การอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ศิวดล เหมาะประไพพันธุ์

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี
และวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2561

Data Reading and Collecting from PEA-DPMs (PEA-Digital Power Meters)

Siwadon Morprapaipan

A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

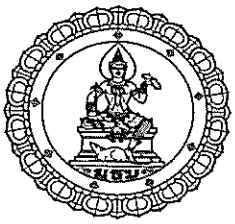
for the Degree of Master of Engineering

Department of Computer and Telecommunication Engineering

College of Innovative Technology And Engineering,

Dhurakij Pundit University

2018



ใบรับรองสารนิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อสารนิพนธ์ การอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เสนอโดย นายศิวดล เหมาะประไพพันธุ์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

.....คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วันที่ ...22..... เดือน ...มิถุนายน..... พ.ศ. ...2561...

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ชื่อผู้เขียน	ศิวดล เหมาะประไพพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชัยพร เขมะภาตะพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meters (DPMs) จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ที่มีใช้อยู่ในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เพื่อแก้ปัญหาความหลากหลายของโปรแกรมที่ต้องใช้งานกับ DPMs ที่มีความยุ่งยากในการที่ต้องเฝ้าติดตามจากหลายโปรแกรม อีกทั้งรูปแบบของข้อมูลทางไฟฟ้าที่ได้รับยังไม่มีความเป็นมาตรฐานทำให้เกิดความสับสนในการนำไปวิเคราะห์ใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPMs ให้สำเร็จด้วยโปรแกรมแมทแลปโดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU over TCP ซึ่งเป็นโปรโตคอลเปิดบนระบบ Serial ที่รองรับการใช้งานใน DPMs เกือบทุกผลิตภัณฑ์ เพื่อนำข้อมูลทางไฟฟ้าที่ได้จากการอ่านค่าไปจัดเก็บให้มีรูปแบบเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้ออกแบบไว้

จากผลการทดลองพบว่าสามารถเรียกอ่านข้อมูลจาก DPMs ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ได้อย่างถูกต้องตรงกับข้อมูลที่ได้รับจากการเรียกข้อมูลด้วยโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะของมิเตอร์ และยังสามารถใช้ในการตั้งเวลาใน DPMs ทั้ง 2 แบบ จากผลลัพธ์ดังกล่าวจะทำให้ DPMs สามารถจัดเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาโดยมีความคลาดเคลื่อนทางเวลาน้อยกว่ารูปแบบทั่วไป ซึ่งจะสามารถนำมาเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบกลางหรือโปรแกรมกลางสำหรับเรียกอ่านข้อมูลจาก DPMs แบบอัตโนมัติในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ได้เป็นอย่างดี แนวคิดนี้สามารถนำไปพัฒนาในส่วนงานที่เกี่ยวข้องให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้นต่อไปได้

Thesis Title	Data Reading and Collecting from PEA-DPMs (PEA-Digital Power Meters)
Author	Siwadon Morprapaipan
Thesis Advisor	Dr. Chaiyaporn Khemapatapan
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2017

ABSTRACT

This paper presents a data reading and collecting from memory of two Digital Power Meters (DPMs) for solving a complex of programs that require the DPMs that used in substation of Provincial Electricity Authority (PEA), it is difficult to keep monitoring of many programs. Also, the form of the electrical data obtained is not standardized, causing confusion in the analysis.

This research focuses on retrieving data from DPMs memory successfully with the MATLAB program using the Modbus RTU over TCP protocol, which is an open protocol on serial systems that supports almost all DPM applications. The electrical data obtained from the reading to store the format with the design standards.

From the results showed that can retrieve data from two products of DPMs rapidly and accurately matched to the data received by meter's specific program, and can also be used to set the time in both DPMs. As a result, DPMs can store data over time, with less time tolerances than the general format. It can be used as a prototype to develop a central system or central program for retrieving data from DPMs memory automatically in the substation of PEA as well. This concept can be developed in the related work to be more efficient and useful.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ ติดตามผล และชี้ให้เห็นมุมมองในมิติใหม่ๆ ให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ผู้ช่วยที่ปรึกษาทุกๆ ท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้แก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กองมิเตอร์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและอุปกรณ์สำหรับดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนแนะนำกระบวนการในการทำงานให้แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ ร่วมรุ่นทุกคน ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจกันเสมอมาตลอดระยะเวลาการศึกษา

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้านเสมอมาจวบจนสำเร็จการศึกษา

ศิวดล เหมาะประไพพันธุ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง
กิตติกรรมประกาศ..... จ
สารบัญตาราง..... ซ
สารบัญภาพ..... ฌ
บทที่
1. บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 4
1.4 แผนการดำเนินงาน..... 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5
2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้า..... 6
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ (Digital Power Meter : MPM)..... 8
2.3 ระบบมาตรวัดไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)..... 10
2.4 ข้อมูลทางไฟฟ้าที่จำเป็นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)..... 11
2.5 การเรียกอ่านข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์..... 13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15
3. การดำเนินงาน..... 18
3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา..... 18
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 19
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 20
3.4 การพัฒนาฟังก์ชั่นตัวกลางในการเรียกข้อมูลจาก DPM..... 28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการทดลอง	50
4.1 วิเคราะห์ผลการทำงานของชุดคำสั่งในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ… DPM-SATEC โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะกับ DPM-SATEC (PAS Software)	50
4.2 วิเคราะห์ผลการทำงานของชุดคำสั่งในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ….. DPM-Iskra โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะกับ DPM-Iskra (MiQen2.1 Software)	53
4.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่เรียกอ่านได้จากหน่วยความจำของ DPM ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์…….	56
4.4 สรุปผลการทดลอง	59
5. สรุปผลการวิจัย	60
5.1 การบรรลุวัตถุประสงค์	60
5.2 สรุปองค์ความรู้ใหม่	61
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต	61
5.4 สรุป	62
บรรณานุกรม	63
ประวัติผู้เขียน	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	4
2.1	อัตราส่วน VT Ratio และ CT Ratio ที่มีใช้งานในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ.	11
2.2	ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล Modbus RTU	13
3.1	การตั้งค่าอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter สำหรับสื่อสารกับ DPM.	26
3.2	การตั้งค่าอุปกรณ์ DPM	27
3.3	รายการข้อมูลที่จะจัดเก็บลงฐานข้อมูลของ DPM แต่ละเครื่อง	28
3.4	รูปแบบข้อมูลของพารามิเตอร์ในแต่ละ record	37
3.5	การแปลงข้อมูล DateTime Stamp ของ DPM-Iskra จากข้อมูลไบนารี่ 32 bits	43
3.6	รูปแบบข้อมูล load profile ในแต่ละ record ของ DPM-Iskra	45
3.7	ข้อมูล Register สำหรับการตั้งค่าเวลาใน DPM-SATEC	48
3.8	ข้อมูล Register สำหรับการตั้งค่าเวลาใน DPM-Iskra	49
4.1	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลจากโปรแกรม PAS และจาก Matlab	51
4.2	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลจากโปรแกรม Miqen2.1 และจาก Matlab	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ผังตัวอย่างการรับจ่ายไฟฟ้าระหว่าง กฟภ. กับ กฟผ. และผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน.....	1
2.1	จุดติดตั้งมิเตอร์ซื้อขายระหว่าง กฟผ. กับ กฟภ. และจุดติดตั้งมิเตอร์เปรียบเทียบ…. ของ กฟภ.	8
2.2	การรับสัญญาณไฟฟ้าเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของมิเตอร์.....	9
2.3	ตู้วงจรไฟฟ้าระบบ 115 kV ซึ่งในแต่ละวงจรจะมีการติดตั้งดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ไว้	10
2.4	ผังส่วนของการใช้งานโปรโตคอล ModbusRTU over TCP กับส่วนที่เป็น…..... ModbusRTU ในระบบ RS-485	14
2.5	ภาพรวมของระบบ AMR แบบไร้สาย (WAMRS)…….....	17
3.1	โครงสร้างของระบบมิเตอร์ที่ กฟภ. ใช้งานในปัจจุบัน.....	21
3.2	โครงสร้างตัวอย่างของระบบมิเตอร์เมื่อมีมีโปรแกรมกลาง (ASMR)……..... เรียกอ่านข้อมูลจาก DPM จำนวน 2 แบบ	22
3.3	โครงสร้างของระบบการอ่านข้อมูลจาก DPM ที่จะพัฒนาสำหรับงานวิจัยเพื่อ…… เป็นต้นแบบของระบบ ASMR ของ กฟภ.	23
3.4	Flow chart การทำงานภาพรวมของงานวิจัยนี้…….....	24
3.5	ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล modbus RTU ที่นำไปใส่ในแพ็คเกจ ……..... Ethernet เพื่อทำงานในแบบ modbus RTU over TCP.	25
3.6	Flowchart ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความของ DPM-SATEC….....	30
3.7	ลักษณะเฟรมข้อมูล modbusRTU ที่ ควร/ไม่ควร Acknowledge ……..... ในขั้นตอน File Transfer สำหรับการเรียกข้อมูลจากหน่วยความ DPM-Satec	31
3.8	เฟรมข้อมูล modbusRTU สำหรับ Reset file position สำหรับอ่านข้อมูล……..... Load Profile จาก DPM-SATEC ในครั้งแรก	33
3.9	เฟรมการอ่านข้อมูล Record - load profile จากหน่วยความจำ DPM-SATEC.....	34
3.10	เฟรมข้อมูลที่ใช้ตอบ Acknowledge กลับ DPM-SATEC เพื่อเลื่อน Pointer…..... ยังไปข้อมูล 4 records ถัดไป	35
3.11	การใช้งานฟังก์ชั่น MATLAB แปลงข้อมูล date time stamp เป็นข้อมูล……..... วันที่และเวลา	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.12 Flowchart ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความของ DPM-Iskra..... 39

3.13 Frame Data ที่ใช้เรียกอ่านข้อมูลภาพรวม (Info Data) ของหน่วยความจำ…..... 40
DPM-Iskra

3.14 Frame Data เฉพาะในส่วนสำคัญที่ได้รับตอบกลับจากการอ่านค่า……..... 41
ข้อมูลภาพรวม

3.15 Frame Data ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ Record A……..... 41

3.16 Frame Data ที่ได้รับจากการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ……..... 42

3.17 การแปลงค่า Date time Stamp จากเลขฐานสิบหกให้เป็นข้อมูลที่เข้าใจได้….... 44
ด้วยฟังก์ชั่น matlab

3.18 เฟรมข้อมูลสำหรับตั้งเวลา DPM-SATEC……..... 48

3.19 เฟรมข้อมูลในแต่ละรอบส่งที่ข้อมูลไปตั้งค่าวันที่และเวลา DPM-Iskra…….... 49

4.1 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-SATEC ด้วยโปรแกรม PAS……..... 50

4.2 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-Satec ด้วยชุดคำสั่งที่พัฒนาใน……..... 51
โปรแกรม Matlab

4.3 ขนาดความจุของหน่วยความจำภายใน DPM-SATEC……..... 52

4.4 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-Iskra ด้วยโปรแกรม MiQen2.1……..... 53

4.5 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-Iskra ด้วยชุดคำสั่งที่พัฒนาใน……..... 53
โปรแกรม Matlab

4.6 การตั้งค่า DPM-Iskra ก่อนการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด……..... 54

4.7 ข้อมูลที่เรียกอ่านได้จากหน่วยความจำ DPM-Iskra ก่อนปรับเปลี่ยน……..... 56
การตั้งค่าการวัด

4.8 การปรับเปลี่ยนการตั้งค่า DPM-Iskra เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล..... 57

4.9 ข้อมูลที่อ่านได้จาก DPM-Iskra ภายหลังจากปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด……..... 58

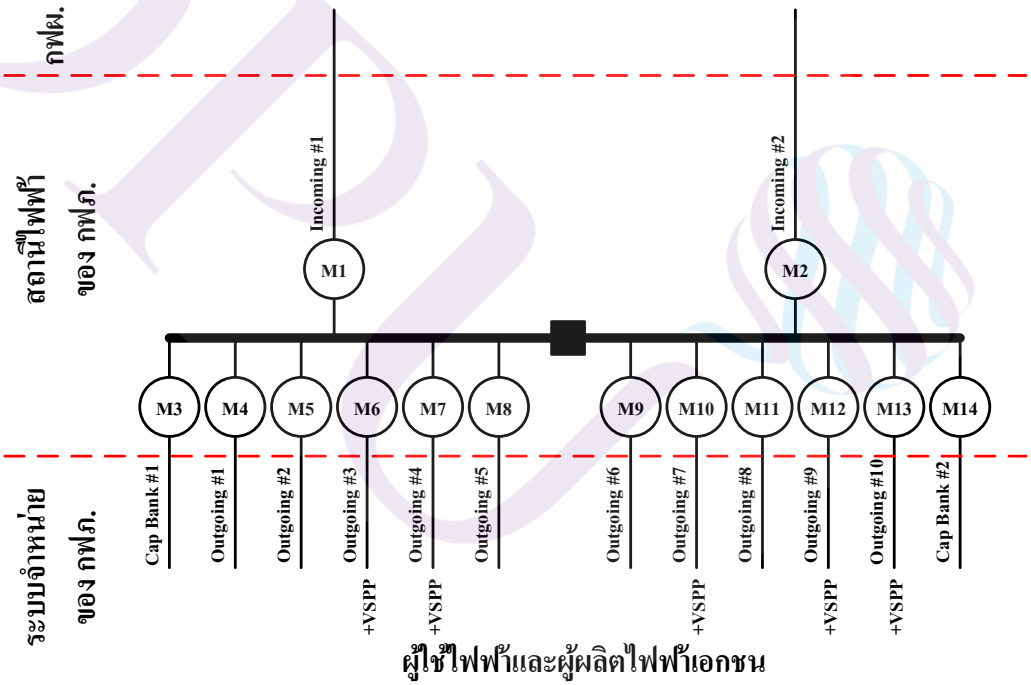
4.10 การปรับเปลี่ยนการตั้งค่า DPM-Iskra เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล..... 58

4.11 ข้อมูลที่อ่านได้จาก DPM-Iskra ภายหลังจากปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด..... 58

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นรัฐวิสาหกิจด้านสาธารณูปโภคไฟฟ้าร่วมกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) โดยที่ กฟผ. มีภารกิจหลักในการผลิตตลอดจนจัดหาแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยแล้วจำหน่ายส่งให้กับ กฟน. และ กฟภ. ต่อไป และในส่วนของ กฟน. และ กฟภ. มีภารกิจหลักในการจำหน่ายไฟฟ้าต่อไปให้ประชาชนหรือองค์กรทั่วไป (ผู้ใช้ไฟฟ้า) ตามพื้นที่รับผิดชอบ



ภาพที่ 1.1 ผังตัวอย่างการรับจ่ายไฟฟ้าระหว่าง กฟภ. กับ กฟผ. และผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน

ในส่วนของ กฟภ. ที่รับซื้อพลังงานไฟฟ้าจาก กฟผ. (มิเตอร์ซื้อขายอยู่ที่สถานีไฟฟ้าของ กฟผ.) ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน (มิเตอร์ซื้อขายอยู่ที่หน้าโรงไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน) และขายไฟฟ้าต่อไปให้ ผู้ใช้ไฟฟ้า จะมีกระบวนการภายในเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่รับซื้อและขายออกไป โดยอาศัยข้อมูลไฟฟ้าจากมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ทุกวงจรตามรูปที่ 1.1 กล่าวคือใช้ข้อมูลจากมิเตอร์ M1 - M14 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากจุดซื้อขายระหว่าง กฟภ. กับ กฟผ. และผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการซื้อขายไฟฟ้า

สำหรับการบันทึกข้อมูลไฟฟ้าของมิเตอร์ในแต่ละวงจรจากอดีตจนถึงปี 2557 ใช้วิธีการให้พนักงานประจำสถานีไฟฟ้าเป็นผู้จดบันทึก ซึ่งในการจดบันทึกข้อมูลให้ครบทุกวงจรนั้นจะไม่สามารถจดบันทึกข้อมูลไฟฟ้าที่เวลาใดๆ ได้พร้อมกัน ส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงในระดับหนึ่ง

ต่อมาในปี 2557 (จนถึงปัจจุบัน) กฟภ. ได้มีการปรับปรุงข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับการจัดหามิเตอร์ให้สอดคล้องกับการพัฒนาไปของมิเตอร์ตามเทคโนโลยี โดยเน้นเพิ่มคุณสมบัติให้มีหน่วยความจำภายในตัวมิเตอร์เพื่อจัดเก็บข้อมูลไฟฟ้าย้อนหลังตามช่วงเวลาได้ อีกทั้งยังกำหนดคุณสมบัติของช่องทางสื่อสารให้สามารถเรียกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งในปัจจุบันมิเตอร์ที่ กฟภ. มีใช้งานตามสเปคดังกล่าวมีจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ โดยที่เมื่อใช้งานโดยเชื่อมต่อระบบสื่อสารเข้ากับมิเตอร์แล้วพบว่า มิเตอร์ผลิตภัณฑ์หนึ่งแม้ว่าจะเรียกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ได้แต่ต้องกระทำโดยมีผู้สั่งการในการเรียกข้อมูลจากมิเตอร์แต่ละเครื่อง แต่สำหรับมิเตอร์อีกผลิตภัณฑ์สามารถเรียกข้อมูลจากมิเตอร์ทุกเครื่องได้โดยอัตโนมัติและสามารถปรับเปลี่ยนวิธีการบันทึกข้อมูลไฟฟ้าจากมิเตอร์ในแต่ละวงจรมาใช้วิธีการให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องแม่ข่ายทำหน้าที่ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของมิเตอร์เสมือนแทนการจดบันทึกข้อมูลของพนักงานประจำสถานีไฟฟ้าได้ โดยประโยชน์ที่ได้รับคือข้อมูลไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์จะมีความแม่นยำอย่างมากเนื่องจากมิเตอร์จะทำการจัดเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาไว้ในหน่วยความจำภายในก่อนจากนั้นจึงรอให้เครื่องแม่ข่ายทำการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำนี้ไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไป

จากข้อมูลข้างต้น จะพบว่าแม้ว่าจะมีการปรับปรุงข้อกำหนดทางเทคนิคเพื่อใช้ประโยชน์จากมิเตอร์สมัยใหม่ แต่ก็ยังมีปัญหาอยู่หลายประการ ดังนี้

1) ในอนาคตหากมิเตอร์มีหลากหลายผลิตภัณฑ์หรือหลากหลายรุ่นเพิ่มขึ้น จะทำให้ต้องมีการใช้งานซอฟแวร์เฉพาะของมิเตอร์หลากหลายซอฟแวร์

2) ความหลากหลายซอฟแวร์นั้นทำให้ต้องใช้บุคลากรในการเฝ้าดูระบบเพิ่มขึ้น

3) ซอฟแวร์เฉพาะของมิเตอร์บางผลิตภัณฑ์ไม่สามารถทำการเรียกข้อมูลโดยอัตโนมัติได้ (อีกทั้งปัจจุบัน กฟภ. ยังไม่สามารถกำหนดการให้การเรียกข้อมูลโดยอัตโนมัติเป็นคุณสมบัติในสเปคได้ เนื่องจากจะมีมิเตอร์ที่ผ่านสเปคทั้งหมดและคุณสมบัตินี้เพียง 1 ราย อาจถูกประเมินเป็นการเอื้อประโยชน์ทางการค้าซึ่งถือเป็นการคอรัปชั่นได้)

4) แม้ว่ามิเตอร์ทุกผลิตภัณฑ์จะสามารถทำงานโดยอัตโนมัติได้ด้วยซอฟแวร์เฉพาะของตน แต่ก็จะยังมีรูปแบบของข้อมูลไฟฟ้าที่หลากหลาย ทำให้การนำข้อมูลไปวิเคราะห์การรับจ่ายไฟฟ้านั้นมีความยากลำบากและอาจมีความสับสนได้ เนื่องจากมีผู้ที่ต้องวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะนี้ใน กฟภ. จำนวนมาก

5) แม้ว่ามิเตอร์ทุกผลิตภัณฑ์จะสามารถทำงานโดยอัตโนมัติได้ด้วยซอฟแวร์เฉพาะของตน แต่ในกรณีที่จะคัดกรองข้อมูลที่จำเป็นนั้นทำได้ลำบาก ตัวอย่างเช่น การคัดกรองข้อมูลว่ามิเตอร์ในวงจรไฟฟ้าใดที่ขาดการติดต่อมาเป็นระยะเวลานาน เพื่อนำข้อมูลนี้แจ้งต่อทีมบำรุงรักษาให้ไปดำเนินการแก้ไขต่อไป จะต้องทำผ่านซอฟแวร์เฉพาะทุกตัว เป็นต้น

จากปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นนี้ หากสามารถพัฒนาซอฟแวร์กลางหรือระบบกลางที่สามารถเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำภายในมิเตอร์ได้ทุกผลิตภัณฑ์ จะทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถเฝ้าดูระบบได้โดยไม่ลำบากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ซอฟแวร์เฉพาะที่หลากหลาย อีกทั้งยังสามารถกำหนดรูปแบบของฐานข้อมูลไฟฟ้าให้มีมาตรฐานเดียวกันได้ ส่งผลสูงสุดให้สามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำเสมือนใช้ซอฟแวร์เฉพาะเพียงหนึ่งเดียว และผู้ดูแลระบบก็สามารถที่จะเฝ้าติดตามการเรียกอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ได้จากระบบเพียงหนึ่งเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1. พัฒนาชุดคำสั่งให้สามารถเรียกข้อมูลไฟฟ้าจากหน่วยความจำในดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ได้จริง จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีใช้งานจริงในปัจจุบัน

1.2.2. กำหนดให้ฐานข้อมูลไฟฟ้าที่จะถูกใช้นำมาวิเคราะห์การรับจ่ายไฟฟ้าในแต่ละวงจรมีมาตรฐานเพียงหนึ่งเดียว

1.2.3. เป็นแนวทางในการให้เครื่องแม่ข่ายซึ่งใช้ซอฟแวร์กลางสามารถเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำภายในมิเตอร์ได้ 2 ผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1. ออกแบบและพัฒนาส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์

1.3.2. เรียกข้อมูลจากหน่วยความจำภายในดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้อย่างถูกต้อง โดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU over TCP

1.3.3. ในกรณีที่เคยเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์แล้ว การเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำในครั้งต่อไปจะต้องเรียกเฉพาะข้อมูลใหม่เท่านั้น เพื่อให้ใช้เวลาในการเรียกข้อมูลน้อยที่สุด

