

การออกแบบมอเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส
ความแม่นยำ 0.2 ใช้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ



นายไชยวัฒน์ ศรีวงศ์เจริญ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

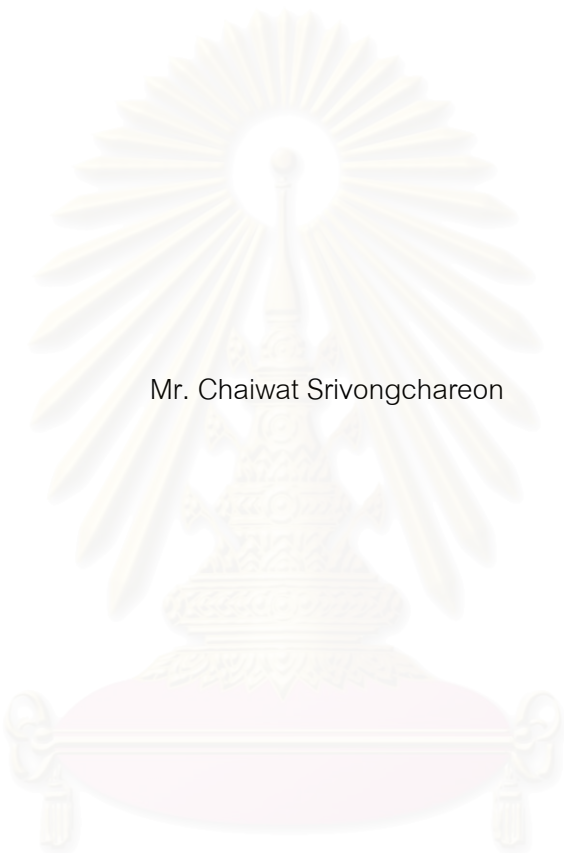
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7090-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DESIGN OF A CLASS-0.2 3-PHASE TIME-OF-USE ENERGY METER
COMPATIBLE WITH AN RF AUTOMATIC METER READING SYSTEM



Mr. Chaiwat Srivongchareon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7090-1

ไชยวัฒน์ ศรีวงศ์เจริญ : การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ความแม่นยำ 0.2 ใช้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ. (A DESIGN OF A CLASS-0.2 3-PHASE TIME-OF-USE ENERGY METER COMPATIBLE WITH AN RF AUTOMATIC METER READING SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.วันเฉลิม โปธา, 98 หน้า. ISBN 974-17-7090-1.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ที่สามารถตั้งพิกัด กระแสและพิกัดแรงดันได้หลายค่า คือ พิกัดกระแสที่ 100 แอมแปร์, 50 แอมแปร์ และ 25 แอมแปร์ ได้พร้อมกับพิกัดแรงดันที่ 220 โวลต์, 120 โวลต์ และ 63.5 โวลต์ โดยมีความแม่นยำสูงสุดอยู่ที่ระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20-1998 ใช้วงจรรวมเบอร์ ADE7758 ของบริษัท Analog Device ในการวัดและคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F448 ของบริษัท Texas Instrument ถูกเลือกใช้เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ เพื่อทดสอบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการออกแบบอุปกรณ์มือถือสำหรับอ่านค่า และ มอดูลคลื่นวิทยุสำหรับติดกับมิเตอร์เพื่อใช้สื่อสารกันด้วยวงจรรวมสำหรับรับส่งคลื่นวิทยุ CC1021 ของบริษัท Chipcon โพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูลจะเป็นสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ ในขณะที่โพรโทคอลชั้นของการประยุกต์ได้ดัดแปลงโพรโทคอลมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 มาใช้ในการสื่อสารข้อมูล อุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์นี้จะมีความปลอดภัยในการทำงานที่สูงมาก สามารถอ่านค่าในระยะเปิดได้ไม่เกิน 50 เมตร ความถี่พาห้อยู่ในช่วง 407 – 430 MHz รับส่งข้อมูลด้วยอัตรา 28.8 กิโลบิตต่อวินาที ข้อมูลที่ทำการอ่านได้จะถูกเก็บไว้ในคอมแพคแฟลชเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้สะดวกต่อไป

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2547.....

4670290821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : HIGH ACCURACY TOU METER / AUTOMATIC METER READING /
FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM

CHAIWAT SRIVONGCHAREON : A DESIGN OF A CLASS-0.2 3-PHASE TIME-OF-USE
ENERGY METER COMPATIBLE WITH AN RF AUTOMATIC METER READING SYSTEM.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF.WANCHALERM PORA, Ph.D., 98 pp. ISBN 974-17-7090-1

This thesis presents a design of a 3-phase energy meter with programmable rated current and voltage. The current and voltage ratings can be either 100A, 50A or 25A, and 220V, 110V or 63.5V respectively. The meter complies with ANSI C12.20-1998 class 0.2 accuracy, is controlled by the MSP430F448 microcontroller from Texas Instrument. The 3-phase Energy Meter IC ADE7758 by Analog Device is employed to digitize voltages and current, calculate energy and other useful data. The meter is compatible with an RF automatic meter reading system. To test transmission, a hand-held device and RF module are implemented. The RF Transceiver IC CC1021 by Chipcon is the main component of the module in data communication. Protocol on data link layer utilizes Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) in a 402-430 MHz range. Application layer protocol employs a modified ANSI C12.18-1996 Standard. The data security is enhanced. Transmission range is up to 50-metres at 28.8 kbps data rate. All need data are kept in a Compact Flash module which can be easily transferred for further utilizations.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department...Electrical Engineering... Student's signature.....

Field of study...Electrical Engineering... Advisor's signature.....

Academic year...2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบและประยุกต์วงจรรวมทุกคนสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และขอบคุณสำหรับมิตรภาพและความรู้สึกดี ๆ ที่มีให้กันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา อันเป็นที่เคารพรัก ที่คอยดูแลเอาใจใส่ และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมาจนกระทั่งมีวิทยานิพนธ์เล่มนี้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การวัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้.....	5
2.2 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส แบบดิจิทัล	5
2.3 ข้อกำหนดเรื่องความแม่นยำของมิเตอร์ตามมาตรฐาน ANSI C12.20-1998.....	7
2.4 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ	9
2.5 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ	12
2.6 การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุโดยใช้เทคนิคสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่.....	16
2.7 โพรโทคอลสำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์.....	18
2.7.1 รายละเอียดโดยสังเขปในระดับขั้นของการประยุกต์.....	18
2.7.2 รายละเอียดของกลุ่มข้อมูลในระดับขั้นของการเชื่อมโยงข้อมูล	20
2.7.3 การคำนวณหาค่าซีอาร์ซี.....	20
2.8 สรุปท้ายบท	21
บทที่ 3 รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์	22
3.1 โครงสร้างของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส.....	22
3.2 ไมโครคอนโทรเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า.....	22
3.2.1 ไมโครคอนโทรเลอร์	22
3.2.2 ซีอีพรอม.....	23
3.2.3 ส่วนแสดงผลแอลซีดี.....	24
3.3 ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า.....	25
3.3.1 วงจรรวมสำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า ADE7758.....	25

3.3.2	วงจรวัดแรงดัน	27
3.3.3	วงจรวัดกระแส	28
3.3.4	วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง	28
3.4	ส่วนไฟเลี้ยงของมิเตอร์ 3 เฟส	29
3.4.1	แหล่งจ่ายกำลังชนิด ตัวต้านทาน – ตัวเก็บประจุ (RC Power supply)	29
3.4.2	วงจรคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulator)	30
3.5	โครงสร้างของระบบ AMR ด้วยคลื่นวิทยุทั้งอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุ.....	31
3.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของส่วนการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ.....	31
3.6.1	ไมโครคอนโทรลเลอร์	31
3.6.2	วงจรส่วนแสดงผล และปุ่มสั่งงานต่าง ๆ	32
3.6.3	ส่วนเชื่อมต่อกับคอมแพคแฟลช	32
3.6.4	ส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอรืผ่านพอร์ตอนุกรม	34
3.7	วงจรรวมรับส่งคลื่นวิทยุ CC1021.....	34
3.8	ส่วนไฟเลี้ยงการสื่อสารด้วยวิทยุ.....	39
3.9	สรุปท้ายบท.....	40
บทที่ 4 รายละเอียดของโพรโทคอลที่ใช้สื่อสารกับมิเตอร์		41
4.1	โพรโทคอลขั้นของการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าโดยเปลี่ยนความถี่.....	42
4.1.1	การสื่อสารแบบมาสเตอร์ และ สเลฟ	43
4.1.2	ขบวนการชิงโครไนซ์	46
4.1.3	กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์.....	47
4.1.4	การติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัว	50
4.2	โพรโทคอลขั้นของการประยุกต์.....	51
4.3	รายละเอียดของตารางข้อมูลต่างๆ ของกระบวนการอ่านและเขียน	52
4.3.1	ตารางข้อมูลของกระบวนการอ่าน.....	52
4.3.2	ตารางข้อมูลของกระบวนการเขียน.....	53
4.4	สรุปท้ายบท.....	54
บทที่ 5 รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์		55
5.1	หลักการและโครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของมิเตอร์ 3 เฟส	55
5.2	โปรแกรมจัดการทางเวลา.....	55
5.3	โปรแกรมติดต่อฮาร์ดแวร์.....	56
5.4	โปรแกรมหาค่าพลังงานไฟฟ้าโดยติดต่อกับวงจรรวม ADE7758	58
5.4.1	ส่วนการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า.....	58
5.4.2	โปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟตก.....	61

5.4.3	ส่วนการแสดงผลและกำหนดการแสดงผล	62
5.5	โปรแกรมติดต่อกับมอดูลคลื่นวิทยุผ่านพอร์ตอนุกรม	63
5.6	หลักการและโครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์ AMR	66
5.7	โปรแกรมติดต่อกับวงจรรวม CC1021	66
5.7.1	โปรแกรมบริการจัดจังหวะเมื่อมีการรับข้อมูลทางคลื่นวิทยุ	67
5.7.2	การเปลี่ยนความถี่	68
5.8	โปรแกรมควบคุมการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่	69
5.8.1	การทำงานของอุปกรณ์มาสเตอร์ (อุปกรณ์มือถือ)	69
5.8.2	การทำงานของอุปกรณ์สเลฟ (มอดูลคลื่นวิทยุที่ติดบนมิเตอร์)	70
5.9	โปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรโตคอล	71
5.9.1	ส่วนควบคุมขั้นตอนดำเนินงานของกระบวนการต่างๆ	71
5.9.2	ส่วนส่งและรรับกลุ่มข้อมูลของแต่ละกระบวนการ	72
5.10	โปรแกรมควบคุมการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมหมายเลขหนึ่งของอุปกรณ์ AMR	74
5.10.1	ส่วนรับส่งข้อมูลการสื่อสารระหว่างมอดูลคลื่นวิทยุและมิเตอร์	74
5.10.2	ส่วนควบคุมการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับอุปกรณ์มือถือ	74
5.11	โปรแกรมควบคุมการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	75
5.12	สรุปท้ายบท	76
บทที่ 6 การทดสอบและสรุปผล		77
6.1	การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์	77
6.2	การทดสอบการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุของอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุ	85
6.2.1	กำลังด้านออก (Output Power)	85
6.2.2	ความไว (Sensitivity)	87
6.2.3	การทดสอบระยะปฏิบัติการ	88
6.3	การทดสอบการอ่านค่าจากมิเตอร์	90
6.3.1	การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์	90
6.3.2	การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ในกรณีที่ข้อมูลเกิดการชนกัน	92
6.3.3	การทดสอบในที่ ๆ มีคลื่นวิทยุอื่นที่รุนแรงกว่ารบกวนอยู่	93
6.4	สรุปผลการวิจัย	94
6.5	ข้อเสนอแนะ	95
รายการอ้างอิง		96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		98

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ	10
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของระบบอ่านค่ามิเตอร์ที่ใช้สายส่งกำลังเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล	11
รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้เครือข่าย GPRS กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ	11
รูปที่ 2.4 ระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบประจำที่	12
รูปที่ 2.5 ระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบเคลื่อนที่	13
รูปที่ 2.6 ลักษณะการเข้ารหัสของ Direct sequence	14
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเข้ารหัสของระบบไฮบริด	15
รูปที่ 2.8 รูปแบบการใช้ช่องสัญญาณของสเปกตรัมแผ่นชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่	16
รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของสเปกตรัมแผ่นชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่	16
รูปที่ 2.10 การทำงานของระบบ point-to-multipoint	17
รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนย่อยแต่ละกระบวนการในระดับขั้นของการประยุกต์	18
รูปที่ 2.12 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996	20
รูปที่ 2.13 การคำนวณค่าซีอาร์ซีแบบ CRC-CCITT โดยใช้รีจิสเตอร์แบบเลื่อน	21
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส	22
รูปที่ 3.2 วงจรของไมโครคอนโทรลเลอร์	23
รูปที่ 3.3 วงจรของออปติคัล	23
รูปที่ 3.4 ลักษณะหน้าจอดีแสดงผลของแอลซีดีที่ใช้	24
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างระดับสัญญาณที่ขาต่าง ๆ ของเช็กเมนต์ที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 3.6 การดับและสว่างของแต่ละเช็กเมนต์	24
รูปที่ 3.7 การหาค่าพลังงานแอกทีฟในวงจรรวม ADE7758	25
รูปที่ 3.8 การหาพลังงานรีแอกทีฟในวงจรรวม ADE7758	26
รูปที่ 3.9 การหาค่าพลังงานปรากฏในวงจรรวม ADE7758	26
รูปที่ 3.10 การหาค่ารากล้างสองเหลี่ยมของกระแสและแรงดันในวงจรรวม ADE7758	26
รูปที่ 3.11 ลักษณะการต่อใช้งานของวงจรรวม ADE 7758	27
รูปที่ 3.12 รูปวงจรวัดแรงดัน	27
รูปที่ 3.13 รูปวงจรวัดกระแสด้วยหม้อแปลงกระแส	28
รูปที่ 3.14 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง	28
รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายกำลังชนิด ตัวต้านทาน-ตัวเก็บประจุ	29
รูปที่ 3.16 ส่วนไฟเลี้ยงที่ใช้ในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส	30
รูปที่ 3.17 วงจรคุมค่าแรงดัน	30
รูปที่ 3.18 โครงสร้างของอุปกรณ์มือถือที่ใช้ในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ	31
รูปที่ 3.19 การเชื่อมต่อแอลซีดีแสดงผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์	32
รูปที่ 3.20 วงจรสวิทช์และปุ่มสั่งงานต่างๆ บนอุปกรณ์แบบมือถือ	32

รูปที่ 3.21	ขาสัญญาณต่างๆที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์	33
รูปที่ 3.22	วงจรส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	33
รูปที่ 3.23	วงจรเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232	34
รูปที่ 3.24	บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวม CC1021 (RF Transceiver) ที่ใช้ในการออกแบบ	34
รูปที่ 3.25	วิธีการมอดูเลตแบบ GFSK	35
รูปที่ 3.26	ลักษณะการต่อใช้งานของวงจรรวม CC1021	36
รูปที่ 3.27	การต่อภาครับและภาคส่งภายนอกของวงจรรวม CC1021	37
รูปที่ 3.28	วงจรรองชนิดไฟและวงจรรองชนิดที่	37
รูปที่ 3.29	เสาอากาศแบบเส้น (ขว) และเสาอากาศแบบเกลียว (ซ้าย)	38
รูปที่ 3.30	วงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยงบนตัวอุปกรณ์มือถือ	39
รูปที่ 3.31	การแยกการเชื่อมร่วมโดยใช้ตัวเก็บประจุค่าต่าง ๆ ของวงจรรวมเบอร์ CC1021	39
รูปที่ 4.1	การเชื่อมต่อบนบอร์ดที่ใช้ในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ	41
รูปที่ 4.2	ขั้นตอนต่างๆของการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุ	42
รูปที่ 4.3	ลักษณะเครือข่ายแบบสตาร์ที่ใช้ในการสื่อสารบนชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูล	43
รูปที่ 4.4	รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสาร	43
รูปที่ 4.5	รูปแบบของกลุ่มข้อมูลบิตคอนที่มัสเตอร์ทำการส่งไปให้สเลฟในทุก ๆ ความถี่	44
รูปที่ 4.6	การทำงานของมัสเตอร์ในช่วงหนึ่งคาบเวลา	45
รูปที่ 4.7	การทำงานของสเลฟในช่วงหนึ่งคาบเวลา	45
รูปที่ 4.8	รูปแบบของกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นใช้ในขบวนการซิงโครไนซ์	46
รูปที่ 4.9	รูปแบบขบวนการซิงโครไนซ์ของมัสเตอร์และสเลฟ	46
รูปที่ 4.10	ขั้นตอนส่งสัญญาณร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์	48
รูปที่ 4.11	กรณีเกิดการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองจากมิเตอร์ 2 ตัว	48
รูปที่ 4.12	ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการส่งและรับข้อมูลระหว่างอุปกรณ์มือถือและมิเตอร์	49
รูปที่ 4.13	ขั้นตอนการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์	51
รูปที่ 4.14	ขั้นตอนการส่งข้อมูลไปให้มิเตอร์	51
รูปที่ 4.15	ขั้นตอนต่างๆของโพรโทคอลในชั้นการประยุกต์	52
รูปที่ 4.16	รายละเอียดตารางข้อมูลของกระบวนการอ่านค่ามิเตอร์	53
รูปที่ 4.17	รายละเอียดตารางข้อมูลแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบ 15 นาที	53
รูปที่ 4.18	รายละเอียดตารางข้อมูลของกระบวนการตั้งฐานเวลาให้กับมิเตอร์	53
รูปที่ 4.19	รายละเอียดตารางข้อมูลของกระบวนการตั้งพิกัดกระแสและแรงดันให้กับมิเตอร์	53
รูปที่ 5.1	โครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของมิเตอร์ 3 เฟส	55
รูปที่ 5.2	แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการตรวจสอบช่วงเวลาการใช้	56
รูปที่ 5.3	การแบ่งเนื้อหาของอีพีรอมและรูปแบบข้อมูลที่จะส่งไปให้อุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์	57

รูปที่ 5.4 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการบันทึกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า	58
รูปที่ 5.5 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการคำนวณค่าพลังงานแอกทีฟ	60
รูปที่ 5.6 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการคำนวณค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ	60
รูปที่ 5.7 ขบวนการขัดจังหวะของวงจรรวม ADE7758 ที่เกิดจากการตรวจสอบไฟตก	62
รูปที่ 5.8 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยบริการขัดจังหวะเมื่อไฟในระบบดับทั้ง 3 เฟส	62
รูปที่ 5.9 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมตรวจสอบการสื่อสาร	63
รูปที่ 5.10 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมตรวจสอบกลุ่มข้อมูลในการสื่อสาร	64
รูปที่ 5.11 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อย AppResponse	65
รูปที่ 5.12 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อย Perform Service	65
รูปที่ 5.13 โครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรเลอร์ของอุปกรณ์ AMR	66
รูปที่ 5.14 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมรับข้อมูลทางคลื่นวิทยุ	67
รูปที่ 5.15 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมปรับเทียบความถี่ และ เปลี่ยนความถี่ในการทำงาน	68
รูปที่ 5.16 แผนภูมิสายงานโปรแกรมบริการขัดจังหวะตัวตั้งเวลาปีของอุปกรณ์มือถือ	70
รูปที่ 5.17 แผนภูมิสายงานการทำงานของมอดูลคลื่นวิทยุ	71
รูปที่ 5.18 แผนภาพ ASM ควบคุมลำดับการทำงานของโปรโตคอล	72
รูปที่ 5.19 แผนภูมิสายงานควบคุมการทำงานในแต่ละกระบวนการ	73
รูปที่ 5.20 แผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยสำหรับรับกลุ่มข้อมูลตอบสนอง	73
รูปที่ 5.21 แผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยการรับข้อมูลจากมิเตอร์	74
รูปที่ 5.22 แผนภูมิสายงานโปรแกรมบริการขัดจังหวะ UART1 สำหรับปรับฐานเวลา	75
รูปที่ 5.23 การตั้งชื่อให้กับแฟ้มข้อมูลฐานสองโดยอุปกรณ์มือถือ	75
รูปที่ 6.1 ระบบทดสอบมิเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์	77
รูปที่ 6.2 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 220 โวลต์	78
รูปที่ 6.3 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 120 โวลต์	79
รูปที่ 6.4 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 63.5 โวลต์	79
รูปที่ 6.5 ผลการทดสอบความแม่นยำตลอดช่วงความถี่ของระบบเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 220 โวลต์	80
รูปที่ 6.6 ผลการทดสอบความแม่นยำตลอดช่วงความถี่ของระบบเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 120 โวลต์	80
รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบความแม่นยำตลอดช่วงความถี่ของระบบเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 63.5 โวลต์	81
รูปที่ 6.8 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันสมดุลและจ่ายกระแสเฉพาะเฟส A	81
รูปที่ 6.9 ผลการทดสอบความแม่นยำ เมื่อจ่ายแรงดันสมดุลและจ่ายกระแสเฉพาะเฟส B	82
รูปที่ 6.10 ผลการทดสอบความแม่นยำ เมื่อจ่ายแรงดันสมดุลและจ่ายกระแสเฉพาะเฟส C	82
รูปที่ 6.11 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 220 โวลต์	83
รูปที่ 6.12 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 120 โวลต์	83
รูปที่ 6.13 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 63.5 โวลต์	84

รูปที่ 6.14 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานปรากฏเมื่อแรงดันของระบบมีค่าต่าง ๆ.....	84
รูปที่ 6.15 ภาพถ่ายอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุสำหรับติดกับมิเตอร์ที่ถูกทำการพัฒนาขึ้น.....	85
รูปที่ 6.16 กำลังด้านออกของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา.....	86
รูปที่ 6.17 สเปกตรัมเมื่อมีการใช้งานแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่.....	86
รูปที่ 6.18 กำลังด้านออกของความถี่ฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 และที่ 3	87
รูปที่ 6.19 การทดสอบค่าความไวของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ	88
รูปที่ 6.20 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์	91
รูปที่ 6.21 ตัวอย่างการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองระหว่างมิเตอร์.....	93
รูปที่ 6.22 การทดสอบการทำงานของระบบในที่ ๆ มีคลื่นวิทยุอื่นรบกวนอยู่.....	94



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าแรงดันอ้างอิงมาตรฐานของมิเตอร์ประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC687	7
ตารางที่ 2.2 ขอบเขตความผิดพลาดในการวัดที่โหลดสมดุล.....	7
ตารางที่ 2.3 ขอบเขตความผิดพลาดในการวัดเมื่อมีค่าตัวประกอบกำลัง	8
ตารางที่ 2.4 ขอบเขตความผิดพลาดในการเปลี่ยนแปลงความถี่.....	8
ตารางที่ 2.5 ขอบเขตความผิดพลาดเมื่อโหลดกระแสไม่สมดุล	9
ตารางที่ 2.6 ระดับกระแสเริ่มต้นที่ใช้ในการทดสอบ	9
ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างตารางความถี่ที่ใช้ในโปรแกรมการเปลี่ยนความถี่ของระบบ	69
ตารางที่ 6.1 ระยะเวลาปฏิบัติการและค่า RSSI ที่กำลังด้านออกต่าง ๆ กัน	88
ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคที่ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง.....	90



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายให้การไฟฟ้าส่งเสริมการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ หรือ ทีโอยู (TOU: Time Of Use) โดยมีวัตถุประสงค์ให้ผู้ที่ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงและหันมาใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำแทน จะก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องใช้มิเตอร์ที่สามารถวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาได้

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปได้มีการออกแบบมาทำงานที่พิกัดกระแสและแรงดันค่าหนึ่ง ๆ เท่านั้นซึ่งเป็นปัญหาในการจัดหามิเตอร์หลาย ๆ แบบในการใช้งานที่พิกัดกระแสและแรงดันต่าง ๆ กัน จึงเป็นที่มาให้มีการออกแบบมิเตอร์ที่สามารถตั้งค่าการใช้งานตามพิกัดกระแสและแรงดันตามที่ต้องการทำให้สามารถใช้มิเตอร์แบบเดียวกันในการทำงานที่พิกัดกระแสและแรงดันต่างกันได้ โดยผู้ใช้สามารถโปรแกรมเพื่อเลือกให้มิเตอร์ทำงานที่พิกัดกระแสและแรงดันตามที่ต้องการ

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้เป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติทำได้ง่ายขึ้นมาก ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติมีหลายแบบเช่น การใช้แสงอินฟราเรด, การใช้สายส่งกำลัง (Power Line Carrier), การใช้คลื่นวิทยุ, การใช้เครือข่ายโทรศัพท์ และ การใช้เครือข่าย GPRS แบบที่ห้องปฏิบัติการวิจัยออกแบบและประยุกต์วงจรรวม (IDAR) พัฒนาขึ้นมาเป็นแบบใช้ลำแสงอินฟราเรด โดยเป็นแบบที่ง่ายและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่มีข้อจำกัดเรื่องระยะทางในการสื่อสารและความเร็วในการส่งข้อมูล ข้อเสียของระบบอ่านค่ามิเตอร์ที่ใช้ลำแสงอินฟราเรดคือในการอ่านค่าจะต้องเข้าไปใกล้กับมิเตอร์ที่จะทำการอ่านและจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวมิเตอร์และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อ่านค่ามิเตอร์

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ ข้อดีของการใช้คลื่นวิทยุ คือ การรับและส่งข้อมูลทำได้รอบทิศทาง และ คลื่นวิทยุสามารถเดินทางผ่านสิ่งกีดขวางได้ รวมทั้งสามารถส่งสัญญาณได้เป็นระยะทางไกลกว่าแบบอินฟราเรด จึงเหมาะสำหรับสภาพการใช้งานที่จะต้องอ่านค่าจากมิเตอร์ที่อยู่ในสถานที่ติดตั้งต่าง ๆ กัน ไม่ว่าจะเป็น เสาไฟฟ้า บ้านเรือนของประชาชน โรงงาน ฯลฯ แม้กระทั่งในเขตหวงห้าม สภาพการติดตั้งเหล่านี้บางครั้งสร้างความไม่สะดวกกับการอ่านค่ามิเตอร์ ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุที่ได้ทำการออกแบบประกอบด้วยอุปกรณ์มือถือสำหรับอ่านค่ามิเตอร์ (Hand-Held Device) และโมดูลคลื่นวิทยุ (RF Module) ที่ติดบนตัวมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ที่ได้ทำการออกแบบมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนามิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถวัดและบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ สามารถเลือกการใช้งานได้ที่ระดับพิกัดแรงดัน 3 ค่า คือ 220 โวลต์, 120 โวลต์ และ 63.5 โวลต์ พิกัดกระแสสูงสุดที่ใช้งานมี 3 ค่า คือ 100 แอมแปร์, 50 แอมแปร์ และ 25 แอมแปร์ รวมทั้งสามารถใช้งานกับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ
2. ออกแบบเครื่องมือสำหรับทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลต่าง ๆ ในมิเตอร์ (ค่าพลังงาน, วันเวลา ฯลฯ) ด้วยคลื่นวิทยุ
3. ออกแบบโพรโทคอลสำหรับการสื่อสารระหว่างมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping Spread Spectrum)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส มีความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20-1998 สามารถเลือกใช้กับพิกัดกระแส 3 ค่า คือ 100 แอมแปร์, 50 แอมแปร์ และ 25 แอมแปร์ เลือกใช้กับพิกัดแรงดัน 3 ค่า คือ 220 โวลต์, 120 โวลต์ และ 63.5 โวลต์ มีความสามารถต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
 - 1.1 สามารถนำไปใช้กับการให้บริการไฟฟ้า ที่เป็น 3 เฟส / 3 สาย และ 3 เฟส / 4 สาย โดยสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้
 - ค่ารอกำลังสองเฉลี่ยของกระแส และ แรงดัน
 - ค่าพลังงานแอกทีฟ พลังงานรีแอกทีฟ และพลังงานปรากฏที่วัดตามช่วงเวลาการใช้
 - ค่าตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟส
 - ค่าความถี่ของแรงดันที่ใช้งานในแต่ละเฟส
 - ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที
 - 1.2 มีการเชื่อมต่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกโหมดการทำงานของกระแสและแรงดันที่พิกัดต่าง ๆ ได้
 - 1.3 มีปฏิทินวันหยุด ที่กำหนดโดยผู้จำหน่ายไฟฟ้าได้นานถึง 20 ปี
 - 1.4 มีการสื่อสารกับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุเพื่อใช้อ่านข้อมูลและโปรแกรมมิเตอร์เพื่อเลือกโหมดการทำงานของกระแสและแรงดันที่พิกัดต่าง ๆ
 - 1.5 แสดงค่าการใช้พลังงานที่วัดได้ทางจอแสดงผลแอลซีดี มีแอลอีดีฟลัส 2 ตัว ไว้สำหรับแสดงการใช้พลังงานแอกทีฟ และ พลังงานรีแอกทีฟ
2. พัฒนาอุปกรณ์มือถือ (Hand-Held Device) สำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ที่ได้ออกแบบมาโดยมีคุณสมบัติและรายละเอียดที่จะทำการพัฒนา ดังต่อไปนี้
 - 2.1. ใช้คลื่นวิทยุที่ย่านความถี่พาห้ 407 - 430 MHz เป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้มากกว่า 50 เมตร

- 2.2. สามารถทำการสื่อสารกับมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบมาโดยจะอ่านค่าต่าง ๆ ที่มีมิเตอร์วัดมาได้นี้คือ
 - ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่มีมิเตอร์วัดมาได้
 - ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที
 - ค่าวันเวลาจากฐานเวลาของมิเตอร์ และสามารถตั้งเวลาบนมิเตอร์ใหม่ได้หากเวลาคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนดไว้
 - 2.3. บันทึกข้อมูลที่อ่านจากมิเตอร์แต่ละตัวลงในคอมพิวเตอร์
 - 2.4. มีหน้าจอแอลซีดีแสดงการทำงานของเครื่องอ่านและผู้ใช้สามารถสั่งงานได้จากปุ่มต่างๆ
3. ออกแบบโพรโทคอลการสื่อสารระหว่างมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้ากับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping Spread Spectrum) และทำการออกแบบมอดูลคลื่นวิทยุสำหรับติดกับมิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบมาเพื่อความสะดวกในการใช้งานกับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบมือถือ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาโครงสร้างการทำงานของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าและระบบอ่านค่ามิเตอร์
2. ออกแบบและพัฒนามิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่มีความแม่นยำสูงแบบ 3 เฟส
3. ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสำหรับอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าโดยใช้คลื่นวิทยุ
4. ออกแบบโพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างมิเตอร์และเครื่องอ่านโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่
5. ทดสอบการทำงานของระบบ
6. สรุป แก้ไข และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เนื่องจากมิเตอร์ที่ออกแบบเป็นมิเตอร์ที่สามารถวัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาได้ โดยจะเป็นการส่งเสริมให้มีผู้ใช้ไฟฟ้าเข้าสู่ระบบการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลามากยิ่งขึ้น
2. จากที่สามารถพัฒนามิเตอร์ที่มีความแม่นยำสูงได้เองทำให้ลดการนำเข้ามิเตอร์ ส่งผลให้ลดการสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศ
3. เพิ่มทางเลือกให้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบพกพา ที่สามารถผลิตและนำไปใช้งานได้จริง
4. โพรโทคอลสำหรับการสื่อสารระหว่างมิเตอร์และเครื่องอ่านที่ออกแบบขึ้นมาสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่น ๆ ที่มีการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุได้
5. ส่งเสริมการพัฒนาความรู้และการสร้างผลิตภัณฑ์ของคนไทย

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งการนำเสนอเนื้อหาออกเป็น 6 บท ได้แก่ บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของการทำวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขต และวิธีดำเนินงานวิจัย รวมทั้งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ บทที่ 3 อธิบายโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ของชิ้นงานทั้งหมดที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา บทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์มือถือที่ทำการพัฒนาขึ้นกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ บทที่ 5 อธิบายรายละเอียดซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ อุปกรณ์สำหรับอ่านค่าไมโครคอนโทรลเลอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ บทสุดท้ายคือบทที่ 6 ประกอบด้วยผลการทดสอบการทำงานต่าง ๆ ของชิ้นงานโดยละเอียด รวมทั้งการสรุปผล และข้อเสนอแนะต่าง ๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้

การวัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลา ใช้สำหรับการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่กำหนดให้มีอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน อัตราค่าไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับความต้องการการใช้ไฟฟ้าหรืออีกนัยหนึ่งคือต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลานั้น ๆ ผู้จำหน่ายไฟฟ้าจะเป็นผู้กำหนดจำนวนของช่วงเวลา เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น การไฟฟ้านครหลวงแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 2 ช่วง คือ

- ช่วงต้องการไฟฟ้าสูง (On-Peak) ระหว่างเวลา 9.00-22.00 น. ของวันทำงาน โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้า 4.3093 บาทต่อหน่วย สำหรับที่อยู่อาศัยและกิจการขนาดเล็ก และ 2.8408 บาทต่อหน่วย สำหรับกิจการขนาดกลางและขนาดใหญ่ (ใช้แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์)
- ช่วงต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off-Peak) ระหว่างเวลา 22.00-9.00 น. ของวันทำงานและระหว่างเวลา 0.00-24.00 น. ของวันเสาร์อาทิตย์และวันหยุดราชการตามปกติแต่ไม่รวมวันหยุดชดเชย โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้า 1.2246 บาทต่อหน่วย สำหรับที่อยู่อาศัย, กิจการขนาดเล็ก, กิจการขนาดกลางและกิจการขนาดใหญ่ (ใช้แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์)

2.2 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส แบบดิจิตอล

การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าให้มีความแม่นยำสูงโดยส่วนมากมักต้องคำนวณแบบดิจิตอล จึงต้องอาศัยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลในการชั่งสัญญาณแรงดันและกระแสเข้ามา โดยวิธีการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นดังต่อไปนี้ :

สัญญาณกระแส ณ เวลาใด ๆ , $i(t)$ และสัญญาณแรงดัน ณ เวลาใด ๆ , $v(t)$ ดังแสดงในสมการที่

2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t) \quad (\text{แอมแปร์}) \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

$$v(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t - \theta) \quad (\text{โวลต์}) \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

โดย V และ I คือรากกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square) ของกระแสและแรงดันตามลำดับ θ คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างกระแสและแรงดัน รวมถึงผลที่เกิดเนื่องจากหม้อแปลงกระแสด้วย ω คือความถี่เชิงมุม มีค่าเท่ากับ $2\pi f$ โดยที่ f คือค่าความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ ดังนั้นกำลังแอกทีฟ, $p(t)$ ซึ่งเป็นกำลังที่กระแสและแรงดันทำงานอยู่ในแนวเดียวกัน ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$p(t) = i(t) \cdot v(t) = IV \cos(\theta) - IV \cos(2\omega t - \theta) \quad (\text{วัตต์}) \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

ในการคำนวณค่ากำลังรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นค่ากำลังที่กระแสทำงานในแนวตั้งฉากกับแรงดัน คิดได้จากผลคูณคอดของแรงดันและกระแสที่ถูกเลื่อนเฟสไป $\frac{\pi}{2}$

เมื่อสมการของกระแสถูกเลื่อนเฟสไป $\frac{\pi}{2}$ ทำให้ได้สมการกระแสเป็น

$$i'(t) = i(t) \angle 90^\circ = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (\text{แอมแปร์}) \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

ดังนั้นค่ากำลังรีแอกทีฟที่คำนวณได้จะเป็น

$$q(t) = i'(t) \cdot v(t) = IV \cos\left(-\theta - \frac{\pi}{2}\right) - IV \cos(2\omega t - \theta - \frac{\pi}{2})$$

$$q(t) = IV \sin(\theta) + IV \sin(2\omega t - \theta) \quad (\text{วาร์}) \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

กำลังปรากฏเป็นค่ารวมผลรวมกำลังสองของกำลังแอกทีฟและกำลังรีแอกทีฟ ดังนั้นสามารถคำนวณค่ากำลังปรากฏดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$s(t) = IV \quad (\text{โวลต์-แอมแปร์}) \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

การคำนวณค่าพลังงานจากเวลา 0 ถึง T_1 ดังแสดงในสมการที่ 2.7 ถึง 2.10 , n คือจำนวนตัวอย่างในการซิกซ์สัญญาณ และ T คือคาบเวลาในการซิกซ์สัญญาณ

$$P = \int_0^{T_1} p(t) dt = \lim_{T \rightarrow 0} T \left(\sum_{n=0}^{N-1} p(nT) \right) \quad (\text{วัตต์-วินาที}) \quad \text{สมการที่ 2.7}$$

$$Q = \int_0^{T_1} q(t) dt = \lim_{T \rightarrow 0} T \left(\sum_{n=0}^{N-1} q(nT) \right) \quad (\text{วาร์-วินาที}) \quad \text{สมการที่ 2.8}$$

$$S = \int_0^{T_1} s(t) dt = \lim_{T \rightarrow 0} T \left(\sum_{n=0}^{N-1} s(nT) \right) \quad (\text{โวลต์-แอมแปร์-วินาที}) \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

การคำนวณหาค่ารวมกำลังสองเฉลี่ยของกระแสและแรงดัน สามารถคำนวณได้จาก

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} f^2(t) dt} \quad \text{หรือ} \quad F_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f^2[n]} \quad \text{สมการที่ 2.10}$$

ห้องปฏิบัติการวิจัยออกแบบและประยุกต์วงจรรวม ได้พัฒนามิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส [1] เป็นมิเตอร์ที่สามารถวัดพลังงานได้ที่พิกัดกระแส 5 แอมแปร์ และพิกัดแรงดัน 220 โวลต์ มีระดับความแม่นยำ 0.5 ตามมาตรฐาน IEC687-1992 [2] หากนำไปใช้งานที่พิกัดกระแสสูงกว่านี้ จำเป็นจะต้องใช้หม้อแปลงกระแสภายนอกมาต่อร่วมด้วย รวมถึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้กับพิกัดแรงดันที่ต่ำกว่า 220 โวลต์ได้ มิเตอร์ที่ออกแบบในวิทยานิพนธ์มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากมิเตอร์ที่ถูกพัฒนามาแล้ว คือ มีความแม่นยำที่สูงกว่า และสามารถวัดกระแสได้ที่พิกัดสูงกว่าถึง 100 แอมแปร์ ทั้งยังสามารถตั้งค่าเพื่อที่จะเลือกใช้กับพิกัดกระแสและแรงดันที่ต่างกันได้ การพิจารณาเลือกพิกัดกระแสในการใช้งานได้เลือกจากระดับคลาสิกกระแสที่มีการกล่าวถึงในมาตรฐาน ANSI C12.20-1998 [3] จะได้ระดับพิกัดกระแสที่สามารถใช้งาน 3 พิกัดด้วยกันคือ 100 แอมแปร์, 50 แอมแปร์ และ 25 แอมแปร์ ในขณะที่พิกัดแรงดันจะถูกเลือกให้สอดคล้องกับพิกัดกระแส กล่าวคือ แต่ละพิกัดจะมีค่าแตกต่างกันประมาณครึ่งเท่าตัว หากพิจารณาจากค่าแรงดันอ้างอิงที่ใช้ตามมาตรฐานของ IEC687-1992 ดังแสดงใน ตารางที่ 2.1 สามารถเลือกพิกัดแรงดันใช้งานได้ 3 ค่า คือ 220 โวลต์, 120 โวลต์ และ 63.5 โวลต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ค่าแรงดันอ้างอิงมาตรฐานของมิเตอร์ประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน IEC687

ประเภทของมิเตอร์	ค่ามาตรฐาน (โวลท์)	ค่ายกเว้น (โวลท์)
มิเตอร์ที่ต่อกับหม้อแปลง กระแสเท่านั้น	120-230-277-400-480	100-127-200-220-240- 380-415
มิเตอร์ที่ต่อกับหม้อแปลง แรงดัน	57.7-63.5-100-110- 115-120-200	173-190-220

2.3 ข้อกำหนดเรื่องความแม่นยำของมิเตอร์ตามมาตรฐาน ANSI C12.20-1998

มาตรฐาน ANSI C12.20-1998 เป็นมาตรฐานที่กำหนดค่าความแม่นยำของมิเตอร์ ที่ระดับความแม่นยำ 0.2 และ 0.5 โดยมีข้อกำหนดในเรื่องต่าง ๆ ดังนี้

- ความถี่อ้างอิงมาตรฐาน 50 เฮิร์ต และ 60 เฮิร์ต
- ขอบเขตความผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกระแส ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ถึง 2.6 ประกอบด้วย ขอบเขตความผิดพลาดในการวัดที่โหลดสมดุล, ขอบเขตความผิดพลาดในการวัดเมื่อมีค่าตัวประกอบกำลัง, ขอบเขตความผิดพลาดในการเปลี่ยนแปลงความถี่, ขอบเขตความผิดพลาดเมื่อโหลดกระแสไม่สมดุล และ ระดับกระแสเริ่มต้นที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 2.2 ขอบเขตความผิดพลาดในการวัดที่โหลดสมดุล

เงื่อนไข	ระดับคลาสกระแส			ขอบเขตการเปลี่ยนแปลง ร้อยละของความผิดพลาดในการวัด จากระดับอ้างอิง	
	กระแส (แอมแปร์)			ระดับความแม่นยำ	
	25	50	100	0.2	0.5
(1)	0.15	0.5	1	±0.4	±1.0
(2)	0.25	0.75	1.5	±0.2	±0.5
(3)	0.5	1	3	±0.2	±0.5
(4)	1.5	2.5	10	±0.2	±0.5
(5)	2.5	5	15	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
(6)	5	10	30	±0.2	±0.5
(7)	10	15	50	±0.2	±0.5
(8)	15	25	75	±0.2	±0.5
(9)	20	35	90	±0.2	±0.5
(10)	25	50	100	±0.2	±0.5

ตารางที่ 2.3 ขอบเขตความผิดพลาดในการวัดเมื่อมีค่าตัวประกอบกำลัง

เงื่อนไข	ระดับคลาสกระแส			ค่าตัวประกอบกำลัง	ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงร้อยละของความผิดพลาดในการวัดจากจุดอ้างอิง	
	กระแส (แอมแปร์)				ระดับความแม่นยำ	
	25	50	100		0.2	0.5
(1)	0.5	1	1.5	1.0	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
	1	1.5	3	0.5 นำหน้า	±0.5	±1.0
	1	1.5	3	0.5 ล้าหลัง	±0.5	±1.0
(2)	10	25	50	1.0	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
	10	25	50	0.5 นำหน้า	±0.3	±0.6
	10	25	50	0.5 ล้าหลัง	±0.3	±0.6
(3)	25	50	100	1.0	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
	25	50	100	0.5 นำหน้า	±0.3	±0.6
	25	50	100	0.5 ล้าหลัง	±0.3	±0.6

ตารางที่ 2.4 ขอบเขตความผิดพลาดในการเปลี่ยนแปลงความถี่

เงื่อนไข	ระดับคลาสกระแส			% ความถี่	ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงร้อยละของความผิดพลาดในการวัดจากจุดอ้างอิง	
	กระแส (แอมแปร์)				ระดับความแม่นยำ	
	25	50	100		0.2	0.5
(1)	0.5	1	1.5	100	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
(2)	0.5	1	1.5	98	±0.1	±0.2
(3)	0.5	1	1.5	102	±0.1	±0.2
(4)	2.5	5	15	100	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
(5)	2.5	5	15	98	±0.1	±0.2
(6)	2.5	5	15	102	±0.1	±0.2

ตารางที่ 2.5 ขอบเขตความผิดพลาดเมื่อโหลดกระแสไม่สมดุล

เงื่อนไข	การต่อของวงจร กระแส	ระดับคลาสกระแส			ขอบเขตการเปลี่ยนแปลง ร้อยละของความผิดพลาดใน การวัดจากจุดอ้างอิง	
		กระแส (แอมแปร์)			ระดับความแม่นยำ	
		25	50	100	0.2	0.5
(1)	ทุกวงจร	0.25	0.5	1.5	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
(2)	เฉพาะวงจร A	0.25 N*	0.5 N*	1.5 N*	±0.3	±0.7
(3)	เฉพาะวงจร B	0.25 N*	0.5 N*	1.5 N*	±0.3	±0.7
	วงจร C,D ฯลฯ	0.25 N*	0.5 N*	1.5 N*	±0.3	±0.7
(4)	ทุกวงจร	2.5	5	15	ระดับอ้างอิง	ระดับอ้างอิง
(5)	เฉพาะวงจร A	2.5	5	15	±0.3	±0.7
(6)	เฉพาะวงจร B	2.5	5	15	±0.3	±0.7
	วงจร C,D ฯลฯ	2.5	5	15	±0.3	±0.7

N* แทนจำนวนองค์ประกอบในมิเตอร์

ตารางที่ 2.6 ระดับกระแสเริ่มต้นที่ใช้ในการทดสอบ

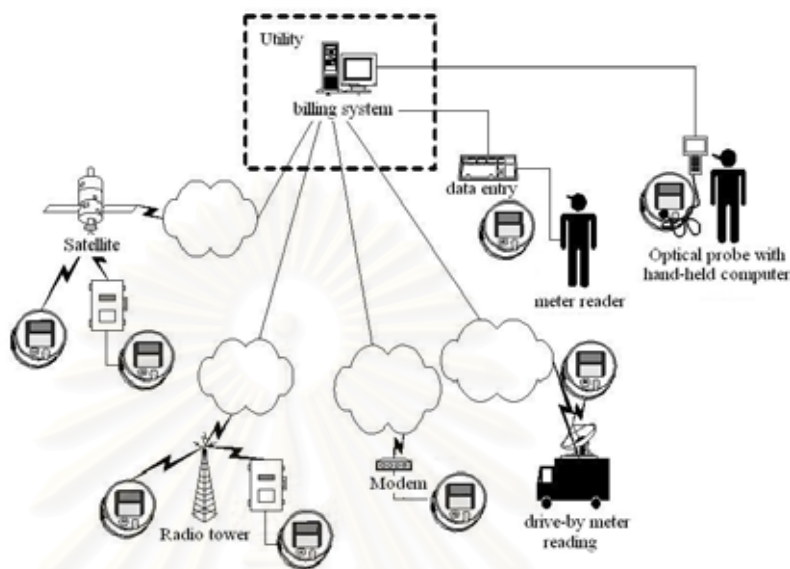
คลาสกระแส	ระดับความแม่นยำ (กระแส – แอมแปร์)	
	0.2	0.5
25	0.010	0.01
50	0.050	0.05
100	0.10	0.1

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบมิเตอร์ที่ทำการออกแบบนั้น เมื่อมิเตอร์ทำงานที่ระดับพิกัดกระแสและพิกัดแรงดันสูงสุด (100 แอมแปร์ - 220 โวลต์) จะกำหนดระดับความแม่นยำไว้ที่ 0.2 ในขณะที่เงื่อนไขอื่น ๆ จะกำหนดความแม่นยำไว้ที่ 0.5 เนื่องจากในการนำไปใช้งานจริง จะใช้กับพิกัดกระแสและพิกัดแรงดันสูงสุดมากกว่าพิกัดอื่น ๆ ดังนั้น การทำงานที่พิกัดอื่น ๆ นอกจากนี้อาจเป็นส่วนเสริมของมิเตอร์ จึงกำหนดระดับความแม่นยำที่น้อยกว่าการทำงานที่พิกัดสูงสุด

2.4 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ

ระบบอ่านค่ามิเตอร์ในสมัยก่อนจะใช้พนักงานเข้าไปอ่านมิเตอร์ที่เป็นแบบจานหมุน แต่เนื่องจากการเข้ามามีบทบาทของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาซึ่งเป็นมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทำให้รูปแบบการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติมีบทบาทและความหลายหลายมากยิ่งขึ้น ข้อดีของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ คือ ช่วยลดต้นทุนในการเก็บข้อมูล, เพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านค่าและ

ออกใบเสร็จ, ปรับปรุงความแม่นยำในการอ่านมิเตอร์ และเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้ใช้บริการไฟฟ้า จากรูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบวิวัฒนาการของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงอนาคต เริ่มจากการใช้พนักงานไปเดินจดค่า, การใช้พอร์ตแสงอินฟราเรด, การใช้เครือข่ายโทรศัพท์, การใช้คลื่นวิทยุ และการใช้เครือข่ายดาวเทียม



