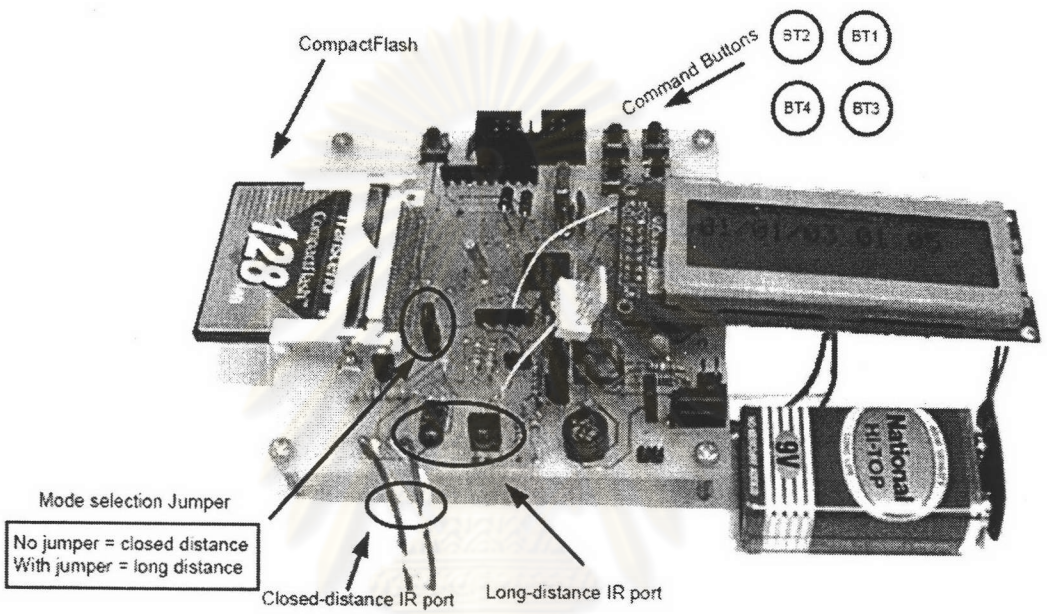
บทที่ 6

การทดสอบและสรุปผล

6.1 การออกแบบระบบทดสอบ



รูปที่ 6.1 ตัวอุปกรณ์มือถือที่ถูกทำการพัฒนาขึ้น

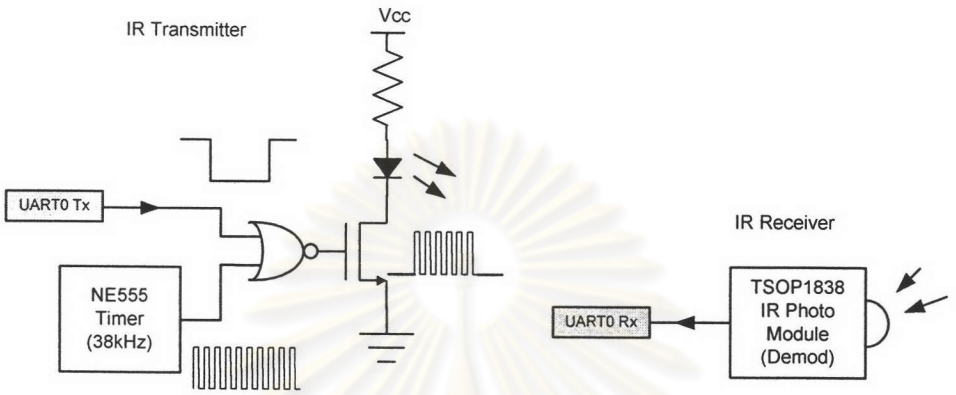
เนื่องจากอุปกรณ์มือถือที่ถูกพัฒนาขึ้นดังรูปที่ 6.1 นั้นถูกนำไปใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งแบบระยะใกล้และระยะไกล ดังนั้นในการทดสอบการทำงานของระบบ AMR ที่พัฒนาขึ้นจึงต้องนำอุปกรณ์มือถือมาทำการทดลองอ่านค่าจากมิเตอร์ตัวจริงดูด้วย นอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเองสำหรับทำหน้าที่ดักอ่านกลุ่มข้อมูล (Packet monitoring) ต่างๆ ในขณะที่อุปกรณ์มือถือกำลังสื่อสารกับมิเตอร์เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของโพรโตคอล รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์มือถือมีดังนี้

