

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดิจิทัลมิเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย

(WIRELESS DIGITAL KILOWATTHOUR METER)



T117473



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....117473  
วัน,เดือน,ปี.....5...ค.ค...2554

12337389

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิตอลมิเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย  
(Wireless Digital KiloWattHour Meter)



นายกทาวุธ	ยาโร๊ะ	50010169
นายณพล	ต้นตึงค์	50010420
นายณัฐพงศ์	สุประดิษฐ์	50010469
อาจารย์ที่ปรึกษา		
ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี		

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อปรับปรุงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ที่ปรากฏ  
ผู้ตรวจร่าง (ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ ผู้ตรวจร่าง (ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ดิจิตอลมิเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย

WIRELESS DIGITAL KILOWATT HOUR METER

ผู้จัดทำ

- |               |            |          |
|---------------|------------|----------|
| 1. นายคทาวุธ  | ยาโง๊ะ     | 50010169 |
| 2. นายณพล     | ตันตวงศ์   | 50010420 |
| 3. นายณัฐพงศ์ | สุประดิษฐ์ | 50010469 |

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้จัดทำขึ้นเป็นผลสำเร็จได้ เนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์และได้รับคำปรึกษาด้วยดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี ที่ช่วยให้คำแนะนำ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ คอยให้ข้อคิดเห็นมาตลอด ขอขอบคุณปริญญาณิพนธ์ต่างๆที่เป็นพื้นฐานอ้างอิงในการออกแบบ และการประยุกต์ที่เกี่ยวกับผลงานชิ้นนี้ และที่สำคัญขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ท้ายสุดขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ รวมถึงแนวทางการคิด และแนวทางการปฏิบัติให้แก่ผู้จัดทำ จนทำให้โครงการฉบับนี้สำเร็จผลตามเป้าหมาย

นายกทาวุธ  
นายณพล  
นายณัฐพงศ์

ยาโง๊ะ  
ตันติวงศ์  
สุประดิษฐ์

ผู้จัดทำ

ดิจิตอลมิเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้สาย

WIRELESS DIGITAL KILOWATT HOUR METER

โดย	นายคทาวิช	ยาโง๊ะ	50010169
	นายณพล	ตันติวงศ์	50010420
	นายณัฐพงษ์	สุประดิษฐ์	50010469

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.มนตรี คำเงิน

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการแสดงผลค่าวัดชั่วโมงจากดิจิตอลมิเตอร์โดย ดิจิตอลมิเตอร์จะประกอบไปด้วย หม้อแปลงกระแส วงจร A/D ไมโครคอนโทรลเลอร์ โมดูลความถี่ 2.4 GHz และ จอแสดงผลแอลซีดี โดยการทำงานของอุปกรณ์นั้นจะทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและเฟสในขณะนั้น จากนั้นเอาแรงดันที่ได้ไปเข้าวงจร A/D แล้วนำค่าแรงดันที่ได้ในแต่ละวินาทีมาคำนวณเป็นหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง และแสดงค่าที่ได้ออกจากจอแสดงผลแอลซีดี นอกจากนี้ดิจิตอลมิเตอร์จะส่งค่ามายังหน่วยเก็บข้อมูลเมื่อมีการร้องขอโดยใช้ความถี่วิทยุ

ABSTRACT

This project presents Wireless Digital kilowatt hour meter. It contains a current transformer , A/D , microcontroller , RF module and LCD . The equipment is operated on current and phase induced by current transformer as voltages. A/D is convert their voltages to digital values. The microcontroller is used to monitor currently digital values and accumulated their values as a counter of 1 kilowatt hour (unit). The units can be display by LCD and also sent their units to the collected machine when user requests based on radio frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
<b>บทที่ 1</b>	
<b>บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2</b>	
<b>ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรม	3
2.2 วงจรส่วนแสดงผล (LCD MODULE)	41
2.3 คีย์แพด (KEYPAD)	42
2.4 CURRENT TRANSFORMER (CT)	45
2.5 เครื่องรับ-ส่งสัญญาณ FSK TRW 2.4 GHZ	59
2.6 วงจร SCHMITT TRIGGER	77
<b>บทที่ 3</b>	
<b>การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์</b>	<b>79</b>
3.1 การออกแบบ	79
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	89
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	89

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	<b>91</b>
4.1 การทดลองและผลการทดลองในส่วนของกระแส ( CURRENT )	91
4.2 ผลการทดลองในส่วนของเฟส ที่ได้จากการจับสัญญาณระหว่าง สัญญาณ จาก CT ( CURRENT TRANSFORMER ) และสัญญาณจาก หม้อแปลง ( TR )	94
4.3 ผลการทดลองในส่วนของ การประมวลผลของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงค่ายูนิตและ กระแสแสดงผลผ่านจอแอลซีดี	97
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	<b>101</b>
5.1 สรุปผล	101
5.2 ข้อเสนอแนะ	101
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>103</b>

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877	5
2.2 แสดงตัวถังของ CPU PIC 16F877 และการจัดวางตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ	6
2.3 แสดงการวางพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC 16F877	12
2.4 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำของ PIC 16F877	13
2.5 แสดงโครงสร้างของรีจิสเตอร์ PC	26
2.6 แสดงการดึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม	28
2.7 แสดงวงจรภายในของ PORTA (RA3-RA0 และ RA5)	30
2.8 แสดงวงจรภายในของขา RA4/T0CK1	31
2.9 แสดงโครงสร้างของขาสัญญาณ RB3:RB0	32
2.10 โครงสร้างของขาสัญญาณ RB7:RB4	33
2.11 แสดงโครงสร้างของขาสัญญาณ RC <2:0> และ RC <7:5>	34
2.12 แสดงโครงสร้างภายในของขาสัญญาณ RC <4:3>	35
2.13 แสดงโครงสร้างภายในของ PORTD	38
2.14 PARALLEL SLAVE PORT STATUS/CONTROL; BITS	39
2.15 แสดงโครงสร้างภายในของขาสัญญาณ PORTE	40
2.16 การทำงานของสวิตช์	42
2.17 แสดงการเกิดพัลส์เมื่อทำการกดสวิตช์	43
2.18 รูปแสดงการเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์	44
2.19 แสดงรูปร่างของ FLUX ที่มี FLAT-TOPPED SHAPE	58
2.20 เครื่องส่งสัญญาณ FSK TRW 2.4 GHZ	59
2.21 รับข้อมูลโดย CPU ส่งโดยเทคโนโลยี SHOCK BURST	61
2.22 การใช้กระแส RF โดยใช่และไม่ใช้เทคโนโลยี SHOCK BURST	61
2.23 FLOW CHART SHOCK BURST การส่งของระบบย่อย NRF2401	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 FLOW CHART SHOCKBURST การรับของระบบย่อย NRF2401	63
2.25 SIMULTANEOUS 2 CHANNEL RECEIVER ON NRF24E1	65
2.26 DUOCIEVER โดยมี 2 ช่องสัญญาณรับข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน	65
2.27 DATA PACKAGE SET-UP	67
2.28 DATA PACKAGE DIAGRAM	73
2.29 TIMING DIAGRA สำหรับ CONFIGURATION ระบบย่อย NRF2401	75
2.30 TIMING ของ SHOCKBURST ใน TX	76
2.31 TIMING ของ SHOCKBURST ใน RX	77
2.32 วงจร SCHMIT TRIGGER	78
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานรวมของระบบด้านตัวลูก (SLAVE)	79
3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานรวมของระบบด้านตัวแม่(MASTER)	79
3.3 แสดงวงจรของ CURRENT TRANSFORMER	80
3.4 แสดงวงจรหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของ CURRENT TRANSFORMER	80
3.5 วงจรสำหรับการหาเฟสจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส	81
3.6 วงจรจ่ายไฟของวงจร	82
3.7 VOLTAGE DIVIDER	82
3.8 วงจรในส่วนของตัวเซิร์ฟเวอร์	84
3.9 โพล์ชาร์ตการทำงานของวงจรในส่วนของตัวเซิร์ฟเวอร์	85
3.10 วงจรในส่วนของตัวลูก	86
3.11 แสดงโพล์ชาร์ตการทำงานของวงจรในส่วนตัวลูก	88
4.1 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของพัลลคมกับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน Op-amp	88

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีด กับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน OP-AMP	89
4.3	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT วัดได้จากพัลลัม กับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน	89
4.4	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ที่วัดได้จากเตารีดกับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน วงจร Full-Wave	90
4.5	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของพัลลัมกับสัญญาณไฟตรงที่ได้	90
4.6	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีดกับสัญญาณไฟตรงที่ได้จากวงจร Full – Wave	91
4.7	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT วัดได้ กับสัญญาณแรงดันที่วัดได้จากหม้อแปลงไฟฟ้า	92
4.8	เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่าน	92
4.9	สัญญาณแรงดันที่ได้จากการ Excusive or ของ สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณ จากหม้อแปลง ไฟฟ้าผ่าน วงจร Schmitt Trigger ของพัลลัม	93
4.10	สัญญาณแรงดันที่ได้จากการ Excusive or ของ สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านวงจร Schmitt Trigger ของเตา	93
4.11	สัญญาณแรงดันที่ได้จากการ Excusive or ของ สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณ จากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านวงจร Schmitt Trigger ของพัลลัม และเตารีด	94
4.12	แสดงค่ากระแสของเตารีด โดยใช้ AC Current Clamp Meter	98
4.13	สัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีดกับสัญญาณไฟตรงที่ได้จากวงจร Full – Wave	98

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	แอลซีดีแสดงผลค่าเริ่มต้นก่อนมีการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า	99
4.15	แอลซีดีแสดงผลค่ายูนิตเมื่อมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า	99
4.16	แอลซีดีแสดงผลความต่อเนื่องค่ายูนิตเพิ่มขึ้น	100
4.17	แสดงผลค่ายูนิตและจำนวนเงินเมื่อมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่าน จอคอมพิวเตอร์	100



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดขาของPIC	7
2.2 การเลือกแบ่งกัข้อมูลของหน่วยความจำข้อมูล RAM	14
2.3 อัตราส่วน	16
2.4 คุณสมบัติฟังก์ชันการทำงานต่างๆของขาสัญญาณ PORTA	31
2.5 แสดงรีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในการใช้งาน PORTA	32
2.6 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต B	34
2.7 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต C	37
2.8 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต D	38
2.9 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต E	41
2.10 แสดงลักษณะสัญญาณของขา RS, RW และ E	42
2.11 STANDARD BURDENS FOR CURRENT TRANSFORMER	52
2.12 NRF2401 SUBSYSTEM MAIN MODES	59
2.13 ตารางของ CONFIGURATION WORD	67
2.14 CONFIGURATION DATA WORD	68
2.15 PLL SETTING	69
2.16 จำนวนของบิตใน PAYLOAD	69
2.17 แอดเดรสของตัวรับ 1 และ 2	70
2.18 จำนวนบิตที่ต้องคงไว้สำหรับ RX ADDRESS + CRC SETTING	70
2.19 RF OPERATIONAL SETTING	71
2.20 CRYSTAL FREQUENCY SETTING	72
2.21 RF OUTPUT POWER SETTING	72
2.22 ช่องความถี่ และ การ SET RX / TX	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่

2.23 รายละเอียดของ DATA PACKAGE

หน้า

74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันชุมชนได้มีการขยายตัวมากขึ้นทั้งในเมืองหลวงและชนบท ฉะนั้นความต้องการทางด้านสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน เช่น ไฟฟ้า จึงมีความต้องการมากขึ้น โดยจะสังเกตได้จากความต้องการใช้ไฟฟ้าที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้นจนไม่สามารถผลิตได้ทัน แทบทุกครัวเรือนไม่ว่าจะเป็นในเมืองหลวง ชนบทหรือทุกพื้นที่ ที่การไฟฟ้าสามารถให้บริการได้ถึงนั้น จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ในการตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าที่แต่ละครัวเรือนได้รับโรกไปในแต่ละเดือน เครื่องมือดังกล่าวก็คือ มิเตอร์ไฟฟ้าซึ่งจะติดตั้งไว้เพื่อบันทึก ปริมาณไฟฟ้าที่แต่ละครัวเรือนได้ใช้ไปในแต่ละเดือนนั้นจะถูกคำนวณเป็นค่าใช้จ่าย ซึ่งประชาชนจะต้องจ่ายค่าบริการดังกล่าวตามสัดส่วนที่ตนได้ใช้ไป

ในบริเวณมหาวิทยาลัยต่าง ๆ มีหอพักนักศึกษาเกิดขึ้นมากมาย และในหอพักนักศึกษาที่เกิดขึ้นมานั้นก็จะมีนักศึกษานับร้อยคนทั่วไป ไปพักอาศัยอยู่เป็นจำนวนมากและในแต่ละเดือนทางหอพักก็จะมีการเก็บค่าเช่าหอพัก ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และอื่น ๆ แล้วแต่ทางหอพักจะมีการกำหนดค่าไว้ในแต่ละหน่วยที่ใช้บริการ

ดังนั้น จึงได้มีการคิดที่จะหาวิธีการที่จะให้หอพักต่าง ๆ ใช้การเก็บค่าเช่าหอพัก ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า โดยเฉพาะการเก็บค่าไฟฟ้าที่มีความสะดวกมากขึ้น โดยที่เจ้าของหอพักจะสามารถคิดค่าไฟฟ้าจากยูนิตที่แสดงที่มีเตอร์ที่แสดงผลแบบดิจิตอล ซึ่งสามารถคิดค่าไฟฟ้าได้ละเอียดกว่ามิเตอร์ที่แสดงผลเป็นแบบอนาลอก

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อคิดค่าไฟฟ้าในหอพักและบ้านเรือนต่าง ๆ ให้มีความละเอียดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ศึกษาการใช้ Current Transformer เพื่อแปลงค่ากระแสไฟฟ้าเป็นแรงดัน เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแปลงค่าแรงดันที่เป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นนำค่าแรงดันที่แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลไปเทียบกับค่ากระแสที่ Current Transformer เพื่อหาค่าเฟสแล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า จากนั้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ แสดงผลทางจอแอลซีดี โดยสามารถนำค่ากำลังไฟฟ้ามาแสดงในเครื่อง Computer แบบไร้สาย

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- รู้จักการประยุกต์การใช้งานระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- เรียนรู้การใช้งาน current transformer ไปใช้ในวัดค่าของกระแสไฟฟ้าภายในบ้านแล้วแปลงเป็นแรงดัน
- รู้จักวิธีการทำงานอย่างมีระบบ และสามารถแก้ไขปัญหาอย่างมีหลักการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มีการคิดค้นพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลใหม่ๆ เกิดขึ้นมามากมาย ส่วนแล้วแต่มีศักยภาพในการทำงานสูงด้วยกันทั้งสิ้น แต่ในที่นี้เราจะมาศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของทางบริษัท Microchip ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในบ้านเรา เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีความ สามารถ และยืดหยุ่นไป ด้วยทรัพยากร หรือ ฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ มากมาย เช่น โมดูล Analog to Digital, Timer / Counter, USART, SPI, I<sup>2</sup>C, PWM และอื่นๆ ซึ่งส่วนต่างๆ เหล่านี้จะถูกสร้างรวมอยู่ภายใน CPU เพียงตัวเดียว ทำให้ CPU เพียงตัวเดียวนี้อาจสามารถทำงานได้หลายๆ อย่าง และสามารถลดในส่วนของฮาร์ดแวร์บางอย่างลง ส่วนในเรื่องของความเร็ว CPU ตระกูลนี้จะใช้เวลาในการกระทำคำสั่งต่างๆ เพียง 1 หรือ 2 ไซเคิล ต่อคำสั่งเท่านั้น โดยการทำงานนี้เป็นลักษณะ ไปป์ไลน์ (Pipe Line) ทำให้มีความเร็วในการทำงานมากกว่า CPU ทั่วไป (ที่ความถี่เดียวกัน)

##### 2.1.1 คุณสมบัติของ PIC 16F877

คุณสมบัติต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC-16F877 สามารถสรุปอย่างคร่าวๆ

ได้ดังนี้

- 35 Instruction คำสั่ง
  - ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่างๆ จะใช้ Cycle เดียวและ 2 Cycle ในคำสั่งที่เป็นการ
- กระโดด
- ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz (16F877-20/P)
  - การทำงานจะเป็นลักษณะ Pipeline ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น
  - หน่วยความจำโปรแกรม FLASH Program Memory มีขนาด 8 KB (14-Bit

Words)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
- หน่วยความจำข้อมูล EEPROM 256 Bytes
- สามารถตอบสนองการอินเทอร์รัพได้ถึง 14 ตำแหน่ง
- STACK 8 ระดับ
- เพาเวอร์อนรีเซต (POR), เพาเวอร์อัปไทมเมอร์ (PWRT) และ Oscillator Start-Up

#### Timer

- Watchdog Timer
- สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
- โหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- ฟังก์ชันการโปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming)
- ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0V ถึง 5.5V
- กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25 mA
- Timer / Counter จำนวน 3 ตัวคือ Timer0, Timer1 และ Timer2
- โมดูล Capture / Compare / PWM จำนวน 2 ชุด
- Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนแนลภายในตัว
- มีโมดูลการสื่อสาร USART
- มีโมดูลตรวจจ็ับระดับแรงดันไฟเลี้ยง Brown – out reset (BOR)
- มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิต

ไม่เท่ากัน ซึ่ง รวมแล้ว จะมี I/O จำนวน 33 บิต

PORTA = RA5 – RA0 จำนวน 6 บิต

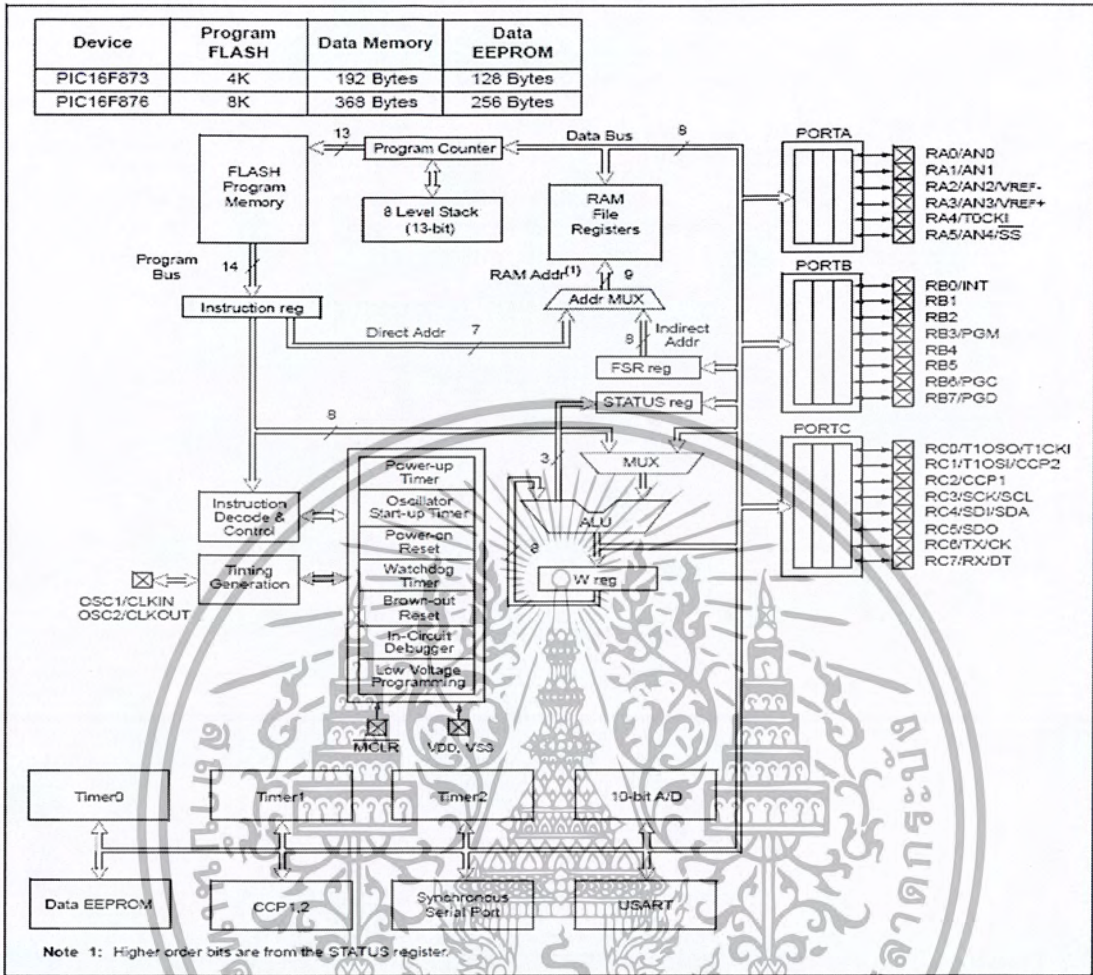
PORTB = RB7 – RB0 จำนวน 8 บิต

PORTC = RC7 – RC0 จำนวน 8 บิต

PORTD = RD7 – RD0 จำนวน 8 บิต

PORTE = RE2 – RE0 จำนวน 3 บิต

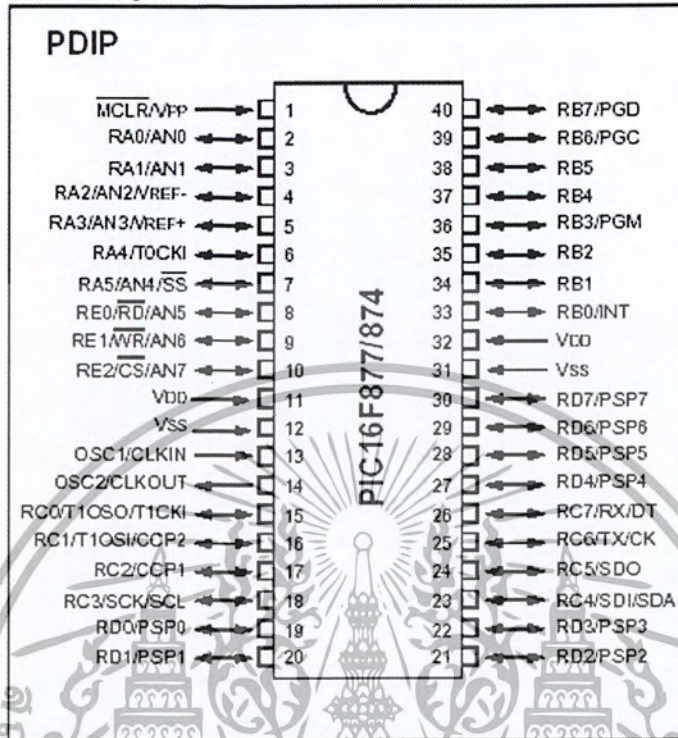
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin Diagram



รูปที่ 2.2 แสดงตัวถังของ CPU PIC 16F877 และ การจัดวางตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ

ขาสัญญาณของ PIC เบอร์ 16F877 นี้จะมีทั้งหมด 40 ขาจะประกอบไปด้วยขาที่ทำหน้าที่ต่างๆ โดยจะมีขาสัญญาณ I/O Ports ทั้งหมดจำนวน 33 ขา โดยสามารถนำไปใช้เป็นอินพุต/เอาต์พุตได้ทั้งหมดทุกขา ยกเว้นขา RA4 ซึ่งโครงสร้างภายในเป็นแบบ Open Drain ดังนั้นหากต้องการนำไปใช้เป็นขาสัญญาณเอาต์พุต จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ (Pull - Up) ไว้ด้วย ส่วนขาที่เหลือ สามารถใช้งานได้ตามปกติ นอกจากขาสัญญาณ I/O แล้ว ยังประกอบไปด้วยขาสัญญาณอื่นๆ อีก คือ ขาไฟเลี้ยง, กราวด์, ขารีเซ็ต และ ขาออสซิลเลเตอร์ ซึ่งสามารถสรุปหน้าที่การทำงานของขาสัญญาณในแต่ละขาได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดขาของPIC

ขาสัญญาณ	DIP PIN	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1 / CLKIN	9	I	ST/CMOS	ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณนาฬิกาของ CPU
OSC2 / CLKOUT	14	O	-	เป็นขาเอาต์พุตของสัญญาณนาฬิกา (1/4 ของ CLKIN) ใช้ต่อร่วมกับขาสัญญาณ OSC1 เพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาในกรณีที่ใช้ คริสตัลแบบเรโซเนเตอร์ หรือ วงจร RC ภายนอก
MCLR / VPP	1	I/P	ST	ขาสัญญาณรีเซ็ตแอกทีฟ "0", ขารับแรงดันสำหรับการโปรแกรม
ขาสัญญาณ	DIP PIN	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RA0 / AN0	2	I/O	TTL	ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต PORTA - ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN0
RA1 / AN1	3	I/O	TTL	- ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN1
RA2 / AN2 / VREF-	4	I/O	TTL	- ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN2 และขาสัญญาณแรงดันอ้างอิงลบ (-)
RA3 / AN3 / VREF+	5	I/O	TTL	- ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN3 และขาสัญญาณแรงดันอ้างอิงบวก (+)
RA4 / T0CKI	6	I/O	TTL	- ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทม์เมอร์ 0
RA5 / SS / AN4	7	I/O	TTL	- ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN4 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

				ขาสัญญาณ Slave Select ในโหมดการสื่อสารแบบ Synchronous Serial Port
RB0 / INT	33	I / O	TTL / ST	ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต PORTB - ขาสัญญาณ อินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก
RB1	34	I / O	TTL	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RB2	35	I / O	TTL	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RB3 / PGM	36	I / O	TTL	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณการ
RB4	37	I / O	TTL	โปรแกรมแบบแรงดันต่ำ
RB5	38	I / O	TTL	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต - ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของขาสัญญาณ
RB6 / PGC	39	I / O	TTL / ST <sup>(2)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของขาสัญญาณ และเป็นขาสัญญาณนาฬิกาในโหมดการโปรแกรม

ขาสัญญาณ	DIP PIN	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB7 / PGD	40	I / O	TTL / ST <sup>(2)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงสถานะของขาสัญญาณ และเป็นขาสัญญาณข้อมูลในโหมดการโปรแกรม
RC0 / T1OSO / TICKI	33	I / O	ST	ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต PORTC - ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณออสซิลเลเตอร์เอาต์พุต และขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทม์เมอร์ 1
RC1 / T1OSI / CCP2	16	I / O	ST	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RC2 / CCP1	17	I / O	ST	ออสซิลเลเตอร์ไทม์เมอร์และเป็ฯขาสัญญาณ Capture 2 input / Compare 2 output / PW2 output
RC3 / SCK / SCL	18	I / O	ST	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต และ ขาสัญญาณ Capture 1 input / Compare 1 output / PWM1 output
RC4 / SDI / SDA	23	I / O	ST	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณ อินพุต สัญญาณนาฬิกาในการสื่อสาร Synchronous,
RC5 / SDO	24	I / O	ST	ขาสัญญาณนาฬิกาในโหมด I <sup>2</sup> C และ SPI
RC6 / TX / CK	25	I / O	ST	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาอินพุต สัญญาณข้อมูลในโหมด SPI, ขาอินพุต / เอาต์พุตสัญญาณข้อมูลในโหมด I <sup>2</sup> C
RC7 / RX / DT	26	I / O	ST	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาเอาต์พุต สัญญาณ ข้อมูลในโหมด SPI
				- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาเอาต์พุต สัญญาณคำสั่งของการสื่อสาร USART, ขาสัญญาณนาฬิกา
				- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RD0 / PSP0	19	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต PORTD สามารถใช้เป็น Slave Port กรณีติดต่อกับ ระบบบัสของ Microprocessor
RD1 / PSP1	20	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RD2 / PSP2	21	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RD3 / PSP3	22	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RD4 / PSP4	27	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาสัญญาณ	DIP PIN	I/O/P Type	Buffer	Description
RD5 / PSP5	28	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RD6 / PSP6	29	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RD7 / PSP7	30	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต
RE0 / RD / AN5	8	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	ขาสัญญาณอินพุตเอาต์พุต PORTE - ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุมการอ่านในโหมด Parallel Slave Port และเป็นขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN5
RE1 / WR / AN6	9	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุมการเขียนในการติดต่อแบบ Parallel Slave Port และเป็นขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN6
RE2 / CS / AN7	10	I / O	ST / TTL <sup>(3)</sup>	- ขาสัญญาณอินพุต / เอาต์พุต, ขาสัญญาณควบคุม Control Select ในการติดต่อแบบ Parallel Slave Port และเป็นขาสัญญาณอินพุตสัญญาณอนาล็อก AN7
Vss	12,31	P	-	ขาสัญญาณกราวด์
VDD	11,32	P	-	ขาแรงดันไฟเลี้ยง

I = อินพุต      O = เอาต์พุต      I / O = อินพุต / เอาต์พุต      P = Power

-- = ไม่ใช่      TTL = ระดับสัญญาณ TTL      ST = วงจรชนิดมิตทริกเกอร์ อินพุต

#### Note

- 1 : Buffer จะเป็นแบบ ชมิททริกเกอร์ เมื่อมีการใช้งานอินเทอร์รัพท์ภายนอก
- 2 : Buffer จะเป็นแบบ ชมิททริกเกอร์ เมื่อทำงานในโหมดการโปรแกรม
- 3 : Buffer จะเป็นแบบ ชมิททริกเกอร์ เมื่อใช้งานทั่วไป และจะเป็นแบบ TTL เมื่ออยู่ในโหมด Parallel Slave Port ในการติดต่อกับระบบบัสของไมโครโปรเซสเซอร์
- 4 : Buffer จะเป็นแบบ ชมิททริกเกอร์ เมื่อใช้งานในโหมด RC oscillator และจะเป็นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 หน่วยความจำ

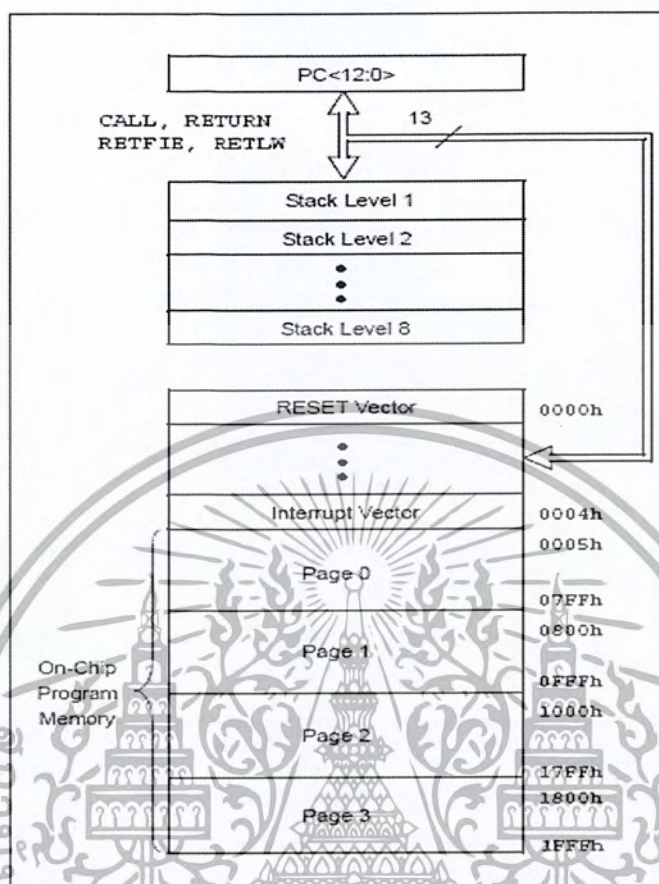
หน่วยความจำ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครโพรเซสเซอร์ต่างๆ เป็นพื้นที่สำหรับเก็บโค้ดโปรแกรมและข้อมูลอื่นๆ การได้รู้จักกับหน่วยความจำในแต่ละส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะช่วยให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปได้ง่ายขึ้น ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC 16F877 จะมีหน่วยความจำภายใน โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

- หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)
- หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)
- หน่วยความจำ EEPROM

หน่วยความจำทั้ง 3 ส่วนจะมีขนาดและการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ดังรายละเอียดตามหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 2.1.3 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) เป็นพื้นที่สำหรับใช้เก็บซอร์สโค้ดโปรแกรม โดยโครงสร้างจะเป็นแบบ Flash Memory จึงสามารถทำการเขียนและลบได้หลายครั้ง ทำให้สะดวกต่อการทดลองพัฒนาโปรแกรม โดยจะมี Program Counter ขนาด 13 บิต ซึ่งสามารถอ้างถึงตำแหน่งข้อมูลได้ถึง 8 กิโลไบต์ ตั้งแต่ แอดเดรส 0000h ถึง 1FFFh ดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดงการวางพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC 16F877

ซึ่งหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC 16F877 นี้จะมีขนาด 32 K x 14 Bit Words (8 words) จะแบ่งออกเป็น 4 Page จำนวน Page ละ 2 words ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.1 จะมี รีเซตเวกเตอร์อยู่ที่ตำแหน่ง 0000h และ อินเตอร์รัพท์เวกเตอร์อยู่ที่ 0004h จะเห็นว่ามีแอดเดรสเวกเตอร์ของการอินเตอร์รัพท์เพียงตำแหน่งเดียว แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458 นั้นมีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพท์ถึง 14 แหล่ง ซึ่งเมื่อเกิดอินเตอร์รัพท์จากแหล่งใดก็ตาม CPU จะโดดไปทำงานในตำแหน่งแอดเดรสเดียวกันนั่นก็คือ แอดเดรส 0004h ดังนั้นเราจึงไม่สามารถจัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพท์ได้ การตรวจสอบแหล่งที่มาของสัญญาณอินเตอร์รัพท์ จะใช้วิธีการตรวจสอบบิตสถานะของการอินเตอร์รัพท์ต่างๆ ซึ่งจะได้ศึกษาในรายละเอียดกันภายในหลังส่วนหน่วยความจำ สแต็ก (Stack) จะมีขนาดความลึก 8 ระดับ และไม่สามารถเข้าถึงได้โดยตรงจาก

การเขียนโปรแกรม ไม่มีคำสั่งการ PUSH – POP เหมือนกับ CPU ตระกูลอื่นๆ ค่าของสแต็กจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ เมื่อมีการใช้คำสั่งที่เป็นการกระโดด การเรียกใช้โปรแกรมย่อย หรือ เมื่อมีการอินเทอร์รัพท์เกิดขึ้นเท่านั้น

### 2.1.4 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

หน่วยความจำข้อมูลนี้ จะประกอบไปด้วยพื้นที่ใช้งานทั่วไป (General Purpose Register) ขนาด 1536 Bytes และพื้นที่ของ รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register) ซึ่งพื้นที่ของหน่วยความจำเหล่านี้จะถูกแบ่งออก 4 แบนด์ดังรูป

File Address	File Address	File Address	File Address
Indirect addr.(1) 00h	Indirect addr.(1) 80h	Indirect addr.(1) 100h	Indirect addr.(1) 180h
TMR0 01h	OPTION_REG 81h	TMR0 101h	OPTION_REG 181h
PCL 02h	PCL 82h	PCL 102h	PCL 182h
STATUS 03h	STATUS 83h	STATUS 103h	STATUS 183h
FSR 04h	FSR 84h	FSR 104h	FSR 184h
PORTA 05h	TRISA 85h	PORTB 105h	TRISB 185h
PORTB 06h	TRISB 86h	PORTB 106h	TRISB 186h
PORTC 07h	TRISC 87h	PORTB 107h	TRISB 187h
PORTD(1) 08h	TRISD(1) 88h		
PORTE(1) 09h	TRISE(1) 89h		
PCLATH 0Ah	PCLATH 8Ah	PCLATH 10Ah	PCLATH 18Ah
INTCON 0Bh	INTCON 8Bh	INTCON 10Bh	INTCON 18Bh
PIR1 0Ch	PIE1 8Ch	EEDATA 10Ch	ECON1 18Ch
PIR2 0Dh	PIE2 8Dh	EEDATA 10Dh	ECON2 18Dh
TMR1L 0Eh	PCCON 8Eh	EEDATH 10Eh	Reserved(2) 18Eh
TMR1H 0Fh		EEDATH 10Fh	Reserved(2) 18Fh
T1CON 10h			
TMR2 11h	SSPCON2 91h		
T2CON 12h	PR2 92h		
SSPBUF 13h	SSPAD0 93h		
SSPCON 14h	SSPSTAT 94h		
CCPR1L 15h			
CCPR1H 16h			
CCP1CON 17h			
RCSTA 18h	TXSTA 98h	General Purpose Register 10 Bytes 110h	General Purpose Register 10 Bytes 180h
TXREG 19h	SPBRG 99h		
RCREG 1Ah			
CCPR2L 1Bh			
CCPR2H 1Ch			
CCP2CON 1Dh			
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh		
ADCON0 1Fh	ADCON1 9Fh		
	AD 0Ah		
General Purpose Register 90 Bytes	General Purpose Register 80 Bytes	General Purpose Register 80 Bytes	General Purpose Register 80 Bytes
Bank D 7Fh	Bank 1 FFh	Bank 2 17Fh	Bank 3 1FFh
	EFh	accesses 70h-7Fh	accesses 70h-7Fh
	F0h		

■ Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
 \* Not a physical register.  
 Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F870.  
 2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

รูปที่ 2.4 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำของ PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเข้าถึงข้อมูลในแต่ละส่วนเหล่านี้จะต้องกำหนด แบนก์ข้อมูลที่เราต้องการเข้าถึง โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เลือกแบงก์ คือ RP0 และ RP1 โดยจะอยู่ในรีจิสเตอร์ STATUS บิตที่ 5 และ 6 ตามลำดับซึ่งค่าต่างๆ สามารถกำหนดให้ตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 การเลือกแบงก์ข้อมูลของหน่วยความจำข้อมูล RAM

RP1 : RP0	Bank
00	0
01	1
10	2
11	3

### 2.1.5 รีจิสเตอร์

รีจิสเตอร์ เป็นส่วนที่สำคัญในการพัฒนาโปรแกรมซึ่งในการใช้งานฟังก์ชันต่างๆ เราจำเป็นต้องรู้จักและเข้าใจรายละเอียดของรีจิสเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องนั้นด้วย โดยเราจะแยกรีจิสเตอร์ออกเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์ไฟล์ หรือรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Purpose Register) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register)

#### - รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Purpose Register)

เป็นหน่วยความจำใช้งานทั่วไป โดยโครงสร้างจะเป็นหน่วยความจำชนิด Static Ram สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ตลอดเวลา และข้อมูลต่างๆ จะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงจ่ายให้กับ CPU หน่วยความจำส่วนนี้ ของ CPU PIC 18F458 จะมีขนาด 1536 Bytes ข้อมูลจะเป็นแบบ 8 บิต เหมาะสำหรับการใช้เก็บข้อมูล หรือ ใช้เป็นตัวแปลงต่างๆ ในการเขียนโปรแกรมโดยจะกระจายอยู่ในแบงก์ต่างๆ ทั้ง 4 แบนก์

#### - รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานในฟังก์ชันต่างๆ ของ CPU โดยจะจัดวางลักษณะเดียวกันกับรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป คือ จะอยู่ภายในแต่ละแบงก์ทั้ง 4 แบนก์ โดยเราจะแบ่งออกเป็นรีจิสเตอร์หลัก และรีจิสเตอร์ที่ใช้งานในฟังก์ชันต่างๆ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดเฉพาะรีจิสเตอร์

หลักเท่านั้น ส่วนรายละเอียดของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานกับฟังก์ชันต่างๆ จะได้อธิบายในหัวข้อของการใช้งานในฟังก์ชันนั้นๆ

### 2.1.5.1 STATUS Register

รีจิสเตอร์ STATUS เป็นรีจิสเตอร์ที่บรรจุบิตสถานะทางคณิตศาสตร์ต่างๆ และบิตที่ใช้ในการเลือกแบงก์ ของหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งรีจิสเตอร์ตัวนี้จะมีอยู่ในทุกแบงก์ ดังนั้นจึงสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนแบงก์ การเปลี่ยนค่าข้อมูลของรีจิสเตอร์ STATUS นี้จะเกิดจากการใช้คำสั่งในการเข้าถึงต่างๆ และ ในบางบิตจะเปิดการเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติ ตามผลลัพธ์ของการกระทำทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ซึ่งได้แก่บิต Z,DC และ C

STATUS REGISTER (ADDRESS 03h, 83h, 103h, 183h)

IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Bit 7 IRP : รีจิสเตอร์ควบคุมการเลือกแบงก์ในกรณีการเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อม

1 = Bank 2,3 (100h – 1FFh)

0 = Bank 0,1 (00h – FFh)

Bit 6-5 RP1 – RP0 : รีจิสเตอร์ควบคุมการเลือกแบงก์กรณีการเข้าถึงข้อมูลแบบ

ทางตรง

00 = Bank 3 (180h - 1FFh)

01 = Bank 2 (100h – 17Fh)

10 = Bank 1 (80h – FFh)

11 = Bank 0 (00h – 7Fh)

Bit 4 TO : Time - Out bit บิตแสดงการเกิด Timeout ของวอตช์ดีค็อกไทเมอร์

1= หลังการเกิด Power – Up, เมื่อใช้คำสั่ง CLRWDT หรือ ใช้คำสั่ง SLEEP

0= เมื่อเกิด Time – Out ของ Watchdog Timer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 3 PD : Power – down bit

1= หลังจากเกิด Power – Up, หรือมีการใช้คำสั่ง CLRWDT

0= เมื่อกระทำคำสั่ง SLEEP

Bit 2 Z : Zero Bit บิตแสดงสถานะทางคณิตศาสตร์

1 = เมื่อผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์และลอจิก มีค่าเป็นศูนย์

0 = เมื่อผลลัพธ์จากการกระทำทางคณิตศาสตร์และลอจิก มีค่าไม่เท่ากับศูนย์

Bit 1 DC : Digit Carry / borrow bit (จากการกระทำคำสั่ง ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF)

1 = ผลลัพธ์การกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์มีการทศข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4 หรือข้ามจากบิต 4 มาบิต 3

0 = ผลลัพธ์การกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ไม่มีการทศข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4

ตารางที่ 2.3 อัตราส่วน

Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate
000	1 : 2	1 : 1
001	1 : 4	1 : 2
010	1 : 8	1 : 4
011	1 : 16	1 : 8
100	1 : 32	1 : 16
101	1 : 64	1 : 32
110	1 : 128	1 : 64
111	1 : 256	1 : 128

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Bit 0 C : Carry / borrow bit (จากการกระทำคำสั่ง ADDWF, ADDLW, SUBLW, SUBWF)

1 = ผลลัพธ์จากการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์มีการทดหรือมีการยืมในบิต MSb (bit 7)

0 = ผลลัพธ์จากการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ไม่มีการทดหรือมีการยืมในบิต MSb (bit 7)

### 2.1.5.2 OPTION\_REG Register

เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถกระทำการอ่านและเขียนได้ ซึ่งภายในจะบรรจุบิตข้อมูลต่างๆ ที่ใช้กำหนดการทำงานของฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

OPTION\_REG REGISTER (ADDRESS 81h, 181h)

RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Bit 7 **RBPU** : บิตกำหนดการทำงานของวงจร พูลอัพ (Pull - Up) ของ PORTB

1 = กำหนดให้วงจร Pull - Up ภายในของ PORTB ไม่ทำงาน

0 = กำหนดให้วงจร Pull - Up ภายในของ PORTB ทำงาน

Bit 6 **INTEDG** : บิตกำหนดรูปแบบของสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากขา RB0 / INT

1 = กำหนดสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากขา RB0 / INT แบบขอบขาขึ้น

0 = กำหนดสัญญาณอินเตอร์รัพท์จากขา RB0 / INT แบบขอบขาลง

Bit 5 **T0CS** : บิตเลือกโหมดการทำงาน Timer / Counter ของ Timer 0

1 = ทำหน้าที่นับสัญญาณนาฬิกาจากขาสัญญาณ RA4 / T0CKI

0 = ทำหน้าที่นับสัญญาณนาฬิกาจากขาสัญญาณนาฬิกาภายใน (Instruction Clock)

Bit 4 **T0SE** : บิตกำหนดรูปแบบของสัญญาณที่ขา RA4 / T0CKI

1 = เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่ขาสัญญาณที่ขา RA4 / T0CKI จาก “1” เป็น “0”

0 = เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่ขาสัญญาณที่ขา RA4 / T0CKI จาก “0” เป็น “1”

Bit 3 **PSA** : บิตกำหนด Prescaler

1 = กำหนดให้ Prescaler ทำงานกับ WDT (Watchdog Timer)

2 = กำหนดให้ Prescaler ทำงานกับ Timer 0

Bit 2-0 **PS2 - PS0** : บิตกำหนดจำนวนอัตราของ Prescaler

### INCON Register

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีหน้าที่ดูแลจัดการในส่วนของการอินเทอร์รัพต์ต่างๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วยบิตที่ทำหน้าที่กำหนดการใช้งานอินเทอร์รัพต์ และบิตที่แสดงสถานะของการอินเทอร์รัพต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

INCON REGISTER (ADDRESS 0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh)

GID	PEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTE	RBIF
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Bit 7 **GIE** : บิตนัยสำคัญสูงสุด ที่ควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด

1 = อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์ทุกประเภท

0 = ไม่อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์ใดๆ

Bit 6 **PEIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพต์ของ Peripheral interrupts

1 = อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์ของ Peripheral interrupts

0 = ไม่อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์ของ Peripheral interrupts

Bit 5 **TOIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพต์จากการเกิด Overflow ของ TMR0

1 = อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์จากการ Overflow ของ TMR0

0 = ไม่อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์จากการ Overflow ของ TMR0

Bit 4 **INTE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพต์จากภายนอกที่ขา RB0 / INT

1 = อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์จากภายนอกที่ขา RB0 / INT

0 = ไม่อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพต์จากภายนอกที่ขา RB0 / INT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 3 **RBIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงที่ขา RB7 :RB4

1 = อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ขา

RB7 :RB4

0 = ไม่อนุญาตให้มีการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่

ขา RB7 :RB4

Bit 2 **TOIF** : บิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการ Overflow ของ TMR0

1 = มีการเกิด Overflow ของ TMR0 (สามารถเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์)

0 = TMR0 ไม่มีการเกิด Overflow

Bit 1 **INTF** : บิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพท์จากภายนอกที่ขา RB 0 / INT

1 = เกิดการเกิดอินเทอร์รัพท์จากภายนอก RB 0 / INT (สามารถเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์)

0 = ไม่มีการเกิดอินเทอร์รัพท์จากภายนอก RB 0 / INT

Bit 0 **RBIF** : บิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ขา

RB7 / RB4

1 = เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ขา RB7 : RB4 (สามารถเคลียร์ได้ด้วย

ซอฟต์แวร์)

0 = ไม่มีการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการเปลี่ยนแปลงที่ขา RB7 : RB4

PIE1 Register

PIE1 เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จาก Peripheral Interrupt

PIE1 Register (ADDRESS 8Ch)

PSPIE	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Bit 7 **PSPIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการอ่านและเขียนของ Parallel

Slave Port

1 = อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จาก PSP read / write interrupt

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จาก PSP read / write interrupt

Bit 6 **ADIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จากโมดูล Analog to Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 = อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากโมดูลการแปลงสัญญาณ A / D

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากโมดูลการแปลงสัญญาณ A / D

Bit 5 **RCIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเตอร์รัพท์จากภาครับสัญญาณของการสื่อสาร  
อนุกรมแบบ USART

1 = อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากภาครับสัญญาณของการสื่อสาร

อนุกรมแบบ USART

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากภาครับสัญญาณของการสื่อสาร

อนุกรมแบบ USART

Bit 4 **TXIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเตอร์รัพท์จากภาคส่งสัญญาณของการสื่อสาร  
อนุกรมแบบ USART

1 = อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากภาคส่งสัญญาณของการสื่อสาร

อนุกรมแบบ USART

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากภาคส่งสัญญาณของการสื่อสาร

อนุกรมแบบ USART

Bit 3 **SSPIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเตอร์รัพท์จากการสื่อสารอนุกรมแบบ ซิงโครนัส  
(SSP)

1 = อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากการสื่อสารอนุกรมแบบ ซิงโครนัส

(SSP)

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากการสื่อสารอนุกรมแบบ ซิงโครนัส

(SSP)

Bit 2 **CCP1IE** : บิตควบคุมการเกิดอินเตอร์รัพท์จาก CCP1

1 = อนุญาตให้มีเกิดอินเตอร์รัพท์จาก โมดูล CCP1

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จาก โมดูล CCP1

Bit 1 **TMR2IE** : บิตควบคุมการเกิดอินเตอร์รัพท์เมื่อค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2

1 = อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์เมื่อค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์เมื่อค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2

Bit 0 **TMR1IE** : บิตควบคุมการเกิดอินเตอร์รัพท์จากการเกิด Overflow ของ TMR1

1 = อนุญาตให้มีการอินเตอร์รัพท์จากการเกิด Overflow ของ TMR1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จากการเกิด Overflow ของ TMR1

Bit 7 **PSPIF** : แฟล็กบิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการอ่านและเขียนของ Parallel Slave Port

1 = มีการอ่านหรือการเขียนข้อมูลเกิดขึ้น (ต้องเคลียร์บิตนี้ด้วยซอฟต์แวร์)

0 = ไม่มีการเกิดอินเทอร์รัพท์จาก PSP read / write interrupt

Bit 6 **ADIF** : แฟล็กบิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพท์จาก โมดูล Analog to Digital

1 = การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital เสร็จสิ้นจะเกิดอินเทอร์รัพท์ หาก Enable อินเทอร์รัพท์ชนิดนี้ไว้

0 = การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ยังไม่เสร็จสิ้น

Bit 5 **RCIF** : แฟล็กบิตแสดงสถานะการรับข้อมูลของภาครับสัญญาณ (RX) ในสื่อสารอนุกรม USART

1 = เมื่อภาครับข้อมูลเก็บข้อมูลลงบัฟเฟอร์เรียบร้อยแล้ว (บัฟเฟอร์เต็ม)

0 = เมื่อบัฟเฟอร์ของภาครับข้อมูลไม่มีข้อมูลอยู่ (บัฟเฟอร์ว่าง)

Bit 4 **TXIF** : แฟล็กบิตแสดงสถานะการส่งข้อมูลของภาคส่งสัญญาณในการสื่อสารอนุกรม USART

1 = เมื่อบัฟเฟอร์ของภาคส่งสัญญาณไม่มีข้อมูลอยู่ (ว่าง)

0 = เมื่อบัฟเฟอร์ของภาคส่งสัญญาณมีข้อมูลอยู่ (เต็ม)

Bit 3 **SSPIF** : แฟล็กบิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (SSP)

1 = มีเงื่อนไขการอินเทอร์รัพท์เกิดขึ้น จะต้องเคลียร์บิตนี้ก่อนออกจากโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพท์ (Interrupt Service Routine) โดยสาเหตุจากการอินเทอร์รัพท์จะมาจากเงื่อนไขต่างๆ ต่อไปนี้

- จากโหมด SPI
  - มีการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้นในโหมดการสื่อสาร SPI
- จากโหมด I<sup>2</sup>C Slave
  - มีการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้นในโหมดการสื่อสาร I<sup>2</sup>C Slave
- จากโหมด I<sup>2</sup>C Master
  - มีการรับส่งข้อมูลเกิดขึ้นในโหมดการสื่อสาร I<sup>2</sup>C Slave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อเงื่อนไขการ START จากโมดูลการสื่อสาร SSP เสร็จสิ้น
- เมื่อเงื่อนไขการ STOP จากโมดูลการสื่อสาร SSP เสร็จสิ้น
- เมื่อเงื่อนไขการ Restart จากโมดูลการสื่อสาร SSP เสร็จสิ้น
- เมื่อสัญญาณ Acknowledge จากโมดูลการสื่อสาร SSP เสร็จสิ้น
- เมื่อเกิดเงื่อนไขการ START แล้วโมดูลการสื่อสาร SSP ไม่ทำงาน (ในการสื่อสาร

แบบ Multi – Master system)

- เมื่อเกิดเงื่อนไขการ STOP แล้วโมดูลการสื่อสาร SSP ไม่ทำงาน (ในการสื่อสารแบบ

Multi – Master system)

0 = ไม่มีการอินเตอร์รัพท์จากการสื่อสารอนุกรมซิงโครนัส (SSP)

Bit 2CCP1IF : แฟล็กบิตแสดงสถานะการเกิดอินเตอร์รัพท์จากโมดูล CCP1

- โหมดตรวจจับสัญญาณ (Capture Mode)

1 = เมื่อรีจิสเตอร์ TMR1 เกิดการตรวจจับสัญญาณ (สามารถเคลียร์ได้ด้วย

ซอฟต์แวร์)

0 = เมื่อรีจิสเตอร์ TMR1 ไม่เกิดการตรวจจับสัญญาณ

- โหมดเปรียบเทียบข้อมูล (Compare Mode)

1 = เมื่อรีจิสเตอร์ TMR1 มีค่าเท่ากับสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบ (สามารถ

เคลียร์ได้ ด้วยซอฟต์แวร์)

0 = เมื่อรีจิสเตอร์ TMR1 มีค่าไม่เท่ากับสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบ

- โหมดกำเนิดสัญญาณ WPM

ไม่ใช้งานบิตนี้

Bit 1 TMR2IF : แฟล็กบิตแสดงการเกิดอินเตอร์รัพท์เมื่อค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2

1 = เมื่อค่าของ TMR2 เท่ากับ PR2 (สามารถเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์)

0 = เมื่อค่าของ TMR2 ไม่เท่ากับ PR2

Bit 0 TMR1IF : แฟล็กบิตแสดงการเกิดอินเตอร์รัพท์จากการเกิด Overflow ของ

TMR1

1 = มีการเกิด Overflow ของ TMR1 (สามารถเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์)

0 = ไม่มีการเกิด Overflow ของ TMR1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.5.3 PIE2 Register

เป็นรีจิสเตอร์ที่ควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์อีกตัวหนึ่ง โดยจะควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จากส่วนต่างๆ ดังนี้

PIE2 REGISTER (ADDRESS 8Dh)

-	Reserved	-	EEIE	BCLIE	-	-	CCP2IE
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

Bit 7 **Unimplemented** : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ “0”

Bit 6 **Reserved** : บิตนี้จะถูกสงวนไว้

Bit 5 **Unimplemented** : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ “0”

Bit 4 **INTE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จากระบบการเขียนข้อมูลของ EEPROM ภายใน

Bit 3 **BCLIE** : บิตควบคุมการเกิดอินเทอร์รัพท์จากการชนกันของข้อมูลบน Bus

1 = อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จากการชนกันของข้อมูลบน Bus

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จากการชนกันของข้อมูลบน Bus

Bit 2-1 **Unimplemented** : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ “0”

Bit 0 **CCP2IE** : บิตควบคุมการอินเทอร์รัพท์จากโมดูล CCP2

1 = อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จากโมดูล CCP2

0 = ไม่อนุญาตให้มีการอินเทอร์รัพท์จากโมดูล CCP2

## 2.1.5.4 PIR2 Register

เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บบิตสถานะของการอินเทอร์รัพต่างๆดังนี้

PIR2 REGISTER (ADDRESS 0Dh)

## PIR2 REGISTER (ADDRESS 0Dh)

U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0
—	Reserved	—	EEIF	BCLIF	—	—	CCP2IF
bit 7							bit 0

Bit7 **Unimplemented** : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ “0”

Bit6 **Reserved** : บิตนี้จะถูกสงวนไว้

Bit5 **Unimplemented** : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ “0”

Bit4 **EEIF** : บิตแสดงสถานะการอินเทอร์รัพของกระบวนการเขียนข้อมูลลง

EEPROM

ได้ด้วยซอฟต์แวร์)

1 = เมื่อกระบวนการเขียนข้อมูล EEPROM เสร็จสิ้น (บิตนี้สามารถเคลียร์

0 = เมื่อกระบวนการเขียนข้อมูล EEPROM ยังไม่เสร็จสิ้น

Bit3 **BCLIF** : บิตแสดงสถานะการอินเทอร์รัพจากการชนกันของข้อมูลในBus

โหมด I2C Master

1 = เมื่อมีการชนกันของข้อมูลในการสื่อสาร SSP เมื่อกำหนดการทำงานใน

0 = ไม่มีการชนกันของข้อมูล

Bit2-1 **Unimplemented** : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ “0”

Bit0 **CCP2IF** : บิตแสดงสถานะการเกิดอินเทอร์รัพจากโมดูล CCP2

- Capture mode : โหมดการตรวจจับสัญญาณ

1 = มีการตรวจจับสัญญาณของ TMR1 เกิดขึ้น (บิตนี้สามารถเคลียร์ได้ด้วย

ซอฟต์แวร์)

0 = ไม่มีการตรวจจับสัญญาณของ TMR1 เกิดขึ้น

- Compare mode : โหมดการเปรียบเทียบข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

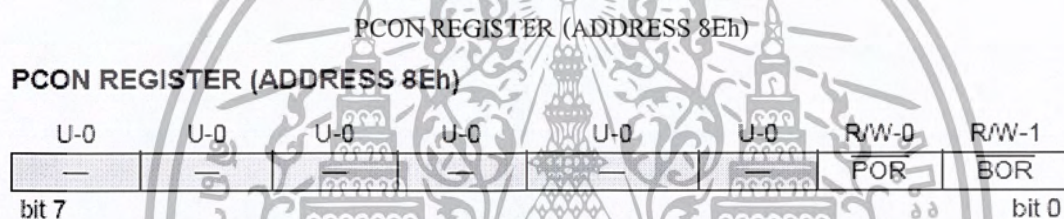
1 = เมื่อสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าเท่ากับ TMR1

0 = ค่าที่นำมาเปรียบเทียบไม่เท่ากับ TMR1

- PWM mode : โหมด Pulse Width Modulation  
ไม่ใช้งานบิตนี้

### 2.1.5.5 PCON Register

Power Control Register เป็นรีจิสเตอร์ที่แสดงสถานะของการเกิด Power-on Reset และ Brown-out Reset โดยมีรายละเอียดดังนี้



Bit7-2 Unimplemented : ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เท่ากับ "0"

Bit1  $\overline{POF}$  : บิตแสดงสถานะการทำงานของ Power-on Reset

1 = ไม่มีการเกิด Power-on Reset

0 = เกิด Power-on Reset (ควรจะ เซตด้วย ซอร์ฟแวร์หลังจากเกิด Power-on

Reset)

Bit0  $\overline{BOR}$  : บิตแสดงสถานะการทำงานของ Brown-out Reset

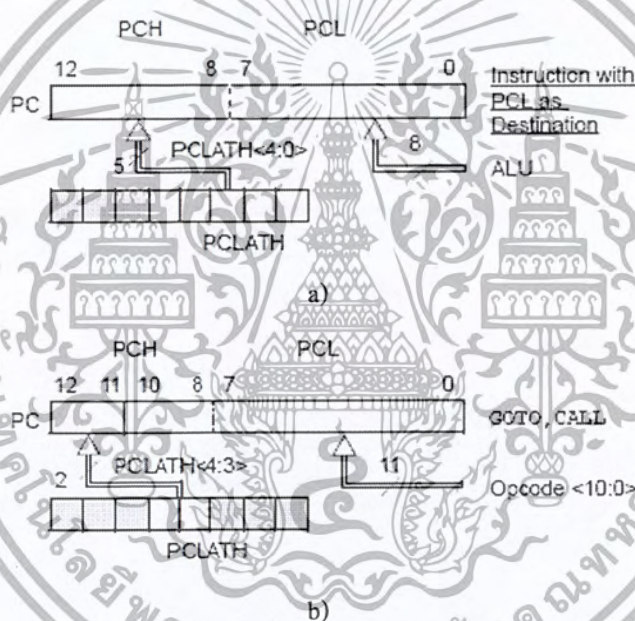
1 = ไม่มีการเกิด Brown-out Reset

0 = เกิด Brown-out Reset (ควรจะ เซตด้วย ซอร์ฟแวร์หลังจากเกิด Brown-

out Reset)

## 2.1.6 Register PCL and PCLATH

Program Counter(PC) ของ CPU PIC16F877 นี้มีขนาด 13 บิต โดยจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ในไบต์ล่างจะเป็นรีจิสเตอร์ PCL โดยจะเก็บตำแหน่งของ PC ใน 8 ล่าง(PC<7:0>)ซึ่งรีจิสเตอร์ PCL นี้สามารถทำการอ่านและเขียนข้อมูลได้ปกติ ส่วนอีก 5 บิตบน PCH ในรีจิสเตอร์ PC<12:8> นั้นไม่สามารถทำการอ่านและเขียนได้โดยตรง ซึ่งการอ่านและเขียนข้อมูลในส่วนนี้จะต้องทำผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH เมื่อเกิดการรีเซตทุกครั้ง รีจิสเตอร์ PC จะถูกเคลียร์เป็นศูนย์ทั้งหมด ทำให้ตำแหน่งเริ่มต้นที่ CPU จะทำงาน(Reset Vector) คือตำแหน่งแอดเดรส 0000h



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของรีจิสเตอร์ PC

จากรูปที่ 2.5 เป็นการแสดงการทำงานของรีจิสเตอร์ PC โดยในรูป a.) เป็นการเข้าถึงรีจิสเตอร์ PC โดยผ่านรีจิสเตอร์ PCL และ PCH โดยจะเห็นว่า PCL นั้นสามารถอ่านและเขียนได้โดยตรงทั้ง 8 บิต ส่วน PCH นั้นจะต้องทำผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH และ ในรูป b.) เป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าในรีจิสเตอร์ PC ตามการทำคำสั่งการกระโดด GOTO และ CALL โดยจากรูปจะเห็นว่าใน 11 บิตล่างของรีจิสเตอร์ PC<10:0> นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่า Opcode จากการ

กระทำคำสั่ง GOTO และ CALL ส่วน 2 บิตบนของรีจิสเตอร์ PC<12:11> จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ในการกระทำคำสั่งการกระโดดดังกล่าวมีช่วงอยู่ไม่เกิน 2 Kwords ( $2^{11}=2048$  ตำแหน่ง) ซึ่งจากหน่วยความจำของ PIC 18F458 มีทั้งหมด 8 Kwords ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 Page (Page ละ 2 Kwords) ดังนั้นหากต้องการที่จะกระโดดไปทำงานเกิน 2 Kwords จะต้องใช้คำสั่งการกระโดดควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในรีจิสเตอร์ PC<12:11> ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรีจิสเตอร์ PC ในบิต <12:11> ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรีจิสเตอร์ PC ในบิต <12:11> นี้จะต้องผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH<4:3>

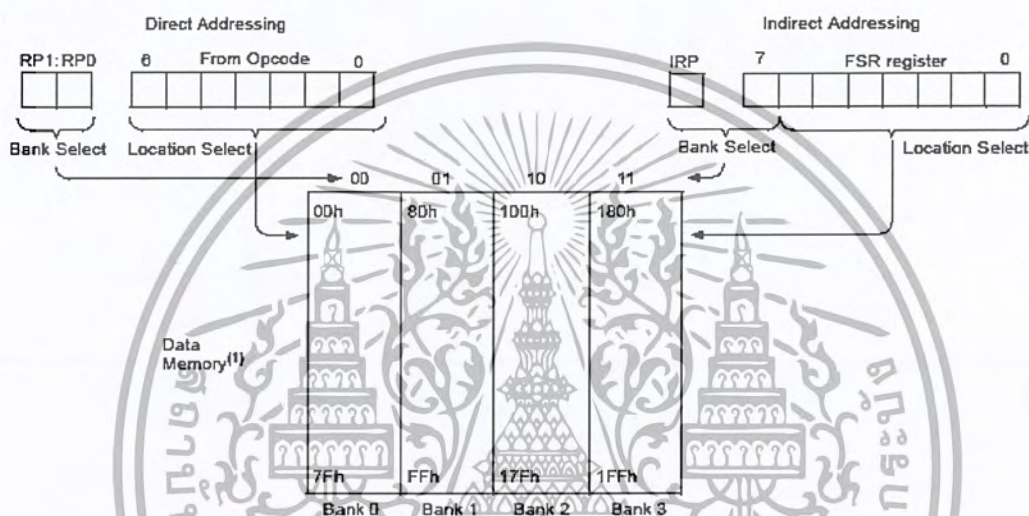
### 2.1.7 หน่วยความจำ STACK

ใน CPU PIC 18F458 นี้จะมีพื้นที่ของ Stack อยู่ 8 ระดับ ขนาดความกว้างของข้อมูล 13 บิต พื้นที่ของ Stack เหล่านี้ไม่สามารถ อ่านและเขียนได้โดยตรง การเปลี่ยนแปลงของค่าใน Stack จะเกิดจากการกระทำคำสั่ง CALL หรือ เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพท์เท่านั้น ซึ่ง STACK จะทำการเก็บค่าของรีจิสเตอร์ PC ไว้ในขณะที่ทำการเรียกใช้โปรแกรมย่อย CALL หรือ เมื่อถูกอินเตอร์รัพท์ และ STACK จะคืนค่าออกมาให้กับรีจิสเตอร์ PC เมื่อกระทำคำสั่ง RETURN, RETLW หรือ RETFIE เพื่อให้ CPU กลับไปยังตำแหน่งที่มา และการกระทำในส่วนนี้จะไม่มีผลกระทบต่อรีจิสเตอร์ PCLATH

ลักษณะของ STACK ใน CPU PIC16F877 นี้จะเป็นลักษณะวงกลมคือ เมื่อเก็บค่าข้อมูลลง STACK ถึงในชั้นที่ 8 แล้วหากมีการเก็บค่าข้อมูลลง STACK อีกครั้ง โดยในครั้งที่ 9 จะถูกเขียนทับลงในชั้นที่ 1 และการเก็บค่าครั้งต่อไป(ครั้งที่10) ก็จะถูกเขียนทับลงในชั้นที่ 2 จะเป็นวงรอบเช่นนี้ การเกิดเหตุการณ์เช่นนี้จะเรียกว่า STACK Overflow ซึ่งจะต้องคอยระวังในส่วนนี้ด้วย

### 2.1.8 การเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อม (Indirect Addressing)

การเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมนี้จะใช้ในกรอ่านเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งจะใช้รีจิสเตอร์สองตัวทำงานร่วมกันคือ INDF และ FSR โดยรีจิสเตอร์ FSR จะทำหน้าที่ชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความทรงจำข้อมูลที่ต้องการเข้าถึง ส่วนรีจิสเตอร์ INDF จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่ FSR ชี้อยู่



รูปที่ 2.6 แสดงการถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม

จากรูป 2.6 จะเห็นว่า การเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมนั้น จะใช้การอ้างอิงถึงแอดเดรสจำนวน 9 บิต คือ บิต IRP และอีก 8 บิตจากรีจิสเตอร์ FSR โดยแอดเดรสในการเข้าถึงจะเป็นแบบ 8 บิต ซึ่งจะเก็บตำแหน่งแอดเดรส 8 บิตนี้ในรีจิสเตอร์ FSR ส่วนในบิตที่ 9 (IRP) นั้นจะเป็นบิตที่ใช้ในการเลือกแบงก์ข้อมูล โดยข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 4 แบงก์ ดังนั้นในการเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมนี้จะแบงก์ข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ แบงก์ 0,1 และแบงก์ 3,4 การกำหนดบิต IRP จะเป็นดังนี้คือ หากกำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการเข้าถึงแบงก์ 0, แบงก์ 1 และหากบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเข้าถึง แบงก์ 3, แบงก์ 4

ประโยชน์ของการเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมนี้ มักจะใช้ในกรณีที่มีการอ่านเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลแบบต่อเนื่องกัน

### 2.1.9 หน่วยความจำข้อมูล EEPROM

PIC 18F458 มีหน่วยความทรงจำแบบ EEPROM จำนวน 256 byte โดยสามารถอ่านและเขียนในขณะที่ทำงานปกติได้แต่ต้องไม่มีการ Enable Code protect bit โดยการเข้าถึงนั้นจะต้องทำผ่าน รีจิสเตอร์พิเศษ(Special Function Register) ซึ่งต้องใช้ถึง 4 ตัว ดังนี้

- EECON1 : ควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ
- EECON2 : จัดลำดับการเรียงข้อมูล
- EEDATA : เป็นบัฟเฟอร์ใช้เก็บข้อมูล 8 บิต สำหรับการอ่านและเขียน
- EEADR: รีจิสเตอร์ที่เก็บแอดเดรส 00h-FFh (256 Byte)

ข้อมูลที่ถูกเขียนลงในหน่วยความจำ EEPROM จะคงสถานะเดิมอยู่ตลอดแม้จะไม่มีกระแสไฟเลี้ยงให้กับ CPU แล้วก็ตาม ซึ่งในการอ่านและเขียนข้อมูลของ EEPROM นี้จะต้องใช้กระบวนการพิเศษ โดยขั้นตอน และ รายละเอียดต่างๆ จะได้กล่าวในภายหลัง

### 2.1.10 การใช้งาน I/O พอร์ต

ขาสัญญาณ I/O ของ CPU ของ PIC 18F458 นั้นมีทั้งหมด 5 พอร์ต A,B,C,D และ E รวมทั้งสิ้น 33 ขาสัญญาณ ซึ่งในแต่ละขานั้นอาจทำงานได้ในหลายหน้าที่ ในลักษณะของการมัลติเพล็กซ์ ซึ่งในการใช้งานขาสัญญาณต่างๆ จะต้องศึกษาตามรายละเอียดการใช้งานของแต่ละพอร์ตดังนี้

#### 2.1.10.1 การใช้งานพอร์ต A (PORTA)

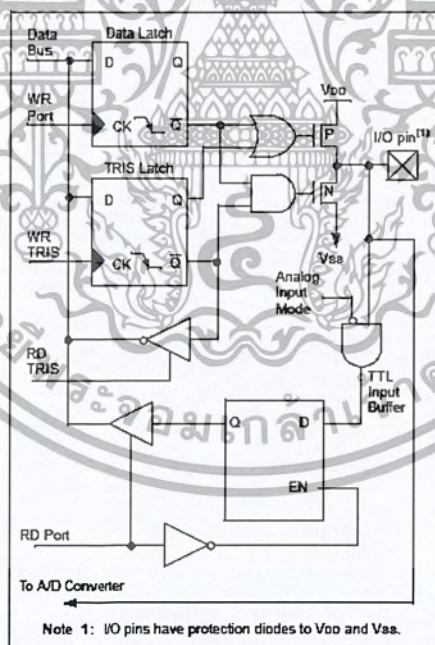
PORTA จะมีขาใช้งานทั้งหมด 6 ขาสัญญาณ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต โดยในการกำหนดสถานะการทำงานให้เป็นอินพุตและเอาต์พุตนั้นขึ้นอยู่กับที่กำหนดข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ TRISA ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมสถานะการทำงานของพอร์ต A โดย

หากกำหนดข้อมูลเป็น “1” ให้บิตใดจะหมายถึงกำหนดให้บิตนั้นเป็นอินพุต และกลับกันหากกำหนดให้บิตใดๆเป็น “0” จะหมายถึงให้บิตนั้นเป็นเอาต์พุต

PORTA นอกจากจะทำงานเป็นอินพุต/เอาต์พุต ได้แล้ว ขาสัญญาณต่างๆยังสามารถทำงานในหน้าที่อื่นอีกดังนี้คือ

- ขา RA3 : RA0 และ RA5 สามารถเป็นอินพุต/เอาต์พุตได้ตามปกติ นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในส่วนของโมดูล Analog to Digital โดยทำหน้าที่เป็นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อก และขาอินพุตแรงดันอ้างอิง( $V_{ref}$ )ซึ่งสามารถควบคุมกำหนดการทำงานได้จากรีจิสเตอร์ ADCON1 ซึ่งในรายละเอียดจะได้ศึกษาในหัวข้อของการใช้งาน A/D ต่อไป

- ขา RA4/TOCKI สามารถใช้งานเป็นอินพุตสัญญาณนาฬิกาให้กับ Timer 0 โดยจากรูปที่ 3.2 วงจรภายในของขา RA4 ด้านอินพุตจะเป็นลักษณะของวงจร Schmitt Trigger ส่วนเอาต์พุตจะเป็นแบบ Open drain ฉะนั้น หากนำขา RA4 ไปใช้งานเป็นเอาต์พุตจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ(Pull-up)ด้วย



รูปที่ 2.7 แสดงวงจรรภายในของ PORTA(RA3-RA0 และ RA5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

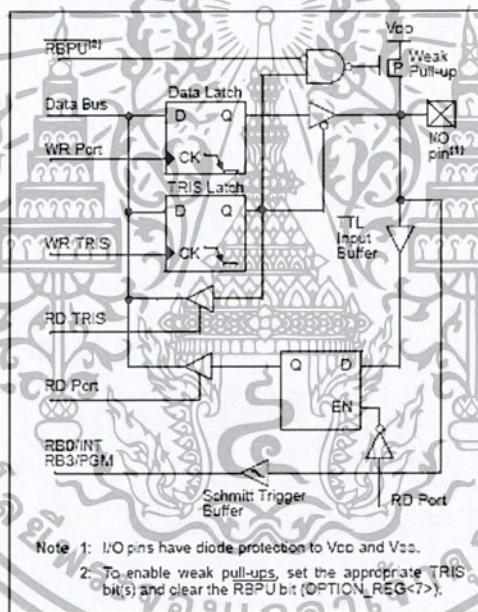


ตารางที่ 2.5 แสดงรีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในการใช้งาน PORTA

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0u 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented locations read as '0'.  
 Shaded cells are not used by PORTA.

2.1.10.2 การใช้งานพอร์ต B (PORTB)



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างของขาสัญญาณ RB3:RB0

PORTB จะมีขาสัญญาณทั้งหมด 8 ขาสัญญาณ ขาสัญญาณทุกขาของ PORTB นั้นสามารถเป็นได้ทั้งอินพุต/เอาต์พุตได้ทั้งหมด โดยในการกำหนดการทำงานที่บิต TRISA จะมีลักษณะเดียวกันกับ PORTA 8คือหากบิตใดๆเป็น “0” จะหมายถึงให้บิตนั้นเป็นเอาต์พุต และถ้าบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



นอกจากนี้ขา RB7:RB4 ยังสามารถเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ อินเทอร์รัพจากการเปลี่ยนแปลงของขาสัญญาณดังกล่าวได้อีกด้วย โดยจะต้องกำหนดให้ขาสัญญาณเหล่านี้เป็นอินพุต จึงจะสามารถทำให้เกิดการอินเทอร์รัพขึ้นได้ แต่ถ้าหากกำหนดให้เป็นเอาต์พุตจะไม่มีผลต่อการอินเทอร์รัพและการอินเทอร์รัพชนิดนี้ยังสามารถทำให้เกิด Wake=up เมื่ออยู่ใน Sleep โหมดได้อีกด้วย

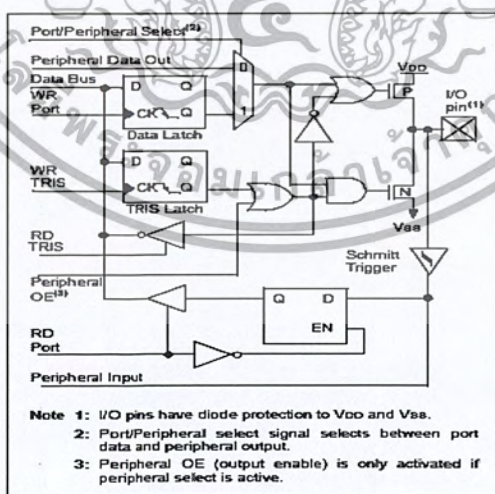
ตาราง 2.6 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต B

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
06h, 106h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	x?xxx xxxx	nnnnn nnnn
86h, 186h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
81h, 181h	OPTION_REG	RBP	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

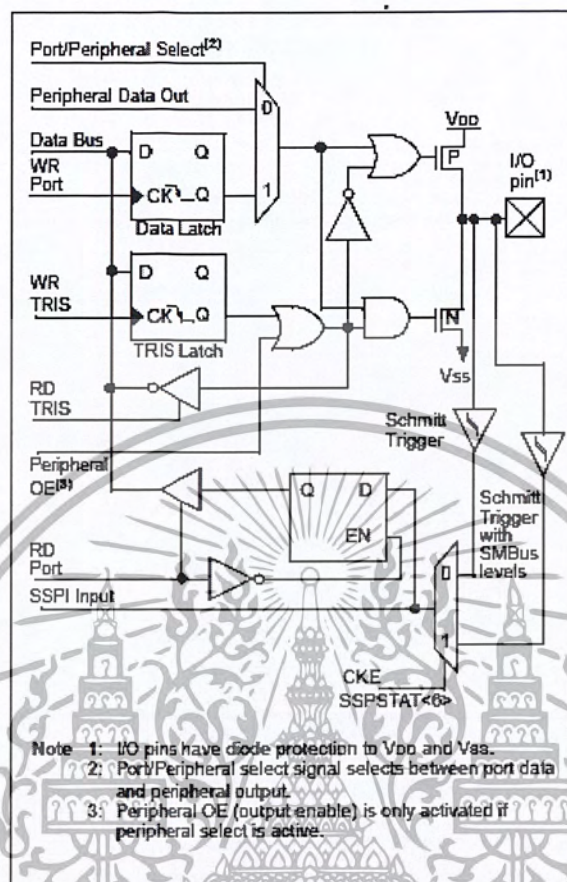
### 2.1.10.3 การใช้งานพอร์ต C (PORTC)

พอร์ต C จะมีขาสัญญาณทั้งหมด 8 ขาซึ่งทุกขาจะเป็นแบบ bi-directional คือสามารถทำงานได้ทั้ง 2 ทิศทางโดยเป็นได้ทั้ง อินพุต และ เอาต์พุต ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ TRISC เหมือนกับพอร์ตอื่นๆ ที่ผ่านมา



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของขาสัญญาณ RC<2:0>และRC<7:5>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดง โครงสร้างภายในของขาสัญญาณ RC<4:3>

นอกจากจะใช้งาน พอร์ต C เป็นอินพุต/เอาต์พุตปกติได้แล้ว ขาสัญญาณต่างๆ ยังสามารถทำงานในฟังก์ชันภายในต่างๆของ CPU ซึ่งแต่ละขาจะถูกออกแบบให้ใช้งานในลักษณะของการมัลติเพิล็กซ์ ทำให้สามารถทำงานได้ในหลายหน้าที่โดยมีรายละเอียดของแต่ละขาสัญญาณดังต่อไปนี้

- RC0/T1OSO/T1CKI

T1OSO : ทำหน้าที่เป็นขา Oscillator output ของ Timer1

T1CKI : ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาของ Timer1

- RC1/T1OSO/CCP2

T1OSO : ทำหน้าที่เป็นขา Oscillator output ของ Timer1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CCP2 : ทำหน้าที่เป็นขาของสัญญาณอินพุตของ โมดูล  
ตรวจจับสัญญาณ Capture2,  
เอาต์พุตของ โมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ Compare2 , เอาต์พุตของ  
โมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM2

- RC2/CCP1

CCP1 : ทำหน้าที่เป็นขาของสัญญาณอินพุตของ โมดูลตรวจจับสัญญาณ Capture1,  
เอาต์พุตของ โมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ Compare1, เอาต์พุตของ โมดูลกำเนิดสัญญาณ

PWM1

- RC3/SCK/SCL

SCK : ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณนาฬิกา(Clock) ในโหมดการสื่อสาร SPI

SCL : ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณนาฬิกา(Clock) ในโหมดการสื่อสาร I<sup>2</sup>C

- RC4/SDI/SDA

SDI : ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณข้อมูล(Data) ในโหมดการสื่อสาร SPI

SDA : ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณข้อมูล(Data) ในโหมดการสื่อสาร I<sup>2</sup>C

- RC5/SDO

SDO : ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตสัญญาณข้อมูล(Data)ในการสื่อสาร Synchronous Serial Port

- RC6/TX/CK

TX : ทำหน้าที่เป็นขาส่งสัญญาณข้อมูล(Transmit) ในโหมด Asynchronous ของโมดูล  
การสื่อสาร USART

CK : ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณนาฬิกา(Clock) ในโหมดการสื่อสาร synchronous

- RC7/RX/DT

RX : ทำหน้าที่เป็นขารับสัญญาณข้อมูล(Receive) ในโหมด Asynchronous ของโมดูล  
การสื่อสาร USART

DT : ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณข้อมูล(Data) ในโหมดการสื่อสาร synchronous

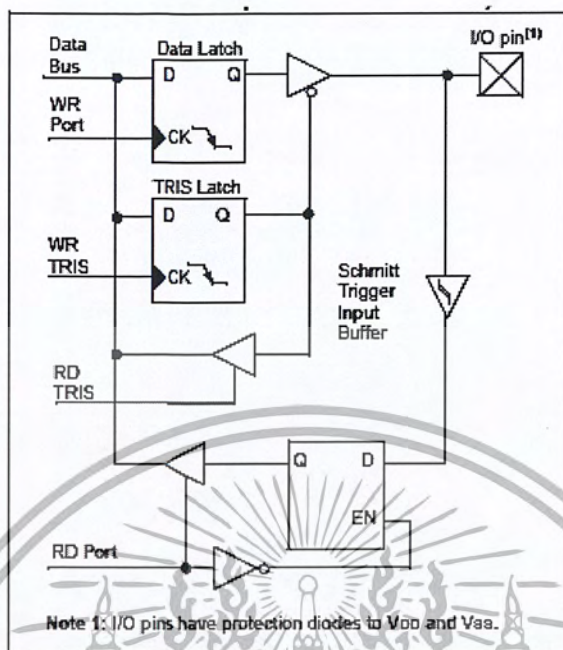
## ตารางที่ 2.7 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต C

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxx xxxx	nnnn nnnn
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged

### 2.1.10.4 การใช้งานพอร์ต D (PORTD)

พอร์ต D มีจำนวนขาสัญญาณทั้งหมดรวม 8 ขาสัญญาณ โดย บัฟเฟอร์จะเป็นแบบ ชมิททริกเกอร์ เมื่อทำงานเป็น I/O ปกติ และจะเป็น TTL เมื่อใช้งานในโหมดการสื่อสาร Parallel Slave Port ขาสัญญาณของพอร์ต D สามารถกำหนดให้เป็น อินพุตและเอาต์พุต ได้ทุกขา ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ TRISD เหมือนกับพอร์ตที่ผ่านมา พอร์ต D นอกเหนือจากการนำไปใช้งานในฟังก์ชัน I/O ปกติแล้วยังสามารถใช้งานในโหมดการสื่อสารแบบขนาน Parallel Slave Port เพื่อใช้เชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ต่างๆได้อีกด้วย โดยจะเป็นการสื่อสารแบบ 8 บิต ในการใช้งานโหมดนี้จะต้องเซตค่าที่บิต PSPMODE ในรีจิสเตอร์ TRISE<4> โดยมีโครงสร้างภายในของขาสัญญาณต่างๆดังรูป



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างภายในของ PORTD  
 ตารางที่ 2.8 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS	
08h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	xxxx xxxx	nnnn nnnn	
88h	TRISD	PORTD Data Direction Register									1111 1111	1111 1111
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	PORTE Data Direction Bits					0000 -111	0000 -111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PORTD.

### 2.1.10.5 การใช้งานพอร์ต E (PORTE)

พอร์ต E มีจำนวนขาสัญญาณทั้งหมด 3 ขา ซึ่งสามารถใช้งานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ และทั้ง 3 ขานี้จะมีโครงสร้างเหมือนกับขาสัญญาณของ พอร์ต D คือ เมื่อทำงานเป็น อินพุต/เอาต์พุต จะมีวงจรบัฟเฟอร์ภายในเป็นแบบ ชmitt Trigger เกอร์ และจะมีโครงสร้างเป็นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TTL เมื่อทำงานในโหมด การสื่อสารพอร์ตนาน Parallel Slave Port ส่วนในการใช้งานในโหมด อินพุต/เอาต์พุตปกติ นั้น เนื่องจากเมื่อเกิด Reset ขาสัญญาณของ PORTE จะถูกกำหนดให้ทำงานใน โหมดของ A/D คือ เป็นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อก ดังนั้นจะต้องทำการกำหนดค่าให้รีจิสเตอร์ ADCON1 ให้อยู่ในโหมดการทำงานที่เป็น Digital I/O โดยการโหลดค่า 07h ให้กับรีจิสเตอร์ ADCON1 จากนั้นจึงกำหนดหน้าที่ของบิตต่างๆ ให้เป็น อินพุต/เอาต์พุตโดยการกำหนดค่าที่ รีจิสเตอร์ TRISE<2:0> การกำหนดเป็น “1” จะเป็นอินพุต และ “0” จะเป็นเอาต์พุต

TRISE REGISTER (ADDRESS 89h)

R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1
IBF	OBF	IBOV	FSPMODE	—	Bit2	Bit1	Bit0
bit 7							bit 0

รูปที่ 2.14 Parallel Slave Port Status/Control Bits

Bit7 **IBF**: เป็นบิตสถานะการรับข้อมูลของ Input Buffer ในการส่งข้อมูลแบบขนาน (PSP mode) ออกไป

1= มีการรับข้อมูลเข้ามาที่ Buffer เรียบร้อยเพื่อรอให้ CPU ทำการอ่าน

0= ไม่มีการรับข้อมูลเข้ามาที่ Buffer

Bit6 **OBF**: เป็นบิตสถานะของ Output Buffer ในการส่งข้อมูลแบบขนาน (PSP mode)

1= ยังมีข้อมูลอยู่ใน Output Buffer

0= มีการอ่านข้อมูลจาก Output Buffer ออกไปแล้ว

Bit5 **IBOV**: บิตแสดงการเกิด โอเวอร์โพล์หรือการชนกันของข้อมูลใน Input Buffer (ใน Microprocessor mode)

1= เมื่อมีการเขียนข้อมูลใหม่มายัง Input Buffer ในขณะที่ข้อมูลเก่ายังไม่ถูกอ่านออกไป(บิตนี้สามารถเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์)

0= ไม่มีการเกิดโอเวอร์โพล์ หรือ การชนกันของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Bit4 PSPMODE:** บิตเลือกโหมดการทำงานของ Parallel Slave Port

1= กำหนดให้ PORTD ทำงานในฟังก์ชันของ Parallel Slave Port mode

0= กำหนดให้ PORTD ทำงานในฟังก์ชันของ general purpose I/O mode

**Bit3 Unimplemented:** ไม่ใช้งานอ่านค่าได้เป็น '0'

**Bit2 Bit2:** บิตควบคุมสถานะการเป็นอินพุต/เอาต์พุต ของขาสัญญาณ RE2/CS/AN7

1= อินพุต

0= เอาต์พุต

**Bit1 Bit1:** บิตควบคุมสถานะการเป็นอินพุต/เอาต์พุต ของขาสัญญาณ RE1/WR/AN6

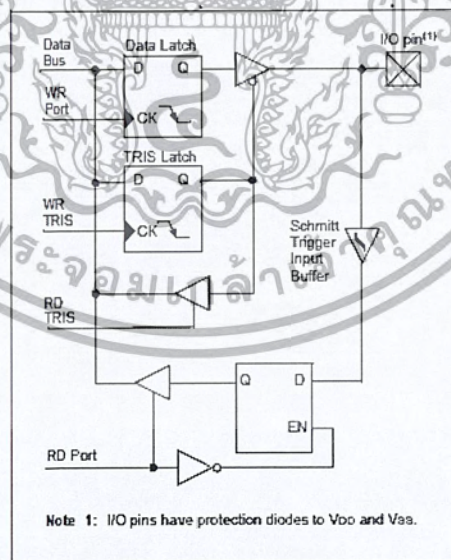
1= อินพุต

0= เอาต์พุต

**Bit0 Bit0:** บิตควบคุมสถานะการเป็นอินพุต/เอาต์พุต ของขาสัญญาณ RE0/RD/AN5

1= อินพุต

0= เอาต์พุต



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างภายในของขาสัญญาณ PORTE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.9 รีจิสเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานพอร์ต E

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
09h	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits			0000 -111	0000 -111
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000


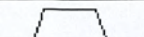


Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PORTE.

## 2.2 วงจรส่วนแสดงผล (LCD module)

ขาที่ต่อใช้งานของส่วนแสดงผล LCD มีดังนี้

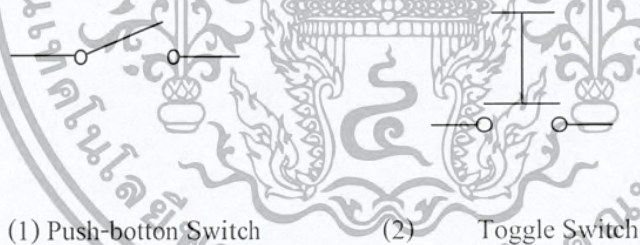
- ขา 1 เป็นขา GND
- ขา 2 เป็นขา ไฟเลี้ยงตัววงจร
- ขา 3 เป็นขาปรับแรงดันในการขับ LCD ให้สว่างหรือมืด
- ขา 4 เป็นขา RS (register selection) เป็นขาเลือกรีจิสเตอร์ภายในซึ่งมีอยู่ 2 ตัว คือ IR (instruction register) และ DR (data register) โดยถ้าเป็น 1 เป็นการเลือกข้อมูล และถ้าเป็น 0 เป็นการเลือกคำสั่ง
- ขา 5 เป็นขา R/W (read / write) เป็นตัวเลือกว่าเขียนหรืออ่านข้อมูลจากตัว IC โดยอ่านข้อมูล = 1 เขียนข้อมูล = 0
- ขา 6 เป็นขา E (enable signal) เป็นขากำหนดทิศทางการรับเขียนอ่านข้อมูล แสดงลักษณะสัญญาณทั้ง RS, RW และ E ดังตารางที่ 2.1
- D0 - D7 เป็นขารับส่งข้อมูลจากตัวคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 2.10 แสดงลักษณะสัญญาณของขา RS, RW และ E

RS	RW	E	การทำงาน
0	0		เขียนค่าคำสั่ง
0	1		อ่านแฟลชและหัวขั้วแอสแตดรัส
1	0		เขียนข้อมูล
1	1		อ่านข้อมูล

### 2.3 คีย์แพด ( Keypad )

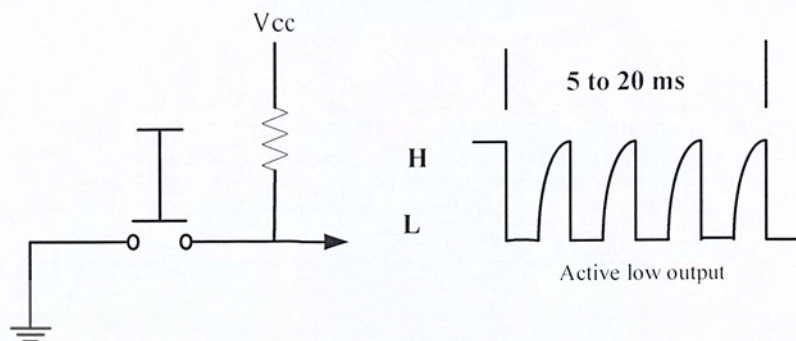
คีย์แพด (Keypad) คืออุปกรณ์อินพุตที่เกิดจากการนำสวิตช์หลายๆ ตัวมาต่อดูด้วยกันแบบเมทริกซ์ เสมือนเป็นคีย์บอร์ดขนาดเล็กอีกหนึ่งหนึ่ง เช่น ต้องการคีย์แพดขนาด 4x4 จะใช้สวิตช์ทั้งหมด 16 ตัว โดยกลไกการทำงานของสวิตช์เมื่อกดปุ่มสวิตช์ จะทำให้เส้นลวดทองแดงสัมผัสกันเกิดการครบวงจรขึ้นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การทำงานของสวิตช์

จากโครงสร้างการทำงานของสวิตช์จะมีปัญหาที่เรียกว่า Contact Bounce หรือการกดสัมผัส นั่นคือเมื่อเรากดสวิตช์ เอาต์พุตที่ได้จะเกิดเป็นพัลส์ขึ้นมาในช่วงแรกๆ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าเวลาเรากดสวิตช์ หน้าสัมผัสของสวิตช์ไม่ได้เชื่อมต่อทันทีทันใด แสดงดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

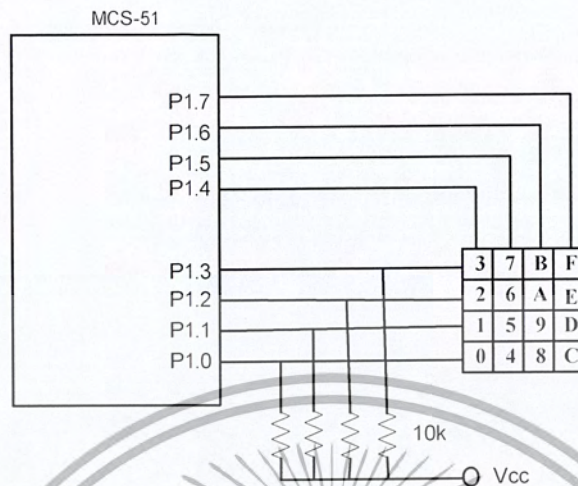


รูปที่ 2.17 แสดงการเกิดพัลส์เมื่อทำการกดสวิตช์

เพื่อให้ได้เอาต์พุตที่ถูกต้องจากการกดสวิตช์ ก่อนส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เราต้องหน่วงเวลาไว้ระยะหนึ่งก่อนเพื่อแน่ใจว่าสวิตช์สัมผัสกันลงที่แล้ว กระบวนการนี้เรียกว่า Debouncing ดังนั้นในการใช้งานคีย์แปดจึงประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน

### 2.3.1 Keypad Scanning

สำหรับตรวจสอบว่าสวิตช์ไหนถูกกด เนื่องจากคีย์แปดประกอบด้วยสวิตช์จำนวนหลายตัวมาต่อกันเป็นเมทริกซ์ และใช้เทคนิคการถอดรหัส และการเลือกว่าคีย์ไหนถูกกดให้ดูคีย์ในแนวที่แถวและคอลัมน์ตรงกัน



รูปที่ 2.18 รูปแสดงการเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.3.2 Keypad Debouncing

เพื่อความแน่ใจว่าสวิตช์นั้นถูกกดจริง เมื่อเรากดสวิตช์เอาต์พุตที่ได้จะเกิดเป็นพัลส์ขึ้นมาในช่วง 5 ms แรก และเกิดพัลส์เมื่อไม่กดหรือปล่อยสวิตช์ภายใน 20 ms ดังนั้นจึงให้คิดว่าสวิตช์ถูกกดหลังจากแรงดันเป็น low ประมาณ 10 ms และสวิตช์ถูกปล่อยหลังจากแรงดันเป็น high ประมาณ 10 ms

### 2.3.3 Table Lookup

สำหรับหารหัสแอสกี (ASCII Code) ของคีย์ที่กดนั้น เพื่อส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากคีย์ถูกกด โปรแกรมก็จะหารหัสแอสกี (ASCII) ของคีย์ที่เราคในตาราง รหัสแอสกี (ASCII Code Table) จากนั้นจะส่งรหัสที่ได้ไปยังซีพียู

## 2.4 Current transformer (CT)

CT ไม่เหมือน power transformer ทั้งหมดแต่ใช้หลักการ electromagnetic induction เหมือนกัน ลักษณะการใช้งานต่างกัน ใน power transformer กระแสไหลผ่านขดลวด primary จะมีความสัมพันธ์กับกระแสด้าน secondary ซึ่งเป็นไปตาม load แต่ CT มีขดลวด primary ต่ออนุกรม (series) กับ line เพื่อวัดกระแสที่ไหลผ่าน หรือกล่าวได้ว่า กระแสในขดลวด primary จะไม่ขึ้นกับ load ที่ต่ออยู่ อาจแบ่งประเภทของ CT ได้เป็นสองชนิดตามการใช้งาน

- CT ที่ใช้วัดกระแส โดยนำอุปกรณ์ instrument เช่น metering system ต่างๆ คือ energy meter, current indicating meter มาต่อเข้าที่ด้าน secondary เรียกว่า metering current transformer
- CT ที่ใช้กับระบบป้องกัน (protective equipment) เช่น trip coil, relay ซึ่งเรียกว่า protective current transformer

### 2.4.1 หน้าที่ของ CT

คือ แปลงกระแสสูงค่าหนึ่ง เป็นกระแสอีกค่าหนึ่งที่ต่ำลง ตามมาตรฐานกำหนด rated current ของขดลวด secondary ไว้ที่ 5A และ 1A เพื่อเป็นมาตรฐานในการผลิตอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่นำมาต่อเข้ากับ secondary terminal กรณีใช้งานกับไฟแรงสูง จำเป็นต้องมีฉนวนที่สามารถทนต่อแรงดันใช้งานและแรงดันผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบ แต่หากไม่คำนึงถึงฉนวน (insulation) สิ่งสำคัญของ CT ที่ต้องมี คือ

- primary winding
- magnetic core
- secondary winding
- burden

**primary winding** เป็นขดลวดที่ต่ออนุกรม (series) กับ line หรือ primary circuit แบ่งเป็นชนิด มีรอบเดียว single-turn primary winding ได้แก่ ring-type หรือ through-type ใช้ lineconductor/cable, หรือ busbar คล้องหรือสวมให้ผ่านช่อง (window) ของ core ที่มีขดลวด secondary พันอยู่จึงถือเป็นรอบเดียว และ ชนิดที่มีหลายรอบ multi-turn primary winding หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

wound primary current transformer ขดลวดของ primary มีหนึ่งรอบจะดีกว่าหลายรอบ กล่าวคือผลต่อ แรงทางกลที่กระทำกับ conductor ของ primary ในขณะที่กระแสลัดวงจรไหลผ่าน และความร้อน ที่เกิดขึ้นจากกระแสสูง (dynamic and thermal stresses)

**magnetic core** เป็นแกนเหล็กที่ให้ induced flux ไหล คุณสมบัติของ CT ที่สำคัญคงเป็นเรื่องความละเอียดถูกต้องแม่นยำ และความเที่ยงตรง (accuracy) ของ CT คุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของ material ที่ใช้ทำ core และ โครงสร้างของ core จึงมักใช้ magnetic alloys

**secondary winding** เป็นขดลวดชุดที่สองที่พันบนแกนเพื่อลดกระแสให้ต่ำลง สามารถนำอุปกรณ์ต่างๆ มาต่อเพื่อวัดค่าได้ คุณสมบัติของ CT ขึ้นอยู่กับ flux density ใน core เป็นสำคัญ flux ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับ impedance ทั้งหมดใน secondary circuit ส่วนหนึ่งคือ impedance ของขดลวด secondary บางกรณีจะมีค่ามากกว่า impedance ของอุปกรณ์ หรือ burden ที่ต่อเข้า

**burden** เป็น impedance ของอุปกรณ์ที่ต่อทาง secondary เช่น relay, เครื่องมือวัดหรือ อุปกรณ์อื่นๆ รวมทั้งสายที่ต่อระหว่างอุปกรณ์กับ secondary terminal รวมทั้งหมด คือ burden ของ CT อาจมีหน่วยเป็น VA หรือ ohm ก็ได้ เช่น

CT ที่มี rated burden เท่ากับ  $P$  VA

rated secondary current  $I_s$  A

$$Z_b: \text{burden} = P / (I_s)^2 \text{ ohm}$$

ถ้า burden มี power factor เท่ากับ  $\cos\theta$

ค่า resistance จะเท่ากับ  $R_b = Z_b \cdot \cos\theta$

ค่า reactance จะเท่ากับ  $X_b = Z_b \cdot \sin\theta$

โดยที่  $P$  = พลังงาน (VA)

$I_s$  = กระแส secondary (A)

$Z_b$  = Burden อิมพีแดนซ์ของรีเลย์ (Ohm)

บางคนอาจมีความเข้าใจผิดคิดว่าชื่อ CT ที่มี burden สูงๆ ไว้ก่อน เมื่อเวลาใช้งานจะต่อ burden ที่มีค่าต่ำกว่า rated burden มากแล้วจะทำให้ได้ accuracy ดีขึ้น error น้อยลง ความเข้าใจนี้ไม่ถูกต้อง ซึ่งจะกล่าวต่อไป

## 2.4.2 ค่ากำหนดต่างๆ ของ CT

- rated primary current
- rated secondary current
- rated burden
- supply frequency
- accuracy class
- system voltage ด้าน primary circuit
- rated short circuit current ที่ไหลผ่าน primary winding และระยะเวลาที่ไหล

ผ่าน

หลักการการทำงานของ CT

ถ้ากระแส  $I_p$  ไหลผ่านทาง primary winding จะเกิด

- induced flux :  $\Phi$  ใน core
- flux ใน core จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันที่ secondary winding :  $E_s$
- $E_s$  เกิดขึ้นทำให้เกิดกระแส  $I_s$  ไหลใน secondary circuit
- กระแสที่ไหลเป็นไปตาม ampere-turn balance

$$N_p I_p = N_s I_s \text{ (เป็น ideal transformer)}$$

ในทางปฏิบัติ secondary winding จะมีทั้ง resistance และ leakage reactance และต้องคำนึงถึง capacitance ที่อาจมีค่าสูงจนมีผลต่อ impedance ของวงจร

$$E_s = I_s Z_s = k \cdot \Phi m$$

$$\Phi m \text{ เป็น exciting ampere-turn : } N_p I_1$$

ฉะนั้น  $N_p I_p$  จึงถูกแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนของ primary exciting ampere-turn :  $N_p I_e$  และ ส่วนของ primary transferring ampere-turn :  $N_p I_{p1}$  เมื่อกระแสที่แปลงไปที่ด้าน secondary ไม่ใช่กระแสทั้งหมด จึงทำให้เกิด current error หรือ ratio error ขึ้น

โดยที่	$N_p$	=	อัตราส่วนของหม้อแปลง Primary
	$N_s$	=	อัตราส่วนของหม้อแปลง Secondary
	$I_p$	=	กระแส Primary (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I_{p1}$	=	กระแสในขดลวด Primary (A)
$I_s$	=	กระแส Secondary (A)
$I_1$	=	กระแสในขดลวด (A)
$I_c$	=	กระแสกระตุ้นทางด้าน Secondary (A)
$E_s$	=	Secondary Excitation Voltage (V)
$Z_s$	=	อิมพีแดนซ์ของขดลวด Secondary (Ohm)

### 2.4.3 โลหะที่ใช้ทำ core

โลหะที่ใช้ทำแกนเหล็ก (core) ต้องเป็น ferromagnetic material เนื่องจาก error เกิดขึ้นจาก magnetizing current ที่ใช้ในการสร้าง flux จึงจำเป็นต้องศึกษาเรื่อง magnetizing curve ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง flux density และ magnetizing ampere-turn หรือ B-H curve

จะเห็นได้ว่าเมื่อ flux density สูงขึ้น จะต้องใช้กระแสมากขึ้นในการสร้าง flux และเมื่อเลยจากจุด knee point กระแสจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยที่ flux เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หรือเรียกว่า โลหะมีสภาพอิ่มตัว (saturation) ซึ่งทำให้มี error มากในการ transferring จาก curve แสดงถึง oriented electrical steel ซึ่งความสัมพันธ์แบ่งได้เป็น 4 ช่วง

1. ช่วง 0-1 เป็นช่วงแรก origin ตอนเริ่มต้น ของ curve จนถึงจุดที่ 1 ที่เรียกว่า angle point ความสัมพันธ์ระหว่าง B-H ไม่ linear ช่วงนี้ flux และ exciting current ยังต่ำมาก

2. ช่วง 1-2 หลังจากจุดที่ 1 จนถึงจุดที่ 2 ที่เรียกว่า knee point ช่วงนี้ความสัมพันธ์เป็น linear เรียกว่าช่วง linear จุด knee point คือจุดที่ flux density เพิ่มขึ้น 10% ขณะที่กระแสเพิ่มขึ้น 50 %

3. ช่วง 2-3 หลังจากจุดที่ 2 จนถึง จุดที่ 3 เรียกจุดนี้ว่าจุดอิ่มตัว saturation ช่วงนี้ flux density เปลี่ยนเพิ่มขึ้นน้อยมาก แต่ต้องการกระแสมาก

4. ช่วงหลังจากช่วงอิ่มตัว saturation ไปแล้ว ช่วงนี้ flux density แทบไม่เปลี่ยนแปลง แต่ต้องการกระแสมาก เรียกว่าช่วง Saturation

Protective current transformer สามารถใช้ช่วง 0-3 ในขณะที่มีกระแสปกติ แต่ขณะมีกระแสลัดวงจรไหลผ่านอาจอยู่ช่วงต้นๆ ของ 4 แต่ metering current transformer จะใช้ช่วง 0-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่านั้น ในทางปฏิบัติอาจใช้ถึงช่วงก่อน knee point ขณะที่ใช้ full load current ไหลผ่านขดลวด primary เพราะจะใช้ core material น้อยลง

Material ส่วนใหญ่ที่ใช้คือ

- Hot rolled silicon-iron alloy
- Cold rolled oriented silicon-iron alloy (electrical steel)
- Nickel-iron alloy
- Composite material

#### 2.4.3.1 Hot rolled silicon-iron alloy

ในยุคแรกๆ material ที่ใช้ทำแกนเหล็กมีส่วนผสมของ mild steel กับ carbon ปริมาณเล็กน้อย มีข้อเสียคือ มีอายุการใช้งานสั้น คือช่วงใช้งานจะมี hysteresis loss สูงขึ้นเรื่อยๆ ต่อมามีการพัฒนาใช้ silicon ผสมแทน carbon ทำให้ปัญหาเรื่อง ageing หดไป แต่ถ้าใส่ silicon มากจะเปราะ และหักง่าย ไม่สะดวกเวลาตัดและเจาะรู ปัจจุบันมี hot rolled electrical steel ที่มี silicon ผสมน้อยลงมีคุณสมบัติของ permeability ดีขึ้น จึงนิยมใช้ทำหม้อแปลง ทำให้มีชื่อเรียกว่า transformer grade

#### 2.4.3.2 Cold rolled oriented silicon-iron alloy (electrical steel)

ต่อมามีการพัฒนาการผลิตเหล็กมากขึ้นสามารถใช้วิธี Cold rolled ทำให้สามารถปรับปรุง magnetic property ได้ดีขึ้นทำให้เกิดการเรียงตัวของ crystal structure ดีขึ้นในทิศทางที่รีด ทำให้ flux ที่ไหลในแนวขนานกับผิวของแผ่นเหล็ก (laminated sheet) ได้ค่า permeability ดีขึ้นมากลด losses ทำให้ CT มีขนาดลดลง แต่ flux ที่ไหลในทิศทางที่หักโค้งจะด้อยกว่าแนวขนาน ฉะนั้นการทำ core sheet เป็นรูปตัว T หรือตัว U จะดีกว่าการทำให้เป็น strip wound core และเป็นรูป ring-type core

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.3 Nickel-iron alloy

เป็นโลหะที่มี Losses ต่ำ แต่มี permeability สูง มีข้อเสียคือ คุณสมบัติ magnetic performance จะเปลี่ยนแปลงถ้าได้รับ mechanical stress ส่วนใหญ่ เป็น c-core จะประกอบ และ bonded ก่อนแล้วจึงตัดเป็นแบ่งเป็นรูป C ฉะนั้นจำเป็นต้องป้องกันเวลาขนย้าย และประกอบอย่างดี การผลิต alloy ชนิดนี้มีราคาแพง จึงใช้เฉพาะ CT ที่ต้องการ accuracy สูงเท่านั้น

### 2.4.3.4 Composite material

ใช้ผสมกันระหว่าง Nickel-iron alloy กับ Electrical steel ข้อดี คือ สามารถใส่ Nickel-iron alloy ไว้ตรงกลางระหว่าง Electrical steel ทำให้มี Mechanical reinforce

## 2.4.4 การบอกลักษณะของ CT

- Ratio คืออัตราส่วนของการแปลงกระแส จากกระแสด้าน primary เป็นกระแสด้าน secondary

เช่น Ratio ของ current transformer 300 : 5 มีความหมายว่า CT มี rated primary current เท่ากับ 300 A และ rated secondary current มีค่า 5 A หรือ CT ที่เป็น Multi-ratio : 100-1200 A. สามารถเลือกกระแสใช้ได้ 10 ratio ตั้งแต่ 100 A. ถึง 1200 A. โดยที่กระแสด้าน secondary มีค่าคงที่เท่ากับ 5 A. และ กรณีที่มี Secondary หลายชุดพันบนแต่ละ core ให้เลือกใช้งาน เรียกว่า multi-core เช่น 100-1200/5

- Current rating factor : RF คือ ค่าจำนวนเท่าของกระแสด้าน primary ที่ CT สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเช่น 1, 1.3, 2 เป็นต้น

- ความแม่นยำ (accuracy) คือความถูกต้องแม่นยำของการแปลงกระแส ซึ่งมีลักษณะต่างกันระหว่าง ชนิด protection และ metering

- Polarity ใช้ในกรณีที่นำ secondary ของ CT สองชุด หรือมากกว่าสองชุดมาต่อกัน และทิศทางการไหลของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4 ข้อกำหนดของความแม่นยำของ CT (accuracy class)

IEEE/ANSI std.

**Metering CT** มีข้อมูลกำกับที่กำหนดไว้ดังนี้

- มี accuracy class ที่ระบุคือ 0.3 , 0.5 , 0.6 , 1.2
  - มี rate burden อยู่ 5 แบบ คือ B – 0.1 , B – 0.2 , B – 0.5, B – 0.9 และ B – 1.8
- เช่น 0.3 B – 0.1 คือ CT ตัวนี้มี accuracy class  $\pm 0.3 \%$  และมี rated burden เท่ากับ  $0.1 \Omega$

**Relaying CT** มีข้อมูลกำกับที่กำหนดไว้ดังนี้

- C classification เป็นการบอก accuracy ที่ระบุได้จากการคำนวณ
- T classification เป็นการบอก accuracy ที่ระบุได้จากการทดสอบ (test)
- Secondary terminal voltage rating เช่น กรณีพิกัดด้าน secondary ของ CT = 5 A

Secondary terminal voltage standard burden  $\Omega$

10	B – 0.1
20	B – 0.2
50	B – 0.5
100	B - 1
200	B - 2
400	B - 4
800	B – 8

Standard burdens for current transformer ที่กำหนดเป็นมาตรฐานมีลักษณะดังนี้

ตารางที่ 2.11 Standard burdens for current transformer

burden	resistance ( $\Omega$ )	inductance (mH)	impedance ( $\Omega$ )	volt-ampere ( at 5 A )	power factor
metering burdens					
B - 0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
B - 0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
B - 0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
B - 0.9	0.81	1.04	0.9	22.5	0.9
B - 1.8	1.62	2.08	1.8	45.0	0.9
relaying burdens					
B - 1	0.5	2.3	1.0	25	0.5
B - 2	1.0	4.6	2.0	50	0.5
B - 4	2.0	9.2	4.0	100	0.5
B - 8	4.0	18.4	8.0	200	0.5

Standard accuracy classes and limits of TCF for current transformer for metering service

TCF = transformer correction factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

accuracy class	limit of TCF				limit of P.F (lagging of metered power load)
	100% rated current		10% rated current		
	min	max	min	max	
1.2	0.988	1.012	0.976	1.024	0.6 – 1.0
0.6	0.994	1.006	0.988	1.012	0.6 – 1.0
0.5	0.995	1.005	0.995	1.005	0.6 – 1.0
0.3	0.997	1.003	0.994	0.006	0.6 – 1.0

เช่น C 100 ความหมายคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านด้าน primary เท่ากับ 20 เท่าของ rated current ในขณะที่มี rated burden  $1 \Omega$  ต่ออยู่ด้าน secondary จะเกิดแรงดันที่ secondary terminal เท่ากับ 100 โวลต์ (rated burden  $\times (20 \times 5) =$  secondary volt ) และ มี ratio error จากการคำนวณไม่เกิน 10%

#### 2.4.6 IEC Standard (International Electro technical Commission)

Metering (metering core)

-  $F_s$  = instrument security factor คือจำนวนเท่าของ rated current ที่ทำให้ core เกิด

อิ่มตัว

- Accuracy กำหนดค่าเท่ากับ 0.1 0.2 0.5 1.0 3.0

##### 2.4.6.1 Relaying (protective core)

- ALF :Accuracy Limit Factor คือค่าจำนวนเท่าของกระแสที่ ratio error ไม่เกิน

มาตรฐาน

- Class มี 5P, 10P เช่น ALF = 20,  $I_n = 5$  A. class 5P ความหมายคือ ที่  $20 \times 5 = 100$  A, % ratio error ไม่เกิน 5.0%

- Continuous-thermal-current rating factor ที่ ambient temperature เท่ากับ  $30^\circ\text{C}$

ค่า Rating factor นี้กำหนดไว้ 6 ค่า คือ 1.0 , 1.33 , 1.5 , 2.0 , 3.0 และ 4.0

- Short-time current rating คือค่ากระแสสูงสุดที่มีผลด้านแรงทางกล และความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mechanical current rating ( $I_{dyn}$ ) คือ ค่ากระแส short circuit สูงสุดที่ไหลผ่านขดลวดโดยขดลวดสามารถทนแรงกล (mechanical force) ที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งกำหนดเป็นค่า RMS ของ AC component ของรูปคลื่น asymmetrical primary current เมื่อเกิดลัดวงจรทางด้าน primary circuit

- Short-time thermal current rating ( $I_{th}$ ) คือ ค่ากระแส short circuit สูงสุดที่ไหลผ่านขดลวดด้าน Primary โดยที่ขดลวดสามารถทนความร้อนที่เกิดขึ้น โดยมีอุณหภูมิไม่เกินจากค่ากำหนด ซึ่งกำหนดค่าเป็น RMS ของ symmetrical primary current

อุณหภูมิที่ CT สามารถทนได้ตามชนิดของฉนวนคือ กรณีฉนวนชนิด temperature rise  $55^{\circ}\text{C}$  มีอุณหภูมิไม่เกิน  $250^{\circ}\text{C}$  และ กรณีชนิด  $80^{\circ}\text{C}$  มีอุณหภูมิไม่เกิน  $350^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลาทดสอบนาน 1 วินาที

#### 2.4.7 การเลือก primary rated current

ต้องคำนึงถึงขณะที่กระแสมีปริมาณต่ำๆ Minimum current ที่ไหลผ่านขณะใช้งานด้วย เพราะ Primary ampere-turn จะมีผลต่อคุณสมบัติเรื่อง ratio error และ phase error

อีกประการหนึ่งเรื่องของ Dynamic force และ Thermal stress ที่เกิดขึ้นในขณะที่มีกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นไหลผ่าน ด้าน Primary winding

ถ้ามี Primary winding หนึ่งรอบ หรือเป็น bar-type จะมีราคาถูกกว่าชนิดหลายรอบ wound-type primary winding

บางกรณีอาจมีความจำเป็นต้องใช้ชนิด Multi-ratio ซึ่งทำได้โดย

- ให้รอบด้าน secondary คงที่ไว้และต่อรอบด้าน primary ให้ขนาน หรืออนุกรมกัน

- ให้รอบ primary คงที่ไว้แล้วใช้วิธี tap รอบ ออกมาตามต้องการ หรือต่อขนาน หรืออนุกรม ด้าน secondary

- ออกแบบโดยใช้สองวิธีรวมกัน

## 2.4.8 การเลือก secondary rated current

ในปัจจุบัน secondary current rating มีอยู่ 2 ชนิด คือ 1 A. และ 5 A. อาจมีข้อคำถามว่า จะเลือกชนิดไหนมาใช้งานดี

ลองพิจารณา CT สองตัวที่มี กระแส 5 A. และ 1 A.

ถ้ามี flux density เท่ากัน มีค่า rated primary current เท่ากัน มีขนาด core ที่กำหนด เท่ากัน และ secondary ampere-turn มี mean length เท่ากัน ขณะที่ทดสอบกับ rated burden ที่ primary rated current จะมีค่า error เท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ สายที่ใช้ต่อระหว่าง terminal กับ burden หรือ relay มีความยาวมาก ทำให้มี lead resistance ไม่เท่ากัน จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญ ถ้า lead ที่ใช้ต่อมีขนาดเดียวกันจะพบว่าชนิด 1 A. มี burden (VA) น้อยกว่า 5 A. ถึง 1/25

อีกประการหนึ่งชนิด 1 A. สามารถปรับค่า error ได้ง่ายกว่า โดยปรับรอบด้าน secondary เพื่อชดเชยกับ primary ampere-turn :  $N_p I_p = N_s I_s$  เช่น ปรับรอบ 1 รอบของ CT 100 : 5 จะส่งผลถึง 5% แต่มีผลกับ CT 100/1 เพียง 1%

ชนิด 1 A. มีข้อดีเรื่องราคา คือ ราคาจะแพงกว่าชนิด 5 A. แต่ผู้ผลิตอาจจะปรับขนาดของ core ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดค่า material เนื่องจาก burden น้อยกว่า 5 A.

ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของชนิด 1 A. คือ จะเกิดแรงดันสูงกว่า 5 A. ขณะเกิด open circuit ที่ secondary เนื่องจากมีจำนวนรอบของขด secondary มากกว่า

สรุปไม่มีข้อกำหนดตายตัวว่าชนิดไหนดีกว่า แต่สามารถกล่าวได้ว่า ควรเลือกขนาด 5 A. ก่อน ยกเว้นว่าจะมีความจำเป็นบางประการ เช่น ระบบทั้งหมดถูกออกแบบไว้เป็นชนิด 1 A. มีปัญหาเรื่อง spare unit หรือ ระยะทางระหว่าง CT กับ อุปกรณ์ป้องกันอยู่ห่างกันมาก เป็นต้น

โดยที่

$N_p$	=	อัตราส่วนของหม้อแปลง Primary
$N_s$	=	อัตราส่วนของหม้อแปลง Secondary
$I_p$	=	กระแส Primary (A)
$I_s$	=	กระแส Secondary (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.9 การเลือก secondary rated burden

การพิจารณาหา rated burden ต้องคำนึงถึงสาย lead ที่ใช้ต่อระหว่าง CT กับอุปกรณ์ต่างๆ standard burden มีค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังกล่าวมาแล้ว เวลาใช้งาน burden อาจมี power factor ไม่เหมือนกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ทำให้มี error เกิดขึ้นไม่เหมือนกับตอนที่ทดสอบ อีกประการหนึ่งปกติค่า error ที่ burden ต่ำๆ มักจะเป็นด้านบวก (positive) มากกว่า เมื่อเพิ่ม burden มากขึ้นจนถึง rated burden ค่า error จะลดลงและไปอยู่ด้านลบ (negative) ถ้าเลือกใช้ CT ที่มี rated burden สูงเกินไปมาใช้งานเวลาที่นำ burden ที่ต่ำกว่ามาต่ออาจทำให้ error อยู่ด้านเป็น positive ซึ่งอาจมีค่าสูงกว่าด้าน negative และจะมีผลมากถ้าการออกแบบใช้ turn correction ปรับ error เพื่อให้ขณะที่มี rated burden มี error ไม่ให้เกิดค่ากำหนด การเพิ่ม turn ทำให้ error เป็น positive มากขึ้น

#### 2.4.10 การใช้งาน overload

ปกติ CT จะสามารถใช้งานในสภาพ overload 120% ได้ในระยะเวลาหนึ่ง โดยมีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงคือ temperature rise ของขดลวดและน้ำมัน นอกจาก CT จะกำหนด current factor ไว้เพื่อให้สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องโดยการออกแบบ current density และ temperature rise ไว้ให้เหมาะสม อย่างไรก็ตาม accuracy ที่ออกแบบไว้อาจจะดีที่สุดใน current factor สูงสุด แต่นำไปใช้งานที่ 100% อาจจะมี accuracy ค่อนข้าง และที่กระแสค่าอาจไม่เหมาะสม ฉะนั้นควรเลือก rated primary current เท่ากับกระแสที่ไหลผ่านจริง หรือเลือกจากค่ามาตรฐานที่สูงกว่าแต่ให้อยู่ใกล้กับค่าใช้งานจริงมากที่สุด

เช่น ถ้าใช้กับกระแส load เท่ากับ 500 A. ให้เลือก rated primary current เท่ากับ 500 A. หรือ 600 A. ตามมาตรฐาน ซึ่งจะดีกว่าเลือกขนาด 400 A. และกำหนด current factor 1.25 เท่า

การทดสอบ CT ที่มีสภาพ overload เช่นที่ 120% จะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบ error ของ accuracy แต่ไม่มีวัตถุประสงค์เรื่องการพิจารณาความสามารถใช้ continuous loading ที่ 120 %

#### 2.4.11 สิ่งแตกต่างกันระหว่าง protective และ metering current transformer

มีลักษณะบางประการที่แตกต่างกัน

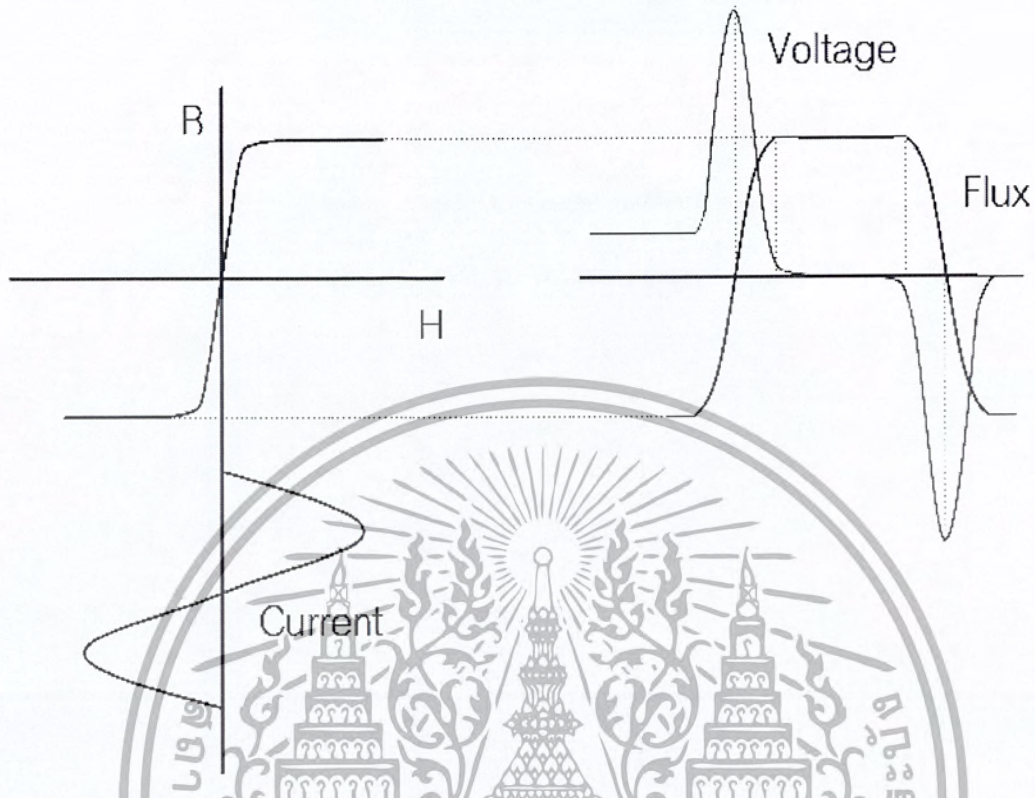
- protective CT จะคำนึงถึงเฉพาะ ratio error ส่วน phase error ไม่ค่อยสำคัญ เหมือน metering CT ยกเว้นกรณีที่มีการนำไปเปรียบเทียบ phase กันระหว่าง CT สองตัว

- จะพิจารณา error ของ metering CT เฉพาะในขณะที่ primary current มีปริมาณ 5-120 % ของ rated current แต่ protective CT ต้องคำนึงถึงกระแสที่ระดับหลายเท่าของ rated current ที่เกิดขึ้นขณะวงจรด้าน primary circuit เกิดลัดวงจร การใช้ protective CT กับ differential relay จำเป็นต้องคำนึงถึง exciting curve ของ CT ทั้งสองตัว หรือ มากกว่าสองตัวที่นำมาต่อกัน หากมีความแตกต่างกันมาก จะทำให้ minimum setting หรือ mismatch setting (ที่คำนึงถึง tap changer compensation) ไม่เพียงพอ กรณี bus differential relay มีคุณลักษณะเป็น high impedance relay ค่าแรงดันที่เกิดจากกระแส mismatch คูณกับ relay impedance ต้องน้อยกว่า voltage setting ของ relay

#### 2.4.12 open circuit voltage ใน CT

ในขณะที่มี burden ต่ออยู่ที่ secondary circuit ของ CT จะมีแรงดันคร่อม burden เพียงเล็กน้อยเป็นระดับ volts แต่เมื่อ secondary circuit เกิด open หรือ กรณีที่ปลดสายต่อของ burden ออกขณะกำลังใช้งาน เมื่อมีกระแสไหลทาง primary จะทำให้เกิดไฟแรงสูงที่มีรูปร่างเป็น pulse ที่มี peak สูงอาจเป็นระดับ kilovolt ที่ secondary winding

CT ที่มี rated secondary current 5 A. มี burden ขนาด 15 VA ต่ออยู่ ขณะที่กระแสไหลทาง primary เป็น rated current จะมีแรงดันที่ secondary terminal ประมาณ 3 volts แต่ถ้า secondary circuit เกิด open จะเกิดแรงดันที่มี peak สูงเป็นระดับ kV เพราะ primary ampere-turn ทั้งหมดจะเป็น exciting ampere-turn ไม่มี ampere-turn ในส่วนของ transferring จึงทำให้ core เกิด saturation อย่างมาก

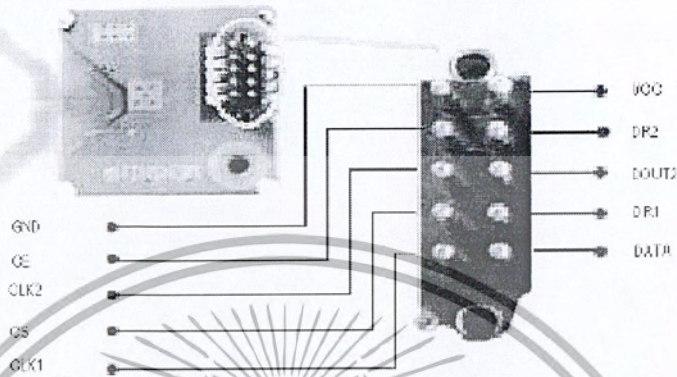


รูปที่ 2.19 แสดงรูปร่างของ flux ที่มี flat-topped shape

แรงดันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ flux จึงทำให้ขณะที่ flux เปลี่ยนแปลงเป็นรูป flat โดยเร็วก็จะเกิด เป็นแรงดันสูงเฉพาะตรงนั้น (peaky) แรงดันสูงนี้อาจทำให้ฉนวนด้าน secondary เสียหาย (breakdown) และอาจเกิด overheat จาก eddy current losses ได้ด้วย ในทางปฏิบัติจึงต้องออกแบบให้มีฉนวนที่ทนแรงดันที่เกิดขึ้นนี้ตลอดเวลาถึงแม้ว่า routine test จะกำหนดให้ทดสอบเพียง 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เครื่องรับ-ส่งสัญญาณ FSK TRW 2.4 GHz



รูปที่ 2.20 เครื่องส่งสัญญาณ FSK TRW 2.4 GHz

เครื่องรับ-ส่งสัญญาณ FSK TRW 2.4 GHz มีโหมดในการทำงาน Mode of operation

ดังนี้

### 2.5.1 Overview

ระบบย่อยของ nRF2401 สามารถจัดอยู่ในโหมดหลักได้ดังต่อไปนี้ โดยจะขึ้นกับ 3

pins ควบคุม

ตารางที่ 2.12 nRF2401 subsystem main modes

Mode	PWR_UP	CE	CS
Active	1	1	0
Configuration	1	0	1
Stand by	1	0	0
Power down	0	X	X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 Active modes

ระบบย่อย nRF2401 มี 2 Active โหมด ( TX / Rx ) :

- Shock Burst
- Direct Mode ( not supported by nRF24E1 )

ฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ในโหมดนี้คือถูกโดยเนื้อหาของ Configuration word โดย Configuration word จะแสดงในส่วนของ Configuration

### 2.5.3 Shock Burst

เทคโนโลยี Shock Burst ใช้บัฟเฟอร์ FIFO เพื่อรับข้อมูลที่อัตราข้อมูลต่ำและส่งต่อที่อัตราข้อมูลสูงมาก ด้วยเหตุนี้จะสามารถทำให้เกิดการลดทอนของกำลังสูงสุด เมื่อดำเนินการระบบย่อย nRF2401 ใน Shock Burst เราจะได้อัตราข้อมูลสูงสุด (1 Mbps) โดย band 2.4 GHz โดยไม่ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ความเร็วสูงและราคาสูง (MCU) สำหรับการดำเนินการทางข้อมูล

โดยการใส่การประมวลผลข้อมูลความเร็วสูงสัมพันธ์กับ RF Protocol บนชิพ nRF24E1 มีประโยชน์ ดังนี้

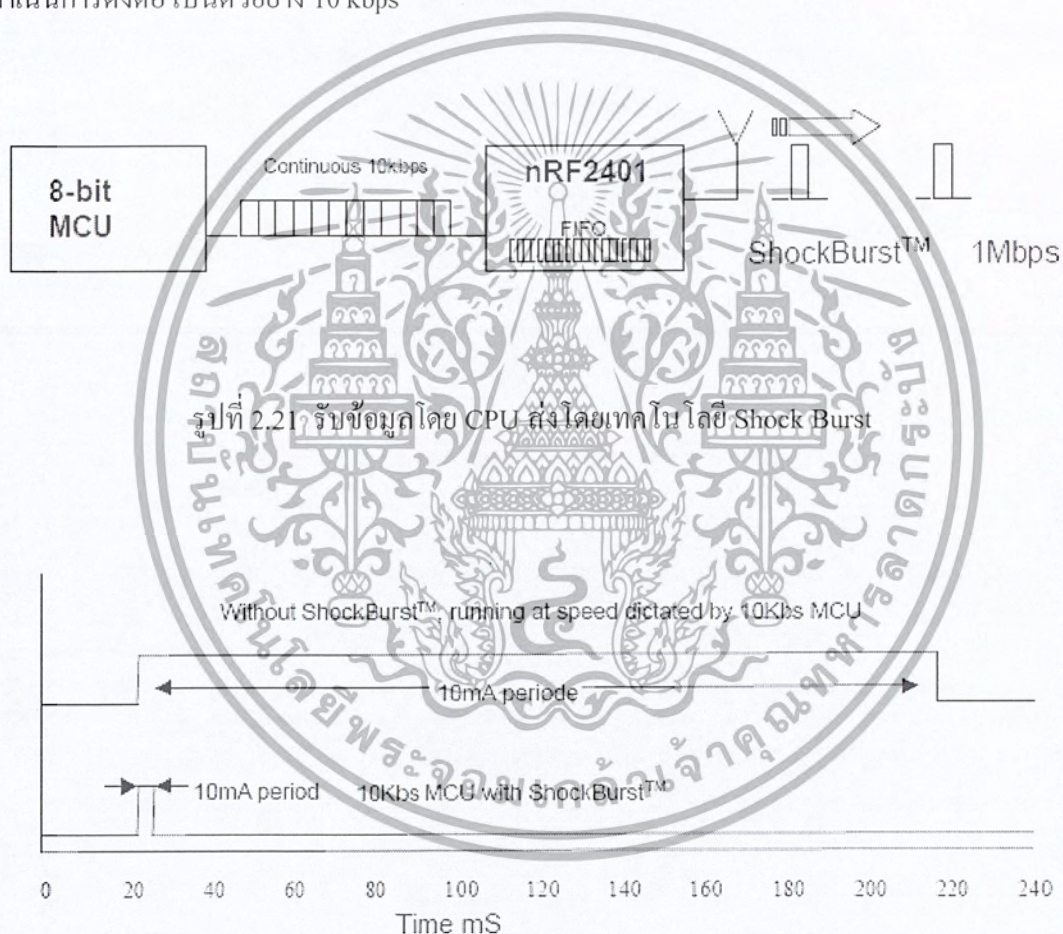
- ลดการใช้กระแส
- ระบบที่มีราคาถูก ( ใช้งานได้ง่ายสำหรับ microcontroller ราคาไม่แพง )
- ลดอัตราการเลี้ยงของก๊าซในอากาศ เนื่องจากการส่งสัญญาณในช่วงเวลาสั้นๆ

ได้ดีมาก

ระบบย่อย nRF 2401 สามารถโปรแกรมโดยใช้ สาย interface พื้นฐาน 3 เส้น ซึ่งอัตราของข้อมูลจะเลือกโดยความเร็ว CPU โดยยอมรับส่วนดิจิทัลของ application เพื่อจะ run ที่ความเร็วต่ำขณะที่อัตราข้อมูลบน RF Link มีค่าเพิ่มสูงสุด โหมด Shock Burst จะลดการใช้กระแสเฉลี่ยใน application

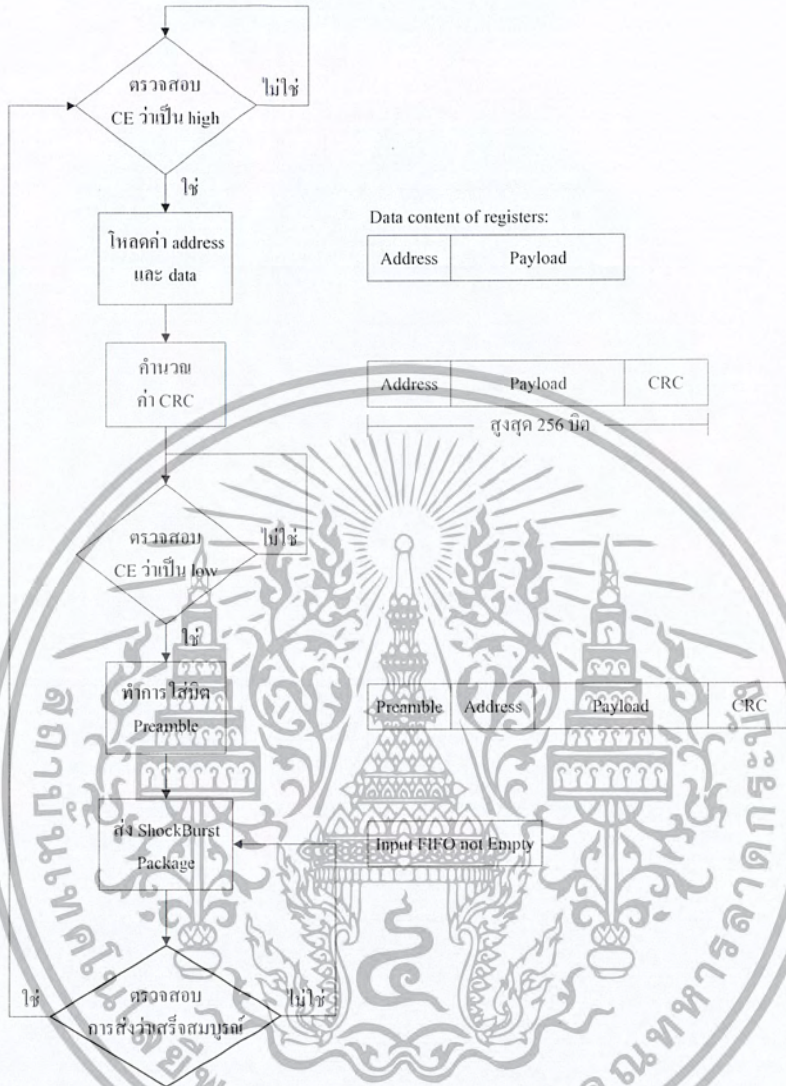
### 2.5.3.1 หลักการของ Shock Burst

เมื่อระบบย่อย nRF 2401 มีโครงสร้างใน Shock Burst กระบวนการ Tx จะดำเนินการดังต่อไปนี้ตัวอย่าง 10 kbps



รูปที่ 2.22 การใช้กระแส RF โดยใช้และไม่ใช้เทคโนโลยี Shock Burst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 Flow Chart Shock Burst การส่งของระบบย่อย nRF2401

2.5.3.2 การส่ง Shock Burst

CPU interface pins : CE, CLK1, DATA

1. เมื่อ CPU มีข้อมูลที่จะส่ง Set CE high คือ กระตุ้น nRF2401 ให้

ประมวลผลบนบอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แอดเดรสของโหมครับ (Rx) และ payload ข้อมูลจะจับเวลาเข้าสู่ช่วงเวลา ระบบย่อย nRF2401 protocol หรือ CPU ตั้งความเร็วน้อยกว่า 1 Mbps
3. CPU ตั้ง CE low คือ กระตุ้นการส่ง Shock Burst
4. Shock Burst
  - RF front end จะมีกำลังเพิ่มขึ้น
  - RF Package จะสมบูรณ์
  - ข้อมูลจะถูกส่งที่ความเร็วสูง (250 bps หรือ 1Mbps แล้วแต่ผู้ใช้)



รูปที่ 2.24 Flow Chart Shock Burst การรับระบบย่อย nRF2401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3.3 การรับ Shock Burst

CPU interface pins : CE, DRT, CLK1, DATA (1 ช่องรับ Rx)

1. แอดเดรสถูกต้องและขนาดของ payload ของ RF package ที่เข้ามาจะ set เมื่อระบบย่อย nRF 2401 เป็นโครงร่างของ Shock Burst Rx

2. เมื่อกระตุ้น Rx ; set CE high

3. หลังจากตั้ง 200us nRF 2401 จะตรวจสอบอากาศสำหรับการสื่อสารที่จะเข้ามา

4. เมื่อ package ที่ถูกต้องถูกเรียกมา ( แอดเดรสถูกต้องและพบ CRC ) nRF 2401 จะทำการย้ายบิตนำแอดเดรสและบิต CRC

5. จากนั้นระบบย่อย nRF 2401 จะ interrupt CPU โดยการตั้ง DR1 high

6. CPU จะ set CE low เพื่อป้องกัน RF front end ( โหมดที่กระแสดำ )

7. CPU จะจับเวลาที่หยุด payload data ที่อัตราที่เหมาะสม

8. เมื่อ payload data ทั้งหมดถูกเรียกมา nRF 2401 set DR1 low อีกครั้ง และพร้อมสำหรับข้อมูลที่จะเข้ามา ถ้า CE ยัง high ระหว่างที่ download ข้อมูล ถ้า CE set low การลำดับ start up ใหม่จะสามารถเริ่มได้

### 2.5.4 DUO Ciever Simultaneous two channel Receive mode

ในโหมด Shock Burst ของ nRF 24E1 สามารถรองรับความถี่ 2 channel ที่ขนานกันและเป็นอิสระต่อกันที่อัตราข้อมูลสูงสุดได้สะดวกในเวลาเดียวกัน ซึ่งหมายความว่า

- RF 2401 สามารถรับข้อมูลจากเครื่องส่ง 2 เครื่อง ที่ 1 Mbps และ 8 MHz ผ่าน 1 เสาอากาศ

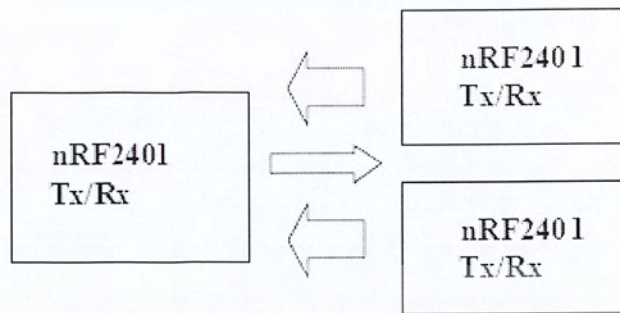
- Output จาก 2 ช่องสัญญาณข้อมูล จะป้อนให้กับ 2 interface pins ที่แยกจากกัน

- Data Channel 1: CLK1, DATA, DR1

- Data Channel 2: CLK2, DATA2, DR2

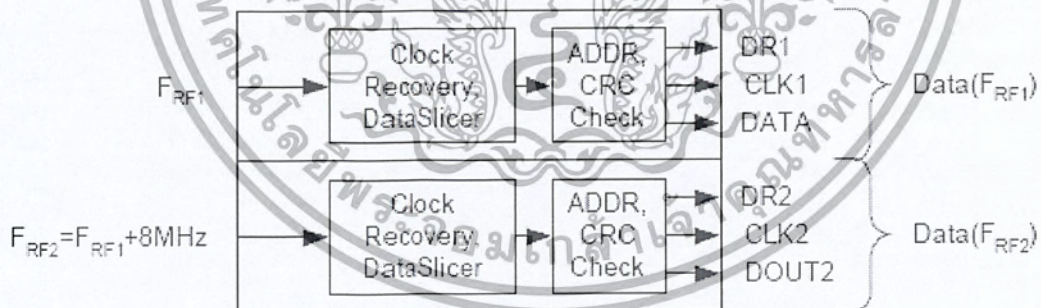
เทคโนโลยี DUO Ciever ให้ 2 ช่องสัญญาณข้อมูลที่แยกกันอย่างละเอียดสำหรับ Rx และตอบสนองความต้องการต่อ 2 channel โดยมีระบบรับเพียง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 Simultaneous 2 channel receiver on nRF24E1

สำหรับ nRF24E1 จะสามารถรับที่ช่องสัญญาณข้อมูลช่องที่ 2 ได้ นั่น ความถี่ช่องสัญญาณต้องอยู่สูงกว่าอยู่ 8 MHz ความถี่ของช่องสัญญาณข้อมูล nRF2401 ต้อง program เพื่อรับข้อมูลที่ความถี่ของช่องสัญญาณที่ 1 ไม่มีการใช้เวลา multiplexing เพื่อทำฟังก์ชันนี้ให้สำเร็จ ใน Direct Mode ถ้ามันไม่รับส่งได้พร้อมกันระหว่าง 2 ช่องสัญญาณข้อมูล CPU ต้องสามารถจัดการข้อมูลที่เข้ามาพร้อมกันได้ ส่วนใน Shock Burst สามารถทำให้ CPU หยุดจับเวลาข้อมูลช่วงหนึ่งขณะที่ไม่มีเกิดการสูญเสีย package ข้อมูลและไม่ลดประสิทธิภาพของ CPU



รูปที่ 2.26 DUO Ciever โดยมี 2 ช่องสัญญาณรับข้อมูลที่เป็นอิสระต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.5 Device configuration

Configuration ทั้งหมดของระบบย่อย nRF2401 จะสามารถทำผ่านทาง 3-wire interface ของการติดต่อสื่อสาร ( CS, CLK1, DATA ) กับ register เดียว โดย configuration word สามารถมีได้ถึง 18 bytes ส่วน configuration bit ( DATA ) จะต้องจับเวลาโดย clocked ( CLK1 ) โดย MSB มาก่อนขณะที่ CS = 1 ไม่เกิน 18 bytes อาจถูกดาวน์โหลด

### 2.5.5.1 Configuration สำหรับการดำเนินการ Shock Burst

Configuration word ใน Shock Burst ทำให้ระบบย่อย nRF2401 สามารถจัดการกับ RF protocol ได้ หาก protocol สมบูรณ์และไหลต่อไประบบย่อย nRF2401 เพียง 1 byte :bit[7:0] จำเป็นที่จะต้อง update ตลอดช่วงที่ดำเนินการ

Configuration block โดยละเอียด สำหรับ Shock Burst ดังนี้

- ความกว้างของ payload: ระบุจำนวนของบิต payload ใน RF package ซึ่งมันทำให้ระบบย่อย nRF2401 สามารถแบ่งแยกระหว่างข้อมูล payload และ CRC bytes ในตัวรับ package ได้

- ความกว้าง address: set จำนวนบิตที่แอดเดรสใช้ใน RF package ซึ่งมันทำให้ระบบย่อย nRF2401 สามารถแบ่งแยกระหว่างแอดเดรสและข้อมูล package ได้

- แอดเดรส (Rx ช่อง 1 และ 2) : กำหนดแอดเดรสสำหรับข้อมูล

- CRC : สามารถทำให้ on-chip CRC generate และถอดรหัสได้

Configuration Block นี้ โดยการยกเว้น CRC จะละเอียดสำหรับ package ซึ่งระบบ nRF2401 ที่จะรับในโหมด Tx CPU ต้อง generate แอดเดรส และส่วน payload ให้เหมาะสมกับระบบย่อย nRF2401 เพื่อจะรับข้อมูลเมื่อใช้ระบบย่อย nRF2401 on-chip รูปแบบ CRC ต้องแน่ใจว่า CRC นั้นใช้ได้และใช้ที่ความยาวเดียวกันทั้งอุปกรณ์ Tx และ Rx

PRE-AMBLE	ADDRESS	PAYLOAD	CRC
-----------	---------	---------	-----

รูปที่ 2.27 DATA package set-up

## 2.5.5.2 Configuration สำหรับการดำเนินการใน Direct Mode

สำหรับใน Direct mode จะดำเนินการเพียงแค่ใน 2 ไบต์แรกของ Configuration word ที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.13 ตารางของ Configuration word

	Bit position	Number of bits	Name	Function
StockBurst™ configuration	143:120	24	TEST	Reserved for testing
	119:112	8	DATA2_W	Length of data payload section RX channel 2
	111:104	8	DATA1_W	Length of data payload section RX channel 1
	103:64	40	ADDR2	Up to 5 byte address for RX channel 2
	63:24	40	ADDR1	Up to 5 byte address for RX channel 1
	23:18	6	ADDR_W	Number of address bits (both RX channels)
	17	1	CRC_L	8 or 16 bit CRC
	16	1	CRC_EN	Enable on-chip CRC generation/checking.
General device configuration	15	1	RX2_EN	Enable two channel receive mode
	14	1	CM	Communication mode (Direct or StockBurst™)
	13	1	RFDR_SB	RF data rate (1Mbps requires 16MHz crystal)
	12:10	3	XO_F	Crystal frequency
	9:8	2	RF_PWR	RF output power
	7:1	7	RF_CH#	Frequency channel
	0	1	RXEN	RX or TX operation

Configuration word จะ shift MSB ก่อนที่ clock ขอบขาขึ้น configuration ใหม่จะเกิดขึ้นที่ขอบขาของCS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Shock Burst configuration:

ช่วงบิต [119:16] ประกอบด้วย segments อย่างละเอียดของ configuration register ไปยัง protocol การทำงานของ Shock Burst บิตรวมของ 120 บิตต้อง shift เข้าเพื่อจะ switch ระหว่าง Rx และ Tx

- PLL\_CTRL

ตารางที่ 2.15 PLL setting

PLL_CTRL		
D121	D120	PLL
0	0	Open TX/Closed RX
0	1	Open TX/Open RX
1	0	Closed TX/Closed RX
1	1	Closed TX/Open RX

Bit 121-120 : PLL\_CTRL ควบคุมการ set ของ PLL ใน Tx จะไม่เกิดการเบี่ยงเบน สำหรับโหมดดำเนินการปกติ 2 บิตนี้ต้องเป็น bit low

- DATAx\_W

ตารางที่ 2.16 จำนวนของบิตใน payload

DATA2_W							
119	118	117	116	115	114	113	112

DATA1_W							
111	110	109	108	107	106	105	104

Bit 119-112 : DATA2\_W ความยาว package ของ RF payload สำหรับสัญญาณ

ช่อง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 111-104 : DATA1\_W ความยาว package ของ RF payload สำหรับสัญญาณ

ช่อง 1

**NOTE** : จำนวนบิตทั้งหมดใน Shock Burst RF package อาจไม่เกิน 256! ความยาวสูงสุดของส่วน payload หาได้จาก  $DATAx\_W \text{ (bits)} = 256 - ADDR\_W - CRC$

โดย ADDR\_W: ความยาวแอดเดรสของ Rx ที่ set ใน configuration word Bit[23:18]

CRC: Check sum 8 หรือ 16 บิต ที่ set ใน configuration word Bit[17]

PRE: Preamble 8 บิตซึ่งรวมอัตราโนมิตี

**NOTE** : แอดเดรสและ CRC ที่สั้นขึ้น จะทำให้มีที่สำหรับ payload data มากขึ้น

- ADDR<sub>x</sub>

ตารางที่ 2.17 แอดเดรสของตัวรับ 1 และ 2

ADDR2											
103	102	101	...	71	70	69	68	67	66	65	64

ADDR1											
63	62	61	...	31	30	29	28	27	26	25	24

Bit 103-64 : ตัวรับ ADDR2 แอดเดรส channel2 มีได้ถึง 40 บิต

Bit 63-24 : ตัวรับ ADDR1 แอดเดรส channel1 มีได้ถึง 40 บิต

**NOTE** : บิตใน ADDR<sub>x</sub> มากกว่าความกว้างที่ set ใน ADDR\_W ซึ่งยืดยาวเกินไปและสามารถ set เป็น logic 0 ได้

- ADDR\_W & CRC

-

ตารางที่ 2.18 จำนวนบิตที่ต้องคงไว้สำหรับ RX address + CRC setting

ADDR W						CRC L	CRC EN
23	22	21	20	19	18	17	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 23-18 : ADDR\_W : จำนวนบิตที่ต้องสงวนไว้สำหรับแอดเดรส Rx ใน Shock Burst

**NOTE** : จำนวนบิตแอดเดรสสูงสุดคือ 40 บิต ( 5 ไบต์ ) ค่าที่มากกว่า 40 บิต ADDR\_W จะไม่สามารถใช้ได้

Bit 17 : CRC\_L: ความยาว CRC ที่จะคำนวณใน Shock Burst

Logic 0 : 8 bit CRC

Logic 1 : 16 bit CRC

Bit 16 : CRC\_EN: ทำให้ CRC on-chip Tx และ Rx ใช้ได้

Logic 0 : on-chip CRC generation / checking disable

Logic 1 : on-chip CRC generation / checking enable

**NOTE** : บิต 8 CRC อาจเพิ่มจำนวน payload ใน Shock Burst ได้แต่จะลดความสามารถของระบบลง

### 2.5.7 General RF configuration

General RF configuration ของ configuration word จะควบคุม RF และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์

ตารางที่ 2.19 RF operational setting

RX2_EN	CM	RFDR_SB	XO_F			RF_PWR	
15	14	13	12	11	10	9	8

Bit 15 : Rx2\_EN

Logic 0 : Channel 1 รับ

Logic 1 : Channel 2 รับ

**NOTE** : ในตัวรับทั้ง 2 channel nRF 24E1 รับทั้ง 2 channel แยกความถี่ของช่องสัญญาณทันที ความถี่ของตัวรับ channel 1 จะ set ในบิต [7-1] ของ configuration word ตัวรับ channel 2 จะเหนือตัวรับ channel 1 อยู่ 8 channel (8 MHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bit 14 : Communication Mode

Logic 0 : ระบบย่อย nRF 2401 ดำเนินการใน Direct Mode

Logic 1 : ระบบย่อย nRF 2401 ดำเนินการใน Shock Burst Mode

Bit 13 : RF Data Rate:

Logic 0 : 250 kbps

Logic 1 : 1 Mbps

NOTE : ใช้ 250 kbps แทน 1 Mbps จะช่วยปรับปรุง sensitivity ของตัวรับ 10 db  
1Mbps ต้องใช้ crystal 16 MHz

Bit 12-10 : XO\_F: เลือกความถี่ crystal ที่จะใช้

ตารางที่ 2.20 crystal frequency setting

XO FREQUENCY SELECTION			
D12	D11	D10	Crystal Frequency [MHz]
0	0	0	4
0	0	1	8
0	1	0	12
0	1	1	16
1	0	0	20

Bit 9-8 : RF\_PWR set nRF 24E1 RF กำลังของเอาต์พุตในโหมดการส่ง

ตารางที่ 2.21 RF output power setting

RF OUTPUT POWER		
D9	D8	P [dBm]
0	0	-20
0	1	-10
1	0	-5
1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.22 ช่องความถี่ และ การ set Rx / Tx

RF CH#							RXEN
7	6	5	4	3	2	1	0

Bit 7-1 : RF\_CH# ตั้งความถี่ช่องสัญญาณของ nRF 24E1 ให้ดำเนินการความถี่ของช่องสัญญาณในการส่งได้โดย

$$\text{Channel RF} = 2400 \text{ MHz} + \text{RF\_CH\#} * 1.0 \text{ MHz}$$

RF\_CH#: อาจตั้งไว้ระหว่าง 2400 MHz และ 2527 MHz

NOTE : ช่วงที่มากกว่า 83 สามารถใช้ได้เพียงแค่ในอาณาเขตที่แน่ใจได้  
ความถี่ช่วงสัญญาณในช่องข้อมูล 2 หาได้โดย

$$\text{Channel RF} = 2400 \text{ MHz} + \text{RF\_CH\#} * 1.0 \text{ MHz} + 8 \text{ MHz (รับที่ PIN\#4)}$$

RF\_CH#: อาจตั้งไว้ระหว่าง 2400 MHz และ 2527 MHz

Bit 0 : Active Mode

Logic 0 : transmit mode โหมคส่ง

Logic 1 : receive mode โหมครับ

### 2.5.8 Data package Description

PRE-AMBLE	ADDRESS	PAYLOAD	CRC
-----------	---------	---------	-----

รูปที่ 2.28 Data package Diagram

ชุดข้อมูลสำหรับการสื่อสารใน Shock Burst mode และ Direct mode จะแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

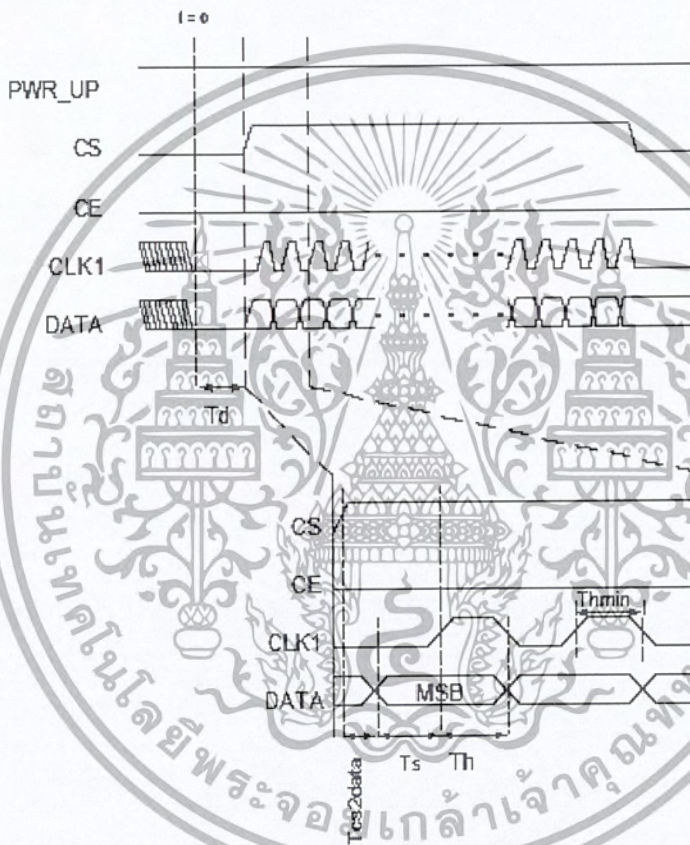
ตารางที่ 2.23 รายละเอียดของ Data package

<p>1.</p> <p>PREMBLE</p>	<p>- ส่วน preamble ต้องมีใน Shock Burst mode และ Direct mode</p> <p>- Preamble มีความยาว 8 บิตและ ขึ้นกับบิตแรกของแอดเดรส</p> <p>PREAMBLE                      1<sup>st</sup> ADDR_BIT</p> <p>01010101                              0</p> <p>10101010                              1</p> <p>- Preamble จะใส่ไปในชุดข้อมูลโดยอัตโนมัติและดังนั้นจึงมีที่ว่างพิเศษสำหรับ payload ใน Direct mode MCU ต้องควบคุม preamble ใน Shock Burst mode Rx preamble จะถูกย้ายจากรับข้อมูลเอาต์พุต ใน Direct mode preamble จะเห็นได้ชัดเจนสำหรับข้อมูลเอาต์พุต</p>
<p>2.</p> <p>ADDRESS</p>	<p>- ส่วนของแอดเดรสต้องมีใน Shock Burst โหมด และ Direct โหมด</p> <p>- ความยาว 80 – 40 บิต</p> <p>- แอดเดรสจะถูกย้ายโดยอัตโนมัติจากรับใน Shock Burst mode ใน Direct mode MCU ต้องควบคุมแอดเดรส</p>
<p>3.</p> <p>PAYLOAD</p>	<p>- ข้อมูลถูกส่ง</p> <p>- ใน Shock Burst โหมด payload มีขนาดน้อยที่สุด 256 บิต (แอดเดรส 8-40 บิต +CRC 8หรือ16 บิต)</p> <p>- ใน Direct mode ความยาวมากสุดสำหรับ 1 Mbps คือ 4000 บิต</p>
<p>4.</p> <p>CRC</p>	<p>- CRC จะเลือกได้ใน Shock Burst โหมด และไม่ใช่ใน Direct โหมด</p> <p>- ความยาว 8 หรือ 16 บิต</p> <p>- Shock Burst Rx CRC จะถูกย้ายจากรับข้อมูลเอาต์พุต</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.9 Configuration mode timing

เมื่อ 1 บิต หรือ มากกว่า 1 บิต ใน configuration word จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลง เรา  
จะไปได้จาก timing

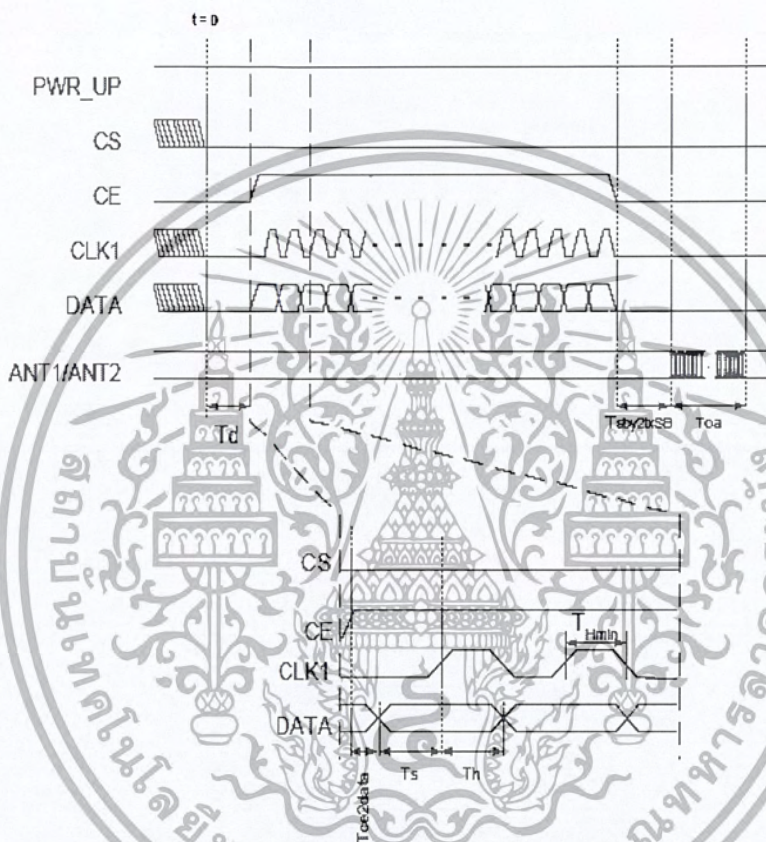


รูปที่ 2.29 Timing Diagram สำหรับ configuration ระบบย่อย nRF2401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.9 ShockBurst Mode Timin

ShockBurst Tx



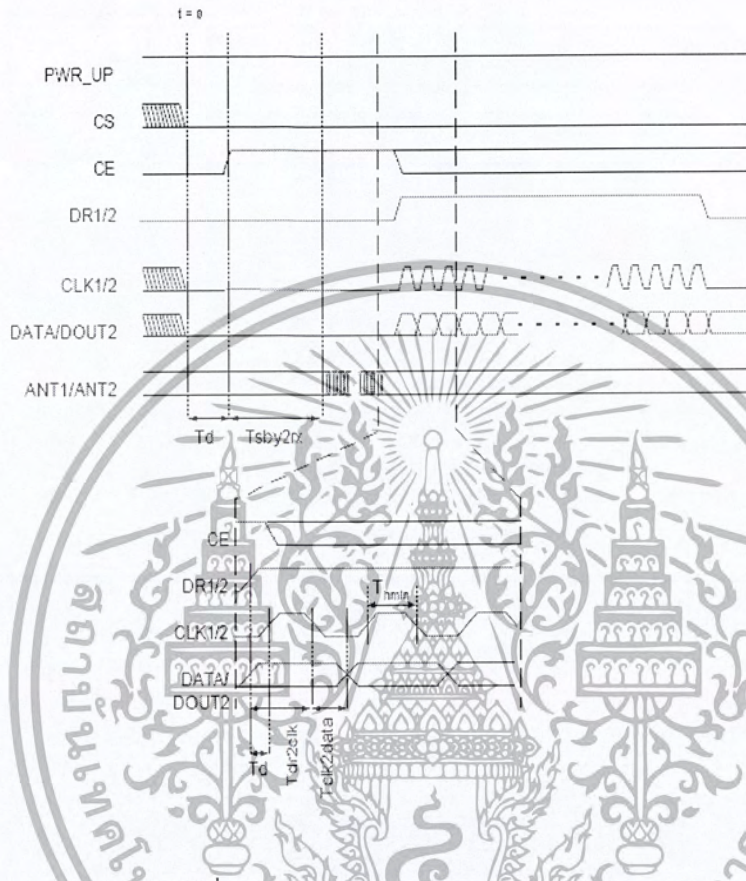
รูปที่ 2.30 Timing ของ ShockBurst ใน Tx

ความยาวชุดข้อมูลและอัตราข้อมูลทำให้ delay Toa (Time on air : เวลาในอากาศ) ซึ่งแสดงในสมการ บิตข้อมูลจะเป็นผลรวมของบิตที่รวมทุก ๆ บิต CRC และบิต preamble ซึ่งอาจเพิ่มขึ้น

$$Toa = 1/\text{data rate} * (\#\text{databits} + 1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ShockBurst Rx



รูปที่ 2.31 Timing ของ ShockBurst ใน Rx

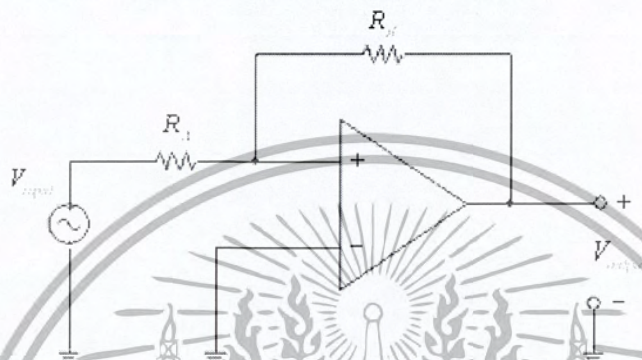
CE อาจยังคงสถานะ high ช่วงที่ความถี่โหลดข้อมูล แต่จะทำให้ค่าการใช้กระแสสูงกว่า (19mA) และผลประโยชน์คือ เวลา start-up น้อย (200us) เมื่อ DR1 ขาลง

## 2.6 วงจร Schmitt Trigger

วงจรขมิตต์ทริกเกอร์ (Schmitt Trigger Circuit) เป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม โดยวิธีการป้อนสัญญาณแรงดันรูปคลื่นไซน์ หรือคลื่นสามเหลี่ยมที่มีขนาดมากกว่าค่าแรงดันที่ตั้งไว้ การทำงานมีลักษณะดังนี้ คือ แรงดัน  $V_{in}$  มีค่าสูงกว่าแรงดัน  $V_1$   $V_0$  จะเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะที่อิ่มตัวมากขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับกรอกแบบ แต่เมื่อลดแรงดัน  $V_{in}$  ลงจนเท่ากับ  $V_1$  อีกครั้ง  $V_O$  ก็ยังคงอยู่ในสถานะหลัง จนกระทั่ง  $V_{in}$  ถูกลดลงต่ำจนเท่ากับ  $V_2$  ซึ่งจะเห็นว่าการทำงานของ วงจรมีคัตต์ริกเกอร์ต่างจากคอมพาราเตอร์ ตรงที่มีจุดเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตสองจุด ในขณะที่ คอมพาราเตอร์ จะมีจุดเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตที่ค่าอินพุตที่ค่าอินพุตเพียงค่าเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.32 รูปวงจร Schmitt Trigger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

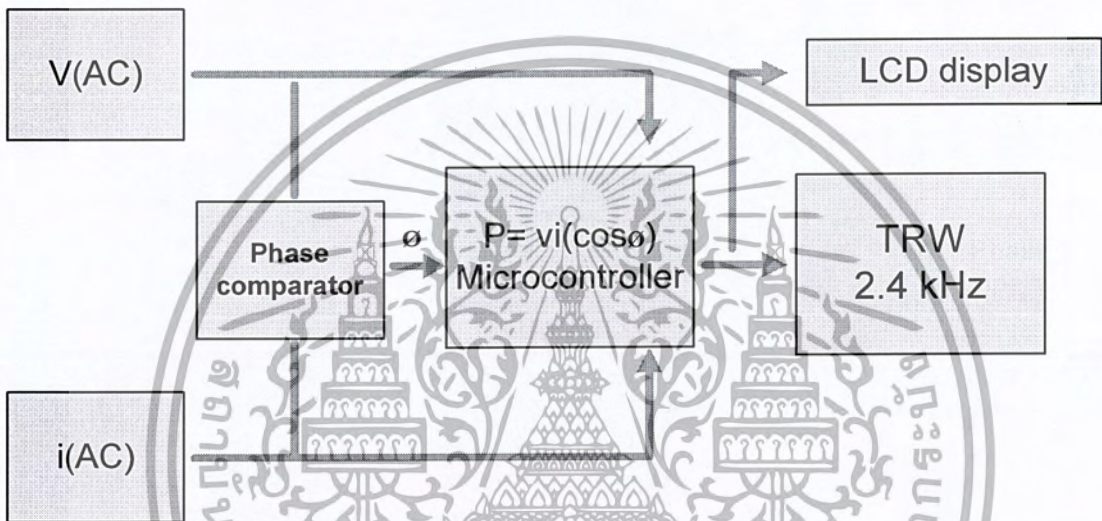
### บทที่ 3

## การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

### 3.1 การออกแบบ

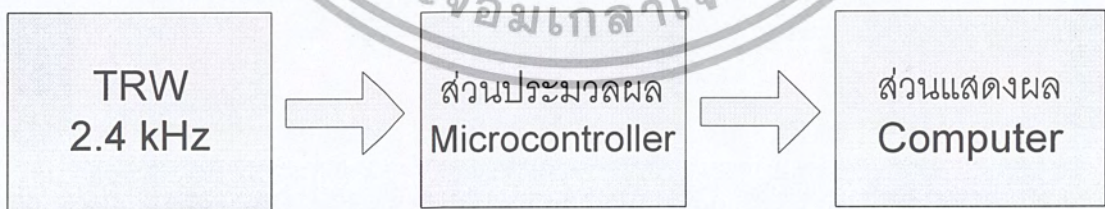
ในการทำงานของโครงงานนี้สามารถแสดงได้ตามบล็อกไดอะแกรมต่อไปนี้

- บล็อกไดอะแกรมด้านตัวลูก (Slave)



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานรวมของระบบด้านตัวลูก (Slave)

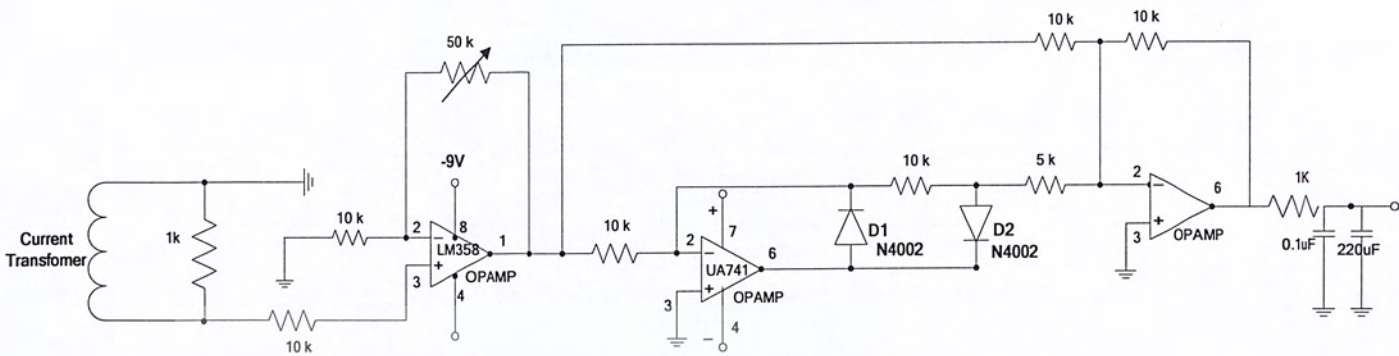
- บล็อกไดอะแกรมด้านตัวแม่ (Master)



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานรวมของระบบด้านตัวแม่ (Master)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 วงจรของ Current transformer

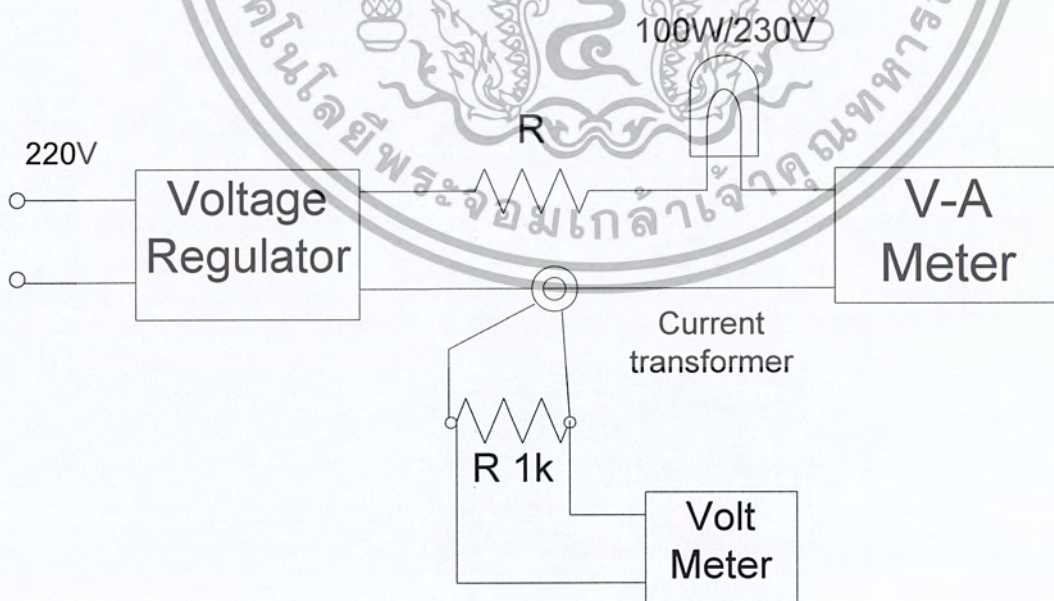


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรของ Current transformer

การทำงานของวงจร

Current transformer ซึ่งจะคล้องอยู่กับสายไฟ จะวัดค่ากระแสแล้วแปลงออกมาเป็นแรงดัน ซึ่งจะเป็นกระแสสลับ ผ่านออปแอมป์เพื่อขยายเกิน ผ่านวงจร Full - Wave และ วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ทำให้เปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเอาต์พุตจากวงจรนี้จะป้อนค่าแรงดันเข้าสู่วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

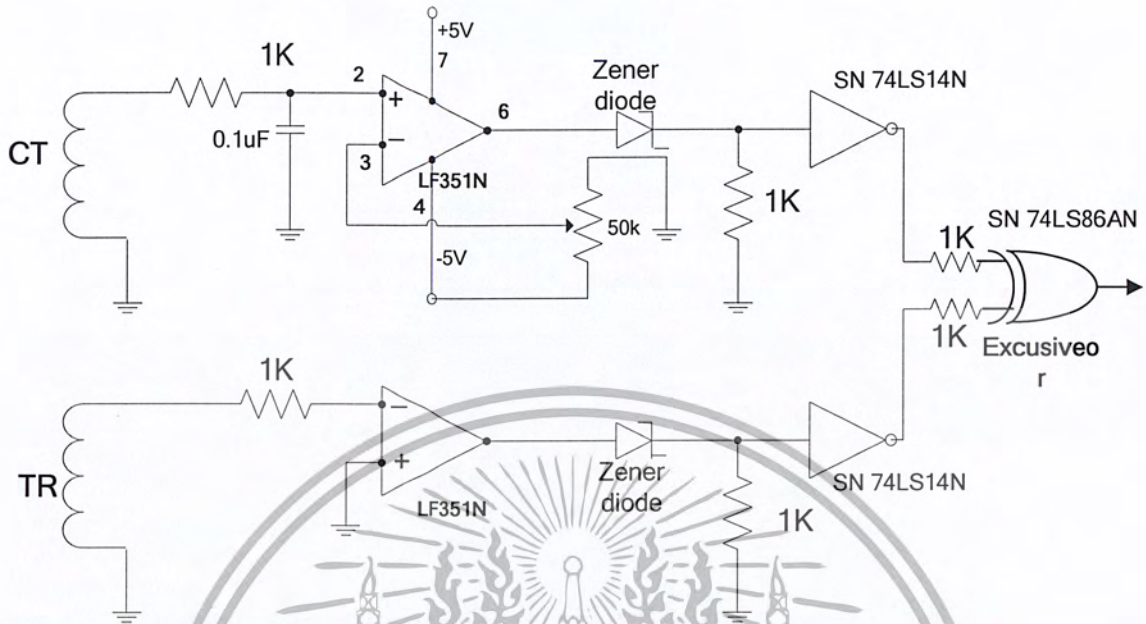
### 3.1.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของ Current transformer



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแสของ Current transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 วงจรสำหรับการหาเฟสจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส



รูปที่ 3.5 วงจรสำหรับการหาเฟสจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส

การทำงาน

เราทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันระหว่าง หม้อแปลงไฟฟ้า กับ Current Transformer โดยสัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของสัญญาณไซน์ จากนั้นเราจะทำการเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยผ่านวงจร Schmitt Trigger และนำสัญญาณที่ได้นั้น ไป Exclusive OR เราจะได้รูปสัญญาณที่จะสามารถนำไปคำนวณหาเฟสผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

การคำนวณหาค่าเฟส

$$T = \frac{1}{f}$$

(2.1)

$f = 50 \text{ Hz}$  เนื่องจากเป็นความถี่ของไฟฟ้าบ้าน

ตัวอย่าง สมมติ เรานับเวลาจากรูปวงจรได้ 5 ms

จะได้ ว่า

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ sec}$$

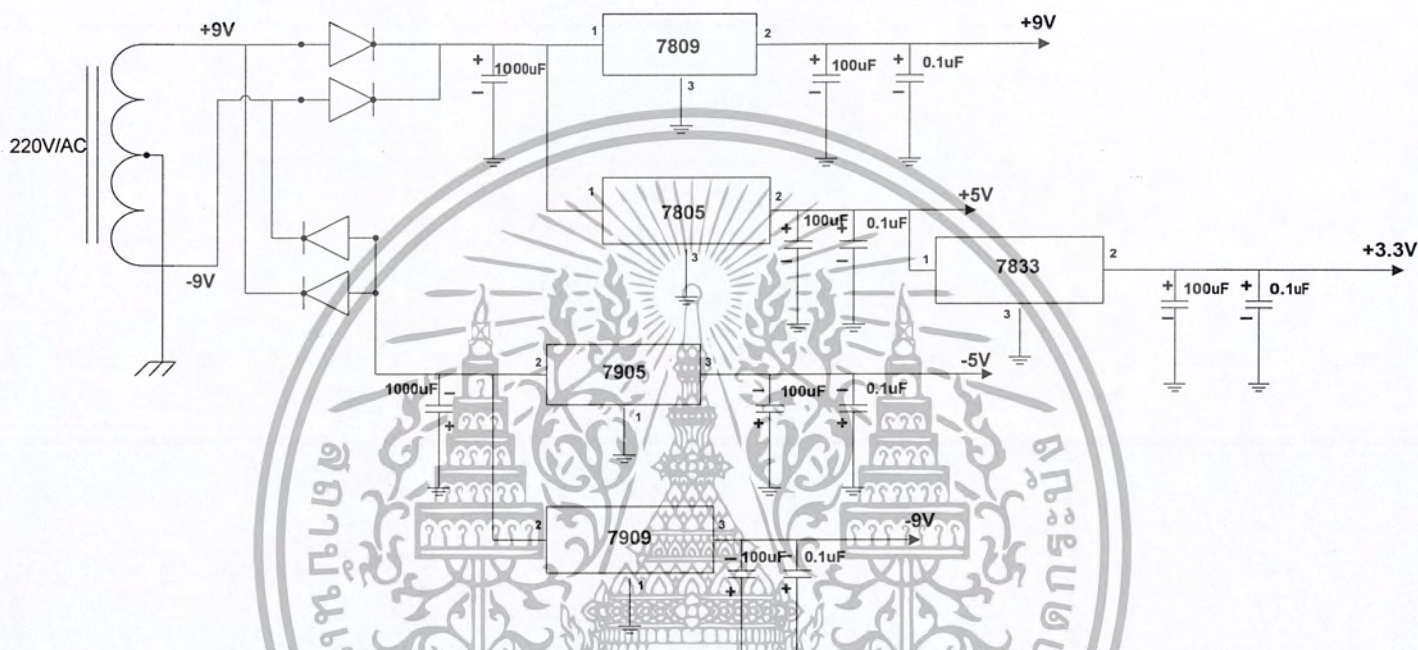
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
จะเทียบเป็นค่าเฟสได้เท่ากับ  $360^\circ$  เนื่องจากเป็น 1 Circle  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้านับเวลาได้ 5 ms ก็จะได้เฟส เท่ากับ  $\frac{5 \times 10^3 \times 360}{0.02} = 90^\circ$

และนำค่าเฟสไปคำนวณต่อตามสมการ

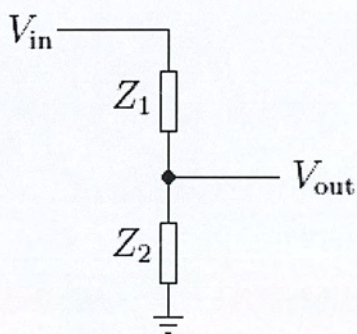
$$P = VI \cos \phi \tag{2.2}$$

### 3.1.4 วงจรจ่ายไฟ



รูปที่ 3.6 วงจรจ่ายไฟของวงจร

การคำนวณ Voltage divider



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 Voltage divider

สูตร Voltage Divider

$$V = \frac{R_1}{(R_1 + R_2)} \times V_{in} \quad (2.3)$$

เนื่องจาก TRW 2.4 G ของเราต้องการไฟเลี้ยง 3.3 V

ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ ความต้านทานที่มีค่าเท่ากับ 20 k $\Omega$  และ 39 k $\Omega$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{39}{(20 + 39)} \times 5 \\ &= 0.661 \times 5 \\ &= 3.30 \text{ v} \end{aligned}$$

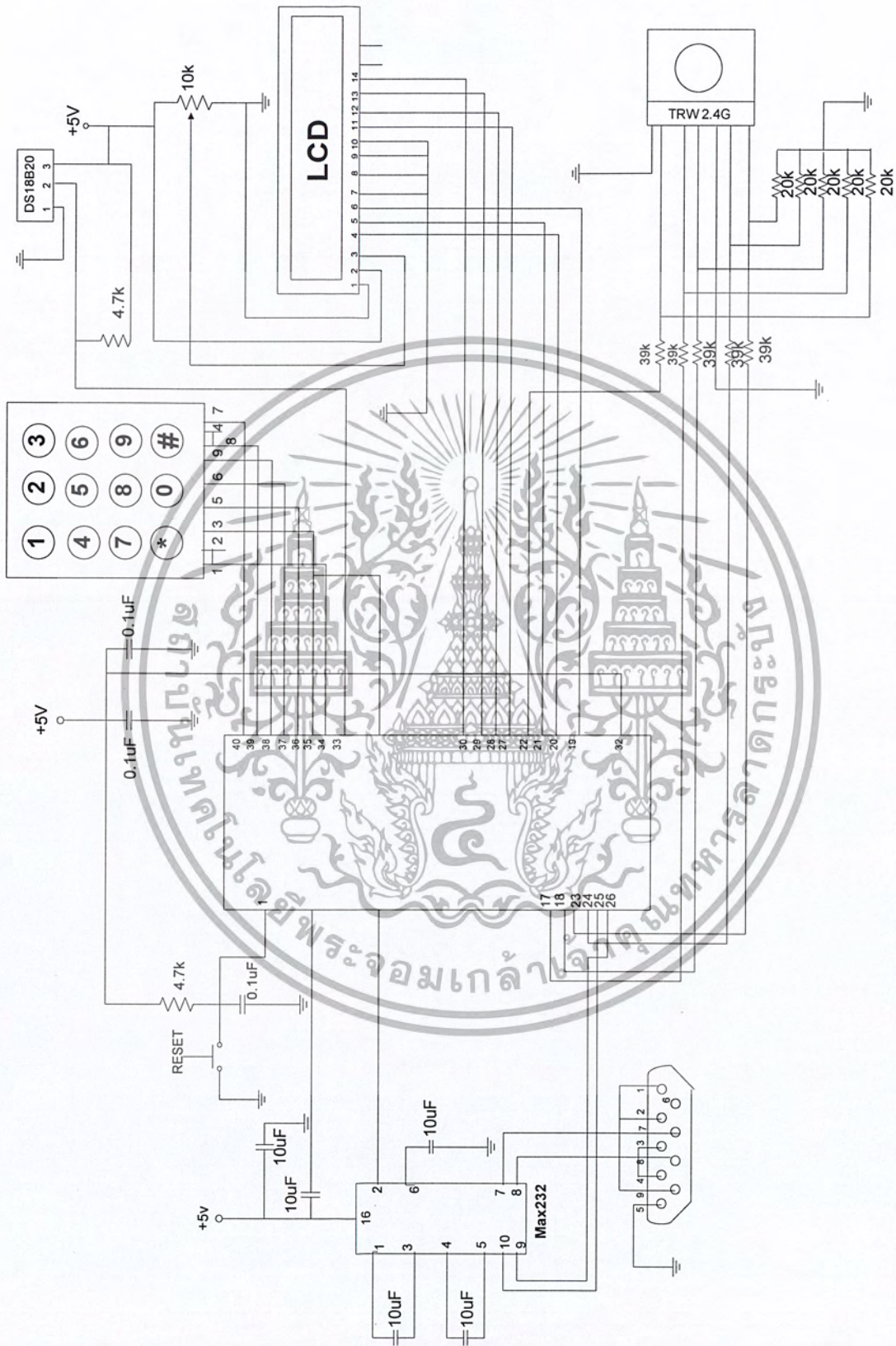
สูตร Unit ค่าไฟ

จำนวน = กำลังไฟ(kW) x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานวัน

(2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.5 วงจรในส่วนของมาสเตอร์เซิร์ฟเวอร์



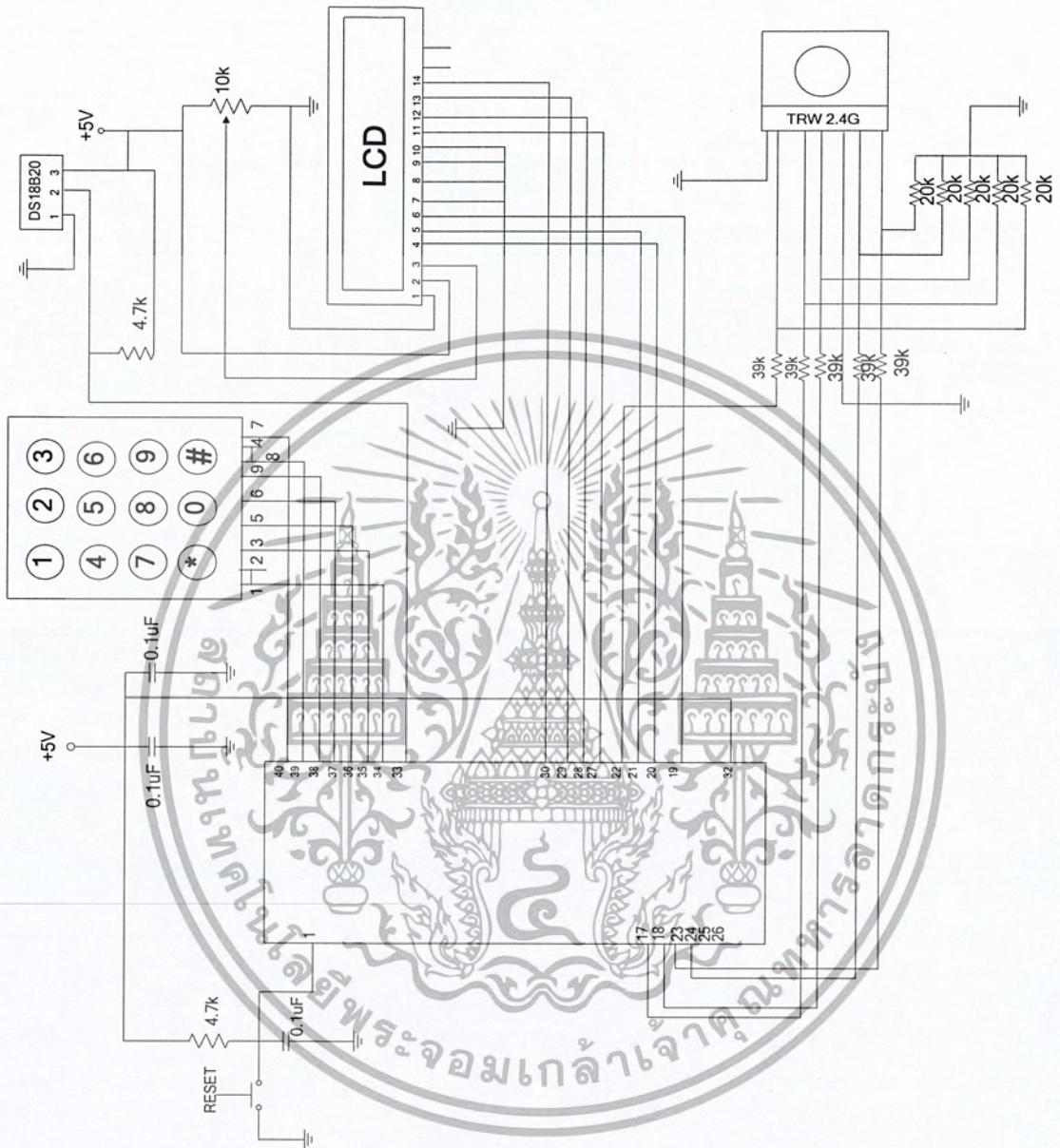
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.8 แสดงวงจรในส่วนของตัวเซิร์ฟเวอร์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมิตอร์ในส่วนของตัวแม่ หรือตัวมาสเตอร์ประกอบไปด้วยจอ LCD, คีย์แพค, TRW 2.4 GHz, พอร์ตอนุกรม RS-232, และไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อตัวมาสเตอร์กดคีย์แพค ร็องขอค่ายูนิตจากตัวลูกผ่านทางโมดูล TRW 2.4 GHz ตัวลูกจะส่งข้อมูลมายังตัวมาสเตอร์ แล้วตัวมาสเตอร์จะเก็บค่ายูนิตที่ตัวลูกส่งมา ไว้ที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งค่าที่ได้รับผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 เพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงผลค่ายูนิตในขณะนั้น แล้วคำนวณค่าไฟต่อไป และ LCD แสดงข้อความให้กดหมายเลขเครื่องของตัวลูก และแสดงสถานะว่าได้มีการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์หรือยัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.9 แสดงไฟลว์ชาร์ตการทำงานของวงจรมิตอร์ในส่วนของตัวเซิร์ฟเวอร์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.6 วงจรในส่วนของตัวถูก



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรในส่วนของตัวถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันจากในส่วนของวงจร Current transformer เป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งในส่วนของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีวงจรที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอยู่ในตัวอยู่แล้ว ในที่นี้ใช้ขา 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอินพุตอนาล็อก ซึ่งในส่วนของโปรแกรมจะอ่านค่าที่ขา 2 ของ PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป จากการอ่านค่าที่ขา 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะได้ช่วงของสัญญาณดิจิทัลที่รับมาเป็น 0 ถึง 1023 ซึ่งในโปรแกรมจะแบ่งช่วงของสัญญาณดิจิทัลเป็น 10 ช่วง และเปรียบเทียบกับค่ากระแสที่ Current transformer ที่วัดได้ แล้วคำนวณ ค่าออกมาเป็นยูนิตเพื่อนำเอาค่ายูนิตนี้ไปแสดงผลที่หน้าจอแสดงผล LCD และค่ายูนิตที่ได้นี้คือค่ายูนิตจริงๆที่เราใช้ไฟฟ้าไป ซึ่งในส่วนของหน้าจอแสดงผล LCD นั้น จะบวกค่ายูนิตเพิ่มและแสดงผลทุกๆ 5 วินาที เพื่อแสดงความสะดวกของจำนวนยูนิตที่ใช้ไฟฟ้าไป เมื่อมีเตอร์ตัวมาสเตอร์ร้องขอให้ส่งค่ายูนิตไป ตัวลูกจะส่งค่ายูนิตที่แสดงขณะนั้นไปให้ตัวแม่ และตัวแม่ก็จะนำข้อมูลที่ร้องขอไปประมวลผลต่อไปซึ่งในการคำนวณค่ายูนิตแล้วแสดงผลยูนิตทุกๆ 5 วินาทีนั้น คำนวณจากจำนวนยูนิตใน 5 วินาที = (ค่ากระแสที่เปรียบเทียบได้จาก Current transformer(kW) x 220V x 5) / 3600





รูปที่ 3.11 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของวงจรในส่วนตัวลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 เครื่องวัดสัญญาณ (Oscilloscope)

ออสซิลโลสโคป ( Oscilloscope ) หรือเรียกสั้นๆว่าสโคป ( Scope ) จัดเป็นเครื่องมือวัดที่มีความหมายและสำคัญในการใช้งาน และถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วไป ทั้งในด้านไฟฟ้าและด้านอิเล็กทรอนิกส์ ข้อดีของออสซิลโลสโคปคือ สามารถแสดงปรากฏการณ์ของสิ่งที่วัดได้ทันทีและละเอียดชัดเจน ให้การตอบสนองและแสดงผลได้อย่างรวดเร็วกว่ากัลวานอมิเตอร์หรือมัลติมิเตอร์ขนาดเข็มชี้ ออสซิลโลสโคปคือเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยสามารถวัดแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเป็นอัตรา ส่วนของเวลาออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดแรงดันจึงอาจเปลี่ยนปริมาณต่างๆ ให้อยู่ในรูปของแรงดันแล้ววัดด้วยออสซิลโลสโคปได้ เช่นกระแสไฟฟ้า ความดัน ความเร่ง การสั่นสะเทือน ฯลฯ ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือสำหรับ สร้างรูปคลื่น (Waveform) ของสัญญาณไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาให้ปรากฏบนจอภาพ ซึ่งปกติจะไม่สามารถเห็นสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นได้ ออสซิลโลสโคปยังสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นเทียบกับเวลาได้ ออสซิลโลสโคปยังใช้แสดงคลื่นคลและเป็นเครื่องมือสำคัญในการตรวจสอบเครื่อง ใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น วิทยุ โทรทัศน์ เครื่องเสียง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องแสดงผลของเครื่องมือวัดบางชนิดอีกด้วย การอ่านค่าปริมาณไฟฟ้าที่แสดงบนจอของออสซิลโลสโคป อันเป็นการอ่านความแรง (Amplitude) ของปริมาณไฟฟ้า จะอ่านออกมาเป็นค่าพีค (Peak value หรือ V P ) หรืออ่านออกมาเป็นค่าพีคทูพีค (Peak to peak value หรือ v P -P ) ถ้าเป็นการอ่านค่าความถี่ของปริมาณไฟฟ้า จะต้องอ่านออกมาโดยเทียบกับเวลาเป็นวินาที ประโยชน์ของออสซิลโลสโคปสรุปได้ดังนี้

### 3.2.2 เครื่องจ่ายไฟ (Power supply)

แหล่งจ่ายไฟเป็นอุปกรณ์หรือระบบที่ใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานชนิดอื่น ๆ ไปสู่โหลดเอาท์พุท หรือกลุ่มของโหลด คำว่าแหล่งจ่ายไฟนี้ มักจะใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า แต่ก็มีบ้างที่หมายถึงแหล่งจ่ายพลังงานเชิงกล หรือพลังงานรูปแบบอื่นๆ

## 3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

- 1). เก็บผลการทดลองจากสโคปโดยการเก็บพัลส์ค่าต่ำของอนุภูมิและพัลส์ค่าต่ำของ

### การเปิด-ปิดแอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น

- 2). เก็บผลการทดลองจากแอลซีดีว่าเมื่อมีการต่อไฟแล้วจะมีเวลาและข้อความตอนรับ
- 3). เก็บผลการทดลองเมื่อกดคีย์แพ็คแล้วแสดงออกทางจอแอลซีดีให้มีการเลือกว่าจะทำการเปิด-ปิด หรือเซตการตั้งเวลาหรือตั้งค่าอุณหภูมิ
- 4). เก็บผลจากจอแอลซีดีเมื่อทำการตั้งค่าเวลาหรืออุณหภูมิจากคีย์แพ็คแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

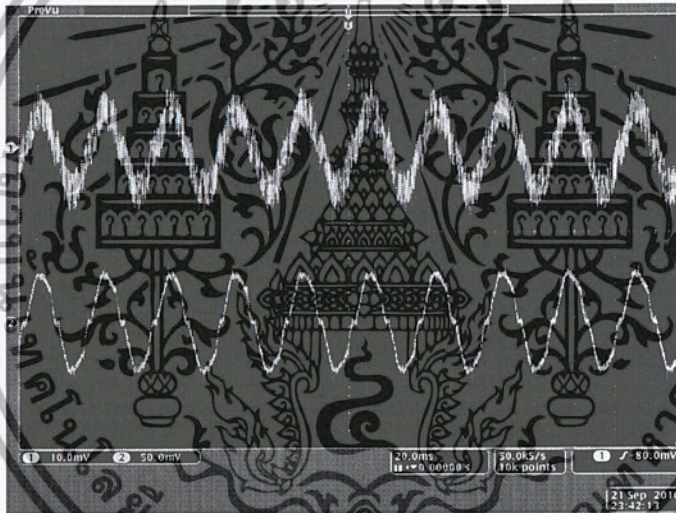
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองและผลการทดลองในส่วนของกระแส (Current)

ทำการทดลองโดยการนำค่าแรงดันที่ได้จาก Current Transformer จากการเครื่องใช้ไฟฟ้า ต่อเข้าวงจรขยาย Op – amp หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้ ไปผ่านวงจร Full – Wave ก่อนที่จะทำให้สัญญาณที่ได้เปลี่ยนเป็นแรงดัน DC โดยการต่อตัวเก็บประจุ กับ Ground ก่อนเข้า ไมโครคอนโทรลเลอร์

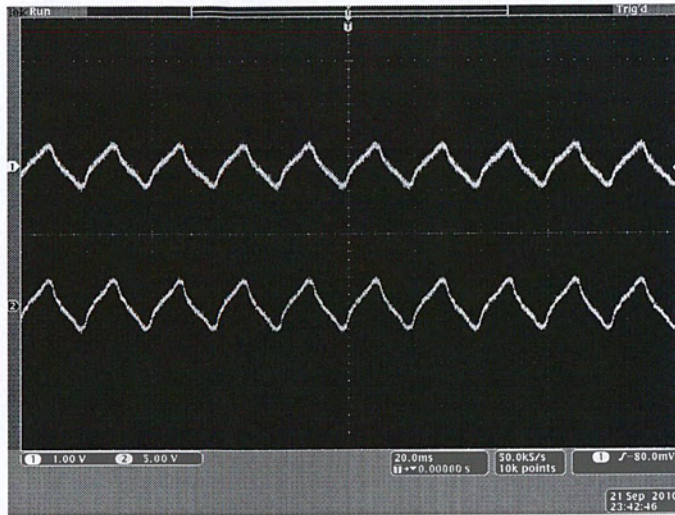
4.1.1 ทำการวัดค่าแรงดันที่ได้จาก Current Transformer เมื่อเปิดใช้พัดลม เทียบกับ สัญญาณเดิมผ่านวงจรขยาย



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของพัดลมกับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน Op-amp

Channel 1 สัญญาณแรงดันที่ CT ของพัดลม

Channel 2 สัญญาณแรงดันที่ผ่าน Op-amp



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีด กับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน Op-amp

Channel 1 สัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีด

Channel 2 สัญญาณค่าแรงดันที่ผ่าน Op-amp

#### 4.1.2 ทำการวัดค่าแรงดันที่ได้จาก Current Transformer เมื่อใช้พัลลวมผ่าน

วงจรขยาย เทียบกับ สัญญาณที่ได้จาก วงจร Full - Wave



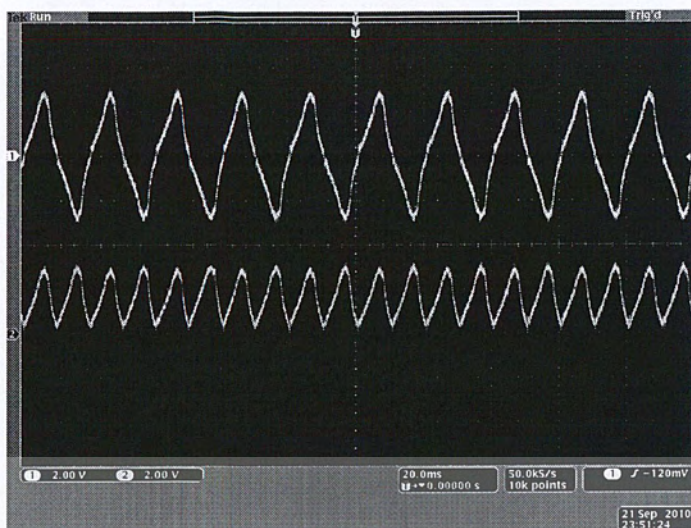
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT วัดได้จากพัลลวม กับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน

วงจร Full-Wave

Channel 1 สัญญาณแรงดันที่ CT วัดได้จากพัลลวม

Channel 2 สัญญาณแรงดันที่ผ่าน วงจร Full-Wave

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ที่วัดได้จากเตาเร็คกับสัญญาณแรงดันที่ผ่าน

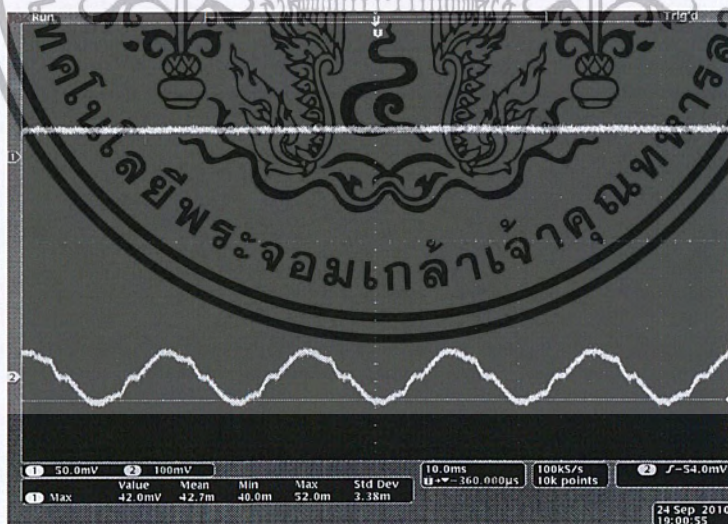
วงจร FullWave

Channel 1 สัญญาณแรงดันที่ CT วัดได้จากเตาเร็ค

Channel 2 สัญญาณแรงดันที่ผ่าน วงจร Full-Wave

#### 4.1.3 ผลการทดลอง เมื่อนำสัญญาณที่ได้จาก วงจร Full – Wave มาแปลงสัญญาณ

ให้เป็นสัญญาณไฟตรง



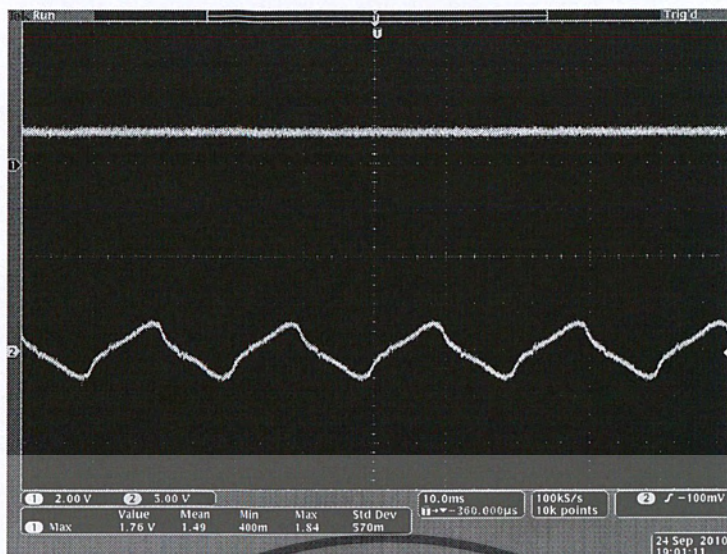
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของพัคลมกับสัญญาณไฟตรงที่ได้

จากวงจร Full – Wave

Channel 1 สัญญาณไฟตรงที่ได้จากวงจร Full – Wave

Channel 2 สัญญาณแรงดันที่ CT ของพัคลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีดกับสัญญาณไฟตรงที่ได้จาก

วงจร Full-Wave

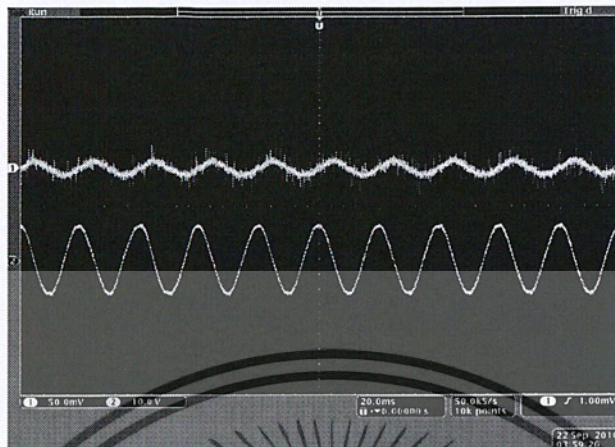
Channel 1 สัญญาณไฟตรงที่ได้จากวงจร Full-Wave

Channel 2 สัญญาณแรงดันที่ CT ของเตารีด

#### 4.2 ผลการทดลองในส่วนของเฟส ที่ได้จากการจับสัญญาณระหว่างสัญญาณจาก CT (Current Transformer) และสัญญาณจากหม้อแปลง (TR)

ทำการทดลองโดยการวัดค่าแรงดันที่ได้จาก Current Transformer เปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากหม้อแปลง (TR) โดยจะไม่คำนึงถึงค่าแรงดันที่วัดได้แต่จะนำเฉพาะรูปสัญญาณที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาเฟส เมื่อได้สัญญาณรูปไซน์แล้วจะนำไปต่อกับ วงจร Schmitt Trigger เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาทำการ Exclusive Or เพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการตรวจจับ เพื่อนำไปหาค่าเฟสต่อไป

#### 4.2.1 ทำการวัดแรงดันที่ได้จาก Current Transformer เทียบกับแรงดันที่ได้จากหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่ CT วัดได้ กับสัญญาณแรงดันที่วัดได้จาก หม้อแปลงไฟฟ้า

Channel 1 สัญญาณแรงดันที่ CT

Channel 2 สัญญาณแรงดันที่วัดได้จาก หม้อแปลงไฟฟ้า

#### 4.2.2 ทำการวัดค่าแรงดันที่ได้จาก Current Transformer เทียบกับ แรงดันที่ได้จากหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อออกจาก วงจร Schmitt Trigger



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่าน

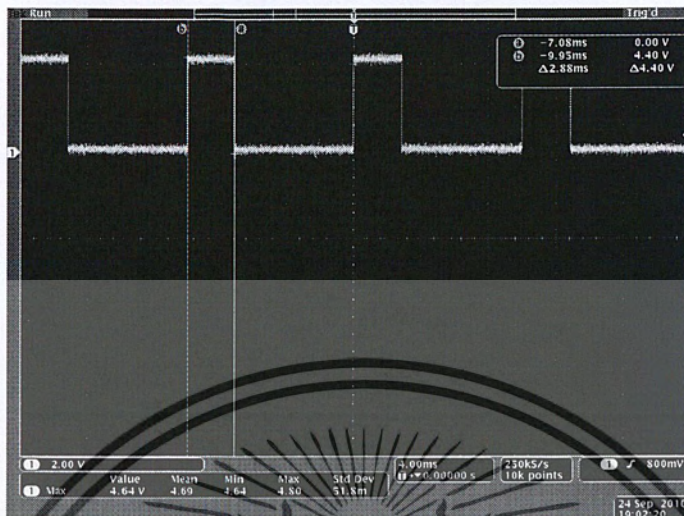
วงจร Schmitt Trigger

Channel 1 สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT

Channel 2 สัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้า ผ่านวงจร Schmitt Trigger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ทำการวัดสัญญาณ เมื่อนำค่าแรงดันที่ออกจากวงจร Schmitt Trigger ของ Current Transformer และ หม้อแปลงไฟฟ้า มาทำการ Exclusive OR

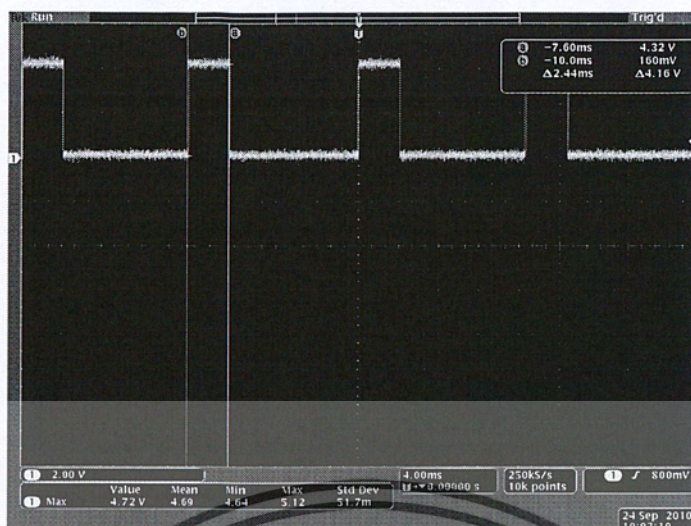


รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันที่ได้จากการ Exclusive or ของ สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านวงจร Schmitt Trigger ของพัลลวม



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันที่ได้จากการ Exclusive or ของ สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านวงจร Schmitt Trigger ของเตารีด

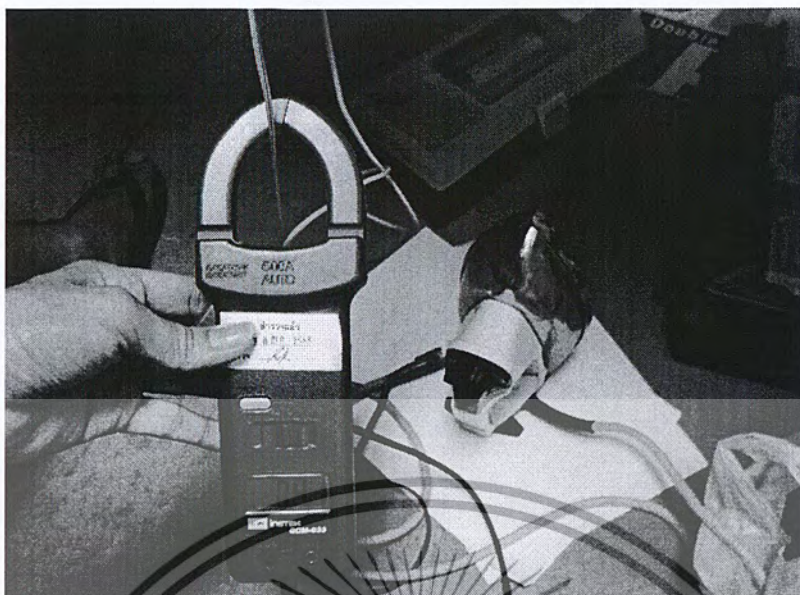
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



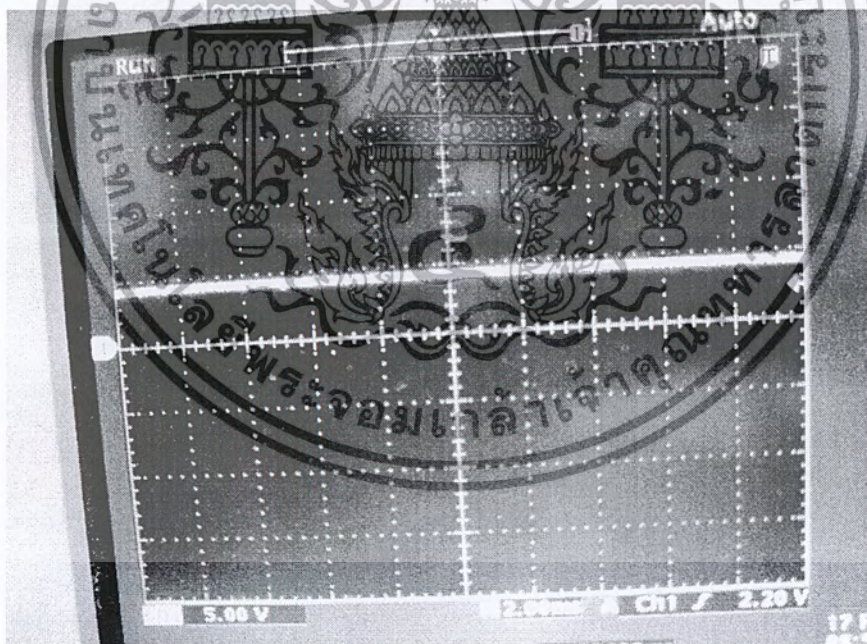
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันที่ได้จากการ Exclusive or ของ สัญญาณแรงดันที่วัดจาก CT กับสัญญาณจากมือแปลงไฟฟ้าผ่านวงจร Schmitt Trigger ของฟลิตลัมและเตารีด

#### 4.3 ผลการทดลองในส่วนของการประมวลผลของคอนโทรลเลอร์แสดงค่ายูนิทและกระแสแสดงผลผ่านจอแอลซีดี

เป็นการแสดงข้อมูลของค่ากระแสและค่ายูนิทไฟฟ้าที่ทำการประมวลผลมาผ่านคอนโทรลเลอร์ โดยการจับกระแสที่ได้มาแปลงเป็นดิจิตอลเข้าคอนโทรลเลอร์ ทำการเปรียบเทียบหาค่ากระแส และ ทำการจับความกว้างของพัลส์นำมาเปรียบเทียบเวลาคับความถี่เพื่อหาค่าเฟสออกมา แล้วทำการแทนค่าเข้าสู่สูตรหาค่าถึง  $P = VI(\cos \phi)$  แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่ายูนิทไฟฟ้าที่ใช้แสดงตามผลจอแอลซีดี

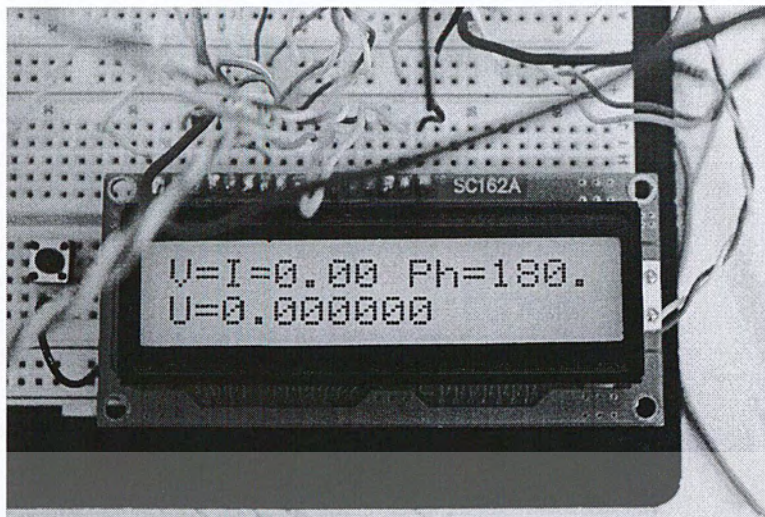


รูปที่ 4.12 แสดงค่ากระแสของเตาโรคโดยใช้ AC Current Clamp Meter โดยเตาโรคใช้กระแสไฟฟ้า ประมาณ 4.1 แอมป์



รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดันที่ CT ของเตาโรคกับสัญญาณไฟตรงที่ได้จาก วงจร Full – Wave หลังจากปรับอัตราขยายใหม่ ก่อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

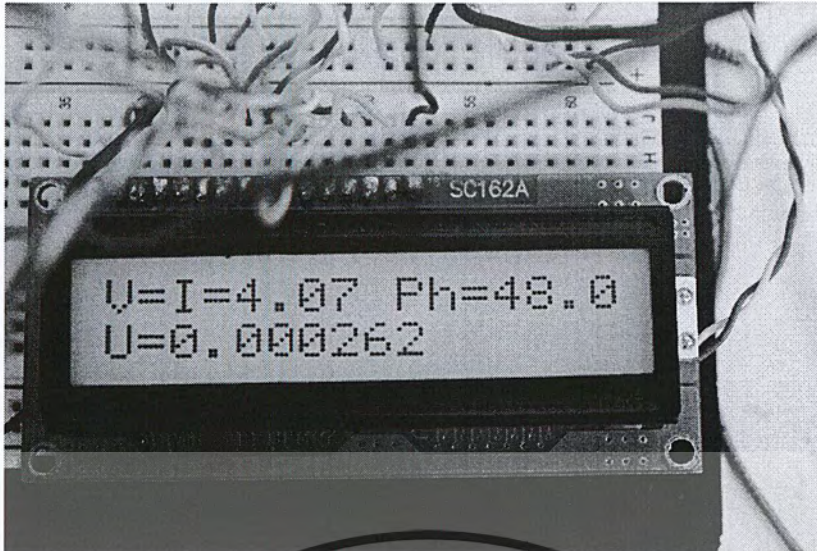


รูปที่ 4.14 แอลซีดีแสดงผลค่าเริ่มต้นก่อนมีการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 4.15 แอลซีดีแสดงผลค่ายูนิคเมื่อมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แอลซีดีแสดงผลความต่อเนื่องค่ายูนิตเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.17 แสดงผลค่ายูนิตและจำนวนเงินเมื่อมีการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

สามารถวัดค่าแรงดันที่ออกจาก Current Transformer จากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆเพื่อนำแรงดันไปแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อเป็นค่ากระแสและค่าแรงดันจาก Current Transformer มาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อนับความกว้างของพัลส์สำหรับจะนำไปคำนวณออกมาเป็นค่าเฟสแล้วทำการเขียน โปรแกรมรับค่ากระแสและความกว้างของพัลส์เพื่อนำไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า, ค่ายูนิตซึ่งจะแสดงค่าทุกๆ 2 วินาที และจำนวนเงินที่ต้องจ่ายเพื่อแสดงผลออกทางจอแอลซีดีโดยตัวส่งจะแสดงค่าโวลต์ ค่าเฟส และค่ายูนิตที่คำนวณได้ เมื่อตัวรับต้องการทราบค่าไฟก็สามารถเรียกเก็บข้อมูลได้โดยการกดสวิทช์ของเครื่องรับแล้วข้อมูลจะถูกส่งผ่านสัญญาณ Wireless มาแสดงจำนวนยูนิตที่ใช้ไปและค่าไฟที่ต้องจ่ายผ่านทางจอแอลซีดีและคอมพิวเตอร์

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการใช้งานของ Current Transformer ให้มากขึ้นเพื่อพัฒนาให้สามารถวัดค่าแรงดันจาก Current Transformer ให้ได้ในช่วงที่กว้างยิ่งขึ้น เพื่อนำไปใช้ต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2. ในกรณีที่มีการใช้งานจริงตามหอพักซึ่งจะมีตัวส่งหลายเครื่อง ควรเช็คตัวส่งและรับสัญญาณ Wireless ให้ชัดเจนว่าข้อมูลที่ได้รับนั้นมาจากตัวส่งที่ต้องการจริงๆ
3. การคำนวณค่าไฟต่อ 1 ยูนิตอาจจะจัดทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกอัตราค่าไฟต่อ 1 ยูนิตได้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์อาจจะเพิ่ม Data base ในการบันทึกข้อมูลค่าไฟฟ้าไว้ด้วยเพื่อความสะดวกในการใช้งานระยะยาว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

[1] นิธิชัย พุ่มธนวัฒน์, ภูริพงษ์ อัครานูชาติ, สักคิพัฒน์ ศิวสรวานนท์. “ดิจิทัลมิเตอร์แบบไร้สาย ”

ปริญญาานิพนธ์สาขาโทรคมนาคม. วิศวกรรมศาสตร์ .มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง, 2550

[2] ทีมงานETT, คู่มือการทดลอง ” PIC16F877 และ PIC18F458 ”

[3] <http://en.wikipedia.org>, ” วงจรขยายสัญญาณและวงจรบริดจ์ไดโอด ”

[4] <http://www.alldatasheet.com>. “LF351N

[5] ประจัน พลังสันติกุล. PIC C Programming กับ CCS คอมไพเลอร์. บริษัท แอปซอฟต์แวร์ จำกัด. 2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้