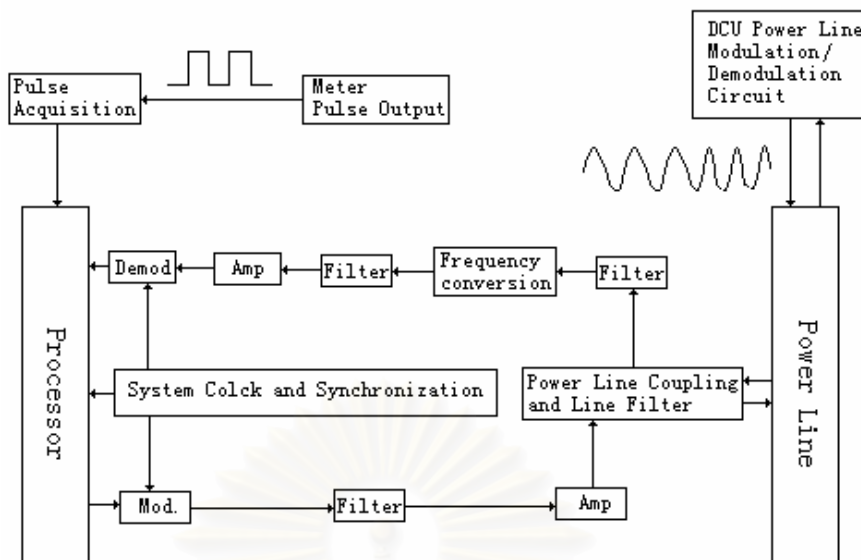
รูปที่ 2.1 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบต่าง ๆ

ในการพัฒนาระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ มีการใช้เทคนิคและตัวกลางในการสื่อสารแบบต่าง ๆ มีทั้งข้อดีข้อเสียต่างกันไป การพิจารณาความเหมาะสมและการเลือกใช้เทคนิคต่างๆ สำหรับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่เป็นสำคัญ จึงไม่มีรูปแบบ หรือเทคนิคของระบบใดที่เหมาะสมกับทุกพื้นที่ ห้างปฏิบัติการวิจัยออกแบบและประยุกต์วงจรรวมได้ทำการพัฒนาระบบค่าอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ โดยใช้ลำแสงอินฟราเรด [4] เป็นระบบที่พัฒนามาจากการใช้พอร์ตแสง (Optical Port) ที่ใช้งานตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 [5] โดยจะมีการยิงลำแสงอินฟราเรดไปที่มิเตอร์ที่ต้องการอ่านค่า เป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำแต่ข้อเสียของการใช้แสงอินฟราเรดคือระยะทางในการสื่อสารและความเร็วในการส่งข้อมูลของมิเตอร์ที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นในการอ่านค่าจะต้องเข้าไปใกล้กับตัวมิเตอร์ที่จะทำการอ่านและจะต้องไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวมิเตอร์และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อ่านค่ามิเตอร์ นอกจากนั้นแล้วในบริเวณที่มีแสงแดดจ้ามากจะทำให้สมรรถนะของอุปกรณ์ถูกลดทอนไปด้วยเช่นกัน

จากข้อเสียดังกล่าวทำให้เกิดข้อจำกัดขึ้นในการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาหาแนวทางในการพัฒนาระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ ให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้น ดังต่อไปนี้

1) การใช้สายส่งกำลัง

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ประโยชน์จากสายส่งกำลังที่มีอยู่แล้วมาใช้เป็นตัวนำในการสื่อสารของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณพาหะที่เป็นไฟสลัความถี่สูง (โดยทั่วไปอยู่ในย่าน 9 KHZ ไปจนถึง 20 MHz) เข้าไปในสายส่งกำลังและการมอดูเลตสัญญาณพาหะนี้เข้ากับข้อมูลที่มาจากส่วนจำเพาะเชื่อมต่อกับมิเตอร์หรือจากตัวรวบรวมข้อมูลโดยใช้โมเด็มชนิดส่งข้อมูลผ่านสายส่งกำลัง (Power Line Modem) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

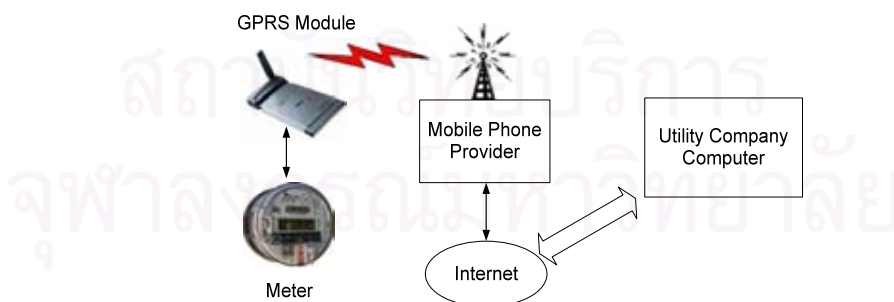


รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของระบบอ่านค่ามิเตอร์ที่ใช้สายส่งกำลังเป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล

อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีปัญหาอยู่มาก [6] ยกตัวอย่างเช่น ไม่สามารถส่งได้ในระยะไกล เพราะสายส่งสามารถเป็นตัวลดทอนสัญญาณพาหะที่มีความถี่สูงได้ สัญญาณไม่สามารถถูกส่งผ่านข้ามหม้อแปลงแรงดันสูงของการไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการแทรกสอดไปรบกวนกับคลื่นวิทยุได้ และถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนจากแหล่งต่าง ๆ ได้ง่าย เป็นต้น

2) การใช้เครือข่าย GPRS (General Packet Radio Service)

ระบบ GPRS เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบกลุ่มข้อมูลที่ทำงานบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone Network) ในปัจจุบันมีการนำมาใช้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อเล่นอินเทอร์เน็ตหรือรับส่งอีเมลล์การติดต่อกับเครือข่ายสามารถทำการติดต่อได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องมีการกดเลขหมาย (Dial Up) เหมือนกับการใช้โมเด็ม การใช้งานจะต้องอยู่ในระยะทำการของเครือข่าย นั้น ๆ ในขณะที่ความเร็วในการติดต่อสื่อสารนั้นเปรียบได้กับการใช้แวนะลอกโมเด็ม แต่มีการคิดค่าบริการตามจำนวนไบต์ข้อมูลที่ได้รับส่งกับเครือข่ายแทนที่จะเป็นการคิดค่าบริการตามเวลาที่ติดต่อกับเครือข่าย



รูปที่ 2.3 การประยุกต์ใช้เครือข่าย GPRS กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2.3 เห็นได้ว่าโครงสร้างการทำงานในระดับบน สามารถใช้งานร่วมกับระบบเครือข่ายของโทรศัพท์มือถือทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ค่อนข้างมาก นอกจากนี้การใช้อินเทอร์เน็ตทำให้สามารถร้องขอข้อมูลจากมิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการได้ภายในครั้งเดียวเท่านั้น

ข้อได้เปรียบของวิธีนี้คือ สามารถติดต่อกับมิเตอร์จำนวนมากเท่าไรก็ได้ โดยมีเตอร์จะต้องอยู่ในเขตครอบคลุมของเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ รวมทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถติดต่อกับมิเตอร์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย แต่ข้อเสียของระบบนี้คืออุปกรณ์ที่เป็นมอดูล GPRS นั้นยังมีราคาที่ยังค่อนข้างสูงอยู่ และในการติดตั้งจะต้องมีการเสียค่าบริการให้กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงจะต้องมีการเจรจาในการใช้งานระยะยาวกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อีกด้วย

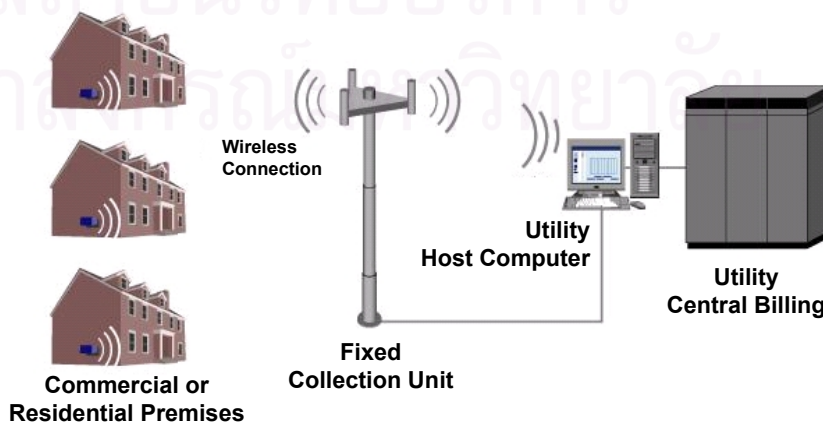
3) การใช้คลื่นวิทยุ

เป็นการนำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นตัวกลางในการสื่อสารกับมิเตอร์ ข้อดีของระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุ คือ มีการติดตั้งระบบและการทำงานที่ง่ายไม่ต้องต่อสายซับซ้อน, สามารถทำงานได้ทั้งระบบโดยไม่ต้องใช้บุคคลภายนอก (Third Party) เข้ามาจัดการกับระบบ และมีต้นทุนโดยรวมที่ไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอ่านค่ามิเตอร์ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่ปัญหาของการใช้คลื่นวิทยุ คือ การออกแบบระบบจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเนื่องจากการใช้งานคลื่นวิทยุนั้นถือว่าเป็นการทำงานบนระบบเปิดที่บุคคลทั่วไปสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ รวมทั้งยังมีปัญหาของการแทรกสอดหรือรบกวนขึ้นได้หากในพื้นที่ใช้งานไม่มีการจัดสรรความถี่ไว้อย่างเหมาะสม แต่ด้วยความยืดหยุ่นของระบบคลื่นวิทยุทำให้สามารถออกแบบระบบให้มีความปลอดภัยสูงและลดปัญหาการแทรกสอดที่เกิดขึ้นได้ [7] ในปัจจุบันมีมาตรฐานที่รองรับการสื่อสารข้อมูลคลื่นวิทยุอยู่มากมาย เช่น IEEE 802.11 (WIFI), 802.15.1 (Bluetooth), 802.15.3 (Ultrawideband) และ 802.15.4 (Zigbee) จากข้อดีที่ได้กล่าวมาของการใช้คลื่นวิทยุ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พัฒนาต้นแบบของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ โดยจะกล่าวถึงข้อมูลอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 2.5

2.5 ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ

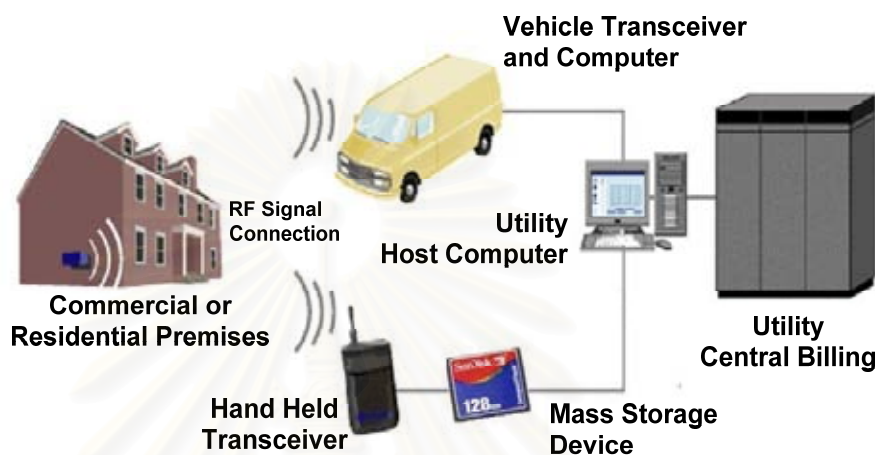
การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติเป็นรูปแบบการสื่อสารที่มีแนวโน้มในการใช้งานมากที่สุด โดยแบ่งลักษณะการใช้งานเป็น 2 ประเภทคือ

- (1) ระบบประจำที่ (Fixed Radio) อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่เป็นตัวเก็บข้อมูลจะถูกติดตั้งอยู่ตามเสาหรือตามตึกที่อยู่ใกล้กับมิเตอร์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากมิเตอร์ และ ส่งสัญญาณนี้ต่อไปยังสำนักงานกลางโดยอาจใช้เครือข่ายการสื่อสารอื่นร่วมด้วย เช่น เครือข่ายโทรศัพท์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยการใช้งานประเภทนี้จำเป็นต้องมีการส่งคลื่นวิทยุที่มีกำลังค่อนข้างสูงและต้องมีการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์บนเสาสำหรับส่งคลื่นวิทยุ



รูปที่ 2.4 ระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบประจำที่

- (2) ระบบเคลื่อนที่ (Mobile Radio) เป็นวิธีที่ให้ตัวอ่านค่ามิเตอร์ ซึ่งมีอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุติดอยู่ เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปใกล้กับมิเตอร์ในระยะปฏิบัติการ โดยอุปกรณ์ที่ใช้อาจมีลักษณะที่สามารถพกพาได้ (Hand-Held) หรือถูกติดตั้งอยู่บนรถเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 วิธีนี้สามารถออกแบบระบบให้เป็นอุปกรณ์สื่อสารระยะใกล้ (SRD : Short Range Device) ทำให้การออกแบบระบบจะมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบแรก ดังนั้นระบบนี้จึงถูกนำมาใช้เป็นระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุในวิทยานิพนธ์



รูปที่ 2.5 ระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุแบบเคลื่อนที่

ระบบที่ใช้ในการสื่อสารของคลื่นวิทยุในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ แบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน ได้แก่

- ระบบคลื่นวิทยุแถบแคบ (Narrow Band) จะมีการสื่อสารอยู่ที่ความถี่เดียวเท่านั้นในระบบ การออกแบบระบบไม่ค่อยซับซ้อนมากนักและสามารถรองรับเครือข่ายที่เป็นแบบ วงมัลติฐาน (Mesh) ได้
- ระบบคลื่นวิทยุแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum) จะต่างจากระบบคลื่นวิทยุแถบแคบ ตรงที่พลังงานของสัญญาณจะถูกกระจายไปทั่วทั้งย่านความถี่ที่ใช้งาน เป็นการลดความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณที่จะส่งไป ข้อเด่นของระบบนี้คือแบนด์วิดท์ที่ใช้ (W) จะมีค่ามากกว่า อัตราการส่งข้อมูล (R : บิตต่อวินาที) ทำให้แบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้จะมีค่าเป็น $B_e = W/R$ และจะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ ระบบที่เป็นสเปกตรัมแผ่จะมีข้อได้เปรียบที่เหนือกว่าระบบ แถบแคบดังนี้
 - มีความเป็นไปได้น้อยที่สัญญาณจะถูกขัดขวาง ทำให้ยากที่จะตรวจจับสัญญาณคลื่นวิทยุที่กำลังใช้งานอยู่ในขณะนั้น
 - มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนวิทยุแถบแคบที่มาจากช่องสัญญาณอื่น และมีคุณสมบัติต่อต้านการโจมตีจากผู้ไม่หวังดีที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้
 - ลดความไวต่อการแทรกแซงเนื่องจากการสะท้อนกลับหลายทิศทางของคลื่นวิทยุ (Multi-Path Reflection)
 - ลดความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณที่ทำการส่ง

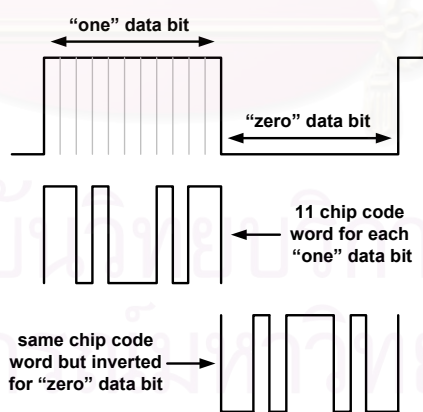
ระบบสเปกตรัมแผ่ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน ได้แก่

1. Direct Sequence

สเปกตรัมแผ่ชนิด Direct Sequence เป็นเทคนิคที่ใช้คลื่นพาห์แบบระบุมวลที่ที่ใช้ แต่สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าการสื่อสารแบบแถบแคบ ข้อมูลในระบบจะถูกกระจายให้มีช่วงความถี่กว้าง ในรูปแบบของรหัสเฉพาะ โดยส่วนใหญ่จะใช้กับลำดับสัญญาณรบกวนเทียม หรือ ลำดับพี-เอ็น

รูปแบบนี้จะใช้การเข้ารหัสในวิธีพิเศษ โดยการแปลงเลขฐานสองแต่ละบิตในข้อมูลดั้งเดิมที่จะส่งไปให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสองที่มีความยาวเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเลขฐานสอง '1' อาจจะถูกแปลงเป็น '11010001011' และข้อมูล '0' จะถูกแปลงเป็นค่าผกผัน ของ 1 คือ '0010110100' ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ข้อมูลที่แปลงแล้วเหล่านี้จะถูกส่งไปพร้อม ๆ กัน ในลักษณะขนานหากผู้รับสามารถจดจำรูปแบบการแปลงข้อมูลได้ ก็จะถูกส่งไปโดยที่สัญญาณรบกวนไม่สามารถทำให้ข้อมูลเสียหายหรือหากรูปแบบที่ส่งไปเกิดผิดพลาดไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใดก็ตาม ทางฝ่ายรับก็สามารถที่จะใช้เทคนิคในทางสถิติเพื่อกู้ข้อมูลที่ผิดพลาดไปให้กลับคืนมาได้ วิธีนี้จะใช้ในมาตรฐาน IEEE802.11 และ IEEE802.15.4 ผู้ผลิตระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่จะเลือกใช้วิธีการนี้เพราะว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมมากกว่าวิธีอื่นในสภาพแวดล้อมที่มีการแทรกสอดรบกวนจากคลื่นวิทยุอื่นๆ อย่างรุนแรง

การสร้างรหัส พี-เอ็น ส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลชิป (Chip Rate) มีค่าอัตราการส่งข้อมูลสูงกว่าข้อมูลที่ต้องการส่งจริง โดยข้อมูลด้านออก จะถูกนำไปเข้า PSK มอดูเลเตอร์ ในขณะที่ทางภาครับจะต้องมีการทำสหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ซับซ้อนของ รหัสพีเอ็น เพื่อที่จะถอดรหัสของลำดับข้อมูลที่ได้รับมาได้ ดังนั้นในการสร้างระบบที่เป็น Direct Sequence จึงมีความซับซ้อนมากเนื่องจาก จะต้องมีการชิงโครโนที่แน่นอนและจำเป็นต้องใช้เทคนิคการสหสัมพันธ์ [8] ที่คล้ายกับ การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลทางเฟสชนิดไบนารี (BPSK) จึงไม่เหมาะกับการนำระบบนี้มาใช้กับ ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ต้องการความซับซ้อนของระบบมากนัก



รูปที่ 2.6 ลักษณะการเข้ารหัสของ Direct sequence

2. การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ (FHSS)

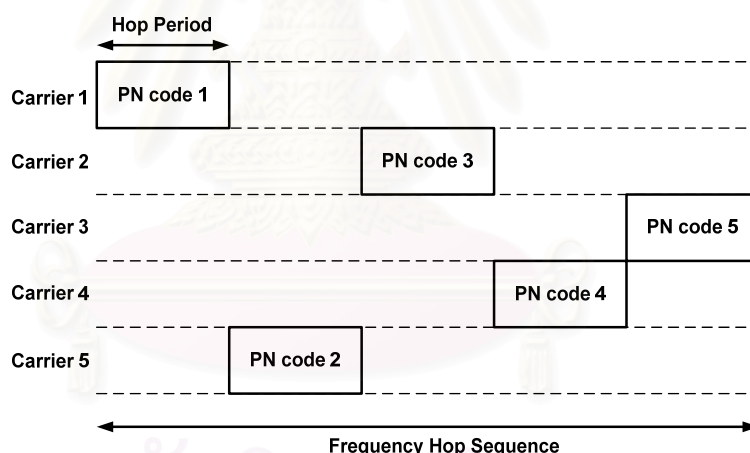
การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่พาห์แถบแคบเพียงความถี่เดียว และจะเปลี่ยนแปลงความถี่ไปมาอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะหรือรูปแบบที่เป็นที่เข้าใจตรงกันระหว่างภาคส่งกับภาครับ

วิธีการส่งแบบนี้ป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ข้างเคียงได้เป็นอย่างดี เพราะความถี่จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทำให้เกิดความปลอดภัยของข้อมูลสูงมากขึ้น ผู้ผลิตระบบเครือข่ายเฉพาะที่ไร้สายแบบกระโดดเปลี่ยนความถี่ให้ความเห็นว่าการส่งข้อมูลวิธีนี้สามารถส่งข้อมูลไปพร้อม ๆ กันหลายช่องสัญญาณได้ด้วยการกำหนดให้มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงหลายๆ รูปแบบทำงานไปพร้อมกัน ซึ่งจะสามารถใช้ประโยชน์ของแถบความถี่ได้อย่างเต็มที่และทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ดังนั้นเทคนิค การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ จึงถูกเลือกนำมาใช้กับการอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งคำนึงถึงปัญหาทางด้านประสิทธิภาพและคลื่นรบกวน รวมทั้งการออกแบบระบบที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และต้นทุนที่ไม่สูงมากเกินไป รายละเอียดของวิธีนี้จะกล่าวในหัวข้อที่ 2.6

3. ระบบไฮบริด DS/(F)FH

เป็นเทคนิคที่ผสมผสานกันระหว่างเทคนิคสเปกตรัมแผ่ 2 วิธีเข้าด้วยกัน คือ เทคนิค Direct Sequence และ เทคนิคกระโดดเปลี่ยนความถี่ การทำงานจะมีการกระโดดไปมาบนแต่ละความถี่เหมือนกับเทคนิคการกระโดดเปลี่ยนความถี่ และในแต่ละความถี่นั้นก็ทำการเข้ารหัสลับเพื่อเป็นการทำสเปกตรัมแผ่เหมือนกับเทคนิค Direct Sequence ดังแสดงในรูปที่ 2.7 การใช้เทคนิคนี้จะทำให้ระบบมีความปลอดภัยสูงที่สุดและมีการแผ่ของสเปกตรัมที่มากที่สุด แต่การสร้างระบบนี้ค่อนข้างจะมีความซับซ้อนมากเพราะต้องรวมการสร้างของทั้ง 2 วิธีเข้าด้วยกัน

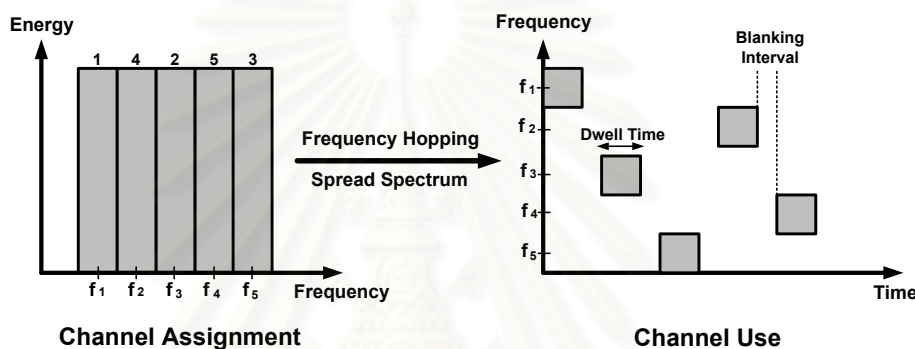


รูปที่ 2.7 ลักษณะการเข้ารหัสของระบบไฮบริด

สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ คือ ย่านความถี่ที่ใช้งานบนสเปกตรัมความถี่ (Frequency Spectrum) ในประเทศไทยนั้นทางกรมไปรษณีย์โทรเลขจะเป็นผู้จัดสรรสเปกตรัมความถี่ โดยได้ทำการแบ่งคลื่นความถี่ไว้ให้กับกิจการด้านต่าง ๆ โดยแบ่งย่านการใช้งาน 2 ย่าน คือ 138 – 510 MHz และ 790 – 960 MHz ดังนั้นในการออกแบบการสื่อสารคลื่นวิทยุควรจะคำนึงถึงสเปกตรัมความถี่ที่สามารถใช้งานได้ด้วย เพื่อป้องกันการรบกวนการใช้งานกับกิจการต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดให้มีการใช้งานอยู่แล้ว

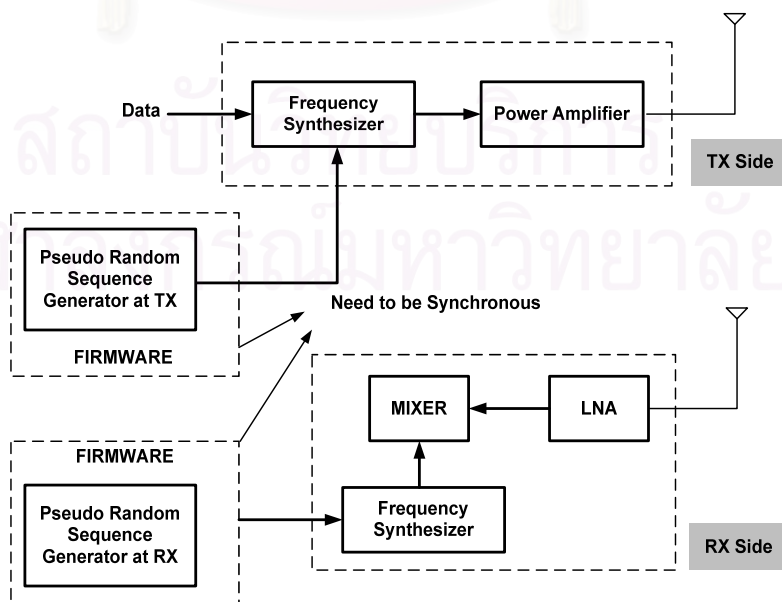
2.6 การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุโดยใช้เทคนิคสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

สเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ คือเทคนิคในการเปลี่ยนความถี่พาห้ในระหว่างการสื่อสาร จะใช้กับการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วไม่สูงมากนัก และมีการสูญเสียพลังงานของระบบที่ต่ำ หลักการของ สเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่จะทำการแบ่งข้อมูลเพื่อส่งไปในแต่ละช่วงของการกระโดด (Hop) โดยปกติแล้ว อัตราการกระโดด จะอยู่ระหว่าง 50 ไปจนถึงหลายร้อย Hop ต่อวินาที ช่วงเวลาระหว่างการกระโดดเปลี่ยนความถี่จะไม่มีการรับและส่งข้อมูลเรียกว่า ช่วงเวลาเบลนคิง (Blanking interval) เป็นช่วงเวลาที่ระบบทำการสร้างความถี่ตามลำดับสัญญาณรบกวนเทียม, ทำการกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุเพื่อทำงานที่ความถี่นั้น ๆ และต้องมีกรอให้เฟสล็อกอุปทำการล็อกความถี่ด้วย ส่วนช่วงเวลาที่สามารถใช้งานได้ในแต่ละช่องสัญญาณ เรียกว่า เวลาดเวลล์ (Dwell Time) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 สีเหลี่ยมอันเล็กในรูปด้านขวามือจะแสดงถึงข้อมูลที่มีความถี่พาห้ต่าง ๆ



รูปที่ 2.8 รูปแบบการใช้ช่องสัญญาณของสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของเทคนิคกระโดดเปลี่ยนความถี่ คือ ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของข้อมูลที่ส่ง ถ้ามีบางช่องสัญญาณถูกจู่โจมจากสัญญาณรบกวน หรือ การสะท้อนคลื่นวิทยุหลายวิถี ระบบก็ยังคงสามารถทำงานบนความถี่อื่นได้ ยิ่งไปกว่านั้นการดักฟังข้อมูลยังทำได้ยากเนื่องจากอุปกรณ์การโจมตีจะต้องมีการลำดับของการกระโดดเปลี่ยนความถี่ และมีการเปลี่ยนช่องสัญญาณที่รวดเร็วมาก



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

การทำงานของเทคนิคกระโดดเปลี่ยนความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ข้อมูลที่ทำการเข้ารหัสแล้วจะถูกมอดูเลตด้วยความถี่พาห้ที่ความถี่หนึ่ง และจะเปลี่ยนความถี่พาห้ที่ใช้ในการมอดูเลตไปตามลำดับที่สร้างขึ้นจากลำดับสัญญาณรบกวนเทียม โดยจะเป็นลำดับเดียวกันกับทางภาครับ ในขณะที่ภาครับจะทำการดีมอดูเลตสัญญาณที่เข้ามาด้วยความถี่พาห้เดียวกับทางภาคส่งแล้วทำการถอดรหัสข้อมูลออกมา ก่อนที่จะมีการรับส่งข้อมูลกันนั้น ภาครับจะต้องรู้ก่อนว่าขณะนี้ทางภาคส่งกำลังทำงานอยู่ที่ความถี่พาห้อะไร (ซิงโครไนซ์) สำหรับเทคนิคในการซิงโครไนซ์ของภาครับมีหลายแบบดังแสดงในเอกสารอ้างอิง [9] ส่วนใหญ่การซิงโครไนซ์จะใช้เทคนิคสหสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อน แต่เนื่องจากข้อจำกัดของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำมาใช้ในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติถือว่าเป็นระบบขนาดเล็ก ดังนั้นจึงใช้เทคนิคการซิงโครไนซ์ที่ง่ายต่อการทำงานสำหรับระบบขนาดเล็ก [10] โดยมีรายละเอียดดังนี้

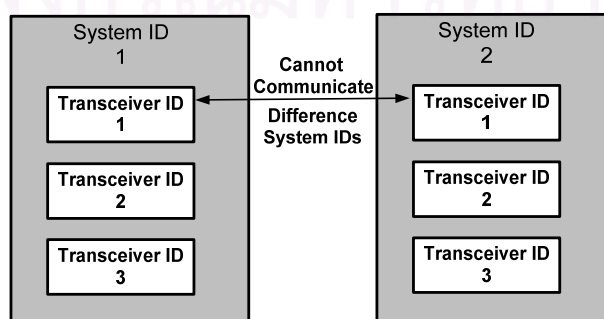
การค้นเป้า (Acquistion) และการซิงโครไนซ์ (Synchronization) ในระบบกระโดดเปลี่ยนความถี่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากภาคส่งจะทำงานที่ความถี่พาห้ที่สร้างจากลำดับสัญญาณรบกวนเทียม ดังนั้นทางภาครับจำเป็นต้องสร้างลำดับความถี่เหล่านั้นให้เหมือนกับทางภาคส่งเพื่อให้เหมาะสมในการทำดีมอดูเลตของสัญญาณ การซิงโครไนซ์จึงได้เข้ามามีบทบาทกับระบบกระโดดเปลี่ยนความถี่ โดยสามารถแบ่งการซิงโครไนซ์ออกเป็น 2 เฟสได้ดังนี้

- เฟสค้นเป้า (Acquistion Phase) เป็นการเริ่มต้นเพื่อที่จะให้ทางภาครับได้รู้จัก (Recognize) กับทางภาคส่ง
- เฟสติดตาม (Tracking Phase) เฟสนี้จะเกิดเมื่อมีการค้นเป้าเสร็จสมบูรณ์แล้ว โดยทางภาครับจะต้องมีการซิงโครไนซ์อย่างต่อเนื่องจนการส่งข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

ความซับซ้อนของเฟสค้นเป้าขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบ ถ้าระบบมีลักษณะเป็นแบบ จุดถึงจุด (Point-To-Point) การค้นเป่าก็จะง่ายในขณะที่ถ้าระบบเป็นแบบจุดถึงหลายจุด (Point-To-Multipoint) การค้นเป่าจะมีความซับซ้อนมากขึ้น

ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติมีรูปแบบของระบบเป็น point-to-multipoint และมีการนำเสนอใหม่ที่เป็นการจัดลำดับชั้นมาใช้ โดยกลุ่มของอุปกรณ์รับส่งที่อยู่ในระบบเดียวกันจะมีหมายเลขระบบเหมือนกัน ซึ่งถูกกำหนดให้ใช้ในการสื่อสารเฉพาะภายในกลุ่ม การสื่อสารจะเกิดขึ้นได้ระหว่างอุปกรณ์รับส่งในหมายเลขประจำระบบเดียวกันเท่านั้น ดังนั้นตัวรับส่งที่มีหมายเลขประจำตัวเดียวกันแต่มีหมายเลขประจำระบบที่แตกต่างกันก็จะไม่สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การทำงานของระบบ point-to-multipoint

วิธีการค้นเป้าของระบบสามารถทำได้ โดยภาคส่งจะส่งข้อมูลช่องสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารที่ถูกส่งออกมาจากชุดของการกระโดดเปลี่ยนความถี่ โดยช่วงเวลาที่ใช้ในความถี่นั้นจะมีค่าเท่ากับเวลาเดเวลต์บวกกับช่วงเวลาแบล็ก แล้วนำมาคูณกับช่องสัญญาณทั้งหมดที่ใช้ในชุดของการกระโดดเปลี่ยนความถี่ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเวลาเดเวลต์ของภาครับ มีค่าเป็น 16 มิลลิวินาที และ ช่วงเวลาแบล็กก็มีค่า 4 มิลลิวินาที ดังนั้นช่วงเวลาที่ภาครับจะต้องรอในหนึ่งความถี่มีค่าเป็น 20 มิลลิวินาที สมมุติว่าในการ Hop มีการใช้ช่องสัญญาณทั้งหมด 50 ช่องสัญญาณ ดังนั้นภาคส่งจึงต้องส่งข้อมูลในช่วงความถี่ที่มีการสุ่มขึ้นมาเป็นเวลา 1 วินาที (20x50) ภาครับจะทำการตรวจจับสัญญาณทั้ง 50 ความถี่ของชุดการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (1 วินาที) เมื่อภาครับสามารถหาช่องสัญญาณของทางภาคส่งได้เจอที่ความถี่ใดจะเท่ากับว่าการค้นเป้าประสบความสำเร็จ

วิธีการนี้ง่ายต่อการนำไปใช้จริง และถูกแนะนำสำหรับระบบที่มีการขัดจังหวะให้ทำงานตามคาบเวลา (ระบบเซ็นเซอร์) ด้วยเหตุที่การค้นเป่ามีการใช้เวลานานดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงไม่แนะนำสำหรับระบบที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมาก วิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติเนื่องจากการอ่านค่ามิเตอร์แต่ละครั้งนั้นจะใช้เวลาไม่นานนัก และข้อมูลที่มีการสื่อสารก็มีจำนวนไม่มากด้วย

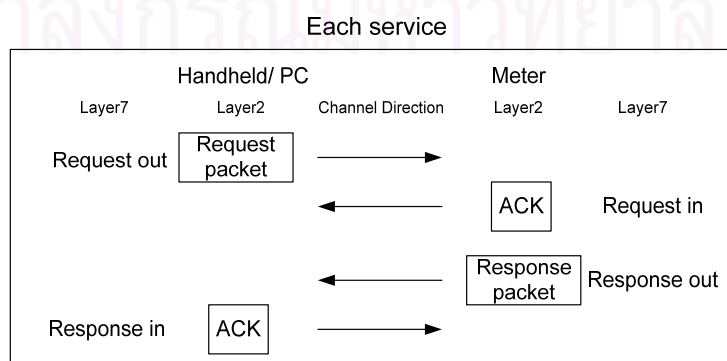
เมื่อมีการค้นเป้าเสร็จเรียบร้อย ทางภาครับและภาคส่งก็จะสามารถทำการสื่อสารกันได้ โดยภาครับจะต้องมีการเปลี่ยนความถี่ให้เหมือนกับทางภาคส่ง โดยเฟสติดตามจะทำหน้าที่รักษาเวลาและรักษาการซิงโครไนซ์ของระบบ วิธีที่ใช้ในเฟสติดตาม คือ การเก็บคู่ของความถี่ทั้งภาคส่งและภาครับเป็นตารางค่าคงที่ในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยตารางความถี่นั้นจะเป็นตารางเดียวกันที่ถูกใช้ในภาคส่งและภาครับ

2.7 โพรโทคอลสำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์

การสื่อสารกับมิเตอร์ด้วยอุปกรณ์มือถือที่พัฒนาขึ้นยึดรูปแบบของโพรโทคอลตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 เป็นหลัก ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดโดยการแบ่งเป็นลำดับชั้น ตามรูปแบบของการเชื่อมต่อระหว่างระบบเปิด (Open System Interconnection หรือ OSI) ด้วยกันทั้งหมด 3 ระดับชั้น คือ ระดับชั้นของการประยุกต์ (Application Layer) ระดับชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) และ ระดับชั้นที่เกี่ยวข้องทางกายภาพ (Physical Layer)

2.7.1 รายละเอียดโดยสังเขปในระดับชั้นของการประยุกต์

ในหัวนี้จะกล่าวถึงกระบวนการ (Service) ต่างๆ ที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างตัวมิเตอร์กับอุปกรณ์ที่จะมาอ่าน โดยในแต่ละกระบวนการจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อยคือ ขั้นตอนร้องขอ (Request) และขั้นตอนตอบสนอง (Response) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 กระบวนการต่างๆ ได้แก่



รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนย่อยแต่ละกระบวนการในระดับชั้นของการประยุกต์

1) กระบวนการระบุ (Identification Service)

เป็นกระบวนการที่ต้องทำเป็นลำดับแรกหลังจากที่มีการเชื่อมต่อช่องทางการสื่อสารขึ้นกระบวนการนี้ใช้สำหรับร้องขอรายละเอียดของรุ่น (Version) และรุ่นของการปรับปรุง (Revision) ของโพรโทคอลบนตัวมิเตอร์ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการต่อไป

2) กระบวนการเจรจา (Negotiate Service)

เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับตั้งหรือเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสื่อสารกับมิเตอร์ไปจากค่าเริ่มต้น (Default Value) ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้แก่ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล ขนาดและจำนวนของกลุ่มข้อมูล (Packet) มากสุดที่รองรับได้

3) กระบวนการลงบันทึกเปิด (Logon Service)

ใช้สำหรับร้องขอการเริ่มต้นเข้าสู่ช่วงเวลาสื่อสาร (Session State) โดยการส่งหมายเลขของผู้ใช้ และชื่อของผู้ใช้ที่ทำการลงบันทึกเปิดไปในขั้นตอนร้องขอด้วย ข้อมูลของผู้ใช้เหล่านี้จะถูกเก็บอยู่ในส่วนลงบันทึกเหตุการณ์ (History Logs) บนตัวมิเตอร์ด้วย

4) กระบวนการรักษาความปลอดภัย (Security Service)

ถูกใช้สำหรับการอนุญาตหรือกำหนดสิทธิในการเข้าถึงข้อมูลให้กับแต่ละตารางข้อมูลบนตัวมิเตอร์โดยการส่งรหัสผ่านไปในขั้นตอนร้องขอ

5) กระบวนการอ่าน (Read Service)

เป็นกระบวนการที่ใช้อ่านข้อมูลที่อยู่ในตารางข้อมูลแต่ละชุดบนตัวมิเตอร์ออกมา ในการอ่านข้อมูลจะต้องทำการระบุหมายเลขของตารางข้อมูลไปด้วย นอกจากนี้ยังสามารถเลือกได้ว่าต้องการอ่านข้อมูลทั้งหมดในตารางข้อมูลหรืออ่านเป็นบางส่วนตามรูปแบบของขั้นตอนร้องขอของกระบวนการอ่าน

6) กระบวนการเขียน (Write Service)

ใช้สำหรับเขียนข้อมูลลงในตารางข้อมูลที่อยู่บนตัวมิเตอร์ตามหมายเลขตารางข้อมูลที่อยู่ในขั้นตอนร้องขอ เป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกับกระบวนการอ่านข้อมูล

7) กระบวนการลงบันทึกปิด (Logoff Service)

ตรงข้ามกับกระบวนการลงบันทึกเปิดคือ ใช้ร้องขอการออกจากช่วงเวลาการสื่อสารซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการลงบันทึกเปิด โดยค่าพารามิเตอร์ที่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการเจรจาจะยังคงเดิมอยู่

8) กระบวนการทำให้สิ้นสุด (Terminate Service)

ใช้สั่งยกเลิกช่องทางการสื่อสารที่ถูกสร้างขึ้นโดยทันที และ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสื่อสารซึ่งถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการเจรจาจะถูกเซตเป็นค่าเริ่มต้นใหม่หมด

ดังนั้นในการสื่อสารเพื่อติดต่อกับตัวมิเตอร์โดยทั่วไปนั้นจะประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ ตามลำดับต่อไปนี้

กระบวนการระบุ -> กระบวนการเจรจา -> กระบวนการลงบันทึกเปิด -> กระบวนการรักษาความปลอดภัย -> กระบวนการอ่านหรือเขียน -> กระบวนการทำให้สิ้นสุด

2.7.2 รายละเอียดของกลุ่มข้อมูลในระดับชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูล

รูปแบบของกลุ่มข้อมูลตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 ที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อ่านค่าแบบมือถือกับมิเตอร์ ประกอบไปด้วยเขตข้อมูล (Field) ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

Stp	Reserved	Ctrl	Seq_nbr	Length	Data	CRC
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	2 bytes	x bytes	2 bytes

รูปที่ 2.12 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996

แต่ละเขตข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

- Stp มีค่าเป็น 0xEE เพื่อบอกให้รู้ว่าเป็นไบต์แรกของกลุ่มข้อมูล (Start Of Packet)
- Ctrl บิตที่ 7 ใช้บอกชนิดของกลุ่มข้อมูลว่าเป็นแบบกลุ่มข้อมูลเดี่ยว (Single Packet) หรือเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มข้อมูลแบบหลายกลุ่ม (Multiple Packet)
 - บิตที่ 6 หากมีค่าเป็น "1" แสดงว่าเป็นกลุ่มข้อมูลกลุ่มแรกของกลุ่มข้อมูลแบบหลายกลุ่ม
 - บิตที่ 5 ถูกใช้เป็นบิตสลับ (Toggle) เพื่อป้องกันการรับกลุ่มข้อมูลซ้ำ บิตนี้จะถูกสลับไปมาทุกครั้งที่มีการส่งกลุ่มข้อมูลใหม่ออกมา
- Seq_nbr แสดงถึงลำดับของกลุ่มข้อมูลในกรณีของการรับส่งข้อมูลแบบหลายกลุ่มข้อมูล โดยกลุ่มข้อมูลแรกจะมีหมายเลขลำดับเท่ากับ (จำนวนกลุ่มข้อมูลทั้งหมด - 1) ส่วนกลุ่มข้อมูลสุดท้ายหรือกลุ่มข้อมูลเดี่ยวจะมีค่าเป็น 0x00
- Length ใช้บอกความยาวของเขตข้อมูล <Data> โดยมีหน่วยเป็นไบต์
- Data เป็นเขตของข้อมูลที่แท้จริงที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ ในระดับชั้นของการประยุกต์
- CRC เป็นค่าการตรวจสอบด้วยส่วนซ้ำซ้อนแบบวน (Cyclic Redundancy Check) ของกลุ่มข้อมูลกลุ่มข้อมูลนั้นเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของกลุ่มข้อมูล

2.7.3 การคำนวณหาค่าซีอาร์ซี

ค่าซีอาร์ซี คือเศษเหลือจากการหารค่าฟังก์ชัน Polynomial [11] ดังแสดงในสมการที่ 2.11

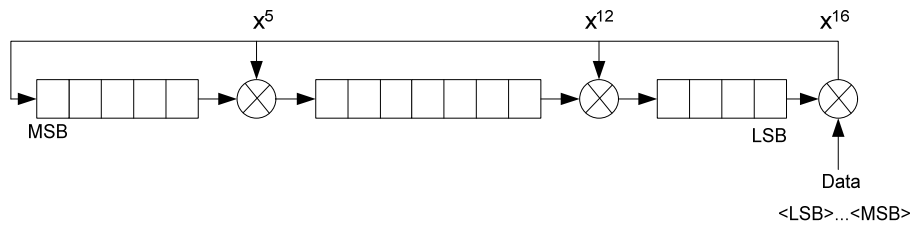
$$\text{ค่าซีอาร์ซี} = \text{เศษของการหารค่า} \frac{x^{n-p}[P(x)]}{G(x)} \quad \text{สมการที่ 2.11}$$

โดย $P(x)$ คือ Polynomial function ของข้อมูลที่จะถูกนำมาคำนวณ

$G(x)$ คือ Generator Polynomial function ซึ่งเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐานของ CRC-CCITT ซึ่งเป็นแบบที่ใช้คำนวณค่าซีอาร์ซีให้กลับแต่ละกลุ่มข้อมูลตามมาตรฐาน C12.18-1996 ใช้ค่า $G(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ ในการคำนวณ

n คือจำนวนบิตของข้อมูลทั้งหมดในเฟรมที่รวมจำนวนบิตของค่าซีอาร์ซีเข้าไปด้วย

p คือจำนวนบิตของข้อมูล $P(x)$ เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.13 การคำนวณค่าซีอาร์ซีแบบ CRC-CCITT โดยใช้รีจิสเตอร์แบบเลื่อน

เพื่อให้การคำนวณค่าซีอาร์ซี สามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยการออกแบบฮาร์ดแวร์หรือการเขียนโปรแกรมได้โดยง่าย การคำนวณค่าซีอาร์ซีจึงสามารถคำนวณได้โดยใช้โครงสร้างของรีจิสเตอร์แบบเลื่อนทำงานร่วมกับตัวออร์เฆพา (Exclusive-OR) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงการหาค่าซีอาร์ซีแบบ CRC-CCITT โดยตำแหน่งของออร์เฆพาในวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนจะสัมพันธ์กับ $G(x)$ ที่ใช้

ตามที่มาตรฐาน ISO/IEC 3309:1993(E) ระบุไว้ ค่าเริ่มต้นในวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนก่อนการคำนวณจะถูกเซตเป็น “1” ทุกบิต จากนั้นข้อมูลจะถูกป้อนเข้าไปทีละบิตโดยเริ่มจากบิตต่ำสุด (Least Significant Bit) ก่อนจนครบ ค่าสุดท้ายที่ปรากฏอยู่ในวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนจะถูกนำไปกลับ (Invert) บิตอีกครั้ง ค่าสุดท้ายที่ได้คือค่าซีอาร์ซีของแต่ละกลุ่มข้อมูล

2.8 สรุปท้ายบท

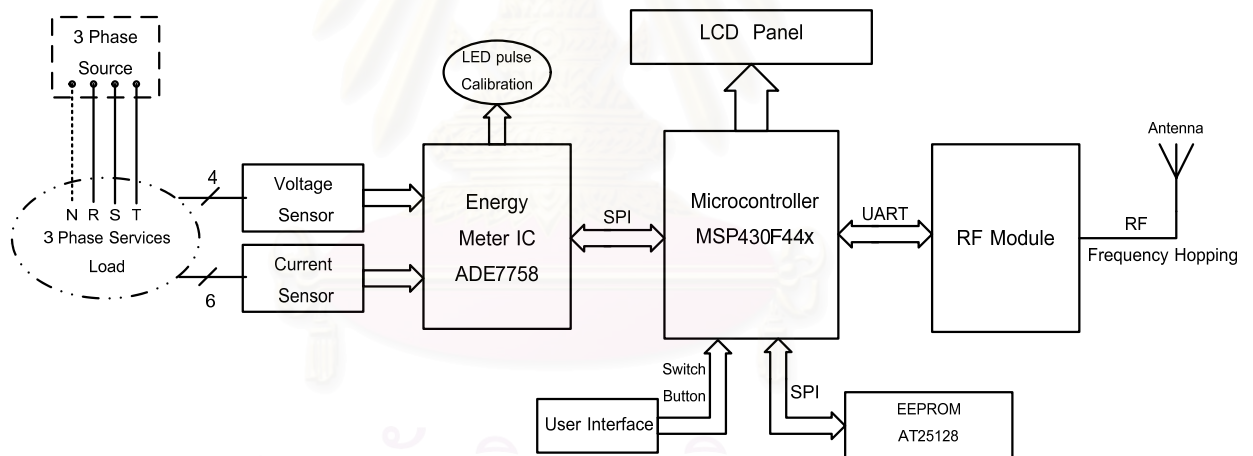
ในบทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานของการวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล องค์ประกอบโดยทั่วไปของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ และระบบอ่านค่ามิเตอร์ประเภทต่างๆ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงความรู้และหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ได้แก่ ระบบการส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดต่าง ๆ พื้นฐานสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ รวมถึงวิธีการชิงโครไนซ์ที่ใช้กับระบบขนาดเล็กที่ไม่มีโครคอนโทรเลอร์เป็นส่วนควบคุมหลัก ตลอดจนรายละเอียดโพรโทคอลที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 และวิธีการคำนวณหาค่าซีอาร์ซีเพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของกลุ่มข้อมูล