6.1.1 มิเตอร์ที่ใช้ทดสอบ

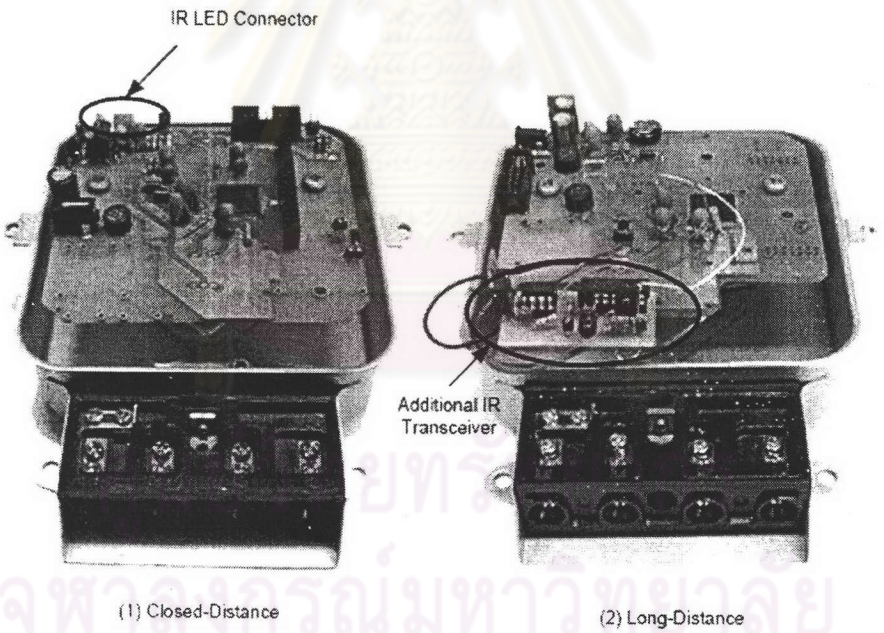
มิเตอร์ที่นำมาใช้ทดสอบกับอุปกรณ์มือถือเป็นมิเตอร์ทีโอยู (TOU Meter) ที่เป็นผลงานการค้นคว้าวิจัยของห้องปฏิบัติการการออกแบบและประยุกต์วงจรรวมเอง อันได้แก่

1) มิเตอร์สำหรับสื่อสารแบบประกบติด ใช้มิเตอร์ทีโอยูที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนของฮาร์ดแวร์ใดๆ และยังคงใช้โพรโตคอลตามมาตรฐาน ANSI C12.8-1996

2) มิเตอร์สำหรับสื่อสารในระยะไกล เป็นมิเตอร์ที่โอยูที่ถูกนำมาดัดแปลงเองในส่วนของพอร์ตอินฟราเรดเพื่อให้สามารถใช้ในการสื่อสารระยะไกลได้โดยการเพิ่มฮาร์ดแวร์ภายนอกเข้าไป ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งคล้ายกับวงจรภาครับส่งระยะไกลบนอุปกรณ์มือถือในรูปที่ 3.5 แต่ต่างกันตรงที่ตัวมิเตอร์จะใช้การมอดูเลตด้วยฮาร์ดแวร์ภายนอกแทน



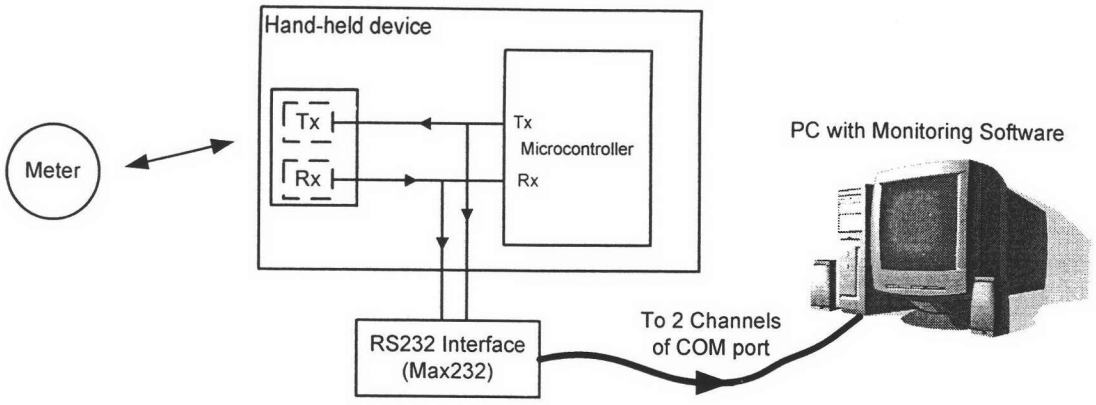
รูปที่ 6.2 วงจรภาครับส่งอินฟราเรดระยะไกลในมิเตอร์



รูปที่ 6.3 มิเตอร์ทั้ง 2 แบบที่ใช้ในการทดสอบ

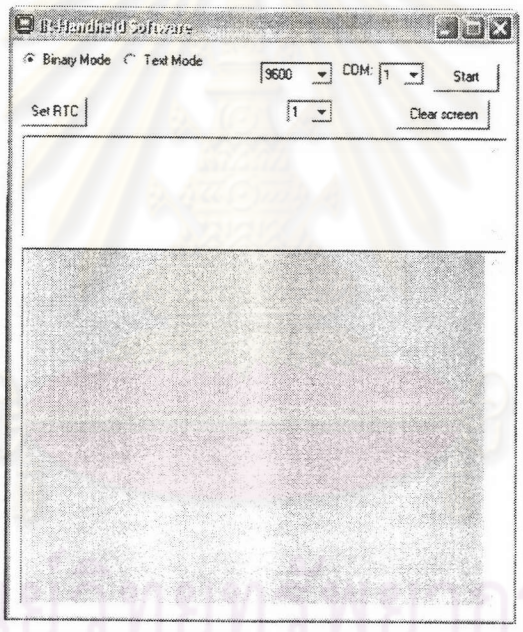
6.1.2 <u>อุปกรณ์และซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการดักอ่านกลุ่มข้อมูล</u>

ใช้เป็นเครื่องมือในการดักอ่านกลุ่มข้อมูลต่างๆ ที่ออกมาจากทั้งทางฝั่งอุปกรณ์มือถือและฝั่งมิเตอร์ ทำให้เกิดความสะดวกในการตรวจสอบความถูกต้องของโพรโตคอลในขั้นตอนต่างๆ การเชื่อมต่ออุปกรณ์และซอฟต์แวร์เพื่อดักอ่านกลุ่มข้อมูลเข้ากับตัวอุปกรณ์มือถือสามารถทำได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ดักอ่านข้อมูลเข้ากับอุปกรณ์มือถือ

ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ของซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ดักอ่านกลุ่มข้อมูลจากทั้งด้านส่งและด้านรับของอุปกรณ์มือถือเป็นดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับดักอ่านกลุ่มข้อมูลจากตัวอุปกรณ์มือถือ

6.2 การทดสอบการอ่านค่าจากมิเตอร์แบบประกบติด

ทำการทดสอบโดยนำพอร์ตอินฟราเรดแบบระยะใกล้บนตัวอุปกรณ์มือถือในรูปที่ 6.1 ไปเชื่อมต่อกับพอร์ตอินฟราเรดของมิเตอร์ตัวที่ใช้การสื่อสารแบบประกบติดในรูปที่ 6.3 แล้วกดปุ่ม BT1 เพื่อสั่งอ่านข้อมูลทั่วไปจากมิเตอร์ พร้อมทั้งใช้อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ดักอ่านต่อพ่วงอยู่ดังในรูปที่ 6.4 ผลของการใช้ซอฟต์แวร์ดักอ่านกลุ่มข้อมูลนี้ทำให้สามารถเห็นการทำงานของโพรโตคอลในกระบวนการต่างๆ ได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้ โดยใช้สัญลักษณ์ "->" แทนข้อมูลที่ถูกส่งออกมา

จากตัวอุปกรณ์มือถือและใช้ "<-" แทนข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากมิเตอร์ และใช้เลขฐานสิบหกในการแสดงผล

-> EE 00 00 00 00 01 **20** 13 10 (เริ่มกระบวนการร้องขอ)

<- 06 EE 00 00 00 00 05 00 00 01 00 00 C6 B5 (มิเตอร์ส่งค่าเวอร์ชันของโพรโตคอลกลับมา)

-> 06 EE 00 20 00 00 0D **50** 27 10 52 65 61 64 20 57 72 69 74 65 20 62 (เริ่มกระบวนการลงบันทึกเปิดโดยการส่งหมายเลข และชื่อของ User ออกไป)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 00 00 00 15 **51** 59 6F 75 20 68 61 76 65 20 66 75 6C 6C 20 41 63 63 65 73 73 5C 8B (เริ่มกระบวนการความปลอดภัยโดยการส่งรหัสผ่าน 20 ไบต์ออกไป)

<- 06 EE 00 00 00 00 01 00 11 31 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 20 00 00 03 **30** 00 01 D6 6E (เริ่มกระบวนการอ่านจากตารางหมายเลข 1)

<- 06 EE 00 20 00 00 2A 00 00 26 03 01 01 01 01 03 14 00 00 00 00 00 00 00 0E 03 01 01 01 01 05 20 00 00 00 00 00 00 00 1C 34 34 34 34 39 39 39 39 D8 F3 A5 (มิเตอร์ส่งข้อมูลที่อยู่ในตารางหมายเลข 1 ออกมา)

-> 06 EE 00 00 00 00 0E **40** 00 10 00 08 03 01 01 01 01 05 20 00 D4 47 8F (เริ่มกระบวนการเขียนวันเวลาลงในตารางข้อมูลหมายเลข 3)

<- 06 EE 00 00 00 00 01 00 11 31 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 20 00 00 01 **21** 0B 61 (เริ่มกระบวนการสิ้นสุด)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 (อุปกรณ์มือถือตอบรับกลุ่มข้อมูลสุดท้าย)

จากผลการทดสอบนี้ทำให้เห็นถึงการทำงานของกระบวนการต่างๆ ของโพรโตคอลซึ่งเป็นไปตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 4.1

6.3 การทดสอบการอ่านค่าจากมิเตอร์ในระยะไกล

ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 6.2 แต่ใช้พอร์ตอินฟราเรดสำหรับสื่อสารกับมิเตอร์ในระยะไกลแทน การทดสอบแต่ละอย่างมีรายละเอียดดังนี้

6.3.1 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 1 ตัว

เพื่อทดสอบการทำงานของโพรโตคอลที่ได้ออกแบบเอาไว้ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.2 ผลการทดสอบโดยใช้ซอฟต์แวร์ดักอ่านข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (เริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **32 32 32 32 32 32 32 32** DA A2 (มิเตอร์ส่งหมายเลขประจำตัว "22222222" กลับมา)

-> 06 **32 32 32 32 32 32 32 32** (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปที่มิเตอร์)

2) ขั้นตอนการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัว

-> EE 00 20 00 00 09 **3C 32 32 32 32 32 32 32 32** F8 5F (เริ่มกระบวนการสร้างช่องทางการสื่อสารกับมิเตอร์หมายเลข "22222222")

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 00 00 00 01 **20** 13 10 (เริ่มกระบวนการร้องขอ)

<- 06 EE 00 00 00 00 05 00 00 01 00 00 C6 B5 (มิเตอร์ส่งค่าเวอร์ชันของโพรโตคอลกลับมา)

-> 06 EE 00 20 00 00 0D **50** 27 10 52 65 61 64 20 57 72 69 74 65 20 62 (เริ่มกระบวนการลงบันทึกเปิดโดยการส่งหมายเลข และชื่อของ User ออกไป)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 00 00 00 01 **3A** C8 AF (เริ่มกระบวนการขอค่าสุ่มจากมิเตอร์)

<- 06 EE 00 00 00 00 05 00 **CF 00 BE 82** 5E 61 (มิเตอร์ส่งค่าสุ่มจำนวน 4 ไบต์กลับมา)

-> 06 EE 00 20 00 00 19 **51** A8 8F C2 72 07 4D F0 2F 68 41 59 D4 4B 43 11 75 65 60 F3 AB 96 A8 BC 2A 19 1E (เริ่มกระบวนการความปลอดภัยโดยการส่งรหัสผ่านขนาด 24 ไบต์ที่ถูกเข้ารหัสด้วยขั้นตอนวิธี Blowfish และใช้โหมด CBC ออกไป)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 00 00 00 03 **30** 00 01 55 0D (เริ่มกระบวนการอ่านจากตารางหมายเลข 1)

<- 06 EE 00 00 00 00 2A 00 00 26 03 01 01 01 01 07 2D 00 00 00 00 00 00 00 22 03 01 01 01 01 22 1B 00 00 00 00 00 00 00 B4 32 32 32 32 32 32 32 32 1B 7C DE (มิเตอร์ส่งข้อมูลที่อยู่ในตารางหมายเลข 1 ออกมา)

-> 06 EE 00 20 00 00 0E **40** 00 10 00 08 03 01 01 01 01 01 12 00 E6 23 39 (เริ่มกระบวนการเขียนวันเวลาลงในตารางข้อมูลหมายเลข 3)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 EE 00 00 00 00 01 **21** 9A 01 (เริ่มกระบวนการสิ้นสุด)

<- 06 EE 00 00 00 00 01 00 11 31 (มิเตอร์ตอบตกลง)

-> 06 (อุปกรณ์มือถือตอบรับกลุ่มข้อมูลสุดท้าย)

3) วนกลับไปเริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์ใหม่ เพื่อหามิเตอร์ตัวอื่นที่อาจยังไม่โดนอ่านข้อมูลออกมาในตอนแรก

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE

<- 06 EE 00 20 00 00 09 00 **32 32 32 32 32 32 32 32** 7A 17 (มิเตอร์ตัวเดิมส่งหมายเลขประจำตัวกลับมา)

-> 06 **32 32 32 32 32 32 32 32** (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปที่มิเตอร์)

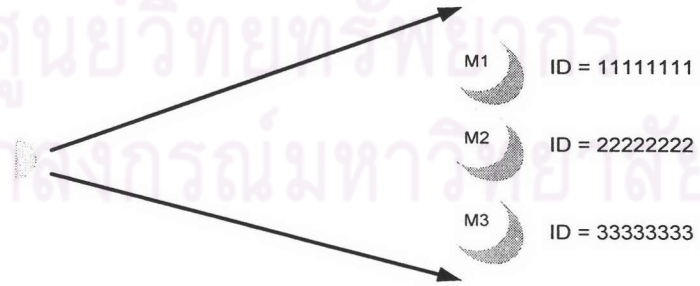
-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (เริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวไปเรื่อยๆ เพื่อหาหมายเลขมิเตอร์ที่ยังไม่ได้อ่านจนกว่าจะเจอตัวใหม่ หรือมีการกดปุ่ม BT3 เพื่อหยุดการทำงาน)

จากขั้นตอนที่ 3) ในกรณีของการอ่านมิเตอร์ในระยะไกลนั้น มิเตอร์ที่ถูกอ่านไปแล้วจะถูกเก็บหมายเลขประจำตัวไว้ในบัฟเฟอร์ของอุปกรณ์มือถือเพื่อป้องกันไม่ให้มีการอ่านข้อมูลซ้ำหลายรอบอันเนื่องจากผลของการวนเริ่มต้นกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวใหม่เพื่อหามิเตอร์ตัวอื่น ดังนั้นมิเตอร์หมายเลข 22222222 ซึ่งเคยถูกอ่านไปแล้วจึงไม่ถูกอ่านซ้ำอีกรอบ และมิเตอร์ก็จะไม่ส่งหมายเลขของมันออกมาใหม่เช่นกันหลังจากที่ได้รับสัญญาณตอบรับแล้วและมีการร้องขอซ้ำ การทำงานของโพรโตคอลนี้จึงเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 5.2

6.3.2 การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 3 ตัวที่อยู่ใกล้กัน

ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับในหัวข้อ 6.3.1 แต่เปลี่ยนมาทดสอบกับมิเตอร์ 3 ตัวแทนซึ่งแต่ละตัวมีหมายเลขประจำตัวดังแสดงในรูปที่ 6.6 ผลการทดสอบเป็นดังนี้



รูปที่ 6.6 การทดสอบการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 3 ตัว

1) กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (เริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัว)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **31 31 31 31 31 31 31 31** 8F 43 (มิเตอร์หมายเลข 1 ส่งหมายเลขประจำตัวมาก่อน)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **32 32 32 32 32 32 32 32** DA A2 (มิเตอร์หมายเลข 2 ส่งหมายเลขประจำตัวกลับมา)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **33 33 33 33 33 33 33 33** E9 FD (มิเตอร์หมายเลข 3 ส่งหมายเลขประจำตัวกลับมาเป็นตัวสุดท้าย)

-> 06 33 33 33 33 33 33 33 33 (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปที่มิเตอร์หมายเลข 3)

-> 06 32 32 32 32 32 32 32 32 (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปที่มิเตอร์หมายเลข 2)

-> 06 31 31 31 31 31 31 31 31 (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปที่มิเตอร์หมายเลข 1)

2) ขั้นตอนการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์แต่ละตัว

จะเหมือนกับในขั้นตอนของการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 1 ตัวทุกประการ เพียงแต่จะทำ 3 รอบเพื่อไล่อ่านมิเตอร์ให้ครบทั้ง 3 ตัวโดยเริ่มจากมิเตอร์หมายเลข 1,2 และ 3 ตามลำดับ

3) วนกลับไปเริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์ใหม่

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (เริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขจากมิเตอร์ใหม่)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **32 32 32 32 32 32 32 32** DA A2 (มิเตอร์ทั้ง 3 ตัวส่งหมายเลขของตัวมันเองกลับมาให้อุปกรณ์มือถือใหม่)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **31 31 31 31 31 31 31 31** 8F 43

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **33 33 33 33 33 33 33 33** E9 FD

-> 06 33 33 33 33 33 33 33 33 (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปให้มิเตอร์ทั้ง 3 ตัว)

-> 06 31 31 31 31 31 31 31 31

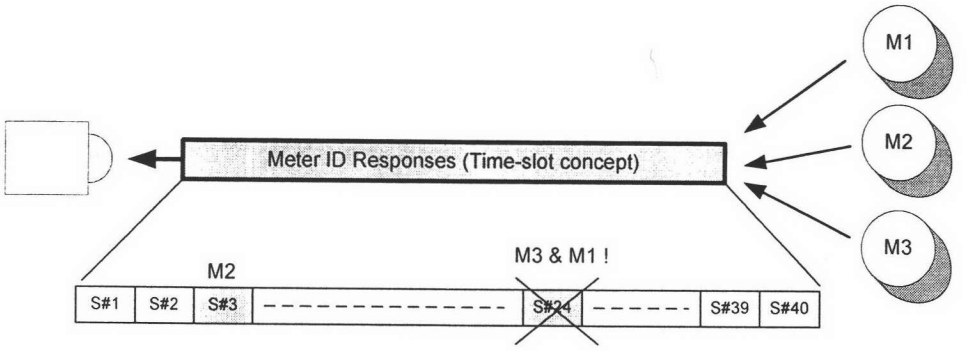
-> 06 32 32 32 32 32 32 32 32

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (วนหาหมายเลขประจำตัวใหม่ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะกดปุ่ม BT3 หรือพบมิเตอร์ตัวใหม่)

6.3.3 <u>การทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ 3 ตัวในกรณีที่ข้อมูลเกิดการชนกัน</u>

เป็นการทดสอบการทำงานของกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์ในกรณีที่มีการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองอันเนื่องจากมิเตอร์อย่างน้อย 2 ตัวส่งข้อมูลออกมาพร้อมกัน (ใช้ Time slot ช่องเดียวกัน) เพราะสุ่มค่าเวลาเริ่มต้นการส่งหมายเลขประจำตัวได้ค่าเดียวกัน โดยบังเอิญดังตัวอย่างในรูปที่ 6.7 ซึ่งเกิดการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองจากมิเตอร์หมายเลข 1 และ 3



รูปที่ 6.7 ตัวอย่างการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองระหว่างมิเตอร์หมายเลข 1 และ 3

1) กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **32 32 32 32 32 32 32 32** DA A2 (มิเตอร์หมายเลข 2 ส่งหมายเลขประจำตัวกลับมาเป็นตัวแรก)

<- 04 EC 00 00 00 00 00 00 21 21 31 22 31 22 30 20 88 C1 (กลุ่มข้อมูลที่เกิดการชนกันระหว่างข้อมูลที่ถูกส่งมาจากมิเตอร์หมายเลข 1 กับ 3)

-> 06 **32 32 32 32 32 32 32 32** (ส่งสัญญาณตอบรับกลับไปให้มิเตอร์หมายเลข 2 ก่อน)

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (ส่งสัญญาณร้องขอหมายเลขมิเตอร์ใหม่อีกครั้งเนื่องจากตรวจพบการชนกันของกลุ่มข้อมูล)

<- 06 EE 00 20 00 00 09 00 **31 31 31 31 31 31 31 31** 2F F6 (มิเตอร์ 2 ตัวที่เหลือส่งหมายเลขประจำตัวกลับมา)

<- 06 EE 00 20 00 00 09 00 **33 33 33 33 33 33 33 33** 49 48

-> 06 **33 33 33 33 33 33 33 33** (ส่งสัญญาณตอบรับให้กับมิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้)

-> 06 **31 31 31 31 31 31 31 31**

2) และ *3)* มีรายละเอียดเหมือนกับในหัวข้อ 6.3.2

ผลการทดสอบอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ทั้ง 3 ตัวทั้งในกรณีที่ไม่มีและมีการชนกันของกลุ่มข้อมูลตอบสนองหมายเลขประจำตัวมิเตอร์ เป็นไปตามโพรโตคอลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2

6.3.4 <u>การทดสอบความปลอดภัยจากการถูกลอบอ่านข้อมูล</u>

ทดสอบโดยการใช้ซอฟต์แวร์ดักอ่านกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่ส่งออกจากอุปกรณ์มือถือมาเก็บไว้ แล้วลอบเอากลุ่มข้อมูลเหล่านี้ส่งผ่านออกไปโดยใช้ซอฟต์แวร์แทนเพื่อทดสอบว่าสามารถผ่านกระบวนการความปลอดภัยไปได้หรือไม่ ผลการทดสอบโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ลักลอบส่งข้อมูลซึ่งถูกดักอ่านมาได้ขณะอุปกรณ์มือถือมีการติดต่อกับมิเตอร์หมายเลข 3 อยู่เป็นดังนี้

1) กระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์

-> EE 00 00 00 00 01 **3B** 41 BE (เริ่มกระบวนการร้องขอหมายเลขประจำตัวจากมิเตอร์)

<- 06 EE 00 00 00 00 09 00 **33 33 33 33 33 33 33 33** E9 FD

-> 06 **33 33 33 33 33 33 33 33**

2) ขั้นตอนการติดต่อสื่อสารกับมิเตอร์หมายเลข 3

-> EE 00 20 00 00 09 **3C 33 33 33 33 33 33 33 33** CB 00 (สร้างช่องทางการติดต่อกับมิเตอร์หมายเลข 3)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51

-> 06 EE 00 00 00 00 01 **20** 13 10

<- 06 EE 00 00 00 00 05 00 00 01 00 00 C6 B5

-> 06 EE 00 20 00 00 0D **50** 27 10 52 65 61 64 20 57 72 69 74 65 20 62

<- 06 EE 00 20 00 00 01 00 80 51

-> 06 EE 00 00 00 00 01 **3A** C8 AF

<- 06 EE 00 00 00 00 05 00 0D 00 0B 4A 63 6D

-> 06 EE 00 20 00 00 19 **51** 4F 60 A2 C5 9C 35 FA B5 5B 29 AD C3 03 8D 1E A9 24 BA A2 A4 FA AB BE 6D 68 76 (ซอฟต์แวร์ส่งรหัสผ่านที่ลอบอ่านมาได้จากการติดต่อครั้งก่อนออกไปให้มิเตอร์)

<- 06 EE 00 20 00 00 01 **03** 1B 63 (มิเตอร์ตอบปฏิเสธการร้องขอเนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัยด้วยการส่งรหัส 03 กลับมาแสดงว่ารหัสผ่านไม่ถูกต้อง)

-> 06 EE 00 00 00 00 03 **30** 00 01 55 0D (ซอฟต์แวร์พยายามร้องขออ่านข้อมูลจากมิเตอร์)

<- 06 EE 00 00 00 00 01 **0A** 4B 9E (มิเตอร์ตอบปฏิเสธเนื่องจากกระบวนการความปลอดภัยไม่ผ่านด้วยการส่งรหัส 0A กลับมาแสดงว่าขั้นตอนการทำงานไม่ถูกต้อง)

จากผลการทดสอบโดยการใช้ซอฟต์แวร์ส่งข้อมูลที่ลอบอ่านมาได้จากครั้งก่อนนั้น ทำให้ไม่สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลลงในตารางข้อมูลใดๆ ในมิเตอร์ได้เนื่องจากไม่ผ่านกระบวนการความปลอดภัยที่มีการนำเอาค่าสุ่มของแต่ละครั้งของการติดต่อมาใช้เข้ารหัสด้วยขั้นตอนวิธี Blowfish ให้กับรหัสผ่านอีกทีนึงด้วย

6.3.5 <u>การทดสอบระยะปฏิบัติการ</u>

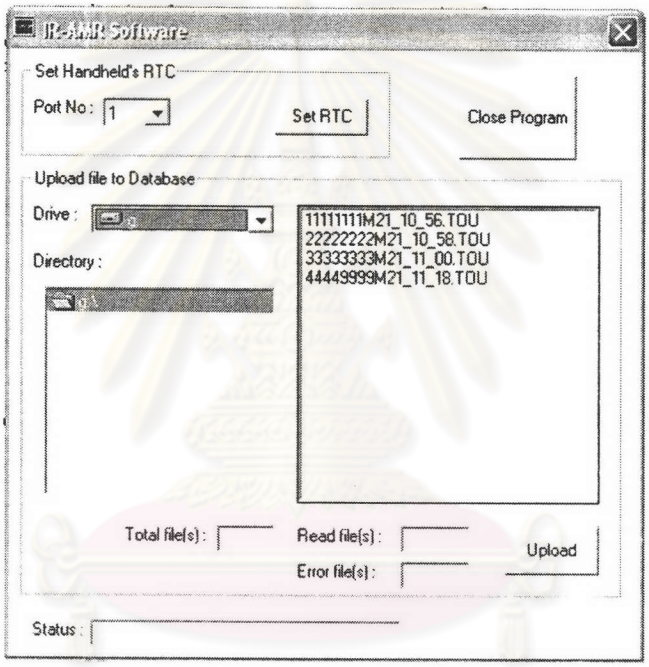
ทำการทดสอบระยะทั้งภายในและภายนอกอาคารได้ผลดังนี้

1) ภายในอาคาร สามารถรับส่งได้ไกลเกินกว่า 12 เมตร

2) ภายนอกอาคาร ในขณะที่ไม่มีแดดสามารถส่งได้ไกลประมาณ 6-7 เมตร และในขณะที่มีแดดจัดสามารถส่งได้ไกลประมาณ 4-5 เมตร

6.4 การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูล

ทำการทดสอบกระบวนการถ่ายโอนข้อมูลจากคอมแพคแฟลชลงในฐานข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยการทดลองอ่านข้อมูลจากมิเตอร์แบบประกบติด 1 ตัว (หมายเลข 44449999) และทดลองอ่านมิเตอร์ในระยะไกลอีก 3 ตัว (หมายเลข 11111111, 22222222 และ 33333333) ดังนั้นจึงได้แฟ้มข้อมูลออกมา 4 แฟ้มอยู่ในคอมแพคแฟลชซึ่งสามารถดูได้จากซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูลดังในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 รายชื่อแฟ้มข้อมูลที่ได้จากการอ่านมิเตอร์

เมื่อกดปุ่ม Upload ซอฟต์แวร์จะทำการไล่อ่านข้อมูลของแต่ละแฟ้มจนหมดเพื่อเก็บบันทึกลงในฐานข้อมูลหรือสร้างเป็นแฟ้มใหม่ขึ้นมา หลังจากที่บันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้วแฟ้มข้อมูลเหล่านี้ก็จะถูกลบหายไป ข้อมูลที่ถูกเก็บเอาไว้ในฐานข้อมูลของ Microsoft Access มีรายละเอียดดังในรูปที่ 6.9

Meter_ID	P_date	P_time	P_Eday	P_Enight	C_date	C_time	C_Eday	C_Enight
11111111	22/3/2547	21:09:54	.005	.007	22/3/2547	21:10:55	.012	.007
22222222	22/3/2547	21:09:51	.003	.009	22/3/2547	21:10:57	.008	.009
33333333	22/3/2547	21:09:49	.003	.005	22/3/2547	21:10:59	.007	.005
44449999	22/3/2547	21:08:53	0	0	22/3/2547	21:11:18	0	0

รูปที่ 6.9 ข้อมูลในฟิลด์ต่างๆ ที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล

นอกจากทำหน้าที่บันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลแล้ว ซอฟต์แวร์ยังได้สร้างแฟ้มข้อมูลขึ้นมาอีกแฟ้มหนึ่งสำหรับนำไปป้อนให้กับระบบคิดค่าไฟที่ใช้งานอยู่ซึ่งมีรูปแบบตามรูปที่ 5.17 รายละเอียดในแฟ้มเนื่องจากการอ่านค่าจากมิเตอร์ทั้ง 4 ตัวเป็นดังในรูปที่ 6.10

```
11111111220304000000220304000000        0000000000000000000000000000001000001000001
22222222220304000000220304000000        0000000000000000000000000000001000001000001
33333333220304000000220304000000        0000000000000000000000000000001000001000001
44449999220304000000220304000000        0000000000000000000000000000001000001000001
```

รูปที่ 6.10 รายละเอียดในแฟ้มข้อมูลที่นำไปป้อนให้กับระบบคิดค่าไฟ

แฟ้มประเภทสุดท้ายที่ซอฟต์แวร์สร้างขึ้นมาคือ แฟ้มรายงานซึ่งถูกสร้างแยกกันสำหรับมิเตอร์แต่ละตัว แฟ้มนี้มีประโยชน์เมื่อต้องการดูรายละเอียดต่างๆของมิเตอร์ตัวนั้นเพียงตัวเดียว และยังสามารถใส่ข้อมูลเพิ่มเติมอื่นๆ ลงไปได้อีกที่ไม่สะดวกที่จะนำไปใส่ไว้ในตารางฐานข้อมูล เช่น วันและช่วงเวลาของไฟดับ หรือตัวบ่งชี้ต่างๆ ในมิเตอร์เป็นต้น รายละเอียดภายในแฟ้มนี้เป็นดังรูปที่ 6.11

```
Meter ID = 22222222
Previous read date = Mon,22/03/04
Previous read time = 21:09:51
Previous On-peak Energy (kWh) = 0000000.003
Previous Off-peak Energy (kWh) = 0000000.009
Current read date = Mon,22/03/04
Current read time = 21:10:57
Current On-peak Energy (kWh) = 0000000.008
Current Off-peak Energy (kWh) = 0000000.009
```

รูปที่ 6.11 รายละเอียดภายในแฟ้มรายงานสำหรับมิเตอร์แต่ละตัว

สำหรับข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟในทุกๆ 15 นาทีของมิเตอร์แต่ละตัวก็จะถูกสร้างออกมาเป็นแต่ละแฟ้มเช่นกัน ซอฟต์แวร์จะทำหน้าที่อ่านค่าพลังงานทั้งหมดจากแฟ้มฐานสอง แล้วคำนวณและใส่ค่าวันเวลาลงไปในแฟ้มเองโดยการบวกเวลาไปทีละ 15 นาที ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.12

```
1/1/2547 0:00:00 65535
1/1/2547 0:15:00 65535
1/1/2547 0:30:00 65535
1/1/2547 0:45:00 65535
1/1/2547 1:00:00 65535
1/1/2547 1:15:00 65535
1/1/2547 1:30:00 65535
```

รูปที่ 6.12 รายละเอียดของแฟ้มที่ใช้เก็บพฤติกรรมการใช้ไฟทุกๆ 15 นาที

6.5 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาระบบ AMR โดยการใช้อุปกรณ์มือถือที่มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการพกพาทำหน้าที่อ่านข้อมูลต่างๆ จากมิเตอร์ร่วมกับซอฟต์แวร์ถ่ายโอนข้อมูลลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเองเช่นกัน

การทดสอบการทำงานของโพรโตคอลสำหรับสื่อสารกับมิเตอร์ในระยะใกล้แสดงให้เห็นว่าโพรโตคอลมีการทำงานที่เป็นไปตามมาตรฐาน ANSI C12.8-1996 และจากการทดสอบการทำงานของโพรโตคอลที่ใช้สื่อสารกับมิเตอร์ระยะไกลในกรณีต่างๆ แสดงให้เห็นว่าโพรโตคอลที่ออกแบบขึ้นสามารถใช้ติดต่อกับมิเตอร์ได้ไม่ว่าจะมีมิเตอร์อยู่ตัวเดียวหรือหลายตัวก็ตาม

เนื่องจากอุปกรณ์มือถือที่พัฒนาขึ้นใช้อุปกรณ์หน่วยเก็บรวมชนิดคอมแพคแฟลชสำหรับเก็บข้อมูลที่อ่านมาได้จากมิเตอร์ และการเก็บข้อมูลในตัวคอมแพคแฟลชจะถูกจัดเก็บเป็นระบบแฟ้มข้อมูลแบบแฟต (FAT) จึงทำให้ง่ายต่อการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่จะทำหน้าที่อ่านข้อมูลออกมาจากคอมแพคแฟลชเพราะการอ่านข้อมูลสามารถทำได้เหมือนกับการอ่านแฟ้มข้อมูลทั่วไปทุกประการ แต่การจัดเก็บข้อมูลแบบแฟตก็มีข้อเสียในแง่ของการใช้เนื้อที่เก็บข้อมูลที่ไม่คุ้มค่าหากข้อมูลในแต่ละแฟ้มมีจำนวนไม่มากเพราะการเก็บข้อมูลแต่ละแฟ้มต้องเสียเนื้อที่ไปอย่างน้อย 1 เซกเตอร์หรือ 512 ไบต์

ระบบ AMR ที่ใช้แสงอินฟราเรดเป็นช่องทางสื่อสารกับมิเตอร์มีข้อดีในแง่ของต้นทุน และมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับระบบ AMR แบบอื่น แต่ก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถอ่านข้อมูลได้หากมีสิ่งกีดขวางบังทางเดินของแสงไว้ และจากการทดลองจะเห็นว่าผลของแสงแดดทำให้ระยะปฏิบัติการในการอ่านข้อมูลจากมิเตอร์ลดลงไปมากเมื่อเทียบกับในสภาวะที่ไม่มีแสงแดด

6.6 ข้อเสนอแสนะ

1) เนื่องจากข้อเสียของการใช้แสงอินฟราเรดเป็นช่องทางการสื่อสาร จึงควรมีการทดลองระบบ AMR ประเภทที่เป็นอุปกรณ์มือถือที่เปลี่ยนไปใช้ช่องทางการสื่อสารแบบอื่นดูเช่น การใช้คลื่นวิทยุ โดยที่ยังคงใช้โพรโตคอลที่ออกแบบไว้ได้และโครงสร้างฮาร์ดแวร์ในส่วนอื่นยังเหมือนเดิมเพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละแบบ ก่อนที่จะนำไปพัฒนาใช้งานจริง

2) ศึกษาและทดลองใช้การเข้ารหัสข้อมูลประเภทอื่นดูเพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบ ยกตัวอย่างเช่น การเข้ารหัสแบบบล็อกขนาด 128 บิตซึ่งได้แก่ Twofish และ Rijndael เป็นต้น

3) เนื่องจากการจัดเก็บแฟ้มข้อมูลแบบแฟตใช้พื้นที่ในแต่ละเซกเตอร์ไม่คุ้มค่า จึงควรลองเปลี่ยนวิธีการจัดเก็บข้อมูลใหม่ดู

- การบันทึกข้อมูลทั่วไปที่อ่านมาจากมิเตอร์แต่ละตัวซึ่งมีขนาดเล็กให้อยู่ในแฟ้มข้อมูลเดียวกันโดยใช้การบันทึกแบบต่อท้ายเข้าไป (Append file) แทนที่จะใช้การเก็บแบบแยกแฟ้มข้อมูล
- ลองใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลประเภทอื่นดูหากมีชนิดใหม่ที่ราคาถูกและใช้งานได้ง่ายกว่า
- การใช้วิธีการจัดเก็บข้อมูลประเภทอื่นนอกเหนือจากระบบแฟ้มข้อมูลแบบแฟต

4) ควรมีการศึกษาและพัฒนาระบบ AMR ที่เป็นระบบขนาดใหญ่และมีรัศมีการทำงานกว้างทำให้ไม่ต้องใช้พนักงานในการเดินเก็บข้อมูลอีกต่อไปเช่น การใช้เครือข่ายโทรศัพท์ การใช้คลื่นวิทยุ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย