอเจนต์ MAG อาจอยู่ในต่างสถานที่กัน กระจายออกไปตามสถานที่ของเครื่องมือวัด และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนเครื่อง

หลัก (Server) ประกอบด้วยเอเจนต์ LMSAG และ LMDAG ซึ่งอยู่ในคอมพิวเตอร์เครื่องหลักเพื่อความสะดวกในการประมวลและการเรียกใช้งานต่อไป

3.3.4 ผลการทดลอง

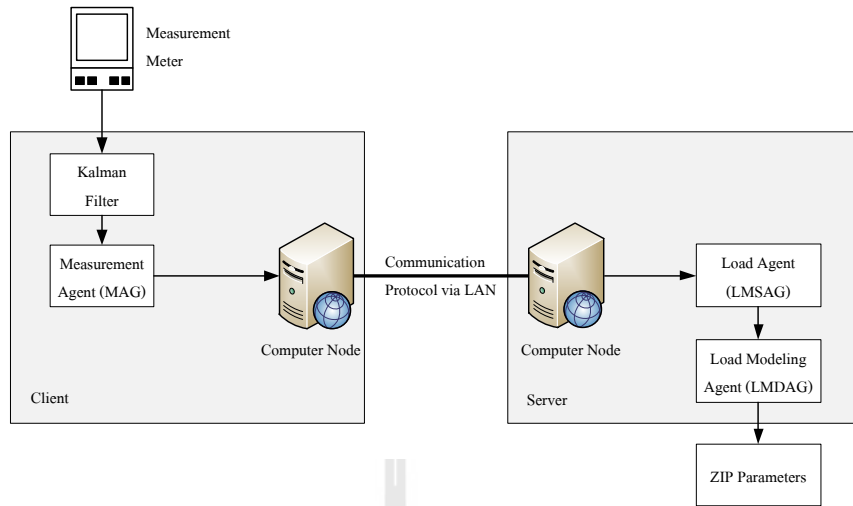
โดยการทำงานของระบบมัลติเอเจนต์นี้ได้แสดงเส้นทางการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเอเจนต์ซึ่งใช้เครื่องมือ sniffer ของ JADE ตามรูปที่ 3.23 นี้



รูปที่ 3.23 เส้นทางการรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์

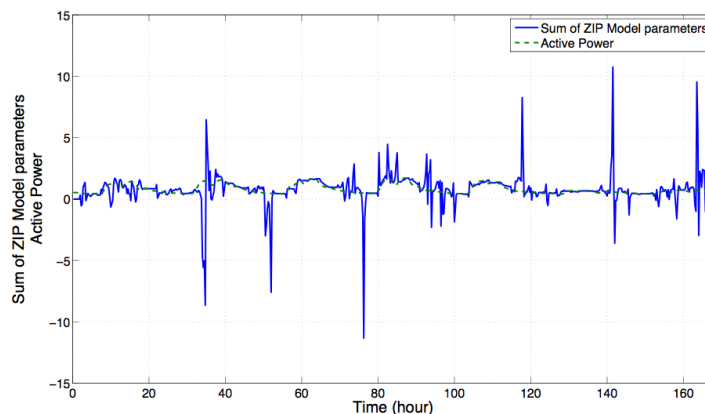
จากรูปที่ 3.23 เป็นภาพแสดงส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เป็นเครื่องมือสำหรับการติดตามดูเส้นทางการรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์ที่มีชื่อว่า Sniffer ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าเริ่มจากการส่งข้อมูลจากเอเจนต์ PAG01, QAG01 และ VAG01 ไปยังเอเจนต์ MAG01 แล้วเอเจนต์ MAG01 จึงส่งต่อข้อมูลไปยังเอเจนต์ LMSAG และเอเจนต์ LMSAG ก็ส่งไปยังเอเจนต์ LMDAG ถือเป็นจุดสิ้นสุดของการส่งข้อมูลโดยเอเจนต์ LMDAG จึงได้นำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป

วิธีการสร้างแบบจำลองโหนด คือ การหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหนด ZIP โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดดังที่กล่าวไว้ แล้วนำพารามิเตอร์ที่ได้แทนในสมการข้างต้นดังที่ได้สร้างขึ้นเป็นระบบและทำงานได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.24

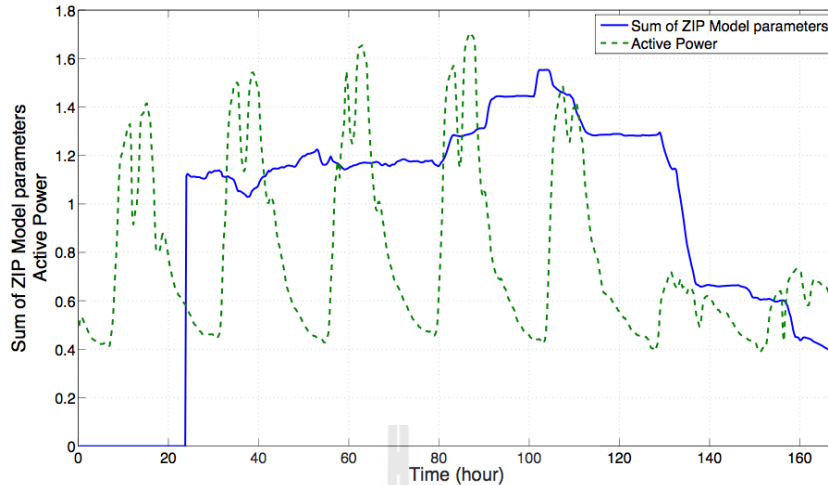


รูปที่ 3.24 โครงสร้างการทำงานของระบบ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองโหลด ที่ได้ออกแบบระบบมีลติเอเจนต์โดยใช้ JADE ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานอยู่บนภาษาจาวา ที่มีความปลอดภัยสูง และไม่ยึดติดกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพียงแบบใดแบบหนึ่ง โดยใช้ JADE เป็นเครื่องมือในการสร้างเอเจนต์และอำนวยความสะดวกในการทำงานของเอเจนต์ จนเกิดเป็นระบบมีลติเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ในการดึงค่าจากจุดวัดแล้วนำมาสร้างแบบจำลองโหลดได้โดยที่ไม่ต้องมีผู้ดูแลควบคุมอยู่ตลอดเวลา โดยมีการทำงานเริ่มจากนำข้อมูลจากเครื่องวัดแล้วลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองคาลมานแล้วจึงส่งไปยังเครื่องหลักผ่านเครื่องข่ายภายใน ซึ่งเครื่องหลักมีหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองโหลดและบันทึกเก็บไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ได้ต่อไป และจากการทดสอบกับข้อมูลการวัดในระยะเวลา 1 สัปดาห์ จึงทำให้สามารถกำหนดช่วงระยะแบบจำลองโหลดได้หลายช่วง ซึ่งในการทดสอบได้ทดสอบช่วงระยะแบบจำลองโหลด 2 ชั่วโมงและ 1 วัน ดังผลลัพธ์ของผลรวมของสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหลดในรูปที่ 3.25 และ 3.26



รูปที่ 3.25 ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหลดของช่วงระยะแบบจำลอง 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.26 ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหลดของช่วงระยะแบบจำลอง 1 วัน

ผลการทดสอบทำให้เห็นว่าการกำหนดช่วงระยะแบบจำลองโหลดควรกำหนดให้กว้างเพราะ ยิ่งกว้างนั้นคือมีข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองโหลดมาก ทำให้แบบจำลองโหลดมีความถูกต้อง แม่นยำมากยิ่งขึ้น