บทที่ 3

รายละเอียดด้านฮาร์ดแวร์

3.1 โครงสร้างของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส

มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส ที่ได้ทำการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สามารถนำไปใช้กับพิกัดกระแสสูงสุด 100 แอมแปร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด มีวงจรรวมสำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส เป็นตัวประมวลผลหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดมาได้จากกระแสและแรงดันที่จ่ายเข้ามา แล้วทำการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเพื่อทำการหาค่าต่าง ๆ เช่น ค่าพลังงานแอกทีฟ พลังงานรีแอกทีฟ และพลังงานปรากฏ ค่าเหล่านี้จะถูกส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปบันทึกลงในหน่วยความจำ การแสดงผลของระบบมีได้ 2 ทางคือทางจอแสดงผลแอลซีดี และแสดงผ่านพัลส์แสงที่มีความถี่การกระพริบแปรผันตรงกับพลังงานที่วัดได้ ข้อมูลของความต้องการพลังงานในรอบ 15 นาทีจะเก็บลงหน่วยความจำอีอีพรอม มีการใช้มอดูลคลื่นวิทยุเป็นตัวส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุจากอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ เพื่อส่งค่าที่มิเตอร์วัดได้ไปให้กับผู้จำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส

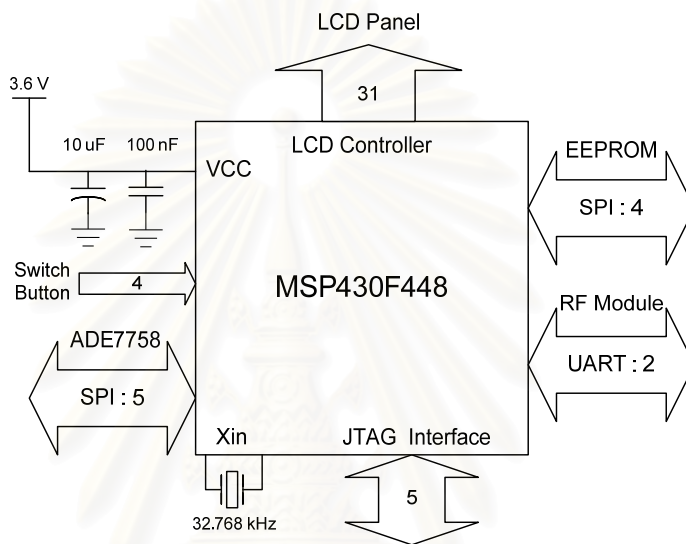
3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า

ส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับการควบคุมการคำนวณและการเก็บข้อมูลของการวัดพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย

3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430 เบอร์ MSP430F448 ของบริษัท Texas Instrument [12] ดังแสดงในรูปที่ 3.2 มีจุดเด่นคือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต มีการใช้พลังงานน้อยมากในขณะแอกทีฟ (280 ไมโครแอมแปร์ ที่ความถี่ 1 MHz โดยใช้ไฟเลี้ยง 3.6 โวลต์) นอกจากนี้ยังมี

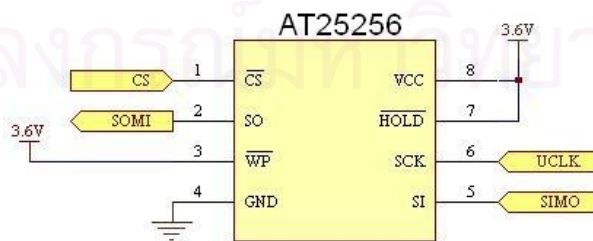
โหมดการประหยัดพลังงานถึง 4 โหมด และยังสามารถจับจอแสดงผลแอลซีดีแบบมัลติเพล็กซ์ ได้ด้วยตัวเอง หน้าที่ของไมโครคอนโทรเลอร์คือควบคุมการทำงานของมิเตอร์ทั้งหมดได้แก่ ควบคุมการทำงานของวงจรรวม สำหรับวัดพลังงาน ADE7758 ทำการแสดงผลค่าพลังงานและค่าที่ต้องการวัดต่าง ๆ ที่ได้มาจากวงจรรวม ADE7758 และนำค่าที่คำนวณได้บันทึกลงในหน่วยความจำ ตรวจสอบสถานะของไฟเลี้ยงในเรื่องของไฟตกและไฟดับ และสร้างฐานเวลาจริงสำหรับการวัดพลังงานตามช่วงเวลาโดยใช้คริสตอล 32.768 kHz เป็นตัวกำเนิดความถี่นาฬิกา เก็บข้อมูลความต้องการพลังงานในรอบ 15 นาที ลงในอีพีพรอมรวมถึงส่งข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่มิเตอร์วัดได้ไปที่มอดูลคลื่นวิทยุ ผ่านทางพอร์ตอนุกรมที่อัตราการส่งข้อมูล 115,200 บิตต่อวินาที เพื่อติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อ่านมิเตอร์ภายนอกทางคลื่นวิทยุต่อไป



รูปที่ 3.2 วงจรของไมโครคอนโทรเลอร์

3.2.2 อีพีพรอม

อีพีพรอม ใช้วงจรรวมเบอร์ AT25256 มีขนาด 32 กิโลไบต์ (256K) ของบริษัท Atmel [13] การเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์เป็นแบบอนุกรมสำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง (SPI : Serial Peripheral Interface) สามารถรองรับความเร็วได้สูงสุด 30 MHz ใช้ขาสัญญาณในการเชื่อมต่อเพียง 4 ขา ดังแสดงในรูปที่ 3.3 มีการแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการเก็บข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาทีของทั้ง 3 เฟส ส่วนที่สองจะทำหน้าที่เก็บค่าปฏิทินวันหยุด และวันเวลาที่เกิดไฟตก



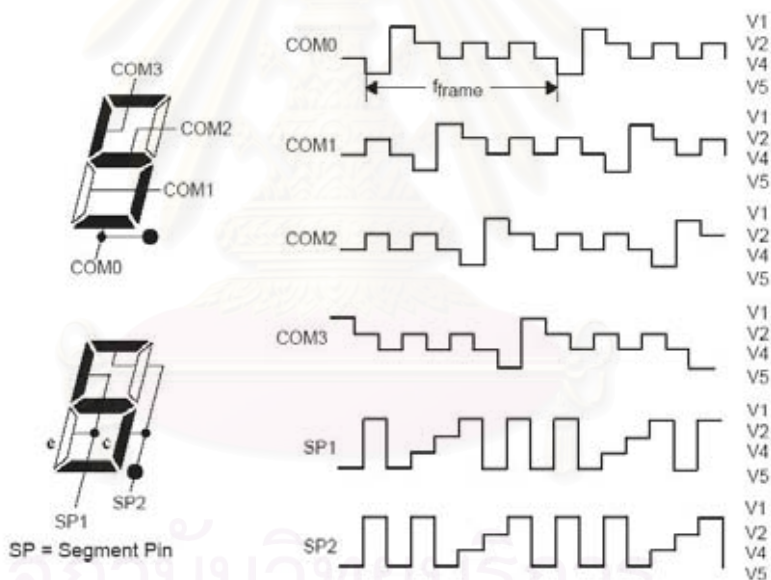
รูปที่ 3.3 วงจรของอีพีพรอม

3.2.3 ส่วนแสดงผลแอลซีดี

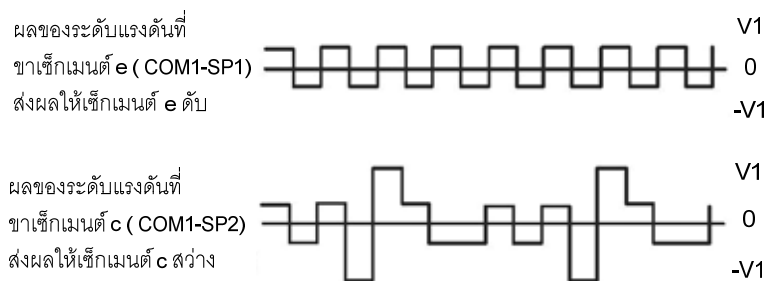
จอแสดงผลแอลซีดีแบบมัลติเพล็กซ์ 4 ระดับ เป็นจอแอลซีดีที่ห้องปฏิบัติการวิจัยออกแบบและประยุกต์วงจรรวมทำการออกแบบขึ้นมา โดยมีลักษณะหน้าจอดีแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 3.4 จอแสดงผลแอลซีดีชนิดนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขับสัญญาณได้โดยตรงและมีการสูญเสียพลังงานในการแสดงผลที่ต่ำ โดยใช้ขาสัญญาณในการเชื่อมต่อกับแอลซีดี 35 ขา แบ่งเป็นขาเช็กเมนต์ 31 ขา และ ขาร่วมอีก 4 ขา เอาไว้สร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีระดับแรงดันต่างกัน 4 ระดับด้วยกัน หลักการทำงานของแอลซีดีชนิดนี้ สามารถแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.4 ลักษณะหน้าจอดีแสดงผลของแอลซีดีที่ใช้



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างระดับสัญญาณขาต่าง ๆ ของเช็กเมนต์ที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.6 การดับและสว่างของแต่ละเช็กเมนต์

การแสดงผลของแอลซีดีจะสามารถเลือกการแสดงผลค่าที่วัดได้ โดยแบ่งการแสดงผลเป็น 2 โหมดคือ

- โหมดแสดงผลหลัก แสดงเฉพาะพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา
- โหมดแสดงผลรวม แสดงผลทั้งพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ตัวประกอบกำลัง ความถี่ ค่าเฉลี่ยรากกำลังสองของกระแสและแรงดัน

3.3 ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า

ส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับการวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้วงจรรวมเบอร์ ADE7758 ของบริษัท Analog Device [14] เป็นองค์ประกอบหลักในการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย

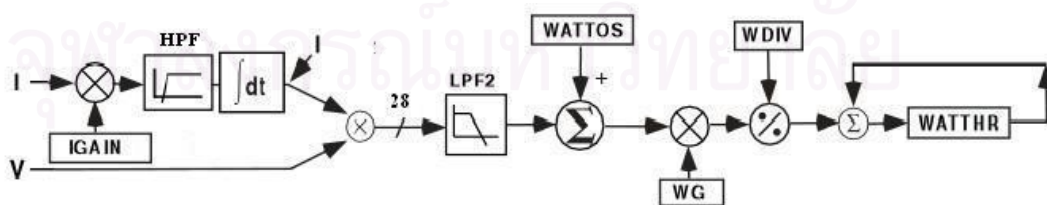
3.3.1 วงจรรวมสำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า ADE7758

ภายในวงจรรวม ADE 7758 จะมีตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่มีโครงสร้างแบบ Sigma – Delta จำนวน 6 ตัว แต่ละตัวจะทำงานเป็นอิสระต่อกัน และมีส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลอยู่ภายในไว้สำหรับการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าต่าง ๆ ก่อนที่จะส่งค่าเหล่านี้ไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

ในวงจรรวมนี้จะมีเอาต์พุตที่เป็นพัลส์แสงไว้สำหรับการปรับเทียบความแม่นยำของระบบ 2 แบบ คือ พัลส์แสงสำหรับวัดค่าพลังงานแอกทีฟ และ อีกพัลส์แสงหนึ่งจะเป็นการเลือกระหว่างการวัดค่าพลังงานรีแอกทีฟ หรือ พลังงานปรากฏ

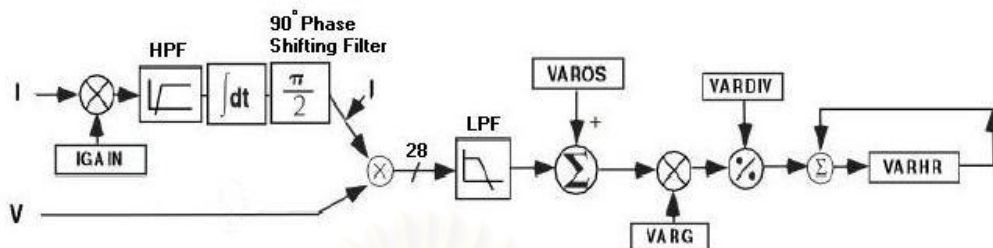
สำหรับวิธีการวัดค่าพลังงานต่าง ๆ ของวงจรรวม เบอร์ ADE 7758 จะมีโครงสร้างในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- **การหาค่าพลังงานแอกทีฟ :** โครงสร้างการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.7 ค่ากระแสที่ถูกซั๊กตัวอย่างเข้ามาจะถูกคูณด้วย IGAIN เพื่อปรับระดับค่ากระแสที่จะทำการวัดตามต้องการ และเข้าวงจรรองผ่านสูงเพื่อกำจัดค่าออฟเซตที่เกิดจากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล แล้วจึงผ่านวงจรมอดูเลเตอร์ (ใช้ในกรณีที่ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นแบบขดลวด Rogowski) ค่ากระแสที่ได้จะถูกนำไปคูณกับค่าแรงดันที่ถูกซั๊กตัวอย่างเข้ามา ผลคูณที่ได้จะนำไปผ่านวงจรรองผ่านต่ำ เพื่อกำจัดส่วนที่เป็นความถี่สูงที่เกิดจากการคูณกันออกไป ทำให้ได้เป็นค่ากำลังแอกทีฟ (วัตต์) ค่าที่ได้นี้จะถูกนำไปปรับออฟเซตและอัตราขยาย (WATTOS และ WG) เพื่อให้ได้ค่าที่ตรงกับการปรับเทียบทำให้ค่าที่คำนวณมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น แล้วจึงนำไปหารกับค่า WDIV เพื่อให้ได้ค่า Impulse/kW-hr ตามที่ต้องการ ค่าพลังงานแอกทีฟที่คำนวณได้จะถูกบวกสะสมภายในรีจิสเตอร์ WATTHR และจะถูกส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ต่อไป



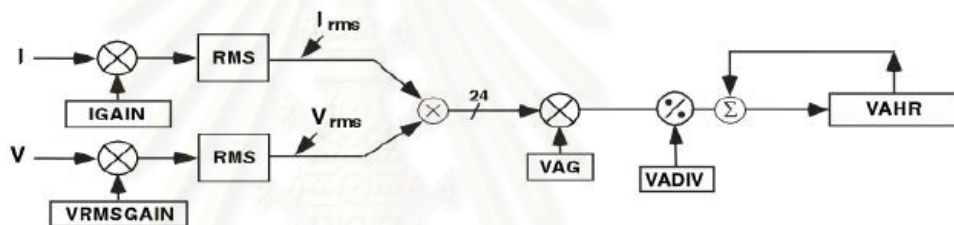
รูปที่ 3.7 การหาค่าพลังงานแอกทีฟในวงจรรวม ADE7758

- การหาค่าพลังงานรีแอกทีฟ :** โครงสร้างการทำงานจะเหมือนกับการหาค่าพลังงานแอกทีฟ แต่ค่ากระแสที่ถูกซั๊กตัวอย่างเข้ามาจะนำไปผ่านวงจรกรองที่มีเฟสเลื่อนไป 90° ก่อนที่จะมีการคูณกับค่าแรงดันที่ซั๊กตัวอย่างเข้า ดังแสดงในรูปที่ 3.8



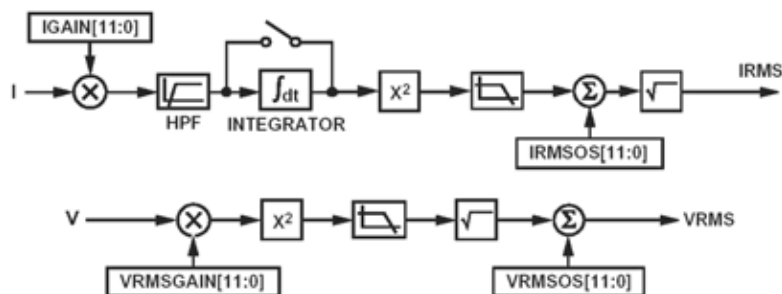
รูปที่ 3.8 การหาพลังงานรีแอกทีฟในวงจรรวม ADE7758

- การหาค่าพลังงานปรากฏ :** โครงสร้างการทำงานจะเป็นการนำเอาค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (RMS) ของกระแสและแรงดันที่ได้ทำการคำนวณมาแล้วคูณกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ค่าพลังงานปรากฏนี้ไม่จำเป็นต้องปรับค่าออฟเซ็ทเนื่องจากเราได้มีการปรับมาเรียบร้อยแล้วในส่วนของการค้นหา RMS



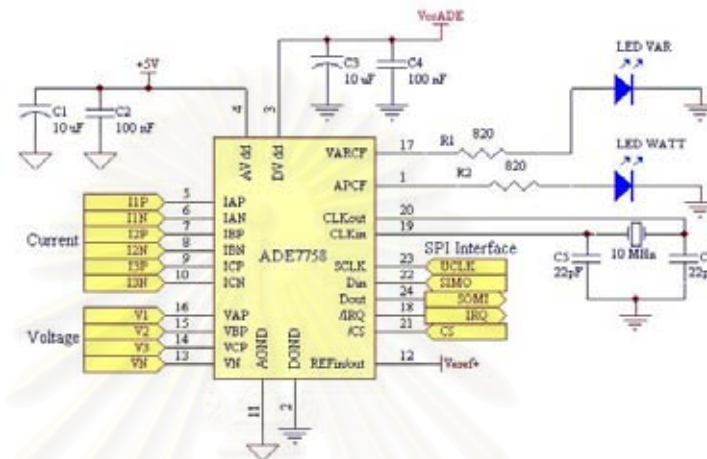
รูปที่ 3.9 การหาค่าพลังงานปรากฏในวงจรรวม ADE7758

- การหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ย :** โครงสร้างการทำงานจะเป็นการนำเอาค่ากระแสและแรงดันที่ถูกซั๊กตัวอย่างไปทำการเข้าสู่วงจรยกกำลังสอง ค่าที่ได้จากการยกกำลังสองจะผ่านเข้าสู่วงจรกรองผ่านต่ำเพื่อกำจัดความถี่สูงที่เกิดจากผลคูณออกไป แล้วจึงนำไปเข้าวงจรถอดรากเพื่อให้ได้ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของทั้งกระแสและแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ตำแหน่งของการปรับออฟเซ็ทจะต่างกัน โดยการหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันจะมีการปรับออฟเซ็ทหลังจากออกจากวงจรถอดราก ในขณะที่การหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสจะมีการปรับออฟเซ็ทก่อนที่จะเข้าวงจรถอดราก เนื่องจากค่ากระแสมีการเปลี่ยนแปลงและความผิดพลาดมากกว่าค่าแรงดัน ฉะนั้นค่าออฟเซ็ทที่นำไปแก้จึงต้องมีความละเอียด และ ขนาดที่มากกว่าค่าแรงดันทำให้ในการแก้ค่าออฟเซ็ทรากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสจึงทำหลังจากออกจากวงจรถอดรากกำลังสอง



รูปที่ 3.10 การหาค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสและแรงดันในวงจรรวม ADE7758

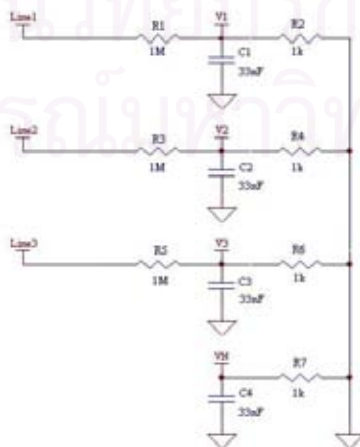
การใช้งานของวงจรรวม ADE 7758 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 มีการต่อขาสัญญาณเข้ากับวงจรวัดแรงดันและวงจรวัดกระแส มีเอาต์พุตไว้ขับพัลส์แสงเพื่อแสดงค่าที่วัดได้ มีการต่อกับระดับแรงดันอ้างอิงขนาด 2.5 โวลต์เพื่อให้เป็นแรงดันอ้างอิงในการชั่งตัวอย่าง และใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ขนาด 10 MHz โดยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถโปรแกรมค่าการทำงานต่าง ๆ ผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง (SPI) และมีขาขัดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Interrupt Request) เพื่อเป็นการบอกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าต่าง ๆ ที่วงจรรวม ADE7758 วัดได้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ



รูปที่ 3.11 ลักษณะการต่อใช้งานของวงจรรวม ADE 7758

3.3.2 วงจรวัดแรงดัน

วงจรวัดแรงดันที่ใช้เลือกแบบการใช้ตัวต้านทานแบ่งแรงดันเนื่องจากความเป็นเชิงเส้นที่ดีและวงจรไม่ยุ่งยาก ดังแสดงในรูปที่ 3.12 โดยตัวต้านทาน $1\text{ k}\Omega$ ที่จะนำแรงดันตกคล่อมไปใช้นั้นจะทำหน้าที่เป็นวงจรกรองป้องกันการเคลือบแฝงของสัญญาณ (Anti Aliasing Filter) ก่อนที่จะเข้าส่วนแปลงแอนะลอกเป็นดิจิตอลของวงจรรวม ADE7758 โดยต่อร่วมกับตัวเก็บประจุขนาด 33 นาโนฟารัด ค่าแรงดันพิกัดขาเข้าที่สามารถวัดได้ของวงจรรวม ADE7758 จะต้องมีค่าไม่เกิน ± 0.5 โวลต์ ดังนั้นในการออกแบบได้กำหนดพิกัดขาเข้าของวงจรรวมไว้ที่ 65 % ของพิกัดสูงสุด เพื่อป้องกันระดับแรงดันขาเข้าเกินพิกัดที่กำหนดไว้ ทำให้ค่าของตัวต้านทานที่มีไว้แบ่งแรงดันเป็น $1\text{ M}\Omega$

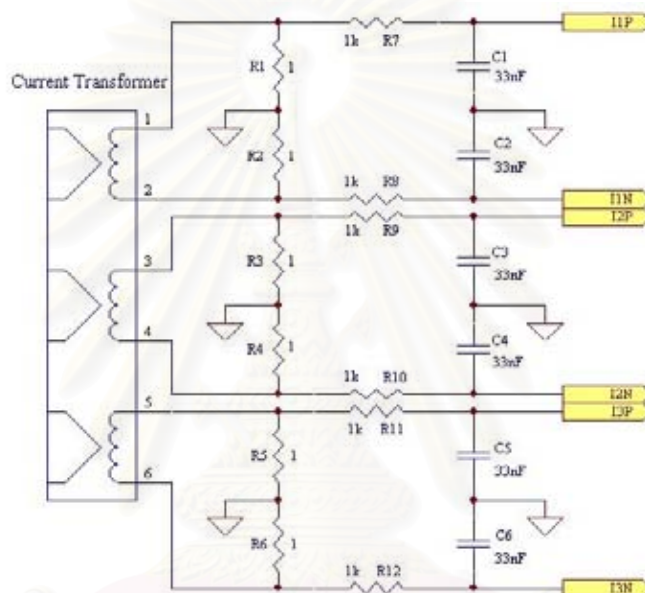


รูปที่ 3.12 รูปวงจรวัดแรงดัน

3.3.3 วงจรวัดกระแส

วงจรวัดกระแสที่ใช้เป็นหม้อแปลงกระแส รุ่น CT02 ของบริษัท Shenzhen Belta Electronic มีความแม่นยำระดับ 0.1 % อัตราส่วนของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิเท่ากับ 1:1000 มีพิกัดกระแส 100 แอมแปร์ ขดลวดทุติยภูมิต่อกับตัวต้านทานโหลดขนาด 1Ω 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ทำให้ได้แรงดันที่ตกคล่อมตัวต้านทานก่อนที่จะเข้าวงจรรวม ADE7758 มีขนาด 0.3 มิลลิโวลต์ คิดเป็น 60% ของพิกัดแรงดันสูงสุดที่จะเข้าวงจรรวม ADE7758 เพื่อป้องกันการใช้งานกับกระแสที่มากกว่า 100 แอมแปร์

มีการต่อวงจรป้องกันการใช้การเคลือบแผงของสัญญาณเช่นเดียวกับส่วนของวงจรวัดแรงดันเพื่อการแมตซ์อินพุตของระบบ โดยใช้ตัวต้านทานขนาด $1 k\Omega$ และ ตัวเก็บประจุค่า 33 นาโนฟารัด

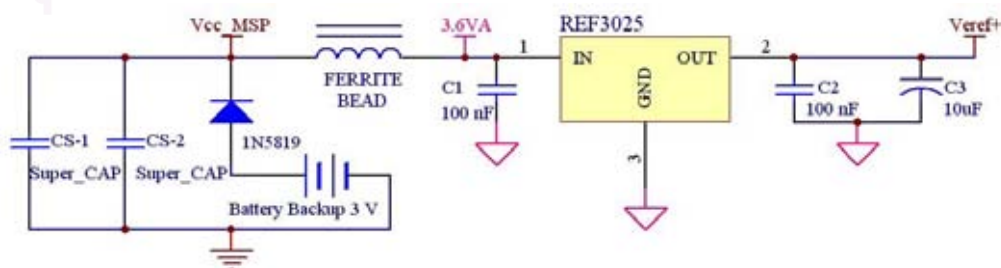


รูปที่ 3.13 รูปวงจรวัดกระแสด้วยหม้อแปลงกระแส

3.3.4 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง

วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง ใช้ไอซีเบอร์ REF3025 [15] สร้างแรงดันขนาด 2.5 โวลต์ให้กับวงจรรวม ADE7758 โดยมีความแม่นยำอยู่ที่ 0.2% เพื่อให้วงจรรวม ADE7758 สามารถคำนวณค่าได้แม่นยำยิ่งขึ้น

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าการต่อเบตเตอร์สำรอง และ ตัวเก็บประจุชนิดเก็บแรงดันได้นาน เอาไว้ด้วยเพื่อใช้สำหรับรักษาค่าฐานเวลาจริงและข้อมูลต่าง ๆ ในขณะที่ไฟดับ

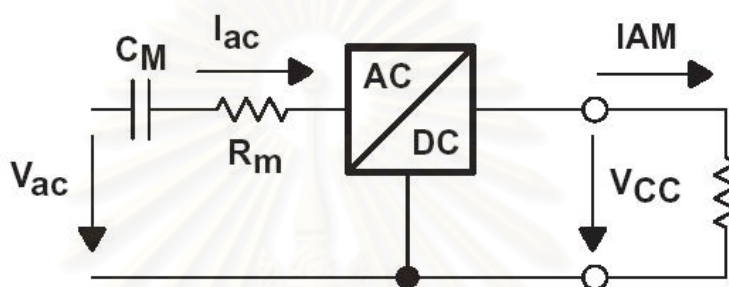


รูปที่ 3.14 วงจรสร้างแรงดันอ้างอิง

3.4 ส่วนไฟเลี้ยงของมิเตอร์ 3 เฟส

3.4.1 แหล่งจ่ายกำลังชนิด ตัวต้านทาน-ตัวเก็บประจุ (RC Power supply)

วงจรแหล่งจ่ายกำลังชนิด ตัวต้านทาน-ตัวเก็บประจุ มีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับการใช้หม้อแปลง คือ มีขนาดที่ค่อนข้างเล็กทำให้เสียพื้นที่บนแผ่นลายวงจรน้อยกว่าการใช้หม้อแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในมิเตอร์วัดพลังงาน 3 เฟส นั้นจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงถึง 3 ตัว ทำให้ต้นทุนสูงมากกว่าการใช้แหล่งจ่ายกำลังชนิดนี้มาก แต่ข้อจำกัดของแหล่งจ่ายกำลังชนิด ตัวต้านทาน-ตัวเก็บประจุ คือ ไม่มีการแยกโดดเดี่ยว (Isolate) เหมือนกับการใช้หม้อแปลงและซับซ้อนสแตได้น้อยกว่า จากรูปที่ 3.15 แสดงการต่อวงจรจ่ายกำลังชนิดนี้และสามารถคำนวณกระแส I_{ac} ดังแสดงในสมการที่ 3.1



รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายกำลังชนิด ตัวต้านทาน-ตัวเก็บประจุ

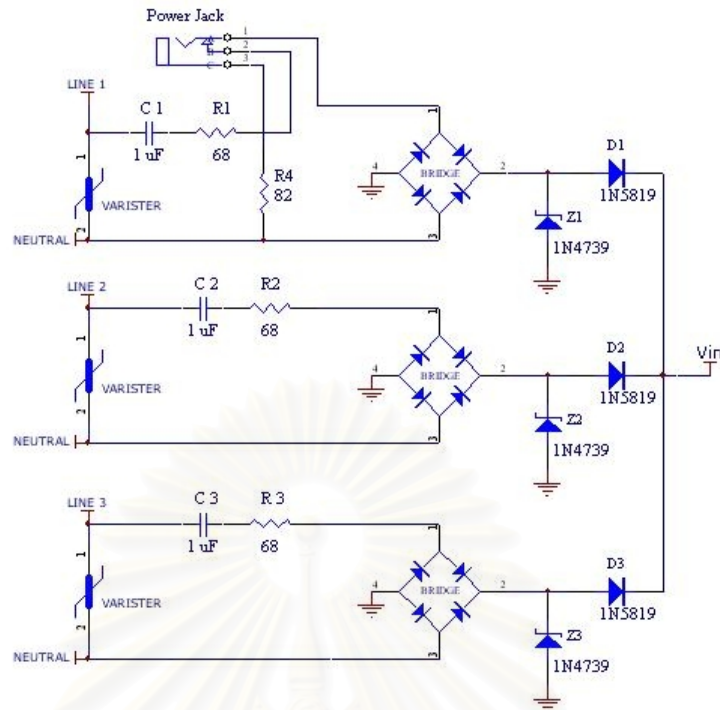
$$I_{ac} = \frac{1}{\frac{1}{j\omega \times C_M} + R_m} \approx \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\omega^2 \times C_M^2} + R_m^2}} \quad \text{สมการที่ 3.1}$$

เมื่อผ่านวงจรกระแสแบบเต็มคลื่น จะได้

$$I_{ac} = I_{AM} \times \frac{\pi}{2} \quad \text{สมการที่ 3.2}$$

การเลือกค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในการออกแบบนั้นจะพิจารณาถึงกรณีที่ระบบไฟสามเฟสสามารถใช้งานได้เพียงเฟสเดียวเท่านั้น โดยกระแสสำหรับขั้ววงจรมันจะต้องมีค่ามากกว่า 30 มิลลิแอมแปร์ (ค่ากระแสสูงสุดที่ใช้เมื่อมอดูลคลื่นวิทยุทำงาน) ในการออกแบบได้เผื่อกระแสในแต่ละเฟสไว้ที่ 50 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้นค่าตัวต้านทานที่ใช้จะมีค่า 68Ω และตัวเก็บประจุจะมีค่า 1 ไมโครฟารัด เมื่อนำมิเตอร์ไปใช้กับระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่ทำงานปกติจะทำให้สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 150 มิลลิแอมแปร์

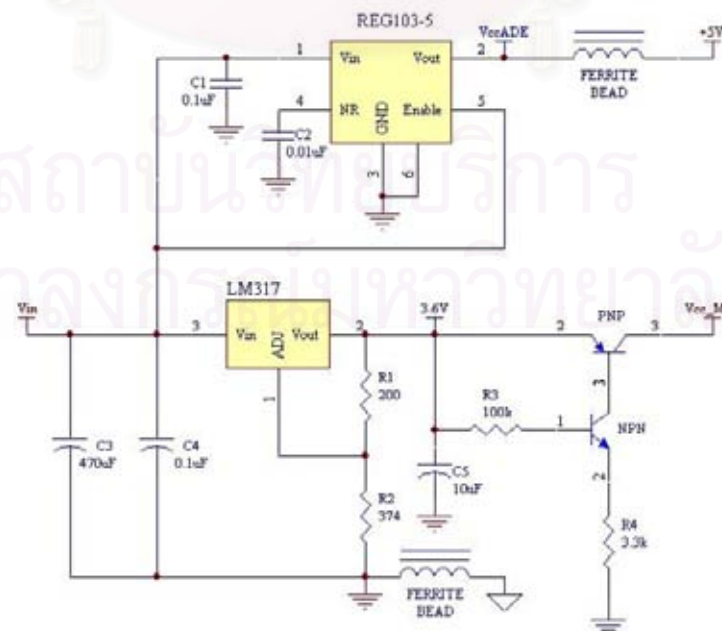
จากรูปที่ 3.16 แสดงส่วนไฟเลี้ยงที่ใช้ในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส ในแต่ละเฟสจะมีการป้องกันเลิร์จโดยการใช้ วาริสเตอร์เบอร์ S20K150 ของบริษัท EPCOS เพื่อไม่ให้ผลของเลิร์จสร้างความเสียหายให้กับวงจรได้และใช้ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4739 ที่มีขนาดแรงดันซีเนอร์อยู่ที่ 9.1 โวลต์ เป็นตัวคงค่าแรงดันให้คงที่



รูปที่ 3.16 ส่วนไฟเลี้ยงที่ใช้ในมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส

3.4.2 วงจรคุมค่าแรงดัน (Voltage Regulator)

วงจรคุมค่าแรงดันจะประกอบไปด้วยวงจร 2 ส่วนคือ แหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ สำหรับวงจรรวม ADE7758 สร้างจากวงจรรวมเบอร์ REG103-5 และ แหล่งจ่ายไฟ 3.6 โวลต์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ อีซีพรวม สร้างจากวงจรรวมเบอร์ LM317 โดยมีกรุปไอส์ทรานซิสเตอร์เพื่อป้องกันไฟจากแบตเตอรี่สำรองไหลเข้าหาวงจรรวม LM317 ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ดับแล้วแบตเตอรี่สำรอง 3 โวลต์ ทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.17



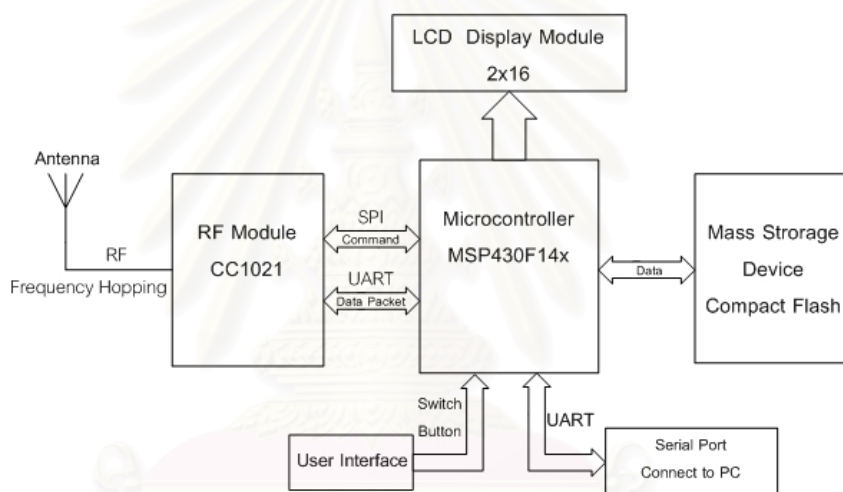
รูปที่ 3.17 วงจรคุมค่าแรงดัน

3.5 โครงสร้างของระบบ AMR ด้วยคลื่นวิทยุทั้งอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุ

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุมีโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของตัวอุปกรณ์ ได้แก่ การอ่านข้อมูลต่าง ๆ จากมิเตอร์หรือตั้งค่าต่าง ๆ ให้กับมิเตอร์โดยใช้โพลโทคอลตามที่กำหนด เก็บข้อมูลของมิเตอร์แต่ละตัวลงในคอมแพคแฟลช พร้อมทั้งแสดงรายละเอียดการทำงานผ่านจอแสดงผลแอลซีดี และสามารถตั้งค่าต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม

สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ที่จะทำการสื่อสารกับมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะใช้วงจรรวมเบอร์ CC1021 ของบริษัท Chipcon [16] เป็นตัวรับและส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ กับ มิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบมา

ในส่วนของมอดูลคลื่นวิทยุที่มีไว้สำหรับติดกับมิเตอร์นั้นจะมีโครงสร้างเหมือนกับอุปกรณ์มือถือที่ทำหน้าที่อ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 แต่จะไม่มีกรเชื่อมต่อกับจอแสดงผล, คอมแพคแฟลช, สวิตช์ปุ่มกด และการสื่อสารแบบอนุกรม (UART) จะเป็นการเชื่อมต่อกับตัวมิเตอร์แทน



รูปที่ 3.18 โครงสร้างของอุปกรณ์มือถือที่ใช้ในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ

3.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของส่วนการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ

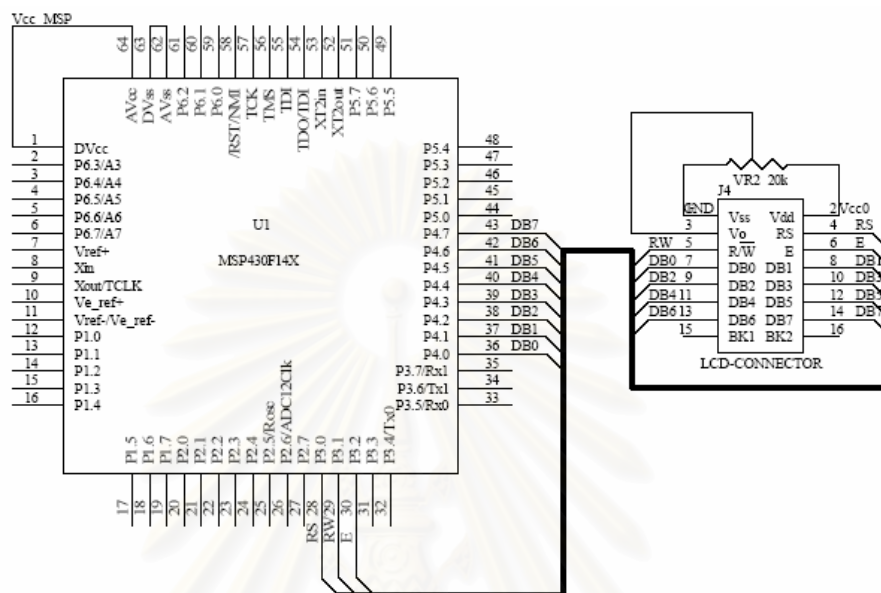
3.6.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430 เบอร์ MSP430F148 ของบริษัท Texas Instrument [17] ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยหน้าที่หลักจะไปควบคุมการทำงานของวงจรรวมรับส่งคลื่นวิทยุ และ รับส่งข้อมูลที่ต้องการสื่อสารผ่านทางวงจรรวมรับส่งคลื่นวิทยุ

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถโปรแกรมค่ารีจิสเตอร์ของวงจรรวม CC1021 สำหรับกำหนดค่าต่าง ๆ ในการสื่อสาร เช่น เลือกรหัสการการทำงาน, ค่าความถี่พาหุ, ค่ากำลังด้านออก, อัตราการส่งข้อมูล และ รูปแบบการมอดูเลต ผ่านทางการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง (SPI) ในขณะที่ข้อมูลที่เอาไว้สำหรับสื่อสารจะมีการเชื่อมต่อกับวงจรรวม CC1021 ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (UART)

3.6.2 วงจรส่วนแสดงผล และปุ่มสั่งงานต่าง ๆ

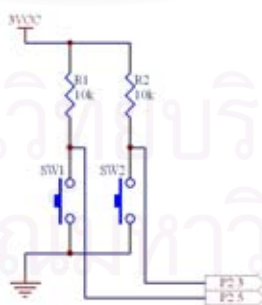
การแสดงผลการทำงานให้ผู้ใช้ทราบใช้จอแอลซีดี (Liquid Crystal Display) ขนาด 2 บรรทัดเป็นตัวแสดงผล โดยมีการเชื่อมต่อขาสัญญาณต่างๆ จากแผงหน้าจอลiquid crystalอื่นได้แก่ บัสข้อมูลจำนวน 8 บิต (DB0-DB7) และขาควบคุมอีก 3 บิต (RS, RW, และ E) กับพอร์ตต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การเชื่อมต่อแอลซีดีแสดงผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมต่อปุ่มสั่งงานต่างๆ กับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ปุ่มสั่งงานต่าง ๆ ได้แก่

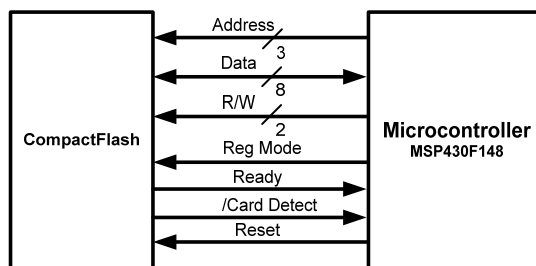
- 1) ปุ่มเลือกหน้าที่การทำงานระหว่างการใช้อ่านมิเตอร์ (Select Button)
- 2) ปุ่มตกลง (Enter Button)



รูปที่ 3.20 วงจรสวิตช์และปุ่มสั่งงานต่างๆ บนอุปกรณ์แบบมือถือ

3.6.3 ส่วนเชื่อมต่อกับคอมแพคแฟลช

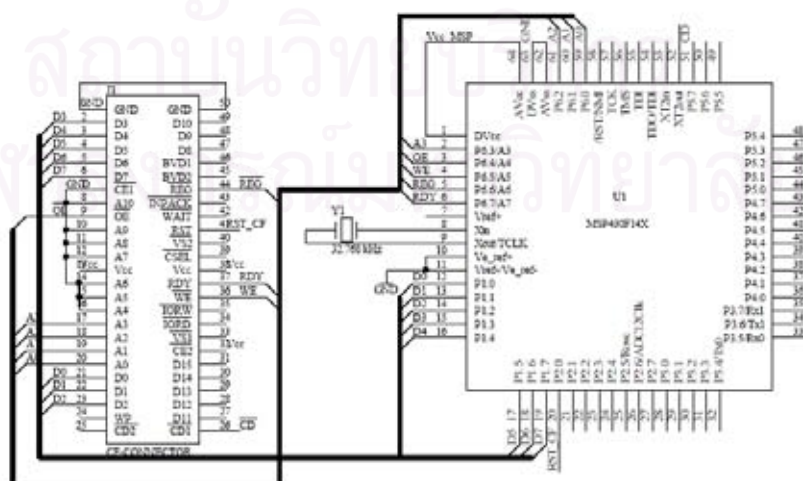
การเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์กับขาสัญญาณต่างๆ ของคอมแพคแฟลชสามารถทำได้โดยตรง กลุ่มสัญญาณในการเชื่อมต่อสามารถแบ่งได้ตามหน้าที่การใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ขาสัญญาณต่างๆที่ใช้ติดต่อกับคอมแพคแฟลช

- 1) ขาข้อมูลและขาแอดเดรส อุปกรณ์มีมือถือที่พัฒนาขึ้นใช้โหมดการติดต่อกับคอมแพคแฟลชแบบ 8 บิต (D0-D7) เพื่อประหยัดขาพอร์ตที่มีอยู่อย่างจำกัด และใช้ขาแอดเดรสเพียง 3 บิต (A0-A2) สำหรับติดต่อกับรีจิสเตอร์ต่างๆ เฉพาะเท่าที่จำเป็นซึ่งได้แก่ รีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว (ATA Registers set) ของคอมแพคแฟลช [18]
- 2) สัญญาณ R/W คือสัญญาณสโตรปของการอ่าน (\overline{OE}) และการเขียน (\overline{WE}) ข้อมูลในรีจิสเตอร์ของคอมแพคแฟลชนั่นเอง
- 3) สัญญาณ Reg Mode เป็นสัญญาณที่ใช้เลือกโหมดการติดต่อกับรีจิสเตอร์ระหว่างรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของคอมแพคแฟลชต่างๆ (Attribute Memory) กับรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ตัว (Common Memory)
- 4) สัญญาณ Ready หรือ RDY/BSY ถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ตรวจสอบความพร้อมของตัวคอมแพคแฟลชว่าทำงานเสร็จแล้วหรือยัง และพร้อมที่จะทำคำสั่งถัดไปหรือไม่
- 5) สัญญาณ /Card Detect เป็นขาที่ถูกต่อกับขากราวด์ของคอมแพคแฟลช ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตรวจสอบได้ว่าขณะนี้มีคอมแพคแฟลชเสียบอยู่หรือไม่
- 6) สัญญาณ Reset เป็นสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้คอมแพคแฟลชเริ่มต้นการทำงานใหม่

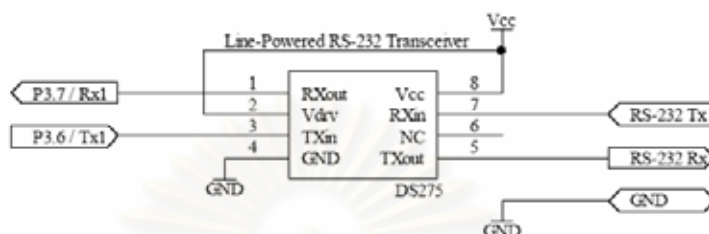
รายละเอียดของวงจรส่วนเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับตัวคอมแพคแฟลช ดังแสดงในรูปที่ 3.22 จะทำการบังคับให้คอมแพคแฟลชทำการรับส่งข้อมูลโดยใช้ขาข้อมูลชุด 8 บิตล่าง (D₀-D₇) สามารถทำได้โดยการต่อขาสัญญาณ $\overline{CE1}$ ลงกราวด์ และต่อขา $\overline{CE2}$ เข้ากับไฟเลี้ยง



รูปที่ 3.22 วงจรส่วนเชื่อมต่อกับคอมแพคแฟลช

3.6.4 ส่วนเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม

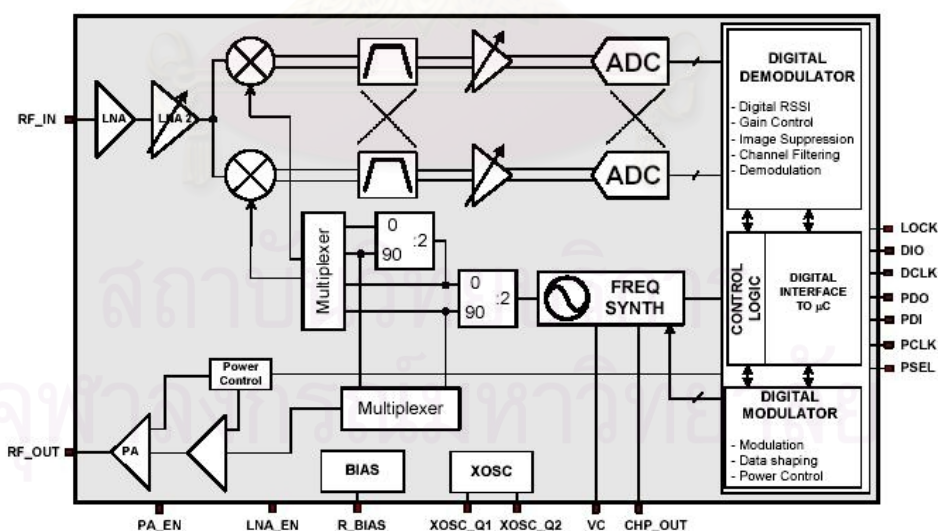
อุปกรณ์แบบมือถือสามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ผ่านทางพอร์ตอนุกรมหมายเลข 1 (UART1) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้วงจรรวมเบอร์ DS275 ทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันของสัญญาณข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม UART1 ให้สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ และมีการต่อใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 วงจรเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232

3.7 วงจรรวมรับส่งคลื่นวิทยุ CC1021

วงจรรวมเบอร์ CC1021 ของบริษัท CHIPCON เป็นวงจรรวมที่ใช้รับและส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในระบบแถบแคบ (Narrowband) มีย่านความถี่ที่สามารถใช้งานได้ 2 ย่านคือ 402 – 470 MHz และ 804 – 940 MHz สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้สูงสุดที่อัตราเร็ว 153.6 kBaud และสามารถตั้งค่ากำลังด้านออกที่ใช้ในการส่งได้ ข้อดีของวงจรรวมเบอร์นี้ที่นำมาพิจารณาในการเลือกใช้คือ มีค่าความไวที่ดี, การสูญเสียพลังงานที่ต่ำ และมีความคงทนต่อสัญญาณรบกวนได้ค่อนข้างดี รวมทั้งมีความสามารถในการออกแบบระบบให้สอดคล้องกับเทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ได้ด้วย



รูปที่ 3.24 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวม CC1021 (RF Transceiver) ที่ใช้ในการออกแบบ

จากรูปที่ 3.24 สามารถอธิบายหลักการทำงานคร่าว ๆ ของ วงจรรวมเบอร์ CC1021 ได้ดังนี้ เมื่อทำงานในโหมดภาครับข้อมูลคลื่นวิทยุที่เข้ามาจะถูกขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายชนิดสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA และ LNA2) และจะถูกทำการ Down-Converted ภายในวงจรควอดเรเจอร์ (I และ Q) เพื่อให้สัญญาณ

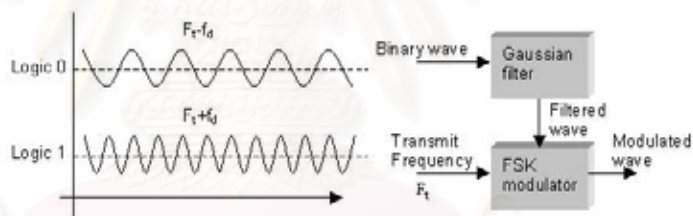
กลับมาเป็นความถี่กลาง (IF) โดยสัญญาณ I/Q จะผ่านวงจรกรองและวงจรมอดูเลตก่อนที่จะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำเข้าไปสู่กระบวนการควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (AGC), การกรองช่องสัญญาณแบบละเอียด, การดีมอดูเลตสัญญาณ และการทำบิตซิงโครไนซ์ ข้อมูลหลังจากการดีมอดูเลตจะถูกส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทางขา DIO ต่อไป

ในโหมดการส่งข้อมูลนั้นจะมีการสังเคราะห์ความถี่วิทยุที่จะป้อนให้กับวงจรมอดูเลตกำลังโดยนำสัญญาณที่ได้จากขา DIO มาทำการมอดูเลต ในส่วนของวงจรมอดูเลตจะประกอบไปด้วย วงจรมอดูเลตซีเลเตอร์ที่ถูกควบคุมด้วยระบบแรงดัน (VCO) และวงจรมอดูเลต 90° ทำการสร้างสัญญาณโลคอลออกซีเลเตอร์ 2 แบบที่มีเฟสต่างกัน 90° (LO_I และ LO_Q) เพื่อนำไปผสมสัญญาณในการทำ Down-Converted ของส่วนภาครับ

การมอดูเลตสัญญาณที่ใช้นั้น จะเป็นแบบ GFSK (Gaussian Filter Shift Keying) มีหลักการเหมือนกับ FSK โดยข้อมูลที่ส่งจะถูกเลื่อนไปเล็กน้อยจากความถี่พาหะที่ใช้ แต่ใน GFSK เมื่อได้ข้อมูลไบนารีมาแล้วจะถูกส่งผ่านเข้า วงจรกรองแบบเกาส์ (Gaussian Filter) ก่อนที่จะทำการมอดูเลตและส่งสัญญาณต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.25 วงจรกรองแบบเกาส์ จะมีฟังก์ชันการถ่ายโอนดังแสดงในสมการที่ 3.3

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma T} \exp\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2 T^2}\right) \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

โดยที่ $\sigma = \frac{\sqrt{\ln(2)}}{2\pi BT}$, BT คือค่าควบคุมแบนด์วิดท์ของวงจรกรอง มีค่าเท่ากับ 0.5



รูปที่ 3.25 วิธีการมอดูเลตแบบ GFSK

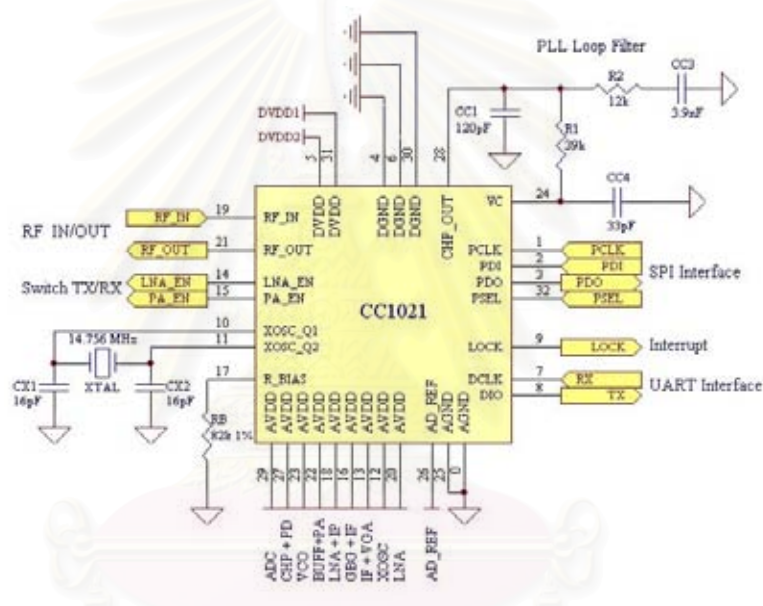
วงจรกรองแบบเกาส์ นี้จะช่วยลดความกว้างสเปกตรัมของสัญญาณ โดยจะทำการเปลี่ยนพัลส์ จาก 1 ถึง 1 (Step Function) ในกรณีของ FSK ให้เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ $-1, -0.98, -0.93, \dots, 0.93, 0.98, 1$ (Slope Function) ทำให้ได้พัลส์ที่เรียบเมื่อไปมอดูเลตกับสัญญาณพาหะเป็นการช่วยลดสเปกตรัมที่จะเกิดนอย่านของระบบ

รูปแบบการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุที่ใช้ในการออกแบบระบบอ่านคำมีเตอร์มีดังนี้คือ

- 1 กำหนดการทำงานของวงจรรวม CC1021 ในย่านความถี่ 402 – 470 MHz ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าความถี่ในย่าน 804 – 940 MHz ตรงที่ค่าความไวและกำลังด้านออกดีกว่าส่งผลให้ระยะทางในการสื่อสารไกลมากกว่าแต่ข้อเสียของความถี่ย่านนี้คือเสาอากาศจะมีความยาวมากกว่า
- 2 ใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 28.8 kbit / sec เป็นความเร็วที่สูงกว่าการใช้ลำแสงอินฟราเรด ตามที่ได้มีการพัฒนามาของห้องปฏิบัติการวิจัยออกแบบและประยุกต์วงจรรวม
- 3 ใช้การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่แบบเกาส์ (GFSK) กำหนดความแตกต่างของความถี่ไว้ที่ 14.4 kHz
- 4 แบนด์วิดท์ของส่วนภาครับมีค่าเป็น 102.4 kHz

- 5 ใช้หลักการของสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ในการจัดการเกี่ยวกับการสื่อสารของระบบ และใช้ความถี่พาห้ในช่วง 407 – 430 MHz โดยเป็นช่วงความถี่ที่กรมไปรษณีย์โทรเลขจัดสรรให้การสื่อสารวิทยุเคลื่อนที่บนภาคพื้นดินแบบธรรมดา (Conventional Land Mobile) [19]

ลักษณะการต่อวงจรรวม CC1021 ดังแสดงในรูปที่ 3.26 มีการใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ขนาด 14.756 MHz และมีค่าความแม่นยำอยู่ที่ 30 ppm เพื่อให้งจรรวมสร้างสัญญาณคลื่นวิทยุได้อย่างถูกต้องตามที่ได้มีการตั้งค่าไว้ การรับส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรเลอร์จะเชื่อมต่อผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม (UART) โดยไมโครคอนโทรเลอร์สามารถโปรแกรมค่าการทำงานต่าง ๆ ของวงจรรวมผ่านการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง (SPI) และมีขาขัดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ (Interrupt) เพื่อไว้บอกไมโครคอนโทรเลอร์ว่าขณะนี้สามารถล็อกความถี่ที่ทำการโปรแกรมได้แล้ว นอกจากนี้ยังขาสำหรับควบคุมการทำงานของสวิตซ์รับส่งคลื่นวิทยุ (T/R switch) เบอร์ SW 456 ของบริษัท MACOM [20] โดยวงจรรวม CC1021 จำเป็นต้องมีการต่อวงจรเฟสล็อกภายนอกด้วย



รูปที่ 3.26 ลักษณะการต่อใช้งานของวงจรรวม CC1021

วงจรเฟสล็อกภายนอกจะประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ และตัวต้านทานค่าต่าง ๆ ค่าเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบดีวิตซ์ของวงจรเฟสล็อก ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการส่งข้อมูลของการสื่อสารด้วย ค่าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในรูปของวงจรสามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ 3.1 ถึง 3.8

$$CC1 = 3037 \frac{(f_{ref}/BW^2)}{7} \quad [pf] \quad \text{สมการที่ 3.4}$$

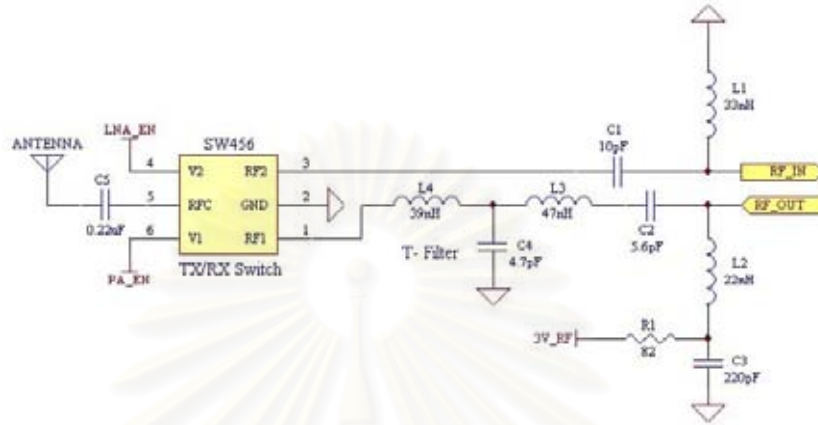
$$R1 = 21823 \left(\frac{BW}{f_{ref}} \right) \quad [k\Omega] \quad \text{สมการที่ 3.5}$$

$$CC3 = 80.75 \left(\frac{f_{ref}}{BW^2} \right) \quad [nf] \quad \text{สมการที่ 3.6}$$

$$R2 = 7126 \left(\frac{BW}{f_{ref}} \right) \quad [k\Omega] \quad \text{สมการที่ 3.7}$$

$$CC4 = 839 \frac{(f_{ref}/BW^2)}{6} \quad [pf] \quad \text{สมการที่ 3.8}$$

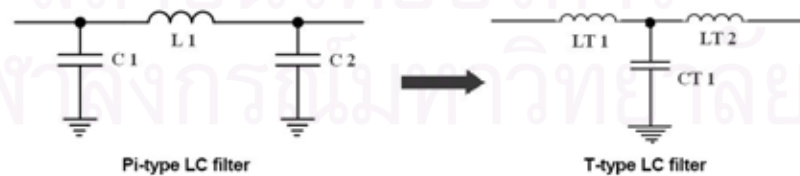
BW คือค่าลูบแบนด์วิดท์ที่ต้องการ ถูกกำหนดให้เท่ากับ $1/3$ ของอัตราการส่งข้อมูล f_{ref} คือค่าความถี่อ้างอิงของระบบ กำหนดให้มีค่าเป็น $1/2$ ของความถี่คริสตอลออกสซิลเลเตอร์ ในส่วนของการแมตช์อินพุตและเอาต์พุตจะใช้ ตัวเหนี่ยวนำ $L1, L2$ และตัวเก็บประจุ $C1, C2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นวิทยุที่ใช้ในการทำงาน ในขณะที่สวิตช์รับส่งคลื่นวิทยุจะช่วยลดกระแสที่ใช้ในภาคส่ง และช่วยเพิ่มความไวของภาครับ



รูปที่ 3.27 การต่อภาครับและภาคส่งภายนอกของวงจรรวม CC1021

โดยทั่วไปแล้วจะมีการใส่วงจรกรองไว้ระหว่างเสาอากาศและสวิตช์รับส่งคลื่นวิทยุแต่ในการออกแบบได้นำวงจรกรองใส่ระหว่างภาคส่งของวงจรรวม ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ซึ่งเป็นการลดการเกิดฮาร์โมนิกของสัญญาณ (Emission Of Harmonic) แต่จะไม่ช่วยเพิ่มความไวทางด้านภาครับ

โดยปกติแล้ววงจรกรองต่ำผ่านชนิด LC จะเลือกใช้เป็นวงจรกรองชนิดไพมาตรฐาน (π -Filter) ด้วยเหตุที่วงจรกรองชนิดนี้ไม่เพียงพอในการลดทอนฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการออกแบบได้เลือกใช้วงจรกรองชนิดที (T-Filter) ที่มีความทนทานต่อความเหนี่ยวนำปรสิต และการลดทอนแถบหยุด (Stop Band) ที่ดีกว่า วงจรกรองชนิดไพอันเนื่องมาจากความเป็นฉนวนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตดีกว่าโดยมีอุปกรณ์ 2 ตัวมาต่อกัน ในขณะที่ วงจรกรองชนิดที มีอุปกรณ์เพียงตัวเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.28 แต่ข้อเสียของวงจรกรองชนิดทีคือ ไวต่อค่าต่อความจุไฟฟ้าปรสิตที่เกิดบนแผ่นวงจร ดังนั้นในการออกแบบส่วนของวงจรรองและการแมตช์ภาคส่ง-ภาครับ จำเป็นต้องมีการปรับค่าของอุปกรณ์ที่คำนวณได้เพื่อหลีกเลี่ยงผลของค่าความจุปรสิตที่เกิดขึ้นบนแผ่นลายวงจร



รูปที่ 3.28 วงจรกรองชนิดทีและวงจรกรองชนิดที

การออกแบบวงจรกรองชนิดทีให้มีค่าแถบหยุดตามที่ต้องการ ดังแสดงในสมการที่ 3.9

$$\omega_c = \omega_{RF} \cdot \left(\frac{1}{1-0.133} \right), L = \frac{35.6}{\omega_c}, C = \frac{0.067}{\omega_c} \quad \text{สมการที่ 3.9}$$

โดยที่ $\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c$ และ $\omega_{RF} = 2 \cdot \pi \cdot f_{RF}$ เมื่อ f_c คือค่าความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเก็บประจุ และ f_{RF} คือค่าความถี่พาหะของคลื่นวิทยุ

และเมื่อต้องการแปลงค่าที่คำนวณได้จากสมการของวงจรของชนิดไฟ ให้เป็น วงจรของชนิดที่สามารถทำได้ ดังแสดงในสมการที่ 3.10 ถึง 3.12

$$Z_{LT1} = \frac{Z_{L1} \cdot Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1} + Z_{L1}} \quad \text{สมการที่ 3.10}$$

$$Z_{CT2} = \frac{Z_{C2} \cdot Z_{C1}}{Z_{C2} + Z_{C1} + Z_{L1}} \quad \text{สมการที่ 3.11}$$

$$Z_{LT2} = \frac{Z_{C2} \cdot Z_{L1}}{Z_{C2} + Z_{C1} + Z_{L1}} \quad \text{สมการที่ 3.12}$$

เสาอากาศที่ใช้ในระบบอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ นั้น จะประกอบไปด้วยเสาอากาศ 2 แบบ คือ เสาอากาศแบบ แล้งสั้น (Short Whip) ใช้กับอุปกรณ์มือถือ แต่ในขณะกรณีของโมดูลคลื่นวิทยุที่ติดกับมิเตอร์จะถูกจำกัดในเรื่องความยาวของเสาอากาศ เพราะมิเตอร์และโมดูลคลื่นวิทยุจะถูกติดตั้งอยู่ในกล่องมิเตอร์ทำให้ไม่สามารถใช้เสาอากาศชนิดแล้งสั้นได้เหมือนกับอุปกรณ์มือถือดังนั้นในการออกแบบจึงได้เลือกใช้เสาอากาศแบบเกลียว (Helical) ที่ความยี่ดยุ่นในเรื่องความยาวของเสาอากาศมากกว่าเสาอากาศชนิดอื่น ดังแสดงในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 เสาอากาศแบบแล้งสั้น (ขวา) และเสาอากาศแบบเกลียว (ซ้าย)

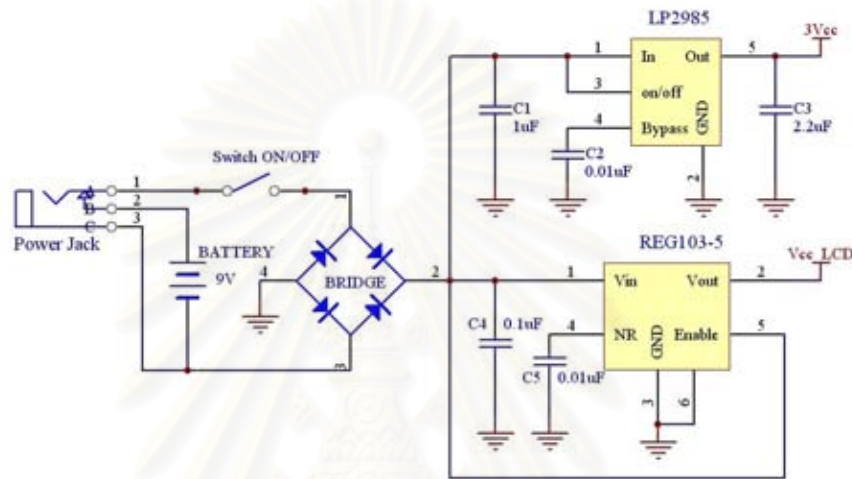
เสาอากาศแบบแล้งสั้นมีคุณสมบัติที่เหมือนกับเสาอากาศแบบโมโนโพลดังนั้นความยาวของเสาจะมีค่าเป็น $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่นที่ใช้ ในการออกแบบได้เลือกใช้เสาอากาศแบบมาตรฐานสำหรับย่านความถี่ 400 MHz ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยความยาวของเสาอากาศจะสั้นกว่า $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น คือ 18 เซนติเมตร จากรูปที่ 3. 29 (ขวา) แสดงลักษณะเสาอากาศแบบแล้งสั้นซึ่งจำเป็นต้องมีการต่อกับกาวด์เพลนที่บริเวณฐานของเสาอากาศเพื่อเป็นการลดความไม่สม่ำเสมอ ของค่ารีแอกแตนซ์ และการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ [21] โครงสร้างของเสาอากาศจะมีการพันเป็นเกลียวในช่วงที่ใกล้กับฐานของเสาอากาศเพื่อชดเชยผลของค่าความจุปรสิตที่เกิดขึ้นบนแผ่นลายวงจร สมรรถนะของเสาอากาศชนิดนี้จะใกล้เคียงกับเสาอากาศ ที่เป็นชนิดแล้งแบบเต็ม (Full Whip) ในวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้เสาอากาศสำเร็จรูปของบริษัท Linx Technology ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 ohm สามารถเลือกความถี่ในการใช้งานได้โดยการยืดและหดเสาอากาศตามความถี่ที่ต้องการ

ในส่วนของเสาอากาศแบบเกลียวจะมีความยาวของลวดที่นำมาพันมากกว่าความยาวของเสาอากาศแบบแล้ง อยู่ประมาณ 2-3 เท่า จำนวนรอบของขดลวดจะขึ้นอยู่กับขนาดของลวดที่นำมาทำเป็นเสาอากาศ, เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียว และระยะห่างระหว่างเกลียว เสาอากาศชนิดนี้สามารถปรับความละเอียดในการตัดความถี่เรโซแนนซ์ได้โดยการขยายหรือลดความยาวของขดลวด ถ้าเสาอากาศมีจำนวนเกลียวที่เพียงพอจะทำให้ความยาวของเสาอากาศสั้นกว่า $\frac{1}{10}$ ของความยาวคลื่นได้ ในการออกแบบได้เลือกใช้เสาอากาศสำเร็จรูปของ

บริษัท Fujicura ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 ohm สามารถเลือกความถี่ที่ต้องการใช้ได้โดยการตัดส่วนของเสาอากาศที่เกินความต้องการออกไป

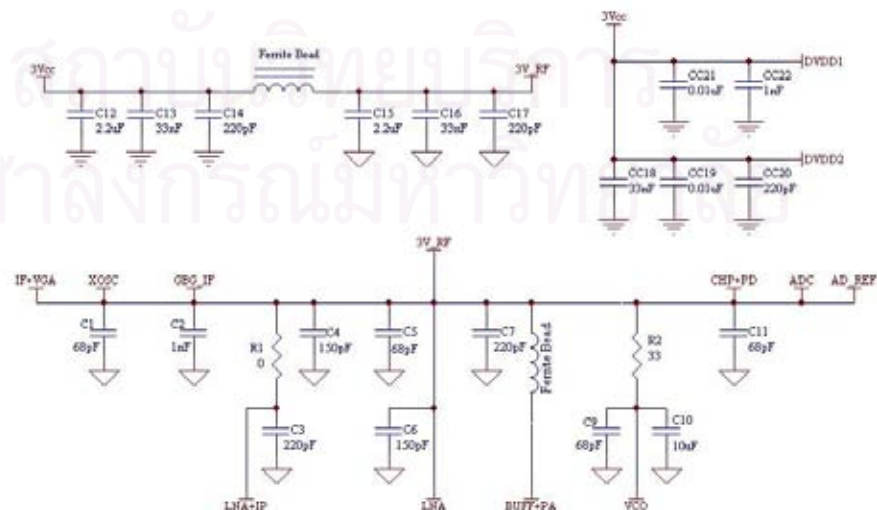
3.8 ส่วนไฟเลี้ยงการสื่อสารด้วยวิทยุ

ประกอบด้วยส่วนจ่ายไฟให้กับจอแสดงผลแอลซีดีด้วยแรงดัน 5 โวลต์ สร้างจากวงจรรวมเบอร์ REG103-5 และส่วนจ่ายไฟให้กับวงจรส่วนอื่น ๆ ทั้งหมดด้วยแรงดัน 3 โวลต์ สร้างจากวงจรรวมเบอร์ LP2985 วงจรจ่ายไฟเลี้ยงทั้ง 2 ใช้แรงดันขาเข้าจากแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 วงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยงบนตัวอุปกรณ์มือถือ

ในการออกแบบส่วนไฟเลี้ยงให้กับวงจรรวม CC1021 ต้องคำนึงถึงการแยกการเชื่อมร่วม (Decoupling) ของขาสัญญาณไฟเลี้ยงที่จะจ่ายให้กับส่วนแอมพลีฟายเออร์ส่วนต่าง ๆ ภายในวงจรรวม ดังนั้นที่ขาสัญญาณไฟเลี้ยงจึงต้องมีตัวเก็บประจุค่าต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการแยกการเชื่อมร่วมขาไฟเลี้ยงในส่วนแอมพลีฟายเออร์และส่วนดิจิทัล โดยตำแหน่งของตัวเก็บประจุเหล่านี้จำเป็นต้องอยู่ใกล้กับขาสัญญาณให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อที่จะให้เกิดสมรรถนะที่สูงสุดในการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การแยกการเชื่อมร่วมโดยใช้ตัวเก็บประจุค่าต่าง ๆ ของวงจรรวมเบอร์ CC1021

3.9 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงรายละเอียดของวงจรส่วนต่าง ๆ บนตัวมิเตอร์และอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ โดยอุปกรณ์ทั้งสองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MSP430 ของ Texas Instrument เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยที่มิเตอร์นั้นจะประกอบไปด้วยวงจรสำหรับวัดพลังงานไฟฟ้าซึ่งใช้วงจรรวมเบอร์ ADE7758 ในการประมวลผลหาค่าพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุนั้นจะใช้วงจรรวมเบอร์ CC1021 สำหรับรับส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ นอกจากนี้ยังได้มีการกล่าวถึงรายละเอียดของวงจรส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ประกอบไปด้วย การเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์สำหรับเก็บค่าความต้องการพลังงานในรอบ 15 นาที ส่วนแสดงผลแอลซีดี การเชื่อมต่อฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ จากไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับคอมแพคตแฟลช วงจรเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม RS232 และสุดท้ายคือวงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยง สำหรับรายละเอียดของซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

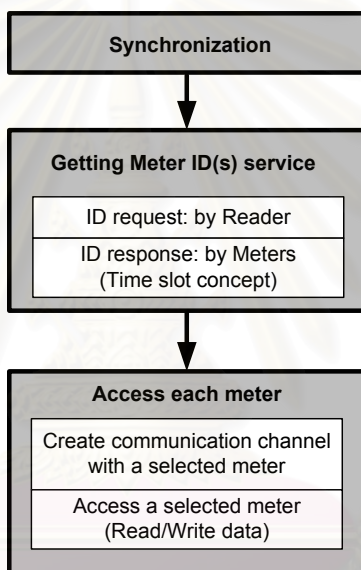


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สื่อสารข้อมูลในระบบเปิดด้วยคลื่นวิทยุจะมีโอกาสถูกลักลอบตรวจจับกลุ่มข้อมูล (Data Monitoring) ในขณะที่อุปกรณ์มือถือกำลังติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ ทำให้บุคคลอื่นสามารถรู้ข้อมูลทั้งหมดในขั้นตอนต่าง ๆ ได้ ดังนั้นระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุในวิทยานิพนธ์จึงเลือกรูปแบบการสื่อสารของสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ เนื่องจากเป็นระบบที่มีความปลอดภัยสูงดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.6

2) ผลการแผ่พลังงานของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุจะกระจายออกไปในทุกทิศทางไม่ว่ามิเตอร์ในบริเวณนั้นจะมีอุปสรรคขวางกั้นหรือไม่ โดยปกติแล้วบริเวณที่อุปกรณ์มือถือมือถือทำงานจะมีมิเตอร์อยู่ใกล้กันหลายตัว ทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสารขึ้นได้หากยังคงใช้โพรโทคอลตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 เนื่องจากมิเตอร์ทุกตัวจะได้รับสัญญาณร้องขอของกระบวนการระบุพร้อมกันและจะทำการส่งข้อมูลในขั้นตอนตอบสนองออกไปให้กับอุปกรณ์มือถือ พร้อมๆ กัน และเกิดการชนของข้อมูลในที่สุด



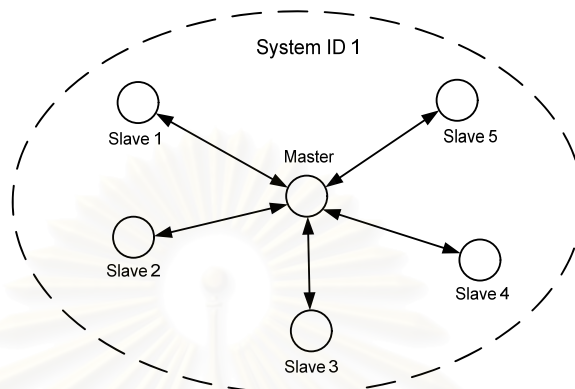
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนต่างๆ ของการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุ

โพรโทคอลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ถูกดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 โดยเพิ่มบางกระบวนการเข้าไปเพื่อให้เหมาะสมกับการสื่อสารกับมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุอันเนื่องจากเหตุผล 2 ประการข้างต้น ส่วนรูปแบบของกลุ่มข้อมูลนั้นยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.7 การทำงานของโพรโทคอลจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยเริ่มต้นด้วยขบวนการชิงโครไนซ์เพื่อให้อุปกรณ์มือถือและมิเตอร์ทำงานพร้อมกันได้อย่างถูกต้อง แล้วจึงทำการรรับหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์ที่ต้องการส่งข้อมูล หลังจากนั้นจึงทำการติดต่อกับมิเตอร์ที่ได้ทำการส่งหมายเลขประจำตัวมาให้

4.1 โพรโทคอลชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้สเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

ชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) เป็นระดับชั้นที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่ถึงสื่อกลางการสื่อสาร (Media), กำหนดที่อยู่และข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่าย (Addressing), กำหนดรูปแบบของเครือข่าย

(Network Topology) และซิงโครไนซ์ (Synchronization) ให้ผู้ส่งกับผู้รับใช้เวลาเดียวกันในการรับส่งข้อมูล ในวิทยานิพนธ์ใช้หลักการของสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่และมีรูปแบบการเครือข่ายเป็นแบบสตาร์ (Star- Topology) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ภายในเครือข่ายประกอบด้วยมาสเตอร์และสเลฟ โดยสเลฟทุกตัวในเครือข่ายจะติดต่อสื่อสารกับมาสเตอร์ และสเลฟแต่ละตัวไม่สามารถสื่อสารซึ่งกันและกันได้



รูปที่ 4.3 ลักษณะเครือข่ายแบบสตาร์ที่ใช้ในการสื่อสารบนชั้นของการเชื่อมโยงข้อมูล

4.1.1 การสื่อสารแบบมาสเตอร์ และ สเลฟ

การสื่อสารแบบมาสเตอร์ – สเลฟ ที่ใช้ในสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ จะมีรูปแบบของกลุ่มข้อมูลการสื่อสาร ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 คือ

6	8	1[X]	X	2
Preamble & Sync Word	Receiver Address	Length	Data Bytes	CRC

รูปที่ 4.4 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสาร

- Preamble & Sync Word มีขนาด 6 ไบต์ สำหรับให้ผู้รับตรวจจับจุดเริ่มต้นของกลุ่มข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยแบ่งเป็น Preamble ขนาด 4 ไบต์มีค่าเป็น 0xAAAAAAAA และ Sync Word ขนาด 2 ไบต์มีค่าเป็น 0xD391
- Receiver Address มีขนาด 8 ไบต์ เป็นหมายเลขประจำตัวของผู้รับที่ผู้ส่งจะทำการติดต่อสื่อสารด้วย ในกรณีของมิเตอร์จะมีหมายเลขประจำตัว 2 หมายเลข คือ หมายเลขประจำตัวที่ใช้สำหรับการรับข้อมูลแบบแพร่กระจาย (Broadcast) กำหนดเป็น 00000000 และหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์เอง ซึ่งเป็นหมายเลขประจำตัวที่กำหนดโดยผู้ให้บริการไฟฟ้า ในส่วนของอุปกรณ์มือถือที่ไว้สำหรับอ่านค่าก็จะมีหมายเลขประจำตัวเพื่อให้มิเตอร์แต่ละตัวส่งค่ามาได้อย่างถูกต้อง ในวิทยานิพนธ์กำหนดเป็น 99999999
- Length มีขนาด 1 ไบต์ เป็นส่วนที่เก็บความยาวของข้อมูลที่จะทำการส่งไปให้ผู้รับ ความยาวสูงสุดที่สามารถเป็นไปได้คือ 255 ไบต์ แต่ในวิทยานิพนธ์ได้กำหนดความยาวสูงสุดของการสื่อสารไว้ที่ 128 ไบต์ เนื่องจากเพียงพอต่อการรองรับความยาวของข้อมูลมิเตอร์ 3 เฟสตามมาตรฐาน ANSI C12.18 ที่มีค่าขนาด 74 ไบต์ และถ้าใช้ขนาดกลุ่มข้อมูลสูงสุดที่ยาวกว่านี้จะส่งผลให้ความผิดพลาดในการส่งข้อมูลมีค่ามากตาม

- Data Bytes และ CRC เป็นส่วนของข้อมูลที่ทำกรส่งไปให้ผู้รับ และมีการส่งค่าซีอาร์ซี ขนาด 2 ไบต์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยวิธีการคำนวณค่าซีอาร์ซีได้อธิบายมาแล้วดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.7.3

ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติที่ใช้ในวิทยานิพนธ์กำหนดให้อุปกรณ์มีชื่อทำหน้าที่เป็น มาสเตอร์ และจะทำการส่งกลุ่มข้อมูลบีคอน (Beacon Packet) ในแต่ละความถี่ใหม่เป็นระยะ ลำดับในการเปลี่ยนความถี่จะเป็นลำดับสัญญาณรบกวนเทียม (Pseudonoise Sequence) ตามจำนวนความถี่ทั้งหมดที่ใช้ในระบบ สำหรับมิเตอร์จะทำหน้าที่เป็นสเลฟและจะรู้ลำดับการเปลี่ยนความถี่นี้ รูปแบบของกลุ่มข้อมูลบีคอนดังแสดงในรูปที่ 4.5

6	8	1[5]	1	1	1	1	1	2
Preamble & Sync Word	Meter Address	Length	Beacon	CTRL	Service	Seq_nbr	Table	CRC

รูปที่ 4.5 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลบีคอนที่มาสเตอร์ทำการส่งไปให้สเลฟในทุก ๆ ความถี่

จากรูปที่ 4.5 Beacon คือไบต์ที่มีความเป็นเอกลักษณ์ในแต่ละระบบ ในวิทยานิพนธ์กำหนดให้มีค่าเท่ากับหมายเลขประจำระบบที่เปลี่ยนกลับค่าบิตนัยสำคัญมากที่สุด (SystemID \oplus 0x80) ดังนั้นสเลฟจึงไม่สามารถติดต่อกับมาสเตอร์ของระบบอื่น, ไบต์ Service เป็นคำสั่งการทำงานตามมาตรฐาน ANSI C12.18 สำหรับบอกมิเตอร์ให้ทำอะไรในความถี่นั้น, ไบต์ Seq_nbr เป็นไบต์ที่ใช้ในกรณีการสื่อสารเป็นแบบหลายกลุ่มข้อมูล (Multiple Packet), ไบต์ Table เป็นค่าหมายเลขตารางที่จะถูกอ่านหรือเขียนบนตัวมิเตอร์ ไบต์ทั้งสามนี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นการประยุกต์ต่อไป

ในส่วนของไบต์ควบคุม (CTRL) เป็นไบต์ที่ระบุถึงเหตุการณ์ที่จะทำในความถี่นั้น ๆ มีด้วยกันสองค่าคือ 0x22 ใช้ในกรณีที่มาสเตอร์ต้องการส่งข้อมูลแบบระบุผู้รับ (Singlecast) และ 0x44 ใช้ในกรณีที่มาสเตอร์ต้องการส่งข้อมูลแบบแพร่กระจาย (Broadcast) โดยแบ่งการทำงานหลัก ๆ อยู่ 3 ประเภทคือมาสเตอร์ทำการส่งข้อมูล, สเลฟทำการส่งข้อมูล และสเลฟร้องขอการส่งข้อมูล สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้คือ

1. มาสเตอร์ทำการส่งข้อมูล

ถ้ามาสเตอร์ต้องการที่จะส่งข้อมูล ไบต์ควบคุมจะเป็นตัวกำหนดว่าสเลฟใดต้องการจะเป็นผู้รับกลุ่มข้อมูล มาสเตอร์อาจทำการระบุว่าเป็นสเลฟตัวเดียว หรือ สเลฟทั้งหมด ค่าของไบต์ควบคุมในกรณีนี้จะมีบิตนัยสำคัญมากที่สุดเป็น 1 เสมอ เพื่อให้สเลฟได้รู้ว่ามาสเตอร์จะทำการส่งข้อมูลมาให้ เมื่อสเลฟได้รับกลุ่มข้อมูลบีคอนก็จะทำการรับ (Listen) กลุ่มข้อมูลที่มาสเตอร์จะทำการส่งมาให้ และสเลฟจะส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนอง (Response Packet) กลับไปให้มาสเตอร์เพื่อเป็นการแสดงว่ารับข้อมูลที่ส่งมาให้ได้แล้ว

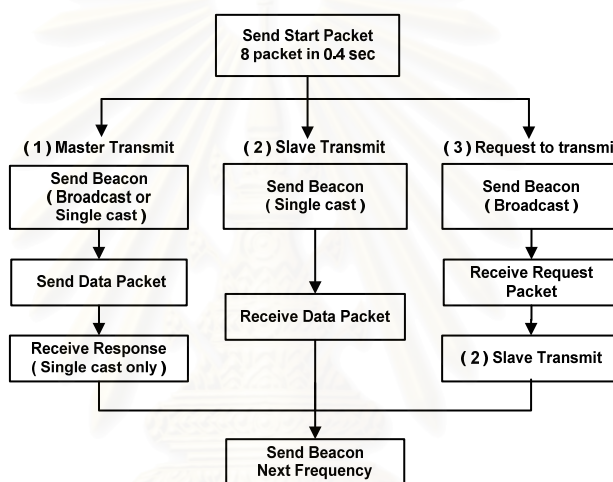
2. สเลฟทำการส่งข้อมูล

ถ้ามาสเตอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากสเลฟ จะมีการระบุหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่จะทำการส่งข้อมูลมาให้ ค่าของไบต์ควบคุมในกรณีนี้จะมีบิตนัยสำคัญมากที่สุดเป็น 0 เสมอเพื่อให้สเลฟได้รู้ว่ามาสเตอร์ต้องการรับข้อมูลจากสเลฟ หลังจากที่มาสเตอร์ทำการส่งกลุ่มข้อมูลบีคอนก็จะทำการรับกลุ่มข้อมูลที่สเลฟจะส่งมาให้ โดยมาสเตอร์ไม่จำเป็นต้องส่งสัญญาณตอบสนองกลับไปให้กับสเลฟเมื่อทำการรับข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว หากมาสเตอร์ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลที่สเลฟส่งมาก็จะทำการส่งกลุ่มข้อมูลบีคอนเดียวกันนี้ในความถี่ต่อไปตามลำดับจำนวนสุ่มเทียม เพื่อให้สเลฟส่งกลุ่มข้อมูลเดิมมาอีกครั้ง

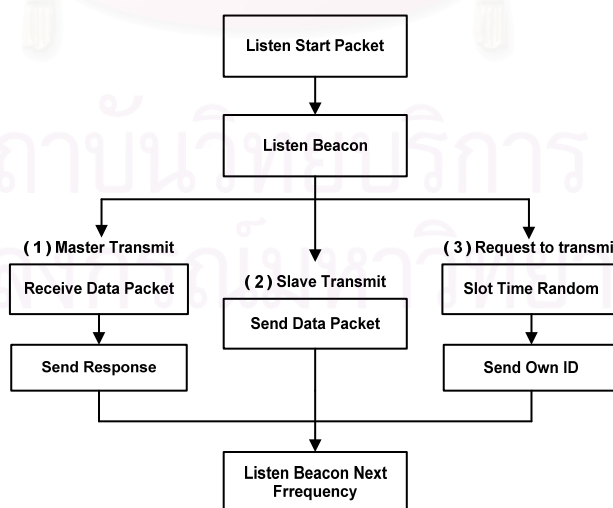
3. สเตลฟร้งขอการส่งข้อมูล

ด้านนอกเหนือจากกรณีข้างต้นแล้วจะเป็นกรณีที่ สเตลฟใด ๆ ทำการร้องขอที่จะส่งข้อมูล เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการแทรกแซงในกรณีที่สเตลฟหลายตัวต้องการส่งข้อมูลพร้อมกัน สเตลฟแต่ละตัวจะมีการสุ่มค่าเพื่อใช้เป็นเวลารอค่อนจะส่งสัญญาณร้องขอให้กับมาสเตอร์ โดยที่มาสเตอร์จะทำการรับเฉพาะสัญญาณร้องขออันแรกที่เข้ามาแต่ถ้ามีสเตลฟตั้งแต่สองตัวส่งสัญญาณร้องขอในเวลาเดียวกันและมาก่อนสเตลฟตัวอื่น ๆ มาสเตอร์จะทำการรับสัญญาณที่มีระดับความแรงมากที่สุดเข้ามา หรือไม่รับสัญญาณใด ๆ เลยเพื่อให้สเตลฟเหล่านั้นได้ส่งสัญญาณร้องขอมาใหม่ในช่วงเวลาที่ถัดไปตามลำดับจำนวนสุ่มเทียบ ในกรณีนี้กลุ่มข้อมูลบีคอนจะส่งข้อมูลไปสองไบต์เท่านั้นคือ ไบต์บีคอนและไบต์ควบคุม ซึ่งจะแตกต่างจากอีก 2 กรณีที่กล่าวมาทำให้สเตลฟรู้ว่าขณะนี้กลุ่มข้อมูลบีคอนเป็นการร้องขอการส่งข้อมูลของสเตลฟ

สำหรับรูปแบบการทำงานในช่วงหนึ่งคาบเวลาของมาสเตอร์และสเตลฟสามารถแสดงได้ใน รูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7 ตามลำดับ



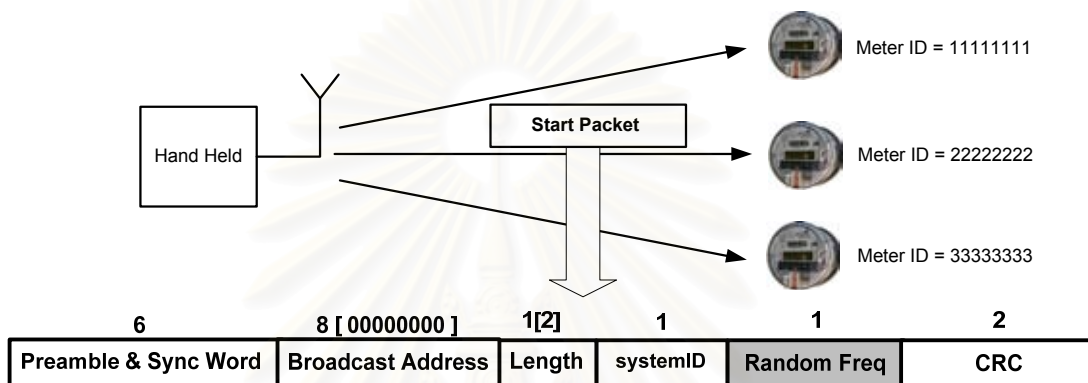
รูปที่ 4.6 การทำงานของมาสเตอร์ในช่วงหนึ่งคาบเวลา



รูปที่ 4.7 การทำงานของสเตลฟในช่วงหนึ่งคาบเวลา

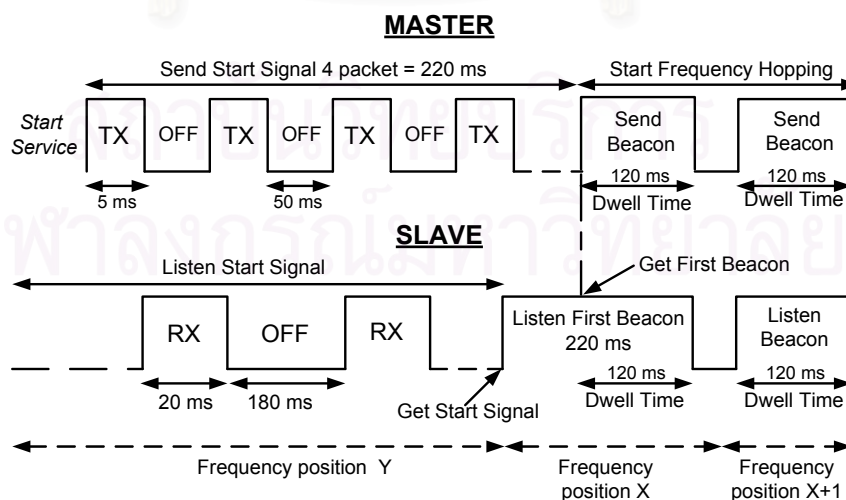
4.1.2 ขบวนการชิงโครโนซ์

ระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติเป็นระบบที่ต้องการความรวดเร็วในการทำงานดังนั้น จึงไม่เหมาะที่จะทำการชิงโครโนซ์ตามวิธีที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.6 เนื่องจากมีการเสียเวลาในการค้นหาความถี่ก่อนข้างนาน โดยปกติแล้วการอ่านค่ามิเตอร์จะใช้เวลาการทำงานต่อมิเตอร์หนึ่งตัวไม่บ่อยนัก (เดือนละครั้ง) ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงหาแนวทางในการชิงโครโนซ์ระบบด้วยการส่งค่าตำแหน่งความถี่เริ่มต้นในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ไปให้กับมิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณที่คลื่นวิทยุเข้าถึงดังแสดงในรูปที่ 4.8 กลุ่มข้อมูลเริ่มต้น (Start Packet) ที่ส่งไปให้กับมิเตอร์ทุกตัวจะประกอบไปด้วยหมายเลขประจำระบบ และค่าความถี่เริ่มต้นที่ใช้ในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ที่ได้มาจากการสุ่มค่าความถี่ทั้งหมดที่ใช้ในระบบ



รูปที่ 4.8 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นใช้ในขบวนการชิงโครโนซ์

ความถี่เริ่มต้นที่ใช้ในขบวนการชิงโครโนซ์ (รับส่งกลุ่มข้อมูลเริ่มต้น) จะเป็นความถี่เฉพาะในแต่ละระบบ (ความถี่ Y ดังแสดงในรูปที่ 4.9) เนื่องจากในการอ่านค่ามิเตอร์จะทำเพียงเดือนละครั้งเท่านั้น ในวิทยานิพนธ์จึงกำหนดความถี่ Y ให้เป็นฟังก์ชันของเดือนนั้น ๆ ทำให้ในแต่ละเดือนความถี่เริ่มต้นจะมีค่าไม่เหมือนกัน รวมถึงลำดับในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ตามตารางความถี่ในแต่ละเดือนก็จะไม่เหมือนกันด้วย ส่งผลให้ผู้ที่ลักลอบเอาข้อมูลมิเตอร์ไปทำได้ยากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.9 รูปแบบขบวนการชิงโครโนซ์ของมาสเตอร์และสเลฟ

จากรูปที่ 4.9 เมื่อเริ่มทำงาน อุปกรณ์มือถือจะทำการส่งกลุ่มข้อมูลเริ่มต้น (Start Packet) เพื่อให้มิเตอร์ได้รู้ว่าขณะนี้อุปกรณ์มือถือเริ่มต้นทำงานแล้ว โดยจะส่งกลุ่มข้อมูลเริ่มต้น 4 กลุ่มข้อมูล (ทุกกลุ่มข้อมูลเหมือนกัน) ภายในเวลา 220 มิลลิวินาที เพื่อเป็นการรับประกันว่ามิเตอร์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณทำการของคลื่นวิทยุ สามารถรับกลุ่มข้อมูลนี้ได้ เมื่อส่งกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นเสร็จแล้วอุปกรณ์มือถือจะเริ่มทำการกระโดดเปลี่ยนความถี่ โดยตำแหน่งความถี่แรกที่ใช้ในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (ตำแหน่งความถี่ X ดังแสดงในรูปที่ 4.9) ได้มาจากการสุ่มเลือกตำแหน่งความถี่ทั้งหมดในระบบ

ในส่วนของมิเตอร์จะทำการเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลเริ่มต้น (Listen Start Packet) ในทุก 200 มิลลิวินาที เวลาที่ใช้ในการเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลเริ่มต้น มีค่าเป็น 20 มิลลิวินาที ส่วนช่วงเวลา 180 มิลลิวินาที ที่เหลือวงจรรวม CC1021 จะหยุดการทำงาน (Power Down) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน เนื่องจากการเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นจำเป็นต้องทำตลอดเวลา แต่อุปกรณ์มือถือจะทำการเก็บค่ามิเตอร์เพียงเดือนละครั้งเท่านั้น ดังนั้นหากให้มิเตอร์เฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นตลอดเวลาจะเป็นการเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ วิธีการเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลเริ่มต้น 20 มิลลิวินาที และ หยุดการทำงาน 180 มิลลิวินาที จะเป็นการประหยัดพลังงานได้ถึง 90 % เมื่อเทียบกับการเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นตลอดเวลา

เมื่อมิเตอร์ได้รับกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นเรียบร้อยแล้วจะนำเอาข้อมูลความถี่ที่ได้จากอุปกรณ์มือถือมาเป็นตำแหน่งเริ่มต้นในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ ช่วงเวลาในการกระโดดความถี่ครั้งแรกนั้น มิเตอร์จำเป็นต้องเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลบีคอน (Listen Beacon) ยาวนานกว่าปกติ (220 มิลลิวินาที) เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์มือถือได้เริ่มต้นกระโดดเปลี่ยนความถี่แล้ว และเมื่อได้รับกลุ่มข้อมูลบีคอนแรก มิเตอร์จะกระโดดเปลี่ยนความถี่ด้วยอัตราปกติ (คาบเวลาในการกระโดด = 120 มิลลิวินาที)

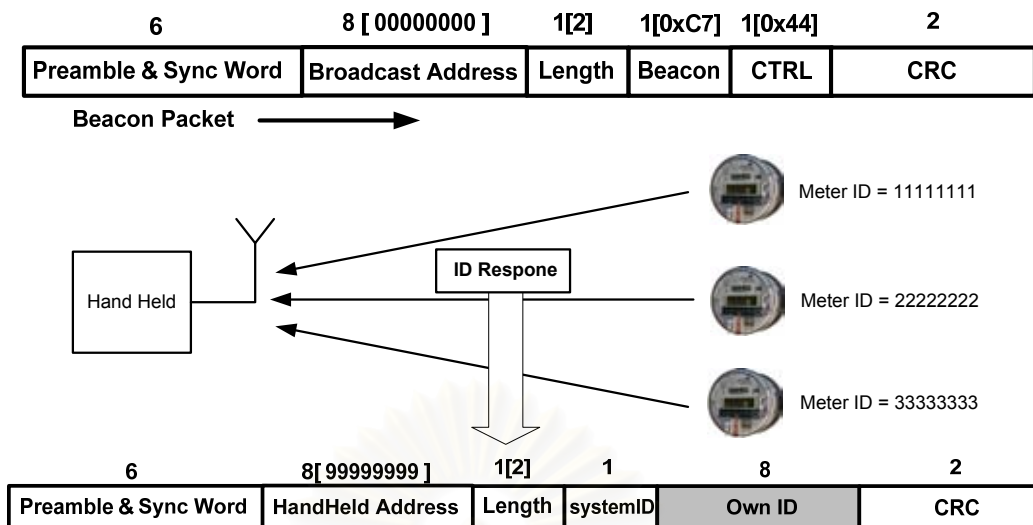
ในระหว่างการสื่อสารข้อมูลอาจมีการสูญเสียซิงโครไนซ์ อาจเกิดได้จากการที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาหรือในกรณีที่อุปกรณ์มือถือถูกเคลื่อนย้ายออกจากระยะทำการของคลื่นวิทยุ มิเตอร์สามารถพิจารณาเหตุการณ์เหล่านี้ได้จากการที่ไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลบีคอน 5 ครั้งติดต่อกัน และมีเตอร์จะทำการค้นหาความถี่ที่ทำงานในขณะนั้น โดยใช้วิธีในการค้นหาความถี่ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.6 ในกรณีที่การค้นหาความถี่ประสบความสำเร็จแล้ว จะถือว่าอุปกรณ์มือถือและมิเตอร์ไม่ได้อยู่ในระยะทำการอีกต่อไป มิเตอร์จะกลับไปรอรับกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นจากอุปกรณ์มือถืออีกครั้งแทน

4.1.3 กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์

เป็นขั้นตอนแรกของโพรโทคอลเพื่อใช้ในการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์แต่ละตัวในบริเวณที่ทำการอ่าน เพื่อให้อุปกรณ์มือถือรู้ว่าในบริเวณนั้นมีมิเตอร์ตัวใดที่ต้องการส่งข้อมูลมาให้อุปกรณ์มือถือบ้าง หลังจากที่ถูกมือถือได้รับหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์แล้วจึงเริ่มติดต่อกับมิเตอร์ทีละตัวโดยจะกล่าวถึงอีกทีในหัวข้อถัดไป กระบวนการร้องขอจะมีขั้นตอนต่างๆ ประกอบไปด้วย

1) ขั้นตอนร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์ (ID Request)

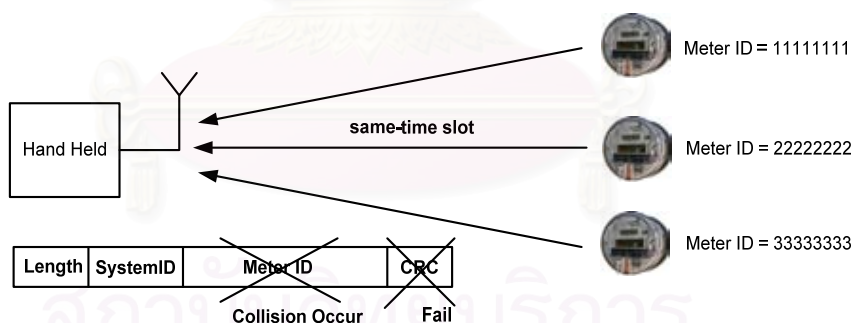
อุปกรณ์มือถือจะส่งกลุ่มข้อมูลบีคอนในลักษณะแพร่กระจาย ไปต์ควบคุมจะมีค่าเป็น 0x44 เพื่อเป็นตัวกำหนดให้มิเตอร์ทุกตัวที่ได้รับกลุ่มข้อมูลนี้ทำการส่งหมายเลขประจำตัวมาให้อุปกรณ์มือถือ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนส่งสัญญาณร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์

2) ขั้นตอนตอบสนองการร้องขอหมายเลขประจำตัว (ID Response)

มิเตอร์จะทำการส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนอง (Response packet) ที่มีหมายเลขประจำระบบและหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ไปให้กับอุปกรณ์มือถือ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ขั้นตอนนี้ได้นำหลักการในการส่งข้อมูลแบบแบ่งตามช่องเวลามาใช้ (Time-slot concept) กล่าวคือมิเตอร์แต่ละตัวจะมีการหนดวงเวลาเป็นระยะเวลาตามค่าสุ่ม (Random number) ค่าหนึ่งก่อนเริ่มขั้นตอนตอบสนองเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของกลุ่มข้อมูลจากมิเตอร์ตัวอื่นอันเนื่องจากการส่งข้อมูลพร้อมกัน ในกรณีที่มิเตอร์ส่งกลุ่มข้อมูลมาถึงพร้อมกันอุปกรณ์มือถือก็จะเลือกเอากลุ่มข้อมูลที่มีความแรงของคลื่นวิทยุสูงสุดมาพิจารณา

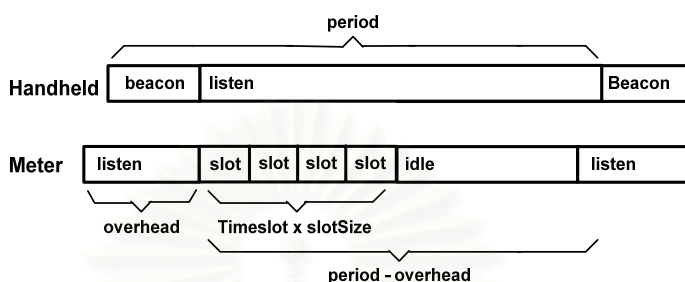


รูปที่ 4.11 กรณีเกิดการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองจากมิเตอร์ 2 ตัว

หากมีการชนกัน (Collision) ของข้อมูลในขั้นตอนตอบสนอง อันเนื่องจากมีมิเตอร์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ส่งข้อมูลตอบสนองออกมาพร้อมกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.11 อุปกรณ์มือถือจะไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ได้รับมาได้ เพราะค่าซีอาร์ซีของกลุ่มข้อมูลไม่ถูกต้อง ทำให้อุปกรณ์มือถือรู้ได้ว่าการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น หลังจากนั้นอุปกรณ์มือถือจะเริ่มดำเนินการขั้นตอนร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ใหม่อีกครั้งในความถี่ถัดไปจนกว่าจะได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง

เมื่ออุปกรณ์มือถืออ่านค่ามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำการร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์อีกใหม่ครั้ง โดยมิเตอร์ที่ถูกอ่านค่าเรียบร้อยแล้วจะไม่ส่งหมายเลขประจำตัวมาให้อุปกรณ์มือถือ ทำให้อุปกรณ์มือถือมีโอกาสที่จะได้รับกลุ่มข้อมูลตอบสนองของมิเตอร์ตัวอื่นที่ยังไม่ถูกอ่านค่า

สำหรับรายละเอียดในช่องเวลาการส่งและรับข้อมูลระหว่างอุปกรณ์มือถือและมิเตอร์ มีความสำคัญมากในการรักษาซิงโครไนซ์และป้องกันการชนกันของข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการส่งและรับข้อมูลระหว่างอุปกรณ์มือถือและมิเตอร์

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาในหนึ่งคาบความถี่ ที่อุปกรณ์มือถือและมิเตอร์ขณะทำงาน โดยช่วงเวลาต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

คาบเวลา (Period) คือช่วงเวลาระหว่างการส่งกลุ่มข้อมูลบิตคอนแต่ละครั้งของอุปกรณ์มือถือ ถ้าคาบเวลามีค่ามากเท่าไร จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานมากขึ้นแต่วิสัยสามารถ (Throughput) จะต่ำลง และช่วงเวลาการค้นเป้าก็จะยาวนานมากขึ้นด้วย การหาคาบเวลาที่เหมาะสมของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบมาจะต้องคำนึงถึงเวลาในการรับส่งข้อมูลระหว่างมิเตอร์กับอุปกรณ์มือถือ รวมถึงระยะเวลาในการเข้าถึงตาราง ๆ ของมิเตอร์ และเวลาในการเขียนข้อมูลลงบนคอมพิวเตอร์ด้วย จากการทดสอบรับส่งข้อมูลทำให้สามารถกำหนดค่าคาบเวลาที่น้อยที่สุดที่อุปกรณ์มือถือและมิเตอร์ ยังรักษาซิงโครไนซ์ไว้ได้เป็น 120 มิลลิวินาที

เวลาเฝ้ารอ (Listen Time) เป็นการกำหนดระยะเวลาในการรอรับกลุ่มข้อมูลต่าง ๆ เมื่อหมดเวลารอ (Time Up) แล้วยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลจะถือว่าการเฝ้ารอข้อมูลบนความถี่นั้นประสบความสำเร็จ และจะมีการเฝ้ารอกลุ่มข้อมูลบนความถี่ใหม่แทน

ช่วงเวลาใส่ง่าย (Overhead) เป็นค่าประมาณระหว่างที่วงจรรวม CC1021 เริ่มทำการเฝ้ารอกลุ่มข้อมูลบิตคอนจนได้รับกลุ่มข้อมูลเรียบร้อยแล้ว อีกทั้งยังเป็นช่วงที่วงจรรวม CC1021 ทำการเปลี่ยนค่าความถี่และมีการรอให้เฟสล็อกการทำงานที่ถูกต้องที่สำเร็จก่อน จากเหตุผลดังที่กล่าวมาทำให้ช่วงเวลานี้มีความจำเป็นในการเริ่มต้นการทำงานของตัวเองตั้งเวลาในแต่ละความถี่ของมิเตอร์ (Start Timer) โดยจะมีการกำหนดให้ช่วงเวลาซัดจิงหวะของมิเตอร์เป็น (คาบเวลา - ช่วงเวลาใส่ง่าย) ดังแสดงในรูปที่ 4.12

การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับ เวลาเฝ้ารอ และ ช่วงเวลาใส่ง่ายนั้น ได้มาจากการทดสอบระบบ ในขั้นแรกจะกำหนดให้ เวลาเฝ้ารอมีค่ามาก ๆ (60 มิลลิวินาที) และใช้การเพิ่มช่วงเวลาใส่ง่าย จนได้ช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่อุปกรณ์ทั้งสองสามารถรักษาซิงโครไนซ์ไว้ได้ ช่วงเวลาใส่ง่ายที่ได้จากการทดสอบจะเป็น 10 มิลลิวินาที ดังนั้นช่วงเวลาในการเฝ้ารอกลุ่มข้อมูลบิตคอนจึงต้องมีการกำหนดให้มีค่ามากกว่าเวลาใส่ง่ายนี้ โดยในวิทยานิพนธ์ได้กำหนดช่วงเวลาเฝ้ารอกลุ่มข้อมูลบิตคอนเป็น 30 มิลลิวินาที

ขนาดช่องเวลา (Slot Size) จะเป็นตัวกำหนดเวลาที่มีเตอร์ใช้ในการส่งสัญญาณร้องขอข้อมูลไปให้อุปกรณ์มือถือ (ส่งหมายเลขประจำตัว) ขนาดของช่องเวลาต้องเผื่อไว้ให้มีระยะเวลาว่างพอสำหรับการส่งข้อมูลในขั้นตอนตอบสนองของมิเตอร์แต่ละตัว ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ส่งข้อมูลในขั้นตอนตอบสนองสามารถหาได้ดังนี้

- จำนวนบิตต่อการส่งข้อมูล 1 ไบต์ เท่ากับ 10 บิต (บิตเริ่มต้น 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต และบิตหยุด 1 บิต)
- อัตราบอดที่ใช้ คือ 28.8 บิตต่อวินาที ดังนั้น 1 ไบต์จึงใช้เวลาส่ง $\frac{10}{28,800} \approx 347.2 \mu s$
- จำนวนข้อมูลที่จะถูกส่งในขั้นตอนตอบสนอง มีทั้งสิ้น 26 ไบต์ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ดังนั้นเวลาที่ใช้ส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนอง จึงเท่ากับ $26 \times 347.2 \approx 9$ มิลลิวินาที ดังนั้นแต่ละช่องเวลาต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 9 มิลลิวินาที แต่เพื่อหลีกเลี่ยงผลอันเนื่องมาจากฐานเวลาของมิเตอร์แต่ละตัวไม่ตรงกันพอดี จึงควรเผื่อขนาดของแต่ละช่องเวลาไว้ด้วย ในการออกแบบนี้ได้เผื่อช่องเวลาให้มีขนาดประมาณ 10 มิลลิวินาที

จำนวนช่องเวลา (Time Slot) เป็นการระบุถึงคาบเวลาที่อุปกรณ์มือถือทำการเฝ้ารอสัญญาณร้องขอจากมิเตอร์ จำนวนช่องเวลาควรจะมีค่ามาก ๆ เพื่อป้องกันการรบกวนกันเองของมิเตอร์ที่เฝ้ารอขอการส่งข้อมูล โดยจากเงื่อนไขทางด้านเวลาการเฝ้ารอข้อมูลของอุปกรณ์มือถือดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งมีค่าได้ไม่เกิน 90 มิลลิวินาที (คาบเวลา – ช่วงเวลาเฝ้ารอกลุ่มข้อมูลบิตคอน) ทำให้จำนวนช่องเวลาที่จะใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีค่าเป็น 9 ช่องเวลาด้วยกัน

เมื่ออุปกรณ์มือถือได้รับกลุ่มข้อมูลตอบสนองที่มีหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์แล้ว อุปกรณ์มือถือจะเริ่มต้นขบวนการติดต่อกับมิเตอร์ตัวนั้น โดยการส่งหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ที่ต้องการติดต่อไปพร้อมกับกลุ่มข้อมูลบิตคอน เพื่อให้มิเตอร์แต่ละตัวรู้ว่าอุปกรณ์มือถือต้องการติดต่อกับมิเตอร์ตัวใด

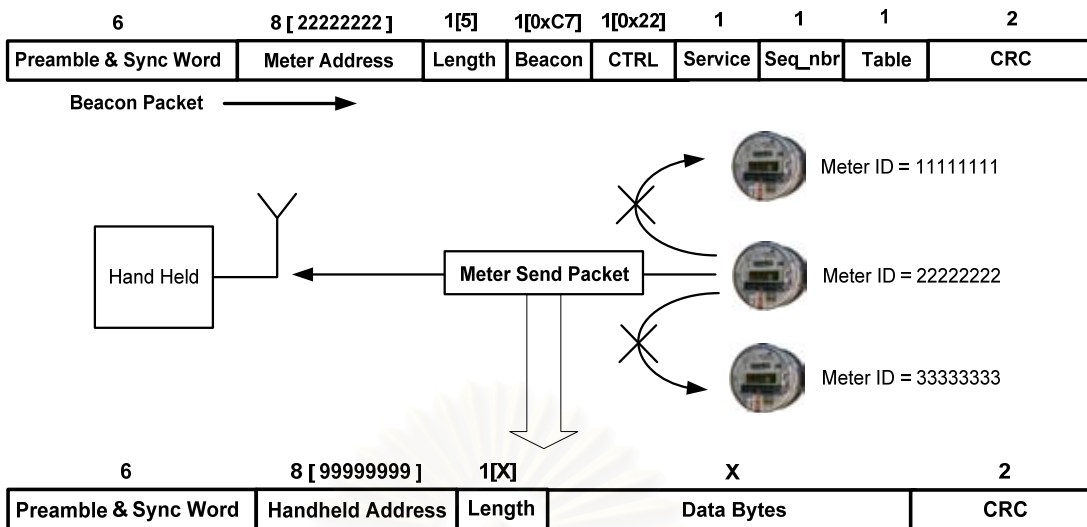
4.1.4 การติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัว

หลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์แล้ว จะเป็นกระบวนการที่ใช้ติดต่อกับมิเตอร์แต่ละตัวซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) กระบวนการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์

เมื่ออุปกรณ์มือถือต้องการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ จะส่งกลุ่มข้อมูลบิตคอนที่มีการระบุหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์ที่ต้องการติดต่อ ค่าของไบต์ควบคุมจะเป็น 0x22 โดยมิเตอร์จะทำงานตามที่อุปกรณ์มือถือร้องขอ โดยดูจาก ไบต์ Service, Seq_nbr และ Table ดังแสดงในรูปที่ 4.13

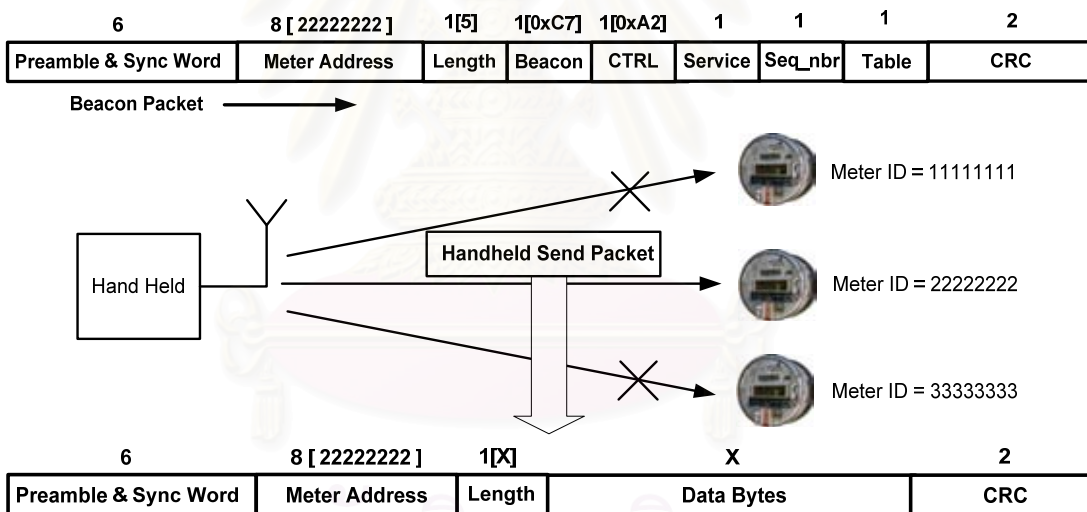
มิเตอร์ที่มีหมายเลขประจำตัวตรงกับหมายเลขที่กลุ่มข้อมูลบิตคอนส่งมาจะทำการส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนองกลับไปให้อุปกรณ์มือถือ ลักษณะข้อมูลที่จะส่งไปให้อุปกรณ์มือถือจะเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 กระบวนการนี้เปรียบเสมือนเป็นการสร้างช่องทางการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์มือถือกับมิเตอร์ตัวนั้นขึ้นมา จากรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงให้เห็นว่ามีเตอร์ที่มีหมายเลขประจำตัวเป็น 22222222 เท่านั้นที่ทำการตอบสนองกลุ่มข้อมูลบิตคอนที่อุปกรณ์มือถือส่งมา ในขณะที่มิเตอร์ตัวอื่นจะไม่ตอบสนองกลุ่มข้อมูลบิตคอนที่อุปกรณ์มือถือส่งมาให้ แต่จะทำการรักษาซิงโครไนซ์ไปเรื่อยๆ โดยการรับกลุ่มข้อมูลบิตคอนในทุก ๆ ความถี่ และจะทำการตอบสนองเมื่อกลุ่มข้อมูลบิตคอนมีการระบุหมายเลขประจำตัวตรงกับหมายเลขประจำมิเตอร์ หรือมีการระบุหมายเลขประจำตัวเป็นแบบแพร่กระจาย (Broadcast) เท่านั้น



รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์

2) กระบวนการในการส่งข้อมูลไปให้มิเตอร์

เมื่ออุปกรณ์มือถือต้องการส่งข้อมูลไปให้มิเตอร์ จะส่งกลุ่มข้อมูล บัคคอนที่มีการระบุหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์ที่ต้องการส่งข้อมูลไปให้ ค่าของไบต์ควบคุมจะเป็น 0xA2 ดังแสดงในรูปที่ 4.14

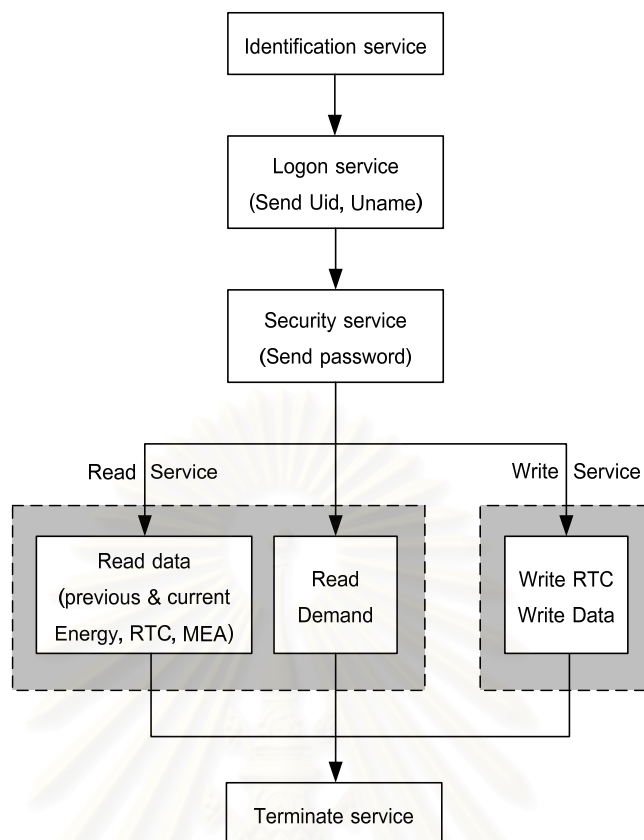


รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการส่งข้อมูลไปให้มิเตอร์

มิเตอร์ที่มีหมายเลขประจำตัวตรงกับหมายเลขที่กลุ่มข้อมูลบัคคอนส่งมาเท่านั้นที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์มือถือ เมื่อมิเตอร์รับค่ามาได้จะเขียนข้อมูลลงในตาราง แล้วจะส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนองกลับไปให้อุปกรณ์มือถือ

4.2 โพรโทคอลชั้นของการประยุกต์

การสื่อสารกับมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุในชั้นของการประยุกต์จะใช้ตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 โดยได้กล่าวรายละเอียดของแต่ละกระบวนการไปแล้ว ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.7 การติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละครั้งจะต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ขั้นตอนต่างๆ ของโพรโทคอลในชั้นการประยุกต์

แต่ละขั้นตอนของโพรโทคอลจะทำงานบนความถี่เดียวเท่านั้น ดังนั้นในการติดต่อกับมิเตอร์หนึ่งตัว จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนค่าความถี่อย่างน้อย 5 ความถี่ ถ้าขั้นตอนที่ทำบนความถี่ใดไม่ได้รับการตอบสนองจากมิเตอร์ไม่ว่าด้วยเหตุใดก็ตาม จะดำเนินการซ้ำในความถี่ถัดไปจนจบวนการดังกล่าวเสร็จสมบูรณ์

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการต่าง ๆ สำหรับติดต่อกับมิเตอร์แต่ละตัวดังในรูปที่ 4.15 อุปกรณ์มือถือจะเริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวอีกครั้งเพื่อสร้างช่องทางการสื่อสารกับมิเตอร์ตัวอื่น ๆ โดยจะทำขั้นตอนเหล่านี้วนไปเรื่อย ๆ จนอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ได้ครบทุกตัวที่อยู่ในบริเวณนั้น หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่ขั้นตอนใดก็ตามระหว่างกระบวนการสื่อสารกับมิเตอร์ซึ่งมากเกินกว่ามาตรฐานกำหนด อุปกรณ์มือถือจะไปที่กระบวนการสิ้นสุด (Terminate Service) โดยทันทีเพื่อยกเลิกการติดต่อกับมิเตอร์ สำหรับรายละเอียดของตารางข้อมูลแต่ละชุดในกระบวนการอ่านและเขียนนั้นสามารถอธิบายได้ในหัวข้อที่ 4.3

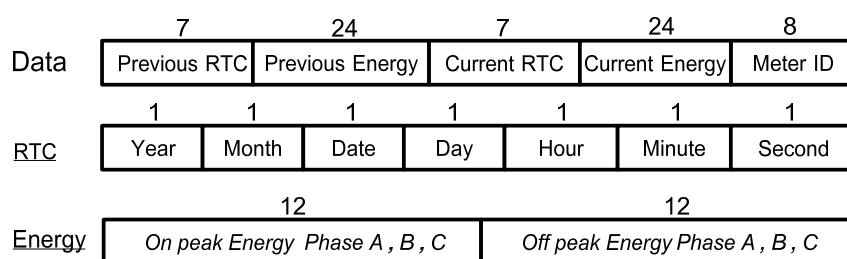
4.3 รายละเอียดของตารางข้อมูลต่างๆ ของกระบวนการอ่านและเขียน

รูปแบบของกลุ่มข้อมูลยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 ทั้งในส่วน of ขั้นตอนร้องขอและขั้นตอนตอบสนองโดยใช้รูปแบบการเขียนหรืออ่านแบบทั้งตาราง (Full Read / Write Method) รายละเอียดของหมายเลขตาราง (Table ID) และข้อมูลฟิลด์ต่างๆ ของแต่ละตารางข้อมูล (Table Data) มีดังนี้

4.3.1 ตารางข้อมูลของกระบวนการอ่าน

- 1) ตารางข้อมูลทั่วไป
 - หมายเลขตาราง เท่ากับ 1

- รายละเอียดของฟิลด์ต่างๆ มีดังนี้

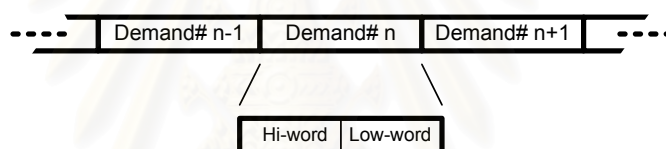


รูปที่ 4.16 รายละเอียดตารางข้อมูลของกระบวนการอ่านค่ามิเตอร์

- 2) ตารางข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟในแต่ละเดือน (Demand Data)

- หมายเลขตาราง เท่ากับ 2
- รายละเอียดของฟิลด์ต่างๆ มีดังนี้

ข้อมูลชุดนี้มีขนาดใหญ่ประมาณ 11 กิโลไบต์เพราะเป็นค่าพลังงานในรอบ 15 นาทีตลอดระยะเวลา 1 เดือน ของทั้งสามเฟส ดังนั้นจึงต้องใช้การส่งกลุ่มข้อมูลแบบหลายชุด (Multiple Packet) ข้อมูลของ แต่ละช่วง 15 นาทีมีขนาด 4 ไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 รายละเอียดตารางข้อมูลแสดงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในรอบ 15 นาที

4.3.2 ตารางข้อมูลของกระบวนการเขียน

- 1) ตารางตั้งค่าฐานเวลาให้กับมิเตอร์ การตั้งค่าฐานเวลาให้กับมิเตอร์สามารถทำได้โดยกระบวนการเขียนผ่านทางตารางข้อมูลนี้

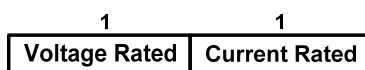
- หมายเลขตาราง เท่ากับ 3 โดยรายละเอียดของฟิลด์ต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 4.18 รายละเอียดตารางข้อมูลของกระบวนการตั้งฐานเวลาให้กับมิเตอร์

- 2) ตารางตั้งพิกัดกระแสและแรงดันให้กับมิเตอร์ การตั้งค่าพิกัดกระแสและแรงดันให้กับมิเตอร์สามารถทำได้โดยกระบวนการเขียนผ่านทางตารางข้อมูลนี้

- หมายเลขตาราง เท่ากับ 4 โดยรายละเอียดของฟิลด์ต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 4.19 รายละเอียดตารางข้อมูลของกระบวนการตั้งพิกัดกระแสและแรงดันให้กับมิเตอร์

4.4 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของไฟรโทคอลที่ตัวอุปกรณ์มือถือใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ โดยแบ่งได้เป็น ไฟรโทคอลในชั้นการสื่อสารข้อมูลที่ใช้สเปกตรัมแฉะชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ โดยมีการกล่าวถึงรูปแบบการสื่อสาร, ขบวนการซิงโครไนซ์ และกระบวนการติดต่อกับมิเตอร์แต่ละตัว ส่วนไฟรโทคอลในชั้นของการประยุกต์สำหรับการสื่อสารกับมิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุมีขั้นตอนและกระบวนการต่าง ๆ มาจากมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 ส่วนสุดท้ายของบทเป็นรายละเอียดของตารางข้อมูลต่างๆ ที่อยู่ในตัวมิเตอร์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

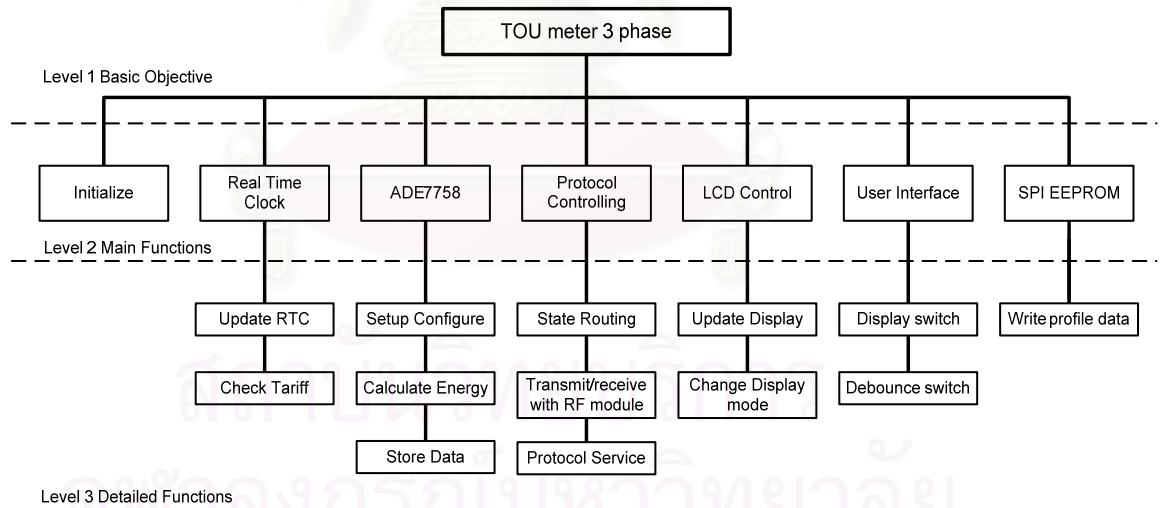
บทที่ 5

รายละเอียดด้านซอฟต์แวร์

5.1 หลักการและโครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของมิเตอร์ 3 เฟส

การทำงานของซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้การขัดจังหวะจากตัวตั้งเวลา เพื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่วงจรรวม ADE7758 คำนวณได้มาเก็บข้อมูลแบบสะสม เมื่อค่าที่สะสมมากกว่า 1 Whr โปรแกรมหลักจะเพิ่มค่าในตัวแปรพลังงานไฟฟ้า ตัวแปรดังกล่าวจะถูกนำมาใช้คำนวณ แสดงผล และบันทึกลงหน่วยความจำต่อไป ในกรณีที่แรงดันของระบบตกต่ำกว่าค่าที่กำหนดหรือว่าดับไปชั่วขณะ จะมีการขัดจังหวะเพื่อหยุดการทำงานของมิเตอร์และทำงานในโหมดประหยัดพลังงานแทน เมื่อแรงดันในระบบกลับเข้าสู่สภาวะปกติ จะสั่งให้มิเตอร์เริ่มทำงานและเข้าสู่การทำงานของโปรแกรมหลักต่อไป ส่วนสื่อสารกับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุจะใช้การขัดจังหวะของพอร์ตอนุกรมเพื่อรับกลุ่มข้อมูลจากมอดูลคลื่นวิทยุ และส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนองกลับ

โครงสร้างของซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแสดงรายละเอียดตามหน้าที่การทำงานได้ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ฟังก์ชันหลักจะประกอบไปด้วย ส่วนจัดการทางเวลา, ส่วนติดต่อกับวงจรรวม ADE7758, ส่วนควบคุมการทำงานของจอแสดงผลแอลซีดี, ส่วนติดต่อกับฮาร์ดแวร์, ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ผ่านทางสวิสช์ปุ่มกด และส่วนควบคุมการทำงานของโปรโตคอลสื่อสาร



รูปที่ 5.1 โครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของมิเตอร์ 3 เฟส

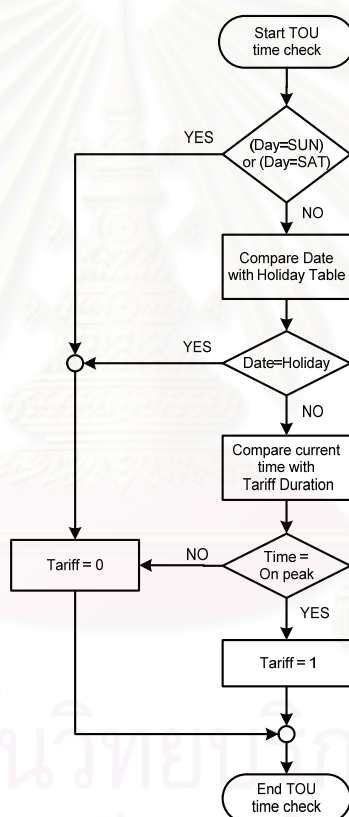
5.2 โปรแกรมจัดการทางเวลา

ทำหน้าที่ปรับค่าฐานเวลาจริงบนมิเตอร์โดยใช้ตัวตั้งเวลาชุดพื้นฐาน (Basic Timer) มีฐานเวลาจากคริสตอลค่า 32.768 kHz เพื่อสร้างสัญญาณขัดจังหวะทุก ๆ 1 วินาที โปรแกรมบริการขัดจังหวะของตัวตั้งเวลาชุดพื้นฐานนี้จะคอยทำหน้าที่ปรับค่าฐานเวลาใหม่ทุก ๆ ครั้งที่มีการขัดจังหวะ

โปรแกรมจัดการทางเวลายังมีหน้าที่ตรวจสอบช่วงเวลาปัจจุบันจากฐานเวลาจริง เพื่อปรับค่าตัวแปรควบคุมการบันทึกข้อมูล การตรวจสอบเวลาจะใช้กับการบันทึกข้อมูล 2 อย่าง คือ การบันทึกค่าพลังงานตามช่วงเวลาการใช้ และการบันทึกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที

การบันทึกค่าพลังงานตามช่วงเวลาการใช้ จะกำหนดช่วงเวลาที่ใช้บันทึกพลังงานให้สอดคล้องกับการไฟฟ้านครหลวง คือ ช่วงต้องการไฟสูง (On-peak) อยู่ระหว่างเวลา 9.00-22.00 น. และ ช่วงต้องการไฟต่ำ (Off-peak) อยู่ระหว่างเวลา 22.00-9.00 น. ช่วงต้องการไฟต่ำจะรวมวันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดราชการเข้าไปด้วย โดยมีการกำหนดตัวแปร Tariff สำหรับใช้แสดงว่าเวลาปัจจุบันอยู่ในช่วงเวลาใด

การตรวจสอบเวลาจะเริ่มจากการตรวจสอบว่าเป็นวันเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดราชการหรือไม่ ถ้าใช่จะตั้งค่าตัวแปร Tariff ให้เป็นช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำ ถ้าไม่ใช่จะเปรียบเทียบเวลาปัจจุบันกับตารางเวลาเพื่อหาว่าเวลาปัจจุบันอยู่ในช่วงเวลาใด แล้วปรับค่าของ Tariff ให้ตรงกับช่วงเวลาที่ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 5.2

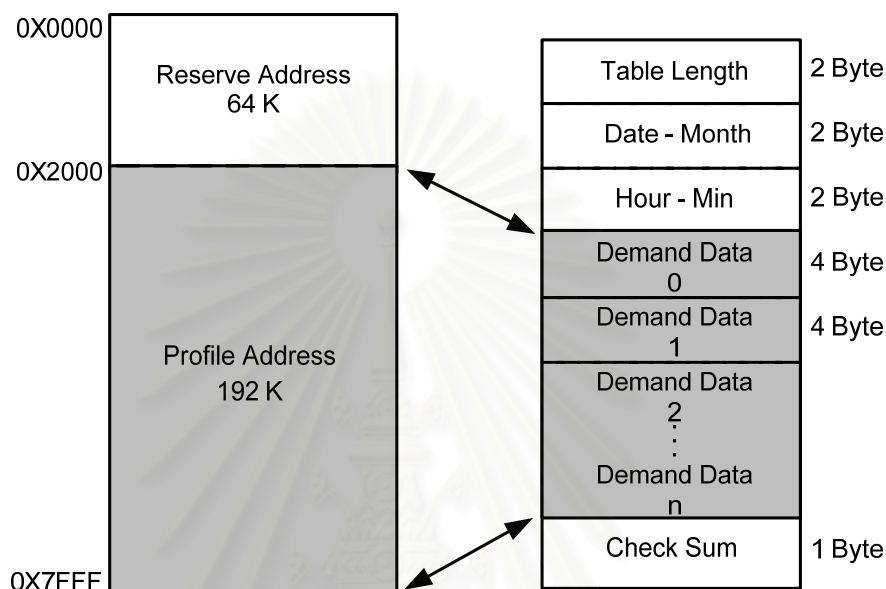


รูปที่ 5.2 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการตรวจสอบช่วงเวลาการใช้

5.3 โปรแกรมติดต่ออีอีพรอม

พื้นที่ในการเก็บข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาทีของทั้ง 3 เฟส จะใช้ขนาดในการเก็บข้อมูลครั้งละ 4 ไบต์ เริ่มตั้งแต่แอดเดรสที่ 0x2000 ถึง 0x7FFF ความยาวที่ใช้เก็บข้อมูลทั้งหมดจะมีค่า 192 K (24 กิโลไบต์) สามารถเก็บค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ได้ทั้งหมด 6,144 ค่า คิดเป็นระยะเวลาเก็บข้อมูลประมาณ 2 เดือนด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 (ซ้าย) การจัดการพื้นที่บนอีอีพรอมจะแบ่งเนื้อที่เป็น 2 ส่วน คือ 64 K แรก เป็นการจองไว้สำหรับเก็บค่าปฏิทินวันหยุดและบันทึกช่วงเวลาไฟตกในแต่ละ

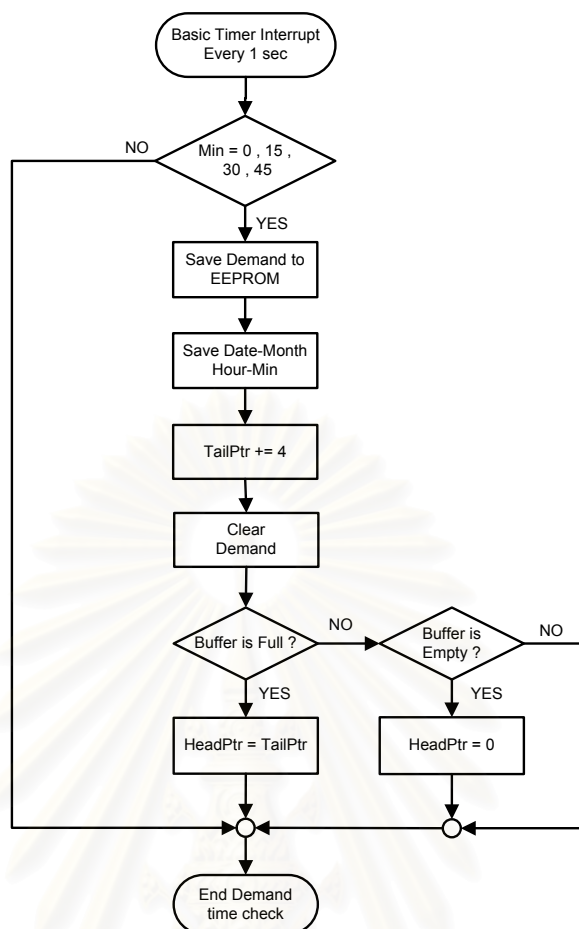
เฟส ส่วน 192 K ที่เหลือจะเก็บข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที จากรูปที่ 5.3 (ขวา) แสดงรูปแบบข้อมูลค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ที่จะถูกส่งไปให้กับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ ส่วนเริ่มต้นของกลุ่มข้อมูลเป็นค่าความยาวของข้อมูลมีขนาด 2 ไบต์ ส่วนต่อมาเป็นค่าวันเวลาของข้อมูลล่าสุดที่บันทึกลงในอีอีพรอม มีขนาดทั้งหมด 4 ไบต์ และส่วนข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที มีขนาด 4 ไบต์จะถูกนำมาต่อกันไปเรื่อย ๆ เริ่มตั้งแต่ค่าเริ่มต้นที่มีการบันทึกจนถึงค่าล่าสุดที่ได้ทำการบันทึก ในขณะที่ส่วนสุดท้ายจะเป็นค่าผลรวมตรวจสอบ (Checksum) สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลมีขนาด 1 ไบต์



รูปที่ 5.3 การแบ่งเนื้อที่ของอีอีพรอมและรูปแบบข้อมูลที่จะส่งไปให้อุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์

โปรแกรมการบันทึกข้อมูลลงในอีอีพรอมจะมีตัวแปรควบคุมอยู่ 2 ตัว คือ HeadPtr และ TailPtr ทำหน้าที่เป็นดัชนีชี้ตำแหน่งข้อมูลที่ถูกบันทึกในอีอีพรอม ณ ตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายตามลำดับ เมื่อมีการบันทึกข้อมูลในแต่ละครั้งโปรแกรมจะเพิ่มค่า TailPtr อีก 4 เนื่องจากในการเก็บข้อมูลจะใช้พื้นที่ขนาด 4 ไบต์ด้วยกัน

การตรวจสอบเวลาเพื่อบันทึกข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที จะเริ่มในขณะที่เกิดการขัดจังหวะทุก ๆ วินาทีของตัวตั้งเวลาพื้นฐาน ดังแสดงในรูปที่ 5.4 โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะตรวจสอบเวลาในขณะนั้นว่าตรงกับวินาทีแรกของนาที่ที่ 0, 15, 30 และ 45 หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะจบการตรวจสอบเวลา ถ้าใช่จะบันทึกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ลงบนอีอีพรอมในตำแหน่งที่ TailPtr ชี้อยู่ แล้วทำการปรับค่า Date-Month, Hour-Min ให้ตรงกับค่าเวลาที่ทำการบันทึก และปรับค่า TailPtr เพื่อชี้ตำแหน่งของการบันทึกครั้งต่อไป หลังจากนั้นจะทำการเคลียร์ค่าตัวแปร Demand ที่ใช้เก็บค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที เพื่อที่จะเริ่มบันทึกค่าใหม่ และทำการตรวจสอบพื้นที่ในอีอีพรอมว่าถูกใช้ไปหมดแล้วหรือยัง ถ้าพื้นที่ในอีอีพรอมถูกบันทึกข้อมูลหมดแล้วจะกำหนดให้ HeadPtr มีค่าเท่ากับ TailPtr เพื่อเริ่มต้นการบันทึกข้อมูลในตำแหน่งแอดเดรสแรกใหม่



รูปที่ 5.4 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการบันทึกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

5.4 โปรแกรมหาค่าพลังงานไฟฟ้าโดยติดต่อกับวงจรรวม ADE7758

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าของมิเตอร์ถูกจัดการโดยวงจรรวม ADE7758 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน้าที่รับค่าจากวงจรรวม ADE7758 มาคำนวณให้มีหน่วยเป็น Whr

การวัดพลังงานของวงจรรวม ADE7758 จำเป็นต้องมีการปรับเทียบค่าความแม่นยำการวัดพลังงานไฟฟ้าก่อนการใช้งาน โดยการปรับค่ารีจิสเตอร์ภายในของวงจรรวม ADE7758 ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเก็บค่ารีจิสเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้มีการปรับเทียบไว้แล้วจำนวน 3 ชุดด้วยกัน คือ ค่ารีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับพิกัดกระแส 100 แอมแปร์, 50 แอมแปร์ และ 25 แอมแปร์ ตามลำดับ โดยรีจิสเตอร์ทั้งหมดจะถูกเก็บไว้เป็นตารางในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากมีการใช้มิเตอร์กับพิกัดกระแสใด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านค่าในตารางพิกัดกระแสนั้น ๆ แล้วนำไปตั้งค่าให้กับวงจรรวม ADE7758 ต่อไป

5.4.1 ส่วนการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

การคำนวณค่าพลังงานจะทำเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกขัดจังหวะจากตัวตั้งเวลาเอ (Timer A) โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะติดต่อกับวงจรรวม ADE7758 เพื่อเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในรีจิสเตอร์ภายในของวงจรรวม ADE7758 ที่ใช้สะสมพลังงานแอกทีฟ (xWATTHR), พลังงานรี-แอกทีฟ (xVARHR) และพลังงานปรากฏ (xVAHR) ทั้ง 3 เฟส โดยรีจิสเตอร์แต่ละตัวจะสามารถเก็บค่าพลังงานก่อนที่จะเกิดการล้นของข้อมูล (Over Flow) ภายในเวลา 0.52 วินาที (รีจิสเตอร์มีขนาด 16 บิต แบบคิดเครื่องหมาย) ดังนั้นในการ

เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด จากวงจรรวม ADE7758 จึงทำทุก 200 มิลลิวินาที เมื่อเก็บค่าพลังงานที่วัดมาได้ จะทำการบวกสะสมในตัวแปรที่ทำหน้าที่เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าเฟสต่าง ๆ และนำค่าตัวแปรที่บวกสะสมนี้ไป เทียบกับค่าคงที่ของพลังงานไฟฟ้าสะสมที่มีค่าเท่ากับ 1 Whr ที่ยังไม่ได้แปลงหน่วย ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดย ค่าคงที่สามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อมีการจ่ายกระแส I_{TEST} และ แรงดัน V_{TEST} รีจิสเตอร์ใช้สะสมพลังงานแอกทีฟ (xWATTHR) ของวงจรรวม ADE7758 จะมีค่าพลังงานต่อหน่วย (Whr/LSB) เท่ากับค่าพลังงานแอกทีฟที่วัดได้จริงหาร ด้วยค่าที่อยู่ในรีจิสเตอร์ ดังแสดงในสมการที่ 5.1

$$\frac{\text{Whr}}{\text{LSB}} = \frac{\text{Whr - measurement}}{\text{Whr - in register WATTHR}} = \frac{I_{TEST} \times V_{TEST} \times \text{AccumTime}}{3600 \times \text{xWATTHR}} \quad \text{สมการที่ 5.1}$$

AccumTime คือช่วงเวลา ที่ วงจรรวม ADE7758 ทำการวัดพลังงาน มีค่าเป็น

$$\text{AccumTime} = \frac{\text{LINECYC}[15:0]}{2 \times \text{Line Frequency} \times \text{No. of Phase Selected}} \quad \text{สมการที่ 5.2}$$

ค่าพลังงานแอกทีฟที่วัดได้จริงมีค่าเป็น

$$\text{Whr - measurement} = \frac{I_{TEST} \times V_{TEST}}{3600} \quad \text{สมการที่ 5.3}$$

จากโครงสร้างการหาค่าพลังงานแอกทีฟของวงจรรวม ADE7758 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สามารถหาค่าที่เก็บใน รีจิสเตอร์ xWATTHR เมื่อใช้เวลา AccumTime ได้ดังสมการที่ 5.4

$$\text{xWATTHR}[15:0] = \frac{4 \times \text{MC} \times I_{TEST} \times V_{TEST}}{1000 \times 3600} \times \frac{\text{AccumTime} \times \text{WDIV}[7:0]}{\text{xWG}[11:0]} \times 2^{12} \quad \text{สมการที่ 5.4}$$

MC คือค่าอัตราการกระพริบพัลส์แสงของมิเตอร์ ในวิทยานิพนธ์ กำหนดไว้ที่ 1000 Impulse / kWhr ดังนั้นค่า พลังงานแอกทีฟสะสมที่มีค่าเท่ากับ 1 Whr ณ.เฟสใด ๆ หาได้จากการนำค่าในสมการที่ 5.4 ไปแทนในสมการที่ 5.1 จะได้เป็น

$$\text{xWATTHR}[1 \text{ Whr}] = \frac{\text{LSB}}{\text{Whr}} = \frac{4 \times \text{MC} \times \text{WDIV}[7:0] \times 2^{12}}{1000 \times \text{xWG}[11:0]} \quad \text{สมการที่ 5.5}$$