1.3.4. ตั้งเวลามิเตอร์จากเครื่องแม่ข่ายด้วยโปรโตคอล Modbus RTU over TCP ได้

1.4 แผนการดำเนินงาน

ในการดำเนินการวิจัยได้ตั้งแผนดำเนินการดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1. ศึกษาการใช้งาน DPM ทุกแบบด้วยโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะ												
2. ศึกษาการเรียกอ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล Modbus RTU over TCP												
3. ออกแบบมาตรฐานข้อมูลทางไฟฟ้าที่จะจัดเก็บ												
4. พัฒนาส่วนของการเรียกและจัดเก็บข้อมูลจาก DPMs จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์												
5. ทดสอบการทำงานของงานวิจัยนี้												
6. วิเคราะห์และสรุปผลงาน												
7. รวบรวมข้อมูลที่ได้จัดทำสารนิพนธ์												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีงานอยู่ในปัจจุบันจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้จริง เพื่อนำไปใช้เป็นต้นแบบในการนำไปพัฒนาระบบเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ภายในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ทุกผลิตภัณฑ์แบบอัตโนมัติ

1.5.2 สามารถกำหนดรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลไฟฟ้าที่มีมาตรฐาน ทำให้ผู้ที่ต้องวิเคราะห์ข้อมูลไฟฟ้าเข้าใจอย่างชัดเจนโดยไม่สับสน

1.5.3 สามารถตั้งเวลาดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ เพื่อช่วยสนับสนุนให้ดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์สามารถจัดเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาต่างๆ ลงหน่วยความจำได้อย่างถูกต้อง ส่งผลให้ข้อมูลทางไฟฟ้าที่ได้รับจากการเรียกอ่านข้อมูลมีความแม่นยำ

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

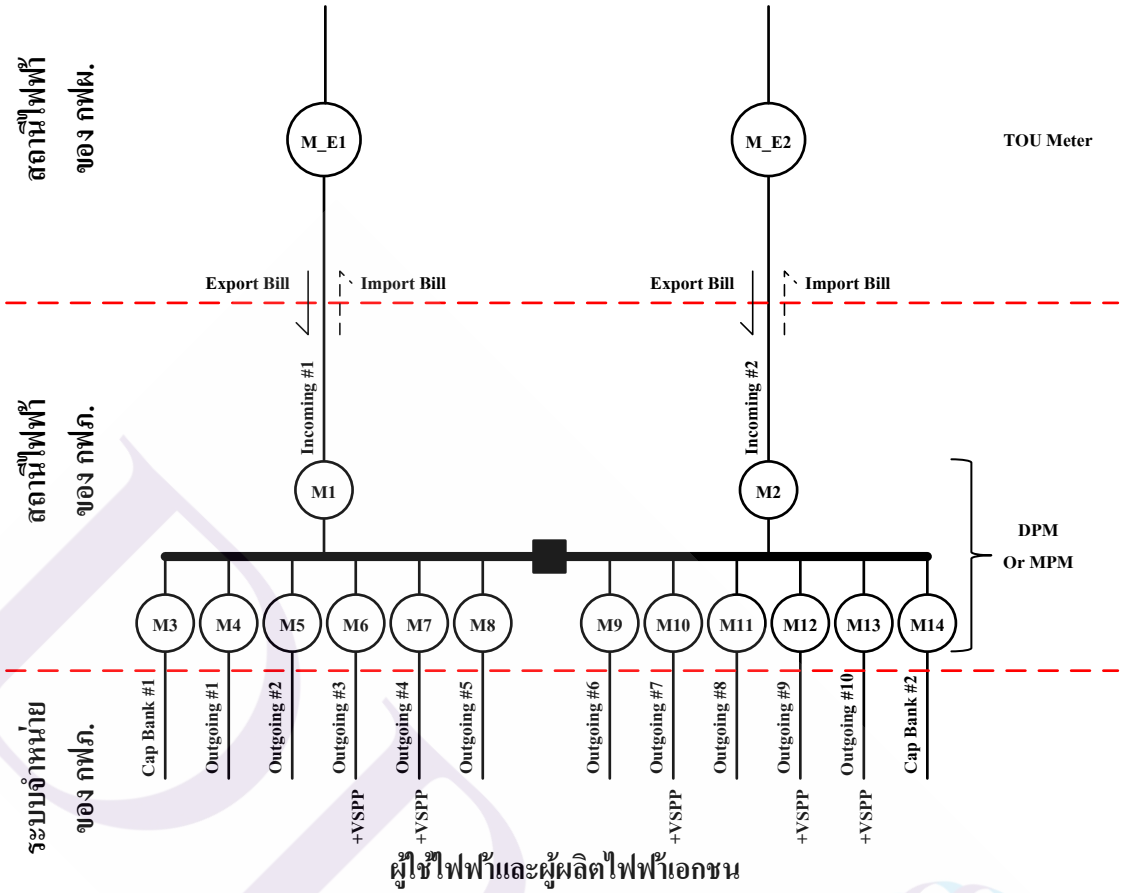
2.1 ความรู้เกี่ยวกับมิเตอร์สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

ในปัจจุบันเมื่อพิจารณาถึงมิเตอร์ที่ใช้ติดตั้งเพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของการใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป มิเตอร์ที่การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ติดตั้งให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจะเป็นแบบทีโอยูมิเตอร์ (TOU Meter : Time of Use Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ตามหน่วยประมวลผลที่ติดตั้งภายในที่มีความเร็วสูงหากเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยกัน ซึ่งคุณสมบัติหลักของทีโอยูมิเตอร์ คือการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ ทั้งค่าพลังงานไฟฟ้ารวมและค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลา ได้แก่ ช่วง On-Peak (เวลา 09.00 – 22.00 น.) และช่วง Off-Peak (เวลา 22.00 – 09.00 น. ในวันจันทร์-ศุกร์ และเวลา 00.00 – 24.00 น. ในวันเสาร์ – อาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ ไม่นับรวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย) นอกจากคุณสมบัติในการวัดค่าพลังงานต่างๆ ได้อย่างแม่นยำแล้ว ยังมีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อระบบสื่อสารทั้งในรูปแบบเฉพาะของผู้ผลิตและรูปแบบทั่วไป คุณสมบัติในการทนทานต่อมลภาวะสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติในการพร้อมต่อการสอบเทียบความเที่ยงตรง และคุณสมบัติในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลหากมีการใช้ซอฟแวร์เฉพาะของมิเตอร์เอง ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ทีโอยูมิเตอร์ถูกเลือกใช้งานในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างคู่สัญญาในกรณีพิเศษและในกรณีที่มีปริมาณความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป

นอกจากทีโอยูมิเตอร์ข้างต้นแล้ว มิเตอร์ที่ใช้สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าอีกแบบคือดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ (Multifunction Power Meter : MPM) ซึ่งมีขนาดเล็กตามหน่วยประมวลผลที่ติดตั้งภายใน มีคุณสมบัติหลักในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเพื่อเฝ้าดูความเป็นไปของระบบ (Monitoring) โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า มุมระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าต่างๆ พลังงานไฟฟ้าต่างๆ ฮาร์โมนิกส์และพารามิเตอร์อื่นๆ เป็นต้น โดยจะไม่เน้นคุณสมบัติในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาเหมือนอย่างทีโอยูมิเตอร์ มีคุณสมบัติในการเชื่อมต่อระบบสื่อสารโดยใช้โปรโตคอลเปิด เช่น Modbus

RTU DNP3 เป็นต้น มีคุณสมบัติในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลไม่สูงมากนัก จากคุณสมบัติดังกล่าวดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์จึงมักถูกเลือกใช้ในงานเฝ้าดูความเป็นไปของระบบ หรือใช้งานในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับจุดซื้อขายเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำรองและเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างคู่สัญญา

ตามรูปที่ 2.1 สำหรับ กฟภ. ในกรณีที่ซื้อขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จะมีจุดซื้อขายตามสัญญาอยู่ที่สถานีไฟฟ้าของ กฟผ. โดยมี กฟผ. เป็นเจ้าของทรัพย์สินและกำกับดูแลทีโอยูมิเตอร์ที่ใช้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อขายเพื่อทำบิลระหว่าง 2 องค์กร ในส่วนของ กฟภ. ในแต่ละวงจรไฟฟ้าจะมีการติดตั้ง MPM ซึ่งใน กฟภ. เรียกว่าดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ (Digital Power Meter : DPM) เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับวิเคราะห์เปรียบเทียบในกรณีต่างๆ ซึ่งครอบคลุมในกรณีสำคัญ คือการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากวงจรที่ซื้อขายไฟฟ้ากับ กฟผ. ด้วย เนื่องจากเป็นวงจรที่มีปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าสูงมาก อีกทั้งในกรณีที่มีพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนจาก กฟภ. กลับไปยัง กฟผ. อันเนื่องมาจากการตัดจ่ายวงจรไฟฟ้าในกรณีต่างๆ หรือมีผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนขายไฟฟ้าออกมามากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในวงจรนั้นๆ ก็จะส่งผลให้เกิดพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนกลับไฟยัง กฟผ. ซึ่งในกรณีของพลังงานไฟฟ้าที่ไหลย้อนกลับที่ได้กล่าวนี้ กฟผ. จะทำการเปิดระบบบิลค่าพลังงานไฟฟ้าไหลย้อนกลับ (Import Bill) ต่อเมื่อ กฟภ. ร้องขอโดยต้องแจ้งเหตุผลที่แสดงความจำเป็นประกอบด้วย หากไม่ปฏิบัติตามวิธีดังกล่าวพลังงานไฟฟ้าที่ไหลย้อนกับจาก กฟภ. ไปยัง กฟผ. จะถือว่าเป็นพลังงานที่ กฟผ. ไม่รับซื้อ

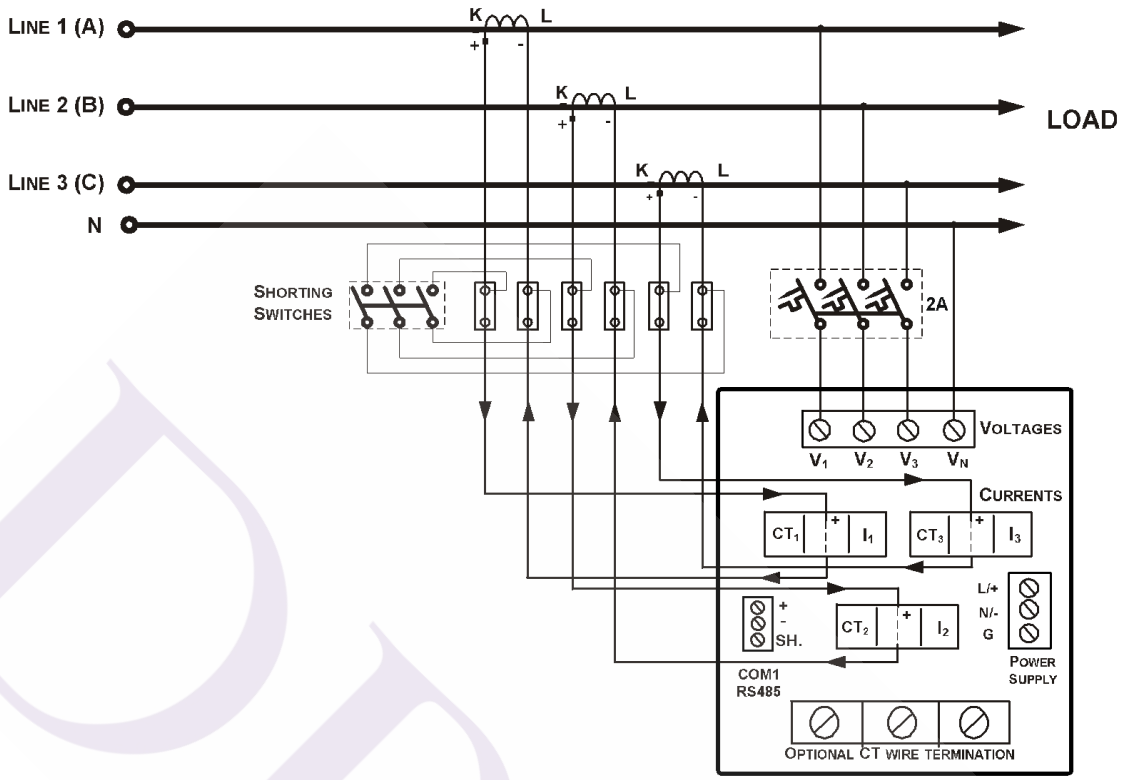


ภาพที่ 2.1 จุดติดตั้งมิเตอร์ซื้อขายระหว่าง กฟผ. กับ กฟภ. และจุดติดตั้งมิเตอร์เปรียบเทียบของ กฟภ.

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ (Digital Power Meter : MPM)

มัลติฟังฟังก์ชั่นเพาเวอร์มิเตอร์ คือมิเตอร์ที่สามารถวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้หลายค่า เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage : V) ค่ากระแสไฟฟ้า (Current : I) ค่ามุมระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า (Angle of V-I : θ) ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : P.F.) ค่ากำลังไฟฟ้าต่างๆ (Power) ค่าพลังงานไฟฟ้าต่างๆ (Energy) เป็นต้น ซึ่งดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์นี้สามารถแสดงค่าดังกล่าวออกมาในแบบค่าพื้นฐาน (Fundamental) แบบค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS) ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ถูกใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย คือการนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สื่อสารเพื่อทำการเฝ้าดูความเป็นไปของระบบ (Monitoring)

สำหรับมิเตอร์ที่ถูกใช้ในการพัฒนาสำหรับสารนิพนธ์นี้ เป็นดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ ซึ่งในสารนิพนธ์นี้ผู้วิจัยจะขอเรียกว่า มิเตอร์



ภาพที่ 2.2 การรับสัญญาณไฟฟ้าเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของมิเตอร์

ที่มา: http://www.satec-global.com/sites/default/files/PM135.pdf

จากรูปที่ 2.2 เป็นรูปแบบหนึ่งของระบบมาตรวัดซึ่งมิเตอร์จะถูกต่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส (แรงดันเฟส A, B และ C พร้อมสายนิวทรอล) และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส (กระแสไฟฟ้าเฟส A, B และ C) มาเข้ามิเตอร์ โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านี้จะถูกคำนวณเป็นค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไป เช่น กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

2.3 ระบบมาตรวัดไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

ภาพที่ 2.3 ตู้วงจรไฟฟ้าระบบ 115 kV ซึ่งในแต่ละวงจรจะมีการติดตั้งดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ไว้

ระบบจ่ายไฟฟ้าของ กฟภ. จะแบ่งระดับแรงดันสำหรับการจ่ายไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ 22 kV, 33 kV, 69 kV และ 115 kV โดยระบบมาตรวัดซึ่งใช้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวงจรจะประกอบไปด้วย Current Transformer (CT) Voltage Transformer (VT) ติดตั้งร่วมกับมิเตอร์ โดย CT และ VT จะส่งทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตามลำดับ จากด้านปฐมภูมิที่มีปริมาณมากไปสู่ด้านทุติยภูมิที่มีปริมาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าลดลงเพื่อให้มิเตอร์สามารถวัดค่าได้ โดยมีอัตราส่วน (Ratio) ที่ใช้งานตามตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วน VT Ratio และ CT Ratio ที่มีใช้งานในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ.

ลำดับ	VT Ratio	CT Ratio
1	115,000 V / 115 V	2,000 A / 5 A หรือ 1 A
2	69,000 V / 115 V	1,800 A / 5 A หรือ 1 A
3	33,000 V / 110 V	1,500 A / 5 A หรือ 1 A
4	22,000 V / 110 V	1,200 A / 5 A หรือ 1 A
5	-	1,000 A / 5 A หรือ 1 A
6	-	900 A / 5 A หรือ 1 A
7	-	600 A / 5 A หรือ 1 A
8	-	300 A / 5 A หรือ 1 A
9	-	200 A / 5 A หรือ 1 A

ในการใช้งานมิเตอร์เมื่อใช้ CT และ VT แปลงค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าเป็นปริมาณทางด้านทุติยภูมิไปเข้ามิเตอร์แล้ว จึงต้องทำการตั้งค่าอัตราส่วน CT Ratio และ VT Ratio ให้มิเตอร์สามารถคำนวณค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ให้เป็นปริมาณทางด้านปฐมภูมิได้

ภายในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. แต่ละแห่ง จะมีการรับจ่ายไฟฟ้าหลายวงจร ซึ่งแต่ละวงจรจะมีมิเตอร์ติดตั้งเพื่อวัดค่าในแต่ละวงจรอยู่ตามรูปที่ 2.3

2.4 ข้อมูลทางไฟฟ้าที่จำเป็นของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

เนื่องจากมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ในแต่ละวงจรไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จะมีหน้าที่หลักเพื่อนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวงจรไปเปรียบเทียบกัน จึงทำให้ข้อมูลหลักเป็นข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่รับและจ่ายไฟฟ้า แต่ในบางครั้งการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวงจรไฟฟ้า อาจไม่ถูกต้องโดยมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ CT หรือ VT ตัวใดตัวหนึ่งในแต่ละเฟสชำรุด จึงต้องมีการนำข้อมูลพื้นฐานได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า มุมระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า (ในมิเตอร์ส่วนใหญ่เก็บข้อมูลเป็นค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า) มาปรับปรุงค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงดังกล่าวเพื่อให้มีปริมาณอย่างที่ควรจะเป็นมากที่สุดโดยอาศัยหลักวิชาการทางไฟฟ้าและหลักสถิติ

สมการเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นยูนิต (kWh) สำหรับการปรับปรุงค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความผิดปกติของระบบมาตรวัด ตามสมการที่ 1

$$3Ø\ Energy\ (kWh) = (V_A*I_A*cos\theta_A + V_B*I_B*cos\theta_B + V_C*I_C*cos\theta_C) *t\ /1{,}000 \quad (2.1)$$

หมายเหตุ ; $3Ø\ Energy\ (kWh)$ คือ พลังงานไฟฟ้าระบบ 3 เฟส มีหน่วยเป็นยูนิต หรือ kWh

V_A , V_B และ V_C คือ แรงดันไฟฟ้าเฟส A, B และ C ตามลำดับ

I_A , I_B และ I_C คือ กระแสไฟฟ้าเฟส A, B และ C ตามลำดับ

$cos\theta_A$, $cos\theta_B$ และ $cos\theta_C$ คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเฟส A, B และ C ตามลำดับ

t คือ เวลาในรูปแบบชั่วโมง

สรุปข้อมูลทางไฟฟ้าที่สำคัญเพื่อการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า มีดังนี้

- Import Active Energy
- Export Active Energy
- Import Reactive Energy
- Export Active Energy
- Voltage Phase A, B และ C
- Current Phase A, B และ C
- Angle of V and I or P.F. Phase A, B และ C หรือ *3Ø* P.F. Average
- Active Power and Reactive Power

ในการนำข้อมูลทางไฟฟ้าที่สำคัญมาทำการวิเคราะห์หน่วยสูญเสียจากการจ่ายไฟฟ้า หรือวิเคราะห์ปริมาณการรับจ่ายไฟฟ้า เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดข้อมูลแต่ละค่าถูกจัดเก็บเป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ 30 นาที เพื่อให้สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ซื้อขายไฟฟ้าจริงกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เนื่องจากมีการจัดเก็บข้อมูลเป็นช่วงๆ ช่วงละ 30 นาที โดยการจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าให้เป็นค่าเฉลี่ยทุกๆ 30 นาที จะอยู่ในส่วนของการตั้งค่าในมิเตอร์

2.5 การเรียกอ่านข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์

โดยปกติการเรียกข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์สามารถใช้โปรโตคอลเปิดทั่วไป โดยเชื่อมต่อผ่านพอร์ตสื่อสารแบบ RS-485 ของมิเตอร์ เช่น modbusRTU หรือ DNP3 เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกใช้โปรโตคอล modbusRTU over TCP เนื่องจาก กฟภ. มีโปรแกรมเฉพาะที่ใช้เรียกอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ซึ่งทำงานด้วยโปรโตคอล ModbusRTU over TCP อยู่แล้ว

กล่าวถึงโปรโตคอล modbusRTU เป็นโปรโตคอลสื่อสารสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบ Serial ซึ่งถูกพัฒนาให้ใช้งานได้แบบไม่มีค่าใช้จ่ายโดยบริษัท Modicon จำกัด (ซึ่งปัจจุบันคือบริษัท Schneider Electric จำกัด) โดยจะทำการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ครั้งละตัวเป็นลำดับ โดยแบ่งเป็น Serial RS-232 สำหรับการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์เพียงตัวเดียว และ Serial RS-485 สำหรับการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์หลายตัว แต่จะทำการรับส่งทีละหนึ่งตัวตามลำดับไปจนครบทุกเครื่องที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ RS-485 โดยเฟรมข้อมูลของ modbusRTU มีส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล ตารางที่ 2.2

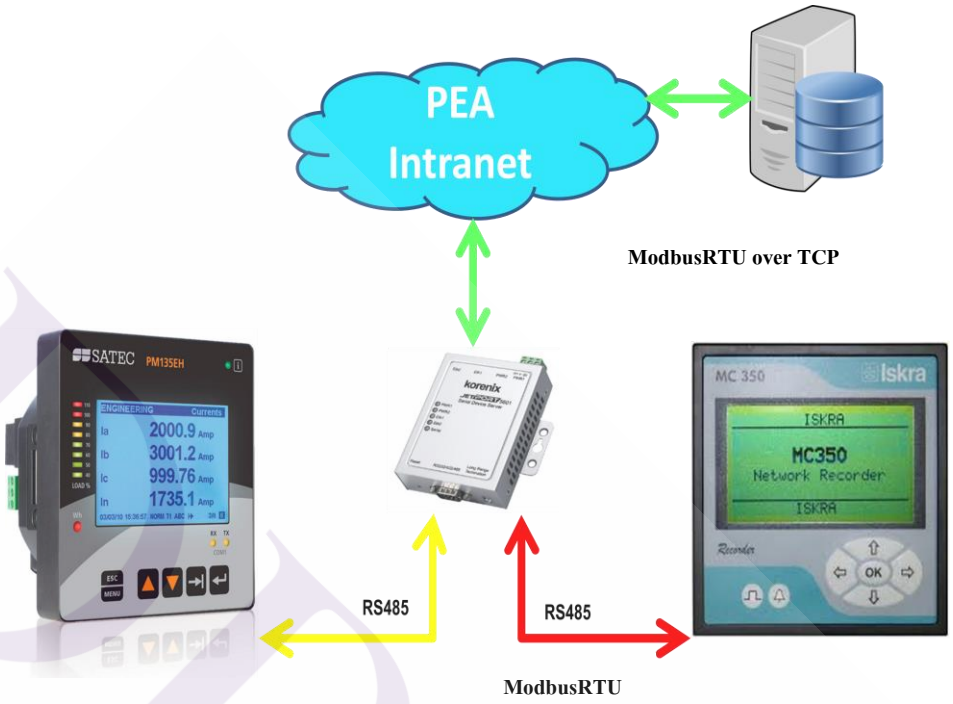
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล Modbus RTU

Start	Address	Function	Data	CRC Check	End
T1-T2-T3-T4	8 Bits	8 Bits	*n* x 8 Bits	16 Bits	T1-T2-T3-T4

จากตารางที่ 2.2 เฟรมของข้อมูล Modbus จะเริ่มต้นและจบเฟรมข้อมูลโดยการเงียบด้วยช่วงของอักขระอย่างน้อย 3.5 ตัวอักษร (จึงกำหนดให้เป็น T1-T2-T3-T4) แล้วจึงมีรายละเอียดของเฟรมข้อมูล ได้แก่ Address , Function และ Data ดังรูป โดยจะมีส่วนของ CRC Check จำนวน 16 Bits ซึ่งคำนวณมาจากค่า Address , Function และ Data แล้วระบุลงไปในเฟรมด้วย เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูลโดยผู้รับ ซึ่งผู้รับก็จะตรวจสอบ CRC Check โดยการคำนวณจากข้อมูล Address , Function และ Data เช่นกัน หากข้อมูล CRC Check ของผู้ส่งและผู้รับมีค่าตรงกัน ก็จะสามารถเชื่อมั่นได้ว่าข้อมูลที่ส่งมานั้นมีความถูกต้อง แล้วจึงจะสามารถนำข้อมูลนั้นไปใช้งานต่อได้ ในกรณีที่ CRC Check ไม่ตรงกันอาจมีการร้องขอข้อมูลไปใหม่จนกว่าข้อมูลจะมีความถูกต้อง

สำหรับโปรโตคอล ModbudRTU over TCP ที่จะใช้ในงานวิจัยนั้น เป็นโปรโตคอลที่ทำงานโดยเอาเฟรม ModbusRTU ไปใส่ไว้ในส่วนของ Pay Load ในเฟรม Ethernet เมื่อส่งไปถึง Ethernet to Serial (RS-232/422/485) Converter ที่เป็น Address เป้าหมายแล้ว ก็จะนำ Pay Load

เฉพาะส่วนที่เป็น ModbusRTU ส่งจากอุปกรณ์ Ethernet to Serial (RS-232/422/485) Converter ไปหามิเตอร์ต่อไป



ภาพที่ 2.4 ผังส่วนของการใช้งานโปรโตคอล ModbusRTU over TCP กับส่วนที่เป็น ModbusRTU ในระบบ RS-485

จากรูปที่ 2.4 ในส่วนระหว่างเครื่องแม่ข่าย ไปถึงอุปกรณ์ Ethernet to Serial (RS-232/422/485) Converter จะรับส่งข้อมูลแบบ ModbusRTU over TCP แต่ในส่วนระหว่างอุปกรณ์ Ethernet to Serial (RS-232/422/485) Converter ไปถึงมิเตอร์แต่ละเครื่องจะรับส่งข้อมูลแบบ ModbusRTU

แม้ว่าโปรโตคอล Modbus จะเป็นโปรโตคอลเปิด แต่ด้วยการที่ DPM ไม่มีมาตรฐานกำหนดเกี่ยวกับการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำเพื่อรอรับการเรียกอ่านข้อมูลกำหนดไว้ ทำให้ผู้ผลิต DPM แต่ละรายต่างก็พัฒนาสถาปัตยกรรมด้านข้อมูลของตนเองจนเป็นเอกลักษณ์ ดังนั้นในการเรียกอ่านข้อมูลทางไฟฟ้าจากหน่วยความจำของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์แต่ละผลิตภัณฑ์หรือแต่ละรุ่นจึงมีความแตกต่างกัน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การใช้งานระบบ AMR ของ PEA และระบบการบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความมั่นคง

Paisit Pinrto, “PEA-AMR Operation and Maintenance System for Strong Grid”, CIGRE-AORC Technical Meeting 2016, ซึ่งส่วนหนึ่งของงานวิจัยได้นำเสนอระบบ AMR (Automatic Meter Reading) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งเป็นโครงการที่พัฒนาขึ้นเพื่อควบรวมระหว่างข้อมูลและเทคโนโลยีสื่อสารให้สามารถเรียกอ่านข้อมูลจาก TOU Meter ที่ติดตั้งใช้งานกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ได้ โดยได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากเรียกอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ของระบบ AMR ในพื้นที่ที่น่าสนใจ มาขยายผลเพื่อวิเคราะห์ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าและได้พบว่าในช่วงวันที่ 3 ธันวาคม 2015 ระหว่างเวลา 6.00 – 8.00 น. และช่วง 11.00 – 11.15 น. ระดับการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงที่นำมาวิเคราะห์สูงถึง 151.73% ซึ่งนับว่าอันตรายอย่างยิ่งหากหม้อแปลงใดๆ ต้องรับภาระการจ่ายไฟฟ้าด้วยระดับโหลดที่มากขนาดนั้น จึงควรที่จะต้องตระหนักและหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวไม่ให้เกิดภาวะเสี่ยงเช่นนั้นขึ้นอีกในอนาคต

งานวิจัยชิ้นนี้ ทำให้ผู้วิจัยยิ่งตระหนักและเห็นประโยชน์ในการใช้งานระบบ AMR ซึ่งเป็นการติดตั้งระบบสื่อสารแบบซิมการ์ดโทรศัพท์เชื่อมต่อกับ TOU Meter ให้สามารถส่งข้อมูลจาก TOU Meter เข้าศูนย์ข้อมูลของระบบ AMR เพื่อนำไปใช้ประโยชน์วิเคราะห์ในด้านต่างๆ ได้ ประกอบกับในช่วงเดียวกันนี้ที่เทคโนโลยีของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์มีการพัฒนาไปในบางกลุ่มผู้ผลิตที่แม้ว่าเดิมทีดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์จะสามารถรับส่งข้อมูลผ่านระบบ Serial โดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU ซึ่งเป็นโปรโตคอลเปิดในการเรียกอ่านข้อมูลทางไฟฟ้าแบบ Real-Time ได้อยู่แล้ว แต่ก็มีข้อเสียอยู่คือในกรณีที่ระบบสื่อสารขัดข้องหรือมีปัญหาก็จะสูญเสียข้อมูลในช่วงดังกล่าวไป โดยในปัจจุบันดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ในสมัยใหม่นั้น มีหน่วยความจำภายในเหมือนกับ TOU Meter ในระบบ AMR ทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ลงหน่วยความจำภายใน DPM ไว้ก่อนและรอรับการเรียกอ่านข้อมูลในภายหลังต่อไปได้ ทำให้เมื่อสามารถเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM ได้ ก็ยังสามารถได้รับข้อมูลทางไฟฟ้าอย่างครบถ้วน

2.6.2 ระบบ Automatic Meter Reading (AMR) ของ PEA : ความก้าวหน้าและการเรียนรู้

Worawat Ladarat and Sumate Naetiladdanon, “PEA Automatic Meter Reading System : Progress and Lesson Learned”, IEEE 2015, เป็นงานวิจัยที่ได้นำเสนอการศึกษาความก้าวหน้าของระบบ AMR ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตลอดจนการพัฒนากระบวนงานและการแก้ปัญหาโดยออกข้อกำหนดในด้านต่างๆ เพื่อรองรับการพัฒนาก้าวไปสู่ระบบ AMI (Advanced Metering Infrastructure) ในอนาคต ซึ่งเป็นระบบที่ควบรวมเทคโนโลยีของมิเตอร์

อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลไปจนถึงการควบคุมระบบไฟฟ้า เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบออนไลน์ได้จากทุกแห่ง การได้รับข้อมูลทางไฟฟ้าที่แม่นยำและรวดเร็วส่งผลให้สามารถตอบสนองในด้านระบบบิลค่าไฟฟ้าได้อย่างดียิ่งขึ้น

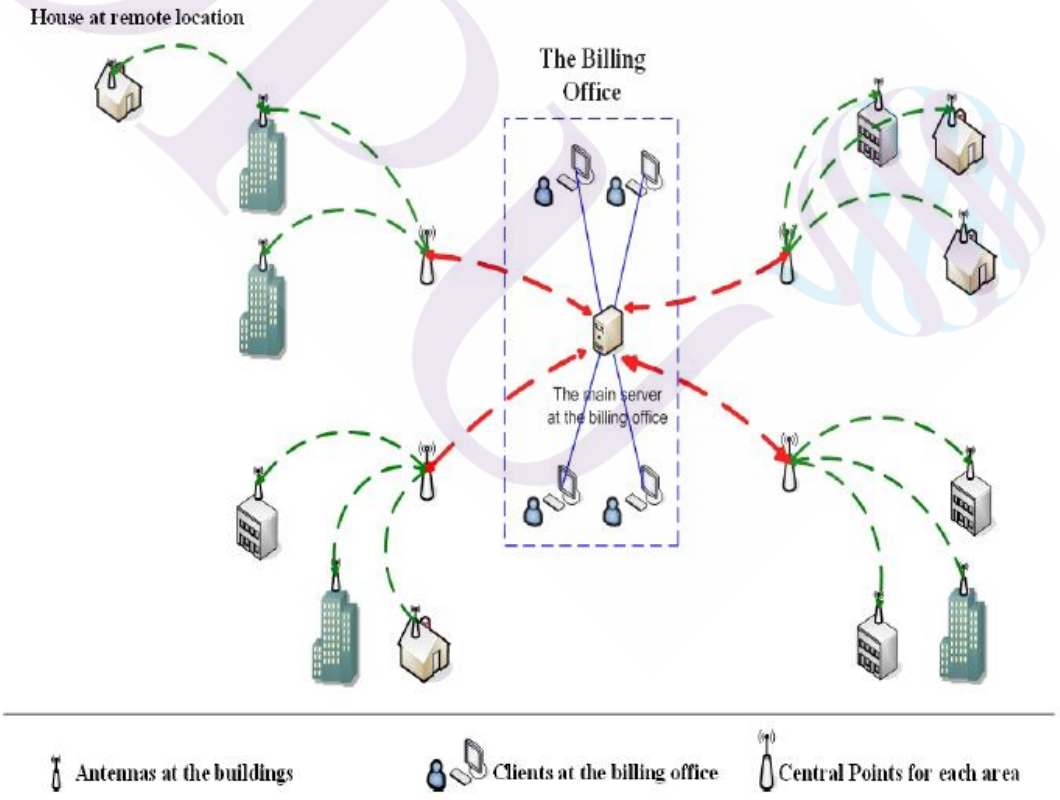
งานวิจัยชิ้นนี้ สะท้อนให้เห็นถึงความก้าวหน้าของระบบมิเตอร์และการใช้ประโยชน์จากมิเตอร์อย่างสูงสุด แต่ยังคงเน้นประโยชน์ในด้านข้อมูลที่ได้รับจากการเรียกอ่านข้อมูลจาก Load Profile ในมิเตอร์ ซึ่งก็ยังคงเป็นคุณสมบัติหลักของมิเตอร์ในระบบ AMI ที่นอกเหนือจากการสั่งการควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้แล้ว ก็ยังสามารถรับส่งข้อมูลเพื่อเฝ้าติดตามระดับการใช้ไฟฟ้าจากการเรียกอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ได้อีกด้วย ทำให้ตระหนักว่าข้อมูลทางไฟฟ้าจากมิเตอร์นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเมื่อพิจารณามายังมิเตอร์ที่ติดตั้งในวงจรไฟฟ้าต่างๆ ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งนับว่าเป็นต้นทางในระดับหนึ่งก่อนที่จะส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าต่างๆ ทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ AMR และผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบ AMI หรือระบบอื่นๆ ในอนาคต โดยข้อมูลจากมิเตอร์เหล่านี้สามารถนำมารวบรวมวิเคราะห์ประสิทธิภาพการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียอย่างยั่งยืนในอนาคตได้ ซึ่งไม่ชาแค่ในระดับผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเท่านั้น แต่ยังสามารถขยายผลมายังการรับส่งไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) และหรือผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนได้อีกด้วย หากมีการพัฒนาระบบสื่อสารเชื่อมต่อข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์ที่ติดตั้งตามวงจรไฟฟ้าต่างๆ ให้สามารถเรียกอ่านข้อมูลมาจัดเก็บลงในฐานข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ในด้านต่างๆ ได้

2.6.3 ระบบ AMR/AMI – Automatic Meter Reading & Advanced Metering Infrastructure

ALEŠ KRUTINA, “AMR/AMI - Automatic Meter Reading & Advanced Metering Infrastructure”, Intensive Programme “Renewable Energy Source”, เป็นการนำเสนอวิธีการที่จะนำมาใช้เพื่อให้ได้รับข้อมูลทางไฟฟ้าแบบออนไลน์จากมิเตอร์ของลูกค้า รวมถึงการส่งข้อมูลแบบออนไลน์เพื่อควบคุมเครือข่ายให้นำมาซึ่งมาใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งระบบ AMR ที่นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ถูกออกแบบโดยแบ่งส่วนหลักๆ ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของลูกค้าค้า ส่วนการรับส่งข้อมูล และส่วนสุดท้ายคือเหมืองข้อมูลและการประมวลผลซึ่งอยู่ที่โรงงานของผู้จำหน่ายไฟฟ้า นอกจากนี้ในส่วนของระบบ AMI ได้มีการนำเสนอโครงสร้างและวิธีการสื่อสารเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลโดยใช้ประโยชน์จากซิกบี (ZigBee) ซึ่งทำให้ผู้วิจัยตระหนักว่าระบบเรียกอ่านข้อมูลจากมิเตอร์นั้นถูกออกแบบให้มีการจัดการโดยแบ่งส่วนอย่างไร และในส่วนของระบบสื่อสารไม่จำเป็นจะต้องเป็นแบบมีสายเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้งานอุปกรณ์ที่เป็นระบบไร้สาย (Wireless) แบบซิกบี (ZigBee)

2.6.4 การออกแบบและพัฒนาของระบบ AMR แบบไร้สาย

Tariq Jamil, Senior Member IEEE, “Design and Implementation of a Wireless Automatic Meter Reading System”, Proceedings of the world Congress on Engineering 2008, เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับประยุกต์ใช้งานการสื่อสารแบบไร้สายโดยมีพื้นฐานมาจาก IEEE 802.15.4 เกี่ยวกับมาตรฐานของซิกบี (Zigbee) และในส่วนการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลนั้นได้พัฒนาตามโปรโตคอล Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) แต่ไม่ได้กล่าวถึงโดยเจาะจงในการนำเสนอในครั้งนี้ โดยที่การพัฒนา AMR แบบไร้สาย (Wireless Automatic Meter Reading : WAMRS) ได้มีการพัฒนาโดยใช้ประโยชน์ในการเชื่อมต่อโครงข่ายแบบไร้สายซึ่งมีรูปแบบตามรูปที่ 2.5 โดยจะมีส่วนของเซิร์ฟเวอร์หลักจัดการเกี่ยวกับออกบิลค่าไฟฟ้า โดยในส่วนของโปรแกรมที่พัฒนาสำหรับการออกบิลค่าไฟฟ้านั้นพัฒนาขึ้นโดยใช้ Visual Basic/Macromedia เชื่อมต่อกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูล ซึ่งจากการพัฒนาพบว่าประสบผลสำเร็จในการใช้งาน โดยมีแนวทางในการขยายพื้นที่การใช้งานไปในประเทศโอมานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของระบบ AMR ในการรับส่งข้อมูลตลอดจนเบ็ดเสร็จไปจนถึงกระบวนการออกบอลค่าไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.5 ภาพรวมของระบบ AMR แบบไร้สาย (WAMRS)

บทที่ 3
การดำเนินงาน

3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา

สารนิพนธ์นี้มุ่งเน้นในส่วนของการพัฒนาส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาให้สามารถเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM แบบอื่นๆ ได้ต่อไป และเพื่อเป็นต้นแบบของการพัฒนาโปรแกรมกลางหรือระบบกลางของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ให้สามารถเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ที่ กฟภ. มีใช้งานได้ทุกแบบ ตลอดจนสามารถนำไปขยายผลการใช้งานในด้านอื่นๆ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความจำเป็นต้องเข้าใจการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ด้วยโปรโตคอล modbusRTU Over TCP อย่างละเอียด โดยมีแนวทางในการวิจัยและพัฒนาดังนี้

3.1.1 ศึกษาและออกแบบ

1) การออกแบบภาพรวมของขั้นตอนในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM
2) พัฒนาวิธีการเรียกอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ด้วยโปรโตคอล modbusRTU Over TCP โดยใช้ Matlab
3) ศึกษาการตั้งค่า DPM ทั้ง 2 แบบ ให้รองรับสำหรับการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ
4) การออกแบบฐานข้อมูลที่ได้รับจากการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM

3.1.2 พัฒนาฟังก์ชั่นตัวกลางในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM แต่ละแบบ โดยมุ่งเน้นให้มีการเรียกข้อมูลเฉพาะข้อมูลที่ต้องอัพเดทเท่านั้น (จะไม่เรียกข้อมูลที่เคยเรียกไปแล้วซ้ำอีก)

1) การพัฒนาฟังก์ชั่นสำหรับเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM แบบที่ 1 (SATEC)
2) การพัฒนาฟังก์ชั่นสำหรับเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM แบบที่ 2 (ISKRA)

3.1.4 ทดสอบการทำงานของฟังก์ชั่น

ทดสอบการทำงานส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ทั้ง 2 แบบให้สามารถเรียกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

3.1.5 สรุปผลการพัฒนา

นำข้อมูลที่ได้ในการทดสอบมาสรุปผล เพื่อวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในการนำไปเป็นต้นแบบพัฒนาโปรแกรมเฉพาะในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 Hardware

1) เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองเป็นเครื่อง Server จำนวน 1 เครื่อง ให้ฟังก์ชั่นตัวกลางในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ทำงานและจัดเก็บข้อมูล

2) อุปกรณ์ Ethernet to Serial (RS-232/422/485) Converter เป็นตัวแปลงสัญญาณไปมาระหว่างการทำงานในโปรโตคอล modbusRTU Over TCP ในส่วนที่เป็นระบบ Ethernet กับโปรโตคอล modbusRTU ในส่วนที่เป็นระบบ RS-485 แบบ 2 สาย โดยอุปกรณ์ Ethernet to Serial Converter นี้จะใช้จำนวน 2 เครื่อง เพื่อจำลองการทำงานในลักษณะของเครือข่าย Ethernet เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถทำงานในแบบ Switch Mode ได้

3) DPM (Digital Power Meter) จำนวน 2 แบบ

แบบที่ 1 DPM ผลิตภัณฑ์ SATEC รุ่น PM135EH (กำหนดให้เป็น DPM แบบ SATEC)

แบบที่ 2 DPM ผลิตภัณฑ์ ISKRA รุ่น MC350TH (กำหนดให้เป็น DPM แบบ ISKRA)

3.2.2 Software

1) Matlab 32 bits ใช้ในการพัฒนาฟังก์ชั่นตัวกลางในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM

2) PAS เป็นโปรแกรมเฉพาะในการใช้เรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ผลิตภัณฑ์ SATEC รุ่น PM135EH ซึ่งมีคุณสมบัติในการตั้งค่าโปรแกรมมิเตอร์ ตลอดจนทำระบบอัตโนมัติในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำตามช่วงเวลาได้

3) MiQen2.1 เป็นโปรแกรมเฉพาะในการใช้เรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ผลิตภัณฑ์ ISKRA รุ่น MC350TH ซึ่งมีคุณสมบัติในการตั้งค่าโปรแกรมมิเตอร์ และสามารถใช้เรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำด้วยวิธี manual ได้

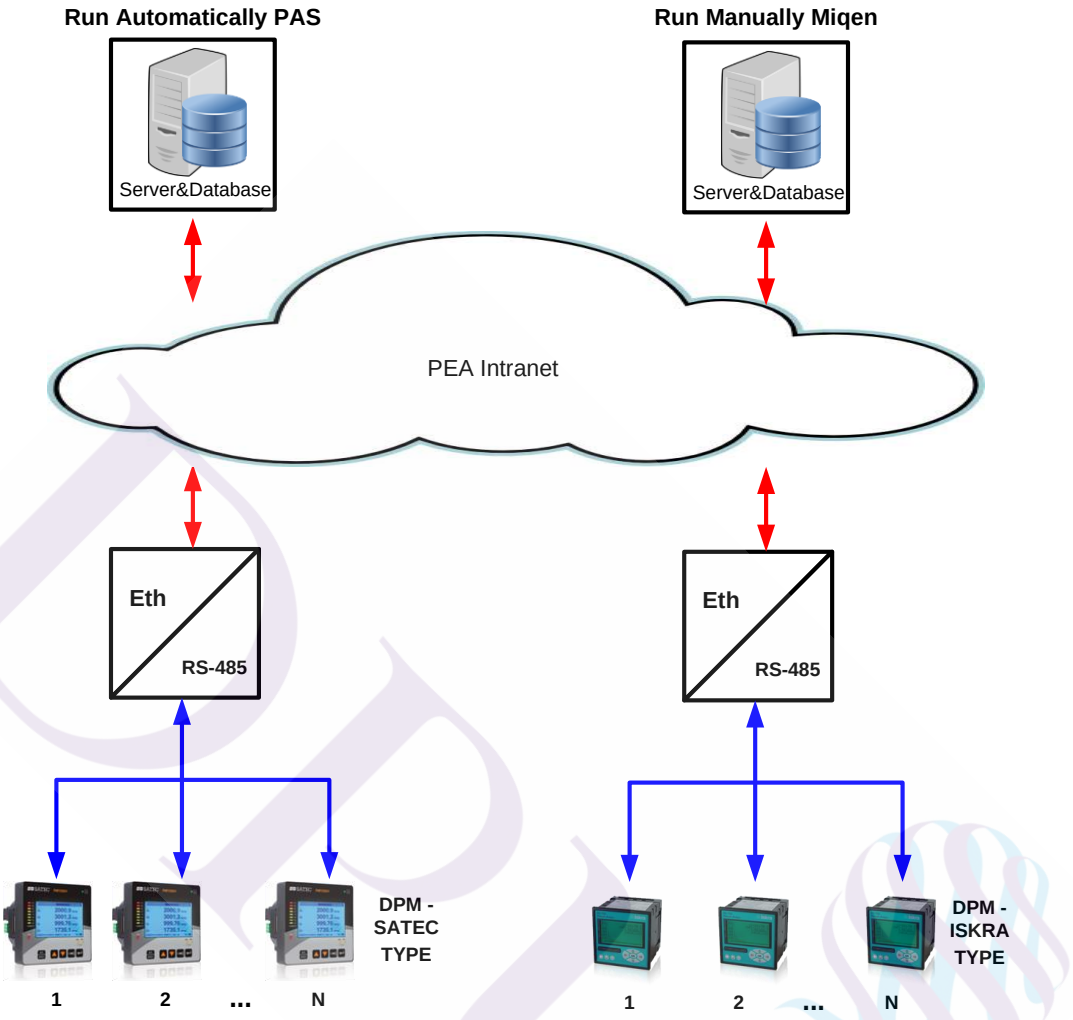
4) Jetport Commander เป็นโปรแกรมสำหรับใช้ตั้งค่าการทำงานอุปกรณ์ Ethernet to Serial (RS-232/422/485) Converter ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ Korenix รุ่น Jetport5601

5) Wireshark ใช้ในการตรวจสอบการทำงานของฟังก์ชั่นที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Matlab รวมถึงใช้ศึกษาการทำงานในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ทั้ง 2 แบบ

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

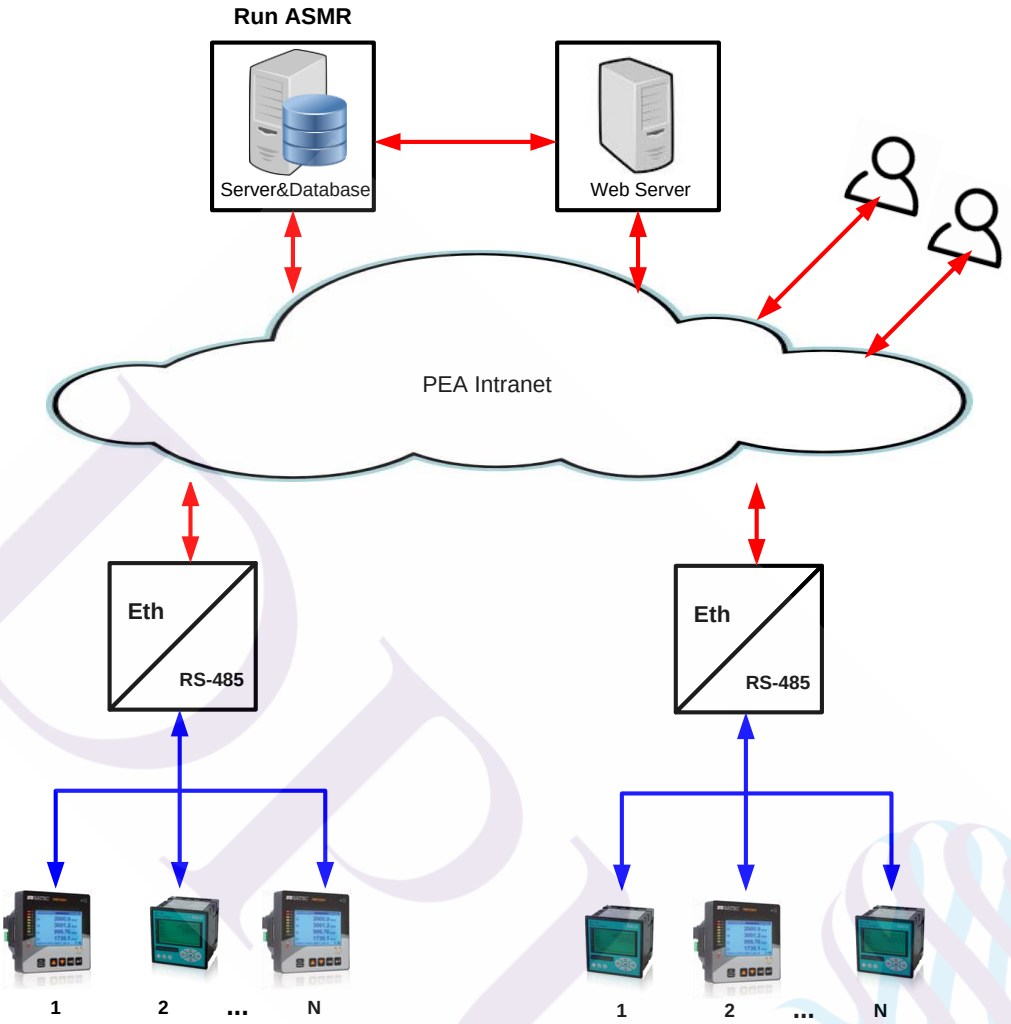
3.3.1 แนวคิดในการพัฒนาฟังก์ชั่นเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM หลายแบบ

แนวคิดในการพัฒนาฟังก์ชั่นเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM หลายแบบนั้น เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาโปรแกรมเฉพาะสำหรับเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ทุกแบบ ซึ่งจะทำงานแบบอัตโนมัติตาม Schedule เวลาที่กำหนดไว้โดยผู้ใช้งาน ซึ่งมีข้อดีในการได้รับข้อมูลที่มีมาตรฐานตามการออกแบบ database สำหรับจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าที่เรียกอ่านจาก DPM สำหรับนำไปวิเคราะห์ Load Flow และหน่วยสูญเสียการส่งจ่ายไฟฟ้า และข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้บ่งบอกถึงการที่ระบบยังคงสามารถทำงานได้ปกติ โดยกรณีที่ไม่ได้รับข้อมูลจาก DPM เครื่องใดเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลจากฐานข้อมูลเดียวและประเมินได้ทันทีว่า DPM เครื่องใดหรือส่วนใดมีความผิดปกติ แล้วสามารถส่งพนักงานของ กฟภ. ไปบำรุงรักษาให้ระบบกลับมาทำงานโดยเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM โดยปกติได้



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของระบบมิเตอร์ที่ กฟภ. ใช้งานในปัจจุบัน

จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างการติดตั้งระบบมิเตอร์ DPM ของ กฟภ. ที่ใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งฝั่งซ้ายแสดงการเชื่อมต่อระบบสื่อสารเข้ากับ DPM แบบ SATEC โดยให้ Server Run โปรแกรมเฉพาะของ DPM แบบ SATEC มีชื่อว่า PAS ให้สามารถทำงานเรียกข้อมูลจาก DPM โดยอัตโนมัติตาม Schedule ได้ ส่วนทางฝั่งขวา DPM แบบ ISKRA แม้ว่าจะสามารถเชื่อมต่อระบบสื่อสารเข้ากับ DPM ได้ แต่ไม่สามารถให้โปรแกรมเฉพาะของ DPM ของ ISKRA ที่มีชื่อว่า MiQen ทำงานแบบอัตโนมัติเพื่อเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM ได้ ทำได้เพียงการ Manual เรียกข้อมูลจาก DPM แบบ ISKRA ซึ่งเสียเวลาในการเรียกข้อมูลและเปลืองทรัพยากรบุคคลของ กฟภ. ในการที่ต้องคอยเรียกข้อมูลจาก DPM แบบ ISKRA

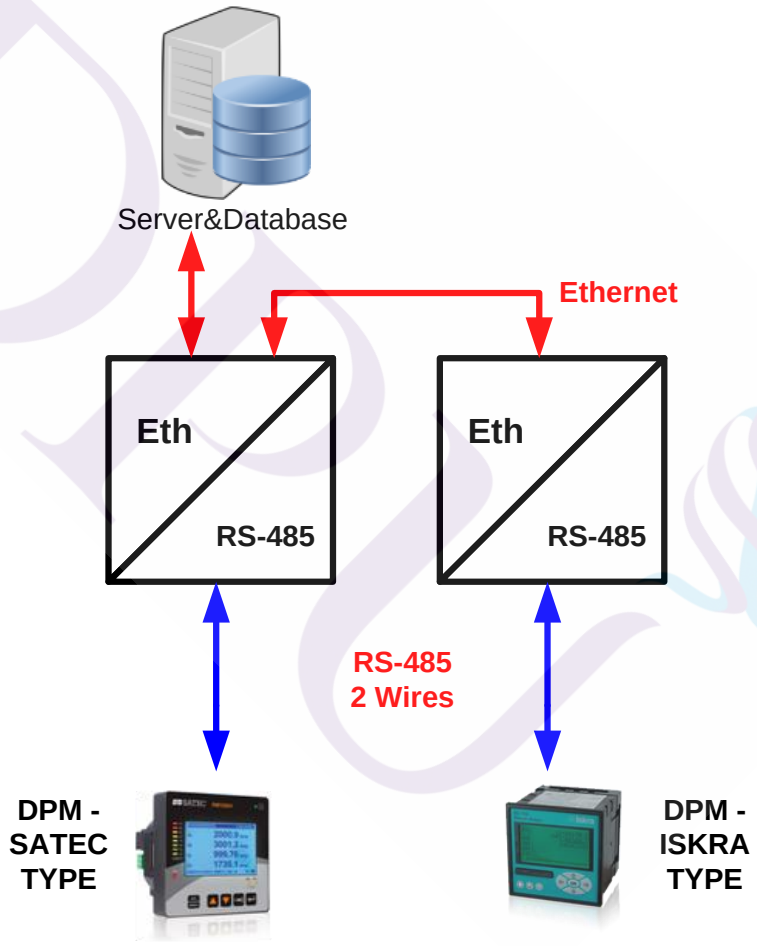


ภาพที่ 3.2 โครงสร้างตัวอย่างของระบบมิเตอร์เมื่อมีมีโปรแกรมกลาง (ASMR) เรียกอ่านข้อมูลจาก DPM จำนวน 2 แบบ

จากรูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างต้นแบบของระบบที่ใช้งานโปรแกรมกลางในการเรียกข้อมูลจาก DPM จำนวน 2 แบบ (ASMR : Automatic substation meter reading) โดย Server จะทำงานโดยอัตโนมัติตาม Schedule ที่กำหนดไว้ ในการเรียกใช้งานฟังก์ชั่นให้เหมาะสมกับ DPM เพื่อเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM มาจัดเก็บเป็น Database แบบมาตรฐาน ให้สามารถนำไปวิเคราะห์การส่งจ่ายไฟฟ้าและหน่วยสูญเสียการจ่ายไฟฟ้าได้อย่างสะดวกที่สุด โดยพนักงานของ กฟภ. สามารถเข้าดูข้อมูลผ่านเว็บไซต์ภายในที่ กฟภ. ให้บริการได้โดยผ่านคอมพิวเตอร์ในระบบ Intranet ของ กฟภ.

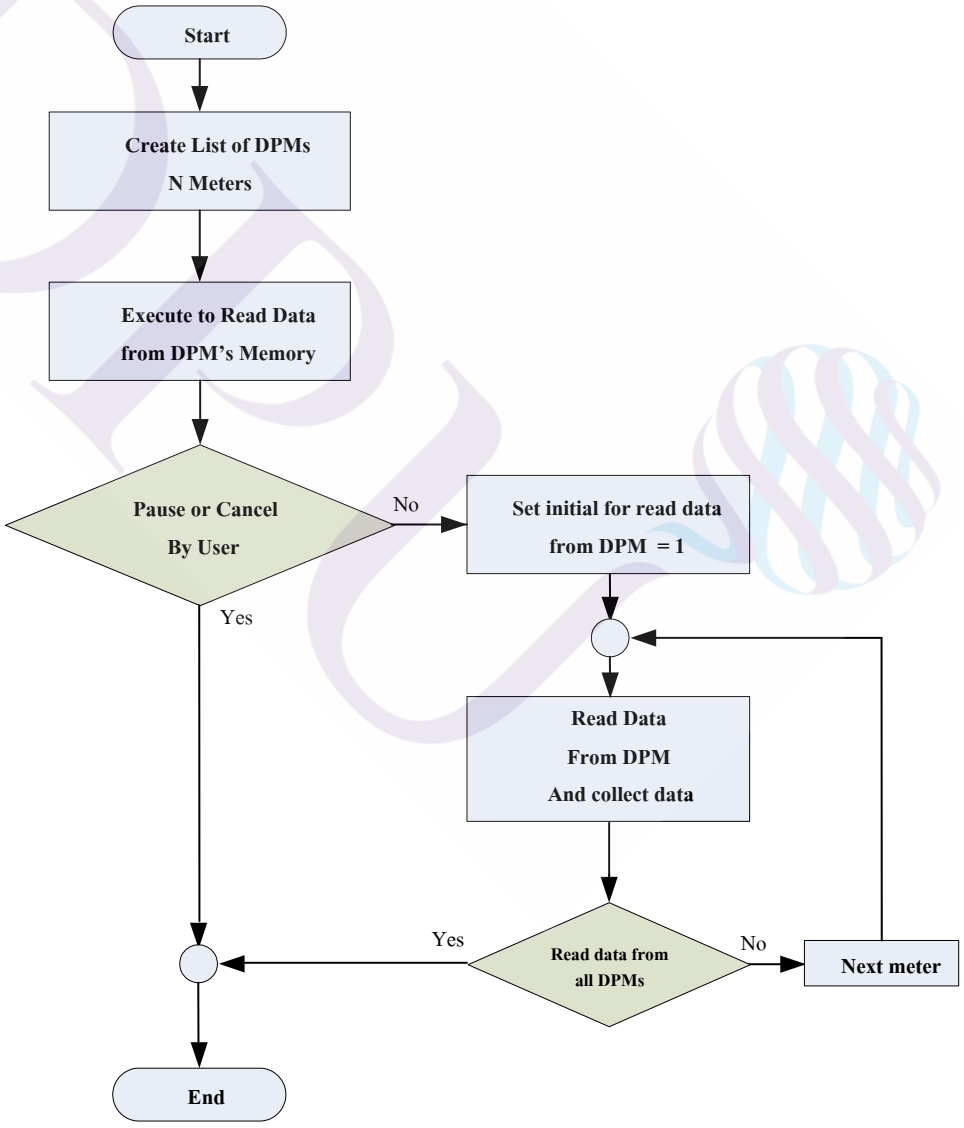
3.3.2 การออกแบบระบบ

ตามรูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของระบบการอ่านข้อมูลจาก DPM ที่จะพัฒนาสำหรับงานวิจัยเพื่อเป็นต้นแบบของระบบ ASMR ของ กฟภ. โดยจะมุ่งเน้นในการพัฒนาฟังก์ชั่นในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ทั้ง 2 แบบ (ขอเรียกว่าการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM) โดยในส่วนที่เชื่อมต่อด้วยระบบ Ethernet จะเป็นการเชื่อมต่อระหว่าง Server and database ไปยังอุปกรณ์ Ethernet to serial RS-232/422/485 converter ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงการทำงานระหว่างระบบ Ethernet กับระบบ RS-485 แบบ 2 สาย ซึ่งจะเชื่อมต่อกับมิเตอร์ปลายทางได้หลายเครื่อง



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของระบบการอ่านข้อมูลจาก DPM ที่จะพัฒนาสำหรับงานวิจัยเพื่อเป็นต้นแบบของระบบ ASMR ของ กฟภ.

Server จะใช้ฟังก์ชั่นเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ตามรูปแบบของ DPM ที่ได้สร้างข้อมูลรูปแบบของ DPM ไว้ ได้แก่ DPM แบบ SATEC และ DPM แบบ ISKRA ในกรณีที่มี DPM จำนวนหลายเครื่อง Server จะทำการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM โดยเริ่มจากตรวจสอบรูปแบบข้อมูลของ DPM ที่จะเรียกอ่านข้อมูลว่าเป็นแบบใด แล้วจึงเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโดยใช้ฟังก์ชั่นให้เหมาะสมกับ DPM แบบนั้นๆ แม้ว่าข้อมูลที่ได้รับจาก DPM แบบ SATEC และ ISKRA จะมีความแตกต่างกัน แต่ Server ก็จะทำการจัดเก็บข้อมูลตามรูปแบบของฐานข้อมูลที่ออกแบบไว้ โดยจะทำการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM จนครบทุกเครื่องตามที่ได้ทำรายการ DPM ไว้ โดยมีขั้นตอนการทงานเป็นไปตามรูปที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 Flow chart การทำงานภาพรวมของงานวิจัยนี้

DPM แต่ละเครื่องที่ กฟภ. ใช้งานจะติดตั้งอยู่ตามสถานีไฟฟ้าต่างๆ ของ กฟภ. โดยที่แต่ละสถานีไฟฟ้าและสำนักงานในที่ต่างๆ ของ กฟภ. จะเชื่อมต่อถึงกันด้วย Intranet ของ กฟภ. ซึ่งมีการกำหนดกลุ่มหมายเลข IP สำหรับตั้งค่าใช้งานในระบบ Internet อยู่แล้ว ดังนั้นโปรโตคอลที่ใช้ในการเรียกข้อมูลจาก DPM ซึ่ง DPM ต่างๆ รองรับในการใช้งานอยู่แล้วและง่ายต่อการพัฒนาให้ประสบผลโดยเร็วคือ modbusRTU over TCP ซึ่งมีลักษณะของเฟรมข้อมูล ดังรูปที่ 3.5

3.3.3 การเรียกอ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล modbusRTU over TCP

เป็นการนำเฟรมข้อมูล modbusRTU ไปใส่ไว้ในส่วนของ Data ในเฟรม Ethernet โดยในส่วนของ MAC Address นั้นจะเป็นการรับส่งของมูลระหว่าง Server จำลองและอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter ตามที่กำหนด IP Address ไว้ โดยจะทำงานด้วยโปรโตคอล mosbusRTU over TCP ได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องตั้งค่า IP Address ทั้งส่วนของ Source และ Destination Address ให้ถูกต้องในส่วนของเฟรม Ethernet และในส่วนข้อมูลของเฟรม Ethernet ซึ่งเป็นเฟรม modbusRTU จำเป็นต้องตั้งค่า Address และเรียกใช้ function

Ethernet Frame

Preamble	SFD	Destination MAC	Source MAC	Type	Data and Pad	FCS
7 Bytes	1 Byte	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	46-1500 Bytes	4 Bytes

ModbusRTU Frame

Start	Address	Function	Data	CRC Check	End
T1-T2-T3-T4	8 Bits	8 Bits	*n* x 8 Bits	16 Bits	T1-T2-T3-T4

ภาพที่ 3.5 ส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล modbus RTU ที่นำไปใส่ในแพ็คเกจ Ethernet เพื่อทำงานในแบบ modbus RTU over TCP

3.3.4 การตั้งค่า DPM และอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการเรียกอ่านข้อมูล

ในส่วนของ DPM ซึ่งจะติดต่อสื่อสารรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter จะใช้งานโปรโตคอล modbusRTU ในการติดต่อสื่อสารกัน ดังนั้นในส่วนของการตั้งค่าอุปกรณ์ทั้ง Ethernet to Serial RS-485 Converter และ DPM จึงต้องมีการตั้งค่าอุปกรณ์ให้สอดคล้องกันตามโปรโตคอล Modbus RTU โดยคำนึงถึงว่าเมื่อใช้โปรโตคอล modbusRTU over

TCP เรียกข้อมูล DPM ด้วย Server จำลองในส่วนของ Server จะทำหน้าที่สื่อสารกับอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter ด้วยระบบ Ethernet แต่อุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter จะไม่ตอบกลับ Server ในทันที แต่จะถอดข้อมูลในส่วนของ Data จากเฟรม Ethernet ซึ่งก็คือส่วนที่เป็นเฟรม modbusRTU ไปสื่อสารกับ DPM อีกต่อหนึ่ง เมื่อได้รับการตอบกลับจาก DPM แล้ว ก็จะทำการนำเฟรม modbusRTU ที่ได้รับการตอบกลับไปใส่ไว้ในส่วนของ Data ในเฟรม Ethernet แล้วส่งกลับไปยัง Server นั้นเอง

จากกระบวนการสื่อสารระหว่าง Server กับอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter และ DPM จะพบว่าอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter จะทำหน้าที่เสมือนเป็น Server คุยกับ DPM อีกทีหนึ่ง ซึ่งจะต้องทำการตั้งค่าให้มีการทำงานแบบ Server Mode โดยกำหนดค่าในส่วนของระบบ Serial RS-485 ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter สำหรับสื่อสารกับ DPM

List	Setting
Connection	RS-485 2 Wires
Baud rate	19200
Parity	None
Flow Control	None
Stop bit	1
Interval Time	100 ms for DPM-SATEC (เนื่องจากต้องรอมิเตอร์ทำ Data Transfer เอาข้อมูลมาให้) 0 ms for DPM-ISKRA
Length	1024 Bytes

เมื่อทำการตั้งค่าอุปกรณ์ Ethernet to Serial RS-485 Converter ให้พร้อมอ่านข้อมูลจาก DPM แล้ว ก็ต้องทำการตั้งค่า DPM ให้สอดคล้องตามไปด้วย ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าอุปกรณ์ DPM

List	Setting
Protocal	Modbus RTU
Baud rate	19200
Parity	None
Flow Control	None
Stop bit	1

3.3.5 การออกแบบฐานข้อมูลทางไฟฟ้าของ DPM

การออกแบบฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลที่เรียกจาก DPM มีไว้เพื่อให้ข้อมูลมีมาตรฐานเดียวกันและง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์การส่งจ่ายไฟฟ้าและวิเคราะห์หน่วยสูญเสียได้โดยตรง

นอกจากนี้ข้อมูลทางไฟฟ้าที่จะจัดเก็บต้องคำนึงถึงในกรณีที่อุปกรณ์บางตัวในระบบมาตรวัดชำรุด จะต้องมีข้อมูลเพียงพอในการคำนวณย้อนกับเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุดได้

อีกทั้งนอกจากข้อมูลทางไฟฟ้าที่เรียกได้จาก DPM ซึ่งจะต้องถูกจัดเก็บแล้ว มีความจำเป็นต้องจัดเก็บข้อมูล Pointer หรือ Index ซึ่งจะใช้แสดงตำแหน่งข้อมูลล่าสุดที่ได้เรียกข้อมูลจาก DPM โดยจะนำมาใช้ประโยชน์ในการที่จะทำให้ระบบเรียกอ่านข้อมูล DPM เฉพาะข้อมูลใหม่ที่ Database ยังไม่มี โดยไม่ต้องเรียกข้อมูลเดิมซ้ำซ้อนอีก

ตารางที่ 3.3 รายการข้อมูลที่จะจัดเก็บลงฐานข้อมูลของ DPM แต่ละเครื่อง

No.	Data	Remark
1	Pointer Record or Sequence Record	Primary Data
2	Serial Number Date Time Stamp	Primary Data
3	Export Active Energy (kWh)	Primary Data
4	Import Active Energy (kWh)	Primary Data
5	Export Reactive Energy (kVarh)	Primary Data
6	Import Reactive Energy (kVarh)	Primary Data
7	Voltage Phase A (V)	Secondary Data
8	Voltage Phase B (V)	Secondary Data
9	Voltage Phase C (V)	Secondary Data
10	Current Phase A (A)	Secondary Data
11	Current Phase B (A)	Secondary Data
12	Current Phase C (A)	Secondary Data
13	Power Factor Phase A	Secondary Data
14	Power Factor Phase B	Secondary Data
15	Power Factor Phase C	Secondary Data
16	Power Factor Average	Secondary Data
16	Active Power Average (kW)	Secondary Data
16	Reactive Power Average (kVar)	Secondary Data

3.4 การพัฒนาฟังก์ชั่นตัวกลางในการเรียกข้อมูลจาก DPM

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในส่วนของ Database ที่ใช้จัดเก็บข้อมูลที่เรียกอ่านได้จาก DPM นั้นจะทำการเรียกอ่านเฉพาะข้อมูลที่ยังไม่เคยเรียก เพื่อให้ระบบทำงานน้อยที่สุดและเป็นการเปิดโอกาสให้ระบบสามารถเรียกข้อมูลจาก DPM หลายๆ ให้ได้มากที่สุดด้วย นอกจากนี้เมื่อได้ศึกษาวิธีการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM แต่ละแบบแล้ว พบว่า DPM ทั้งสองแบบได้แก่ DPM-SATEC และ DPM-ISKRA มีการออกแบบจัดสรรการเก็บข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ทำให้ต้องกำหนดเป็นฟังก์ชั่นแบบ static ในการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM แต่ละแบบ

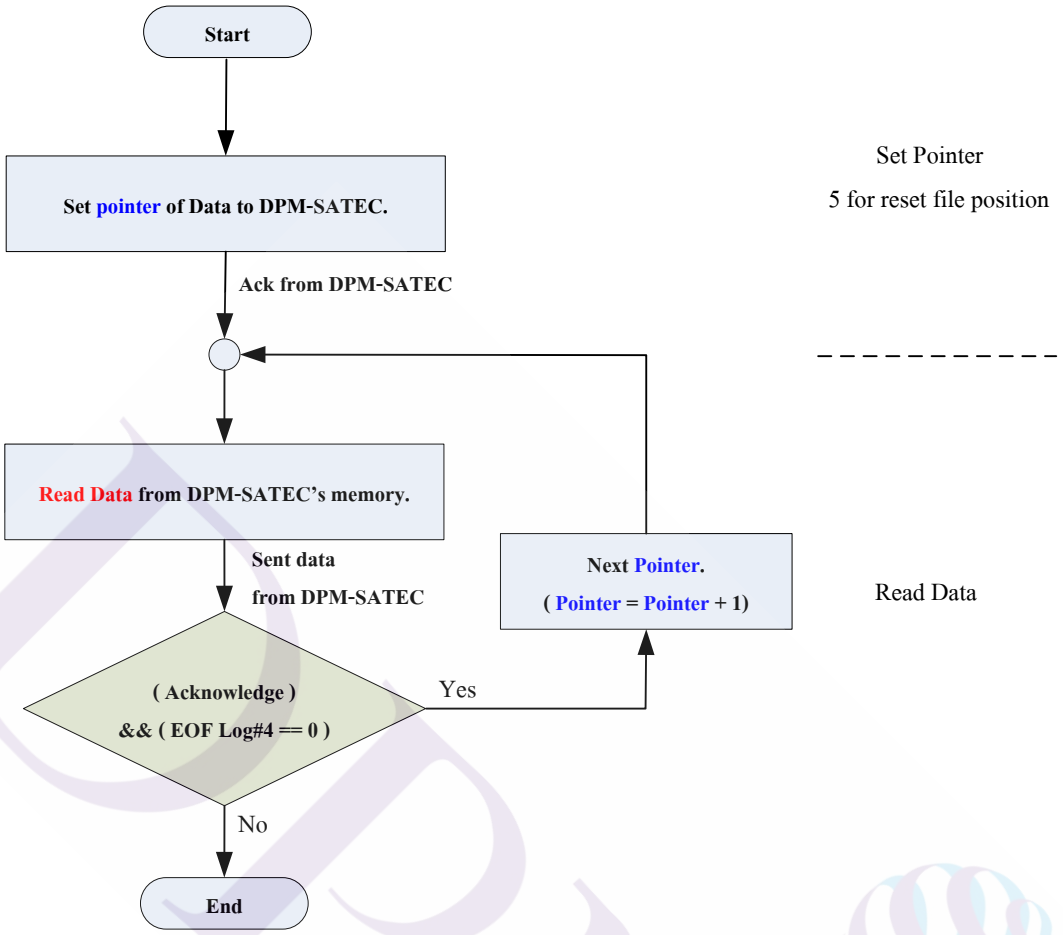
3.4.1 ฟังก์ชั่นสำหรับเรียกข้อมูลจาก DPM-SATEC

DPM-SATEC นั้นจะมีการจัดการข้อมูลเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เป็นข้อมูล Setting และส่วนที่เป็นข้อมูลในหน่วยความจำภายใน ข้อมูล Setting นั้นจะมีการกำหนด register ตามโปรโตคอล modbusRTU แบบ static สำหรับรอให้ผู้ใช้งานเรียกอ่านข้อมูลแบบปกติ แต่ในส่วนข้อมูลทางไฟฟ้าซึ่งจัดเก็บข้อมูลเป็น log ตามช่วงเวลานั้นจะถูกจัดเก็บลงในหน่วยความจำภายในตัว DPM-SATEC ซึ่งวิธีการเรียกข้อมูลนั้นจะต้องใช้วิธี File Transfer

File Transfer คือ ส่วนการทำงานในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ Satec ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลทั่วไปของหน่วยความจำและข้อมูลทางไฟฟ้าที่จัดเก็บเป็น Log ตามช่วงเวลาก็ตาม

File Transfer เริ่มทำงานด้วยการที่ต้องส่งคำสั่ง modbusRTU Fn 10-9[Hex] ไปให้ DPM-SATEC (Request Data) โดยคำสั่งนั้นจะต้องระบุชนิดของข้อมูลลงไป (Type of Data) เมื่อ DPM-SATEC ตอบกลับคำสั่ง modbusRTU Fn 10-9[Hex] คืนกลับมานั่นจึงเป็นการแสดงว่า DPM-SATEC ได้เตรียมความพร้อมสำหรับข้อมูลตามแบบที่ต้องการแล้ว ต่อจากนั้นจะต้องส่งตำแหน่งของข้อมูล (Pointer) ไปแจ้ง DPM-SATEC ว่าต้องการข้อมูลชนิดนั้นที่ตำแหน่งไหน ด้วยคำสั่ง modbusRTU Fn 10-5[Hex] (5 คือ Reset Pointer สำหรับการเรียกข้อมูลครั้งแรก) เมื่อ DPM-SATEC ตอบกลับคำสั่ง modbusRTU Fn 10-5[Hex] คืนกลับมาจึงเป็นการยืนยันว่า DPM-SATEC ได้เตรียมให้อ่านข้อมูลชนิดดังกล่าวที่ตำแหน่งแรกสุดแล้ว จึงสามารถอ่านข้อมูลที่ต้องการต่อไปได้ (Read Data) ด้วยคำสั่ง modbusRTU Fn 03[Hex] ตามรูปที่ 3.6

เมื่อได้รับข้อมูลที่อ่านด้วย modbusRTU Fn 03[Hex] ในครั้งแรกแล้ว ข้อมูลที่ได้รับนั้นจะเป็นข้อมูลทางไฟฟ้าที่ครอบคลุม log จำนวน 4 logs โดยในชุดข้อมูลที่ตอบกลับมานั้น ในแต่ละ log จะมีการระบุ EOF (End of File) ไว้ ในกรณีที่ EOF = 0000[Hex] นั่นหมายความว่ามีข้อมูลใน log ตำแหน่งต่อไป แต่ถ้าหาก EOF = 0001[Hex] นั่นแสดงว่าเป็น log ของข้อมูลชุดสุดท้ายแล้ว



ภาพที่ 3.6 Flowchart ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความของ DPM-SATEC

จากข้างต้น จะพบว่าการอ่านข้อมูลทางไฟฟ้าจาก File Transfer ของ DPM-SATEC นั้น จะทำการอ่านข้อมูลทางไฟฟ้าครั้งละ 4 log ซึ่งหากว่า EOF ยังไม่ปรากฏ 0001[Hex] ก็ให้ทำการตอบ Acknowledge แล้วอ่านข้อมูลไปเรื่อยๆ ทีละรอบ จนกว่าจะพบว่า EOF ปรากฏค่าเป็น 0001[Hex] ในรอบใด ให้พิจารณาต่อไปว่ารอบนั้น EOF ปรากฏค่าเป็น 0001[Hex] ในชุดข้อมูลของ Log ชุดที่ 4 หรือไม่ การปรากฏ EOF เป็น 0001[Hex] ในข้อมูล log ชุดที่ 4 หมายความว่าชุดข้อมูล 4 logs นั้นได้ถูกใช้งานสมบูรณ์แล้ว ให้ทำการตอบ Acknowledge กลับไป โดยไม่ต้องเรียกอ่านข้อมูลต่ออีก แต่หากว่า EOF ปรากฏค่า 0001[Hex] ในข้อมูล log ชุด 1-3 นั่นหมายความว่าข้อมูลยังถูกจัดเก็บข้อมูลลงไม่สมบูรณ์ทั้ง 4 ชุด กรณีเช่นนี้ไม่ต้องให้ระบบ Acknowledge กลับไปยัง DPM-SATEC เพื่อให้ DPM-SATEC ได้จัดเก็บข้อมูลจนครบ 4 logs แล้วรอให้ระบบหรือฟังก์ชั่นมาเรียกข้อมูล log 4 ชุดนี้อีกครั้งจึงทำการ Acknowledge กลับไปให้ DPM-SATEC ซึ่งแสดงตัวอย่างเงื่อนไขการ Acknowledge ตามรูปที่ 3.7

EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	Trigger	Data 1-9 Log#1	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#2	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#3	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#4
16	16	32	32	32	9 x 32	16	16	32	32	32	9 x 32	16	16	32	32	32	9 x 32	16	16	32	32	32	9 x 32

In frame data DPM-SATEC from file response block

EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	Trigger	Data 1-9 Log#1	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#2	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#3	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#4
0000	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32

This frame has to acknowledge

EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	Trigger	Data 1-9 Log#1	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#2	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#3	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#4
0000	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32	0001	16	32	32	32	9 x 32

This frame has to acknowledge

EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	Trigger	Data 1-9 Log#1	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#2	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#3	EOF	Pointer1	Date/ Time	Unknown	trigger	Data 1-9 Log#4
0000	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32	0001	16	32	32	32	9 x 32	0000	16	32	32	32	9 x 32

This frame do not acknowledge

ภาพที่ 3.7 ลักษณะเฟรมข้อมูล modbusRTU ที่ ควร/ไม่ควร Acknowledge ในขั้นตอน File Transfer สำหรับการเรียกข้อมูลจากหน่วยความ DPM-Satec

List	Address	Function	Starting Address Hi	Starting Address Lo	No. of Register Hi	No. of Register Lo	Byte count	File Function Hi	File Function Lo	Data Type Hi	Data Type Lo	Section Number Hi	Section Number Lo	Section Channel ID Hi	Section Channel ID Lo	Not used	Not used	Variation Hi	Variation Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
File request block [Server]	01	10	F6	90	00	06	0C	00	05	00	01	FF	FF	00	00	00	00	00	00	9D	7E

Function 10 = Access memory data

File Function 0001 = Acknowledgement
0005 = Reset file position
000B = Read file

Log Address 0000 = Event Log
0001 = Load Profile***

a) File request block @File transfer control block

List	Address	Function	Starting Address Hi	Starting Address Lo	No. of Register Hi	No. of Register Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8
File request block [DPM]	01	10	F6	90	00	06	73	AE

b) Response from DPM-SATEC @File transfer control block

ภาพที่ 3.8 เฟรมข้อมูล modbusRTU สำหรับ Reset file position สำหรับอ่านข้อมูล Load Profile จาก DPM-SATEC ในครั้งแรก

List	Address	Function	Starting Address Hi	Starting Address Lo	No. 0f Points Hi	No. 0f Points Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8
File response block [Server]	01	03	F6	B0	00	70	76	41

a) Read data @File response block

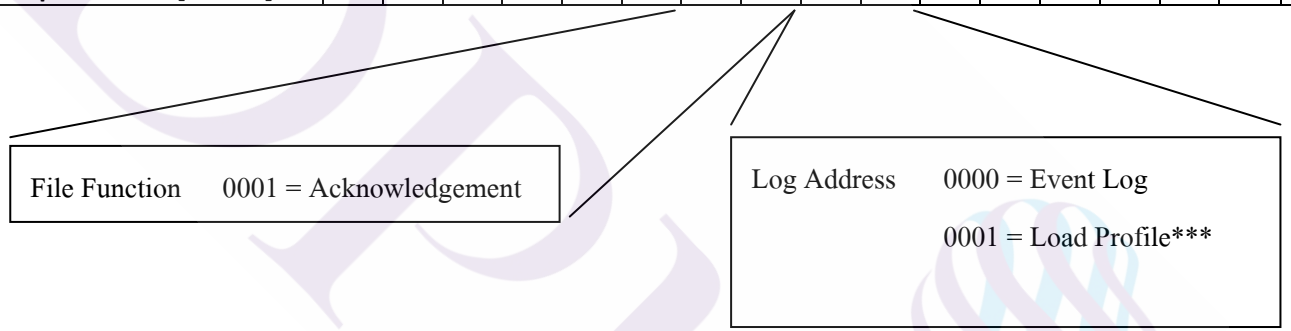
List	Address	Function	Byte Count	Unknown			Record 1st			Record 2nd			Record 3rd			Record 4th			CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	...	17	20	...	71	72	..	123	124	...	175	176	...	227	228	229
File response block	01	03	E0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Record Status Hi	Record Status Lo	Sequence Record Hi	Sequence Record Lo	Date/Time 32 bits	Unknown	Import kWh 32 bits	Export kWh 32 bits	Net kVar 32 bits	Voltage A 32 bits	Voltage B 32 bits	Voltage C 32 bits	Current A 32 bits	Current B 32 bits	Current C 32 bits
18	19	20	21	22 - 25	26 - 29	30 – 33	34 – 37	38 - 41	42 - 45	46 – 49	50 – 53	54 – 57	58 - 61	62 - 65
00	00	19	23	E7B85627	1F400000	00000000	C9150360	EF22FF0C	33940000	34190000	33B20000	FE560000	056B0001	06D40001

b) **Response Data @File response block**

ภาพที่ 3.9 เฟรมการอ่านข้อมูล Record - load profile จากหน่วยความจำ DPM-SATEC

List	Address	Function	Starting Address Hi	Starting Address Lo	No. of Register Hi	No. of Register Lo	Byte count	File Function Hi	File Function Lo	Data Type Hi	Data Type Lo	Section Number Hi	Section Number Lo	Section Channel ID Hi	Section Channel ID Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
File request block [Server]	01	10	F6	90	00	04	08	00	01	00	01	FF	FF	00	00	9D	7E



ภาพที่ 3.10 เฟรมข้อมูลที่ใช้ตอบ Acknowledge กลับ DPM-SATEC เพื่อเลื่อน Pointer ยังไปข้อมูล 4 records ถัดไป

ตามรูปที่ 3.8 a) กระบวนการอ่านข้อมูล Load Profile จากหน่วยความจำของ DPM-SATEC เริ่มต้นด้วยการส่งคำสั่งไปตั้งค่าให้ file transfer control block เลื่อน pointer ไปยัง record แรกสุดของ load profile ซึ่งทำได้โดยการใช้ฟังก์ชั่น 10 [Hex] โดยตั้งค่า File function เป็นค่า 0005 [Hex] เพื่อเลื่อน pointer ไปยัง record แรกสุด โดยที่ data type ซึ่งมีค่าเป็น 0001 [Hex] หมายถึงตำแหน่งที่ระบุว่าข้อมูลที่จะดำเนินการใดๆ ผ่าน file transfer control block คือ load profile นั่นเอง และจะได้รับการตอบกลับจาก DPM-SATEC ว่าได้ดำเนินการ reset file position ไปที่ record แรกสุดแล้ว ตามรูปที่ 3.8 b)

เมื่อได้รับการตอบกลับจาก DPM-SATEC ว่าได้ทำการ reset file position แล้วจึงสามารถทำการขออ่านข้อมูล load profile ผ่าน file transfer control block นี้ต่อไป โดยตั้งค่า File function เป็น 000B [Hex] คือ การขออ่านไฟล์ ซึ่ง data type กำหนดให้เป็น 0001 [Hex] คือ ไฟล์ที่เป็น load profile โดยเมื่อ DPM-SATEC ได้เตรียมความพร้อมให้รองรับการอ่านไฟล์แล้ว จะทำการตอบกลับตามรูปที่ 3.8 b) เช่นเดิม

เมื่อทำการขออ่าน load profile ไปยัง DPM-SATEC และได้รับการตอบกลับมาแล้วจึงสามารถอ่านข้อมูล load profile โดยผ่าน file response block ต่อไปได้ตามรูปที่ 3.9 a) โดยใช้ฟังก์ชั่น 03 [Hex] ที่ตำแหน่ง F6B0 [Hex] จำนวน 70 [Hex] ซึ่งข้อมูล load profile ที่ได้รับตามกลับมานั้นจะมีลักษณะตามรูปที่ 3.9 b) ที่จะประกอบไปด้วยข้อมูล load profile จำนวน 4 records

ข้อมูล load profile ในแต่ละ record ที่ได้รับจากการส่งข้อมูลกลับจาก DPM-SATEC นั้น จะถูกกำกับด้วย record status และ sequence record โดยที่ record status มีหน้าที่หลักในการบ่งบอกว่า record ชุดนั้นอยู่ในตำแหน่งล่าสุด (EOF : End of File) หรือไม่ หากอยู่ในตำแหน่งล่าสุด (EOF : End of File) จะระบุค่าเป็น 0001 [Hex] แต่สำหรับในกรณีที่ถูกใช้เก็บข้อมูล load profile แล้วแต่ยังไม่ใช่ตำแหน่งล่าสุดจะระบุค่าเป็น 0000 [Hex] และในกรณีที่ record นั้น ยังไม่ถูกใช้งานหรือเป็น record ที่เตรียมใช้บันทึก load profile โดยมีตำแหน่งถัดไปจากตำแหน่งล่าสุด (EOF : End of File) จะระบุค่าเป็น 8200 ตามที่ได้มีการอธิบายไว้แล้วก่อนหน้านี้และตามที่แสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งจะต้องพิจารณาเงื่อนไขในการที่จะตอบ acknowledge กลับไป สำหรับ sequence record ที่ใช้กำกับ record ในแต่ละชุดนั้น จะใช้บอกลำดับของ record นั้นๆ โดยเริ่มจาก 0000 [Hex] ไปจนถึง FFFF [Hex]

ตามที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้านี้ การจะตอบ acknowledge กลับไปยัง DPM-SATEC นั้น มีเงื่อนไขว่าหน่วยความจำในส่วนนั้นได้ถูกใช้บันทึก load profile ครบทั้ง 4 records แล้ว ทั้งในกรณีที่ record status มีค่าเป็น 0000 [Hex] ในทุก records ซึ่งภายหลังจากส่ง acknowledge กลับไปยัง DPM-SATEC แล้ว ก็จะทำการอ่านข้อมูล load profile ในตำแหน่ง 4 records ถัดไป หรือในกรณี

ที่ record ลำดับที่ 4th มีค่าเป็น 0001 [Hex] (EOF : End of File) ซึ่งต้องส่ง acknowledge กลับไปยัง DPM-SATEC แต่จะยังไม่มีการอ่านข้อมูล load profile ในตำแหน่ง 4 records ถัดไป เนื่องจากเราได้ข้อมูลในตำแหน่งล่าสุดมาแล้ว โดยที่เฟรมข้อมูลที่จะใช้ส่ง acknowledge กลับไปให้ DPM-SATEC ทำการเลื่อน Pointer ไปในตำแหน่ง 4 records ถัดไปเพื่อรออ่านข้อมูลนั้น จะเป็นไปตามรูปที่ 3.10

ข้อมูล load profile ที่อ่านได้ในแต่ละ record นั้น จะมีการระบุข้อมูลต่างๆ ซึ่งแต่ละ record จะมีข้อมูลที่เป็นมาตรฐานกำกับไว้ ดังตารางที่ X.XX ในลำดับที่ 1 – 3 คือ record status, record sequence number และ record time โดยที่ข้อมูลตั้งแต่ลำดับที่ 7 เป็นต้นไป จะเป็นข้อมูลตามที่ได้มีการกำหนดค่าให้ DPM-SATEC จัดเก็บข้อมูลไว้

ตารางที่ 3.4 รูปแบบข้อมูลของพารามิเตอร์ในแต่ละ record

No.	Data Log Records	TYPE	Range	
			Min	Max
1	Record Status	16 bits	8200, 9200, 0000, 0001 (EOF : End of File)	
2	Record Sequence Number	UINT16	0	65535 (FFFF)
3	Record time, second since 1/1/1970	UINT32	0	-
4	*Unknown*	*Unknown*	*Unknown*	*Unknown*
5	*Unknown*	*Unknown*	*Unknown*	*Unknown*
6	*Unknown*	*Unknown*	*Unknown*	*Unknown*
7	Import kWh	UINT32	0	999,999,999
8	Export kWh	UINT32	0	999,999,999
9	Net kVar	INT32	-2,147,483,648	2,147,483,647
10	Voltage A	UINT32	0	Vmax
11	Voltage B	UINT32	0	Vmax
12	Voltage C	UINT32	0	Vmax
13	Current A	UINT32	0	Imax
14	Current B	UINT32	0	Imax
15	Current C	UINT32	0	Imax

```
>> TS = hex2dec('5597DFAA')

TS =

   1.4360e+09

>> datestr(datenum([1970 1 1 0 0 TS]))

ans =

04-Jul-2015 13:29:14
```

ภาพที่ 3.11 การใช้งานฟังก์ชั่น MATLAB แปลงข้อมูล date time stamp เป็นข้อมูลวันที่และเวลา

การแปลงข้อมูลต่างๆ ที่อ่านได้จาก DPM-SATEC ในแต่ละ record นั้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจในรูปแบบของข้อมูลแต่ละชนิด ตามตารางที่ 3.4

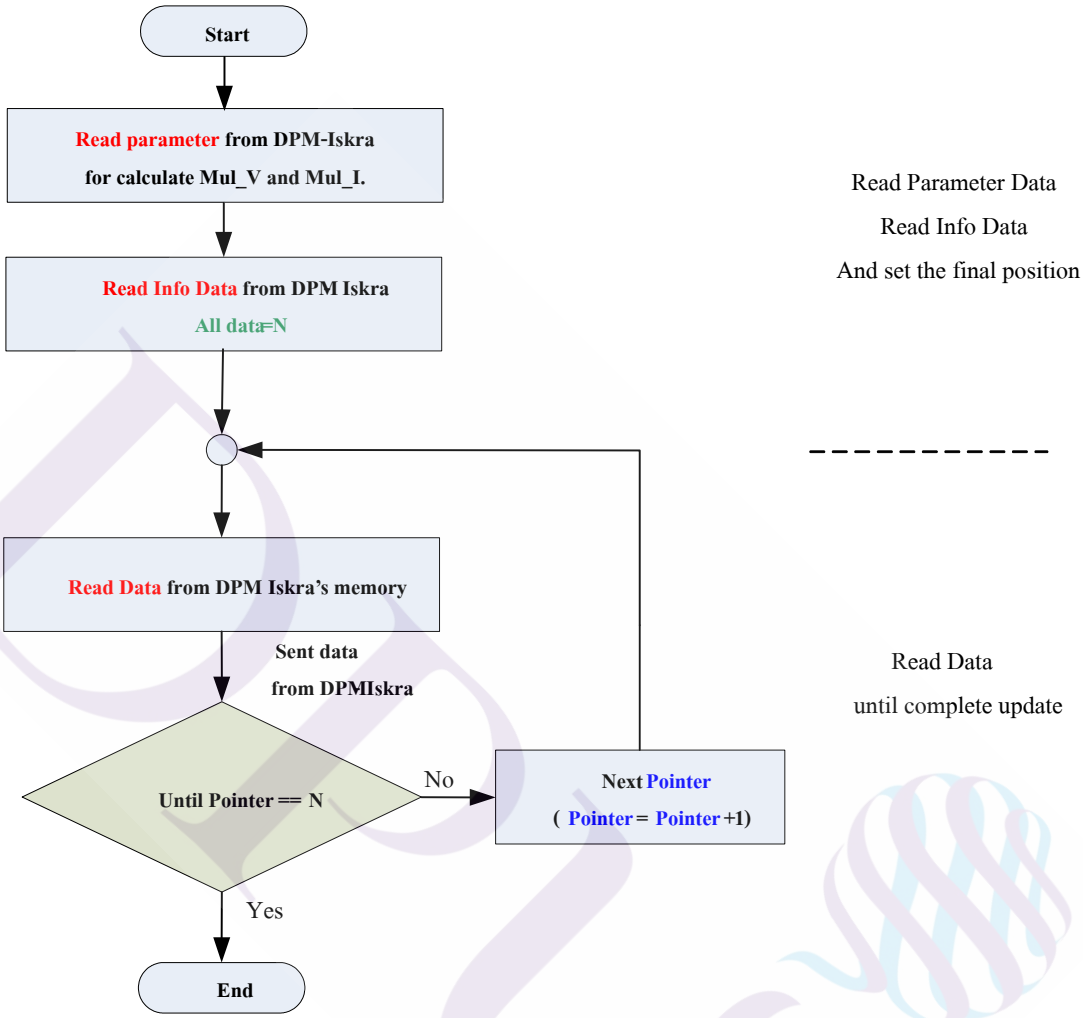
การแปลงข้อมูล date time stamp ในรูปแบบของเลขฐานสิบหกเป็นเวลาในรูปแบบปกติที่สามารถเข้าใจได้ง่ายนั้น เริ่มต้นโดยการแปลง date time stamp ในรูปแบบเลขฐานสิบหก 32 bits ให้เป็น date number ในเลขฐานสิบซึ่งอยู่ในรูปแบบวินาทีที่นับจากวินาทีอ้างอิงในวันที่ 1 มกราคม 1970 เวลา 00.00.00 น. ตามเวลามาตรฐานของ Network Time Protocal (NTP) โดยมีตัวอย่างการแปลงตามข้อมูลข้างใต้ และตามรูปที่ 3.11

5597 DFAA [Hex] = 1436016554 [DEC]

ทั้งนี้ เมื่อนำจำนวนวินาทีที่ได้คือ 1436016554 ไปคำนวณเป็นวินาทีที่นับจากวันที่ 1 มกราคม 1970 เวลา 00.00.00 น. ได้ผลลัพธ์คือวันที่ 4 กรกฎาคม 2015 เวลา 13.29.14 น. ตามรูปที่ 3.11

สำหรับการแปลงข้อมูลทางไฟฟ้าที่ถูกบันทึกในแต่ละ record ให้เป็นข้อมูลปกติที่อ่านเข้าใจได้ง่าย ตามตารางที่ 3.11 ในลำดับที่ 7 – 15 นั้น เนื่องจากมีรูปแบบชนิดข้อมูลเป็น unsigned integer 32 bits เหมือนกัน จึงสามารถแปลงข้อมูลจากเลขฐานสิบหก 32 bits ให้เป็นเลขฐานสิบแล้วจึงสามารถนำไปใช้งานได้ทันที

3.4.2 ฟังก์ชั่นสำหรับเรียกข้อมูลจาก DPM-ISKRA



ภาพที่ 3.12 Flowchart ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความของ DPM-Iskra

DPM ผลิตภัณฑ์ Iskra นั้น มีหน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีความจุมากถึง 8 MB จึงมีการออกแบบหน่วยความจำให้รองรับการจัดเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก โดยการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM-Iskra นั้นจะมีขั้นตอนตามรูปที่ 3.12

ในขั้นแรกก่อนที่จะทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM-Iskra จะต้องทำการอ่านค่าข้อมูลค่าย่านแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งาน Used Voltage Range, ข้อมูลค่าย่านกระแสไฟฟ้าที่ใช้งาน Used Current Range, CT Ratio และ VT Ratio เพื่อนำไปใช้คำนวณเป็นค่าประกอบการวัด ได้แก่ Mul_V คือ ตัวประกอบการคำนวณค่าต่างๆ เกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้า และ Mul_I คือตัวประกอบการ

คำนวณค่าต่างๆ เกี่ยวกับกระแสไฟฟ้า สำหรับนำไปใช้คูณค่าที่อ่านได้ในแต่ละ record เพื่อให้ได้ค่าจริงที่จะนำไปเก็บลงฐานข้อมูล ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 ดังนี้

$$Mul_V = (Used_Voltage_Range) \times ((Primary_Voltage) / (Secondary_Voltage)) / 10{,}000 \quad (3.1)$$

$$Mul_I = (Used\ Current\ Range) \times ((Primary_Current) / (Secondary_Current)) / 10{,}000 \quad (3.2)$$

เมื่อได้ค่าประกอบการวัดเป็น Mul_V และ Mul_I แล้ว จึงสามารถนำไปใช้ประกอบการคำนวณเพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากหน่วยความจำให้มีความถูกต้อง โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.3 – 3.7 ดังนี้

$$Voltage\ (V) = (Voltage\ Reading) \times (Mul_V) \quad (3.3)$$

$$Current\ (A) = (Current\ Reading) \times (Mul_I) \quad (3.4)$$

$$Power\ (kW) = (Power\ Reading) \times (Mul_V) \times (Mul_I) \times 10 \quad (3.5)$$

$$Energy\ (kWh, kVarh) = (Energy\ Reading) \times 10 \quad (3.6)$$

$$Power\ Factor = (Power\ Factor\ Reading) \times 0.0001 \quad (3.7)$$

ขั้นต่อมาในการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM-Iskra จะต้องทำการอ่านค่าข้อมูลภาพรวมก่อน ว่ามีการจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำทั้งหมดจำนวนกี่ค่า โดยมีรูปแบบของเฟรมข้อมูลตามรูปที่ 3.13 และมีรูปแบบเฟรมข้อมูลที่ตอบกลับตามรูปที่ 3.14 แล้วจึงทำการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำจนครบ โดยแต่ละรอบของการเรียกอ่านข้อมูลสามารถเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำได้ครั้งละ 1 record ดังนี้

List	Address	Function	Starting Address Hi	Starting Address Lo	No. 0f Points Hi	No. 0f Points Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8
Read info data	03	03	07	E5	00	42	D4	9A

ภาพที่ 3.13 Frame Data ที่ใช้เรียกอ่านข้อมูลภาพรวม (Info Data) ของหน่วยความจำ DPM-Iskra

List	Address	Function	Byte Count	...											CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	...	...	84	85	86	87	88	89	90	91	...	...	136	137
Response Data	03	03	84	...	...	RecA_32				RecB_32				...	...	...	...

Record B No. 32 bits

Record A No. 32 bits

ภาพที่ 3.14 Frame Data เฉพาะในส่วนสำคัญที่ได้รับตอบกลับจากการอ่านค่า ข้อมูลภาพรวม

จากรูปที่ 3.7 เมื่อทำการอ่านข้อมูลภาพรวม (Info Data) จากหน่วยความจำ โดยอ่านข้อมูลเริ่มจากตำแหน่ง 07E5[Hex] เป็นจำนวน 42[Hex] หรือ 66 ค่า จะได้รับข้อมูลตอบกลับตามรูปที่ 3.8 จำนวน 84[Hex] หรือ 132 ค่า ซึ่งในตำแหน่งที่ 84-87 จะระบุข้อมูลว่าข้อมูลในหน่วยความจำ Record A และในตำแหน่งที่ 88-91 จะระบุข้อมูลว่าข้อมูลในหน่วยความจำ Record B มีการเก็บข้อมูลจำนวนทั้งหมดกี่ค่าแล้ว จากนั้นจึงทำการเรียกอ่านข้อมูลข้อมูลจากหน่วยความจำ ครั้งละ 1 Record ต่อไป ดังรูปที่ 3.15

List / List	Address	Function	Record Name	Record No. (24 bits)			Record Length	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Read Memory data - Record A	03	44	00	00	00	06	12	24	C9

44 คือ Read Memory Function

00 คือ Record A
01 คือ Record B

12 คือ 1 record
24 คือ 2 records
36 คือ 3 records
48 คือ 4 records
5A คือ 5 records
6C คือ 6 records

ภาพที่ 3.15 Frame Data ในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ Record A

List	Address	Function	Record Name	Record No.			Record Length	Record Data							CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	...	...	42	43	44	45
Read Memory data - RecordA	03	44	00	00	00	06	12									

Record No. 0006

DateTime Stamp (32 bits)				A+ Energy (16 bits)		A- Energy (16 bits)		R+ Energy (16 bits)		R- Energy (16 bits)		Voltage A (16 bits)		Voltage B (16 bits)		Voltage C (16 bits)		Current A (16 bits)		Current B (16 bits)		Current C (16 bits)		PF A (16 bits)		PF B (16 bits)		PF B (16 bits)		PF Avg. (16 bits)		Active Power (16 bits)		Reactive Power (16 bits)	
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43

ภาพที่ 3.16 Frame Data ที่ได้รับจากการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

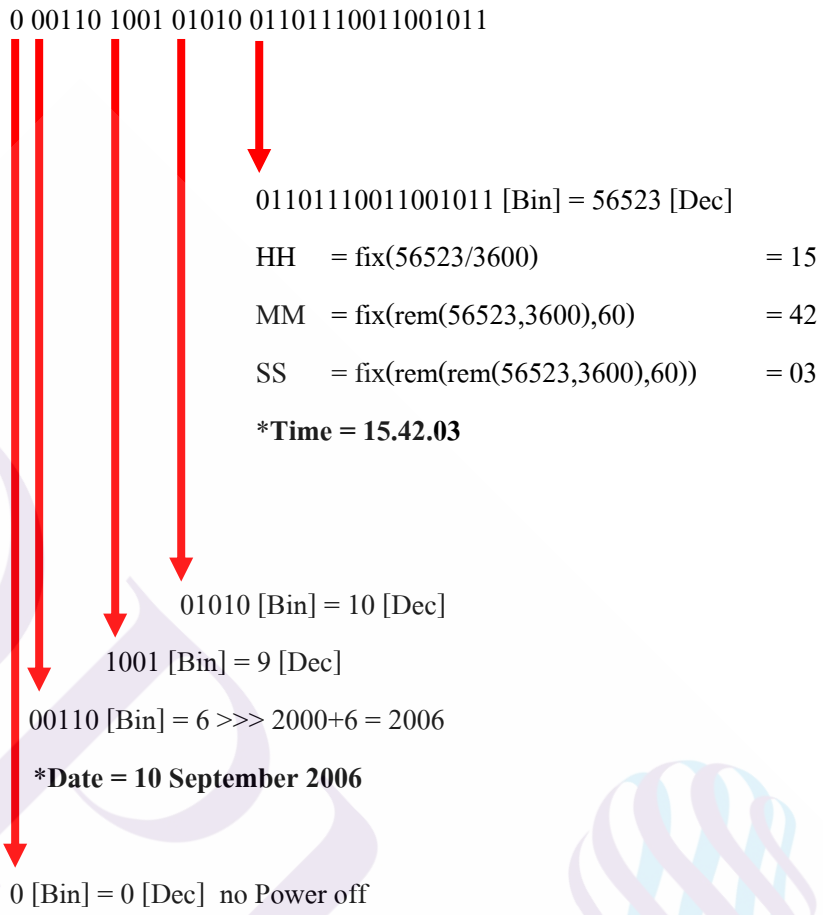
ตามรูปที่ 3.9 การเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำจะต้องเรียกอ่านด้วยใช้ Function 44[Hex] โดย Record Name จะมีค่าเป็น 00[Hex] เมื่อทำการเรียกอ่านข้อมูลจาก Record A และ Record Name จะมีค่าเป็น 01[Hex] เมื่อทำการเรียกอ่านข้อมูลจาก Record B โดยที่ Record No. จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ FFFFFF[Hex] ซึ่งตามรูปที่ 3.16 ทำให้เข้าใจได้ว่าฐานข้อมูลในปัจจุบันทำการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำถึง Record A ลำดับที่ 5 แล้ว และในครั้งนี้จะทำการเรียกอ่านข้อมูลในลำดับที่ 6 จำนวน 1 Record ตามที่ปรากฏค่า Record Length มีค้าท่ากับ 12[Hex]

ตามรูปที่ 3.10 แสดงถึงข้อมูลที่ได้รับการตอบกลับจากการขออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ Record A ลำดับที่ 000006[Hex] โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ต้องมีการแปลงข้อมูลจากเลขฐาน 16 เป็นเลขฐาน 10 ตามสมการวิธีคำนวณของมิเตอร์ ทั้งนี้ในส่วนของ DateTime Stamp จะแสดงข้อมูลในตำแหน่งที่ 8-11 ของเฟรมที่ตอบกลับ โดยสามารถแปลงเป็นข้อมูล DateTime Stamp ให้เข้าใจได้โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 3.5 และมีตัวอย่างการแปลงข้อมูลตามรูปที่ 3.17

ตารางที่ 3.5 การแปลงข้อมูล DateTime Stamp ของ DPM-Iskra จากข้อมูลไบนารี่ 32 bits

Date Time Stamp	
ลำดับ Bit ที่	**Date and Time (32 bits)**
31	Power Off
30	Reserved
26 - 29	(Year-2000)
22 - 25	Month of year (1 - 12)
17 - 21	Day of month (1 - 31)
00 - 16	Seconds in Day (0 - 86400)

DCCB 1A54 [Hex] = 0001101001010100110111001100 1011 [Bin]



ภาพที่ 3.17 การแปลงค่า Date time Stamp จากเลขฐานสิบหกให้เป็นข้อมูลที่เข้าใจได้ด้วยฟังก์ชั่น matlab

สำหรับรายละเอียดชนิดข้อมูลทางไฟฟ้าของ DPM Iskra ที่ถูกบันทึกลงในแต่ละ record จะเป็นไปตามตารางที่ 3.6 ตั้งแต่ลำดับที่ 3 – 18 ซึ่งแต่ละชนิดข้อมูลจะต้องคูณตัวคูณซึ่งสอดคล้องกับการตั้งการค่าวัดของมิเตอร์ใน Setting ของมิเตอร์ โดยที่ข้อมูลแบบ UINT16 หรือ UINT32 จะเป็นการแปลงข้อมูลจากเลขฐานสิบหกเป็นเลขฐานสิบตามปกติ ตามจำนวน bit ของข้อมูล

ตารางที่ 3.6 รูปแบบข้อมูล load profile ในแต่ละ record ของ DPM-Iskra

No.	Data Log Records	TYPE	Range		Multiple
			Min	Max	
1	Record Sequence Number	-	0	16777215 (FFFFFF)	-
2	Record time	32 bits coding	Following table 3.5		
3	Export Wh	UINT16	0	655,350 kWh (FFFF)	10
4	Export Varh	UINT16	0	655,350 kWh (FFFF)	10
5	Import Wh	UINT16	0	655,350 kVarh (FFFF)	10
6	Import Varh	UINT16	0	655,350 kVarh (FFFF)	10
7	Voltage A	UINT16	0	Vmax	Mul_V
8	Voltage B	UINT16	0	Vmax	Mul_V
9	Voltage C	UINT16	0	Vmax	Mul_V
10	Current A	UINT16	0	Imax	Mul_I
11	Current B	UINT16	0	Imax	Mul_I
12	Current C	UINT16	0	Imax	Mul_I
13	Power Factor A	INT16	- 1.0000	1.0000	x 0.0001
14	Power Factor B	INT16	- 1.0000	1.0000	x 0.0001
15	Power Factor C	INT16	- 1.0000	1.0000	x 0.0001
16	Power Factor Average	INT16	- 1.0000	1.0000	x 0.0001
17	Total Real Power	INT16	- Pmin	Pmax	3 x Mul_V x Mul_I x 10
18	Total Reactive Power	INT16	- Pmin	Pmax	3 x Mul_V x Mul_I x 10

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าทางไฟฟ้าที่ถูกต้อง สำหรับข้อมูลที่อ่านได้จากหน่วยความจำของ DPM-Iskra กำหนดให้ DPM-Iskra วงจรสถานีไฟฟ้าหัวหิน3 ระบบ 115 kV ตั้งค่ามิเตอร์ดังนี้ VT Ratio = 115,000/115, CT Ratio = 1,800/1 , Used Voltage Range = 115 V , Used Current Range = 5 โดยข้อมูลที่อ่านได้จากหน่วยความจำมี ดังนี้

Voltage A ที่อ่านได้ คือ 27C0 [Hex]

Current A ที่อ่านได้ คือ 02DC [Hex]

Power Factor Average ที่อ่านได้คือ DEC6 [Hex]

Total Real Power ที่อ่านได้คือ FBB7 [Hex]

จะสามารถคำนวณเป็นข้อมูลแรงดันที่ถูกต้องโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.6 ประกอบการคำนวณได้ ดังนี้

จาก Mul_V = (Used Voltage Range) * ((Primary_Voltage) / (Secondary_Voltage)) / 10,000

Mul_V = 115 * (115,000 / 115) / 10,000

ดังนั้น Mul_V = 11.5

จาก Voltage A = hex2dec(27C0) * Mul_V

Voltage A = 10176*x 11.5

ดังนั้น Voltage A = 117,024 V

จาก Mul_I = (Used Current Range) * ((Primary_Current) / (Secondary_Current)) / 10,000

Mul_I = 5 * (1800 / 1) / 10,000

ดังนั้น Mul_I = 0.9

จาก Current A = hex2dec(02DC) * Mul_I

Current A = 732 * 0.9

ดังนั้น Current A = 658.8 A

จาก Power Factor = INT16 (DEC6) * 0.0001

โดยที่ INT16 (DEC6) = Signed High Order (DE) + Unsigned Low Order (C6)

กรณีที่ High Order มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 127 ให้ใช้ค่านั้นตามปกติ แต่ถ้าในกรณีที่ High Order มีค่ามากกว่า 127 ให้นำค่านั้น -256 เพื่อแปลงเป็นค่าลบ แล้วจึงนำไปใช้คำนวณโดย *256 ซึ่งจากข้อมูลนี้ High Order คือ DE [Hex] = hex2dec(DE) = 222 [Dec] ดังนั้น

INT16 (DEC6) = signed (DE) + unsigned (C6)

INT16 (DEC6) = ((222 – 256) * 256) + hex2dec(C6)

INT16 (DEC6) = (-34 * 256) + 198

INT16 (DEC6) = - 8704 + 198

ดังนั้น INT16 (DEC6) = - 8506

จาก Power Factor = INT16 (DEC6) * 0.0001

Power Factor = - 8506 * 0.0001

Power Factor = - 0.8506 หรือ Leading Power Factor 0.8506

จาก Total Real Power = INT16 (FBB7) * Mul_V * Mul_I * 10,000

= Signed High Order (FB) + Unsigned Low Order (B7) * Mul_V * Mul_I * 10,000

= (((hex2dec(FB) – 256) * 256) + hex2dec(B7)) * 11.5 * 0.9 * 10,000

= (((251 – 256) * 256) + 183) * 11.5 * 0.9 * 10,000

= -113,539,500 Watt หรือ -113,539.50 kW

3.4.3 ฟังก์ชั่นการตั้งค่าเวลาใน DPM-SATEC

การตั้งค่าเวลาใน DPM-SATEC นั้น สามารถตั้งค่าโดยใช้ฟังก์ชั่น 10 [Hex] หรือฟังก์ชั่น 16 Preset Multiple Register ในโปรโตคอล Modbus RTU ในตำแหน่งที่ 4352 [Dec] – 4357 [Dec] ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละตำแหน่งตามตารางที่ 3.7 ดังนี้

ตารางที่ 3.7 ข้อมูล Register สำหรับการตั้งค่าเวลาใน DPM-SATEC

Address		Details	Range of data	Type
Hex	Dec			
1100	4352	Second	0 - 59	UINT16
1101	4353	Minutes	0 - 59	UINT16
1102	4354	Hour	0 - 23	UINT16
1103	4355	Day of Month	1 - 31	UINT16
1104	4356	Month	1 - 12	UINT16
1105	4357	Year	Calendar year - 2000	UINT16

ทั้งนี้เมื่อนำรายละเอียดดังตารางที่ 3.7 ไปกำหนดในเฟรมข้อมูลสำหรับตั้งค่าเวลา DPM-SATEC จะได้ลักษณะเฟรมข้อมูลดังรูปที่ 3.18

List	Address	Function	Starting Address Hi	Starting Address Lo	No. of Register Hi	No. of Register Lo	Byte count	Second Hi	Second Lo	Minute Hi	Minute Lo	Hour Hi	Hour Lo	Date Hi	Date Lo	Month Hi	Month Lo	Year-2000 Hi	Year-2000 Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Value		10	11	00	00	07	0E														

ภาพที่ 3.18 เฟรมข้อมูลสำหรับตั้งเวลา DPM-SATEC

3.4.4 ฟังก์ชั่นการตั้งค่าเวลาใน DPM-Iskra

การตั้งค่าเวลาใน DPM-Iskra นั้น ไม่สามารถตั้งค่าโดยใช้ฟังก์ชั่น 10 [Hex] หรือฟังก์ชั่น 16 Preset Multiple Register ในโปรโตคอล Modbus RTU ได้ จะต้องทำการตั้งค่าโดยใช้ฟังก์ชั่น 06 [Hex] หรือฟังก์ชั่น 6 Preset Single Register ครั้งละข้อมูลโดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.8 ดังนี้

ตารางที่ 3.8 ข้อมูล Register สำหรับการตั้งค่าเวลาใน DPM-Iskra

No.	Address			Details	Range of data (Hexadecimal)
	Hex	Dec	Position		
1	A1	161	Hi	-	-
			Lo	Second	00 – 59
2	A2	162	Hi	Minutes	00 – 59
			Lo	Hour	00 – 23
3	A3	163	Hi	Date	01 – 31
			Lo	Month	01 – 12
4	A4	164	Hi	Year	00 – FF
			Lo	Year	00 – FF

ตามตารางที่ 3.8 การตั้งค่าเวลาใน DPM-Iskra จะต้องทำการตั้งค่าทีละตำแหน่งข้อมูลเท่านั้น โดยเมื่อสมมุติให้เวลาที่จะตั้งค่าคือ วันที่ 14-06-2018 เวลา 15.42.37 น. จะต้องทำการเขียนข้อมูลลง DPM-Iskra จำนวน 4 รอบ ตามรูปที่ 3.18

No.	List	Address	Function	Register Address Hi	Register Address Lo	Preset Data Hi	Preset Data Lo	CRC16 Hi	CRC16 Lo
	Frame Position	1	2	3	4	5	6	7	8
1	**Value**		06	00	A1	00	37		
2	**Value**		06	00	A1	42	15		
3	**Value**		06	00	A1	14	06		
4	**Value**		06	00	A1	07	E2		

ภาพที่ 3.19 เฟรมข้อมูลในแต่ละรอบส่งที่ข้อมูลไปตั้งค่าวันที่และเวลา DPM-Iskra

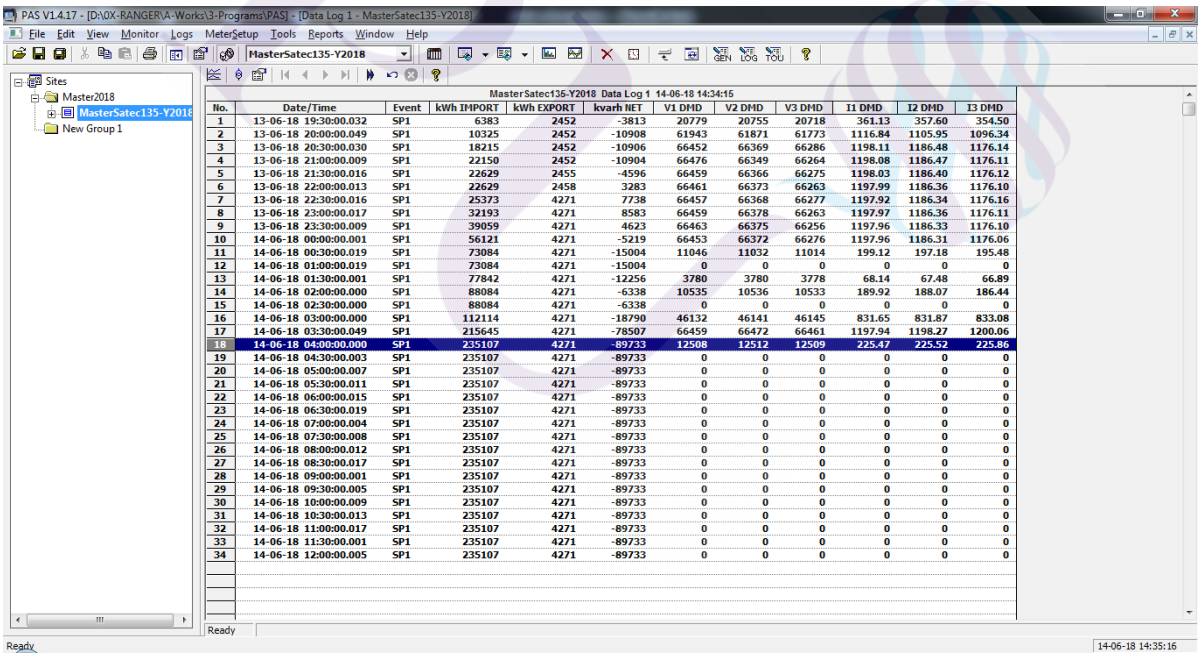
จากรูปที่ 3.19 จะสังเกตเห็นว่าข้อมูลวินาที นาที ชั่วโมง วันที่ และเดือนนั้น จะเป็นการนำข้อมูลวันที่และเวลาระบุลงไปในเฟรมที่เป็นค่า Hexadecimal ตรงๆ ยกเว้นในส่วนของปีที่จะทำการแปลงค่าปีจากค่า Decimal ไปเป็นค่า Hexadecimal ก่อนแล้วจึงส่งข้อมูลไปตั้งค่า

บทที่ 4

ผลการทดลอง

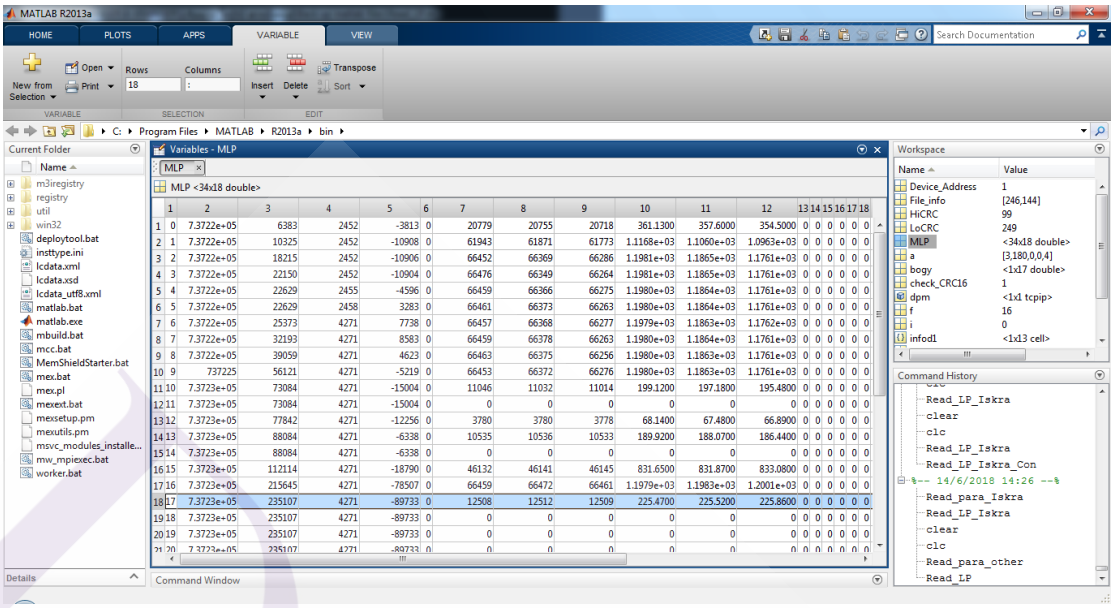
งานวิจัยนี้พัฒนาเพื่ออ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำ Digital Power Meter (DPM) ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ (ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีใช้งานในปัจจุบัน) โดยมุ่งเน้นเพื่อเป็นต้นแบบของตัวกลางในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM หลายผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อนำมาทดลองใช้งานกับ DPM จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ DPM-SATEC และ DPM-ISKRA ปรากฏผลดังนี้

4.1 วิเคราะห์ผลการทำงานของชุดคำสั่งในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM-SATEC โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะกับ DPM-SATEC (PAS Software)



No.	Date/Time	Event	kWh IMPORT	kWh EXPORT	kvarh NET	V1 DMD	V2 DMD	V3 DMD	I1 DMD	I2 DMD	I3 DMD
1	13-06-18 19:30:00.032	SP1	6383	2452	-3813	20779	20755	20718	361.13	357.60	354.50
2	13-06-18 20:00:00.049	SP1	10325	2452	-10908	61943	61871	61773	1116.84	1105.95	1096.34
3	13-06-18 20:30:00.030	SP1	18215	2452	-10906	66452	66369	66286	1198.11	1186.48	1176.14
4	13-06-18 21:00:00.009	SP1	22150	2452	-10904	66476	66349	66264	1198.08	1186.47	1176.11
5	13-06-18 21:30:00.016	SP1	22629	2455	-4596	66459	66366	66275	1198.03	1186.40	1176.12
6	13-06-18 22:00:00.013	SP1	22629	2458	3283	66461	66373	66263	1197.99	1186.36	1176.10
7	13-06-18 22:30:00.016	SP1	25373	4271	7738	66457	66368	66277	1197.92	1186.34	1176.16
8	13-06-18 23:00:00.017	SP1	32193	4271	8583	66459	66378	66263	1197.97	1186.36	1176.11
9	13-06-18 23:30:00.009	SP1	39059	4271	4623	66463	66375	66256	1197.96	1186.33	1176.10
10	14-06-18 00:00:00.001	SP1	56121	4271	-5219	66453	66372	66276	1197.96	1186.31	1176.06
11	14-06-18 00:30:00.019	SP1	73084	4271	-15004	11046	11032	11014	199.12	197.18	195.48
12	14-06-18 01:00:00.019	SP1	73084	4271	-15004	0	0	0	0	0	0
13	14-06-18 01:30:00.001	SP1	77842	4271	-12256	3780	3780	3778	68.14	67.48	66.89
14	14-06-18 02:00:00.000	SP1	88084	4271	-6338	10535	10536	10533	189.92	188.07	186.44
15	14-06-18 02:30:00.000	SP1	88084	4271	-6338	0	0	0	0	0	0
16	14-06-18 03:00:00.000	SP1	112114	4271	-18790	46132	46141	46145	831.65	831.87	833.08
17	14-06-18 03:30:00.049	SP1	215645	4271	-78507	66459	66472	66461	1197.94	1198.27	1200.06
18	14-06-18 04:00:00.000	SP1	235107	4271	-89733	12508	12512	12509	225.47	225.52	225.86
19	14-06-18 04:30:00.003	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
20	14-06-18 05:00:00.007	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
21	14-06-18 05:30:00.011	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
22	14-06-18 06:00:00.015	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
23	14-06-18 06:30:00.019	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
24	14-06-18 07:00:00.004	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
25	14-06-18 07:30:00.008	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
26	14-06-18 08:00:00.012	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
27	14-06-18 08:30:00.017	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
28	14-06-18 09:00:00.001	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
29	14-06-18 09:30:00.005	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
30	14-06-18 10:00:00.009	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
31	14-06-18 10:30:00.013	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
32	14-06-18 11:00:00.017	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
33	14-06-18 11:30:00.001	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0
34	14-06-18 12:00:00.005	SP1	235107	4271	-89733	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 4.1 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-SATEC ด้วยโปรแกรม PAS

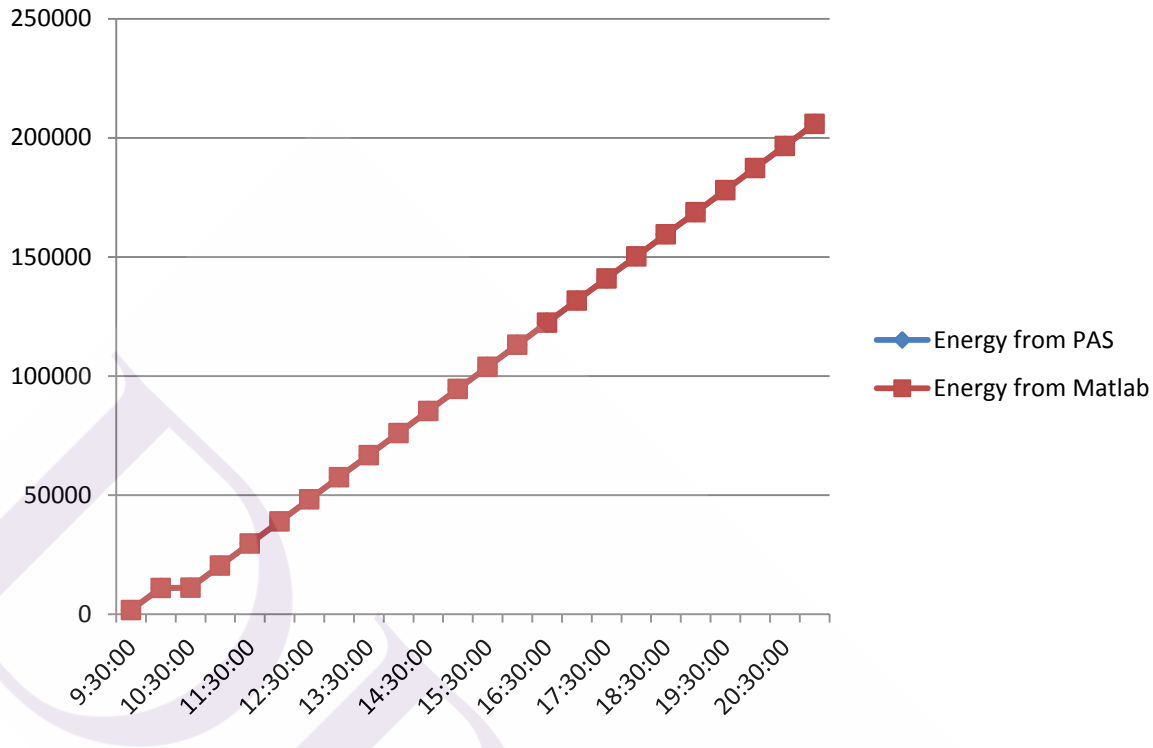


ภาพที่ 4.2 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-Satec ด้วยชุดคำสั่งที่พัฒนาในโปรแกรม Matlab

เมื่อเปรียบเทียบผลการเรียกอ่านข้อมูลของ DPM-SATEC ที่ได้จากโปรแกรม PAS ตามรูปที่ 4.1 กับชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Matlab ตามรูปที่ 4.2 แล้ว พบว่าสามารถเรียกอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องและมีการจัดเก็บข้อมูลตามที่ได้ออกแบบฐานข้อมูลไว้ โดยเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าตามที่โปรแกรม PAS จัดเก็บไว้ มาวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Average error) ของข้อมูลจะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทุกพารามิเตอร์ไฟฟ้าจะอยู่ที่ 0% ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม PAS และที่ได้จากชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Matlab มาแสดงกราฟเปรียบเทียบ จะพบว่ากราฟมีการซ้อนทับกันโดยสมบูรณ์ ตามรูปที่ 4.3

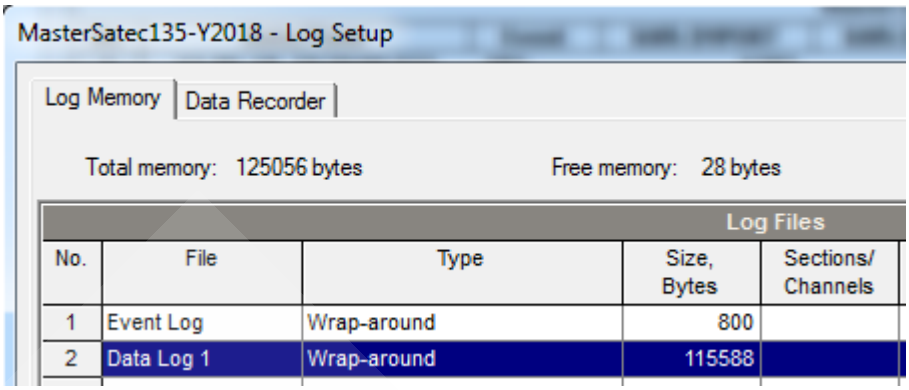
ตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลจากโปรแกรม PAS และจาก Matlab

Average error (%)								
kWh IMPORT	**kWh EXPORT**	**kVarh NET**	**V1 DMD**	**V2 DMD**	**V3 DMD**	**I1 DMD**	**I2 DMD**	**I3 DMD**
0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%



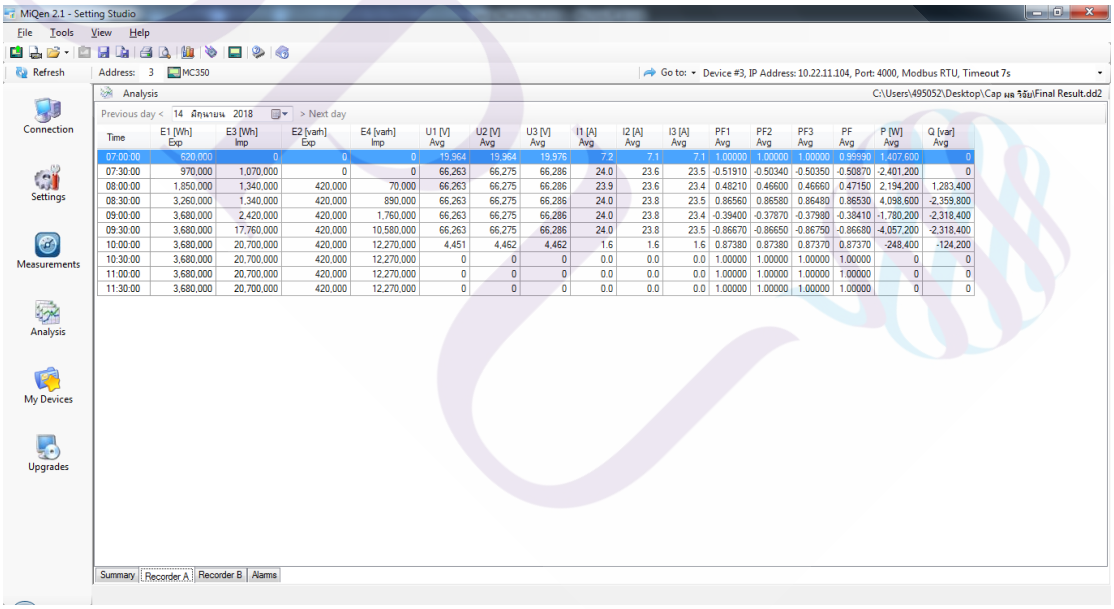
ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลพลังงานไฟฟ้า จาก PAS และจากชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วย Matlab

แต่อย่างไรก็ตาม จะพบว่าข้อมูลที่เรียกอ่านได้จาก DPM-Satec มีข้อมูลที่จัดเก็บไม่ครบตามที่ได้ออกแบบฐานข้อมูลไว้ ทั้งนี้เนื่องจากตามข้อกำหนดทางเทคนิคของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดให้ DPM ทุกแบบต้องจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าที่สำคัญได้อย่างน้อย 4 Channel และเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 35 วัน แม้ว่า DPM-SATEC จะผ่านข้อกำหนดนี้ แต่เนื่องจากมีหน่วยความจำภายในที่มีขนาดจำกัดเพียง 125,056 Bytes ตามรูปที่ 4.4 ทำให้สามารถเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 9 channel เป็นระยะเวลา 30 วัน จึงทำให้มีข้อมูลไม่ครบตามฐานข้อมูลที่ออกแบบไว้

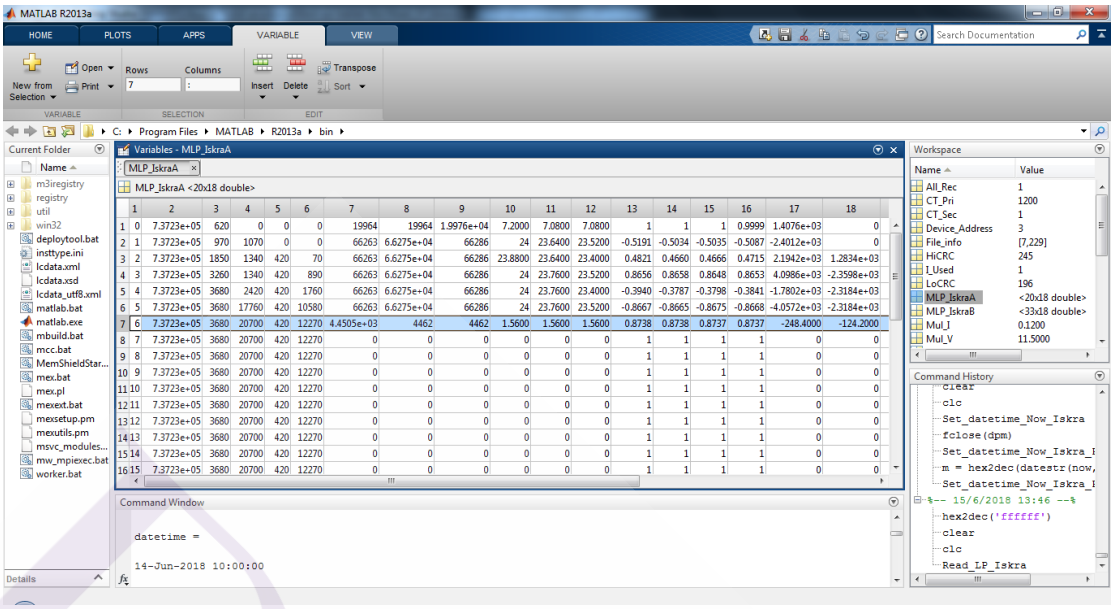


ภาพที่ 4.4 ขนาดความจุของหน่วยความจำภายใน DPM-SATEC

4.2 วิเคราะห์ผลการทำงานของชุดคำสั่งในการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM-Iskra โดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะกับ DPM-Iskra (MiQen2.1 Software)



ภาพที่ 4.5 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-Iskra ด้วยโปรแกรม MiQen2.1



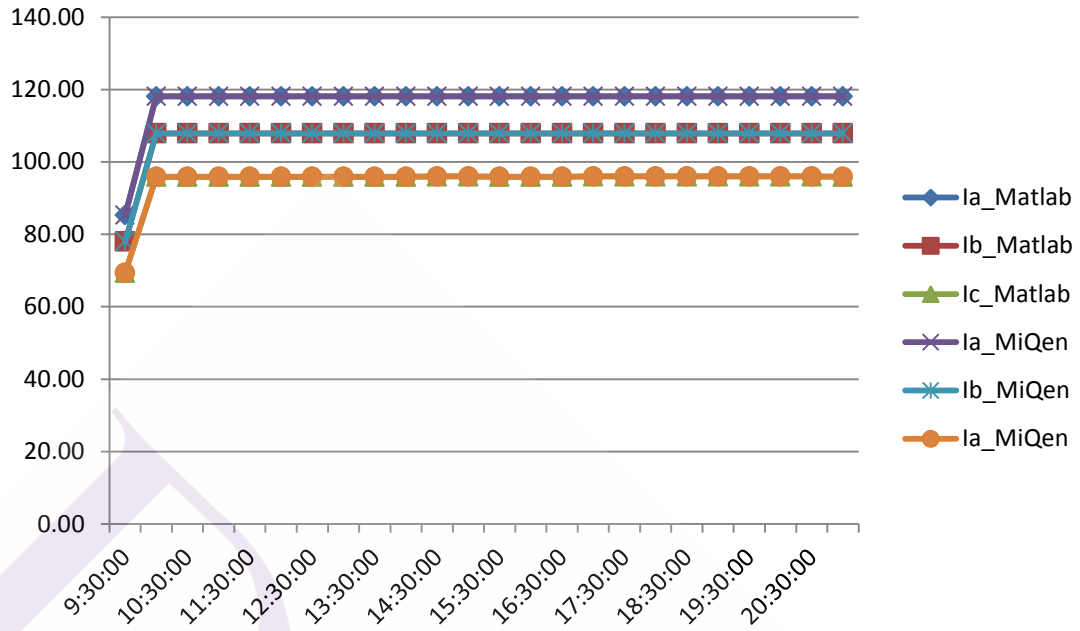
ภาพที่ 4.6 ผลการเรียกอ่านข้อมูลจาก DPM-Iskra ด้วยชุดคำสั่งที่พัฒนาในโปรแกรม Matlab

เมื่อเปรียบเทียบผลการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM-ISKRA ที่ได้จากโปรแกรม MiQen2.1 ตามรูปที่ 4.5 กับชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Matlab ตามรูปที่ 4.6 แล้วพบว่าสามารถเรียกอ่านข้อมูลได้โดยอย่างถูกต้องสำหรับกลุ่มข้อมูลพลังงานไฟฟ้า (Energy) กลุ่มข้อมูลตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) และกลุ่มข้อมูลกำลังไฟฟ้า (Power) และสามารถเรียกอ่านข้อมูลโดยมีค่าใกล้เคียงกันมากในกลุ่มข้อมูลแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) โดยแสดงค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามตารางที่ 4.2

No.	Parameter	Average error (%)
1	Export Active Energy	0.000000
2	Import Active Energy	0.000000
3	Export Reactive Energy	0.000000
4	Import Reactive Energy	0.000000
5	Voltage A	0.000004
6	Voltage B	0.000003
7	Voltage C	0.000004
8	Current A	-0.015255
9	Current B	-0.017767
10	Current C	-0.013702
11	PF A	0.000000
12	PF B	0.000000
13	PF C	0.000000
14	PF Average	0.000000
15	Active Power	0.000000
16	Reactive Power	0.000000

ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างข้อมูลจากโปรแกรม Miqen2.1 และจาก Matlab

สำหรับในกลุ่มที่ข้อมูลมีความแตกต่างกันนั้น มีสาเหตุมาจากโปรแกรม MiQen2.1 ได้มีการแปลงค่าที่เรียกอ่านได้จากหน่วยความจำให้เป็นให้เป็นจำนวนเต็มโดยมีการปัดทศนิยมตามรูปแบบปกติ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้พิจารณาแล้วให้ข้อมูลที่อ่านได้นั้นไม่จำเป็นต้องมีการปัดทศนิยม เพื่อคงความถูกต้องสูงสุดไว้ จึงส่งผลให้ค่าที่เรียกอ่านจากโปรแกรม MiQen2.1 กับชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Matlab มีความแตกต่างกันเล็กน้อยตามตารางที่ 4.2 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดจากโปรแกรม MiQen2.1 กับข้อมูลที่ได้จากชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วยโปแกรม Matlab มาเปรียบเทียบในรูปแบบกราฟเส้นจะพบว่า ข้อมูลมีการซ้อนทับกันเกือบสมบูรณ์ตามรูปที่ 4.7 เนื่องจากข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยมาก



ภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลกระแสไฟฟ้า จาก MiQen2.1 และจากชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วย Matlab

นอกจากนี้ ด้วยการที่หน่วยความจำของ DPM-Iskra มีขนาดความจุมากถึง 8 MB ทำให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและมีระยะเวลาในการจัดเก็บยาวนานกว่า

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่เรียกอ่านได้จากหน่วยความจำของ DPM ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์

จากงานวิจัยพบว่า DPM-SATEC มีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าแต่ละค่าลงในหน่วยความจำ เป็นแบบ Unsigned 32-bit integer และแบบ Signed 32-bit integer ซึ่งมีข้อดีในการที่สามารถแปลงเป็นข้อมูลจริงได้ในทันที เนื่องจากข้อมูลแบบ 32-bit นั้น เพียงพอต่อการจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าที่สำคัญได้ครบทุกหลักข้อมูลอยู่แล้ว อีกทั้งในกรณีที่หากมีการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด ได้แก่ CT Ratio หรือ VT Ratio ที่มีผลต่อค่าการวัด จะไม่ส่งผลให้ค่าที่แท้จริงเปลี่ยนแปลงไป แต่หากเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าของ DPM-Iskra ที่เป็นแบบ Unsigned 16-bit integer และแบบ Signed 16-bit integer ที่จะต้องมีตัวคูณประกอบการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงแล้ว ถือว่าข้อมูล 32-Bit นั้นใช้พื้นหน่วยความจำค่อนข้างมาก

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการจัดเก็บข้อมูลไฟฟ้าแบบ Unsigned 16-bit integer และแบบ Signed 16-bit integer ที่ต้องใช้ตัวคูณประกอบการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงนั้น จะใช้พื้นที่ใน

การจัดเก็บข้อมูลน้อยกว่า แต่ก็มีข้อเสียในการจัดเก็บข้อมูลไม่เพียงพอ ยกตัวอย่างจากกรณีที่ DPM-Iskra มีจัดเก็บข้อมูล Energy ทั้ง 4 รูปแบบ โดยใช้หน่วยเป็น Wh และ Varh แม้ว่าจะมีตัวคูณอยู่ที่ 10,000 เพื่อพยายามที่จะจัดเก็บข้อมูลที่มีปริมาณมากให้ได้ แต่ก็จะไม่เพียงพอในระยะเวลาไม่นาน เนื่องจากข้อมูลมากสุดกรณี 16-Bit คือ 65535 ซึ่งเมื่อคูณตัวประกอบการคำนวณพลังงาน 10,000 แล้ว ก็จะให้ค่าสูงสุดได้อยู่ที่ 655,350,000 Wh (คิดเป็น 655,350 kWh) หรือ 655,350,000 Varh (คิดเป็น 655,350 kVarh) ในจุดนี้เองบริษัทซึ่งเป็นตัวแทนผู้จำหน่าย DPM-Iskraในประเทศไทย ได้ประสานไปยังผู้ผลิตมิเตอร์แล้วแต่ได้ให้สัญญาในการที่จะแก้ไขการจัดเก็บข้อมูลพลังงานโดยมีหน่วยเป็น kWh และมีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าต่างๆ เป็นแบบ Unsigned 32-bit integer เพื่อให้เพียงพอรองรับในการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ DPM-Iskra สามารถแสดงผลได้ เสมือนกับที่ DPM-SATEC จัดเก็บข้อมูลอยู่ในปัจจุบัน

นอกจากนี้ การจัดเก็บข้อมูลไฟฟ้าแบบ Unsigned 16-bit integer และแบบ Signed 16-bit integer ที่ต้องใช้ตัวคูณประกอบการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงยังมีข้อเสียอีกกรณี กล่าวคือ ในกรณีที่หากยังไม่มีการอ่าน Load Profile แต่ละ record ไปจัดเก็บลงฐานข้อมูล แต่มีการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าที่เกี่ยวข้องกับการวัดได้แก่ VT Ratio, CT Ratio , Voltage usage range และ Current usage range จะส่งผลให้ค่าที่แท้จริงที่ได้เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การปรับเปลี่ยนการตั้งค่าใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดจะต้องทำการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำทั้งหมดให้แล้วเสร็จก่อน หรือให้ดำเนินการล้างข้อมูลในหน่วยความจำให้แล้วเสร็จก่อน จึงจะสามารถปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัดต่างๆ ได้ มิฉะนั้นข้อมูลที่ได้จะมีบางส่วนของข้อมูล เป็นข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง

Setting	Value
Connection mode	4u - 3 phase 4 wire unbalanced
Primary voltage (V)	115000
Secondary voltage (V)	115
Primary current (A)	1200
Secondary current (A)	1
Used voltage range (V)	115
Used current range (A)	1
Frequency nominal value (Hz)	50
Wrong connection warning	Yes
Energy flow direction	Normal
CT Connection	Normal

ภาพที่ 4.8 การตั้งค่า DPM-Iskra ก่อนการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด

Previous day < 14 มิถุนายน 2018 > Next day

Time	E1 [Wh] Exp	E3 [Wh] Imp	E2 [varh] Exp	E4 [varh] Imp	U1 [V] Avg	U2 [V] Avg	U3 [V] Avg	I1 [A] Avg	I2 [A] Avg	I3 [A] Avg	PF1 Avg	PF2 Avg	PF3 Avg	PF Avg	P [W] Avg	Q [var] Avg
07:00:00	620,000	0	0	0	19,964	19,964	19,976	7.2	7.1	7.1	1.00000	1.00000	1.00000	0.99990	1,407,600	0
07:30:00	970,000	1,070,000	0	0	66,263	66,275	66,286	24.0	23.6	23.5	-0.51910	-0.50340	-0.50350	-0.50870	-2,401,200	0
08:00:00	1,850,000	1,340,000	420,000	70,000	66,263	66,275	66,286	23.9	23.6	23.4	0.48210	0.46600	0.46660	0.47150	2,194,200	1,283,400
08:30:00	3,260,000	1,340,000	420,000	890,000	66,263	66,275	66,286	24.0	23.8	23.5	0.86560	0.86580	0.86480	0.86530	4,098,600	-2,359,800
09:00:00	3,680,000	2,420,000	420,000	1,760,000	66,263	66,275	66,286	24.0	23.8	23.4	-0.39400	-0.37870	-0.37980	-0.38410	-1,780,200	-2,318,400
09:30:00	3,680,000	17,760,000	420,000	10,580,000	66,263	66,275	66,286	24.0	23.8	23.5	-0.86670	-0.86650	-0.86750	-0.86680	-4,057,200	-2,318,400
10:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	4,451	4,462	4,462	1.6	1.6	1.6	0.87380	0.87380	0.87370	0.87370	-248,400	-124,200
10:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
11:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
11:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
20:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
20:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
21:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
21:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
22:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0

ภาพที่ 4.9 ข้อมูลที่เรียกอ่านได้จากหน่วยความจำ DPM-Iskra ก่อนปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด

จากรูปที่ 4.8 เป็นการอ่านข้อมูลการตั้งค่าการวัดจาก DPM-Iskra ก่อนที่จะมีการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด ซึ่งเมื่อเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำจะมีข้อมูลเป็นไปตามรูปที่ 4.9

Setting	Value
Connection mode	4u - 3 phase 4 wire unbalanced
Primary voltage (V)	22000
Secondary voltage (V)	110
Primary current (A)	600
Secondary current (A)	1
Used voltage range (V)	110
Used current range (A)	1
Frequency nominal value (Hz)	50
Wrong connection warning	Yes
Energy flow direction	Normal
CT Connection	Normal

ภาพที่ 4.10 การปรับเปลี่ยนการตั้งค่า DPM-Iskra เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

Previous day < 14 มิถุนายน 2018 > Next day

Time	E1 [Wh] Exp	E3 [Wh] Imp	E2 [varh] Exp	E4 [varh] Imp	U1 [V] Avg	U2 [V] Avg	U3 [V] Avg	I1 [A] Avg	I2 [A] Avg	I3 [A] Avg	PF1 Avg	PF2 Avg	PF3 Avg	PF Avg	P [W] Avg	Q [var] Avg
07:00:00	620,000	0	0	0	3,819	3,819	3,821	3.60	3.54	3.54	1.00000	1.00000	1.00000	0.99990	134,640	0
07:30:00	970,000	1,070,000	0	0	12,676	12,679	12,681	12.00	11.82	11.76	-0.51910	-0.50340	-0.50350	-0.50870	-229,680	0
08:00:00	1,850,000	1,340,000	420,000	70,000	12,676	12,679	12,681	11.94	11.82	11.70	0.48210	0.46600	0.46660	0.47150	209,880	122,760
08:30:00	3,260,000	1,340,000	420,000	890,000	12,676	12,679	12,681	12.00	11.88	11.76	0.86560	0.86580	0.86480	0.86530	392,040	-225,720
09:00:00	3,680,000	2,420,000	420,000	1,760,000	12,676	12,679	12,681	12.00	11.88	11.70	-0.39400	-0.37870	-0.37980	-0.38410	-170,280	-221,760
09:30:00	3,680,000	17,760,000	420,000	10,580,000	12,676	12,679	12,681	12.00	11.88	11.76	-0.86670	-0.86650	-0.86750	-0.86680	-388,080	-221,760
10:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	851	854	854	0.78	0.78	0.78	0.87380	0.87380	0.87370	0.87370	-23,760	-11,880
10:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
11:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
11:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
20:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
20:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
21:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
21:30:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0
22:00:00	3,680,000	20,700,000	420,000	12,270,000	0	0	0	0.00	0.00	0.00	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0	0

ภาพที่ 4.11 ข้อมูลที่อ่านได้จาก DPM-Iskra ภายหลังจากปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัด

ภายหลังจากการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัดของ DPM-Iskra ตามรูปที่ 4.10 แล้ว จะพบว่าข้อมูลที่เรียกอ่านได้จากหน่วยความจำของ DPM-Iskra บางส่วนมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ตามรูปที่ 4.11 ทั้งนี้ เนื่องจากค่าใดที่มาจากการคำนวณร่วมกับตัวคูณประกอบคำนวณ Mul_V และ Mul_I เพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริง เมื่อมีการปรับเปลี่ยนการตั้งค่า VT Ratio, CT Ratio, Voltage Usage Range และ Current Usage Range ส่งผลให้ค่าตัวคูณประกอบการคำนวณ Mul_V และ Mul_I เปลี่ยนแปลงไป ก็จะส่งผลให้ค่าที่แท้จริงที่โปรแกรม MiQen2.1 หรือที่ Matlab นำมาแสดงมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งค่าเหล่านั้นได้แก่ Voltage, Current, Active Power และ Reactive Power เป็นต้น

แต่สำหรับ DPM-SATEC ที่มีรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าแบบ Unsigned 32-bit integer และแบบ Signed 32-bit integer จะไม่พบปัญหานี้เนื่องจากเป็นการเก็บค่าที่แท้จริงลงในหน่วยความจำอยู่แล้ว ซึ่งเมื่อเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำได้แล้วจะไม่ต้องคูณค่าตัวประกอบใดๆ อีก นอกจากนี้การจัดเก็บค่าที่แท้จริงลงในหน่วยความจำโดยใช้รูปแบบข้อมูลเป็นแบบ Unsigned 32-Bit integer หรือแบบ Signed 32-Bit integer ยังให้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าการจัดเก็บข้อมูลแบบ Unsigned 16-Bit integer หรือแบบ Signed 16-Bit integer ที่ต้องใช้ตัวคูณประกอบการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริงอีกด้วย

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ได้อย่างถูกต้อง โดยที่รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำมีความสำคัญอย่างยิ่งในการบันทึกผลลัพธ์ให้ได้ความละเอียดของข้อมูลทางไฟฟ้า โดยพิจารณาว่ารูปแบบการจัดเก็บข้อมูลแบบ Unsigned 32-Bit integer และแบบ Signed 32-Bit integer สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ครอบคลุมการแสดงผลบนจอของ DPM และจะไม่เกิดปัญหาความผิดเพี้ยนของข้อมูลในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าการวัดของ DPM หากนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลแบบ Unsigned 16-Bit integer หรือแบบ Signed 16-Bit integer ซึ่งต้องใช้ตัวคูณประกอบการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่แท้จริง

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานซึ่งเป็นส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ DPM-SATEC และ DPM-Iskra นั้น พบว่าสามารถเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำได้อย่างถูกต้องใน DPM-Satec และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมากใน DPM-Iskra โดยที่ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่มีความสำคัญสูงสุดสามารถเรียกอ่านข้อมูลได้อย่างถูกต้องใน DPM ทั้ง 2 แบบ

5.1 การบรรลุวัตถุประสงค์

จากการทดสอบโดยดูผลการการเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ สามารบ่งบอกถึงการบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ได้ดังนี้

5.1.1 สามารถเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ที่มีใช้งานจริงในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้อย่างถูกต้องสำหรับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญ และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะกับ DPM โดยใช้โปรโตคอล Modbus RTU over TCP

5.1.2 สามารถทำการอ่านข้อมูลทางไฟฟ้าจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) เฉพาะข้อมูลที่เป็นข้อมูลใหม่เท่านั้น ยกเว้นในกรณีที่ติดข้อจำกัดจากการทำงานของ DPM ซึ่งทำให้มีการเรียกอ่านข้อมูลซ้ำในบาง record (ไม่เกิน 3 records ในผลิตภัณฑ์ SATEC)

5.1.3 สามารถทำการตั้งค่าเวลาใน Digital Power Meter (DPM) ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ได้ จะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่มีการพัฒนาให้มีการใช้งานจริงของระบบเรียกอ่านข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบบอัตโนมัติ เพื่อสนับสนุนให้ DPM ทุกเครื่องไม่คลาดเคลื่อนในด้านเวลามากเกินไป จนส่งผลให้มีการจัดเก็บข้อมูลไฟฟ้าต่างๆ ไม่ตรงช่วงเวลาที่ควรจัดเก็บในความเป็นจริง

5.1.4 สามารถให้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับจากการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) สำหรับนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งทางตรงคือ

การนำข้อมูลไปวิเคราะห์หน่วยสูญเสียการรับส่งพลังงานไฟฟ้า และในทางอ้อมคือ การนำข้อมูลไปติดตามว่าปัจจุบัน DPM เครื่องใด หลุดการติดต่อสื่อสารไป ซึ่งจะต้องจัดส่งพนักงานเข้าไปตรวจสอบและแก้ไขต่อไป ซึ่งเป็นแนวคิดเพื่อใช้ประโยชน์จากการที่จะมีระบบเรียกอ่านข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบบอัตโนมัติ

5.2 สรุปองค์ความรู้ใหม่

งานวิจัยในส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) ถือได้ว่ามีประโยชน์อย่างมาก ในการนำไปใช้เป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาระบบเรียกอ่านข้อมูลจากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องลงทุนจัดซื้อโปรแกรมสำหรับเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของมิเตอร์ทุกแบบ ซึ่งมีมูลค่าสูง เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้การจำลอง แต่เป็นการพัฒนาชุดคำสั่งมาเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ได้จริงกับ DPM ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งปัจจุบันมีใช้งานอยู่ จำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ องค์ความรู้ที่ได้รับจากการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ ทำให้มีความเข้าใจถึงวิธีการที่มีความหลากหลายในการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำของ DPM ที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตและออกแบบมิเตอร์ อย่างไรก็ตามเมื่อผู้วิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้แล้ว จึงทำให้เข้าใจถึงหลักในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ซึ่งแม้ว่าจะมีวิธีการที่แตกต่างกัน แต่ก็ทำให้มีความเชื่อมั่นได้ว่าการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีใช้งานเพิ่มขึ้นในอนาคตนั้นสามารถทำได้ ทั้งนี้ยังสามารถนำองค์ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ไปปรับแก้ข้อกำหนดทางเทคนิคในการจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าลงในหน่วยความจำให้มีรูปแบบข้อมูลขั้นต่ำเป็นแบบ Unsigned 32-Bit Integer และมีหน่วยขั้นต่ำเป็น kWh

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ส่วนของการอ่านและจัดเก็บข้อมูลจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) นั้น ทางผู้จัดทำเล็งเห็นว่าสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในวงกว้างอย่างเป็นรูปธรรมหากนำไปเป็นต้นแบบของระบบเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ภายในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบบอัตโนมัติได้ ซึ่งหากมีระบบนี้ใช้งานจะทำให้พนักงานผู้ดูแลระบบสามารถเฝ้ามองติดตามระบบจากโปรแกรมเพียงหนึ่งเดียวซึ่งไม่ยุ่งยากซับซ้อนหากเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม ที่จะต้องเฝ้าติดตามจากทุกโปรแกรมที่ติดตั้งใช้งานเฉพาะของ DPM แต่ละผลิตภัณฑ์ อีกทั้งโปรแกรมเฉพาะบางโปรแกรมทำงานได้ไม่ครบทุกฟังก์ชั่นที่มีความจำเป็นต้องใช้งานอีกด้วย

5.4 สรุป

งานวิจัยนี้พัฒนาเพื่ออ่านและจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าจากหน่วยความจำของ Digital Power Meter (DPM) ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีใช้งานจริงจำนวน 2 ผลิตภัณฑ์ โดยได้รับข้อมูลทางไฟฟ้าถูกต้องตามรูปแบบของฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้

โดยที่งานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นต้นแบบของระบบกลางในการเรียกอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำของ DPM ภายในสถานีไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบบอัตโนมัติได้ ทำให้พนักงานผู้ดูแลระบบสามารถเฝ้ามองความปกติของระบบได้จากโปรแกรมเพียงหนึ่งเดียวและฐานข้อมูลเพียงหนึ่งเดียว และเมื่อได้รับข้อมูลไฟฟ้าที่มีรูปแบบเป็นมาตรฐานจาก DPM ทุกวงจรแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อยอดในการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อแสดงข้อมูลไฟฟ้าเหล่านี้ ให้พนักงานผู้ที่ดูแลรับผิดชอบการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าสูญเสียสามารถเข้าถึงข้อมูลไฟฟ้าผ่านคอมพิวเตอร์เครื่องใดในระบบ Intranet ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อนำข้อมูลไฟฟ้าไปใช้วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าได้อย่างสะดวกและง่ายดายต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

APICHAT KHUMSAWAT. การสื่อสารข้อมูลผ่านทาง RS-485 ขั้นพื้นฐาน. สืบค้นจาก https://www.youtube.com/watch?v=b7mA9IN7d6g

จรัส แซ่เล้า. (2558). การอ่านค่าด้วย Modbus RTU จากมิเตอร์ สืบค้นจาก https://www.meath-co.com/meter/files/documents/Br1115_Developing%20AMR%20system%20by%20Modbus%20RTUs_17-8-2015.pdf.pdf

ภาษาต่างประเทศ

Aleš Krutina. (2010). “AMR/AMI – AUTOMATIC METER READING & ADVANCEDMETERING INFRASTRUCTURE.”. Intensive Programme “Renewable Energy Sources”

Allan Readdy. (2006). “OVERVIEW OF AUTOMATIC METER READING FOR THE WATER INDUSTRY.” University Central Queensland Campus – Rockhampton, 4 to 6 July, 2006

Devanshi N. Patel, Prof. Sunil B. Somani. (2017). “A Review on Implementation of MODBUSCommunication Protocol and its Applications.”. International Journal of Electronics Engineering Research.

Gazprom Global Energy Solution. (2010). Wireless Solutions for Automatic Meter Reading (AMR) from GGES.

MODICON, Inc., Industrial Automation Systems. (1996). “Modicon Modbus ProtocolReference Guide”.

Moore Industries Worldwide. “Using MODBUS for Process Control and Automation.”. The Interface Solution Experts

Nik Arif Mat Tahir, Syed Abdul Mutalib Al Junid, Zulkifli Othman, Zulkifli Abd Majid. (2011). “Automatic Meter Reading (AMR) Data Logger with Xbee.” DOI 10.5013/IJSSST.a.13.01.11

Poonam Borle, Ankita Saswadkar, Deepali Hiwarkar, Rupali S. Kad. (2013). “AUTOMATICMETER READING FORELECTRICITY USING POWER LINECOMMUNICATION.”. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 2, Issue 3, March 2013

Satish Palaniappan, Raghul Asokan, Srinivas Bharathwaj, Sujaudeen N. (2015). “Automated Meter Reading System – A Study.”. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)

TANVIR AHMED, MD SUZAN MIAH, MD. MANIRUL ISLAM, MD. RAKIB UDDIN. “AUTOMATIC ELECTRIC METER READING SYSTEM: A COST-FEASIBLE ALTERNATIVE APPROACH IN METER READING FOR BANGLADESH PERSPECTIVE USING LOW-COST DIGITAL WATTMETER AND WIMAX TECHNOLOGY.” From : https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1209/1209.5431.pdf

Tariq Jamil. (2008). “Design and Implementation of a Wireless Automatic Meter Reading System.”. World Congress on Engineering 2008 , July 2 - 4, 2008, London, U.K.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ศิวดล เหมาะประไพพันธุ์
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 7 แผนกบำรุงรักษาเครื่องวัดสถานีไฟฟ้า กองมิเตอร์ ฝ่ายระบบมิเตอร์และหม้อแปลง สายงานปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

DPU