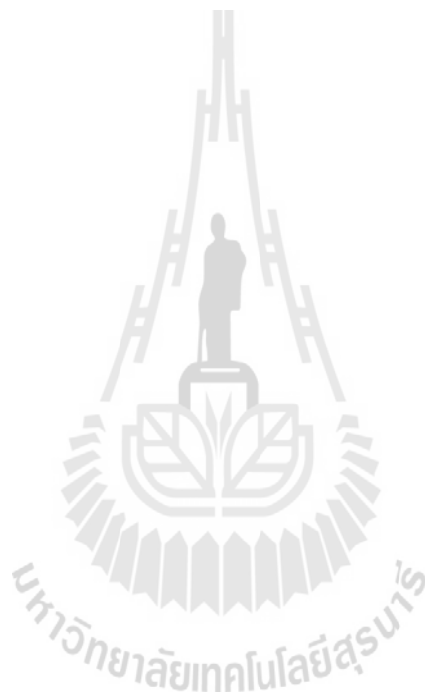
3.4 สรุป

บทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและการประยุกต์ระบบมัลติเอเจนต์ มาใช้งาน ได้แบ่งส่วนการศึกษาเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนแรกเป็นการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า ทำได้โดยการตรวจวัดจากปริมาณทางไฟฟ้ารูปแบบอื่น นั่นคือ ปริมาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจวัด ปริมาณทั้งสอง ซึ่งจะอยู่ในรูปของสัญญาณอะนาล็อก แล้วทำการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวิเคราะห์และประมวลสัญญาณดังกล่าว โดยใช้แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของสมการและตัวแปรต่าง ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณค่า กำลังไฟฟ้า และทำการแสดงผลออกทางจอแสดงผลต่อไป

ส่วนที่สองเป็นการผสานรวมโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลอง โหลด โดยได้ออกแบบเอเจนต์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองโหลดได้แก่ เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG เป็นเอเจนต์สำหรับนำค่าการวัดคือค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟและค่า แรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ เอเจนต์ MAG เป็นเอเจนต์ที่มีหน้าที่ในการรวบรวมค่าจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG แล้วรวบรวมข้อมูลการวัดเป็นแพ็คเกจเพื่อสะดวกในการส่งข้อมูล เอเจนต์ LMSAG เป็นเอเจนต์ในฝั่งของเครื่องหลักสำหรับเป็นจุดติดต่อที่ให้เอเจนต์ MAG ในต่างสถานที่ส่งข้อมูลการวัด เข้ามาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใน และเอเจนต์ LMDAG เป็นเอเจนต์ในการเก็บบันทึกข้อมูลการ

วัดและเรียกโปรแกรมสำหรับคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองโหลดแล้วทำการบันทึกไว้ โดยเอเจนต์เหล่านี้กำหนดให้ทำงานสอดคล้องกันเป็นระบบเกิดขึ้นเป็นระบบมัลติเอเจนต์ที่สามารถให้ระบบมัลติเอเจนต์ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ไม่ต้องควบคุมหรือดูแลจากผู้ปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา โดยได้นำข้อมูลการใช้โหลดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในระยะเวลา 1 สัปดาห์มาทดสอบกับระบบ ทำให้เห็นว่าระบบมัลติเอเจนต์สามารถทำงานได้อย่างราบรื่นและสามารถทำงานเป็นไปอย่างที่กำหนดไว้



บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุป

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและการประยุกต์ระบบมัลติเอเจนท์มาใช้งาน ได้แบ่งส่วนการศึกษาเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนแรกเป็นการตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า ทำได้โดยการตรวจวัดจากปริมาณทางไฟฟ้ารูปแบบอื่น นั่นคือ ปริมาณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการตรวจวัดปริมาณทั้งสอง ซึ่งจะอยู่ในรูปของสัญญาณอะนาล็อก แล้วทำการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวิเคราะห์และประมวลสัญญาณดังกล่าว โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของสมการและตัวแปรต่าง ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า และทำการแสดงผลออกทางจอแสดงผลต่อไป

ส่วนที่สองเป็นการผสานรวมโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนท์เพื่อสร้างแบบจำลองโหนด โดยได้ออกแบบเอเจนท์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองโหนดได้แก่ เอเจนท์ PAG, QAG และ VAG เป็นเอเจนท์สำหรับนำค่าการวัดคือค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟและค่าแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ เอเจนท์ MAG เป็นเอเจนท์ที่มีหน้าที่ในการรวบรวมค่าจากเอเจนท์ PAG, QAG และ VAG แล้วรวบรวมข้อมูลการวัดเป็นแพ็คเกจเพื่อสะดวกในการส่งข้อมูล เอเจนท์ LMSAG เป็นเอเจนท์ในฝั่งของเครื่องหลักสำหรับเป็นจุดติดต่อที่ให้เอเจนท์ MAG ในต่างสถานที่ส่งข้อมูลการวัดเข้ามาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใน และเอเจนท์ LMDAG เป็นเอเจนท์ในการเก็บบันทึกข้อมูลการวัดและเรียกโปรแกรมสำหรับคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองโหนดแล้วทำการบันทึกไว้ โดยเอเจนท์เหล่านี้กำหนดให้ทำงานสอดคล้องกันเป็นระบบเกิดขึ้นเป็นระบบมัลติเอเจนท์ที่สามารถให้ระบบมัลติเอเจนท์ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ไม่ต้องควบคุมหรือดูแลจากผู้ปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา โดยได้นำข้อมูลการใช้โหนดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในระยะเวลา 1 สัปดาห์มาทดสอบกับระบบ ทำให้เห็นว่าระบบมัลติเอเจนท์สามารถทำงานได้อย่างราบรื่นและสามารถทำงานเป็นไปอย่างที่กำหนดไว้

4.2 ข้อเสนอแนะ

การตรวจวัดทางไฟฟ้าในงานอุตสาหกรรมนั้นนอกจากการวัดกำลังงานไฟฟ้าแล้วยังมีปริมาณอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานและความปลอดภัย เช่น อุณหภูมิแวดล้อมในการทำงาน ความเข้มแสง เสียง การตรวจวัดอนุภาคฝุ่น การปนเปื้อนของอากาศ ความชื้นในอากาศ นอกจากนี้ปริมาณเฉพาะทางในกระบวนการอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องสามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาได้

บรรณานุกรม

1. M. Pipattanasomporn, H. Feroze and S. Rahman, “Multi-agent systems in a distributed smart grid: Design and implementation”, *Power Systems Conference and Exposition, PSCE '09.IEEE/PES*, pp. 1-8, 2009.
2. H.Wan, K.P.Wong and C.Y. Chung, “Multi-agent application in protection coordination of power system with distributed generations”, *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE*, pp.1-6, 2008.
3. H.Wan, K.K. Li and K.P.Wong, “An multi-agent approach to protection relay coordination with distributed generators in industrial power distribution system”, *Industry Applications Conference, 2005*, pp.830-836, 2005.
4. Zhenyu Chen, Gang Wang and Haifeng Li, “A MAS-based protection coordination system for wide area network”, *Power Engineering Conference. IPEC 2007*. pp. 1156 – 1160, 2007.
5. R. Giovanini, K. Hopkinson, D.V. Coury and J.S. Thorp, “A primary and backup cooperative Protection system based on wide area agents”, *IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 21 , Issue:3.*, pp. 1222 – 1230, 2006.
6. S. Sheng; K.K. Li, W.L. Chan, Z. Xiangjun and D. Xianzhong; “Agent-based self-healing protection system”, *IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 21 , Issue: 2 .*, pp. 610 – 618, 2006.
7. I.H. M.S. Choi and P. Crossley, “Multi-Agent System-based Protection Coordination of Distribution Feeders”, *Intelligent Systems Applications to Power Systems, ISAP 2007.*, pp. 1 – 6, 2007.
8. Zeineldin, H., El-Saadany, E.F.and Salama, M.A., “Optimal coordination of directional overcurrent relay coordination”, *Power Engineering Society General Meeting*, pp. 1101 – 1106, 2005.
9. Bedekar P.P., Bhide, S.R. and Kale V.S., “Coordination of overcurrent relays in distribution system using linear programming technique” *Control Automation Communication and Energy Conservation, 2009. INCACEC 2009.*, pp. 1-4, 2009.
10. El-Khattam W.and Sidhu T.S., “Restoration of Directional Overcurrent Relay Coordination in Distributed Generation Systems Utilizing Fault Current Limiter”, *IEEE Transactions on Power Delivery Volume: 23 , Issue: 2 .* , pp.576 – 585, 2008.

11. Vijayakumar D. and Nema R.K., "Superiority of PSO Relay Coordination Algorithm over Non-Linear Programming: A Comparison, Review and Verification", *Power System Technology and IEEE Power India Conference, POWERCON 2008.*, pp. 1 – 6, 2008.
12. Asadi, M.R. and Kouhsari, S.M., "Optimal Overcurrent relays coordination using particle-swarm-optimization algorithm", *Power Systems Conference and Exposition, PSCE '09. IEEE/PES, 2009*, pp. 1 – 7, 2009.
13. H.H. Zeineldin, E.F. El-Saadany and M.M.A Salama, "Protective Relay Coordination for Micro-grid Operation Using Particle Swarm Optimization", *Power Engineering, 2006 Large Engineering Systems Conference on Digital Object Identifier.*, pp. 152 – 157, 2006.
14. Asadi M.R., Askarian Abyaneh H., Mahmoodan M., Naghizadeh R.A. and Koochaki A., "Optimal Overcurrent relays coordination using genetic algorithm", *Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2008. 11th International Conference on Digital Object Identifier*, pp. 197 – 202, 2008.
15. F. Razavi, H. A. Abyaneh, M.A. Dabbagh, R. Mohammadi and H. Torkaman, "A new comprehensive genetic algorithm method for optimal overcurrent relays coordination", *Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 4, April 2008*, pp. 713-720., 2008.
16. S.M. Mousavi, H.A. Abyaneh and M. Mahdavi, "Optimum setting and coordination of overcurrent relays considering cable damage curve", *IEEE Bucharest PowerTech.*, pp. 1 - 5, 2009.
17. K. Tomiyamu, S. Ueoka, T. Takano, I. Iyoda, K. Mutsuno, K. Temma and J.J. Puserba, "Modeling of Load During and After System Faults Based on Actual Field Data", *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol. 3, 2003.
18. A. Maitra, A. Gaikwad, P. Zhang and M. Ingram, "Using System Disturbance Measurement Data to Develop Improved Load Models", *Power Systems Conference and Exposition*, 2006, pp. 1978 - 1985.
19. S. Z. Zhu, Z. Y. Dong, K. P. Wong and Z. H. Wang, "Power System Dynamic Load Identification and Stability", *International Conference on Power System Technology*, vol.1, 2000, pp. 13-18.

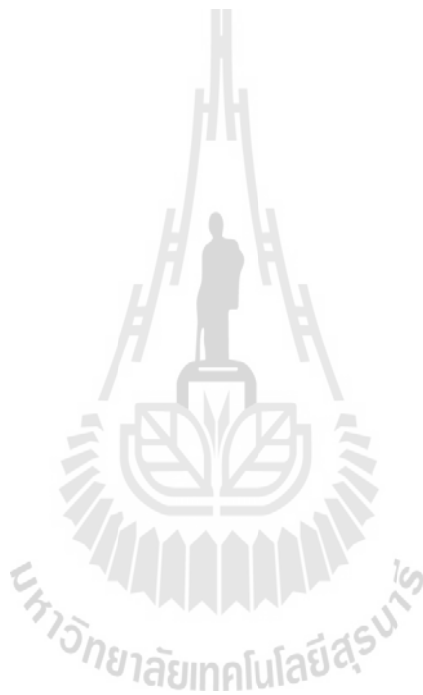
20. Shengyang He and Shelli K. Starrett, “*Modeling Power System Load using Adaptive Neural Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks*”, North American Power Symposium (NAPS), 2009, pp. 1-5.
21. K. Rudion, H. Guo, H. Abildgaard and Z. A. Styczynski, “*Non-Linear Load Modeling Requirements and Preparation for Measurement*”, Power & Energy Society General Meeting, 2009, pp. 1-7.
22. Ma Jin, He Renmu and David J. Hill, “*Load Modeling by Finding Support Vectors of Load Data From Field Measurements*”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 21, no. 2, 2006, pp. 726-735.
23. Jin Ma, Dong Han, Ren-Mu He, Zhao-Yang Dong and David J. Hill, “*Reducing Identified Parameters of Measurement-Based Composite Load Model*”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 23, no. 1, 2008, pp. 76-83.
24. Jing Zhang, J. Y. Wen, S. J. Cheng and Z.Y. Dong, “*Realization of the WAMS Based Power System Aggregate Load Area Model*”, IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, pp. 1-6.
25. M.Sadeghi, G.Abdollahi sarvi (2009), “*Determination of ZIP Parameters with Least Squares Optimization Method*”, Electrical Power & Energy Conference (EPEC), pp. 1-6.

ภาคผนวก ก
ผลผลิตจากงานวิจัย

งานวิจัยนี้ มีผลผลิต ดังต่อไปนี้

บทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่

ชัยวัฒน์ ลือใจ, ชัยยุทธ สัมภาวะคุปต์ และ ธนดชัย กุลวรรณิพงษ์, การพัฒนาแบบจำลองไหลด้วยระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ตัวกรองกาลมาน, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2, 2558





ที่ R&D 068/2558

10 กรกฎาคม 2558

เรื่อง ผลการพิจารณาบทความลงตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

เรียน นายชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์

ตามที่ท่านได้จัดส่งบทความเรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ตัวกรองคาลมาน” เพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนาตามที่ทราบแล้วนั้น

กองบรรณาธิการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ขอแจ้งให้ทราบว่าบทความที่ท่านเสนอมาได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิให้ลงตีพิมพ์ได้ในวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 26 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2558

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.อมร ทิมานมาศ)

ประธานคณะอนุกรรมการวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสานงาน : คุณอัจฉราภรณ์ รอดเกลี้ยง

โทรศัพท์ : 0-2184-4600 ต่อ 516

โทรสาร : 0-2319-2710-1

E-mail: ach_eit@eit.or.th

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

467 ซอยรามคำแหง 39 แยกที่ 11 ถนนรามคำแหง แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10310

487 Ramkrantisara 39, Pathaprika, Wangthonglang, Bangkok 10310

Tel. (662) 184 4600/9, Fax (662) 319-2710-1 (662) 184 4997-8 (www.eit.or.th E-mail: eit@eit.or.th)

การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ตัวกรองคาลมาน
DEVELOPMENT OF LOAD MODELING BY USING MULTI-AGENT SYSTEMS
WITH KALMAN FILTER

ชัยวัฒน์ ลือใจ¹ ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์² และ ธนัตชัย คุลวรวานิชพงษ์¹
¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 Chaiwat Luejai¹ Chaiyut Sumpavakup² and Thanatchai Kulworawanichpong¹

¹School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

²Department of Electrical Power Engineering, Institute of Engineering, Mahanakorn University of Technology

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ โดยใช้ข้อมูลการวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองโหลดที่สามารถแทนลักษณะของโหลดในเวลาต่าง ๆ โดยแบบจำลองโหลดในงานบทความนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิตที่เรียกว่าแบบจำลองโหลด ZIP ซึ่งง่ายต่อการคำนวณและไม่ยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองแต่ยังให้ประสิทธิภาพที่ดี และได้ใช้ตัวกรองคาลมานเพื่อลดผลกระทบอื่นเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวกรองคาลมานลดผลกระทบอื่นเนื่องจากสัญญาณรบกวนได้ดีและไม่กระทบกับลักษณะของโหลดอีกด้วย โดยกระบวนการตั้งแต่การลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองไปจนถึงการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดนั้นได้ออกแบบให้ทำงานอย่างเป็นระบบด้วยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์ จากคุณสมบัติของเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์ที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติการทำงานอยู่ตลอดเวลา ในบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหลดให้สามารถแสดงพฤติกรรมของโหลดได้อย่างถูกต้อง ด้วยการอาศัยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์และใช้ตัวกรองคาลมานในการลดสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัด

คำสำคัญ: แบบจำลองโหลด, ตัวกรองคาลมาน, ระบบมัลติเอเจนต์, JADE

ABSTRACT

This paper presents a study and development of load modeling by using multi-agent technology with measurement data from Suranaree University of Technology substation for making time-dependent load model. The load model is the static load model called ZIP-model (constant impedance, constant current and constant power model), which is easy to compute model parameters and also to provide good performance. In addition, error or noise from measurement devices is inevitable, thus a filter is a tool for reducing the effects caused by noise, disturbance occurred in the system or by measuring devices. Comparing of effectiveness between the Kalman filter and the single moving average filter (SMA) shows that the Kalman filter can better reduce the effects caused by system and measurement noises and there is no effect on the characteristics of the load. The process to reduce the effect of noises by using a filter before calculating the load model is designed to perform on multi-agent systems. This paper used JADE as a tool to create and control the operation of the agent. JADE is the Java language that can work on all operating system that Java can be operated. The use of agent technology leads to automatic operations and requires no operator to monitor the system all the times. The objective