การหาค่าพลังงานรีแอกทีฟสะสม 1 VARhr และ ค่าพลังงานปรากฏสะสม 1 VAhr จะมีการคำนวณใน ลักษณะเดียวกัน จากโครงสร้างการหาค่าพลังงานรีแอกทีฟและพลังงานปรากฏดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 สามารถหาค่าคงที่ของพลังงานสะสมทั้ง 2 ได้ดังนี้

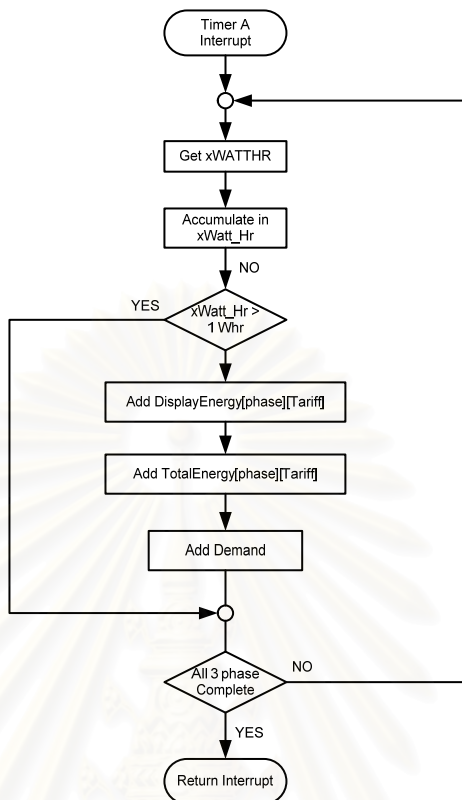
$$\text{xVARHR}[1 \text{ VARhr}] = \frac{4 \times \text{MC} \times \text{VARDIV}[7:0] \times 2^{12}}{1000 \times \text{xVARG}[11:0]} \quad \text{สมการที่ 5.6}$$

$$\text{xVAHR}[1 \text{ VAhr}] = \frac{4 \times \text{MC} \times \text{VADIV}[7:0] \times 2^{12}}{1000 \times \text{xVAG}[11:0]} \quad \text{สมการที่ 5.7}$$

ในกรณีที่ค่าพลังงานสะสมมีค่ามากกว่าค่าคงที่ 1 Whr โปรแกรมจะทำการเพิ่มค่าในตัวแปรต่าง ๆ ต่อไปนี้

- DisplayEnergy[PHASE][TARIFF] เป็นตัวแปรลำดับแถว 2 มิติ ขนาด 32 บิต ที่ใช้เก็บค่าบวก สะสมของพลังงานแอกทีฟในหน่วย Whr ในแต่ละเฟส โดยมิติที่ใช้ข้างตัวแปรนี้คือเฟสของ สัญญาณ และ ช่วงเวลาที่ใช้ในขณะนั้น
- TotalEnergy[TARIFF] เป็นตัวแปรลำดับแถว 1 มิติ ขนาด 32 บิต ใช้เก็บค่าบวกสะสมของ พลังงานแอกทีฟในหน่วย Whr ของทั้งสามเฟส มิติที่ใช้ข้างตัวแปรนี้คือช่วงเวลาที่ใช้ในขณะนั้น

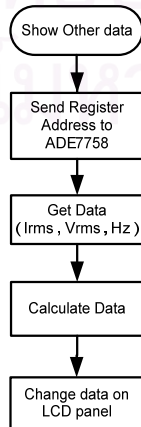
- Demand เป็นตัวแปรขนาด 32 บิต ใช้สำหรับบันทึกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที



รูปที่ 5.5 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการคำนวณค่าพลังงานแยกทีฟ

การคำนวณค่าพลังงานรีแยกทีฟ และพลังงานปรากฏจะใช้หลักการเดียวกันแต่เปลี่ยนตัวแปรที่ใช้ในการเก็บค่าเป็น DisplayVar[PHASE][TARIFF], TotalVar[TARIFF] และ DisplayVA[PHASE][TARIFF], TotalVA[TARIFF] ตามลำดับ

สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่จำเป็นในการแสดงผล (ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันและกระแส, ค่าความถี่ของระบบ และ ค่าตัวประกอบกำลัง) สามารถคำนวณหาค่าต่างเหล่านี้ได้โดยการติดต่อกับวงจรรวม ADE7758 เพื่อที่จะให้วงจรรวม ADE7758 นำค่าต่าง ๆ เหล่านี้มาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เปลี่ยนหน่วยให้มีค่าที่ถูกต้อง และนำไปแสดงผลต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยการคำนวณค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ

ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันและกระแส ถูกเก็บในรีจิสเตอร์ขนาด 24 บิต ของวงจรรวม ADE7758 (xVRMS, xIRMS) ค่าเต็มสเกลเมื่ออินพุตกระแสของวงจรรวม ADE7758 เป็น 0.5 โวลต์จะทำให้ รีจิสเตอร์ xIRMS มีค่าเป็น 1D3781h (1,914,753d) จากหัวข้อที่ 3.3.3 ค่ากระแสสูงสุด (100 แอมแปร์) คิดเป็น 60 % ของแรงดันเต็มสเกล ทำให้ค่าในรีจิสเตอร์ xIRMS มีค่า 1,148,852 ดังนั้นการคำนวณค่าหารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสในหน่วยแอมแปร์จากค่า รีจิสเตอร์ xIRMS สามารถทำได้ดังแสดงในสมการที่ 5.8

$$I_{RMS} = \frac{xIRMS}{11,488} \quad (\text{แอมแปร์}) \quad \text{สมการที่ 5.8}$$

ในขณะที่เมื่ออินพุตแรงดันของวงจรรวม ADE7758 เป็น 0.5 โวลต์จะทำให้รีจิสเตอร์ xVRMS มีค่าเป็น 193504h (1,651,972d) จากหัวข้อที่ 3.3.2 ค่าพิคตกระแสสูงสุด (220 โวลต์) คิดเป็น 65 % ของ แรงดันเต็มสเกล ทำให้ค่าในรีจิสเตอร์ xVRMS มีค่า 1,073,782 ดังนั้นการคำนวณค่าหารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสในหน่วยโวลต์จากค่า รีจิสเตอร์ xVRMS สามารถทำได้ดังแสดงในสมการที่ 5.9

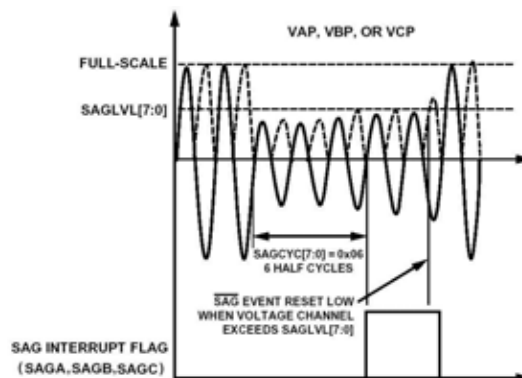
$$V_{RMS} = \frac{xVRMS}{4,881} \quad (\text{โวลต์}) \quad \text{สมการที่ 5.9}$$

ค่าตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟสสามารถหาได้จากการนำค่ากำลังแอกทีฟหารด้วยค่ากำลังปรากฏ เนื่องจากค่าพลังงานที่เก็บมาจากวงจรรวม ADE7758 ถูกบันทึกในช่วงเวลาพร้อมกัน ดังนั้นค่าพลังงานที่ถูกสะสมจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังจึงสามารถหาได้จาก $\frac{xWATTHR}{xVAHR}$ โดยสามารถดูเครื่องหมายของค่าตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟส จากค่าเครื่องหมายของรีจิสเตอร์ xVARHR ได้โดยตรง

ค่าความถี่ของระบบถูกเก็บในรีจิสเตอร์ FREQ[11:0] ขนาด 12 บิต ค่าบิตนัยสำคัญน้อยสุด (LSB) ของรีจิสเตอร์ถูกกำหนดให้มีค่าแทนเวลา 38.4 ไมโครวินาทีเมื่อใช้กับสัญญาณนาฬิกาขนาด 10 MHz ดังนั้นหากสัญญาณแรงดันในระบบมีค่าความถี่เป็น 50 Hz จะทำให้ค่าบิตนัยสำคัญน้อยสุดของรีจิสเตอร์ FREQ มีค่าเป็น 0.192 % ของความถี่ในระบบ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าความถี่ของระบบได้จาก $0.096 \times \text{FREQ}[11:0]$

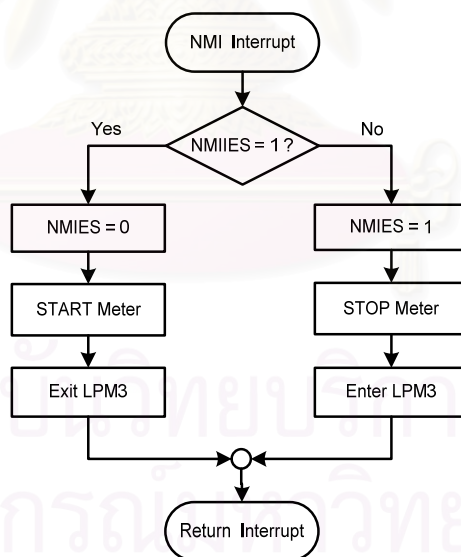
5.4.2 โปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟตก

โปรแกรมขัดจังหวะเมื่อไฟตกหรือไฟดับ จะใช้การขัดจังหวะจากวงจรรวม ADE7758 ในการตรวจสอบไฟตกหรือไฟดับ การขัดจังหวะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณแรงดันของเฟสใดเฟสหนึ่ง มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดในรีจิสเตอร์ SAGLV[7:0] นานเกินกว่าค่า SAGCYCLE[7:0] ในวิทยานิพนธ์กำหนดค่า SAGCYCLE ไว้ที่ 3 รอบ ลูกคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 5.7 โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะหาสาเหตุของการขัดจังหวะ โดยตรวจสอบเฟสที่ไฟตกจากแฟล็กแสดงการเกิดไฟตก SAGA, SAGB และ SAGC ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าวันเวลา และเฟสที่ไฟตกไว้ในส่วน 64K แรกของอีอีพรอม โดยหลักการบันทึกค่าจะเหมือนกับการเก็บค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.3



รูปที่ 5.7 ขบวนการขจัดจังหวะของวงจรรวม ADE7758 ที่เกิดจากการตรวจสอบไฟตก

ในกรณีที่ไฟดับทั้ง 3 เฟส จะทำให้ส่วนจ่ายไฟของมิเตอร์ไม่สามารถทำงานได้ แต่สัญญาณขจัดจังหวะ NMI จะทำงาน โปรแกรมบริการขจัดจังหวะจะตรวจสอบว่า ขอบสัญญาณที่ทำให้เกิดการขจัดจังหวะเป็นขอบขาขึ้นหรือขอบขาลง (ดูได้จาก รีจิสเตอร์ WDTNMIIES) ถ้าเป็นขอบขาลงแสดงว่าไฟเลี้ยงเริ่มดับ จะหยุดการทำงานของมิเตอร์ (หยุดตัวตั้งเวลาและปิดการทำงานของจอแสดงผลแอลซีดี) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเข้าสู่สถานะประหยัดพลังงานโหมด 3 (Low Power Mode 3) ซึ่งอนุญาตให้ ACLK เท่านั้นที่ทำงานเพื่อรักษาฐานเวลาจริงของมิเตอร์ในขณะที่ไฟดับ โดยใช้ไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่สำรองที่ต่อกับมิเตอร์แทน ในกรณีที่ขอบสัญญาณการขจัดจังหวะ NMI เป็นขอบขาขึ้น แสดงว่าส่วนวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับมิเตอร์เริ่มกลับมาทำงานปกติ โปรแกรมจะสั่งให้มิเตอร์เริ่มทำงาน (เริ่มต้นตัวตั้งเวลาและเปิดการทำงานของจอแสดงผลแอลซีดี) และจะออกจากการทำงานในสถานะประหยัดพลังงานโหมด 3 เพื่อเข้าสู่การทำงานในโหมดปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อยบริการขจัดจังหวะเมื่อไฟในระบบดับทั้ง 3 เฟส

5.4.3 ส่วนการแสดงผลและกำหนดการแสดงผล

โปรแกรมย่อยการแสดงผลเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการแสดงผลการวัดทางจอแสดงผลแอลซีดี โดยเริ่มจากการลบข้อมูลการแสดงผลก่อนหน้าออกเพื่อเป็นการเตรียมพื้นที่ว่างให้กับโปรแกรมย่อยของการแสดงผลเฉพาะอย่าง จากนั้นจึงตรวจสอบค่าตัวแปร DisplayMode เป็นตัวกำหนดว่าต้องแสดงผลค่าอะไรบนจอแอลซีดี แล้วจึงเรียกโปรแกรมย่อยการแสดงผลเฉพาะอย่างตามที่ค่า DisplayMode กำหนดไว้

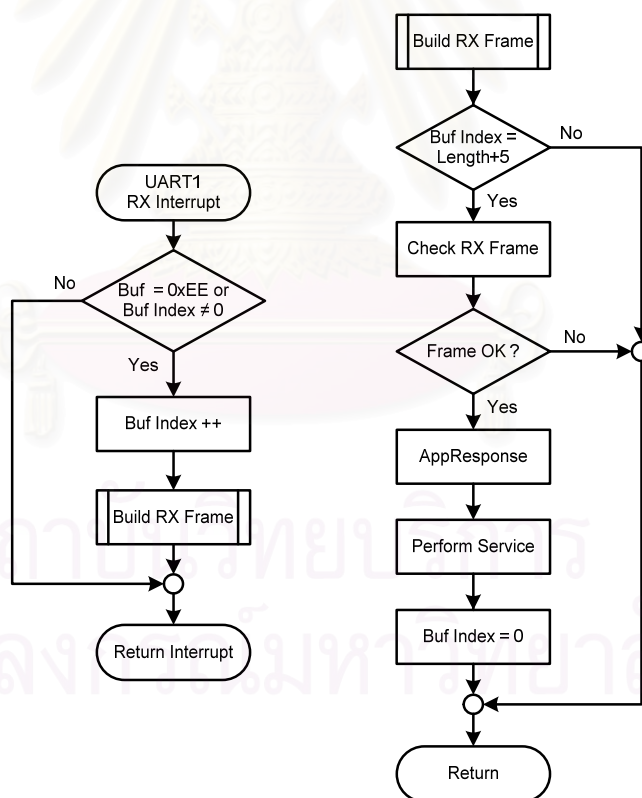
โปรแกรมย่อยของการแสดงผลเฉพาะอย่างมีด้วยกัน 8 โปรแกรมดังนี้

- การแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละเฟสในแต่ละช่วงเวลา
- การแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้ารวมทั้ง 3 เฟส ในแต่ละช่วงเวลา
- การแสดงผลค่ารอกำลังสองเฉลี่ยของกระแสและแรงดัน ในแต่ละเฟส
- การแสดงผลค่าตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟส
- การแสดงผลความถี่ของระบบ
- การแสดงผลวันและเวลาปัจจุบัน

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ทำการแสดงจะสามารถเลือกได้ว่าเป็นพลังงานแอกทีฟ, พลังงานรี-แอกทีฟ หรือ พลังงานปรากฏ

5.5 โปรแกรมติดต่อกับมอดูลคลื่นวิทยุผ่านพอร์ตอนุกรม

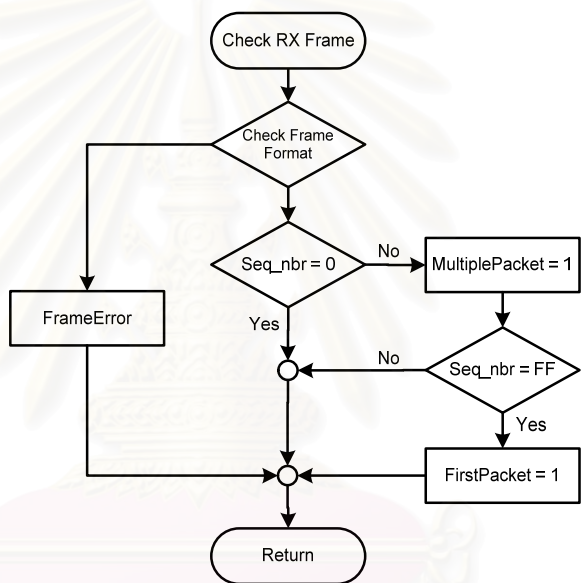
การสื่อสารกับมอดูลคลื่นวิทยุเพื่ออ่านค่ามิเตอร์จะทำงานเมื่อมอดูลคลื่นวิทยุรับกลุ่มข้อมูลจากอุปกรณ์มือถือเสร็จสมบูรณ์แล้วส่งค่ามาให้กับมิเตอร์ โดยจะมีการขัดจังหวะจากพอร์ตอนุกรมหมายเลข 0 เพื่อให้มิเตอร์อ่านและเขียนตารางตามที่ได้รับคำสั่งจากอุปกรณ์มือถือ



รูปที่ 5.9 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมตรวจสอบการสื่อสาร

การทำงานของโปรแกรมบริการขัดจังหวะ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ขั้นตอนแรกจะตรวจสอบค่าที่รับมาว่าใช่ไบต์เริ่มต้นของกลุ่มข้อมูล (0xEE) หรือไม่ ถ้าใช่จะเข้าสู่สถานะการรับข้อมูล โดยเพิ่มค่าดัชนีบัพเฟอร์ (Buf Index) ในทุกไบต์ที่เข้ามาและตรวจสอบกลุ่มข้อมูลที่รับมาว่าครบแล้วหรือยัง ดูได้จากค่าความยาวของกลุ่ม

ข้อมูล + ส่วนหัวของกลุ่มข้อมูล (Data Length + Header) หลังจากนั้นจะตรวจสอบรูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่รับมาว่าถูกต้องหรือไม่ หากเกิดความผิดพลาดจะถือว่ากลุ่มข้อมูลที่รับมาไม่ถูกต้องโปรแกรมจะไม่ประมวลผลกลุ่มข้อมูลนั้น ถ้ากลุ่มข้อมูลที่รับมาถูกต้องจะตรวจสอบว่ากลุ่มข้อมูลที่ถูกส่งมานี้ เป็นการส่งกลุ่มข้อมูลชนิดใดระหว่างส่งกลุ่มข้อมูลเดี่ยว (Single Packet) หรือส่งแบบหลายกลุ่มข้อมูล (Multiple Packet) ในกรณีที่เป็นการส่งแบบหลายกลุ่มข้อมูลจะทำการตรวจสอบอีกว่า เป็นกลุ่มข้อมูลแรกหรือไม่ เพื่อไว้ใช้ในการรับส่วนที่เหลือของกลุ่มข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.10 เมื่อเสร็จแล้วจะเข้าสู่โปรแกรมย่อย AppResponse เพื่อประมวลผลกลุ่มข้อมูล และสร้างกลุ่มข้อมูลตอบสนองลงในบัพเฟอร์ แล้วส่งให้พอร์ตอนุกรมส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนองออกไปให้กับมอดูลคลื่นวิทยุเพื่อทำการส่งค่าให้กับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ต่อไป หลังจากนั้นจะเข้าสู่โปรแกรมย่อย Perform Service เพื่อที่จะทำการเปลี่ยนสถานะให้สอดคล้องกับมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 ขั้นตอนสุดท้ายจะเคลียร์ค่าดัชนีบัพเฟอร์เพื่อรอรับกลุ่มข้อมูลถัดไปที่มอดูลคลื่นวิทยุส่งมา

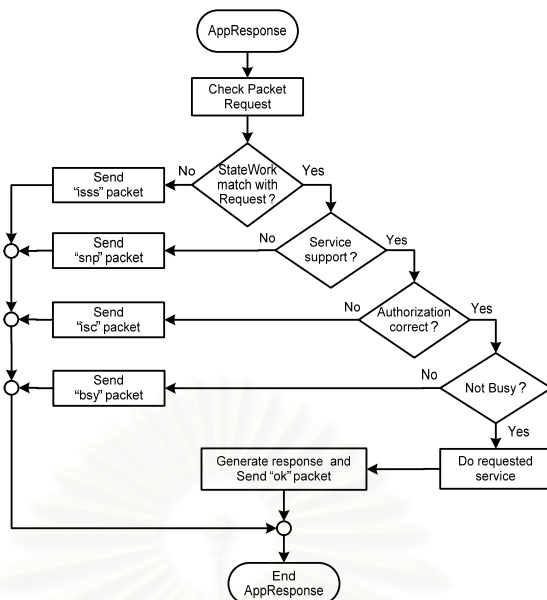


รูปที่ 5.10 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมตรวจสอบกลุ่มข้อมูลในการสื่อสาร

จากโปรแกรมตรวจสอบการสื่อสารจะพบว่ามีโปรแกรมย่อยที่ใช้ประมวลผลกลุ่มข้อมูลที่สำคัญคือโปรแกรมย่อย AppResponse และโปรแกรมย่อย Perform Service แต่ละโปรแกรมย่อยมีการทำงานดังต่อไปนี้

โปรแกรมย่อย AppResponse

โปรแกรมย่อย AppResponse มีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 5.11 ขั้นตอนแรกจะตรวจสอบการร้องขอของกลุ่มข้อมูลที่ส่งมา และตรวจสอบว่าการร้องขอนั้นเหมาะสมกับสถานะลำดับของกระบวนการหรือไม่, มิเตอร์สนับสนุนกระบวนการที่ร้องขอหรือไม่, ระดับลิตธิที่ใช้สามารถใช่กระบวนการที่ร้องขอได้หรือไม่ หรือ มิเตอร์กำลังดำเนินกระบวนการนี้อยู่อย่างเดี่ยวหรือไม่ ถ้าไม่โปรแกรมจะสร้างกลุ่มข้อมูลตอบสนอง isss, snp, isc หรือ bsy ตามลำดับและไม่ดำเนินกระบวนการตามที่ร้องขอ หากกระบวนการที่ร้องขอสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้ง 4 ข้างต้นโปรแกรมจะดำเนินการตามที่ร้องขอและสร้างกลุ่มข้อมูลตอบสนอง ok พร้อมกับส่งข้อมูลที่อุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ต้องการลงในบัพเฟอร์เพื่อรอการส่งต่อไป

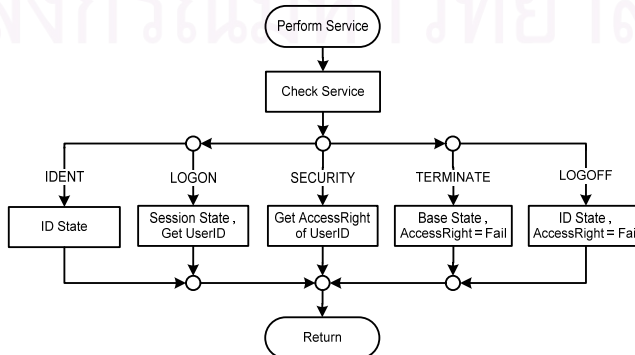


รูปที่ 5.11 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อย AppResponse

โปรแกรมย่อย Perform Service

โปรแกรมย่อย Perform Service ทำหน้าที่เปลี่ยนสถานะการทำงานของมิเตอร์ในขณะนั้นให้สอดคล้องกับกระบวนการที่อุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ส่งมาตามมาตรฐาน ANSI C12.18-1996 ดังแสดงในรูปที่ 5.12 เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรมย่อยนี้จะตรวจสอบการร้องขอของอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ แล้วทำตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้นตามกระบวนการร้องขอนั้น ๆ โดยแบ่งเป็นการร้องขอได้ 5 ประเภทด้วยกันคือ

- IDENT จะเปลี่ยนสถานะการสื่อสารให้เป็นสถานะไอดี (ID State)
- LOGON จะเปลี่ยนสถานะการสื่อสารให้เป็นสถานะสื่อสารข้อมูล (Session State) และเก็บค่าหมายเลขประจำตัวของผู้ใช้ (UserID) เพื่อนำไปใช้ในการหารหัสลับของผู้ใช้ต่อไป
- SECURITY จะมีการกำหนดค่าการเข้าถึงมิเตอร์ (Permission) ของผู้ใช้ และเก็บค่าการเข้าถึงไว้ในตัวแปร AccessRight
- TERMINATE จะเปลี่ยนสถานะการสื่อสารให้เป็นสถานะพื้นฐาน (Base State) และกำหนดค่า AccessRight ไม่ให้สามารถเข้าถึงมิเตอร์ได้
- LOGOFF จะเปลี่ยนสถานะการสื่อสารให้เป็นสถานะไอดี (ID State) และกำหนดค่า AccessRight ไม่ให้สามารถเข้าถึงมิเตอร์ได้

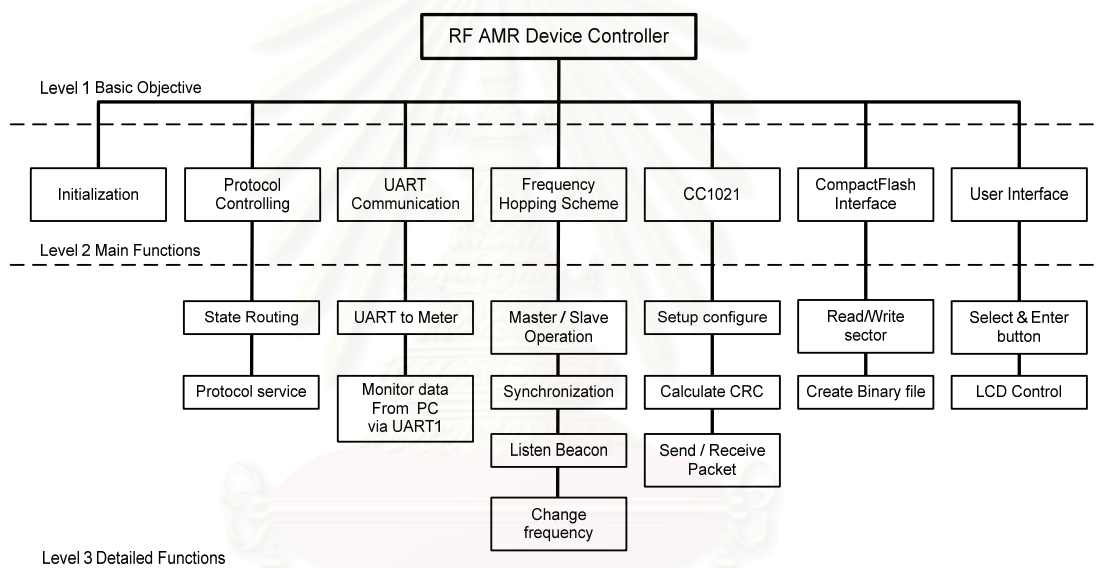


รูปที่ 5.12 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมย่อย Perform Service

5.6 หลักการและโครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์ AMR

ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์บนอุปกรณ์มือถือและมอดูลดเคลื่อนที่วิทยุจะใช้โปรแกรมเดียวกัน แต่กำหนดได้ว่าจะให้โปรแกรมทำงานในโหมดมาสเตอร์ (อุปกรณ์มือถือ) หรือ สเลฟ (มอดูลดเคลื่อนที่วิทยุ) โดยตัวแปร isMaster เป็นตัวกำหนดการทำงาน เมื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมหลักจะตรวจสอบค่า isMaster ว่าเป็นการทำงานในโหมดใด ถ้าเป็นอุปกรณ์มือถือจะทำการส่งกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นและทำงานตามโพรโทคอลตามที่กำหนด ในส่วนของมอดูลดเคลื่อนที่วิทยุจะทำการรับกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นแล้วจึงทำงานตามโพรโทคอลเช่นเดียวกัน

โครงสร้างของซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแสดงรายละเอียดตามหน้าที่การทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 5.13 ฟังก์ชันหลัก ๆ จะประกอบไปด้วย ส่วนติดต่อกับวงจรรวม CC1021, ส่วนควบคุมการทำงานพอร์ตอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก, ส่วนควบคุมการทำงานของสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่, ส่วนติดต่อกับคอมแพคแฟลช, ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และส่วนควบคุมการทำงานของโพรโทคอลสื่อสาร



รูปที่ 5.13 โครงสร้างซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์ AMR

5.7 โปรแกรมติดต่อกับวงจรรวม CC1021

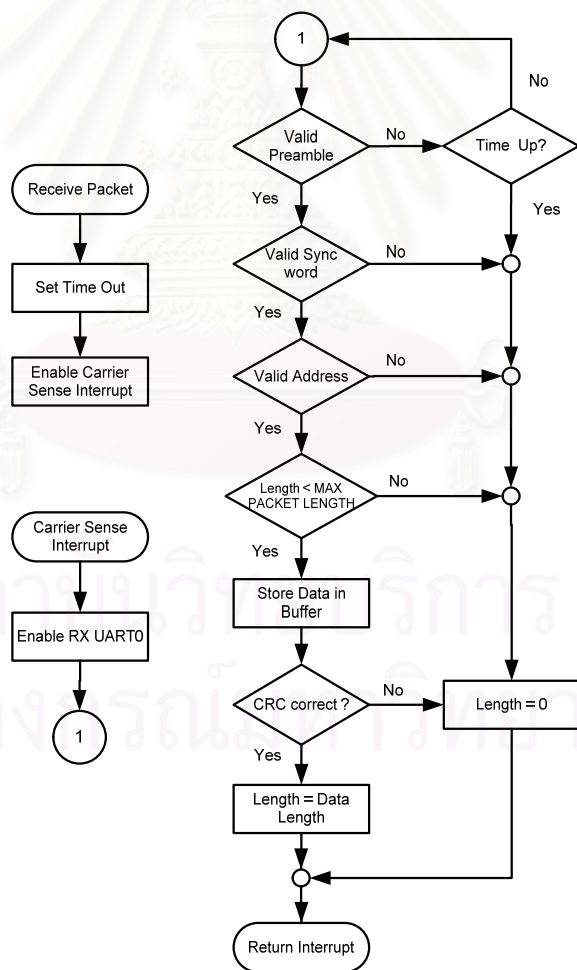
การติดต่อกับวงจรรวม CC1021 จะใช้พอร์ตอนุกรมหมายเลข 0 ในการตั้งค่ารีจิสเตอร์ภายในและรับส่งกลุ่มข้อมูล เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MSP430F148 ใช้พอร์ตอนุกรมหมายเลข 0 ร่วมกันระหว่าง UART0 และ SPI0 ดังนั้นจึงมีการสลับใช้งานระหว่าง SPI0 และ UART0 และต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบการสื่อสารให้ตรงกับที่ต้องการ โดยแบ่งการใช้งานได้ดังนี้ คือ

- UART0 ใช้สำหรับรับส่งกลุ่มข้อมูล ที่จะถูกสื่อสารไปกับคลื่นวิทยุ
- SPI0 ใช้สำหรับโปรแกรมค่ารีจิสเตอร์ภายในของวงจรรวม CC1021

5.7.1 โปรแกรมบริการขัดจังหวะเมื่อมีการรับข้อมูลทางคลื่นวิทยุ

เมื่อโปรแกรมหลักต้องการจะรับข้อมูลทางคลื่นวิทยุ จะมีการกำหนดเวลาเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูลให้กับตัวตั้งเวลาบี (Timer B) แล้วทำการรีนาเบิ้ลการขัดจังหวะจากวงจรรวม CC1021 โดยการขัดจังหวะจะเกิดเมื่อวงจรรวม CC1021 สามารถรับสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีความแรงมากกว่าค่า Carries Sense ที่ได้ทำตั้งค่าไว้

โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะรีนาเบิ้ลภาครับของพอร์ตนุกรมหมายเลข 0 ดังแสดงในรูปที่ 5.14 เพื่อรับกลุ่มข้อมูลจากสัญญาณคลื่นวิทยุที่เข้ามา แล้วตรวจสอบรูปแบบของกลุ่มข้อมูลโดยเริ่มจากตรวจหาค่า preamble และ sync word ที่ใช้ในการรับรู้จุดเริ่มต้นของกลุ่มข้อมูล จากนั้นจะตรวจสอบแอดเดรสที่ถูกส่งมาว่าตรงกับหมายเลขประจำตัวของตัวเอง หรือ หมายเลขประจำตัวการแพร่กระจายหรือไม่ แล้วจึงตรวจสอบว่าความยาวของกลุ่มข้อมูลมีค่ามากกว่าความยาวสูงสุดที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นจึงทำการรับข้อมูลทั้งหมดพร้อมกับคำนวณค่า ซีอาร์ซี ไปพร้อมกัน ถ้ากระบวนการใดกระบวนการหนึ่งเกิดข้อผิดพลาดหรือหมดเวลาเฝ้ารอกกลุ่มข้อมูล (Time Up) ก่อนที่จะสามารถหาค่า preamble เจอจะถือว่าประสบความสำเร็จล้มเหลวในการรับข้อมูล และจะคืนค่าตัวแปรความยาวของกลุ่มข้อมูล Length เป็น 0 แสดงถึงการรับข้อมูลที่ล้มเหลว แต่ถ้าสามารถรับกลุ่มข้อมูลได้ถูกต้องจะมีการคืนค่าตัวแปร Length เป็นค่าความยาวของกลุ่มข้อมูลที่ทำการส่งมา เพื่อให้โปรแกรมหลักรู้ว่าการรับข้อมูลประสบความสำเร็จ และนำค่าความยาวของกลุ่มข้อมูลไปพิจารณาต่อไปได้



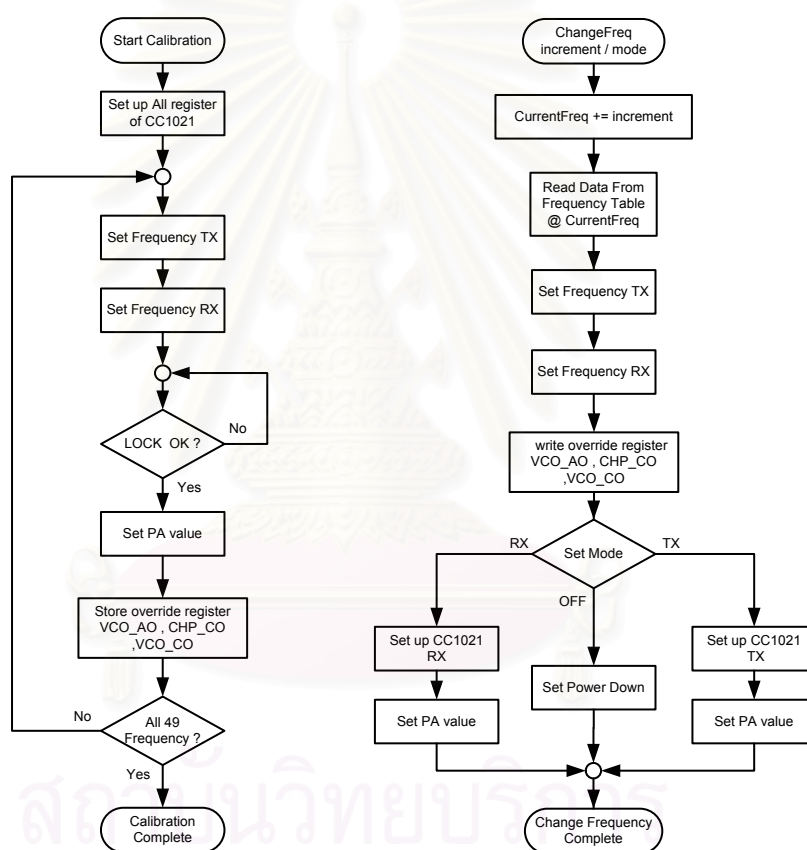
รูปที่ 5.14 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมรับข้อมูลทางคลื่นวิทยุ

5.7.2 การเปลี่ยนความถี่

ก่อนเริ่มต้นการทำงานของวงจรรวม CC1021 จำเป็นต้องมีการปรับเทียบความถี่ทุกความถี่ที่ใช้ในระบบดังแสดงในรูปที่ 5.15 (ซ้าย) การปรับเทียบในแต่ละความถี่จะต้องรอจนกระทั่งวงจรรวม CC1021 สามารถล็อกความถี่นั้นได้ แล้วเก็บค่า Override รีจิสเตอร์ไว้ในตารางความถี่ ประกอบไปด้วย

- VCO_AO คือแถวลำดับ (Array)ที่ใช้เก็บค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอสซิโลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน
- CHP_CO คือค่ากระแสที่ใช้ในการปั๊มประจุ (Charge Pump)
- VCO_CO คือกระแสที่ใช้ในวงจรรอสซิโลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน

ค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน ดังนั้นเมื่อมีการทำงานที่ความถี่เดียวกันจะสามารถนำค่าที่ทำการปรับเทียบความถี่ในตอนแรกมาใช้ได้ ทำให้ไม่จำเป็นต้องทำการปรับเทียบความถี่ใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 5.15 แผนภูมิสายงานของโปรแกรมปรับเทียบความถี่ และ เปลี่ยนความถี่ในการทำงาน

ตารางความถี่จะเก็บรีจิสเตอร์ที่ใช้ตั้งความถี่ของภาคส่งและภาครับ รวมทั้งค่า Override รีจิสเตอร์ดัชนีบนตารางความถี่จะเป็นตัวบอกถึงตำแหน่งความถี่ที่ใช้งานในขณะนั้น ลำดับในตารางความถี่จะเป็นค่าลำดับสัญญาณรบกวนเทียม ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ค่าความถี่ของภาคส่งจะถูกกำหนดเป็นความถี่พาห้ที่ใช้ในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ ในขณะที่ความถี่ของภาครับจะถูกกำหนดให้เป็น ความถี่ของโลคอลลอสซิโลเตอร์ จะมีค่าเท่ากับ ค่าความถี่พาห้ที่ใช้ในขณะนั้นลบด้วยค่า 307.2 kHz ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่เฟสล็อกถูบไว้แยกภาครับและภาคส่งออกจากกัน

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างตารางความถี่ที่ใช้ในโปรแกรมการเปลี่ยนความถี่ของระบบ

Freq_Index	FREQ_RX	FREQ_TX	VCO_AO	CHO_AO	VCO_CO
0	406.19 MHz	406.5 MHz	0x05	0x7E	0x04
1	426.69 MHz	427 MHz	0x07	0x6C	0x55
	.	.			
49	411.19 MHz	411.5 MHz	0x0A	0x5B	0xF1

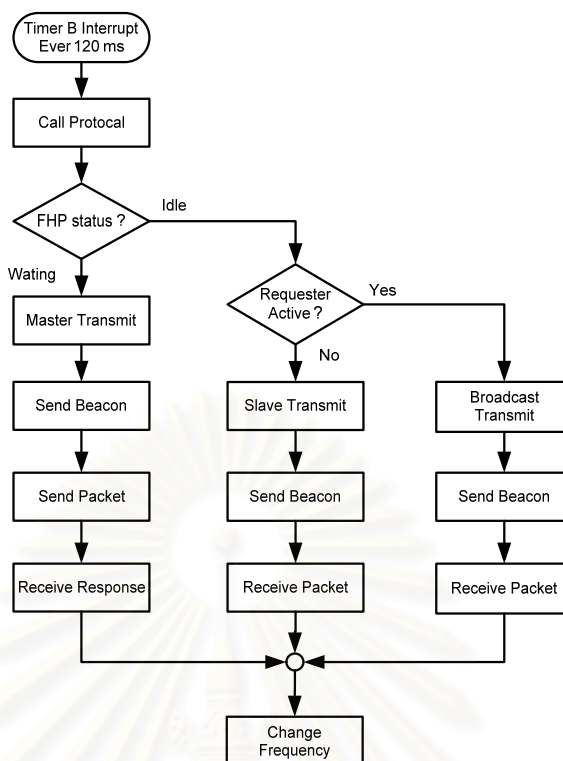
โปรแกรมย่อยในการเปลี่ยนความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 5.15 (ขวา) จะรับตัวแปรที่นำมาใช้ในโปรแกรม 2 ตัวด้วยกัน คือ ค่าความถี่ที่ต้องการเพิ่ม (Increment) ตัวแปรนี้มีไว้ใช้สำหรับการกระโดดเปลี่ยนความถี่ ในแต่ละเดือนจะมีค่าที่ไม่เหมือนกัน ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.2 และ ค่าตัวแปร mode จะแสดงถึงโหมดการทำงานในความถี่นั้น ๆ (ส่งข้อมูล, รับข้อมูล และ หยุดการทำงาน) ในตอนแรกโปรแกรมจะบวกตำแหน่งความถี่ที่ใช้ในปัจจุบันกับตัวแปร Increment ทำให้ได้ค่าตำแหน่งบนตารางความถี่ที่จะใช้ หลังจากนั้นจะตั้งค่าให้กับรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องของวงจรรวม CC1021 (FREQ_TX, FREQ_RX, VCO_AO, CHP_CO และ VCO_CO) แล้วทำการตั้งโหมดการทำงานที่ความถี่นั้น ๆ ในโหมดส่งข้อมูลและรับข้อมูล จะมีการปรับค่ารีจิสเตอร์ภายในของวงจรรวม CC1021 เพื่อให้ทำงานตามโหมดการทำงานนั้น ๆ แล้วทำการตั้งค่ากำลังด้านออกตามที่ระบบกำหนดไว้ ในขณะที่โหมดหยุดการทำงานจะมีการสั่งให้วงจรรวม CC1021 ทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน (Power Down) แทน

5.8 โปรแกรมควบคุมการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

การควบคุมการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ให้เป็นไปตามโพรโทคอลที่กำหนด ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1 สามารถแบ่งการทำงานได้ 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ อุปกรณ์มือถือทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์มาสเตอร์ และ มอดูลคลื่นวิทยุทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สเลฟ การทำงานของอุปกรณ์ทั้งสองอธิบายได้ดังนี้

5.8.1 การทำงานของอุปกรณ์มาสเตอร์ (อุปกรณ์มือถือ)

เมื่อเริ่มทำงานจะมีการสั่งตัวตั้งเวลาบี (TimerB) ให้ขัดจังหวะการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ทุก ๆ 120 มิลลิวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.16 โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะเรียกโพรโทคอล เพื่อตรวจสอบดูว่าขณะนี้ทำงานอยู่ในขั้นตอนไหนและทำอะไรบ้างในความถี่นี้เสร็จแล้วจะตรวจสอบว่าเป็นการเขียนหรืออ่านข้อมูลจากมิเตอร์ โดยถ้าสถานะการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (FHP Status) เป็น Wating จะหมายถึงการส่งข้อมูลไปให้มิเตอร์ ถ้าไม่ใช่จะทำการตรวจสอบต่อไปอีกกว่าจะมีการรับค่าหมายเลขประจำตัวของมิเตอร์มาแล้วหรือยัง ถ้ามิเตอร์เข้าสู่ขบวนการรับข้อมูลจากมิเตอร์ แต่ถ้าไม่จะเป็นการสั่งให้มิเตอร์ส่งหมายเลขประจำตัวมาให้ เมื่อทำขบวนการทั้งหมดเสร็จจะเปลี่ยนความถี่ตามที่ได้มีการกำหนดไว้

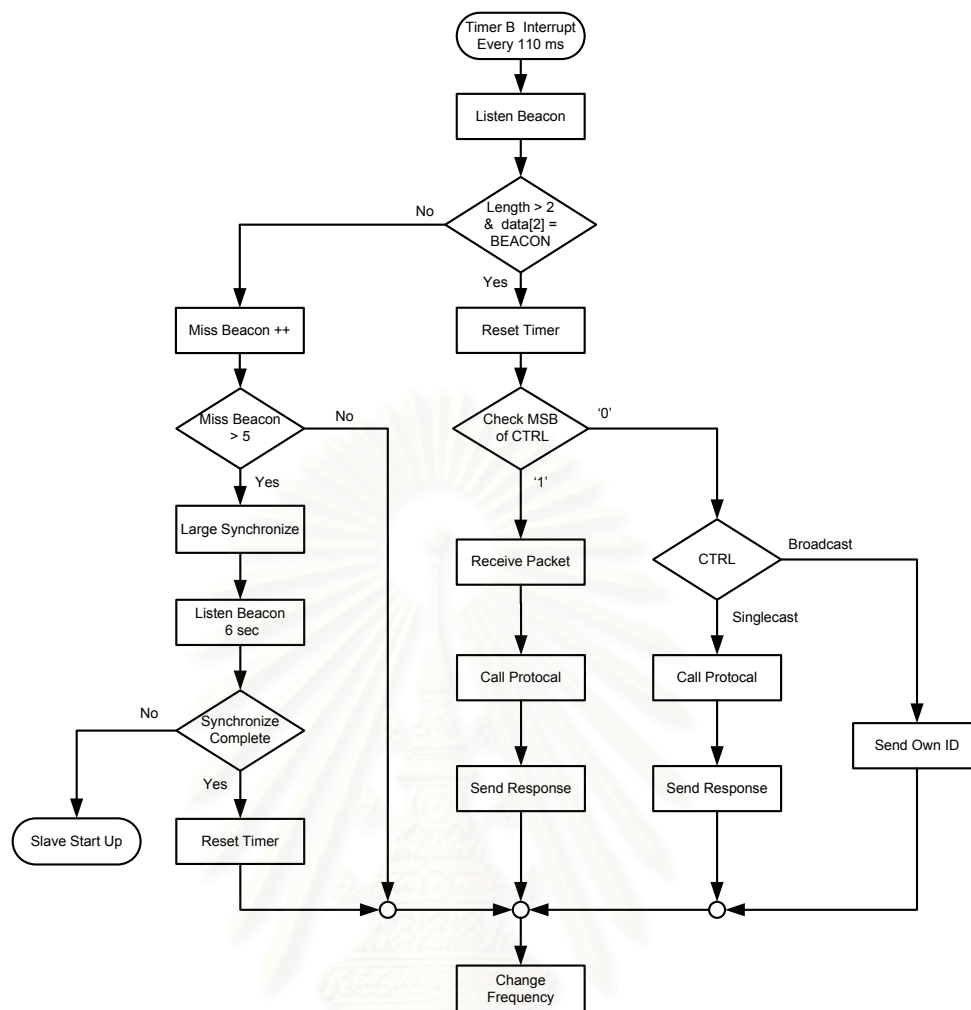


รูปที่ 5.16 แผนภูมิสายงานโปรแกรมบริการขัดจังหวะตัวตั้งเวลาปีของอุปกรณ์มือถือ

5.8.2 การทำงานของอุปกรณ์สเลฟ (มอดูลคลื่นวิทยุที่ติดบนไมโคร)

หลังจากที่มอดูลคลื่นวิทยุได้รับกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นจากอุปกรณ์มือถือจะกำหนดตัวตั้งเวลาปีให้มีการขัดจังหวะทุก ๆ 110 มิลลิวินาที ดังแสดงในรูปที่ 5.17 โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะแผ่รอกกลุ่มข้อมูลปีคอนเป็นเวลา 30 มิลลิวินาที ถ้าการรับกลุ่มข้อมูลปีคอนประสบความสำเร็จมอดูลคลื่นวิทยุจะทำการรีเซ็ตตัวตั้งเวลาก่อนจะทำงานตามที่กลุ่มข้อมูลปีคอนส่งมาให้ แต่ถ้าประสบความสำเร็จล้มเหลวจะเพิ่มค่าตัวแปร Miss Beacon และแผ่รอกกลุ่มข้อมูลปีคอนในความถี่ถัดไปแทน ถ้าตัวแปร Miss Beacon มีค่ามากกว่า 5 แสดงว่ามอดูลคลื่นวิทยุไม่สามารถรักษาซิงโครไนซ์กับอุปกรณ์มือถือได้ ดังนั้นจึงต้องมีการซิงโครไนซ์ความถี่กับอุปกรณ์มือถือใหม่ โดยมอดูลคลื่นวิทยุจะรอรับกลุ่มข้อมูลปีคอน ณ. ความถี่ใดความถี่หนึ่งที่ได้จากการสุ่ม และสั่งให้ตัวตั้งเวลาจับเวลาเท่ากับช่วงเวลา ดเวลลัสคู่กับจำนวนความถี่ทั้งหมด มีค่าเป็น $120 \times 49 = 5.8$ วินาที หากในช่วงเวลานี้ยังไม่ได้รับกลุ่มข้อมูลปีคอน แสดงว่าอุปกรณ์มือถือและไมโครไม่ได้อยู่ในระยะทำการของคลื่นวิทยุ เนื่องมาจากการอ่านค่ามิเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว มอดูลคลื่นวิทยุก็จะกลับไปสุ่มใหม่รอรับกลุ่มข้อมูลเริ่มต้นอีกครั้ง

ในกรณีที่มีการรับกลุ่มข้อมูลปีคอนได้สำเร็จ โปรแกรมจะตรวจสอบบิตนัยสำคัญสูงสุดของไบต์ CTRL ที่ถูกส่งมากับกลุ่มข้อมูลปีคอน ถ้าบิตนัยสำคัญมากที่สุดเป็น '1' แสดงว่าอุปกรณ์มือถือจะทำการส่งข้อมูลมาให้เมื่อได้รับกลุ่มข้อมูลที่อุปกรณ์มือถือส่งมาให้เรียบร้อยแล้ว จะเรียกโทรโทคอลและส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนองกลับไปให้อุปกรณ์มือถือ ถ้าบิตนัยสำคัญมากที่สุดของไบต์ CTRL มีค่าเป็น '0' แสดงว่า อุปกรณ์มือถือต้องการอ่านค่าจากมิเตอร์ โดยจะตรวจสอบค่าของไบต์ CTRL ว่าเป็นการส่งข้อมูลหรือส่งหมายเลขประจำตัวกลับไปให้อุปกรณ์มือถือ ในกรณีการส่งข้อมูลจะมีการเรียกโทรโทคอลก่อนแล้วจึงส่งกลุ่มข้อมูลตอบสนองกลับไป เมื่อขบวนการทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการเปลี่ยนความถี่เพื่อรอรับกลุ่มข้อมูลปีคอนใหม่ต่อไป

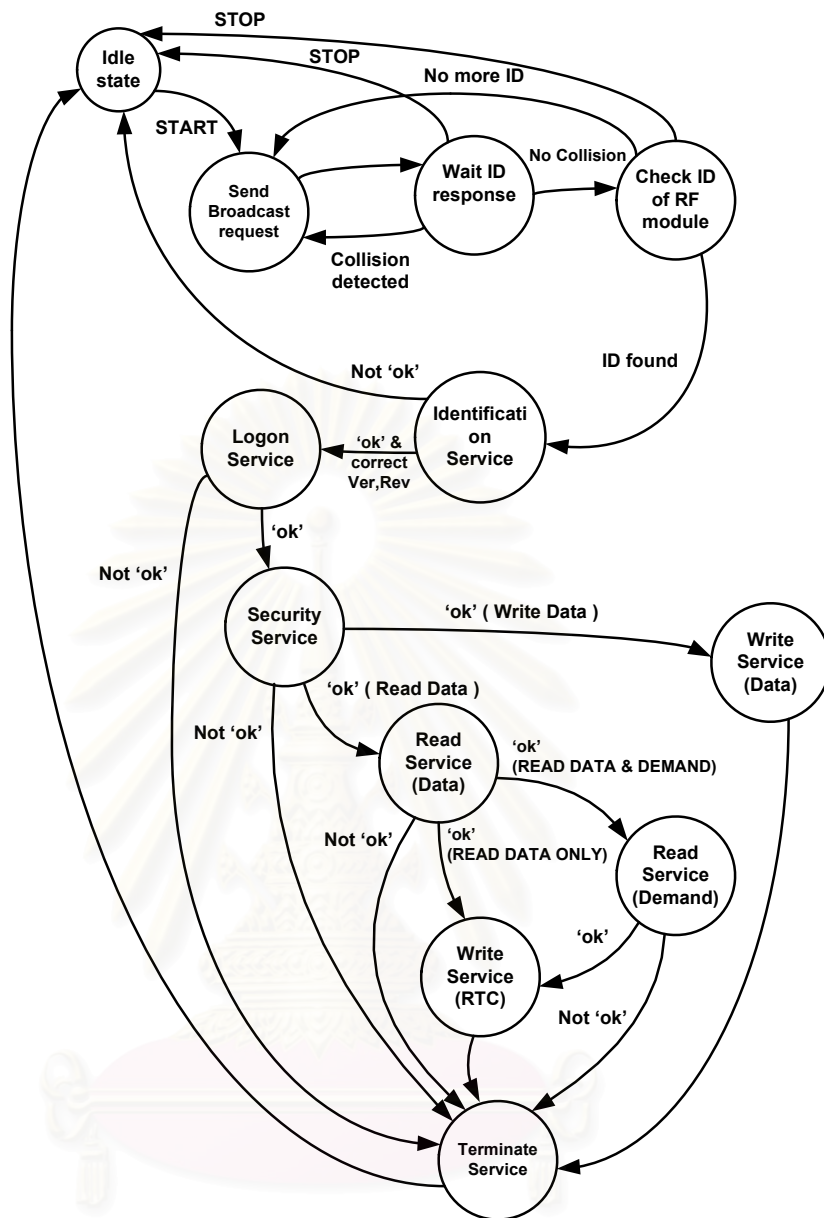


รูปที่ 5.17 แผนภูมิสายงานการทำงานของมอดูลคลื่นวิทยุ

5.9 โปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรโตคอล

5.9.1 ส่วนควบคุมขั้นตอนดำเนินงานของกระบวนการต่างๆ

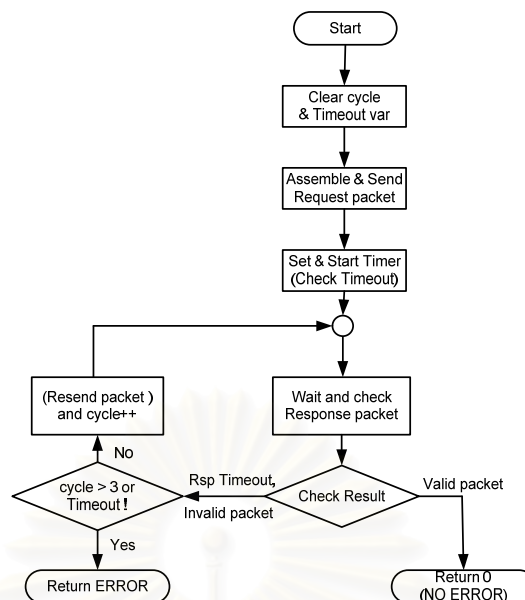
สามารถแสดงการทำงานได้โดยใช้แผนภาพ ASM (Algorithmic State Machine) ดังแสดงในรูปที่ 5.18 โดยส่วนควบคุมลำดับการทำงานต่างๆ ของโปรโตคอลได้นำหลักการการทำงานแบบกลไกลำดับขั้น (State Machine) มาใช้ เมื่อเริ่มต้นการทำงานโปรแกรมจะทำกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์ก่อนเป็นลำดับแรก แล้วตามด้วยกระบวนการสร้างช่องทางสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัวดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1.4 หลังจากนั้นจึงทำกระบวนการต่างๆ ที่สอดคล้องกับการทำงานของชั้นประยุกต์ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2 เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนต่างๆ ของการสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัวแล้ว โปรแกรมจะกลับไปขั้นตอนร้องขอหมายเลขประจำตัวมิเตอร์อีกครั้ง จากนั้นจะเริ่มขั้นตอนสื่อสารกับมิเตอร์ตัวใหม่ และทำซ้ำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนติดต่อมิเตอร์ครบหมดทุกตัว หรือมีการสั่งยกเลิกจากผู้ใช้งานทางปุ่มกด



รูปที่ 5.18 แผนภาพ ASM ควบคุมลำดับการทำงานของโพรโทคอล

5.9.2 ส่วนส่งและรรับกลุ่มข้อมูลของแต่ละกระบวนการ

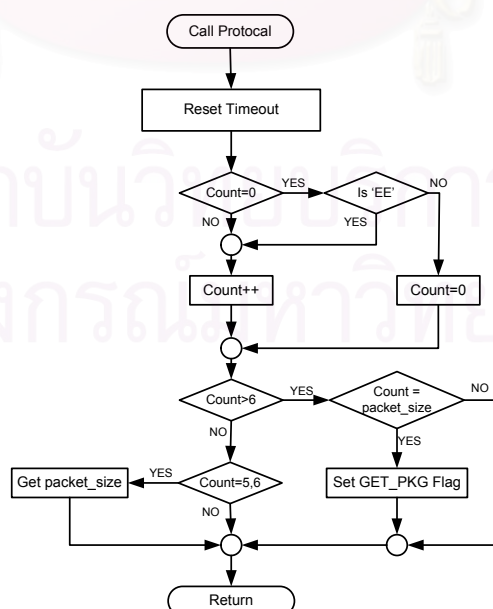
เนื่องจากในแต่ละกระบวนการของโพรโทคอลประกอบไปด้วยขั้นตอนร้องขอและขั้นตอนตอบสนอง ดังนั้นจึงต้องมีทั้งการส่งกลุ่มข้อมูลออกไปในขั้นตอนร้องขอ และตรวจสอบกลุ่มข้อมูลเข้าจากขั้นตอนตอบสนองของมิเตอร์ การทำงานของโปรแกรมย่อยควบคุมขั้นตอนย่อยในแต่ละกระบวนการสามารถอธิบายได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 แผนภูมิสายงานควบคุมการทำงานในแต่ละกระบวนการ

การทำงานจะเริ่มต้นจากการล้างค่าตัวแปรที่ใช้ตรวจสอบสถานะการทำงาน แล้วเริ่มส่งกลุ่มข้อมูลร้องขอในแต่ละกระบวนการออกไป จากนั้นจึงสั่งให้ตัวนับเวลาเริ่มจับเวลารอการตอบรับจากมิเตอร์ หากเกินกว่าเวลาที่กำหนด หรือมีการตอบรับแต่กลุ่มข้อมูลไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในแต่ละกระบวนการ โปรแกรมย่อยจะคืนค่าความผิดพลาดกลับและส่งกลุ่มข้อมูลซ้ำ ณ. ที่ความถี่ถัดไป แต่หากไม่พบความผิดพลาดในกลุ่มข้อมูลตอบสนองของแต่ละกระบวนการ โปรแกรมย่อยก็จะคืนค่าศูนย์กลับไป

โปรแกรมย่อยที่ใช้รับข้อมูลแต่ละไบต์ของกลุ่มข้อมูลตอบสนองจะถูกเรียกก่อนที่จะมีการส่งกลุ่มข้อมูลบิตคอนออกไปให้กับมิเตอร์ มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.20 โดยจะคอยวนตรวจสอบค่าของตัวบ่งชี้ GET_PKG นี้อยู่ตลอด



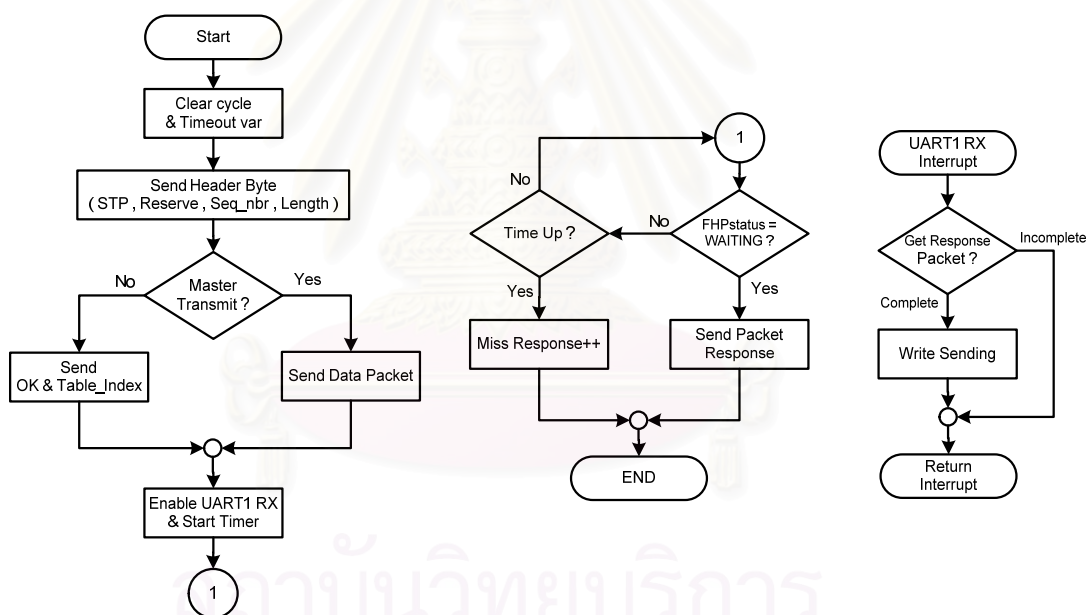
รูปที่ 5.20 แผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยสำหรับรับกลุ่มข้อมูลตอบสนอง

5.10 โปรแกรมควบคุมการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมหมายเลขหนึ่งของอุปกรณ์ AMR

พอร์ตอนุกรมหมายเลขหนึ่ง สามารถแบ่งการใช้งานได้ 2 แบบตามอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

5.10.1 ส่วนรับส่งข้อมูลการสื่อสารระหว่างมอดูลคลื่นวิทยุและมิเตอร์

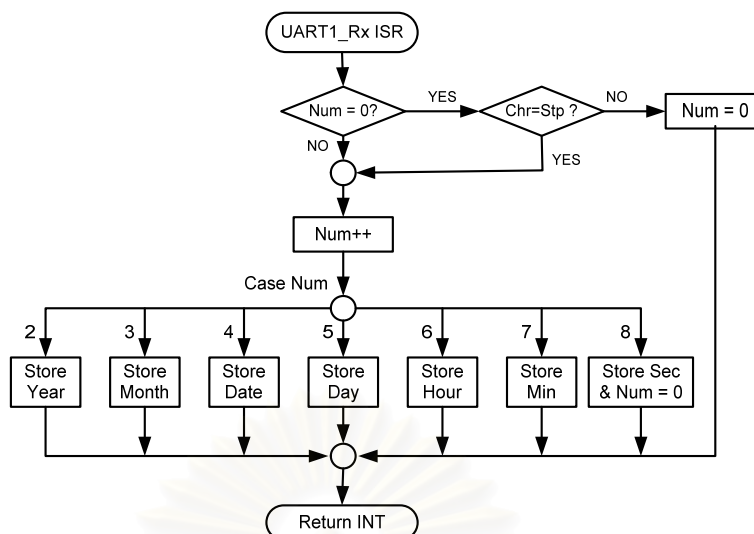
การสื่อสารระหว่างมอดูลคลื่นวิทยุกับมิเตอร์จะเกิดขึ้นเมื่อมีการรับกลุ่มข้อมูลบิตคอนจากอุปกรณ์มือถือและส่งกลุ่มข้อมูลไปให้มิเตอร์ โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าการทำงานในครั้งนั้นเป็นการทำงานแบบใดระหว่างเขียนข้อมูลบนมิเตอร์ หรือ อ่านข้อมูลบนมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.21 ถ้าเป็นการเขียนข้อมูลจะส่งกลุ่มข้อมูลที่รับมาจากอุปกรณ์มือถือส่งไปให้กับมิเตอร์ แต่ถ้าเป็นการอ่านข้อมูลก็จะส่ง ไบต์ OK และ ไบต์ Table_Index ไปให้มิเตอร์แทน หลังจากนั้นจะทำการรีเซ็ตการขัดจังหวะรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรมหมายเลขหนึ่ง รวมถึงเริ่มการจับเวลาของตัวตั้งเวลาปี เมื่อมิเตอร์ทำการส่งข้อมูลตอบสนองมาให้ โปรแกรมบริการขัดจังหวะจะรับและตรวจสอบความถูกต้องของกลุ่มข้อมูลที่ส่งมาจากมิเตอร์ หลังจากนั้นจึงตั้งสถานะการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (FHP Status) ให้เป็น Wating เพื่อที่จะส่งกลุ่มข้อมูลให้กับอุปกรณ์มือถือต่อไป แต่ถ้ายังไม่มีการขัดจังหวะจากพอร์ตอนุกรมจนเลยเวลาที่กำหนด มอดูลคลื่นวิทยุจะออกจากโปรแกรม เพื่อรอรับสัญญาณบิตคอน และ ทำกระบวนการตามความถี่ต่อไปของระบบแทน



รูปที่ 5.21 แผนภูมิสายงานโปรแกรมย่อยการรับข้อมูลจากมิเตอร์

5.10.2 ส่วนควบคุมการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับอุปกรณ์มือถือ

อุปกรณ์มือถือใช้พอร์ตอนุกรมหมายเลข 1 เป็นช่องทางสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับการตั้งฐานเวลาให้กับตัวอุปกรณ์มือถือ การทำงานของโปรแกรมย่อยเพื่อนำค่าฐานเวลาที่ถูกส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาบันทึกลงในตัวแปรของฐานเวลาค่าต่างๆ บนอุปกรณ์มือถือจะอยู่ในโปรแกรมบริการขัดจังหวะของพอร์ตอนุกรมหมายเลข 1 ดังแสดงในรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 แผนภูมิสายงานโปรแกรมบริการขัดจังหวะ UART1 สำหรับปรับฐานเวลา

ข้อมูลจะถูกส่งมาทีละไบต์โดยไบต์แรกจะเป็นตัวบอกให้โปรแกรมรู้ว่าข้อมูลกำลังจะเข้ามา ตัวแปร Num จะถูกเพิ่มค่าทีละ 1 ทุกครั้งที่มีข้อมูลแต่ละไบต์เข้ามาเพื่อเป็นตัวบอกว่าเป็นข้อมูลที่เข้ามาเป็นข้อมูลของฐานเวลาตัวใด โดยซอฟต์แวร์ที่จะนำมาตั้งเวลาให้กับฐานเวลาของอุปกรณ์เมื่อถึงและใช้ถ่ายโอนข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้ซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการออกแบบและประยุกต์วงจรรวม

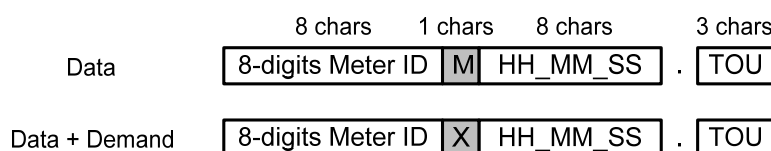
5.11 โปรแกรมควบคุมการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนต่างๆ สำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้อ่านจากกระบวนการอ่านมิเตอร์ทั้งในส่วนขอข้อมูลทั่วไปและข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ลงในคอมพิวเตอร์ในรูปแบบพื้นฐานสอง (Binary file) มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ

1) แฟ้มที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป ข้อมูลในแฟ้มนี้จะเป็นข้อมูลที่ได้จากการอ่านตารางข้อมูลทั่วไป (ตารางหมายเลข 1) โดยตรง ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.1

2) แฟ้มที่ใช้เก็บทั้งข้อมูลทั่วไปและข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที ข้อมูลในแฟ้มนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลจากตารางข้อมูลทั่วไป และต่อด้วยข้อมูลจากตารางใช้เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าในรอบ 15 นาที (ตารางหมายเลข 2)

การตั้งชื่อให้กับแฟ้มข้อมูลทั้ง 2 ประเภทนี้มีรายละเอียดเป็นไปตามรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 การตั้งชื่อให้กับแฟ้มข้อมูลฐานสองโดยอุปกรณ์เมื่อถึง

ฟิลด์เวลาที่อยู่ในชื่อแฟ้มข้อมูลทั้ง 2 แบบนี้คือ ค่าจากฐานเวลาของตัวอุปกรณ์มือถือเองในขณะที่กำลังอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ตัวนั้นและแฟ้มข้อมูลทั้งสองจะใช้นามสกุล TOU สิ่งที่ใช้อธิบายความแตกต่างระหว่างแฟ้มข้อมูล 2 แบบนี้คือ ตัวอักษรตำแหน่งที่ 9 ในชื่อแฟ้มนั้นๆ โดยแฟ้มข้อมูลแบบที่ 1 จะใช้ตัวอักษร M และแบบที่ 2 จะใช้ตัวอักษร X แทน ซึ่งเป็นรูปแบบที่รองรับการทำงานกับซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการออกแบบและประยุกต์วงจรรวม

5.12 สรุปท้ายบท

ในบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดทางด้านซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบด้วยซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานมิเตอร์, อุปกรณ์มือถือ และมอดูลคลื่นวิทยุ ตามลำดับ โดยซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของมิเตอร์จะแบ่งเป็น ส่วนจัดการทางเวลา ส่วนติดต่อกับอีอีพรอม ส่วนคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าผ่านทางวงจรรวม ADE7758 และ ส่วนติดต่อกับมอดูลคลื่นวิทยุที่จะทำการรับส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ ในส่วนของซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุ จะใช้ซอฟต์แวร์ตัวเดียวกันที่สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ โดยจะมีส่วนต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ส่วนติดต่อกับวงจรรวม CC1021 ส่วนควบคุมการสื่อสารแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ ส่วนควบคุมการทำงานของโปรโทคอล และส่วนควบคุมการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลมิเตอร์ที่ทำการอ่านมาได้



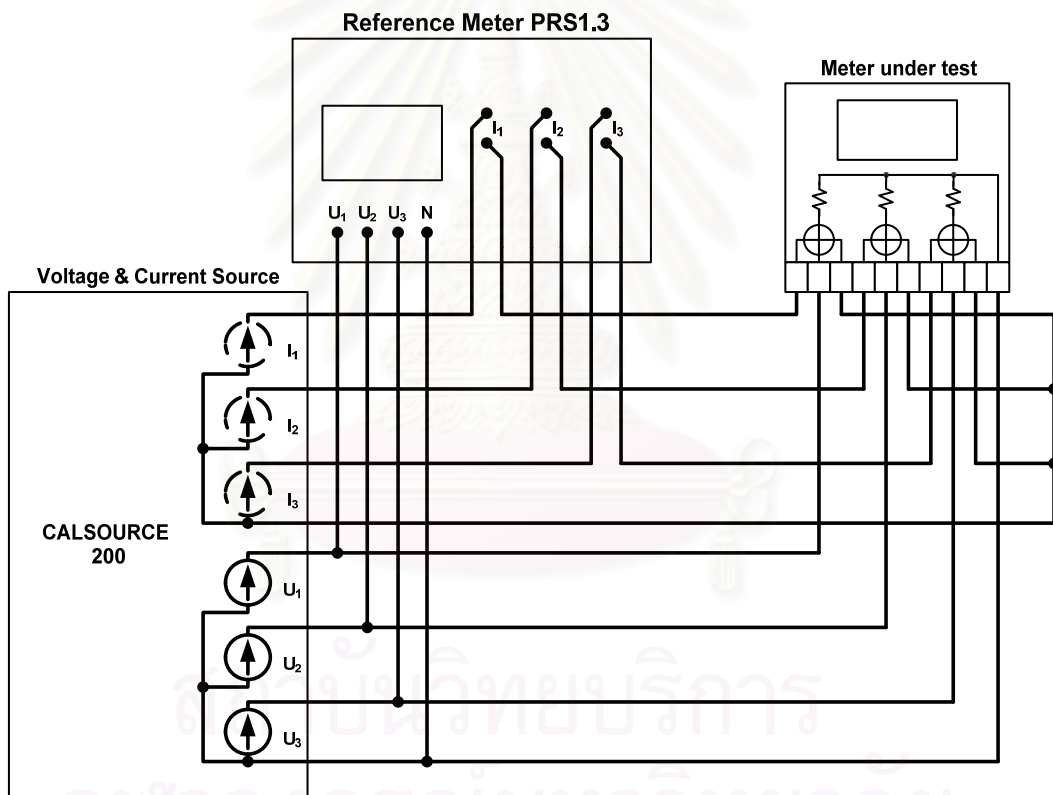
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดสอบและสรุปผล

6.1 การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์

ระบบที่ใช้ทดสอบความแม่นยำ ดังแสดงในรูปที่ 6.1 ประกอบด้วยเครื่องจ่ายโหลดพลังงานไฟฟ้าเสมือน (Phantom Load) พร้อมกับมิเตอร์ที่ถูกทดสอบ (Meter Under Test) รุ่น CALSOURCE 200 ของบริษัท MEH (Energie Messtechnik GmbH) โดยสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 120 A และมีความแม่นยำ 0.1 % ใช้ร่วมกับมิเตอร์อ้างอิง รุ่น PRS1.3 ของบริษัทเดียวกันโดยมิเตอร์อ้างอิงนี้มีความแม่นยำในการวัดระดับ 0.05 %



รูปที่ 6.1 ระบบทดสอบมิเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดจะมาจากสมการที่ 6.1

$$error = \frac{W_{meter} - W_{ref}}{W_{ref}} \times 100 \quad (\%)$$

สมการที่ 6.1

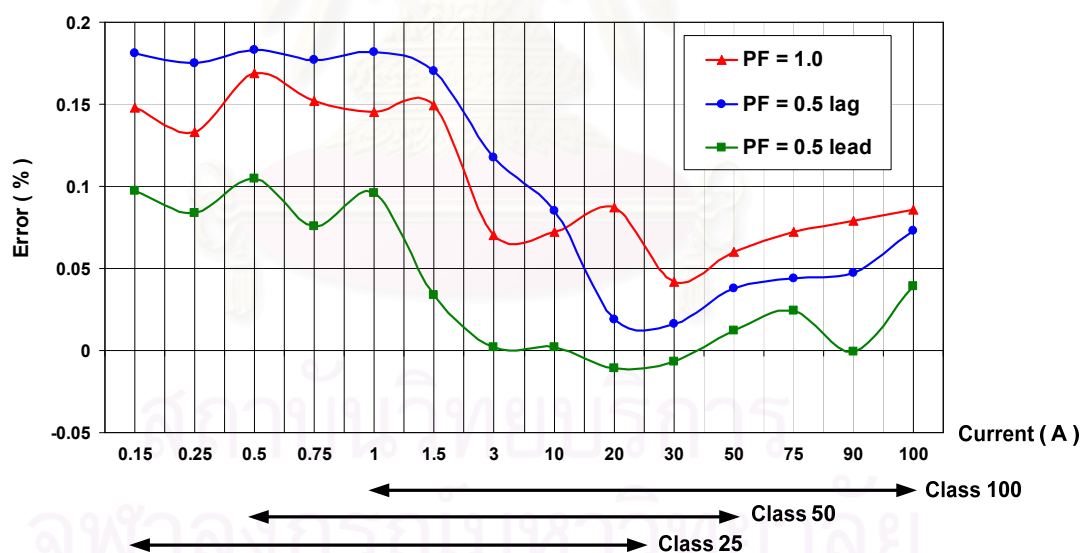
เมื่อ W_{meter} คือ ค่าพลังงานที่มิเตอร์ที่ถูกทดสอบ

และ W_{ref} คือ ค่าพลังงานที่มิเตอร์อ้างอิงวัดได้

การทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์กระทำภายใต้สภาวะต่าง ๆ กัน 3 รูปแบบ ตามมาตรฐาน ANSI C12.20-1998 ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3 คือ

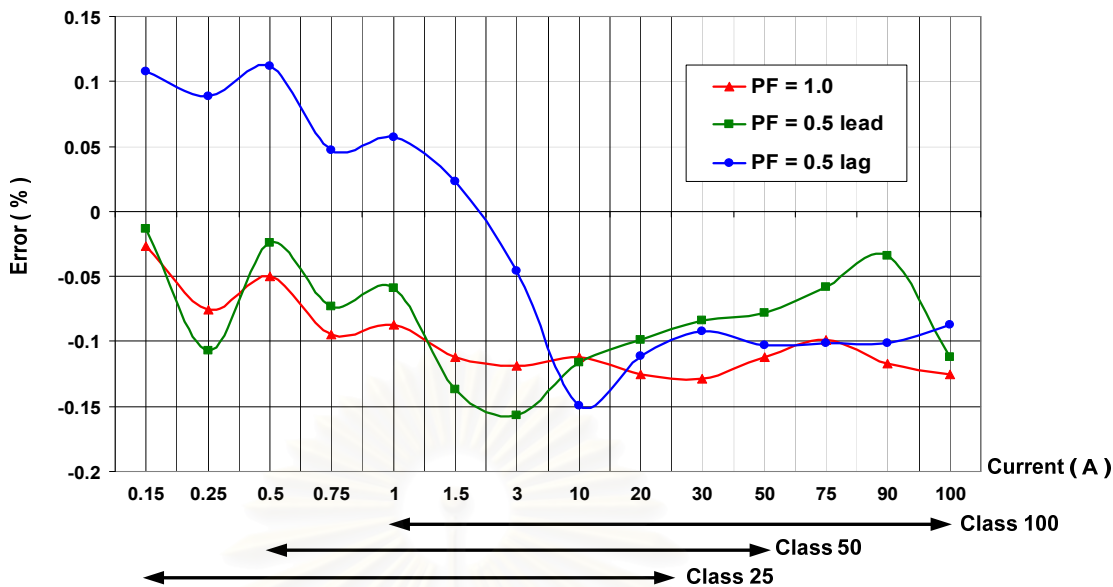
- โหลดสมดุลแปรโหลดที่กระแสตามมาตรฐาน ANSI C12.20 ด้วยค่าตัวประกอบกำลัง 1.0, 0.5 ล้าหลัง และ 0.5 นำหน้า ที่ค่าแรงดันของระบบเป็น 220 V, 120 V และ 63.5 V ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 ถึง รูปที่ 6.4
- โหลดสมดุลที่ความถี่ของระบบเป็น 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54 และ 55 Hz ด้วยค่าตัวประกอบกำลัง 1.0, 0.5 ล้าหลัง และ 0.5 นำหน้า ที่ค่าแรงดันของระบบเป็น 220 V, 120 V และ 63.5 V ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.5 ถึง รูปที่ 6.7
- โหลดกระแสไม่สมดุลแยกเฟส โดยมีแรงดันสมดุล 3 เฟส แปรโหลดที่กระแสตามมาตรฐาน ANSI C12.20 ด้วยค่าตัวประกอบกำลัง 1.0, 0.5 ล้าหลัง และ 0.5 นำหน้า ที่ค่าแรงดันของระบบเป็น 220 V ดังแสดงใน รูปที่ 6.8 ถึง รูปที่ 6.10

ในส่วนของการทดสอบความแม่นยำของมิเตอร์เมื่อทำการวัดค่าพลังงานรีแอกทีฟ และพลังงานปรากฏ จะมีการนำมาตรฐาน ANSI C12.20 สำหรับการวัดพลังงานแอกทีฟมาใช้ด้วยเช่นกัน โดยทำการทดสอบที่โหลดสมดุลแปรโหลดที่กระแสตามมาตรฐาน ANSI C12.20 ด้วยค่าตัวประกอบกำลัง 1.0, 0.5 ล้าหลัง และ 0.5 นำหน้า ที่ค่าแรงดันของระบบเป็น 220 V, 120 V และ 63.5 V ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.11 ถึง รูปที่ 6.14 ค่าพลังงานรีแอกทีฟ และ พลังงานปรากฏ



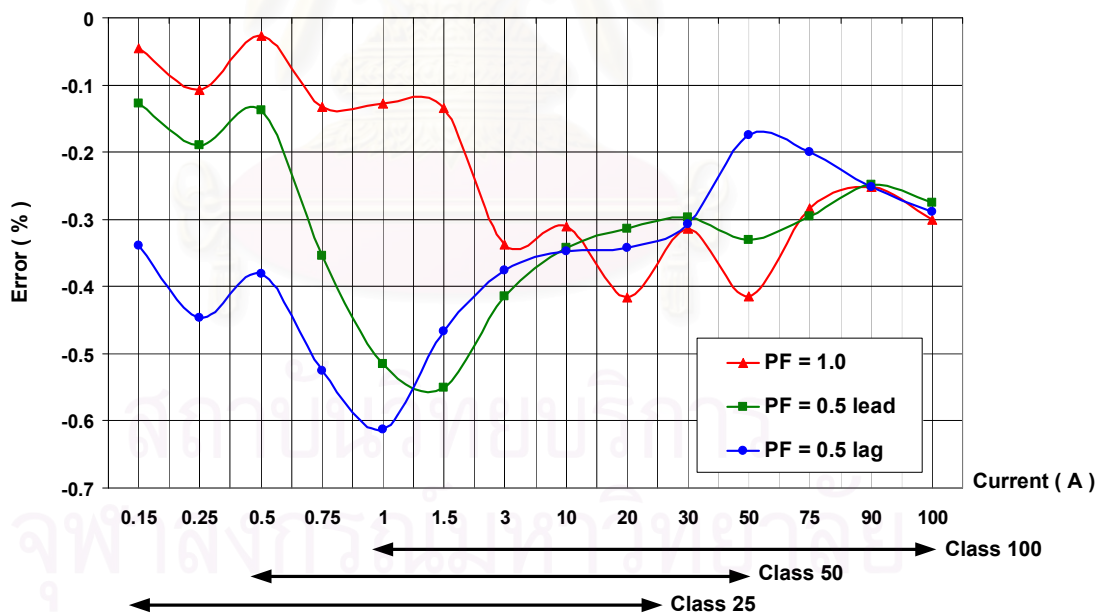
รูปที่ 6.2 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 220 โวลต์

จากรูปที่ 6.2 จะเห็นได้ว่าการทดสอบจะครอบคลุมระดับพิกัดกระแสใช้งาน 3 ระดับ ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 2.6 การออกแบบการทดสอบความแม่นยำจะพิจารณาช่วงกระแสต่ำของพิกัดการทำงานนั้น ๆ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีความผิดพลาดที่สูงเมื่อเทียบกับช่วงกระแสสูง เงื่อนไขการทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 220 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 6.2 สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



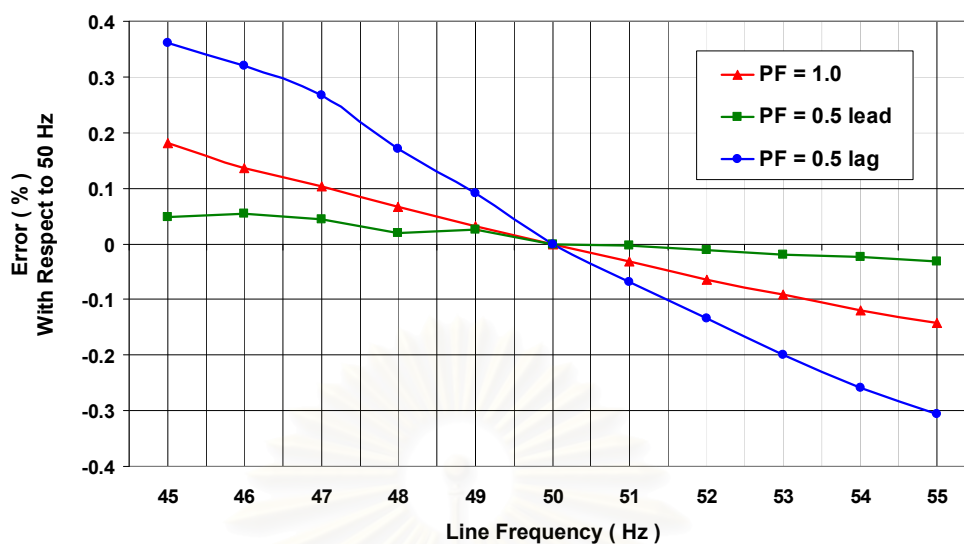
รูปที่ 6.3 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 120 โวลต์

เงื่อนไขการทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 120 โวลต์ สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.5 ตามที่กำหนดไว้ รวมถึงยังผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 อีกด้วย



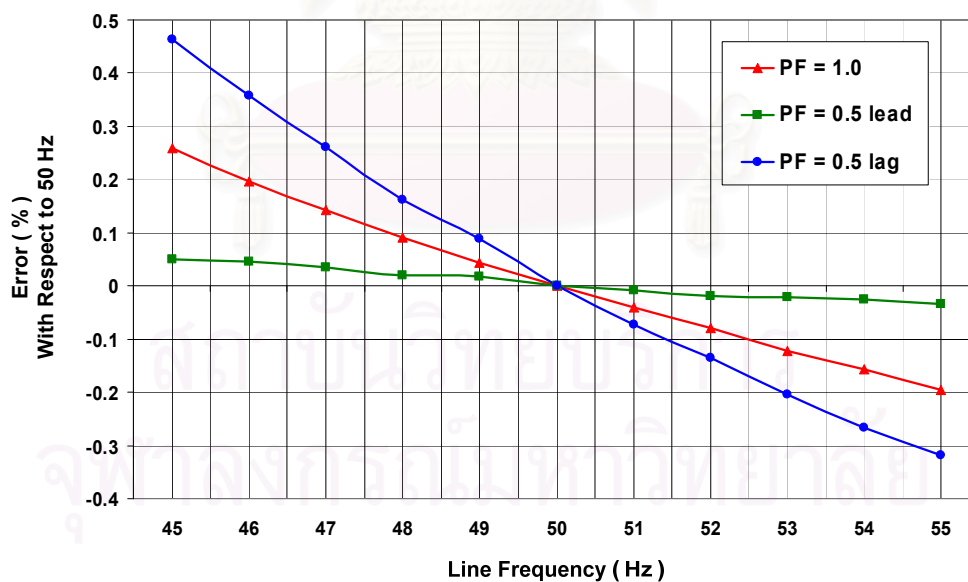
รูปที่ 6.4 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 63.5 โวลต์

เงื่อนไขการทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 63.5 โวลต์ สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.5 ตามที่กำหนดไว้



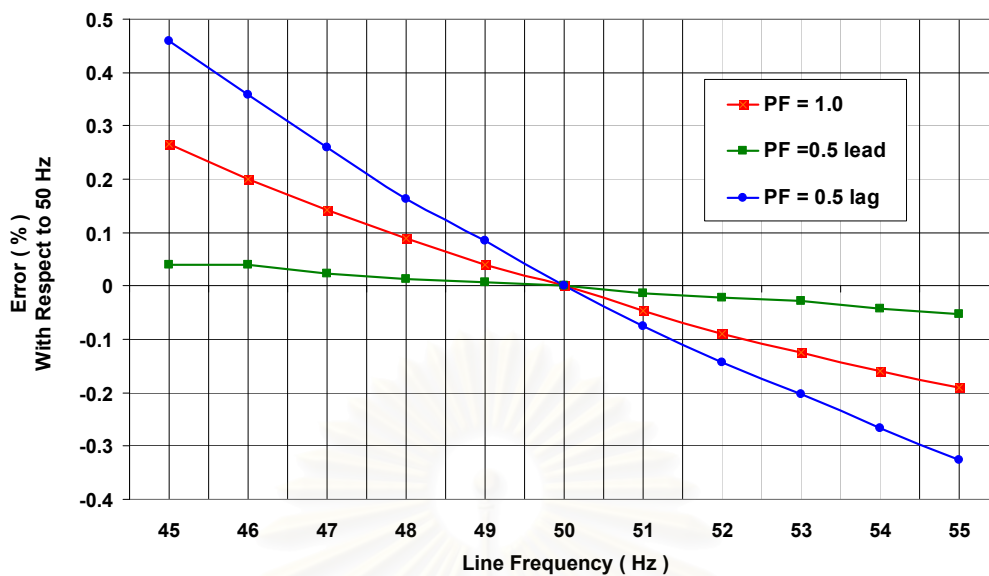
รูปที่ 6.5 ผลการทดสอบความแม่นยำตลอดช่วงความถี่ของระบบเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 220 โวลต์

เงื่อนไขการทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 220 โวลต์ และเปลี่ยนค่าความถี่ของระบบ ตั้งแต่ 45 Hz ถึง 55 Hz จะเห็นได้ว่าผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



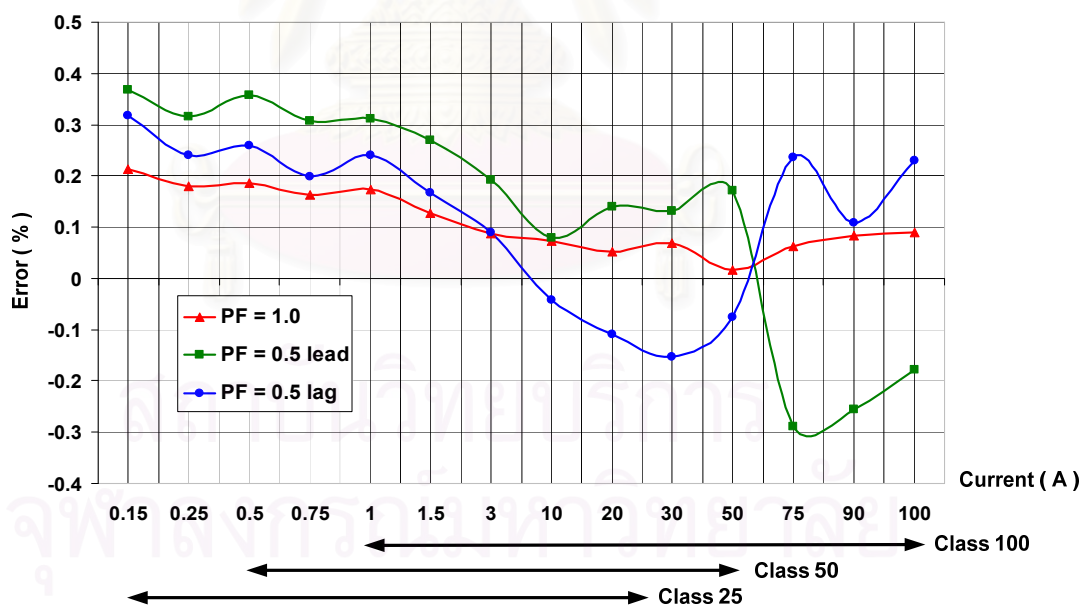
รูปที่ 6.6 ผลการทดสอบความแม่นยำตลอดช่วงความถี่ของระบบเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 120 โวลต์

เงื่อนไขการทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 120 โวลต์ และเปลี่ยนค่าความถี่ของระบบ ตั้งแต่ 45 Hz ถึง 55 Hz จะเห็นได้ว่าผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



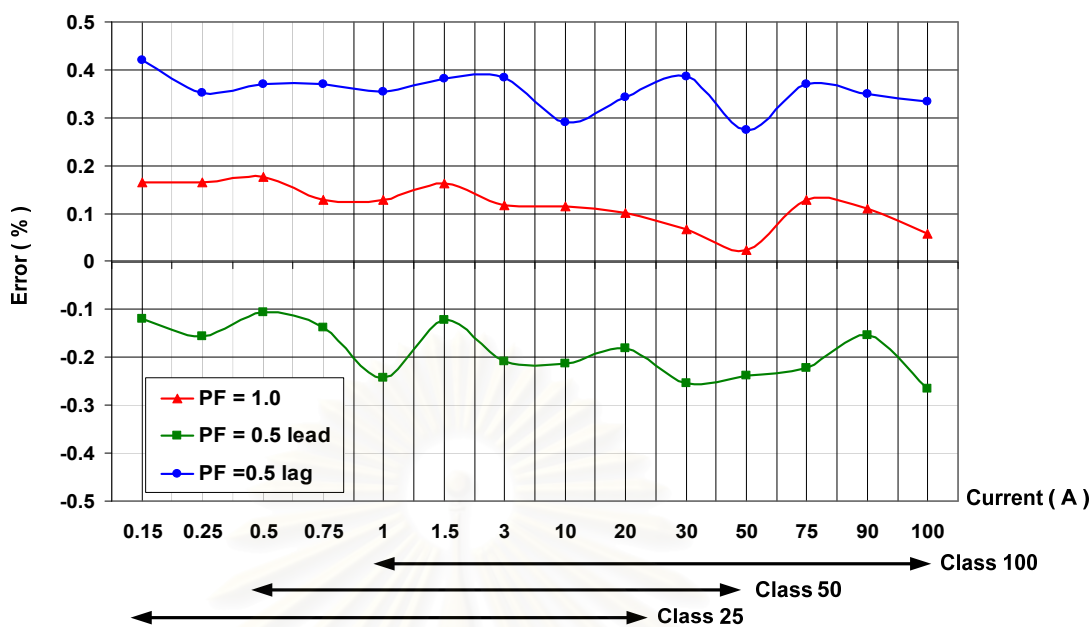
รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบความแม่นยำตลอดช่วงความถี่ของระบบเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 63.5 โวลต์

เงื่อนไขการทดสอบภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 63.5 โวลต์ และเปลี่ยนค่าความถี่ของระบบตั้งแต่ 45 Hz ถึง 55 Hz จะเห็นได้ว่าผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20

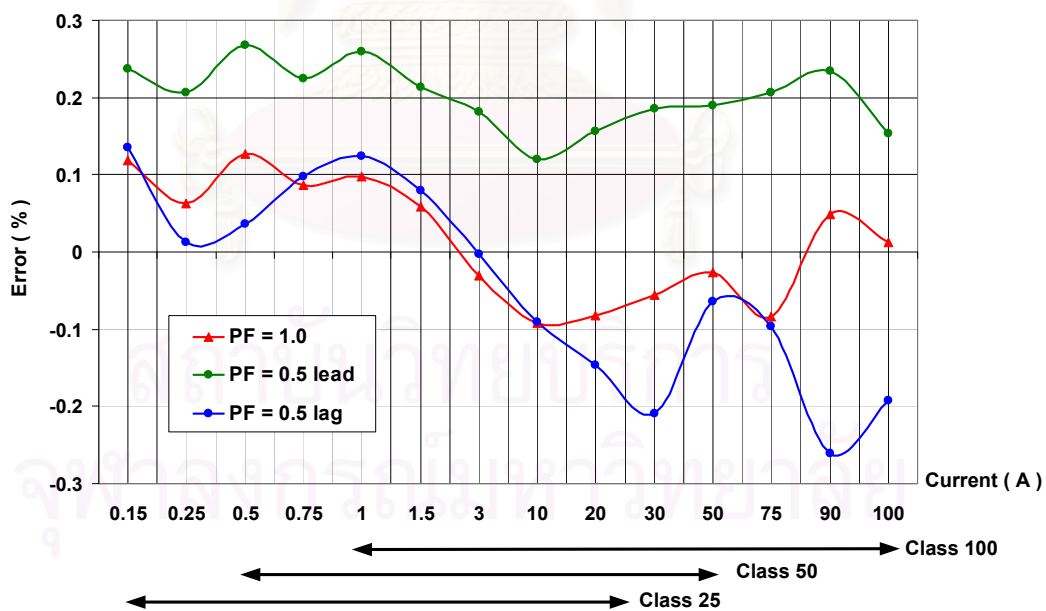


รูปที่ 6.8 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อแรงดันสมดุลและจ่ายกระแสเฉพาะเฟส A

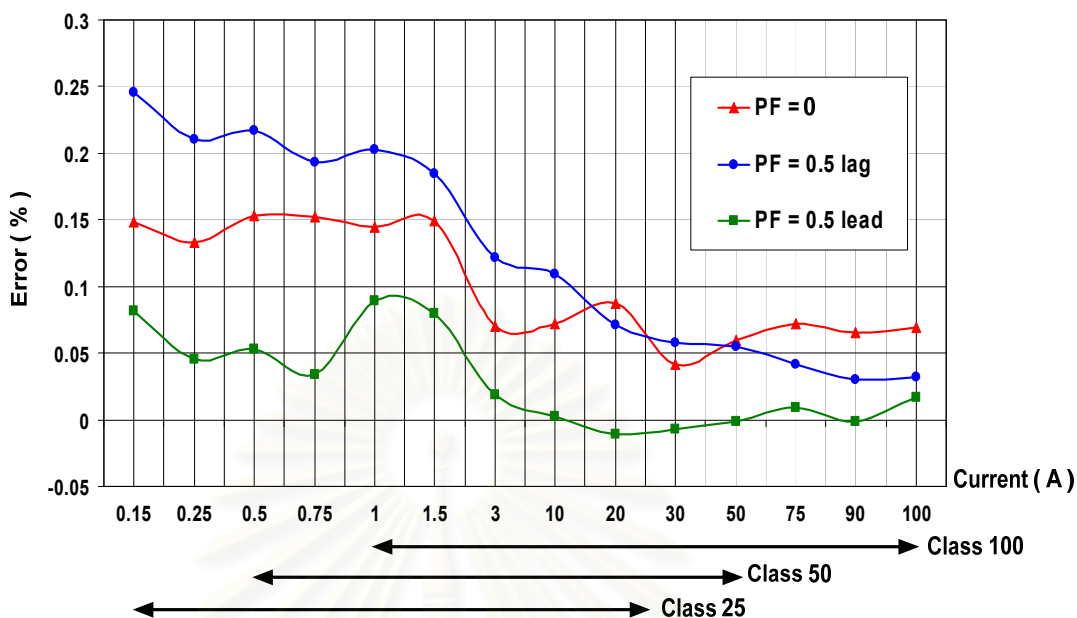
เงื่อนไขการทดสอบภายใต้โหลดกระแสไม่สมดุล โดยมีแรงดันสมดุล 3 เฟส เป็นการทดสอบที่มีการจ่ายกระแสเฉพาะเฟส A จะเห็นได้ว่าผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



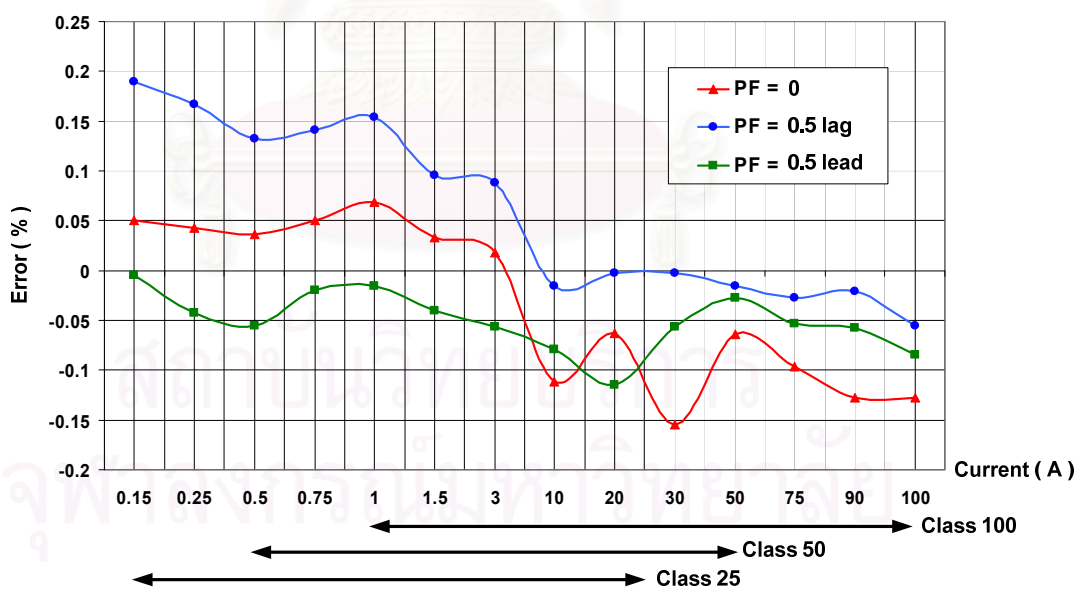
รูปที่ 6.9 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อจ่ายแรงดันสมดุลและจ่ายกระแสเฉพาะเฟส B เงื่อนไขการทดสอบภายใต้โหลดกระแสไม่สมดุล โดยมีแรงดันสมดุล 3 เฟส เป็นการทดสอบที่มีการจ่ายกระแสเฉพาะเฟส B จะเห็นได้ว่าผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



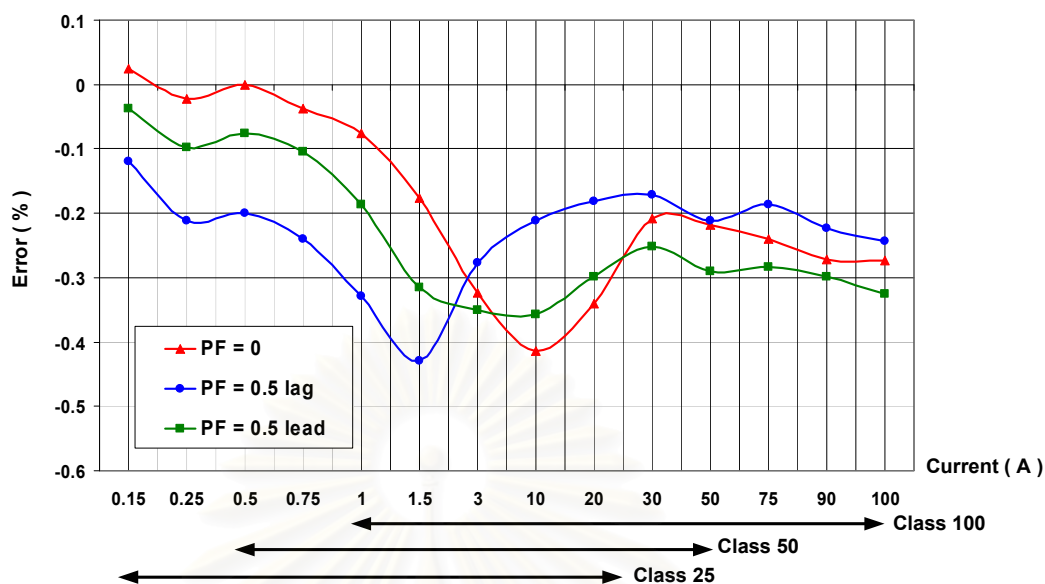
รูปที่ 6.10 ผลการทดสอบความแม่นยำเมื่อจ่ายแรงดันสมดุลและจ่ายกระแสเฉพาะเฟส C เงื่อนไขการทดสอบภายใต้โหลดกระแสไม่สมดุล โดยมีแรงดันสมดุล 3 เฟส เป็นการทดสอบที่มีการจ่ายกระแสเฉพาะเฟส C จะเห็นได้ว่าผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



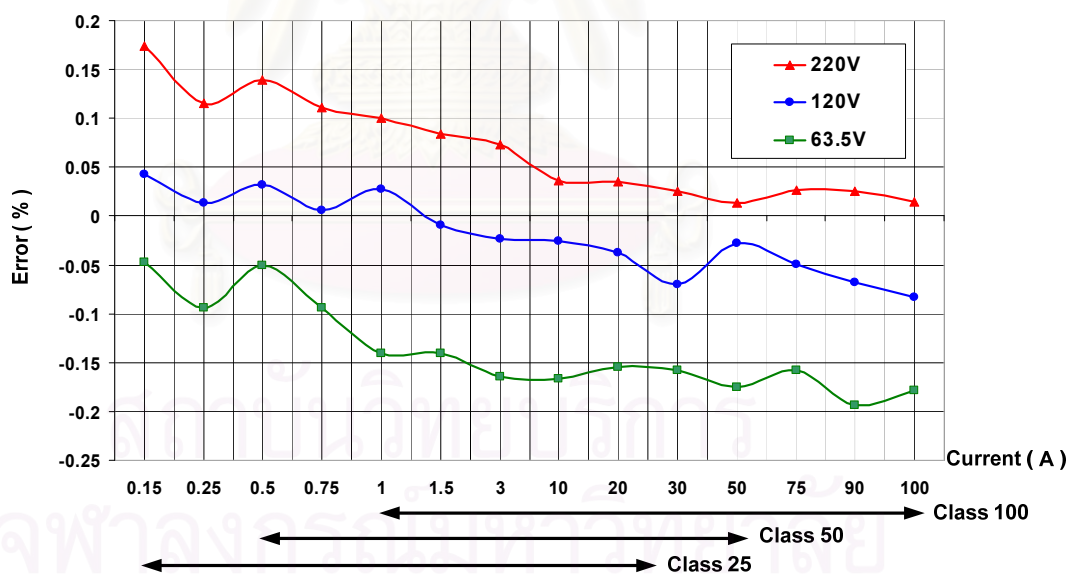
รูปที่ 6.11 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 220 โวลต์
เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 220 โวลต์
สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



รูปที่ 6.12 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 120 โวลต์
เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 120 โวลต์
สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20

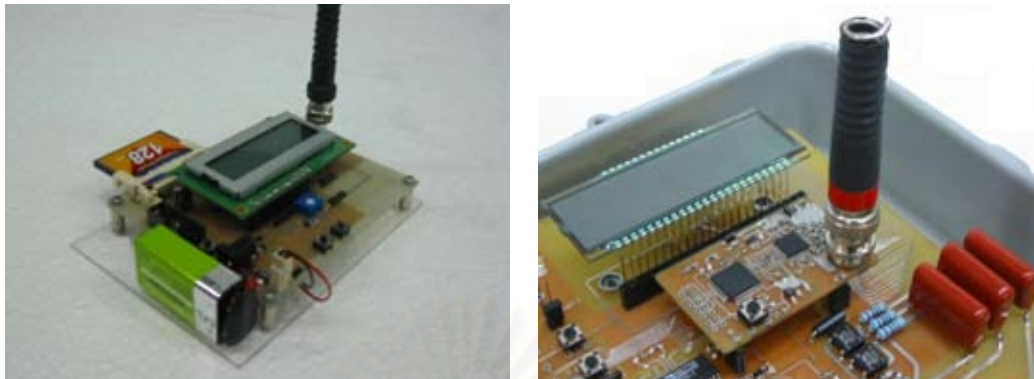


รูปที่ 6.13 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟเมื่อแรงดันของระบบมีค่า 63.5 โวลต์
เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของพลังงานรีแอกทีฟภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 63.5 โวลต์
สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20



รูปที่ 6.14 ผลการทดสอบความแม่นยำของพลังงานปรากฏเมื่อแรงดันของระบบมีค่าต่าง ๆ
เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของพลังงานปรากฏภายใต้สภาวะแรงดันระบบมีค่าเป็น 220 โวลต์,
120 โวลต์ และ 63.5 โวลต์ สามารถผ่านความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20

6.2 การทดสอบการรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุของอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุ



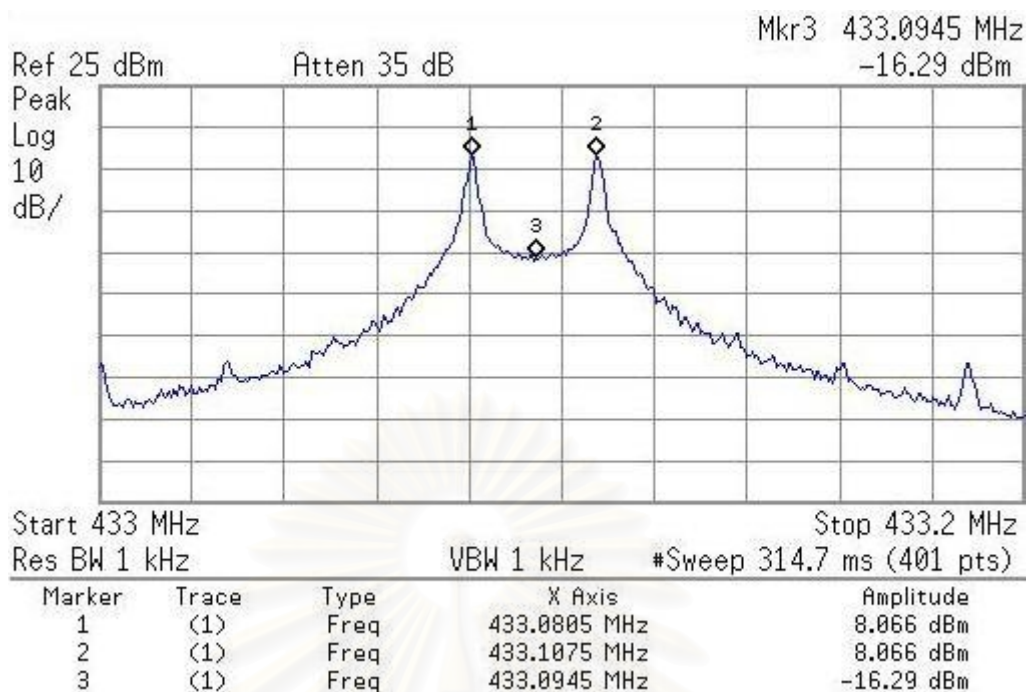
รูปที่ 6.15 ภาพถ่ายอุปกรณ์มือถือและมอดูลคลื่นวิทยุสำหรับติดกับมิเตอร์ที่ถูกทำการพัฒนาขึ้น

อุปกรณ์มือถือถูกพัฒนาขึ้นดังแสดงภาพถ่ายในรูปที่ 6.15 (ซ้าย) เพื่อใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์ที่ถูกพัฒนาให้มีมอดูลคลื่นวิทยุประกอบติดอยู่ดังแสดงภาพถ่ายในรูปที่ 6.15 (ขวา) การทดสอบการรับส่งสัญญาณของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุจำเป็นต้องมีการทดสอบค่าทางด้านกายภาพของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ ได้แก่ ค่ากำลังด้านออกและค่าความไว สามารถทดสอบได้ผลดังนี้

6.2.1 กำลังด้านออก (Output Power)

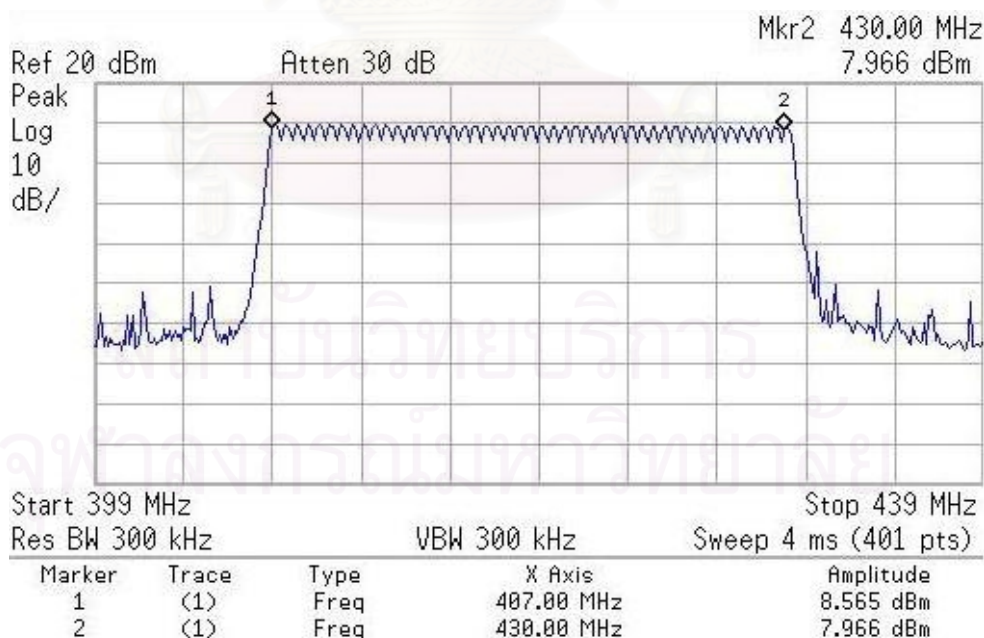
การทดสอบค่ากำลังด้านออกสูงสุดทำการวัดโดยใช้เครื่อง Spectrum Analyzer ของบริษัท Agilent รุ่น E4402B เนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ด้านออกของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ได้ออกแบบมาเป็น 50Ω ตรงกับค่าอิมพีแดนซ์ด้านเข้าของเครื่อง Spectrum Analyzer ดังนั้นในการวัดค่ากำลังด้านออกของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุสามารถทำได้โดยต่อสายระหว่างหัวเส้าอากาศของอุปกรณ์ทั้งสอง โดยไม่จำเป็นต้องใช้เส้าอากาศในการทดสอบ ทำให้สามารถรู้กำลังด้านออกที่แท้จริงของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาได้

การทดสอบจะกำหนดให้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุทำงานที่ความถี่พาห้ 433 MHz ความแตกต่างของความถี่กำหนดไว้ที่ 14.4 kHz เพื่อให้เห็นตำแหน่งของความถี่ '1' และ '0' อย่างชัดเจน จะทำการส่งข้อมูลออกมาในลักษณะ low – High (ส่งค่า 0x5555 ตลอดเวลา) ที่อัตราการส่งข้อมูล 28.8 kbps ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง Spectrum Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 6.16 Marker 1 คือตำแหน่งความถี่ในขณะ Output ให้ค่า '0' , Marker 2 คือตำแหน่งความถี่ในขณะ Output ให้ค่า '1' ในขณะ Marker 3 เป็นตำแหน่งของความถี่พาห้ ค่ากำลังด้านออกสูงสุดที่ได้จากการวัดอยู่ที่ 8 dBm โดยต่ำกว่าค่าที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ (10 dBm) เนื่องจากมีการสูญเสียในสายส่งระหว่างการวัด รวมทั้งการสูญเสียระหว่างสายทองแดงกับวงจรเส้าอากาศ



รูปที่ 6.16 กำลังด้านออกของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา

ผลการทดสอบกำลังด้านออกเมื่อมีการใช้งานแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ ที่ได้จากเครื่อง Spectrum Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 6.17 จะเห็นได้ว่าการแผ่ของสเปกตรัมไปทั่วทั้งย่านความถี่ที่มีการใช้งาน โดยการเปลี่ยนตำแหน่งความถี่จะทำในช่วง 407 – 430 MHz แต่ละความถี่จะมีค่าต่างกันอยู่ 500 kHz Marker 1 แสดงตำแหน่งความถี่ที่ 407 MHz และ Marker 2 แสดงตำแหน่งความถี่ที่ 430 MHz

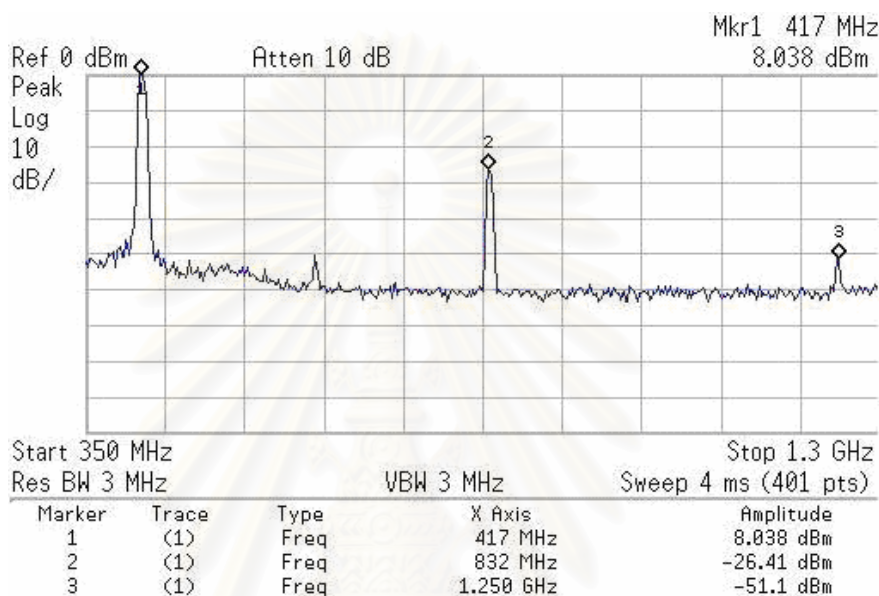


รูปที่ 6.17 สเปกตรัมเมื่อมีการใช้งานแบบสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

ตาม FCC rule, part 15 [22] ได้มีการกำหนดค่าความถี่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 2 และที่ 3 ของการทำสเปกตรัมแผ่ชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ ไว้ที่ 30 และ 50 dBc ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบค่าฮาร์มอนิกลำดับที่ 2

และลำดับที่ 3 ในขณะที่อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุทำการส่งข้อมูล ผลการทดสอบซึ่งได้จากเครื่อง Spectrum Analyzer ดังแสดงในรูปที่ 6.18 Marker 1 แสดงกำลังด้านออกในตำแหน่งความถี่พาห้ 417 MHz เป็นตำแหน่งความถี่ที่ใช้ในการกระโดดเปลี่ยนความถี่ของระบบ ส่วน Marker 2 แสดงกำลังด้านออกในตำแหน่งความถี่ฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 ของความถี่พาห้ ซึ่งตรงกับตำแหน่งความถี่ 832 MHz และ Marker 3 แสดงกำลังด้านออกในตำแหน่งความถี่ฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของความถี่พาห้ซึ่งตรงกับตำแหน่งความถี่ 1.25 GHz

จากผลการทดสอบทำให้ได้ค่ากำลังด้านออกของฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 และที่ 3 เทียบกับค่ากำลังด้านออกของความถี่พาห้เป็น 34 dBc และ 59 dBc ตามลำดับ ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดของ FCC



รูปที่ 6.18 กำลังด้านออกของความถี่ฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 และที่ 3

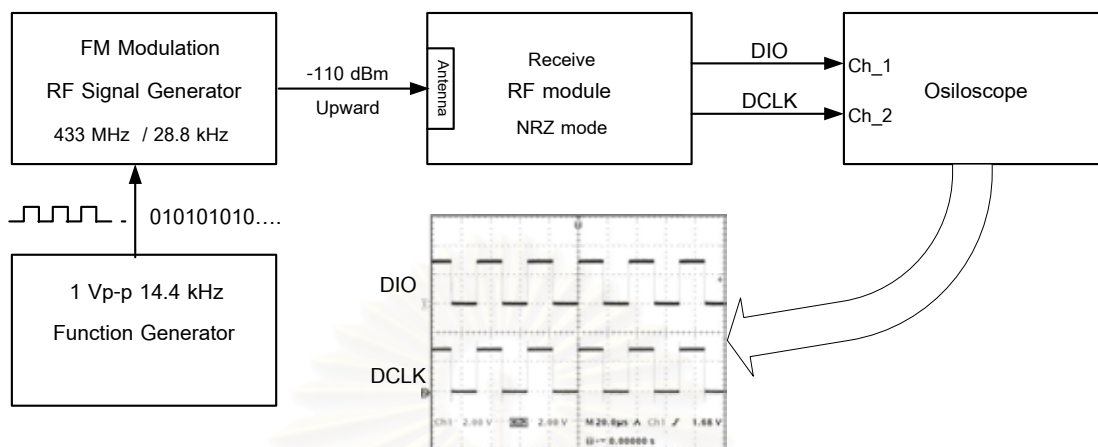
6.2.2 ความไว (Sensitivity)

ค่าความไวของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุจะเป็นตัวกำหนดว่า อุปกรณ์ในภาครับนั้นมีความสามารถในการรับข้อมูลได้ดีเพียงใด ค่าความไวจะขึ้นอยู่กับความถี่พาห้ที่ใช้และอัตราการส่งข้อมูลในขณะที่ทำการรับส่งข้อมูล

การทดสอบความไวของภาครับสามารถทดสอบได้โดยการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุของบริษัท Rohde & Schwarz รุ่น E-L03 ในการกำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่พาห้ 433 MHz และมีการมอดูเลตความถี่ที่อัตราการส่งข้อมูล 28.8 kHz โดยใช้สัญญาณขาเข้าจาก Function Generator ที่ป้อนสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมขนาด 1 Vp-p และมีความถี่ 14.4 kHz เพื่อให้ได้คลื่นวิทยุตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 6.19 คลื่นวิทยุที่ออกมาจะนำไปต่อตรงเข้ากับอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งมีการสั่งงานให้ทำงานเป็นภาครับและมีการเข้ารหัสแบบ Non-Return-Zero โดยจะมีการนำสัญญาณด้านออกจากอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุสองสัญญาณด้วยกันคือ DIO ซึ่งเป็นสัญญาณของข้อมูลที่สามารถรับมาได้จากภาครับของตัวอุปกรณ์ และ DCLK ซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาที่จะออกมาพร้อมกัน สัญญาณทั้งสองจะถูกนำไปเข้าออสซิลโลสโคปที่ช่องสัญญาณหนึ่ง และสอง ตามลำดับ

ในการทดสอบเมื่อเริ่มต้นจะกำหนดให้เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุส่งค่าออกมาที่กำลังด้านออก -110 dBm และทำการเพิ่มค่ากำลังด้านออกขึ้นไปจนกระทั่งมีสัญญาณปรากฏขึ้นที่หน้าจอของออสซิลโลสโคป

สัญญาณที่ปรากฏจะเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่เดียวกับที่ป้อนให้กับอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ ซึ่งค่ากำลังที่ทำให้เกิดสัญญาณออกมาจะเป็นค่าความไวของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ได้ทำการออกแบบมา



รูปที่ 6.19 การทดสอบค่าความไวของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุ

จากการทดสอบจะเห็นว่าความไวของอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ออกแบบขึ้นมาี้มีความไวอยู่ที่ -93 dBm ความไวที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ (-108 dBm) เนื่องจากในการทดสอบรับส่งข้อมูลค่าความไวที่ตั้งไว้ต่ำที่สุดจะทำให้ภาครับถูกรบกวนจาก Ground Noise ส่งผลให้ Carrier Sense ของวงจรรวม CC1021 ทำงานผิดพลาด ดังนั้นเพื่อเป็นการขจัดปัญหานี้จึงทำการตั้งระดับ Carrier Sense Level ไว้ต่ำกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดไว้

6.2.3 การทดสอบระยะปฏิบัติการ

การทดสอบระยะปฏิบัติการของระบบอ่านค่ามิเตอร์ด้วยคลื่นวิทยุ นั้น ได้จำลองการทดสอบที่ค่ากำลังด้านออกต่าง ๆ กัน ที่ระยะเปิด (ไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ ระหว่างอุปกรณ์มีอ็ถือและมิเตอร์) โดยสามารถกำหนดค่ากำลังด้านออกจากการปรับรีจิสเตอร์ภายในวงจรรวม CC1021 จะได้ระยะปฏิบัติการที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ถูกต้อง และมีการคำนวณค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator) ที่ภาครับของอุปกรณ์รับส่งข้อมูล โดยเป็นค่าระดับกำลังที่ภาครับสามารถรับได้อยู่ในขณะนั้น ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระยะปฏิบัติการและค่า RSSI ที่กำลังด้านออกต่าง ๆ กัน

Power (dBm)	Range (เมตร)	RSSI value (dBm)
8 (Max)	60	-103
5	52	-100
0	41	-98
-5	32	-104
-10	28	-106
-15	22	-102
-20	16	-104
-28 (Min)	7	-103

ในการนำไปใช้งานจริงจะกำหนดค่ากำลังด้านออกที่กำลังสูงสุดเสมอ ซึ่งผลจากการทดสอบระยะทางที่ค่ากำลังต่าง ๆ ทำให้สามารถคาดคะเนระยะปฏิบัติการในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ จากคำนวณหาค่า Link Budget เพื่อจะทำนายระยะปฏิบัติการในสิ่งกีดขวางต่าง ๆ โดยสมการในการคำนวณหาค่า Link Budget อย่างคร่าว ๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 6.2

$$\text{Link Budget} = \text{Power_TX} + \text{Link Gain} - \text{Sensitivity_RX} - \text{Link Margin} \quad \text{สมการที่ 6.2}$$

- Power_TX คือ กำลังด้านออก ของอุปกรณ์ตัวส่งข้อมูล
- Link Gain คือ ค่าขยายกำลังของอุปกรณ์ตัวรับและตัวส่ง
- Sensitivity_RX คือ ค่าความไวของอุปกรณ์ตัวรับข้อมูล
- Link Margin คือ ค่ากำลังที่สูญเสียไประหว่างอุปกรณ์ตัวรับและตัวส่งเนื่องจากเสาอากาศ หรือ สภาพแวดล้อมต่าง ๆ

การวิเคราะห์ Link Budget สามารถคำนวณคร่าว ๆ ได้ดังนี้

- ถ้า Link Budget มีค่าเป็น 120 dB จะให้ระยะทางในการส่งข้อมูลเป็น 2000 เมตร ณ.ที่ความถี่ 433 MHz
- ถ้า Link Budget มีค่าเพิ่ม 6 dB ระยะทางจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า
- ถ้า Link Budget มีค่าลดลง 6 dB ระยะทางจะลดลง 2 เท่า
- ถ้าความถี่ที่ใช้งานเพิ่มขึ้นเท่าตัวโดยที่ Link Budget มีค่าเท่าเดิม ระยะทางในการส่งข้อมูลจะลดลง 2 เท่า

ผลการทดสอบค่ากำลังด้านออก และค่าความไวดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 6.2.1 และ 6.2.2 จะได้ว่า Link Budget มีค่าประมาณ 100 dB (ไม่คิดค่า Link Margin) ซึ่งสามารถคำนวณระยะทางสูงสุดได้ที่ 125 เมตร แต่ถ้ามีการนำ Link Margin มาคิดด้วย โดยการลดทอนในระบบที่ได้ทำการออกแบบจะเกิดจาก ลักษณะของเสาอากาศ (Antenna Solution) และกล่องใส่ไมเตอร์ซึ่งเป็นอุปสรรคในการรับส่งคลื่นวิทยุ โดยจากระยะทางที่ได้ในการทดสอบค่ากำลังด้านออกสูงสุดนั้นทำให้สามารถประมาณค่า Link Margin ได้ว่ามีค่าประมาณ 10 – 15 dB

ในการนำระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติไปใช้งานนั้น อาจมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อยู่ระหว่างตัวมิเตอร์ และอุปกรณ์มือถือ สิ่งกีดขวางต่าง ๆ อาจจะมีอยู่ในรูปแบบของผนังห้อง คอนกรีต หรือเหล็ก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าของ Link Margin ให้กับระบบดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบด้วยการลดค่ากำลังด้านออกที่ระดับต่าง ๆ การลดค่ากำลังด้านออกนี้จะเหมือนกับการเพิ่มค่า Link Margin ของระบบให้สูงขึ้นเมื่อเจอกับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ โดยที่ลักษณะการลดทอนของสัญญาณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.2 [23] ทำให้สามารถคาดคะเนระยะปฏิบัติการได้ตามสิ่งกีดขวางที่อยู่ในสถานการณ์นั้น ๆ

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุปสรรคที่ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง

สิ่งกีดขวางของคลื่นวิทยุ (RF Barrier)	การลดทอนของสัญญาณ (Relative degree of Attenuation)	ตัวอย่าง
ไม้ (Wood)	ต่ำ	ผนังกันสำนักงาน
วัสดุสังเคราะห์ (Synthetic Material)	ต่ำ	ผนังกันสำนักงาน
แร่ใยหิน (Asbestos)	ต่ำ	เพดาน
กระจก (Glass)	ต่ำ	หน้าต่าง
น้ำ (Water)	ปานกลาง	ไม้ที่เปียก, ตู้ปลา
อิฐ (Bricks)	ปานกลาง	กำแพงอิฐ
หินอ่อน (Marble)	ปานกลาง	กำแพงภายในบ้าน
กระดาษ (Paper)	มาก	ม้วนกระดาษ
คอนกรีต (Concrete)	มาก	พื้นและกำแพงบ้าน
กระจกกันกระสุน (Bullet-proof glass)	มาก	ตู้รักษาความปลอดภัย
เหล็ก (Metal)	มากที่สุด	โต๊ะเหล็ก, ผนังเหล็กที่ทำงาน, คอนกรีตเสริมเหล็ก, ตู้เหล็ก

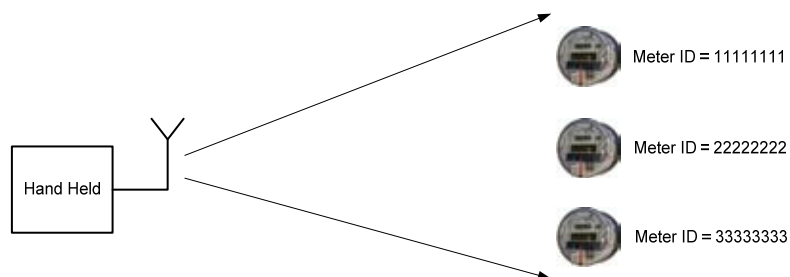
จากผลการทดสอบระยะปฏิบัติการที่ระดับกำลังด้านออกต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.2 ทำให้ทราบถึงแนวโน้มในการนำไปใช้งานจริง เมื่อต้องไปใช้กับมิเตอร์ที่อยู่ในที่ไม่สามารถเข้าถึงได้และมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อยู่ระหว่างอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์และตัวมิเตอร์ เช่น หากมิเตอร์อยู่ในตู้เหล็กซึ่งมีการลดทอนของสัญญาณมาก ที่สุดระยะที่สามารถปฏิบัติการได้อาจอยู่ระหว่าง 7 - 16 เมตร เป็นต้น

6.3 การทดสอบการอ่านค่าจากมิเตอร์

การทดสอบการทำงานของระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นจำเป็นต้องนำอุปกรณ์มือถือมาทำการทดสอบอ่านค่าจากมิเตอร์ด้วย นอกจากนี้ยังต้องเฝ้าดูกลุ่มข้อมูล (Packet monitoring) ต่าง ๆ ในขณะที่อุปกรณ์มือถือกำลังสื่อสารกับมิเตอร์เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรโตคอล

6.3.1 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์

.ในการทดสอบการอ่านค่าจะทำการอ่านค่าจากมิเตอร์ที่อยู่ใกล้กันจำนวน 3 ตัว โดยมีเตอร์แต่ละตัวจะมี ID เป็น 11111111, 22222222 และ 33333333 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.20 แล้วกดปุ่ม Enter ในโหมดการทำงานอ่านค่า เพื่อส่งอ่านข้อมูลทั่วไปจากมิเตอร์

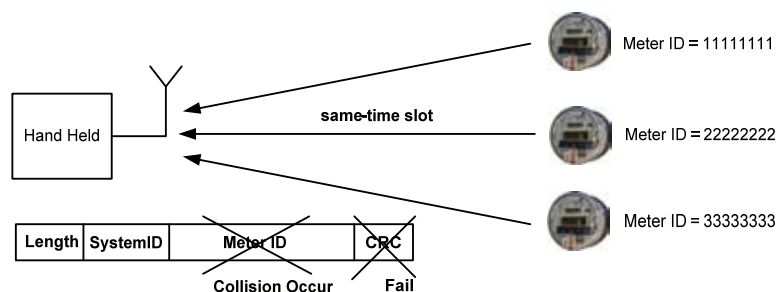


รูปที่ 6.20 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์

เพื่อทดสอบการทำงานของโปรโตคอลในกระบวนการต่างๆ ที่ได้ออกแบบเอาไว้ ผลการทดสอบนั้นสามารถดูค่าที่ได้จาก TX_Buffer, RX_Buffer และค่าความถี่ที่ใช้ในการทำงานในขณะนั้น ของโปรแกรมที่ได้มีการเขียนไว้ โดยใช้สัญลักษณ์ “->” แทนข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากตัวอุปกรณ์มือถือ ใช้ “<-” แทนข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากมิเตอร์ และใช้เลขฐานสิบหกในการแสดงผล

- เริ่มต้นขบวนการซึ่งใคร่ในซ์
----- ตำแหน่งความถี่แรกเป็นตำแหน่งที่สอดคล้องกับเดือนนั้น -----
- > 02 47 09 6F 38 (อุปกรณ์มือถือส่งค่าหมายเลขประจำระบบและค่าตำแหน่งความถี่แรกที่จะมีการกระโดดเปลี่ยนความถี่ซึ่งได้มากจากการสุ่มค่าในตารางความถี่)
- เริ่มต้นการขบวนการกระโดดเปลี่ยนความถี่
----- ตำแหน่งความถี่ที่ 9 ซึ่งได้มาจากการสุ่มค่าในตารางความถี่ -----
- > 02 C7 44 D9 24 (บ๊อคอน : ร้องขอการส่งข้อมูลจากมิเตอร์แต่ละตัว)
- <- 09 4C 02 02 02 02 02 02 02 02 1D F0 (มิเตอร์ส่งค่าหมายเลขประจำระบบ และหมายเลขมิเตอร์ให้กับมาสเตอร์)
----- ตำแหน่งความถี่ ที่ 12 ตามตารางความถี่ -----
- > 04 C7 22 20 00 9E 23 (บ๊อคอน : กระบวนการ Identificaion)
- <- 0A EE 00 00 00 05 00 00 01 00 00 C0 67 (มิเตอร์ส่งค่าเวอร์ชันของโปรโตคอลกลับมา)
----- ตำแหน่งความถี่ ที่ 15 ตามตารางความถี่ -----
- > 04 C7 A2 50 00 D9 C7 (บ๊อคอน : กระบวนการลงบันทึกเปิด)
- > 0D 50 00 03 52 65 61 64 20 57 72 69 74 41 C6 (เริ่มกระบวนการลงบันทึกเปิดโดยอุปกรณ์มือถือ ส่งหมายเลข และชื่อของ ผู้ใช้ ออกไป)
- <- 06 EE 00 00 00 01 00 36 5B (มิเตอร์ตอบตกลง)
----- ตำแหน่งความถี่ ที่ 18 ตามตารางความถี่ -----
- > 04 C7 A2 51 00 21 D7 (บ๊อคอน : กระบวนการความปลอดภัย)
- > 15 51 A8 8F C2 72 07 4D F0 2F 68 41 59 D4 4B 43 11 75 65 60 F3 AB 41 5A (เริ่มกระบวนการความปลอดภัยโดยการส่งรหัสลับ ขนาด 20 ไบต์)
- <- 06 EE 00 00 00 01 00 36 5B (มิเตอร์ตอบตกลง)
----- ตำแหน่งความถี่ ที่ 21 ตามตารางความถี่ -----
- > 04 C7 22 20 01 3C 76 (บ๊อคอน : กระบวนการอ่านค่าตามตารางหมายเลข1)

รับกลุ่มข้อมูลดังกล่าวเข้ามาในระบบ โดยจะทำการร้องขอหมายเลขประจำมิเตอร์อีกครั้งในการ Hop ครั้งต่อไป แทน



รูปที่ 6.21 ตัวอย่างการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองระหว่างมิเตอร์

- กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์

----- ตำแหน่งความถี่ ที่ 9 ตามตารางความถี่ -----

-> 02 C7 44 D9 24 (อุปกรณ์มือถือส่งปีคอนร้องขอการส่งข้อมูลจากมิเตอร์แต่ละตัว)

<- 09 4C 38 2D 67 E8 34 15 98 E4 6D 8B (กลุ่มข้อมูลที่เกิดการชนกันของระหว่างข้อมูลที่ถูกส่งมาจากมิเตอร์ทั้ง 3 ตัว เกิดข้อผิดพลาดของค่าซีอาร์ซี)

----- ตำแหน่งความถี่ ที่ 12 ตามตารางความถี่ -----

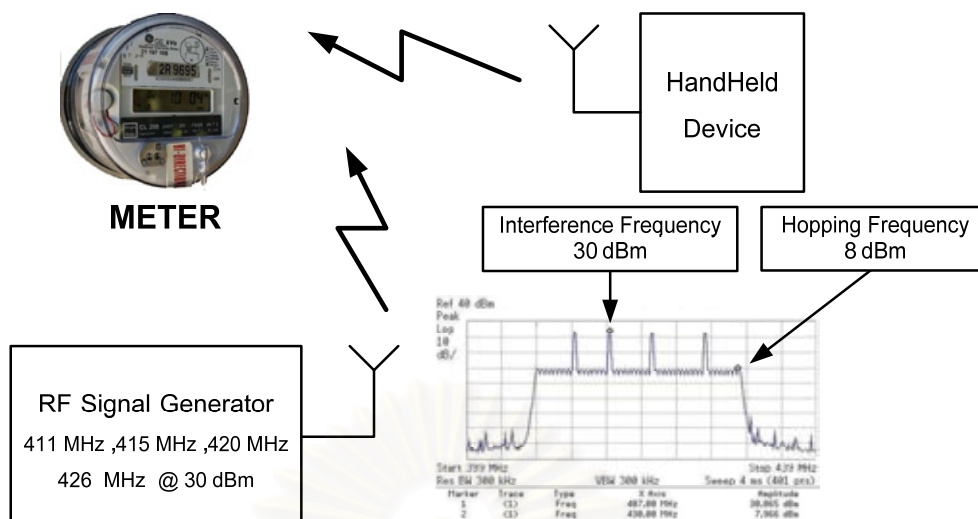
<- 02 C7 44 D9 24 (มาสเตอร์ส่งปีคอนร้องขอการส่งข้อมูลจากมิเตอร์แต่ละตัวอีกครั้ง)

เมื่อสามารถรับหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ที่ต้องการแล้วก็จะดำเนินการตามหัวข้อที่ 6.3.1 ต่อไป

ผลการทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ทั้ง 3 ตัวทั้งในกรณีที่ไม่มีและมีการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ เป็นไปตามโพรโทคอลที่ได้กล่าวไว้ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.1.3

6.3.3 การทดสอบในที่ ๆ มีคลื่นวิทยุอื่นที่รุนแรงกว่ารบกวนอยู่

ในการนำอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุไปใช้งานนั้น เนื่องจากช่วงความถี่ที่ใช้เป็นความถี่ที่บุคคลทั่วไปสามารถใช้งานได้ (ISM Band) ดังนั้นในการสื่อสารข้อมูลอาจจะถูกรบกวนโดยระบบอื่นที่อยู่ใกล้เคียง จึงได้ออกแบบระบบทดสอบการทำงานในสถานการณ์ที่มีคลื่นวิทยุอื่นที่มีกำลังส่งที่สูงกว่า อยู่ด้วยโดยจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบอื่นจากเครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งได้ส่งคลื่นวิทยุที่มีกำลัง 30 dBm โดยมีการเปลี่ยนความถี่ทั้งหมด 4 ค่าด้วยกันคือ 411 MHz, 415 MHz, 420 MHz และ 426 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่อยู่ในระบบการทำงานของอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 6.22



รูปที่ 6.22 การทดสอบการทำงานของระบบในที่ ๆ มีคลื่นวิทยุอื่นรบกวนอยู่

การทดสอบการรับส่งข้อมูลยังเป็นไปได้ปกติ แม้ว่าจะมีความถี่อื่นที่มีความแรงของสัญญาณมากกว่า ค่ากำลังด้านออกของระบบมารบกวนอยู่ตลอดเวลาก็ตาม เนื่องจากการทำงานของระบบมีการเปลี่ยนค่าความถี่ไปทุก ๆ 120 มิลลิวินาที ถ้าระบบทำงานตรงกับความถี่ที่มารบกวนซึ่งมีกำลังที่สูงกว่ามาก ระบบจะไม่สามารถรับกลุ่มข้อมูลบิตคอนได้ ดังนั้นที่ความถี่นั้นจะไม่มีขบวนการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้น และเมื่อครบเวลาที่กำหนดก็จะเปลี่ยนไปทำงานที่ความถี่อื่นจนกว่าจะได้รับกลุ่มข้อมูลบิตคอนที่ความถี่นั้น ๆ ต่อไป

จากผลการทดสอบ ดังนั้นจึงสามารถนำอุปกรณ์มือถือ ไปใช้งานได้ในสถานที่ซึ่งมีการใช้ความถี่อยู่ในช่วงการกระโดดเปลี่ยนความถี่ของระบบได้อย่างถูกต้อง

6.4 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ที่มีความแม่นยำระดับ 0.2 ตามมาตรฐาน ANSI C12.20-1998 และสามารถตั้งค่ามิเตอร์เพื่อที่จะไปใช้กับพิกัดกระแส และ พิกัดแรงดันค่าต่าง ๆ นอกจากนี้มิเตอร์ยังสามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติด้วยคลื่นวิทยุ โดยใช้มอดูเลชันคลื่นวิทยุที่ได้ทำการออกแบบติดกับตัวมิเตอร์

การทดสอบการทำงานของโปรโตคอลสำหรับสื่อสารกับมิเตอร์แสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลที่ออกแบบขึ้นสามารถใช้ติดต่อกับมิเตอร์ได้จริงและจากที่มีการใช้สเปกตรัมแผ่นชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่ ทำให้การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุมีความปลอดภัยสูง และยังสามารถนำไปใช้ในบริเวณที่มีคลื่นวิทยุอื่นรบกวนอยู่ได้ ข้อมูลที่ทำการบันทึกจากมิเตอร์แต่ละตัวจะถูกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสะดวกต่อไป

6.5 ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากยังมีพื้นที่เหลือไว้สำหรับใช้งานในส่วนของอีอีพรอม ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้มิเตอร์เก็บเหตุการณ์ต่าง ๆ (Event Log) ที่เกิดขึ้นกับตัวมิเตอร์ เช่น การขโมยใช้ไฟ (Anti-Tamper) รวมถึง อาจมีฮาร์ดแวร์ภายนอกมาต่อเพิ่มเพื่อตรวจจับการเปิดกล่องบรรจุมิเตอร์โดยบุคคลผู้ไม่หวังดี
- 2) กล่องบรรจุมิเตอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ ไม่สามารถนำไปใช้ได้กับการใช้งานนอกสถานที่ (Out Door Operation) ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้งานจริงตามนอกสถานที่ ควรมีการเปลี่ยนกล่องบรรจุมิเตอร์ที่มีคุณสมบัติป้องกันแสงแดดและไอน้ำ เพื่อป้องกันวงจรภายในมิเตอร์เสียหาย
- 3) จากการออกแบบมอดูลคลื่นวิทยุ ที่ใช้กับระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ นั้น จะใช้เสาอากาศที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และขั้นตอนในการประกอบตัวมอดูลค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นหากมีการนำไปใช้งานจริงและต้องผลิตเป็นจำนวนมาก ควรเลือกใช้มอดูลคลื่นวิทยุแบบสำเร็จรูปที่ใช้เสาอากาศแบบลูป (Loop Antena) ที่มีจำหน่ายทั่วไป
- 4) โพรโทคอลที่ใช้ในระบบอ่านค่ามิเตอร์แบบอัตโนมัติ ควรเป็นโพรโทคอลที่ได้มาตรฐานสากล เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย โดยมาตรฐานที่แนะนำคือ IEEE802.15.4 (ZigBee) เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันและมีการใช้งานของสเปกตรัมแผ่นชนิด Direct Sequence ในย่านความถี่ 2.4 GHz ที่มีความปลอดภัยของข้อมูลที่สูง และมีการสูญเสียพลังงานที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้สเปกตรัมแผ่นชนิดกระโดดเปลี่ยนความถี่

รายการอ้างอิง

1. กวิน เลขานนท์. การออกแบบมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ 3 เฟส ที่ใช้ในอาคารที่ระดับความแม่นยำ 0.5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
2. IEC687. Alternating current static watt-hour meters for active energy (class 0,2S and 0,5S). 1992.
3. ANSI C12.20 American National Standard. For Electricity Meters 0.2 and 0.5 Accuracy Classes. 1998.
4. พิเศษฐ์ รัตตไพศาล. ต้นแบบระบบอ่านค่าพลังงานจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าโดยอัตโนมัติด้วยแสงอินฟราเรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
5. ANSI C12.18 American National Standard. Protocol Specification for ANSI Type 2 Optical Port. 1996.
6. UK Consultant. Practical problems of using the distribution lines for Automatic Meter Reading[Online]. Available from: <http://www.ero.dk/eroweb/dsi-2/nmr.rtf> [Jun, 2004]
7. Dan Kranzler, Tutorial on AMR Radio Technology on EET Transmission, Distribution & Metering Conference, 7, Issue: 1 (April 2004)
8. M.K.Simon, J.K. Omura, R.A. Scholtz, B.K. Levitt. Spread Spectrum Communication Handbook. The Institution of Electrical Engineers, 1998.
9. Jonathan Min, Henry Samueli, Synchronization Techniques for a Frequency-Hopped Wireless Transceiver on IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1, 1 (May 1996) :83-107.
10. Texas Instruments Incorporation. Dolphin Frequency Hopping Spread Spectrum[Online]. 2004. Available from: <http://www.ti.com> [Aug, 2004]
11. ISO/IEC3309 International Standard. Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-High level data link control (HDLC) procedures-Frame structure. 1993.
12. Texas Instruments Incorporation. MSP430x43x, MSP430x44x Mixed Signal Microcontroller[Online]. Available from: <http://www.ti.com> [Jul, 2004]
13. Atmel Corporation. AT25256 SPI Serial EEPROMs 256K (32,768 x 8)[Online]. 2002. Available from: <http://www.ti.com> [Apr, 2004]
14. Analog Device. ADE7758 Poly Phase Multifunction Energy Metering IC with per Phase Information[Online]. 2003. Available from: <http://www.ti.com> [Apr 2004]
15. Texas Instruments Incorporation. REF3025 CMOS Voltage Reference[Online]. 2004. Available from: <http://www.ti.com> [Apr, 2004]

16. Chipcon AS. CC1021 Single Chip Low Power RF Transceiver for Narrowband Systems[Online]. 2004. Available from: <http://www.chipcon.com> [Jun, 2004]
17. Texas Instruments Incorporation. MSP430x13x, MSP430x14x Mixed Signal Microcontroller[Online]. Jul 2000. Available from: <http://www.ti.com> [Feb, 2004]
18. SanDisk Corporation. CompactFlash® Memory Card Product Manual[Online]. 2002. Available from: http://www.sandisk.com/industrial_cf_memorycard.html [Aug, 2004]
19. Post and Telegraph Department of Thailand. National Table of Frequency Allocations. December 1999. Available from: <http://www.ptd.go.th> [Jun, 2004]
20. M/A Com Incorporation. SW-756 GaAs SPDT Switch, DC-3.0 GHz[Online]. 2003. Available from: <http://www.macom.com> [Jul, 2004]
21. Kent Smith. Antennas For Low Power Applications[Online]. 2004. Available from: <http://www.rfm.com> [Aug, 2004]
22. Federal Communication Commission. FCC CFR47, Part15[Online]. Aug 1996. Available from: <http://www.fcc.gov/mba/audio/bickel/world-govt-telecom.html> [Oct, 2004]
23. Molta D. Mobile & Wireless Technology. New York: McGrawHill, 2002.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายไชยวัฒน์ ศรีวงศ์เจริญ เกิดเมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2545 ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาการออกแบบและประยุกต์วงจรรวม ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย