สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

# Brushless DC Motor Speed Control

T103035

โดย

นาย กิตติพงศ์ กลิ่นดี

นาย จักรพันธุ์ แจวตระกูล

นาย ธเนศ ชนะสุมน

ว.ม.
ก673ร
2551
เลขหมู่ 103035
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 24 ส.ค. 2552
b 12094092
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551**

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

Brushless DC Motor Speed Control


ผู้จัดทำ นาย กิตติพงศ์ กลิ่นดี 48010050

นาย จักรพันธุ์ แจวตระกูล 48010110

นาย ธเนศ ชนะสุมน 48010369


.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ สองเมือง นันทขว้าง)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

โดย

นาย กิตติพงศ์ กลิ่นดี 48010050

นาย จักรพันธุ์ แจวตระกูล 48010110

นาย ธเนศ ชนะสุมน 48010369

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ สองเมือง นันทขว้าง

ปีการศึกษา 2551

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษา ขั้นตอนการสร้างและออกแบบ ตัวควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปลงถ่าน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาและนำความรู้ทางด้านควบคุมไปใช้งานในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปลงถ่านตลอดจนสัญญาณและกราฟของ Hall-Effect ,Tourqe, Phase Curect,วงจรควบคุมการปรับความเร็วมอเตอร์ เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่างมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านและไร้แปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Brushless DC Motor Speed Control

By

Mr. Kittipong Klindee

Mr. Jakkapan Jaewtrakul

Mr. Tanet chanasumon

Advisor

Songmoung Nundrakwang

Academic Year 2008

## ABSTRACT

This thesis present presents the study and implementation procedures of Brushless DC Control . The Objective is to utilize the knowledge of control system design for Controlling the Brushless Dc control for position control.Including signal and graph of Hall-Effect,Tourqe,Phase Currect,Curcuit Control of speed motor ,compared between merit and disadvantage of DC motor and Brushless DC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จาก อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำที่ดีมาโดยตลอดตั้งแต่ต้น รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่จำเป็น และความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงาน ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ สนับสนุนอุปกรณ์ที่ขาดเหลือ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอย ถามไถ่ความคืบหน้าของโครงงานอยู่เสมอสุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ลงได้

ผู้จัดทำ
นาย กิตติพงศ์ กลิ่นดี
นาย จักรพันธุ์ แจวตระกูล
นาย ธเนศ ชนะสุมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


หน้า

2.7.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ IGBT กับอุปกรณ์สวิทช์ประเภทอื่น 14

2.8 dsPIC30F4011 15

2.8.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ dsPIC 15

2.8.2 คุณสมบัติของ dsPIC 15

2.8.3 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิตอล 16

2.8.4 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชั่นพิเศษ 17

2.8.5 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F4011 18

2.8.5.1 หน่วยประมวลผลกลาง 18

2.8.5.2 หน่วยความจำ 18

2.8.5.3 ส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP Engine) 18

2.8.5.4 โมดูลฟังก์ชั่นพิเศษ 19

2.8.6 การใช้งานโมดูล MCPWM ใน dsPIC30F4011ควบคุมมอเตอร์ 19

2.8.6.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลMCPWM 19

2.8.6.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูล MCPWM 21

2.8.6.2.1 OVDCON(Override Control Register) 21

2.8.6.3 ฐานเวลาสัญญาณPWM 22

2.8.6.3.1 ปรีสเกลเลอร์ของฐานเวลาPWM 23

2.8.6.3.2 โพสต์สเกลเลอร์ของฐานเวลาPWM 24

2.8.6.3.3 คาบเวลาของสัญญาณPWM 24

2.8.6.4 หน่วยเปรียบเทียบค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณPWM 25

2.8.6.5 การเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลสัญญาณPWMของโมดูลMCPWM 26

2.8.6.6 การทำงานร่วมกันของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM 28

2.8.7 การใช้งาน Timer ในdsPIC30F4011 29

2.8.7.1 รีจิสเตอร์ในโมดูลไทเมอร์ของ dsPIC30F 29

2.8.7.1.1 TxCON Type A Time Base Register 30

2.8.7.1.2 TxCON Type B Time Base Register 31

2.8.7.1.3 TxCON Type C Time Base Register 31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.8.8 การใช้งาน Interrupt ในdsPIC30F4011 | 34 |
| 2.8.8.1 รีจิสเตอร์STATUS | 35 |
| 2.8.8.2 รีจิสเตอร์CORCON | 35 |
| 2.8.8.3 IFS0(Interrupt Flag Status Register 0) | 36 |
| 2.8.8.4 IFS1 (Interrupt Flag Status Register 1) | 38 |
| 2.8.8.5 IEC0(Interrupt Enable Control Register 0) | 40 |
| 2.8.8.6 IEC1 (Interrupt Enable Control Register 1 ) | 42 |
| 2.8.9 การใช้งาน ADC ในdsPIC30F4011 | 44 |
| 2.8.9.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูล ADC | 44 |
| 2.8.9.2การทำงานเบื้องต้นของโมดูล ADC | 44 |
| 2.8.9.3 รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในโมดูล ADC | 46 |
| 2.8.9.3.1 ADCON1 (A/D Control Register 1) | 46 |
| 2.8.9.3.2 ADCON2 (A/D Control Register 2) | 48 |
| 2.8.9.3.3 ADCON3(A/D Control Register 3) | 51 |
| 2.8.9.3.4 ADCHS (A/D Input Select Register) | 52 |
| 2.8.9.3.5 ADPCFG (A/D Port Configuration Register) | 53 |
| 2.8.9.4 บัฟเฟอร์เก็บผลลัพธ์จาการแปลงสัญญาณของโมดูล ADC | 54 |
| 2.8.9.5 การกำหนดค่าเพื่อใช้งานโมดูล ADC | 54 |
| **บทที่ 3 หลักการออกแบบ** | 55 |
| 3.1 วงจรการขับมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน | 55 |
| 3.2 การทำงานของรีจิสเตอร์OVDCON | 57 |
| 3.3 หลักการออกแบบ | 59 |
| 3.3 รูปวงจรที่ใช้งาน | 62 |
| 3.5 อธิบายโปรแกรมภาษาซีในภาคผนวก ก | 63 |
| **บทที่ 4 ผลการทดลอง** | 70 |
| 4.1 รูปจากการทดลอง | 70 |
| 4.2 สรุปผลการทดลอง | 71 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| **บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป** | 73 |
| 5.1 สรุป | 73 |
| 5.2 ปัญหา | 73 |
| **ภาคผนวก** | 74 |
| **ภาคผนวก ก โปรแกรมภาษาซี** | 75 |
| **ภาคผนวก ข เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์** | 83 |
| ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน HGTG20N60B3D | 83 |
| ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน IR2101 | 89 |
| ข.3 เอกสารคู่มือการใช้งาน dsPIC30F4011 | 103 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 112 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.1 โครงสร้างภายในของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน | 3 |
| 2.2 ภาพตัดขวางมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน | 3 |
| 2.3 Stator ของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน | 4 |
| 2.4 โรเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน | 5 |
| 2.5 ลำดับขั้นการจ่ายไฟเข้าขดลวดแต่ละเฟส | 6 |
| 2.6 ลำดับขั้นการจ่ายไฟเข้าขดลวดแต่ละเฟส (หมุนตามเข็ม) | 7 |
| 2.7 Timing diagram ระหว่างHALL SENSOR SIGNAL, BACK EMF, OUTPUT TORQUE และPHASE CURRENT | 8 |
| 2.8 อัตราส่วน ของ Duty Cycle | 9 |
| 2.9 ภาพตัดแนวตัดขวางของ IGBT | 10 |
| 2.10 คุณลักษณะของIGBTชนิดP-Channelทิศทางของลูกศรจะกลับทิศในกรณีของ IGBT ชนิดN-Channel | 11 |
| 2.11ทิศทางการไหลของElectron และ Hole ในขณะนำกระแสไฟฟ้า | 13 |
| 2.12 รีจิสเตอร์ OVDCON | 21 |
| 2.13ไดอะแกรมการทำงานของส่วนกำหนดฐานเวลาของสัญญาณPWM | 23 |
| 2.14 แสดงกระบวนการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อกำหนดค่าดิวตี้ไซเกิล | 26 |
| 2.15ไดอะแกรมเวลาแสดงการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลในการกำเนิดสัญญาณ PWM | 27 |
| 2.16 ไดอะแกรมเวลาแสดงการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลเมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่องพร้อมปรับปรุงค่า | 27 |
| 2.17 วงจรตัวอย่างในการนำขาเอาต์พุตของโมดูล MCPWM ในdsPIC มาทำงานร่วมกันในคอมพลีเมนตารี | 29 |
| 2.18 TxCON Type A Time Base Register | 30 |
| 2.19 TxCON Type B Time Base Register | 31 |
| 2.20 TxCON Type C Time Base Register | 33 |
| 2.21 IFS0 (Interrupt Flag Status Register 0) | 36 |
| 2.22 IFS1 (Interrupt Flag Status Register 1) | 38 |
| 2.23 IEC0 (Interrupt Enable Control Register 0) | 40 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 2.24 IEC1 (Interrupt Enable Control Register 1 ) | 42 |
| 2.25 ไดอะแกรมการทำงานอย่างง่ายของโมดูลADCในไมโครคอนโทรลเลอร์dsPIC30F4011 | 45 |
| 2.26 ADCON1 (A/D Control Register 1) | 46 |
| 2.27 ADCON2 (A/D Control Register 2) | 48 |
| 2.28 ADCON3(A/D Control Register 3) | 51 |
| 2.29 ADCHS (A/D Input Select Register) | 52 |
| 2.30 ADPCFG (A/D Port Configuration Register) | 53 |
| 3.1 Block Diagram | 55 |
| 3.2 Timing diagram ระหว่างHALL SENSOR SIGNAL และPHASE CURRENT | 56 |
| 3.3 แสดงการทำงานของรีจิสเตอร์ OVDCON | 57 |
| 3.4 codeส่วนการกำหนด 6 step | 57 |
| 3.5 Three Phase Bridge | 58 |
| 3.6 วงจรที่ใช้ในโครงงาน | 59 |
| 3.7 Flow Chart | 60 |
| 3.8 วงจรทดลอง | 62 |
| 3.9 วงจรสำเร็จ | 62 |
| 4.1 ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่ 1320 rpm | 70 |
| 4.2 มีการควบคุมความเร็ว ที่ 1320 rpm | 70 |
| 4.3 ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่ 1273 rpm | 70 |
| 4.4 มีการควบคุมความเร็ว ที่ 1273 rpm | 70 |
| 4.5 ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่ 975 rpm | 70 |
| 4.6 มีการควบคุมความเร็ว ที่ 975 rpm | 70 |
| 4.7 ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่ 600 rpm | 71 |
| 4.8 มีการควบคุมความเร็ว ที่ 600 rpm | 71 |
| 4.9 ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่ 331 rpm | 71 |
| 4.10 มีการควบคุมความเร็ว ที่ 331 rpm | 71 |
| 4.11 ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่ 122 rpm | 71 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ(ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**

4.12 มีการควบคุมความเร็ว ที่ 122 rpm 71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|---|
| 1.1 เปรียบเทียบ ระหว่าง Brushless DC Motor กับ Brushed DC Motors | 5 |
| 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Fcy,PTER,ความละเอียดและความถี่ของสัญญาณ PWM เมื่ออัตราปรีสเกลเลอร์เป็น 1:1 | 25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 กล่าวนำ

เนื่องจากในปัจจุบันมีระบบการขับแคลื่อนมอเตอร์หลากหลายรูปแบบซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับความสะดวกและรูปแบบการใช้งาน โดยคณะผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงข้อดีของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ซึ่งเป็นมอเตอร์ ชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยม โดยใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การบิน การแพทย์ อุตสาหกรรมอัติโนมัติ และ เครื่องมือวัด คุณลักษณะเด่นเฉพาะของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนี้คือ จะไม่มีการใช้แปรงถ่าน ดังที่มีใช้ใน มอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน เนื่องจาก แปรงถ่านเป็นตัวก่อกำเนิดของสัญญาณรบกวน เมื่อมีการหมุนของ โรเตอร์ และยังส่งผลเสียใน ทางกล คือ ก่อให้เกิดแรงเสียดทาน นอกจากนี้ แปรงถ่านยังมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างจำกัดเพราะเหตุที่ต้องเสียดสีกับ โรเตอร์ อยู่ตลอดเวลาและต่อเนื่องขณะที่ โรเตอร์ หมุน รวมถึงมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีการใช้เทคนิควิธีของการ Commutation แบบ Electronic Commutation ซึ่งแตกต่างจาก มอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน ซึ่งจะใช้แปรงถ่านเป็น Commutators รวมทั้งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มีประสิทธิภาพสูงกว่า การทำงานที่เงียบกว่า ย่านความเร็ว สูงกว่า เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน

ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยใช้ dsPIC30F4011 เป็นวงจรขับ และใช้ชิปไอซี เบอร์ IR2101 เป็นวงจรขับIGBT และใช้ IGBT เป็น Power Switch ในการขับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และแสดงความเร็วออกมาที่จอLCD ซึ่งในโครงงานนี้จะสามารถที่จะขับมอเตอร์กระแสตรงได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และ ออกแบบวงจรในการขับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

## 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงงาน

เริ่มจากศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน วงจรขับ การเขียนภาษาซี และการนำภาษาซีมาใช้ควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน หลังจากนั้นจึงออกแบบ และสร้าง วงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

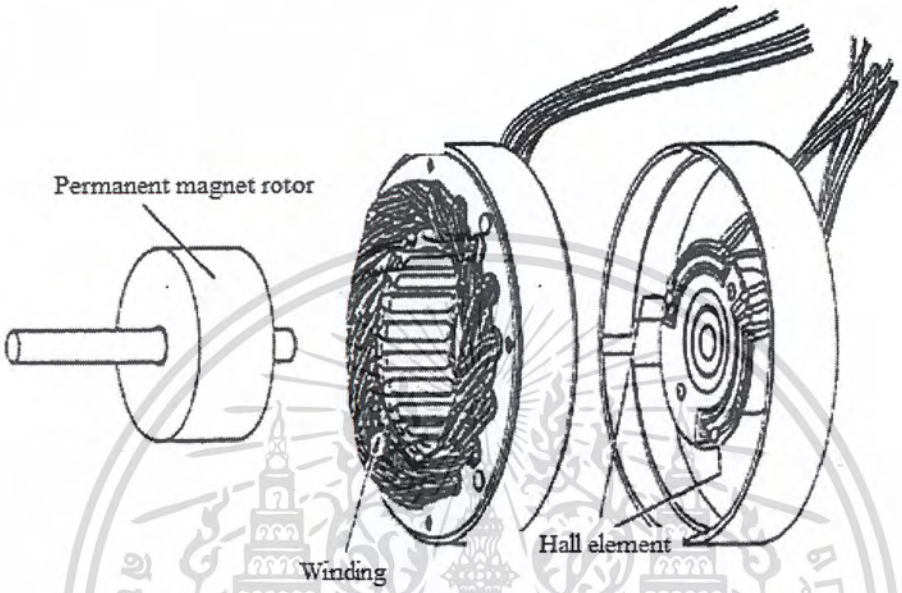
# บทที่ 2
# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

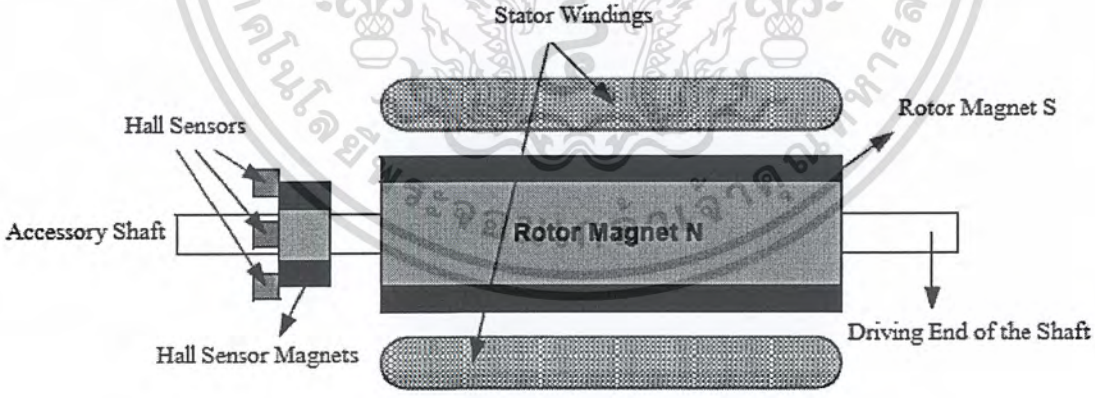
Brushless motor คือ มอเตอร์ชนิดที่ไม่มีแปรงถ่าน หรือมอเตอร์ซิงโครนัส 3 เฟส ที่ทำงานโดยอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นสวิตช์ในการตัดต่อกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดมอเตอร์ โดยที่ชนิดของมอเตอร์ จะพิจารณาตามลักษณะรูปคลื่นกระแส และ คุณสมบัติของแรงบิดหรือทอร์ค โดยจะนิยมเรียกว่า Brushless dc motor ในกรณีที่รูปแบบของกระแสและทอรค์ ของมอเตอร์ที่ใช้มีลักษณะเป็นแบบสามเหลี่ยม (trapezoidal current/torque ) และจะเรียกว่า Brushless ac motor หรืออีกชื่อหนึ่งว่า Brushless เมื่อลักษณะกระแสและทอรค์เป็นรูปคลื่นซายน์ ( sinusoidal current/torque format ) ส่วน AC Servo คือ Brushless dc motor ที่มี Sensor ตรวจจับตำแหน่งอย่างละเอียด โครงสร้างของ Brushless dc motor หรือ AC Synchronous คือมอเตอร์ ที่มีแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์และขดลวดที่สเตเตอร์ แม่เหล็กถาวรจะสร้างฟลักซ์ที่โรเตอร์ ส่วนขดลวดที่สเตเตอร์จะสร้างขั้วแม่เหล็กโรเตอร์จะถูกดึงดูดด้วยเฟสจากสเตเตอร์ซึ่งจะทำให้เกิดการหมุนการจัดลำดับการจ่ายไฟให้กับเฟสของสเตเตอร์ สนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์จะถูกสร้างขึ้นและคงอยู่ ด้วยหลักการนี้ที่ว่า โรเตอร์หมุนตามสนามแม่เหล็กของสเตเตอร์นั้นเป็นทฤษฎีพื้นฐานของ Synchronous permanent magnet motor มุมระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนจะถูกควบคุมเพื่อผลิตทอร์ค วิธีการควบคุมนี้เรียกว่า “rotor position” ในฝั่งสเตเตอร์ ส่วนมากแล้วเราจะใช้เป็นมอเตอรส์ามเฟส ซึ่งให้ผลในการควบคมุที่ดีกว่าและยังสามารถใช้อุปกรณ์ power electronic ควบคุมได้ง่ายในส่วนของโรเตอร์ เพิ่มขั้วแม่เหล็ก จะทำให้เกิดทอร์คมากขึ้นในขณะที่ป้อนกระแสเท่าเดิม ในขณะเดียวกับการเพิ่มจำนวนขั้ว ทำให้มอเตอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นเพราะต้องการที่ว่างระหว่างแม่เหล็กขึ้น ดั้งนั้นเราอาจจะกล่าวได้อีกอย่างว่า จำนวนขั้วแปรผกผันกับขนาดของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โครงสร้างภายในของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน




รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

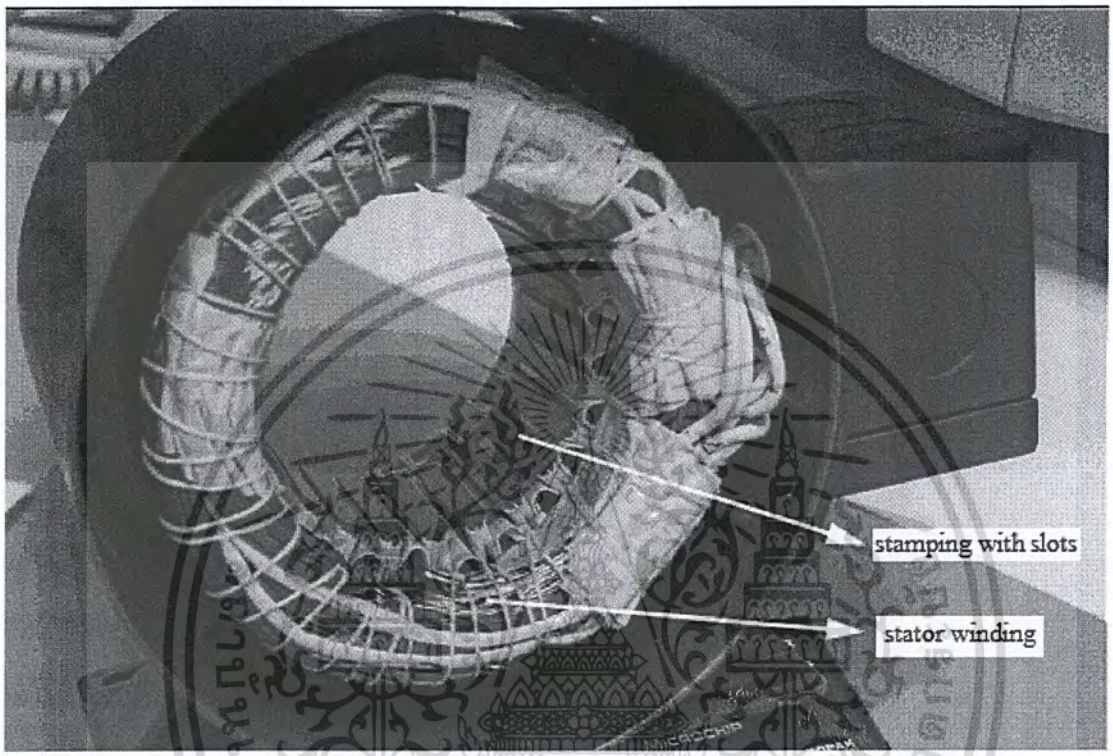



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 อุปกรณ์ภายในของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

### 2.3.1 Stator part



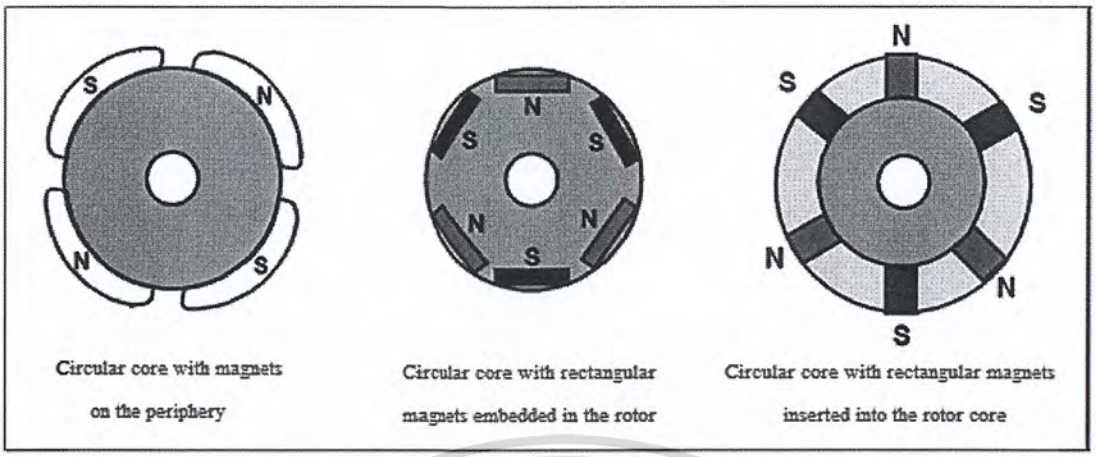

**รูปที่ 2.3** Stator ของ มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

ประกอบด้วยขดลวดตัวนำ (winding) 3 ชุด (ชุดละเฟส) ที่ถูกพันไว้ใน slots ของโครงเหล็กของมอเตอร์ต่อกันแบบ star ดังรูปที่ 2.3

### 2.3.2 Rotor part

โรเตอร์ทำมาจาก แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) โดยจำนวนขั้ว(Pole) ขึ้นอยู่กับแต่ละมอเตอร์ โดยจะสลับขั้วเหนือ(N) ใต้(S) แต่เดิมใช้ Ferrite magnets ทำแม่เหล็กถาวร แต่เมื่อเทคโนโลยีพัฒนามากขึ้น Earth alloy magnets ได้รับความนิยมสูงขึ้นเพราะ Ferrite magnets ราคาไม่แพงแต่ความหนาแน่นFlux ต่ำ แต่ Earth alloy magnets ให้ความหนาแน่นสูงกว่า และให้ torque สูงกว่าเมื่อเทียบกับ Ferrite magnets ในขนาดเท่ากัน ตัวอย่าง Earth alloy magnets เช่น Nd , SmCo , NdFeB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.4 โรเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

**2.3.3 Hall Sensors**

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน มี Commutation electronic ซึ่งต่างจาก มอเตอร์กระแสตรงแบบใช้แปรงถ่าน โดยจะจ่ายไฟเลี้ยงชุดลวดแต่ละชุดเป็นลำดับทำให้ต้องทราบตำแหน่งของ โรเตอร์โดยใช้ Hall effect sensors ซึ่งอาศัยหลักการ วัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยใช้หัววัดที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งเป็นแผ่นสารกึ่งตัวนำที่ตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก และสามารถสร้างความต่างศักย์ในสภาวะคงตัวหรือสภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กได้ ติดไว้ที่สเตเตอร์ โดยส่วนใหญ่ BLDC จะมี Hall effect 3 ตัวติดไว้ที่ สเตเตอร์ เมื่อใดก็ตามที่ขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ ผ่าน Hall Sensors ก็จะใช้สัญญาณ high หรือ low ออกมาเพื่อแสดงว่า S หรือ N ผ่าน sensors โดยเมื่อรวมผลทั้ง3 hall sensors ก็จะสามารถจัดลำดับให้กับ commutation ได้

## 2.4 ตารางเปรียบเทียบ ระหว่าง Brushless DC Motor กับ Brushed DC Motors

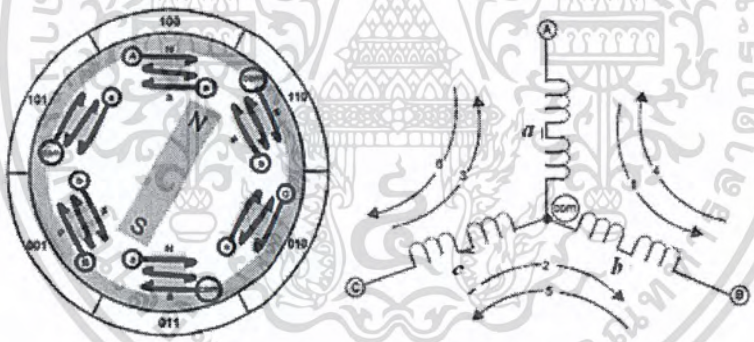
| ลักษณะสำคัญ | Brushless DC Motor | Brushed DC Motor |
|---|---|---|
| Commutation | Electronics commutation | Brushse commutation |
| บำรุงรักษา | น้อย | เป็นระยะๆ |
| อายุการใช้งาน | นานกว่า | สั้นกว่า |
| ประสิทธิภาพ | สูง ไม่มี Volt drop ที่ brush | พอประมาณ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ลักษณะสำคัญ | Brushless DC Motor | Brushed DC Motor |
|---|---|---|
| OutputPower/ Frame Size | สูง ไม่มี Volt drop ที่ brush | พอประมาณ-ต่ำ |
| ย่านความเร็ว | สูงกว่า | ต่ำกว่า |
| เสียง | น้อย | มีเสียงที่เกิดจาก Brushes |
| ราคา | สูง | ต่ำ |
| การควบคุม | ซับซ้อน และ มีราคาแพง | ง่าย และ ถูก |

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบ ระหว่าง Brushless DC Motor กับ Brushed DC Motors

## 2.5 ทิศทางการไหลของกระแสในขดลวด การเหนี่ยวนำในสนามแม่เหล็ก

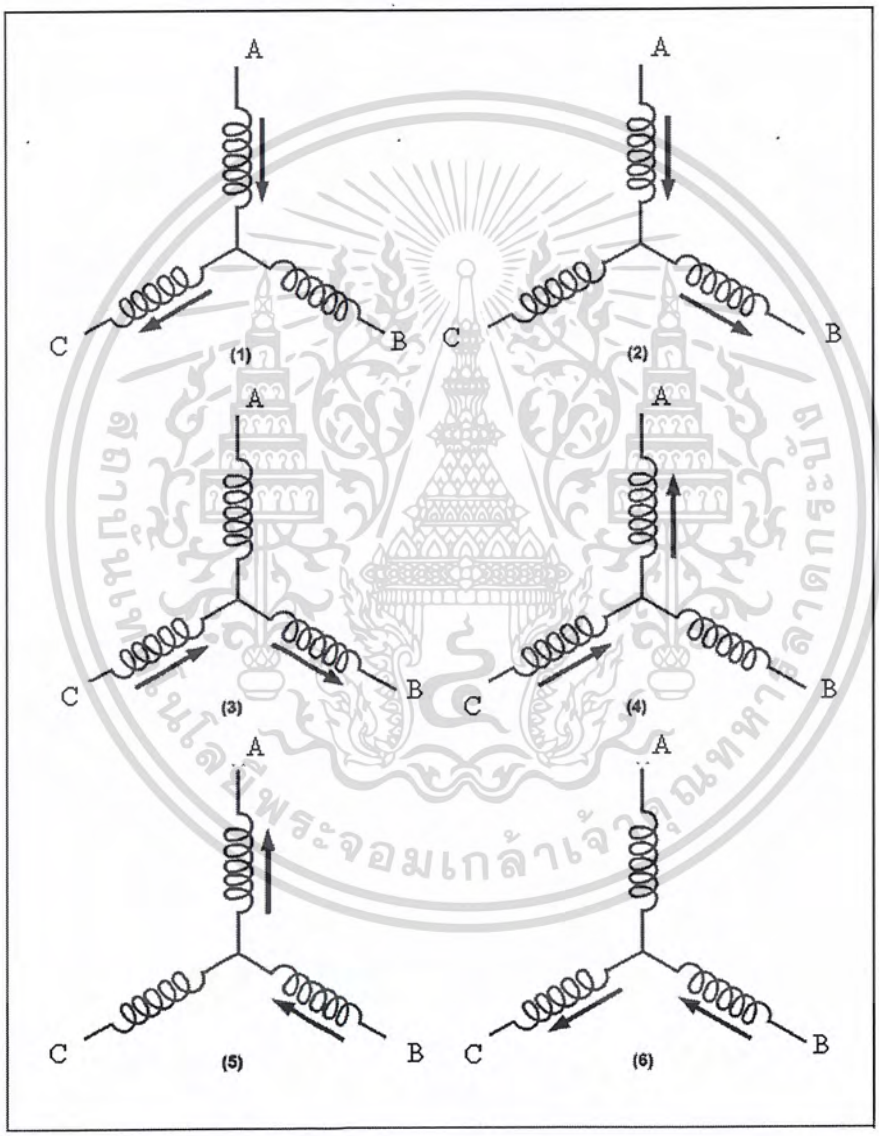



รูปที่ 2.5 ลำดับขั้นการจ่ายไฟเข้าขดลวดแต่ละเฟส

ในรูปที่ 2.5 จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดจาก A ไป B ตามเส้นทางที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสำหรับดึงดูดแกนหมุนให้อยู่ระหว่างขั้วของ A และ B หรือมอเตอร์จะวางตัวอยู่ตามรูปที่ 5 และหากให้กระแสไหลตามเส้นทางที่ 6 คือ จากขั้ว A ไปยังขั้ว C จะทำให้เกินสนามแม่เหล็กระหว่างขั้ว A และ C จะทำให้ตัวหมุนเคลื่อนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปอยู่ระหว่างขั้ว C และ A แทน หรือขั้ว N ประมาณเลข 11 บนหน้าปัดนาฬิกา และหากเปลี่ยนกระแสให้ไหลในเส้นทางที่ 5 คือ จาก B ไปยัง C ต่อไปอีก ตัวหมุน

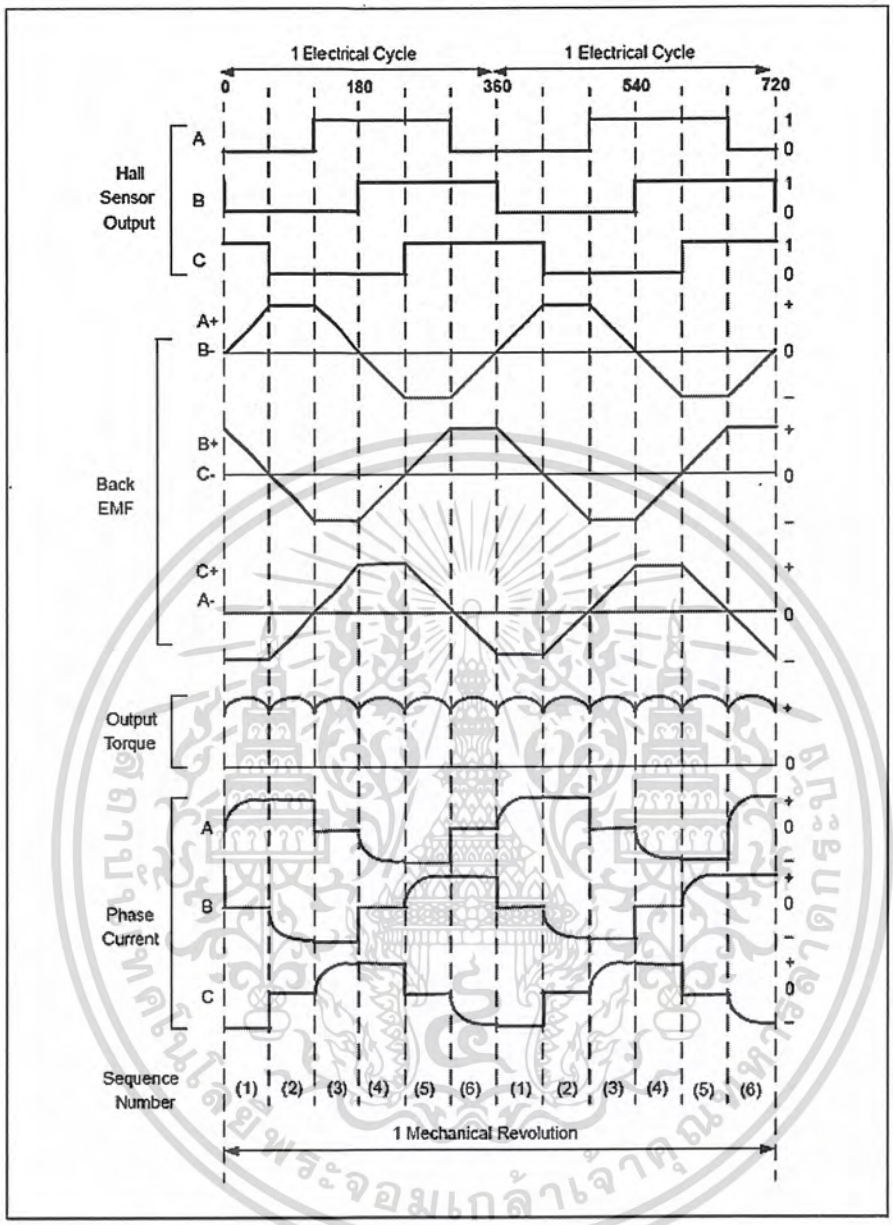
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะหมุนทวนเข็มนาฬิกาต่อไปอีก ขั้ว N จะอยู่ที่ระหว่างขั้ว B และ C หรือที่ประมาณ 9 นาฬิกา ดังนั้น หากให้เกิดการหมุนต่อเนื่อง จะต้องทำการสับขั้วให้กระแสไหลในจังหวะที่เหมาะสมตามลำดับไป ดูได้จากรูปที่ 2.5 และเมื่อกระทำต่อเนื่องไปจนครบ 6 ขั้น ในระหว่างขั้นต่างๆ นี้ ขั้ว A, B และ C จะถูกสับเปลี่ยนไปมาระหว่างบวกและลบ ทำให้ตัวควบคุมจะต้องใช้ IGBT ต่อกันเป็น bridge อย่างน้อย 6 ตัวเพื่อให้สามารถสับเปลี่ยนขั้วได้




**รูปที่ 2.6** ลำดับขั้นการจ่ายไฟเข้าขดลวดแต่ละเฟส (หมุนตามเข็ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.7** Timing diagram ระหว่างHALL SENSOR SIGNAL, BACK EMF, OUTPUT TORQUE และPHASE CURRENT

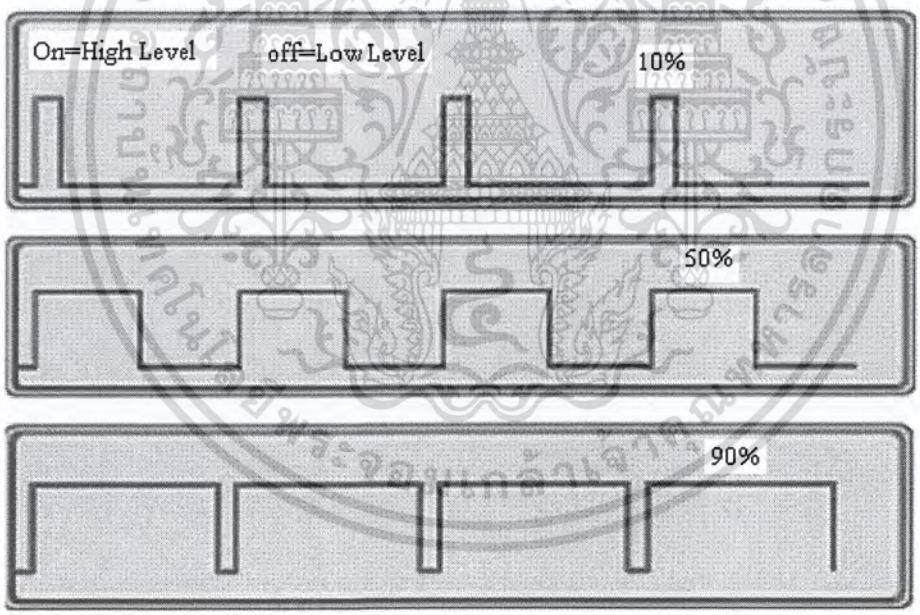
### 2.6.1 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ในแบบ PWM

ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้น แนวความคิดที่จะนำมาใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์นั้นก็คือการ ควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับ DC มอเตอร์ หากจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์น้อยมอเตอร์ ก็จะเดินด้วยความเร็วต่ำ หากเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น มอเตอร์ก็จะเดินด้วยความเร็วที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดของหลักการ PWM - Pulse Width Modulation นั้นไม่ได้เป็นเช่นนั้น วิธีการของ PWM นั้นจะคงค่าของแรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์เอาไว้อย่างคงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงในการทำงานของ PWM ซึ่งจะใช้ความถี่ในการตัดต่อที่สูงมาก เพื่อให้ผลที่ออกมานั้นมีความราบเรียบหรือ เหมือนกับขับมอเตอร์ด้วยแรงดัน DC ให้มากที่สุด

ในการทำงานภาค Out Put ของ PWM นั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ในการตัดต่อที่ทำงานด้วยความเร็วสูงได้ และในทางอุดมคติ จะต้องมีความใกล้เคียงกับการเป็น อิเล็กทรอนิคส์สวิทส์ให้มากที่สุดด้วย โดยในภาค Out Put ของวงจรในแบบ PWM โดยเฉพาะที่ต้องมีการขับกำลังจะใช้ MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor) หรือ IGBT เป็นส่วนมาก เนื่องจาก MOSFEสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไป ตั้งแต่ 50 Khz ไปจนถึงประมาณ 500 Khz เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั่นนั่นเอง จากดังรูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ซึ่งจะขึ้นกับค่าของช่วงเวลา ON และ OFF หรืออัตราส่วน ของ Duty Cycle ซึ่งในรูปจะเป็น 10% 50% 90% ของ Duty Cycle




**รูปที่ 2.8** อัตราส่วน ของ Duty Cycle

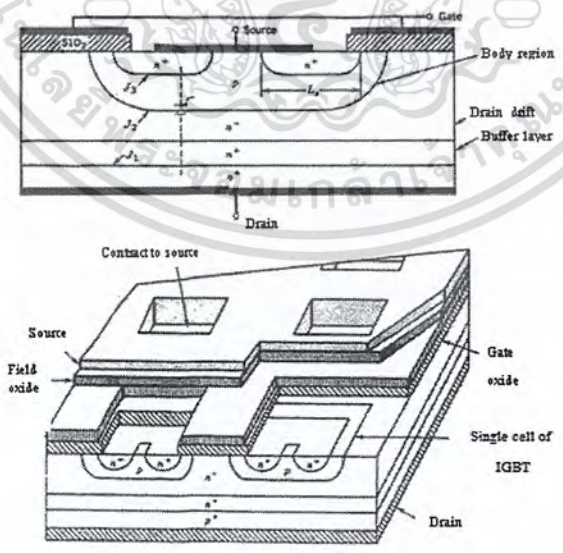
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับIGBT

**IGBT ( Insulated Gate Bipolar Transistor )** อุปกรณ์อิเล็คโทรนิกส์กำลังที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในขณะนี้ได้แก่ SCR, TRIAC, Transistor, MOSFET โดยเฉพาะ Transistor และ MOSFET อุปกรณ์ทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป คือ Transistor ขณะอยู่ในสภาวะนำกระแสไฟฟ้า (ON-State) มีอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำ แต่ความเร็วในการสวิทช์ยังต่ำอยู่ โดยเฉพาะในช่วงหยุดนำกระแสไฟฟ้า(Turn-off State) มีช่วงเวลาที่ยาวซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับ MOSFET ที่มีความเร็วในการสวิทช์ในช่วงการนำกระแสไฟฟ้า(Turn-on State) และหยุดนำกระแสไฟฟ้า(Turn-off State)ได้เร็วกว่ามาก แต่มีอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ขณะอยู่ในสภาวะนำกระแสไฟฟ้า(ON-State)สูงมากด้วยเหตุผลที่กล่าวของ Transistor และ MOSFET จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็คโทรนิกส์กำลังชนิดใหม่โดยเอาคุณสมบัติที่ดีของ Transistor และ MOSFET มารวมไว้ในอุปกรณ์ชนิดใหม่นี้ ซึ่งได้มีชื่อเรียกว่า IGBT

### 2.7.1 โครงสร้างพื้นฐานของIGBT

ภาพในตัดขวางของ IGBT ชนิด N-Channel ดังนั้นในรูปที่2.11 ซึ่งโครงสร้างจะเหมือนกับ MOSFET มาก แต่จะแตกต่างที่ IGBT มีชั้น $P^+$ หรือชั้น Injecting Layer ที่ขาDrain ซึ่งในMOSFET ไม่มีระดับของสารเจือ (Dopping Levels) ในแต่ละชั้นของIGBT มีชั้นของIGBT คล้ายกับที่ใช้ในแต่ละชั้นของMOSFET ยกเว้นส่วนบริเวณของ Body Region ซึ่งจะอธิบายในภายหลัง ในกรณีของIGBT ชนิด P-Channel สามารถได้โดยการเปลี่ยนชนิดของสารเจือในแต่ละชั้นของโครงสร้าง




**รูปที่ 2.9** ภาพตัดแนวตัดขวางของ IGBT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

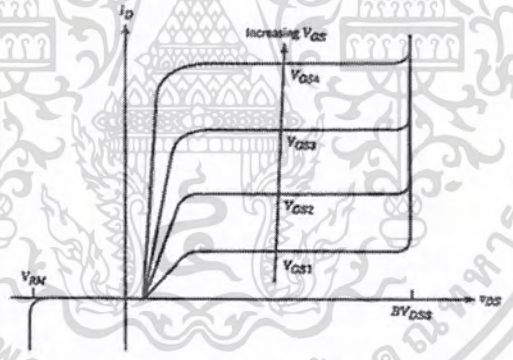
เป็นโครงสร้างของIGBTซึ่งมีThyritor แฝงอยู่ การทำงาน(Turn-on)ของThyritor นี้เป็นสิ่งที่ต้องพยายามหลีกเลี่ยง และรายละเอียดของอุปกรณ์จริงมีหลายอย่างที่แตกต่างไปจากรูปดังนั้นบริเวณ Body Region ที่เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทP มีรอยต่อ $J_2$ และ$J_3$ แตกต่างไปจากรูป เพื่อให้โอกาสที่ Thyritor แฝงจะทำงานได้น้อยที่สุด ส่วน Source ที่เป็นโลหะใน IGBT มีขนาดสั้นกว่าในส่วนของMOSFETซึ่งมีส่วนช่วยให้ Thyristor แฝงมีโอกาสจะทำงานน้อยลงส่วน Buffer region ของสารกึ่งตัวนำที่มีสารเจือ $n^+$ ที่อยู่ระหว่างชั้นของ $p^+$ (ที่ต่ออยู่กับDrain) และ$n^-$ของชั้นDrift Layer ซึ่งไม่มีความสำคัญกับการทำงานของ IGBT และIGBT บางตัวก็ตัดส่วนนี้ออกไปเรียกว่าIGBTแบบสมมาตร(Symmetrical IGBT)ส่วนIGBT ที่ยังมีส่วนนี้อยู่เรียกว่า IGBT แบบไม่สมมาตร(Asymmetrical IGBT)

ถ้าความหนาแน่นของสารเจือและความหนาแน่นของชั้นนี้ถูกเลือกอย่างเหมาะสม การที่มีชั้นนี้จะช่วยในการทำงานของIGBT ให้ดีขึ้นได้ 2 อย่างด้วยกัน คือ

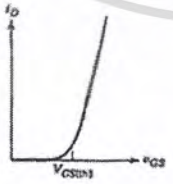
-ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในขณะนำกระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง

- ทำให้เวลาในขณะหยุดนำกระแสไฟฟ้า(Turn-off Time)ลดลง

แต่มีข้อเสีย คือ ทำให้ความสามารถในการรองรับแรงดันไฟฟ้าReverse Blockingลดลง




(ก)ลักษณะของ IGBT ที่ออกเฮาท์พุต




(ข)Transfer Characteristics

(ค)สัญลักษณ์ของ IGBT ชนิด N-Channel

**รูปที่ 2.10** คุณลักษณะของIGBTชนิด P-Channel ทิศทางของลูกศรจะกลับทิศในกรณีของ IGBT ชนิดN-Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.7.2 คุณลักษณะของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I-V Characteristics)**

ลักษณะของกระแสของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของIGBT ชนิด N-Channel ดังแสดงในรูปที่ 2.12(ก) ซึ่งคล้ายกับ Bipolar Transistor แต่จะแตกต่างกันเพียงควบคุมการทำงานด้วยแรงดันไฟฟ้าแทนที่จะควบคุมการทำงานด้วยกระแสไฟฟ้า

ที่รอยต่อของ $J_2$ ในรูปที่ 2.10 ทำหน้าที่รองรับแรงดันไฟฟ้าForward เมื่อIGBTอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส ความสามารถต่อการรองรับแรงดันไฟฟ้า Reverse Blocking มีค่าเท่ากับค่าความสามารถต่อการรองรับแรงดันไฟฟ้าForwardได้ ถ้าไม่มีชั้นของBuffer region $n^+$ มีรอยต่อ $J_1$ ในรูปที่ 2.10 ซึ่งเรียกว่ารอยต่อReverse Blockingแต่ถ้าในโครงสร้างของIGBTมีชั้นBuffer region $n^+$ จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าBreakdownมีค่าลดลง เพราะมีปริมาณสารเจือสูงมากทั้งสองด้านของรอยต่อจึงทำให้ไม่สามารถกั้นกระแสไฟฟ้า Reverseได้ รูปที่2.10(ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $I_D$และ$V_{GS}$ ลักษณะเหมือนกับของ MOSFET ซึ่งลักษณะเส้นกราฟจะเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงของกระแสไฟฟ้าDrainมีค่าสูง และไม่เป็นเชิงเส้น ณ จุดที่กระแสไฟฟ้าDrain มีค่าต่ำเมื่อ$V_{Gs}$ มีค่าต่ำกว่า$V_{Gs(th)}$(Threshold Voltage) IGBT อยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส

**2.7.3 ลักษณะการทำงานของIGBT**

**2.7.3.1 สภาวะนำกระแสไฟฟ้า**

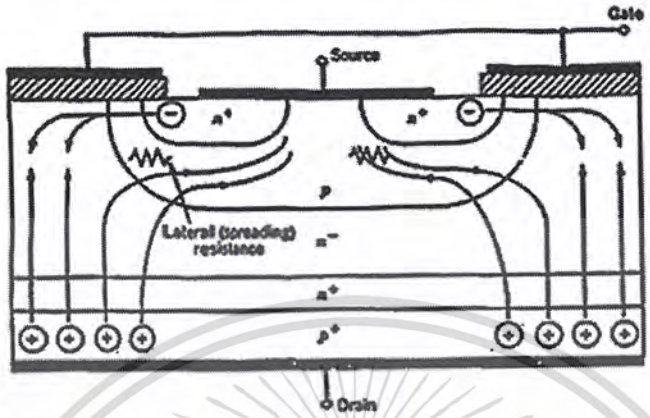
เมื่อขา Drain ได้รับแรงดันไฟฟ้าForward bias คือ เป็นบวกเมื่อเทียบกับSource และแรงดันไฟฟ้า ระหว่าง Gate กับSource มีค่าเกิน $V_{Gs}$ ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาGateจะดึงเอาอิเล็คตรอนให้มารวมกันอยู่ในบริเวณภายใต้Gate ดังนั้นจึงทำให้ชั้นBody Regionตรงส่วนใต้Gate แปรสภาพเป็นn ทำให้เกิดการต่อกันของบริเวณ Drift Region $n^-$ เข้ากับบริเวณSource Region $n^+$ ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเหมือนกับการทำงานของ MOSFET

ประจุไฟฟ้า Electron ที่ไหลจากขาSource ผ่านบริเวณใต้Gate มายังบริเวณลอยเลื่อน $n^-$ จะรวมกับประจุไฟฟ้า HOLD ที่เป็นพาหะข้างน้อยที่ถูกฉีดมาจากชั้นInjecting Layer $p^+$(ดูโครงสร้างในรูปที่2.10)เพราะรอยต่อ$J_1$ ได้รับแรงดันไฟฟ้าตรงทำให้IGBT อยู่ในสภาวะนำกระแส ซึ่งเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากDrain ไปยังSource ได้ การรวมกันของHoleและ Electron ภายในบริเวณn- เรียกว่า Conductivity Motion

ผลของ Conductivity Modulation นั้นทำให้ความต้านทานของบริเวณ $n^-$ มีค่าต่ำลง เป็นการเพิ่มความสามารถในการขับการขับผ่านกระแสไฟฟ้าของIGBT ได้สูงขึ้น ซึ่งมีลักษณะหมือนกับTransistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของความต้านทานที่มีค่าลดลงจะทำให้แรงดันไฟฟ้า $V_{DS}$ที่สภาวะนำกระแสไฟฟ้าต่ำลง การสูญเสียกำลังไฟฟ้าขณะนำกระแสจึงลดลงด้วย ทิศทางการไหลของElectron และ Hole แสดงในรูปที่2.11




รูปที่ 2.11ทิศทางการไหลของElectron และ Hole ในขณะนำกระแสไฟฟ้า

**2.7.3.2 สภาวะหยุดนำกระแสไฟฟ้า**

เมื่อแรงดันไฟฟ้า$V_{Gs} < V_{Gs(th)}$ ทำให้แรงดันไฟฟ้าไม่เพียงพอสำหรับแปรสภาพBody Region และ n จึงทำให้บริเวณ $n^-$ ไม่ต่อกับบริเวณ Source $n^+$ ของIGBT อยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส ซึ่งในสภาวะนี้รอยต่อ $J_2$ ที่ได้รับแรงดันไฟฟ้า Reverse จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหล เพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะ(Depletion Region)ขึ้นที่รอยต่อ$J_2$ด้วย

บริเวณปลอดพาหะนี้ขยายบริเวณกว้างขึ้นจนเข้าไปยังบริเวณ $n^-$ เพราะBodt Region p มีความหนาแน่นในการเจือสารมากกว่า ถ้า ความหนาแน่นของสารที่ได้รับการเจือสารในบริเวณลอยเลื่อน $n^-$ มากพอ ก็จะทำให้การขยายของบริเวณปลอดพาหะไม่สามารถแตะกับชั้น Injecting Layer $p^+$ ได้รับ Buffer Layer $n^+$ (ดังแสดงในรูปที่2.10) ก็ไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดขึ้นหรือไม่จำเป็นต้องเจือสาร ทั้งนี้เพราะการแตะกันของบริเวณทั้งสองจะทำให้เกิดการพังทลายทางด้านไบแอสตรงสำหรับ IGBT ที่ไม่มีการเจือสารในชั้น Buffer Layer $n^+$ นี้เรียกว่า IGBT แบบสมมาตร ซึ่งจะมีอัตราการทนแรงดันย้อนกลับกลับ($V_{RM}$ หรือ $BV_{SDS}$) สูงพอๆกับอัตราทนแรงดันไหลตรง$BV_{Dss}$เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การลดความหนาแน่นของบริเวณ $n^-$ ลดลงแต่ยังคงความสามารถของอัตราทนแรงดันไฟฟ้าไหลตรงไว้ สามารถทำได้โดยการเพิ่มชั้น Buffer Layer $n^+$ เข้าไปเพื่อป้องกันการแตะกันของบริเวณปลอดพาหะกับบริเวณ Injecting Layer $p^+$ ซึ่งจะเรียกว่า IGBT ชนิดนี้ว่า IGBT แบบไม่สมมาตร จากการลดความหนาของบริเวณลอยเลื่อน $n^-$ ลงจะช่วยส่งผลให้เกิดข้อดีสองประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ทำให้แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสไฟฟ้าต่ำลงเป็นผลให้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าลดน้อยลง
-ช่วยลดช่วงเวลาการหยุดนำกระแสไฟฟ้าสั้นลงได้

**2.7.8 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ IGBT กับอุปกรณ์สวิทช์ประเภทอื่น**

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั่น IBGT จะมีแรงดันไฟฟ้าคร่อมใกล้เคียงกับ MOSFET ในขณะที่มีความต้านทานทางด้าน Input สูงและมีความเร็วในการนำกระแสไฟฟ้าสูงเหมือนกับ MOSFEET ในการใช้งานที่ย่านความถี่ปานกลางสามารถนำIGBT ไปใช้งานทดแทน MOSFET,Transist และ Thyristor ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบ Thyristor ทั่วไปแล้ว IGBT จะมีความเร็วในการสวิทชิ่งและค่าความต้านทานของ Input ที่สูงกว่า สามารถทนต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า ($dV_{DS}/dt$) ที่สูงกว่าและมีวงจรขับที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในขณะที่ Thyristor บางประเภท เช่น GTO ก็สามารถควบคุมการนำและหยุดนำกระแสไฟฟ้าได้ด้วยสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าขา Gate ได้ แต่ก็ต้องการกระแสไฟฟ้าไหลกลับทิศทางในขณะหยุดทำกระแส ในการที่จะทำให้ GTO หยุดนำกระแสได้นั้นจะต้องให้ตัวเก็บประจุที่ขาGate คายประจุออกมา แต่ Thyristor มีแรงดันตกคร่อมในสภาวะนำต่ำกว่า IGBT และก็มีค่าพิกัดทนต่อกระแสไฟฟ้าชั่วขณะสูงกว่า IGBT อีกด้วย

ในการเปรียบเทียบความยากง่ายของวงจรขับนำ ให้สมมติว่าต้องการให้อุปกรณ์สวิทช์ต้องรับกระแสได้ที่ 10 A ถ้าใช้ Transistor เป็นอุปกรณ์สวิทชิ่งในการที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ Collector ได้จะต้องควบคุม Transistor ให้ทำงานตามต้องการ ซึ่งปกติ Power Transistor มีค่าเบต้า ต่ำมากยกตัวอย่าง เช่น ทรานซิสเตอร์มีค่าเบต้า เท่ากับ 5 ในการที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้า Collector ได้ถึง 10 A จะต้องป้อนกระแสไฟฟ้าปริมาณ 2 A เข้าที่ขา Base ของ Transistor ในขณะที่ IGBT ควบคุมการงานด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าระหว่างขา Gate กับ Sourse ซึ่งต้องการกระแสไฟฟ้าน้อยมากอยู่ในหน่อย nA ก็ยังสามารถทำให้ IGBT ทำงานได้ (Steady-state) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวงจรขับ Gate ของ IGBT จะมีความง่ายกว่าวงจรขับ Base ของ Transistor อาจใช้วงจร Darlington ในการขยายค่าเบต้า เพื่อทำให้วงจรขับง่ายขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมในสภาวะนำกระแสก็จะสูงขันตามไปด้วย

ส่วนวงจรขับ Gate ของ IGBT กับ MOSFET มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันมากจนสามารถใช้แทนกันได้ แต่ถ้าใช้งานในย่านความถี่ปานกลางที่พิกัดของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเท่ากันก็ควรจะเลือกใช้ IGBT ในการทำงานแทน MOSFET เนื่องจากมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ในสภาวะนำกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ของ Microchip Technology เป็นทางเลือกหนึ่งของนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ในประเทศไทยตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1990 และมีการนำเบอร์ใหม่ๆมาใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอนุกรม PIC16F8x, PIC16F87x จนมาถึง PIC18Fxxx ซึ่งทั้งหมดนั้น ตัวซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ยังอยู่ที่ขนาด 8 บิต

ทว่าในปี ค.ศ. 2004 นี้ Microchip Technology ได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ในรุ่นใหม่ที่ประมวลผลในระดับ 16 บิตออกมาให้ใช้งานกัน นั่นคือ dsPIC ภายใต้ชื่อเรียกขานอย่างเป็นทางการว่า Digital Signal Controller หรือ DSC โดยจุดเด่นของ DSC คือ การประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำไปใช้งานในงานควบคุมโดยมีการเพิ่มขีดความสามารถของหน่อยประมวลผลกลาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นหัวใจหลักของการประมาณผลสัญญาณดิจิตอล โดยสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงสุดถึง 16 บิตอย่างแท้จริง นอกจากนั้นยังเพิ่มความเร็วในการประมวลผลเพื่อให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดิจิตอลได้ เพิ่มเติมความสามารถของโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลให้มีความละเอียดมากขึ้น และมีความเร็วในการสุ่มสัญญาณเพิ่มขึ้น

ด้านเครื่องมือในการพัฒนาทางซอฟต์แวร์ สามารถพัฒนาด้วยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีและภาษา C ผ่านทางชุดซอฟต์แวร์ MPLAB V6.6 ขึ้นไป ร่วมกับ C คอมไพเลอร์ชื่อ MPLAB C30 ส่วนเครื่องมือทางฮาร์ดแวร์นั้นใช้ ICD2 หรือ In-Circuit Debugger/Porgrammer 2 ของ Microchip เป็นหลัก

### 2.8.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ dsPIC

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microchip Technology Inc. โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้มี Digital signal Controller หรือ DSC นั่นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิตอลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

### 2.8.2 คุณสมบัติของ dsPIC

- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน สามารถรองรับรูปแบบการอ้างอิงแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่อยความจำโปรแกรมแบบแฟลส ความจุ 48 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้งสามารถป้องกันการอ่านได้
- สามารถโปรแกรมหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่อยความจำข้อมูลอีอีพรอม 1 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีหน่อยความจำข้อมูลแรม 2 กิโลไบต์
- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์มีขนาด 16 บิต จำนวน 16 ตัว
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ตั้งแต่ย่านไฟตรงจนถึง 40 MHz
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรเฟลล็อกลูปภายใน ตั้งแต่ 4MHz ถึง 10 MHz เลือกได้ 3 ระดับ คือ 4,8,หรือ 16 เท่า
- รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง
- สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ 8 ระดับ
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-ออนรีเซต,เพาเวอร์-อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ต-อัปไทเมอร์
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP:In-Circuit Serial Programming)
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 44mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเร็วในการทำงาน

**2.8.3 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิตอล**

- มีแอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้อย่างดี
- มีหน่อยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮารดแวร์ จึงทำให้สามารถทำการคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายนสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้ประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากๆ ทำได้รวดเร็ว
- มีวงจรเฟตช์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

**2.8.4 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชั่นพิเศษ**

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 5ตัว สามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับสัญญาณดิจิตอลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลและกำหนดสัญญาณ PMW ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด
-ในการเปรียบเทียบข้อมูลสามารถเลือกการทำงานๆด้ทั้ง 2 โหมด
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส IC ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็นมาสเตอร์หรือสเลฟได้
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
-เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์และแบบอิสระ
-มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
-มีส่วนกำเนิดดิวตี้ไซเกิล 4 ชุด
-กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
-สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
-มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
-สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
-มีอินพุต Phase A,Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
-มีตัวนับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ทั้งขึ้นและลง
-แสดงทิศทางการนับได้
-กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมดคือ x2 และx4
-มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอลจากอินพุตแบบโปรแกรมได้
-สำหรับกำหนดให้ทำงานได้เป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตได้
-กำหนดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากตำแหน่งที่นับเกิน(rollover)หรือนับขาด(underflow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

103035

- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต 9ช่อง
-อัตราการสุ่มและแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
-สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีปและไอเดิลได้

**2.8.5 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F4011**

**2.8.5.1 หน่วยประมวลผลกลาง**

หน่วยประมวลผลกลางของ dsPIC30F4011 ใช้คำสั่งที่มีความยาว 1 เวริ์ด ขนาด 24 บิต โดยมีโปรแกรมเคาน์เตอร์ขนาด 23 บิต (จริงๆแล้วโดยโครงสร้างมี 24 บิต แต่ไม่สนใจบิต MSB ซึ่งก็คือบิต 23 และบิต LSB หรือบิต 0 กำหนดเป็น "0" จึงทำให้สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 4 เมกะเวริ์ด) เพื่อแจ้งแอดเดรสของหน่อยความจำโปรแกรมที่เข้าไปประมวลผล dsPIC30F4011 มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรม 48 กิโลไบต์ เมื่อคำสั่งมีความยาว 24 บิต จึงบรรจุคำสั่งได้จริง 16 กิโลเวริ์ด รีสจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการทำงานคือ รีจิสเตอร์ W (working register)
สำหรับใน dsPIC จะแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมาก โดยรีจสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอะเรย์ขนาด 16 บิต ส่วนใหญ่ใช้ในการประมวลผลหลัก ส่วนอีกตัวหนึ่งคือรีจิสเตอร์ W15 จะใช้ทำงานร่วมกับตัวชี้สเต็กในการทำงานของโปรแกรมย่อยและบริการอินเตอร์รัปต์

**2.8.5.2 หน่วยความจำ**

dsPIC30F4011 มีหน่อยความจำโปรแกรม16กิโลเวิร์ด สามารถโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงไปได้ 2 วิธี
1.โดยใช้วิธีการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรมหรือ ICSP ผ่านทางขา PGD และ PGC (ขาที่ 25 และ 26) แล้วป้อนสัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับโปรแกรมผ่านเข้ามาทางขา MCLR
2.โปรแกรมตัวเองในขณะทำงานหรือ RTSP (Run Time Self-Programming)
ส่วนหน่วยความจำข้มูลแรมนั้น dsPIC30F4011 ได้จัดสรรปัน 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลแรม X และ Y แต่ละส่วนมีขนาด 16 บิต ความจุ 1048 รวมเป็น 2048 โดยในแต่ละส่วนจะมีตัวกำหนดแอดเดรสแยกออกจากกัน เรียกว่า AGU (Address Generation Unit)

**2.8.5.3 ส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิตอล(DSP Engine)**

นับเป็นส่วนประกอบสำคัญยิ่งของ dsPIC เนื่องจาก dsPIC ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานใยด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเป็นหลัก ดังนั้น จึงต้องมีการเพิ่มความสามารถใน หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกอย่างมาก โดยในการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลมีหน่อยจัดการคูณเลขขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17x17 บิตความเร็วสูง, หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU ขนาด 40 บิต,แอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต อีก 2 ตัว และตัวเลื่อนข้อมูล 2 ทิศทางแบบบาเรล(barrel shifter) ขนาด 40 บิต จึงทำให้สามารถจัดการข้อมูลขนาด 16 บิตได้เสร็จสิ้นภายในสัญญาณนาฬิกาเพียงไซเคิลเดียว

**2.8.5.4 โมดูลฟังก์ชั่นพิเศษ**

dsPIC30F4011รวมเอาโมดูลสำหรับทำงานเฉพาะทางไว้อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต,โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือ SPI ,โมดูลสื่อสารข้อมูลบนระบบบัส $I^2C$,โมดูลสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมหรือ UART,ไทเมอร์ขนาด 16 บิต ถึง 3 ตัว และที่เป็นพิเศษอีก 2 โมดูลคือ โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อการควบคุมมอเตอร์ และโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์โดยสามารถใช้งานร่วมกันเพื่อสร้างระบบควบคุมมอเตอร์แบบปิดประสิทธิภาพสูง

**2.8.6 การใช้งานโมดูล MCPWM ใน dsPIC30F4011ควบคุมมอเตอร์**

อีกหนึ่งโมดูลฟังก์ชันพิเศษที่dsPIC มีและน่าสนใจอย่างยิ่งคือ โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อควบคุมมอเตอร์ หรือเรียกว่า โมดูล MCPWM (Motor Control PWM)ใน dsPIC บรรจุโมดูลนี้ไว้ตั้งแต่6 ถึง8ช่อง สำหรับ dsPIC30F4011 จึงสามารถขับมอเตอร์แบบเฟสเดี่ยวได้ 3 ตัวและมอเตอร์ 3 เฟสได้1 ตัว ดังนั้นจึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ควบคุมอินดักชั่นมอเตอร์ 3เฟส,สวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์(SR),มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านหรือบรัชเลสมอเตอร์(BLDC)และในระบบเครื่องสำรองไฟฉุกเฉินหรือ UPS(Un-interrupted Power Supply)

**2.8.6.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลMCPWM**

- ความละเอียดของสัญญาณPWM ที่สร้างขึ้นเท่ากับ Tcy/2
- ในโมดูล MCPWM 1 ชุดมี 2 เอาต์พุต ในdsPIC30F4011 มีโมดูล 3 ชุดจึงมีทั้งสิ้น 6 ช่อง
-สามารถใช้งานเอาต์พุตของโมดูล MCPWM แยกกันอย่างอิสระและร่วมกัน
-เมื่อทำงานในแบบร่วมกัน หรือ คอมพลีเมนตารี สามารถกำหนด ค่าวิกฤต (dead time) เพื่อช่วยให้ขับมอเตอร์ 3 เฟสเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
-สามารถเลือกโหมดเอาต์พุตได้4 โหมด
-โหมดปรับขอบสัญญาณ(Edge aligned mode)
- โหมดสัญญาณเดี่ยว (Single event mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โหมดปรับกึ่งกลาง(Center aligned mode)
- โหมดปรับสัญญาณกึ่งกลางพร้อมปรับปรุงค่า(Center aligned mode with double updates)
-มีอินพุตสำหรับตรวจจับความผิดพลาดในการทำงาน (FAULT)แบบโปรแกรมได้
-สามารถสร้างสัญญาณกระตุ้นส่งไปยังโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานให้สัมพันธ์กัน

ไดอะแกรมการทำงานของโมดูล MCPWM จากหน้า 111 ส่วนประกอบหลักของโมดูลนี้คือส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM มี 4 ชุด ได้ค่าฐานเวลาจากรีจิสเตอร์ PTMR และ PTPER ส่วนค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM ในโมดูล MCPWM นี้สามารถกำหนดได้จากรีจิสเตอร์ดิวตี้ไซเกิลในส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM แต่ละส่วนที่เป็นอิสระต่อกันนอกจากนั้นยังสามารถกำหนดการทำงานของขาพอร์ตเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรงผ่านทางรีจิสเตอร์ OVDCON

ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์แต่ละชุดในโมดูล MCPWM สามารถกำหนดให้ทำงานแยกจากกันเป็นอิสระ (Independent mode) หรือทำงานร่วมกัน (Complementary mode) เพื่อขับมอเตอร์ 3 เฟสได้ โดยกำหนดผ่านรีจิสเตอร์ PWMCON1 และPWMCON2 และเมื่อกำหนดให้ทำงานร่วมกันจะต้องมีการจัดการสัญญาณเพื่อให้มอเตอร์ในแต่ละเฟสสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง นั้นคือการจัดการค่าเวลาหน่วยเฟส (datetime control) โดยใช้รีจิสเตอร์ DTCON1 และ DTOCON2

สัญญาณที่ออกจากโมดูล MCPWM จะมีขาพอร์ต 2 ขาต่อช่องนั้นคือ ขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง-PWMxH และขาเอาต์พุตดันแรงดันต่ำ –PWMxL (x คือหมายเลขของช่องเอาต์พุตมี4 ค่า คือ1-4 โดยใน dsPIC30F4011 มีเพียง1-3) หรือเรียกว่า คู่เอาต์พุต นอกจากนั้นยังสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุตผ่านโพสต์สเกลเลอร์เพื่อสร้างเป็นสัญญาณกระตุ้นพิเศษให้แก่โมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (ADC) ด้วยเพื่อให้โมดูล MCPWM สามารถทำงานสัมพันธ์กับโมดูล ADC ได้ด้วย

นอกจากนั้นในโมดูล MCPWM ยังมีอินพุตสำหรับรับสัญญาณตรวจสอบความผิดปกติหรือ FAULT เพื่อป้องกันไม่ให้โมดูล MCPWM ทำงานผิดพลาด หรือเสียหายเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในโมดูล MCPWMโดยในส่วนนี้มีพอร์ทอินพุตสำหรับรับสัญญาณ2 ขา คือ FLTA และFLTB สำหรับใน dsPIC30F4011 จะมีเพียงขาเดียวคือ FLTA โดยการทำงานในส่วนนี้ได้รับการควบคุมจากรีจิสเตอร์ FLTACON สำหรับส่วนตรวจสอบความผิดปกติชุดA และ FLTBCON สำหรับส่วนตรวจสอบความผิดปกติชุดB (ไม่มีใน dsPIC30F4011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.6.2 รีจิสเตอร์ที่ใช้งานในโมดูล MCPWM**

ในโมดูล MCPWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC มีรรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมและกำหนดค่าในการทำงานรวม 14 ตัว อันประกอบด้วย

-PTCON รีจิสเตอร์ควบคุมฐานเวลาในการกำเนิดสัญญาณ PWM

-PTMR รีจิสเตอร์กำหนดค่าฐานเวลาของการกำเนิดสัญญาณ PWM

-PTPER รีจิสเตอร์กำหนดคาบเวลาของฐานเวลาสำหรับการกำเนิดสัญญาณPWM

-SEVTCMP รีจิสเตอร์เปรียบเทียบค่า

-PWMCON1 รีจิสเตอร์ควบคุม PWM#1

-PWMCON2 รีจิสเตอร์ควบคุมPWM#2

-DTCON1 รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time#1

-DTCON2รีจิสเตอร์ควบคุมค่าเวลาวิกฤตหรือ Dead Time #2

-FLTACON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับมอเตอร์ชุดA

-FLTBCON รีจิสเตอร์ควบคุมการตรวจจับความผิดปกติของการขับมอเตอร์ชุดB

-PDC1รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่1

-PDC2รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่2

-PDC3รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่3

-PDC4รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลของโมดูลกำเนิดสัญญาณ PWM ชุดที่4

**2.8.6.2.1 OVDCON (Override Control Register) : รีจิสเตอร์กำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยตรง**

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดค่าสำหรับการสร้างสัญญาณ PWM ในการควบคุมมอเตอร์อีกตัวหนึ่งโดยการกำหนดค่าที่รีจิสเตอร์นี้เป็นการกำหนดในลักษณะเข้าถึงโดยตรงที่ขาเอาต์พุตของโมดูลMCPWM

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| POVD4H | POVD4L | POVD3H | POVD3L | POVD2H | POVD2L | POVD1H | POVD1L |
| R/W -1 | R/W -1 | R/W -1 | R/W -1 | R/W -1 | R/W -1 | R/W -1 | R/W -1 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| POUT4H | POUT4L | POUT3H | POUT3L | POUT2H | POUT2L | POUT1H | POUT1L |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่2.12** รีจิสเตอร์ OVDCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต15และ14 –POVD4H และPOVD4L (PWM Output Override bits for PWM4): บิตกำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตของโมดูล PWM4 แบบโดยตรง**

"1" =ขาพอร์ตของPWM4 ถูกควบคุมโดยส่วนกำเนิดสัญญาณPWM

"2" =ขาพอร์ตของPWM4ถูกควบคุมด้วยค่าของบิต Poutxx

2 บิตนี้ไม่ใช้งานในdsPIC30F2010 กำหนดเป็น"0"

**บิต13ถึง8 –POVD3 ถึง POVD1L (PWM Output Override bits for PWM3-PWM1)บิตกำหนดการทำงานของขาเอาต์พุตของโมดูลPWM3 ถึง PWM1 แบบโดยตรง**

"1" =ขาพอร์ตของPWMxx(3H-1L) ถูกควบคุมโดยส่วนกำเนิด PWM

"0" =ขาพอร์ตของPWMxx(3H-1L) ถูกควบคุมด้วยค่าของบิตPOUTxx

**บิต7และ 6 –POUT4Hและ POUT1L (PWM Manual Output bits for PWM4):บิตกำหนดการทำงานของพอร์ตเอาต์พุต PWM4 แบบโดยตรง**

"0" =ขาเอาต์พุตของสัญญาณ PWM เป็นสถานะ "ไม่แอกทีฟ" หรือเป็นสัญญาณแรงดันต่ำโดยต้องกำหนดให้บิตPOVD4Hและ POVD4L เป็น"0"

"1" =ขาเอาต์พุตของสัญญาณ PWM เป็นสถานะ "แอกทีฟ" หรือเป็นสัญญาณแรงดันสูงโดยต้องกำหนดให้บิตPOVD4Hและ POVD4L เป็น"0"

**บิต5ถึง0 –POUT3H และPOUT1L (PWM Manual Output bits for PWM3-PWM1 แบบโดยตรง)**

"0" =ขาเอาต์พุตของสัญญาณ PWM เป็นสถานะ"ไม่แอกทีฟ" หรือเป็นสัญญาณแรงดันต่ำ โดยต้องกำหนดให้บิตPOVD4H และ POVD4L เป็น "0"

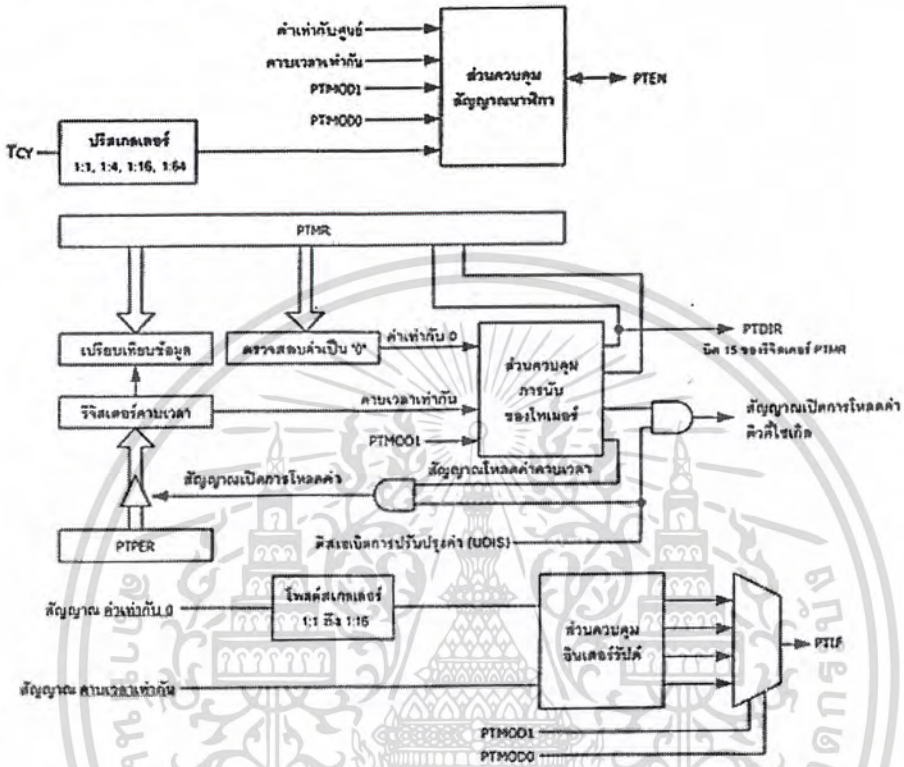
"1" =ขาเอาต์พุตของสัญญาณ PWM เป็นสถานะ"แอกทีฟ" หรือเป็นสัญญาณแรงดันสูงโดยต้องกำหนดให้บิตPOVD4H และ POVD4L เป็น "0"

**2.8.6.3 ฐานเวลาสัญญาณPWM**

ในรูปที่2.13 แสดงไดอะแกรมของการกำหนดฐานเวลาของสัญญาณ PWM ที่ใช้ในโมดูล MCPWM ซึ่งแยกอิสระจากโมดูลเอาต์พุตเปรียบเทียบ (Output Compare : OC) ค่าฐานเวลาได้มาจากการทำงานของไทเมอร์ 15 บิต ร่วมกับปรีสเกลเลอร์และโพสต์สเกลเลอร์ในโมดูล MCPWM โดยข้อมูล 15 บิตนั้นบรรจุอยู่ใน 15 บิตล่างของรีจิสเตอร์ PTMR ส่วนบิต MSB คือบิต PTDIR เป็นบิตที่อ่านได้อย่างเดียวใช้ในการแสดงทิศทางในการนับค่าในปัจจุบันของฐานเวลา PWM นี้โดยถ้าบิตนี้เป็น "0" แสดงว่า PTMR กำลังนับค่าขึ้น และเป็น "1" เมื่อกำลังนับค่าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเอ็นเอเบิลให้ส่วนฐานเวลาPWM นี้ทำงานต้องเซตบิต PTEN ซึ่งเป็นบิต15 ของรีจิสเตอร์ PTCON อย่างไรก็ตาม ค่าในรีจิสเตอร์PTMR จะไม่ถูกเคลียร์แม้ว่าส่วนฐานเวลาของPWM นี้จะถูกดิสเอเบิลด้วยการเคลียรบิต PTEN




**รูปที่ 2.13** ไดอะแกรมการทำงานของส่วนกำหนดฐานเวลาของสัญญาณPWMที่ใช้ในโมดูลMCPWM

**2.8.6.3.1 ปรีสเกลเลอร์ของฐานเวลาPWM**

สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการนับค่าของฐานเวลาPWM ในโมดูลMCPWM ก็คือ สัญญาณนาฬิกาในการทำงานของระบบนั้นเอง โดยมีค่าความถี่เท่ากับ FCY (ซึ่งเท่ากับ1/4 ของความถี่หลัก) สัญญาณนาฬิกาจะส่งผ่านไปนับค่าในรีจิสเตอร์PTMR โดยมีตัวตัวลดทอนหรือปรีสเกลเลอร์เข้ามาจัดการเพื่อปรับอัตราการนับค่า ซึ่งส่งผลต่อความถี่ของสัญญาณ PWM ดูรูปที่2.13 ประกอบ อัตราการลดทอนของปรีสเกลเลอร์เลือกได้ 4 อัตรา คือ1:1 (ไม่ลดทอน) , 1:4 , 1:16 และ 1:64 โดยกำหนดจากบิต PTCKPS1 และ PTCKPS0 :ซึ่งเป็นบิต 3 และ 2 ของรีจิสเตอร์PTCON

ค่าของปรีสเกลเลอร์จะถูกเคลียร์เมื่อเกิดเหตุการณ์ ดังนี้

(1) เกิดการเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ PTMR

(2) เกิดการเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ PTCON

(3) เกิดการรีเซตขึ้นในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.6.3.2 โพสต์สเกลเลอร์ของฐานเวลาPWM**

เมื่อค่าของรีจิสเอร์ PTMR ตรงกับค่าของรีจิสเตอร์ของรีจิสเตอร์ PTPER จะเกิดสัญญาณเอาต์พุตขึ้นเพื่อนำไปสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ และในส่วนฐานเวลา PWM นี้ได้เพิ่มเติมความสามารถพิเศษตัวหนึ่ง คือ โพสต์สเกลเลอร์เพื่อปรับอัตราเอาต์พุตนี้โดยแทนที่จะส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปทันทีก็สามารถปรับอัตราเอาต์พุตนี้ได้ โดยเลือกได้ถึง 16 ระดับตั้งแต่1:1(ไม่ปรับค่า) จนถึง1:16 นั้นคือเกิดเหตุการณ์ค่าตรงกัน16 ครั้ง จึงส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมา ดังนั้นโพสต์สเกลเลอร์ จะถูกใช้งานในกรณีที่ไม่ต้องการปรับค่าดิวตี้ไซเกิลในทุกๆ ไซเกิลของสัญญาณ PWM

ค่าตัวนับในโพสต์สเกลเลอร์จะถูกเคลียร์เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังนี้

(1) เกิดการเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ PTMR

(2) เกิดการเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ PTCON

(3) เกิดการรีเซตขึ้นในไมโครคอนโทรลเลอร์

**2.8.6.3.3 คาบเวลาของสัญญาณPWM**

รีจิสเตอร์ PTPER ถูกใช้สำหรับกำหนดค่าการนับคาบเวลาของรีจิสเตอร์ PTMR ผู้พัฒนาต้องระบุข้อมูลขนาด15 บิตลงในบิต 0 ถึง 14 ของรีจิสเตอร์PEPER เมื่อโมดูลนี้ทำงานจนกระทั่งค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับ PTPER ค่าฐานเวลาจะรีเซตเป็น"0"หรือเปลี่ยนทิศทางการนับค่าในสัญญาณนาฬิกาลูกถัดไป ขึ้นอยู่กับการกำหนดโหมดทำงาน

คาบเวลาของฐานมีขนาดของบัฟเฟอร์เป็น 2 เท่าเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงค่าในระหว่างการทำงานได้ โดยปราศจากการรบกวน นั้นคือรีจิสเตอร์ PTPER จะมีรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรองรับค่าที่ต้องการเปลี่ยนแปลงใหม่ ในระหว่างที่กำลังทำงานกับค่าเดิม โดยรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์นี้ผู้ใช้งานไม่สามารถเข้าถึงได้ ข้อมูลสำหรับกำหนดค่าคาบเวลาจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ PTER แตกต่างกันไปตามโหมดการทำงานของฐานเวลา PWM ดังนี้

(ก)ในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระและโหมดทำงานครั้งเดียว ข้อมูลจากรีจิสเตอร์PEPER จะถูกโหลดลงในรีจิสเตอร์คาบเวลาเมื่อรีจิสเตอร์คาบเวลาเมื่อรีจิสเตอร์ PTMR ถูกรีเซตเป็น"0" หลังจากที่ค่าของรีจิสเตอร์ PTMR ตรงกับค่าของPTPER ดังแสดงด้วยไดอะแกรมเวลา

(ข)ในโหมดนับค่าขึ้นลง ข้อมูลจากรีจิสเตอร์PTPER จะถูกโหลดลงในรีจิสเตอร์คาบเวลา เมื่อรีจิสเตอร์ PTPER ดังแสดงด้วยไดอะแกรมเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นข้อมูลในรีจิสเตอร์ PTPER จะถูกโหลดไปยังรีจิสเตอร์คาบเวลาอย่างอัตโนมัติเมื่อฐานเวลาPWM ถูกดิสเอเบิลโดยกำหนดบิตPTEN เป็น"0"

**2.2.6.4 หน่วยเปรียบเทียบค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณPWM**

ในโมดูลMCPWM มีส่วนกำเนิดสัญญาณPWM สูงสุด 4 ชุด จึงมีรีจิสเตอร์ขนาด16 บิต เพื่อกำหนดค่าดิวตี้ไซเกิล4 ตัว คือPDC1 ถึงPDC4 สำหรับในการอธิบายจะใช้PDCxแทน(x แทนตัวเลข1 ถึง 4 ซึ่งเป็นหมายเลขของส่วนกำเนิดสัญญาณPWM)

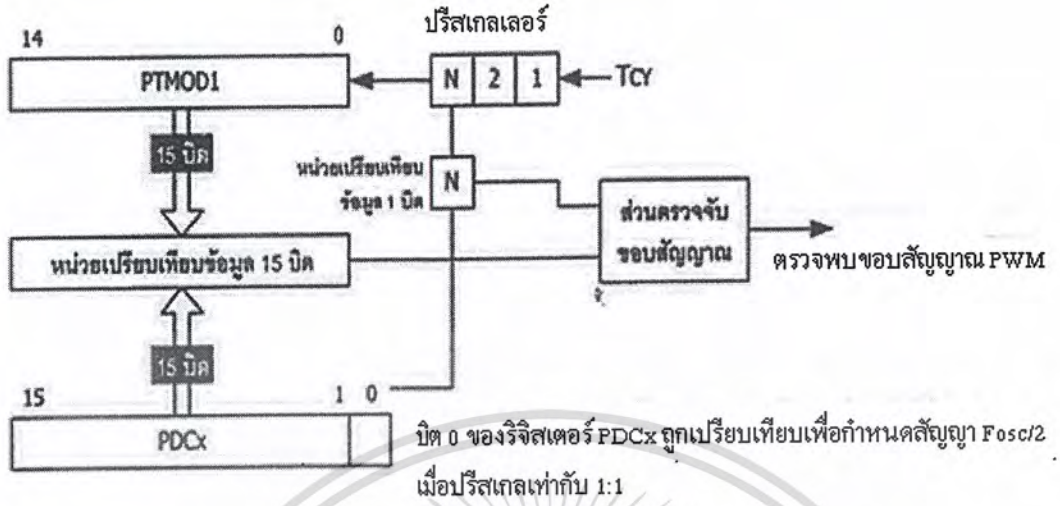
ในตารางที่2.1แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความถี่ในการทำงานของ dsPIC กับความละเอียดของสัญญาณ PWM โดยค่าของความถี่ที่แสดงในตารางนั้นเป็นค่าที่เกิดขึ้นเมื่อกำหนดให้ส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM ทำงานในโหมดปรับขอบสัญญาณ (Edge-aligned mode) และค่าความถี่จะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อทำงานในโหมดปรับสัญญาณกึ่งกลาง(Center aligened mode)

โมดูลMCPWM สามารถสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความละเอียดเท่ากับ Tcy/2 ได้ โดยค่าของรีจิสเตอร์ PTMR จะเพิ่มขึ้นทุกๆคาบเวลา Tcy ที่อัตราปรีสเกลเลอร์เป็น1:1เพื่อให้ได้ความละเอียด Tcy/2 นี้ ค่าของรีจิสเตอร์ PDCx บิต 15 ถึง 1 จะถูกเปรียบเทียบกับค่าของรีจิสเตอร์ PTMR บิต14 ถึง 0 โดยบิต0 ของรีจิสเตอร์ PDCx จะถูกใช้กำหนดขอบสัญญาณเริ่มต้นของสัญญาณPWM แต่ถ้าหากที่ฐานเวลา PWM เลือกอัตราปรีสเกลเลอร์เป็นค่าอื่น ค่าบิต 0 ของรีจิสเตอร์ PDCx จะถูกเปรียบเทียบกับบิตนัยสำคัญสูงสุดของตัวนับในปรีสเกลเลอร์แทน เพื่อกำหนดขอบสัญญาณเริ่มต้นของสัญญาณPWM ดังแสดงกระบวนการเปรียบเทียบในรูปที่2.14

| ค่าเวลา Tcy (ความถี่ Fcy) | ค่าของรีจิสเตอร์ PTPER | ความละเอียดของ PWM | ความถี่สัญญาณ PWM |
|---|---|---|---|
| 33 นาโนวินาที (30MHz) | 0x7FFF | 16 บิต | 915kHz |
| 33 นาโนวินาที (30MHz) | 0x3FF | 11 บิต | 29.3kHz |
| 50 นาโนวินาที (20MHz) | 0x7FFF | 16 บิต | 610Hz |
| 50 นาโนวินาที (20MHz) | 0x1FF | 10 บิต | 39.1kHz |
| 100 นาโนวินาที (10MHz) | 0x7FFF | 16 บิต | 305Hz |
| 100 นาโนวินาที (10MHz) | 0xFF | 9 บิต | 39.1kHz |
| 200 นาโนวินาที (5MHz) | 0x7FFF | 16 บิต | 153Hz |
| 200 นาโนวินาที (5MHz) | 0x7F | 8 บิต | 39.1kHz |

**ตาราง2.1** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าFcy,PTER,ความละเอียดและความถี่ของสัญญาณ PWM เมื่ออัตราปรีสเกลเลอร์เป็น 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.14** แสดงกระบวนการเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อกำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PMW ในโมดูล MCPWM

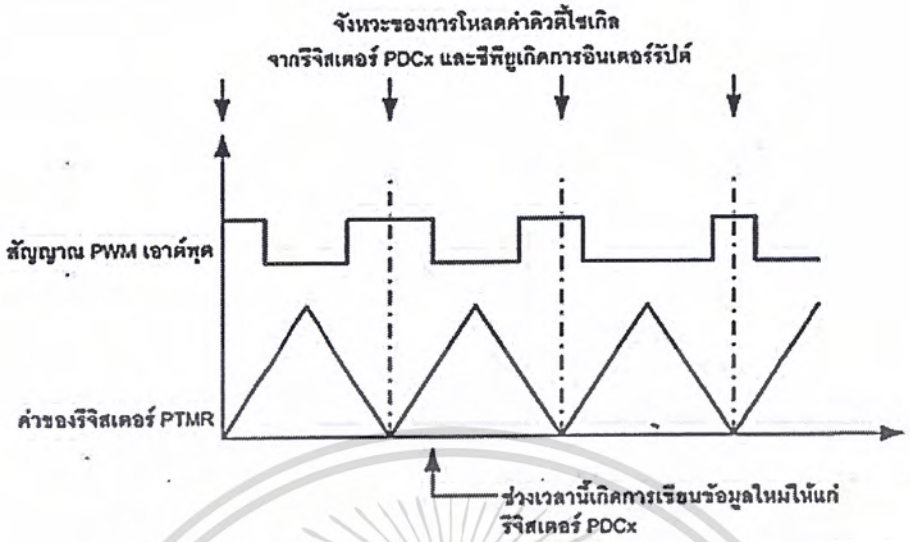
**2.8.6.5 การเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลสัญญาณPWM ของโมดูลMCPWM**

รีจิสเตอร์กำหนดค่าดิวตี้ไซเกิลทั้ง4 ตัว PDC1 ถึงPDC4 ต่างก็มีรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนเมื่อมีการปรับปรุงค่าของสัญญาณ PWM โดยดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณPWM จะถูกปรับปรุงค่าตามข้อมูลที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ PDCx จากนั้นค่ารีจิสเตอร์PDCx จะถูกโหลดไปยังบัฟเฟอร์เพื่อทำการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในรีจิสเตอร์PDCx เรียบร้อย ข้อมูลนั้นจึงถูกส่งไปยังบัฟเฟอร์เพื่อทำงานต่อไป ทำให้ไม่เกิดการติดขัด หรือเกิดความผิดพลาดในขณะเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิล

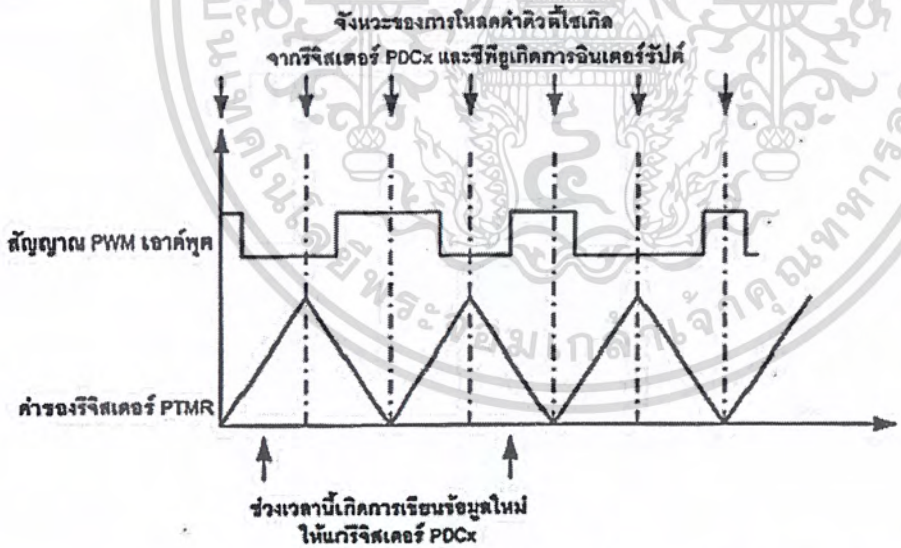
เมื่อฐานเวลาPWM ทำงานในโหมดเปลี่ยนแปลงค่าอิสระ หรือ โหมดทำงานครั้งเดียว (ค่าของ PTMOD1 และ PTMOD0 เท่ากับ “0x”) ค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM จะถูกปรับปรุงเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับ PEMR เท่ากับPTPER และเมื่อรีจิสเตอร์PTMR เกิดการรีเซตเป็นศูนย์

เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง(PTMOD1 และPTMOD0 เท่ากับ “10”) ค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM จะถูกปรับปรุงเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เป็นศูนย์ และฐานเวลา PWM นับค่าขึ้น ในรูปที่2.15 แสดงจังหวะของการเปลี่ยนแปลงค่าดิวตี้ไซเกิลเมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมเวลาแสดงการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลในการกำเนิดสัญญาณ PWM




**รูปที่ 2.16** ไดอะแกรมเวลาแสดงการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิลเมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่องพร้อมปรับปรุงค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่องพร้อมปรับปรุงค่า(ค่าของ PTMOD1 และ PTMOD1 และ PTM0D0 เท่ากับ"11") ค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM จะถูกปรับปรุงเมื่อค่าของรีจิสเตอร์ PTMRเป็นศูนย์ และค่าของรีจิสเตอร์ PTMR เท่ากับค่าในรีจิสเตอร์ PTPER ในรูป 2.16 แสดงจังหวะของการเปลี่ยนแปลงค่าดิวตี้ไซเกิลเมื่อฐานเวลา PWM ทำงานในโหมดนับค่าขึ้นลงอย่างต่อเนื่องพร้อมปรับปรุงค่า

อย่างไรก็ตาม การเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ PCDx จะปรับปรุงค่าดิวตี้ไซเกิลในทันที ถ้าฐานเวลา PWM ถูกดิสเอเบิลอยู่(บิต PTEN เป็น"0") ดังนั้นเมื่อเอ็นเอเบิลให้ส่วนฐานเวลาPWM ทำงานค่าดิวตี้ไซเกิลของสัญญาณ PWM จะถูกเปลี่ยนเป็นค่าใหม่ตามไปด้วย

นอกจากนั้นในโมดูล MCPWM ยังมีความสามารถพิเศษอีกประการหนึ่งคือ การป้องกันการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเกิล ทำได้โดยการเซตบิต UDIS(PWM Update Disable bit) ซึ่งเป็นบิต 2 ของรีจิสเตอร์ PWMCON2 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.เซตบิตUDIS

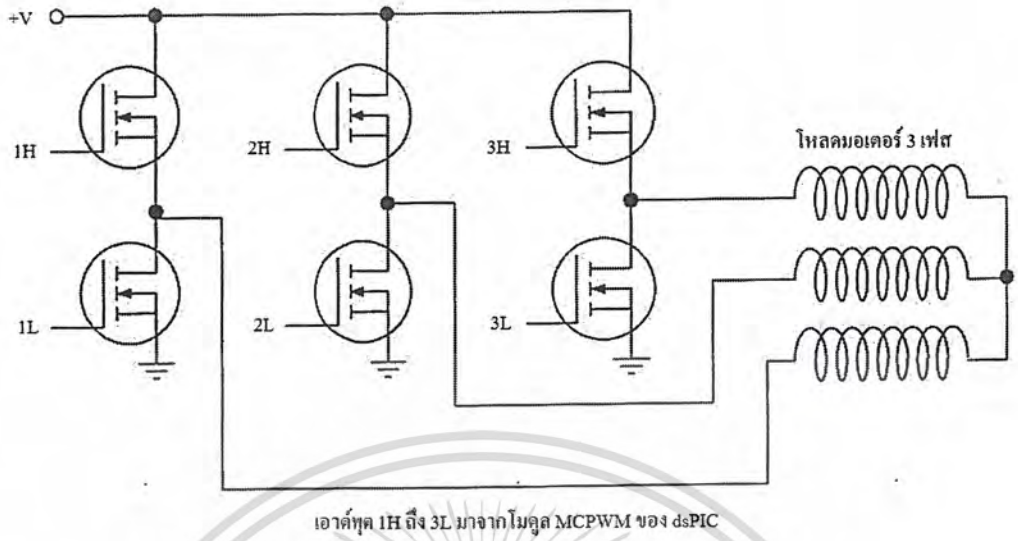
2.เขียนข้อมูลที่ต้องการและค่าดิวตี้ไซเกิลในรีจิสเตอร์PTPERและ PDCx

3.หลังจากนั้นจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าดิวตี้ไซเกิลจนกว่าจะเคลียร์บิต UDIS

**2.8.6.6 การทำงานร่วมกันของส่วนกำเนิดสัญญาณ PWM หรือการทำงานในแบบคอมพลีเมนตารี (Complementary PWM Output Mode)**

การทำงานในลักษณะนี้ของโมดูล MCPWM เหมาะสำหรับนำไปสร้างสัญญาณเพื่อขับโหลดแบบอินเวอร์เตอร์ดังตัวอย่างในรูปที่2.24 ตัวอย่างของโหลดแบบอินเวอร์เตอร์ได้แก่ มอเตอร์อินดักชั่นไฟสลับ3 เฟส(ACIM : AC Induction Motor) และมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน(BLDC:Brushless DC motor)ในการทำงานแบบคอมพลีเมนตารีนี้ วงจรเอาต์พุตของโมดูล PWM ในคู่ที่นำมาใช้งานนั้นไม่สามารถกำหนดให้ทำงานไดพร้อมกัน นั้นคือ เอาร์พุต PWMxH และ PWMMxL ต้องมีสภาวะที่ตรงข้ามกัน ทำให้มอสเฟตที่ต่ออยู่กับขาเอาต์พุตนั้นสลับกันทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.17** วงจรตัวอย่างในการนำขาเอาต์พุตของโมดูล MCPWM ในdsPIC มาทำงานร่วมกันในคอมพลีเมนตารี

**2.8.7.การใช้งาน Timer ในdsPIC30F4011**

**2.8.7. 1 รีจิสเตอร์ในโมดูลไทเมอร์ของ dsPIC30F**

ในโมดูลไทเมอร์ของ dsPIC30F4011 มีรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่สำคัญอยู่ 3 กลุ่ม 8 คือ

**กลุ่มที่ 1 TMRx (16-bit timer count register)** เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์เก็บค่าไทเมอร์ กลุ่มนี้มี 5 ตัวคือ TMR1,TMR2,TMR3,TMR4 และ TMR5

**กลุ่มที่2 PRx(16-bit period register associated with the timer)** เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์คาบเวลาที่สัมพันธ์กับไทเมอร์ มี 5ตัวเช่นกัน PRI ถึง PR5 แยกกันตามไทเมอร์ หลักทั้ง 5 ตัว(ไทเมอร์ 1 ถึง ไทเมอร์ 5)

**กลุ่มที่3 TxCON (16-bit control register associated with the timer)** เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานขอองไทเมอร์ มี 5 ตัวเช่นกัน TICON ถึง T5CON แยกกันตามไทเมอร์หลักทั้ง 5 ตัว สำหรับกลุ่มนี้จะมีความพิเศษตรงที่สามารถแยกย่อยออกไปได้ 3 แบบภายใต้ชื่อรีจิสเตอร์เดียวกัน เนื่องจากไทเมอร์สามารถทำงานได้อีก 3 แบบตามลักษณะของฐานเวลา จึงทำให้รีจิสเตอร์ TxCON สามารถระบุได้เป็น TxCON ในแบบ A , B และ C เวลาเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดค่าให้แก่รีจิสเตอร์ TxCON จะต้องระวังในจุดนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.7.1.1TxCON Type A Time Base Register:**ริจิสเตอร์ควบคุมไทเมอร์ด้วยฐานเวลาแบบ A

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TON | - | TSIDL | - | - | - | - | - |
| R/W -0 | U -0 | R/W -0 | U -0 | U -0 | U -0 | U -0 | U -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| - | TGATE | TCKPS1 | TCKPS0 | - | TSYNC | TCS | - |
| U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 | U -0 |

รูปที่ 2.18 TxCON Type A Time Base Register

**บิต 15- TON(Timer On Control bit): บิตควบคุมการเปิดไทเมอร์ให้ทำงาน**

''0''= หยุดการทำงานของไทเมอร์

''1''=เลือกให้ไทเมอร์เริ่มทำงาน

**บิต 14** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น ''0''

**บิต 13 –TSIDL(Stop in IDLE Model bit) : บิตกำหนดให้ไทเมอร์หยุดทำงานในโหมดไอเดิล**

''0''= ยังคงใช้ไทเมอร์ทำงานต่อไป แม้ว่าซีพียูจะเข้าสู่โหมดไอเดิลก็ตาม

''1'' =หยุดการทำงานของไทเมอร์ทันทีที่ซีพียูเข้าโหมดไอเดิล

**บิต 12 ถึง 7** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น ''0''

**บิต 6 –TGATE(Timer Gated Time Accumulation Enable bit) : บิตเอ็นเอเบิลการเปิดเกตเพื่อรับสัญญาณจากภายนอก**

''0''=ดิสเอเบิลการทำงานแบบนี้

''1''=เอ็นเอเบิลการทำงานแบบนี้

เมื่อเลือกบิตนี้เป็น ''1'' บิต TCS(บิต 1 ของรีจิสเตอร์ TxCON) ต้องกำหนดเป็น ''0''

อ่านค่าบิตนี้เป็น ''0'' ถ้าบิต TCS เป็น "1"

**บิต 5 และ 4 –TCKPS1 และ TCKPSO (Timer Input Clock Prescaleselect bits): บิตเลือกอัตราปรีสเกลเลอร์สัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์**

"00"= เลือกอัตรา 1:1

"01"= เลือกอัตรา 1:8

"10"= เลือกอัตรา 1:64

"11"=เลือกอัตรา 1:256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต 3** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น “0”

**บิต2-TSYNC(Timer External Clock Input Synchronization select bit): บิตเลือกการซิงโครไนซ์ของสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกกับการทำงานของไทเมอร์**

ต้องพิจารณาสถานะของบิต TCS ร่วมด้วย ดังนี้

เมื่อบิต TCS=”0”

บิตนี้ไม่ใช้งาน อ่านค่าได้เป็น “0” เนื่องจากเมื่อบิต TCS เป็น “0” หมายความว่า ไทเมอร์เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาภายในในการกำหนดจังหวะการทำงาน

เมื่อบิต TCS=”1”

“0”=เลือกไม่ต้องซิงโครไนซ์

“1”=เลือกให้เกิดซิงโครไนซ์สัญญาณนาฬิกาภายนอกกับการทำงานของไทเมอร์

**บิต1-TCS(Timer Clock Source Select bit) :บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์**

“0”=เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน ความถี่ FOSC/4

“1”=เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกผ่านทางขา TxCKI บิต 0 ไม่ใช้งานเป็น “0”

### 2.8.7. 1.2 TxCON Type B Time Base Register : รีจิสเตอร์ควบคุมไทเมอร์ด้วยฐานเวลาแบบ B

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TON | - | TSIDL | - | - | - | - | - |
| R/W -0 | U -0 | R/W -0 | U -0 | U -0 | U -0 | U -0 | U -0 |
| **บิต 7** | **บิต 6** | **บิต 5** | **บิต 4** | **บิต 3** | **บิต 2** | **บิต 1** | **บิต 0** |
| - | TGATE | TCKPS1 | TCKPS0 | T32 | - | TCS | - |
| U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | U -0 | R/W -0 | U -0 |

รูปที่ 2.19 TxCON Type B Time Base Register

**บิต 15-TON(Timer On Control bit): บิตควบคุมการเปิดไทเมอร์ให้ทำงาน**

พิจารณาสถานะของบิต T32 ร่วมด้วย ดังนี้

เมื่อบิต T32= “1” เป็นการเลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ 32 บิต

“0”= หยุดการใช้งานคู่รีจิสเตอร์ 32 บิต TMRx และ TMRy

“1”= เริ่มต้นใช้งานคู่รีจิสเตอร์ 32 บิต TMRx และ TMRy

เมื่อบิต T32= “0” เป็นการเลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ 16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"0"= หยุดการทำงานของไทเมอร์ 16 บิต

"1"=เริ่มการทำงานของไทเมอร์ 16 บิต

**บิต 14** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

**บิต 13 – TSIDL (Stop in IDLE Model bit): บิตกำหนดให้ไทเมอร์หยุดทำงานในโหมดไอเดิล**

"0"=ดิสเอเบิลการทำงานนี้

"1"=เอ็นเอเบิลการทำงานนี้

**บิต 12** ถึง 7 ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

**บิต 6-TGATE (Timer Gated Time Accumulation Enable bit): บิตเอ็นเอเบิลการรับสัญญาณเกตจากภายนอก**

"0"=ดิสเอเบิลการทำงานแบบนี้

"1"=เอ็นเอเบิลการทำงานแบบนี้

เมื่อเลือกบิตนี้เป็น"1" บิต TCS ต้องกำหนดเป็น"0"

อ่านค่าได้เป็น "0" ถ้าบิต TCS ต้องกำหนดเป็น"0"

**บิต5 และ4-TCKPS1 และ TCKPS0 (Timer Input Clock Prescale Select bits): บิตเลือกอัตราปรีสเกลเลอร์สัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์**

"00"=เลือกอัตรา 1:1

"01"=เลือกอัตรา 1:8

"10"=เลือกอัตรา 1:64

"11"=เลือกอัตรา 1:256

บิต3-T32(32-bit Timer Mode Select bits): บิตเลือกโหมดไทเมอร์ 32 บิต

"0"=กำหนดให้ไทเมอร์ TMRx และ TMRy แยกการทำงานเป็นไทเมอร์ 16 บิต

"1"=กำหนดให้ไทเมอร์ TMRx และ TMRy แยกการทำงานเป็นไทเมอร์ 32 บิต

บิต 2 ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

บิต 1-TCS (Timer Clock Source Select bit) : บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์

"0"=เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน ความถี่ F/4

"1"=เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกผ่านทางขา TxCKI

บิต 0 ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.7. 1.3 TxCON Type C Time Base Register:รีจิสเตอร์ควบคุมไทเมอร์ด้วยฐานเวลาแบบC**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TON | - | TSIDL | - | - | - | - | - |
| R/W -0 | U -0 | R/W -0 | U -0 | U -0 | U -0 | U -0 | U -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| - | TGATE | TCKPS1 | TCKPS0 | - | - | TCS | - |
| U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | U -0 | U -0 | R/W -0 | U -0 |

**รูปที่ 2.20** TxCON Type C Time Base Register

**บิต 15-TON (Timer on Control bit) : บิตควบคุมการเปิดไทเมอร์ให้ทำงาน**

"0"=หยุดการทำงานของไทเมอร์ 16 บิต

"1"=เริ่มต้นการทำงานของไทเมอร์ 16 บิต

**บิต 14** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น"0"

**บิต 13-TSIDL(Stop in IDLE Mode bit) : บิตกำหนดให้ไทเมอร์หยุดทำงานในโหมดไอเดิล**

"0"=ยังคงให้ไทเมอร์ทำงานต่อไป แม้ว่าซีพียูจะเข้าสู่โหมดไอเดิลก็ตาม

"1"=หยุดการทำงานของไทเมอร์ทันทีที่ซีพียูเข้าโหมดไอเดิล

**บิต 12 ถึง 7** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น"0"

**บิต 6-TGATE (Timer Gated Time Accumulation Enable bit) : บิตเอ็นเอเบิลการรับสัญญาณเกต จากภายนอก**

"0"=ดิสเอเบิลการทำงานแบบนี้

"1"=เอ็นเอเบิลการทำงานแบบนี้

เมื่อเลือกบิตนี้เป็น "1" บิต TCS (บิต 1 ของรีจิสเตอร์ TxCON) ต้องกำหนดเป็น "0"

อ่านค่าบิตนี้เป็น "0" ถ้าบิต TCS เป็น "1"

**บิต 5 และ 4 –TCKPSI และ TCKPS0 (Timer Input Clock Prescale Select bits) :**

**บิตเลือกอัตราปรีสเกลเลอร์สัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์**

"00"=เลือกอัตรา 1:1

"01"=เลือกอัตรา 1:8

"10"=เลือกอัตรา 1:64

"11"=เลือกอัตรา 1:256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต 3 และ 2** ไม่ใช้ กำหนดเป็น “0”

**บิต 1-TCS(Timer Clock Sourse Select bit) : บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์**

“0”=เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน ความถี่ F/4

“1”=เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกผ่านทางขา TxCKI

**บิต 0** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น ”0”

### 2.8.8 การใช้งาน Interrupt ใน dsPIC30F4011

**รีจิสเตอร์ควบคุมและแสดงสถาพการอินเตอร์รัปต์**

ในการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ของ dsPIC30F2010 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 22 ตัว คือ

***INTCON1** และ**INTCON2** เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมหลัก โดยรีจิสเตอร์ INTCON1 ใช้ในการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และใช้แสดงสถานะของการอินเตอร์รัปต์ในขณะที่รีจิสเตอร์ INTCON2ใช้ควบคุมแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกและการจัดการเกี่ยวกับตารางอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์เสริม

***IFSx** เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะแฟลกของการอินเตอร์รัปต์ โดยตัวอักษร x หมายถึง หมายเลขของรีจิสเตอร์ เนื่องจากใน dsPICมีรีจิสเตอร์ FST ทั้งสิ้น 3 ตัวคือ IFS0,IFS1,IFS2เหตุที่ต้องมีมากก็เนื่องจาก dsPIC มีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์มากมายนั้นเอง

***IECx** เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ โดยตัวอักษรx หมายถึง หมายถึงของรีจิสเตอร์ เนื่องจากใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ IEC ทั้งสิ้น3 ตัวคือ IEC0,IEC1,IEC2

***IPCx** เป็นรีจิสเตอร์กำหนดระดับความสำคัญของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ โดยตัวอักษร x หมายถึง หมายเลขของรีจิสเตอร์ เนื่องจากใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ IPC ทั้งสิ้น 12 ตัว คือ IPC0 ถึงIPC11 เพื่อรองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ทั้ง44 แหล่งโดยแต่ละแหล่งสามารถกำหนดระดับความสำคัญได้ 8 ระดับ

***SR** เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะของซีพียู โดยในบางบิตของรีจิสเตอร์ STATUS (บิต5 ถึง 7 ซึ่งก็คือ IPL0 ถึง IPL2) ถูกใช้ในการกำหนดระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์

***CORCON** เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง โดยในบิต 3 ของรีจิสเตอร์ CORCON ซึ่งก็คือบิต3 ถูกใช้ในการแสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.8.1 รีจิสเตอร์STATUS**

จะมีบิตที่เกี่ยวข้อง 3 บิตดังนี้

**บิต 7 ถึง5-IPL2 ถึง IPL0(CPU interrupt Priority Level Status bits)** : บิตแสดงระดับความสำคัญของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์

"000" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 0 หรือ 8

"001" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 1 หรือ 9

"010" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 2 หรือ 10

"011" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ3 หรือ 11

"100" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 4หรือ 12

"101" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 5 หรือ 13

"110" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 6 หรือ 14

"111" = แสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ7 หรือ 15

กลุ่มบิตนี้จะทำงานเชื่อมโยงกับบิต IPL3 ซึ่งเป็นบิต 3 ในรีจิสเตอร์CORCON เพื่อช่วยในการแสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ ทำให้เพิ่มระดับจาก 8 เป็น 16 ระดับ (0-15) นอกจากนั้นการที่บิต IPL3 เป็น "1" เพื่อช่วยเพิ่มระดับความสำคัญของอินเตอร์รัปต์ จะทำให้เกิดการดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ที่ระดับ 0 ถึง 7

นอกจากนั้นข้อมูลในบิต IPL2 – IPL0 นี้จะสามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียวถ้าบิต NSTDIS ซึ่งเป็นบิต 15 ของรีจิสเตอร์ INTCON1 อันเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการอินเตอร์รัปต์ตัวที่ 1 ถูกเซต เป็น"1"

**2.8.8.2 รีจิสเตอร์CORCON**

ในรีจิสเตอร์ตัวนี้บรรจุบิตข้อมูลที่ทำงานร่วมกับการอินเตอร์รัปต์ อยู่1 บิตคือ

**บิต3-IPL3(CPU Interrupt Priority Level Status bit 3 )** : บิตแสดงระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์ บิต 3

"0" = กำหนดระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์มีค่าเท่ากับ 7 หรือต่ำกว่า

"1" = กำหนดระดับระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์มีค่าสูงกว่า 7

บิตนี้ต้องทำงานร่วมกับบิต IPL2 – IPL0 ในรีจิสเตอร์ STATUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.8.3 IFS0 (Interrupt Flag Status Register 0) : รีจิสเตอร์แสดงสถานะอินเตอร์รัปต์ 0**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CNIF | BCLIF | I2CIF | NVMIF | ADIF | U1TXIF | U1RXIF | SPI1IF |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| T3IF | T2IF | OC2IF | IC2IF | T1IF | OC1IF | IC1IF | INT0IF |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.21** IFS0 (Interrupt Flag Status Register 0)

**บิต15 – CNIF (Input Chang Notification Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา CN
เป็น “1” เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต14- BCLIF(I*I*C Bus Collision Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากข้อมูลผิดพลาดในโมดูลระบบบัส I*I*C
เป็น “1” เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต13-12CIF(I*I*C Tranfer Complete Interrupt Flag Status bit ) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รปต์เนื่องจากการถ่ายทอดข้อมูลในโมดูลระบบบัส I*I*C เสร็จสมบูรณ์
เป็น “1” เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต12-NVMIF(Non-Volatile Memory Write Compleate Interrupt Flag Status bit):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมเสร็จสมบูรณ์
เป็น “1” เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต11-ADIF(A/D Conversion Complete Interrupt Flag Status bit):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการแปลงสัญญาณของโมโลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเสร็จสมบูรณ์
เป็น “1” เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต10-U1TXIF( UART Transmitter Interrupt Flag Status bit ):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการส่งข้อมูลของโมดูล URAT
เป็น “1” เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต9-U1RXIF (UART1 Receiver Interrupt Flag Status bits) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์เนื่องจากรับข้อมูลเสร็จสิ้นของโมดูล URAT1
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต8-SPI1IF(SPI1 Interrupt Flag Status bit ) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล SPI
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต7-T3IF (Timer 3 Interrupt Flag Status bit):** บิตแสดงการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 3
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต6-T2IF (Timer 2 Interrupt Flag Status bit):** บิตแสดงการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต5 –OC2IF (Output Compare Channel 2 Interrupt Flag Status bit):**บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง2(OC2)
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต4 –IC2IF (Input Capture Channel 2 Interrupt Flag Status bit):**บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง2(IC2)
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต3-T1IF(Timer 1 Interrupt Flag State bit)** : บิตแสดงการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์1
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต2-OC1IF(Output Compare Channel 1 interrupt Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง1(OC1)
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต1-IC1IF(Output Compare Channel 1 interrupt Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง1(IC1)
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต0INT0IF(External Interrupt 0 Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากสัญญาณภายนอกช่อง0
เป็น "1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.8.4 IFS1 (Interrupt Flag Status Register 1) : รีจิสเตอร์แสดงสถานะอินเตอร์รัปต์1**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IC6IF | IC5IF | IC4IF | IC3IF | C1IF | SPI2IF | U2TXIF | U2RXIF |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| INT2IF | T5IF | T4IF | OC4IF | OC3IF | IC8IF | IC7IF | INT1IF |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.22** IFS1 (Interrupt Flag Status Register 1)

**บิต15-IC6IF (Input Capture Channel 6 Interrupt Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตวจจับสัญญาณช่อง6 (IC6)
เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต14-IC5IF(Input Capture Channel 5 Interrupt Flag State bit):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับช่อง5(IC5)
เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต13-IC4IF(Input Capture Channel 5 Interrupt Flag State bit):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับช่อง4(IC4)
เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต12-IC3IF(Input Capture Channel 6 Interrupt Flag State bit):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับช่อง3(IC3)
เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต11-C1IF(CAN1 Interrupt Flag Status bit) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลCAN1
เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต10-SPI2IF(SPI2 Interrupt Flag Status bit ):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล SPI2
เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิตที่9 –U2TXIF (UART2 Interrupt Flag Status bit ) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากการส่งข้อมูลโมดูลUART2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิตที่8U2RXIF(UART2 Transmitter Interrupt Flag Status bit ) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากรับข้อมูลเสร็จสิ้นของโมดูล UART2

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต7 INT2IF(External Interrupt Flag Status bit ) :** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากนอกช่อง2

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต6-T5IF(Time5 Interrupt Flag Status bits):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 5

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต5-T4IF(Timer4 Interrupt Flag Status bit ):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์4

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต4-OC4IF(Output Compare Channel4 Interrupt Flag Status bit ):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง(OC4)

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต5-T4IF(Timer4 Interrupt Flag Status bit ):**บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์4

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต4-OC4IF(Output Compare Channel 4 Interrupt Status bit ):**บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง4(OC4)

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต3-OC4IF(Output Compare Channel 3 Interrupt Status bit ):**บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง4(OC3)

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์ ไม่มีใช้งานในdsPIC30F2010

**บิต1-IC7IF(Input Capture Channel 7 Interrupt Status bit ):**บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง7(IC7)

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต2-IC8IF(Input Capture Channel 8 Interrupt Status bit ):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง8(IC8)

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

**บิต0-INT1IF(External Interrupt1 Status bit):** บิตแสดงสถานะการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง1

เป็น"1" เพื่อแจ้งการเกิดอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.8.5 IEC0 (Interrupt Enable Control Register 0) :รีจิสเตอร์ควบคุมการเอ็นเอเบิลอินเตอร์รัปต์ 0**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CNIE | BCLIE | I2CIE | NVMIE | ADIE | U1TXIE | U1RXIE | SPI1IE |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| T3IE | T2IE | OC2IE | IC2IE | T1IE | OC1IE | IC1IE | INT0IE |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.23** IEC0 (Interrupt Enable Control Register 0)

**บิต15-CNIE(Input Chang Notification Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการเปลี่ยนแปลงอินพุต
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต14-BCLIE( I*I*C Bus Collision Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการชนกันของข้อมูลในโมดูลระบบบัส I*I*C
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต13-12 CIE(I*I*C Transfer Complete Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการถ่ายทอดข้อมูลสมบูรณ์ของโมดูลระบบบัส I*I*C
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต 12 –NVMIE(Non-Volatile Memory Write Complete Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการเขียนข้อมูลใหม่หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมเสร็จสมบูรณ์
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต11-ADIE A/D Conversion Complete Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการแปลงสัญญาณในโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเสร็จสมบูรณ์
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต9 –U1RXIE (UART Receiver Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการรับข้อมูลในโมดูลUART
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต8 –SPI1IE(SPI1 Interrupt Enable bit):** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล SPI
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต7 –T3IE(Timer 3 Interrupt Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์3
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต6–T2IE(Timer 2Interrupt Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์2
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต5 –OC2IE(Output Compare Channel 2 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง2(OC2)
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต4 –IC2IE(Iutput Capture Channel 2 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง2(IC2)
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต3 –TI1IE(Timer 1 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์1
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต2-OC1IE(Output Compare Channel 1Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง1(OC1)
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต1-ICI1IE(Input Capture Channel 1Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง1(IC1)
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต0 –INT0IE(External Interrupt 0 Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0(INT0)
เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.8.6 IEC1 (Interrupt Enable Control Register 1 ) : รีจิสเตอร์ควบคุมการเอ็นเอเบิลอินเตอร์รัปต์1**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IC6IE | IC5IE | IC4IE | IC3IE | C1IE | SPI2IE | U2TXIE | U2RXIE |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| INT2IE | T5IE | T4IE | OC4IE | OC3IE | IC8IE | IC7IE | INT1IE |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.24** IEC1 (Interrupt Enable Control Register 1 )

**บิต15-IC6IE(Input Capture Channel 6 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง6 (IC6)
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต14-IC5IE(Input Capture Channel 5 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง5 (IC5)
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต13-IC4IE(Input Capture Channel 4 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง4 (IC4)
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต12-IC3IE(Input Capture Channel 3 Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง3 (IC3)
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต11 –C1IE(CAN1(Combine)Interrupt Enable bit ) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล CAN1
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต10-SPI2IE(SPI2 Interrupt Enable bits) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูล SPI2
เซตเป็น "1" เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต9 –U2TXIE (UART2 Transmitter Interrupt Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการส่งข้อมูลของโมดูล UART 2

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต8 –U2TXIE (UART2 Receiver Interrupt Enable bit) :**บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากการรับข้อมูลของโมดูล UART 2

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต7-INT2IE(External Interrupt Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 2(INT2)

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต6-T5IE(Timer5 Interrupt Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์5

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต5-T4IE(Timer5 Interrupt Enable bit) :** บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์4

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต4-OC4IE(Output Compare Channel 4 Interrupt Enable bit) :**บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง4(OC4)

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต3-OC3IE(Output Compare Channel 3 Interrupt Enable bit) :**บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลเปรียบเทียบข้อมูลช่อง3(OC3)

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต2-IC8IE(Input Capture Channel 3 Interrupt Enable bit) :**บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง8(IC8)

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต1-IC7IE(Input Capture Channel 7 Interrupt Enable bit) :**บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากโมดูลตรวจจับสัญญาณอินพุตช่อง7(IC7)

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

**บิต0 –INT1IE(External Interrupt 1 Enable bit ) :** 1บิตเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 (INT1)

เซตเป็น “1” เพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.9 การใช้งาน ADC ในdsPIC30F4011**

ในบทนี้นำเสนอตัวอย่างการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อทดลองใช้งานโมดูแปลงสัญญาณ อะนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ซึ่งบรรจุโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 10 บิตจำนวน 6 ช่อง ที่ความละเอียดของการแปลงข้อมูล 10 บิต ทำให้ได้ข้อมูลดิจิตอลมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1,023 (1,024 ค่า)

**2.8.9.1 คุณสมบัติโดยสรุปของโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจตอล**

-เป็นโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง

-ใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบประมาณค่าหรือซักเซสซีฟ แอ๊ปพร๊อกซิเมชั่น (Successive Approximation)

-มีอัตราเร็วในสัญญาณสูงสุด 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที (ksps) หรือ 500,000 จุดตัวอย่างต่อวินาที

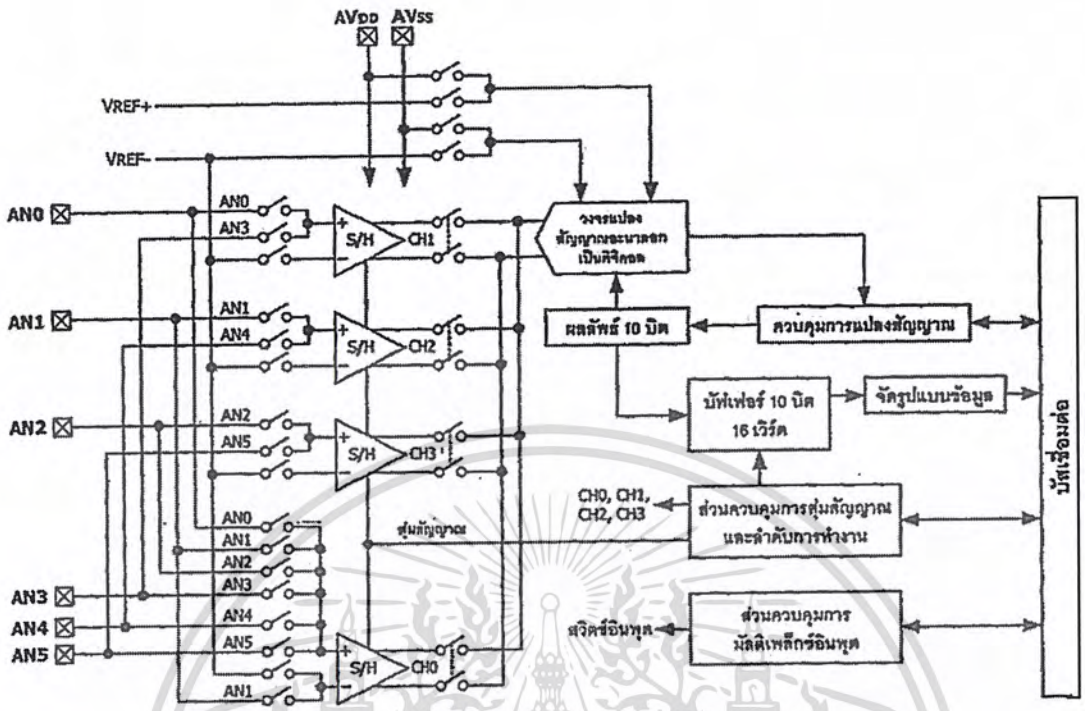
-สามารถกำหนดให้ทำงานได้ขณะเข้าสู่โหมดสลีป(Sleep mode)

-สามารถกำหนดระดับแรงดันอ้างอิงได้ทั้งจากภายในผ่านทางขา AVDD กับ AVSS และภายนอกผ่านทางขา VREF+ และ VREF-

**2.8.9.2 การทำงานเบื้องต้นของโมดูล ADC ใน dsPIC30F4011**

ในรูปที่ 2.44 เป็นไดอะแกรมการทำงานของโมดูล ADC ใน dsPIC30F4011 ซึ่งมีขาพอร์ดอินพุตอะนาลอกทั้งสิ้น 6 ขา คือ ANO-AN5 โดยมีขา 2 ขาที่สามารถใช้รับแรงดันอ้างอิงเพื่อขยายย่านของแรงดันอินพุต ภายในโมดูลมีวงจรสุ่มและเก็บค่าสัญญาณ(Sample and Hold:S/H) จำนวน 4 ชุด โดยทำงานร่วมกับส่วนควบคุทการมัลติเพล็กซ์สัญญาณอินพุต ทำให้สามารถจัดสรรวงจร S/H ให้สามารถรองรับสัญญาณอินพุตอะนาลอกทั้ง 6 ช่องได้ด้วยความเร็วสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.25** ไดอะแกรมการทำงานอย่างง่ายของโมดูล ADC ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

สัญญาณที่ผ่านจากวงจร S&H จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลแบบซักเซสซีฟ แอ็ปพร๊อกซิเมชั่น ขนาด 10 บิต ข้อมูลที่ได้จากการแปลงจะถูกพักไว้ในหน่วยความจำแรม จากนั้นจะได้รับการจัดรูปแบบตามที่ผู้พัฒนาโปรแกรมกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 8-2 จากนั้นข้อมูลจะถูกถ่ายทอดลงบนบัสข้อมูลเพื่อส่งไปยังซีพียูต่อไป

อีกองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้โมดูล ADC สามารถแปลงสัญญาณได้อย่างรวดเร็วคือ ภายโมดูล ADC มีบัฟเฟอร์ความจุ 16 เวิร์ด นั่นคือ สามารถรองรับข้อมูลที่ได้สูงสุด 16 ชุดข้อมูล ดังนั้นเมื่อแปลงสัญญาณครั้งหนึ่งก็นำมาเก็บไว้ที่บัฟเฟอร์ หากบัฟเฟอร์ยังไม่เต็มก็สามารถกลับไปแปลงสัญญาณต่อไปทันที โดยไม่ต้องรอให้การถ่ายทอดข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าการแปลงเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.9.3 รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในโมดูล ADC

#### 2.8.9.3.1 ADCON1 (A/D Control Register 1) : รีจิสเตอร์ควบคุมโมดูล ADC ตัวที่ 1

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ADON | - | ADSIDL | - | - | - | FORM1 | FORM0 |
| R/W -0 | U -0 | R/W -0 | U -0 | U -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| SSRC2 | SSRC1 | SSRC0 | - | SIMSAM | ASAM | SAMP | DONE |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/C -0 |

**รูปที่ 2.26** ADCON1 (A/D Control Register 1)

**บิต 15 –ADON (A/D Operating Mode bit) : บิตเลือกให้ดูล ADC ทำงาน**

"1"=เลือกให้โมดูล ADC ทำงาน

"0"=ปิดการทำงานของโมดูล ADC

**บิต 14** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

**บิต 13 –ADSIDL(Stop in IDLE Mode bit) : : บิตกำหนดให้โมดูล ADC หยุดทำงานในโหมดไอเดิล**

"0"=ยังคงให้โมดูล ADC ทำงานต่อไป แม้ว่าซีพียูจะเข้าสู่โหมดไอเดิลก็ตาม

"1"=หยุดการทำงานของโมดูล ADC ทันทีที่ซีพียูเข้าสู่"โหมดไอดิล

**บิต12 ถึง 10 ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"**

**บิต 9 และ 8-FORM1 และ FORM0(DATA Output Format bits) : บิตเลือกรูปแบบข้อมูลเอาต์พุต**

**บิต 7 ถึง 5-SSRC2 ถึง SSRC0 (Conversion Trigger Source Select bits) : บิตเลือกแหล่งสัญญาณกระตุ้นให้โมดูล ADC แปลงสัญญาณ**

"000"=เลือกให้กระตุ้นเมื่อเกิดการเคลียร์บิต SAMP

"001"=เลือกให้กระตุ้นเมื่อเกิดการเปี่ยนแปลงสัญญาณที่ขา INT0

"010"=เลือกให้กระตุ้นเมื่อการเปรียบเทียบข้อมูลในไทเมอร์ 3 เสร็จสิ้น

"011"=เลือกให้กระตุ้นเมื่อเสร็จสิ้นการสุ่มสัญญาณจากโมดูล PWM ควบคุมมอเตอร์

"100"=สำรองไว้

"101"=สำรองไว้

"110"=สำรองไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"111"=เลือกให้กระตุ้นเมื่อตัวนับค่าภายในเสร็จสิ้นการสุ่มสัญญาณ และเริ่มต้นการแปลงสัญญาณ เป็นการกำหนดให้สัญญาณโดยอัตโนมัติ

**บิต 4** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

**บิต 3 –SIMSAM (Simultaneous Sample Select bit) : บิตเลือกการสุ่มสัญญาณแบบบันทึกทันทีทันใดจะใช้ก็ต่อเมื่อบิต CHPS="01","10" หรือ "11"**

"0"=สุ่มสัญญาณเรียงลำดับตามหมายเลขช่องสัญญาณ

**ถ้าบิต CHPS="10" หรือ "11"**

"1"=เลือกสุ่มสัญญาณจากวงจร S&H ช่อง CHO,CH1,CH2,CH3 ทันทีทันใด

**ถ้าบิต CHPS="01"**

"1"=ล็อกสุ่มสัญญาณจากวงจร S&H ช่อง CHO,CH1,CH2,CH3 ทันทีทันใด

**บิต 2-ASAM (A/D Sample Auto-start bit) :บิตกำหนดการเริ่มต้นสุ่มสัญญาณอัตโนมัติ**

"0"=เริ่มสุ่มสัญญาณเมื่อบิต SAMP ถูกเซตเป็น "1"

"1"=เริ่มสุ่มสัญญาณทันทีที่การเปลี่ยนแปลงสัญญาณครั้งล่าสุดเสร็จสิ้นลง ทำให้บิต SAMP เซตอัตโนมัติ

**บิต 1-SAMP (A/D Sample Enable bit) :บิตเอ็นเอเบิลการสุ่มสัญญาณของโมดูล ADC**

"0"=เลือกให้พักการทำงานของวงจร S/H หรือดิสเอเบิลการสุ่มสัญญาณ

"1"=เลือกให้วงจร S/H อย่างน้อยหนึ่งวงจรทำการสุ่มสัญญาณหรือเอ็นเอเบิลให้เกิดการสุ่มสัญญาณ

-เมื่อบิต ASAM ="0" การเขียนข้อมูล "1" มาที่บิตนี้จะเป็นการกระตุ้นให้เริ่มสุ่มสัญญาณ

-เมื่อบิต SSRC="000" การเขียนข้อมูล "0" มาที่บิตนี้เป็นการกำหนดให้หยุดสุ่มสัญญาณแล้วเริ่มต้นกระบวนการแปลงสัญญาณ

**บิต 0-DONE(A/D Conversion Status bit): บิตแสดงสถานะการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล**

"0"=การแปลงสัญญาณยังไม่เสร็จสิ้น

"1"=การแปรงสัญญาณเสร็จสิ้น

บิตนี้สามารถเคลียรได้กระบวนการทางซอฟต์แวร์หรือเมื่อเริ่มต้นการแปลงสัญญาณในรอบใหม่ นอกจากนั้นการเคลียร์บิตนี้จะไม่กะทบต่อการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.9.3.2ADCON2 (A/D Control Register 2):รีจิสเตอร์ควบคุมโมดูล ADC ตัวที่2

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| VCFG2 | VCFG1 | VCFG0 | - | - | CSCNA | CHPS1 | CHPS0 |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | U -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| BUFS | - | SMPI3 | SMPI2 | SMPI1 | SMPI0 | BUFM | ALTS |
| R/W -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.27** ADCON2 (A/D Control Register 2)

**บิต 15 ถึง 13 –VCFG2 ถึง VCFG0(VoltageReference Configuration bits):บิตกำหนดแรงดันอ้างอิงสำหรับใช้งานในโมดูล**

| ค่าข้อมูล | แรงดันอ้างอิงด้านสูง V | แรงดันอ้างอิงด้านต่ำ V |
|---|---|---|
| “000” | จากขาAVDD(ปกติมีค่า +5V) | จากขา AVSS(ปกติต่อลงกราวด์) |
| “001” | จากภายนอกผ่านขา VREF+ | จากขา AVSS(ปกติต่อลงกราวด์) |
| “010” | จากขาAVDD (ปกติมีค่า+5V) | จากภายนอกผ่านขา VREF- |
| “011” | จากภายนอกผ่านขา VREF+ | จากภายนอกผ่านขา VREF- |
| “1xx” | จากขา AVDD(ปกติมีค่า +5V) | จากขา AVSS(ปกติต่อลงกราวด์) |

**บิต 12 และ 11** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น “0”

**บิต 10-CSCNA (Scan Input Selection for CHO+ S/H Input for MUX A Input Multiplexer Setting bit) : บิตเลือกการสแกนช่องสัญญาณของวงจร S/H ผ่านมัลติเพล็กเซอร์ A**

“0”=ไม่มีการสแกนอินพุต

“1”=กำหนดให้สแกนอินพุต

**บิต 9และ8 –CHPS1 และ CHPS0(Select channels Utilized bits) : บิตเลือกกลุ่มของช่องสัญญาณผ่านทางวงจร S/H**

“00”=ต้องการแปลงวงจร S/H ช่องCHO

“01”=ต้องการแปลงวงจร S/H ช่องCHOและ CH1

“1x”=ต้องการแปลงวงจร S/H ช่อง CHO,CH1,CH2 และ CH3

เมื่อบิต SIMSAM(บิต 3 ในรีจิสเตอร์ ADCON1)=”0” จะมีการสุ่มสัญญาณจากทุกช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อบิต SMSAM =”1” การเลือกช่องสัญญาณจะกระทำผ่านบิต CHPS1 และ CHPSO.

**บิต 7-BUFS (Buffer Fuill Status bit) : บิตแสดงสถานะบัฟเฟอร์**

จะมีการแสดงผลเกิดขึ้นเมื่อบิต BUFM ถูกเซตเป็น “1” (รีจิสเตอร์ ADRES แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนละ 8 เวิร์ด)

“0”=แจ้งว่า ขณะนี้โมดูล ADC กำลังเขียนข้อมูลลงในบัฟเฟอร์ที่ตำแหน่ง 0x0-0x7 ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถเข้าถึงข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่ตำแหน่ง 0x8-0xF ได้

“1”=แจ้งว่า ขณะนี้โมดูล ADC กำลังเขียนข้อมูลลงในบัฟเฟอร์ที่ตำแหน่ง 0x8-0xF ผู้พัฒนาโปรแกรมสามารถเข้าถึงข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่ตำแหน่ง 0x0-0x7 ได้

**บิต 6** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น “0”

**บิต 5 ถึง 2-SMPI3 ถึง SMPI0 (Sample/Convert Sequence per Interrupt Selection bits)** : บิตเลือกการเกิด อินเตอร์รัปต์ในกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณในโมดูล **ADC**

“0000”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0001”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ2 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0010”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ3 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0011”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ4 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0100”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ5 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0101”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ6 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0110”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ7 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“0111”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ8 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

“1000”=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ9 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"1001"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ10 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

"1010"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ11 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

"1011"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ12 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

"1100"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ13 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

"1101"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ14 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

"1110"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ15 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

"1111"=เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นทุกลำดับ16 ของกระบวนการสุ่มและแปลงสัญญาณ

**บิต1-BUFM (Buffer Mode select bit) : บิตเลือกโหมดของบัฟเฟอร์**

"0"=กำหนดให้บัฟเฟอร์มีความจุ 16 เวิร์ด มีชื่อเป็น ADCBUF0 ถึง ADCBUF15

"1"=แบ่งบัฟเฟอร์เป็น 2 ส่วน ส่วนละ 8 เวิร์ด คือ รีจิสเตอร์ ADCBUF8 ถึง 15 และรีจิสเตอร์ ADCBUF7 ถึง ADCBUF0

**บิต0-ALTS(Alternate Input Sample Mode Select bit): บิตเลือกโหมดการทำงานของอินพุต มัลติเพล็กเซอร์**

"1"=เลือกใช้อินพุต A สำหรับการสุ่มสัญญาณครั้งแรก

"0"=เลือกใช้อินพุต A ตลอดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.9.3.3 ADCON3(A/D Control Register 3) : รีจิสเตอร์ควบคุมโมดูลADC ตัวที่ 3

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | - | - | SAMC4 | SAMC3 | SAMC2 | SAMC1 | SAMC0 |
| U -0 | U -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| ADRC | - | ADCS5 | ADCS4 | ADCS3 | ADCS2 | ADCS1 | ADCS0 |
| R/W -0 | U -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

รูปที่ 2.28 ADCON3(A/D Control Register 3)

**บิต 15 ถึง 13** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

**บิต 12 ถึง 8-SAMC4 ถึง SAMC0 (Auto-Sample Time bits): บิตเลือกค่าเวลาในการสุ่มสัญญาณอัตโนมัติ**

"00000"=0T (กำหนดได้ในกรณีที่เลือกใช้วงจร S/H มากกว่าหนึ่งวงจร)

"00001"=1T

"00010"=2T

.....

"11111"=31T

**บิต7-ADRC (A/D Conversion Clock Source bit): บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณ**

"0"=ใช้จากสัญญาณนาฬิกาหลักของระบบ

"1"=ใช้จากวงจร RC ภายในโมดูล ADC

**บิต 6** ไม่ใช้งาน กำหนดเป็น "0"

**บิต 5 ถึง 0-ADCS5 ถึง ADCS0 (A/D Conversion Clock Select bits) : บิตเลือกค่าเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ**

"000000"=0.5T * (000000+1)= 0.5T

"000001"=0.5T * (000001 + 1)= T

.....

"111111" = 0.5T * (111111 + 1) = 32 * T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.9.3.4 ADCHS (A/D Input Select Register) : รีจิสเตอร์เลือกช่องของวงจร S/H ที่ต่อกับขาพอร์ตอินพุตอะนาลอกที่ต้องการแปลงสัญญาณ**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CH123NB1 | CH123NB0 | CH123SB | CH0NB | CH0SB3 | CH0SB2 | CH0SB1 | CH0SB0 |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| CH123NA1 | CH123NA0 | CH123SA | CH0NA | CH0SA3 | CH0SA2 | CH0SA1 | CH0SA0 |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.29** ADCHS (A/D Input Select Register)

**บิต 15 และ 14-CH123NB1 และ CH123NB0 (Channel 1,2,3 Negative Input Select for MUX B Multiplexer Setting bits) : บิตเลือกช่องอินพุตลบของวงจร S&H ช่อง CH1,CH2 และ CH3 สำหรับมัลติเพล็กเซอร์ B**

"11"=อินพุตลบของ CH1 ต่อกับอินพุต AN9, อินพุตลบของ CH2 ต่อกับอินพุต AN10,อินพุตลบของ CH3 ต่อกับอินพุต AN11

"10"=อินพุตลบของ CHI ต่อกับอินพุต AN6, อินพุตลบของ CH2 ต่อกับอินพุต AN7,อินพุตลบของ CH3 ต่อกับอินพุต AN8

"00"และ"01"= อินพุตลบของ CH1,CH2 และ CH3 ต่อกับ VREF-

**บิต 13- CH123SB (Channel 1,2,3 Positive Input Select for MUX B Multiplexer Setting bit) :บิตเลือกช่องอินพุตลบของวงจร S&H ช่อง CHO สำหรับมัลติเพล็กเซอร์ B**

"0"=CH1 positive input is AN3,CH2 positive input is AN4,CH3 positive input is AN5

"1"=อินพุตบวกของ CH1 ต่อกับอินพุต AN0,อินพุตบวกของ CH2 ต่อกับอินพุต AN1,อินพุตบวกของ CH3 ต่อกับอินพุต AN2

**บิต 12- CH0NB (Channel 0 Negaitive Input Select for MUX B Multiplexer Setting bit) :บิตเลือกช่องอินพุตลบของวงจร S&H ช่อง CHO สำหรับมัลติเพล็กเซอร์ B**

"0"=อินพุตลบของ CHO ต่อกับ VREF-

"1"=อินพุตลบของ CH0 ต่อกับ AN1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**บิต 11 ถึง 8 CH0SB3 ถึง CH0SB0 (Channel 0 Positive Input Select for MUX Multiplexer Setting bit) : บิตเลือกช่องอินพุตลบของวงจร S&H ช่อง CH0 สำหรับมัลติเพล็กเซอร์ B**

"0000"=อินพุตบวกของ CHO ต่อกับขา ANO

"0001"=อินพุตบวกของ CH0 ต่อกับขา AN1

.....

"1110"=อินพุตบวกของ CH0 ต่อกับขา AN14

"1111"=อินพุตบวกของ CH0 ต่อกับขา AN15

**หมายเหตุ** ส่วนอินพุตมัลติเพล็กเซอร์สามารถกำหนดการทำงานทางอินพุตได้ 2 รูปแบบ คือ มัลติเพล็กเซอร์ A (MUXA) และมัลติเพล็กเซอร์ B(MUXB) โดยบิต 15 ถึง 8 ของรีจิสเตอร์ ADCHS ใช้ตั้งค่าสำหรับ MUXB ส่วนบิต 7 ถึง 0 ของรีจิสเตอร์ ADCHS ใช้ตั้งค่าสำหรับ MUX A

**2.8.9.3.5 ADPCFG (A/D Port Configuration Register) : รีจิสเตอร์กำหนดค่าทางเดินฮาร์ดแวร์ของพอร์ตอินพุตอะนาลอก**

| บิต 15 | บิต 14 | บิต 13 | บิต 12 | บิต 11 | บิต 10 | บิต 9 | บิต 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PCFG15 | PCFG14 | PCFG13 | PCFG12 | PCFG11 | PCFG10 | PCFG9 | PCFG8 |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |
| บิต 7 | บิต 6 | บิต 5 | บิต 4 | บิต 3 | บิต 2 | บิต 1 | บิต 0 |
| PCFG7 | PCFG6 | PCFG5 | PCFG4 | PCFG3 | PCFG2 | PCFG1 | PCFG0 |
| R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 | R/W -0 |

**รูปที่ 2.30** ADPCFG (A/D Port Configuration Register)

รีจิสเตอร์ตัวนี้สามารถรองรับการกำหนดค่าของพอร์ตอะนาลอกได้ครบทั้ง 16 ช่อง (กรณี ใช้ dsPIC เบอร์ใหญ่ที่มีอินพุตอะนาลอกครบ 16 ช่อง) โดยการกำหนดนี้จะอย่างกันอย่างอิสระ เริ่มจากบิต 15 (PCFG15) สำหรับกำหนดค่าของอินพุต AN15 ไล่ไปตามลำดับจนถึงบิต 0(PCFG0) สำหรับกำหนดค่าของอินพุต AN0 สำหรับ dsPIC30F4011 มี 6 ช่อง จึงใช้งานเพียง 6 บิตคือ PCFG0-PCFG5

"0"= กำหนดให้อินพุตอะนาลอกทำงานในโหมดอะนาลอก

"1"= กำหนดให้อินพุตอะนาลอกทำงานในโหมดดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8.9.4 บัฟเฟอร์เก็บผลลัพธ์จากการแปลงสัญญาณของโมดูล ADC**

มีชื่อเรียกว่า ADCBUF เป็นหน่อยความจำแรมขนาด 16 บิต มีทั้งสิ้น 16 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นบัฟเฟอร์ 16 เวิร์ด จึงสามารถกำหนดชื่อเรียกได้เป็น

ADCBUFO,ADCBUF1,ADCBUF2,...,ADCBUFF

ADCBUFF ใช้สำหรับเก็บค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลชั่วคราว ก่อนที่จะส่งต่อไปจัดรูปแบบข้อมูล แล้วถ่ายทอดต่อไปยังบัสของระบบต่อไป

**2.8.9.5 การกำหนดค่าเพื่อใช้งานโมดูล ADC**

มีขั้นตอนโดยสรุปดังนี้

**-การตั้งค่าของโมดูล ADC**

1 เลือกขาพอร์ตให้ทำงานเป็นอินพุตอะนาลอกที่รีจิสเตอร์ ADPCFG

2 เลือกแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงให้เหมาะสมกับย่านแรงดันอะนาลอกทางอินพุตที่บิต 15 ถึง 13 ของรีจิสเตอร์ ADCO2

3 เลือกสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณที่บิต 5 ถึง 0 ของรีจีสเตอร์ ADCON3

4 กำหนดจำนวนช่องของวงจร S/H ที่ต้องใช้ที่บิต 9 และ 8 ของรีจิสเตอร์ ADCON2 และรีจิสเตอร์ ADPCFG

5 กำหนดวิธีการสุ่มสัญญาณที่มี 3 บิต ของรีจิสเตอร์ ADCON1 และรีจิสเตอร์ ADCSSL

6 กำหนดจำนวณอินพุตที่ต้องทำงานร่วมกับวงจร S/H ที่รีจิสเตอร์ ADCHS

7 เลือกลำดับการสุ่มและแปลงสัญญาณที่บิต 7 ถึง 0 ของรีจิสเตอร์ ADCON1 และ บิต 12 ถึง 8 ของรีจิสเตอร์ ADCON3

8 เลือกรูปแบบของผลลัพธ์ที่ต้องการที่บิต 9 และ 8 ของรีจิสเตอร์ ADCON1

9 เลือกการอินเตอร์รัปต์ที่บิต 9 ถึง 5 ของรีจิสเตอร์ ADCON2

10 เปิดการทำงานของโมดูล ADC ที่บิต 15 ของรีจิสเตอร์ ADCON1

**-การกำหนดการอินเตอร์รัปต์ (ถ้าต้องการ)**

1 เคลียร์บิต ADIF

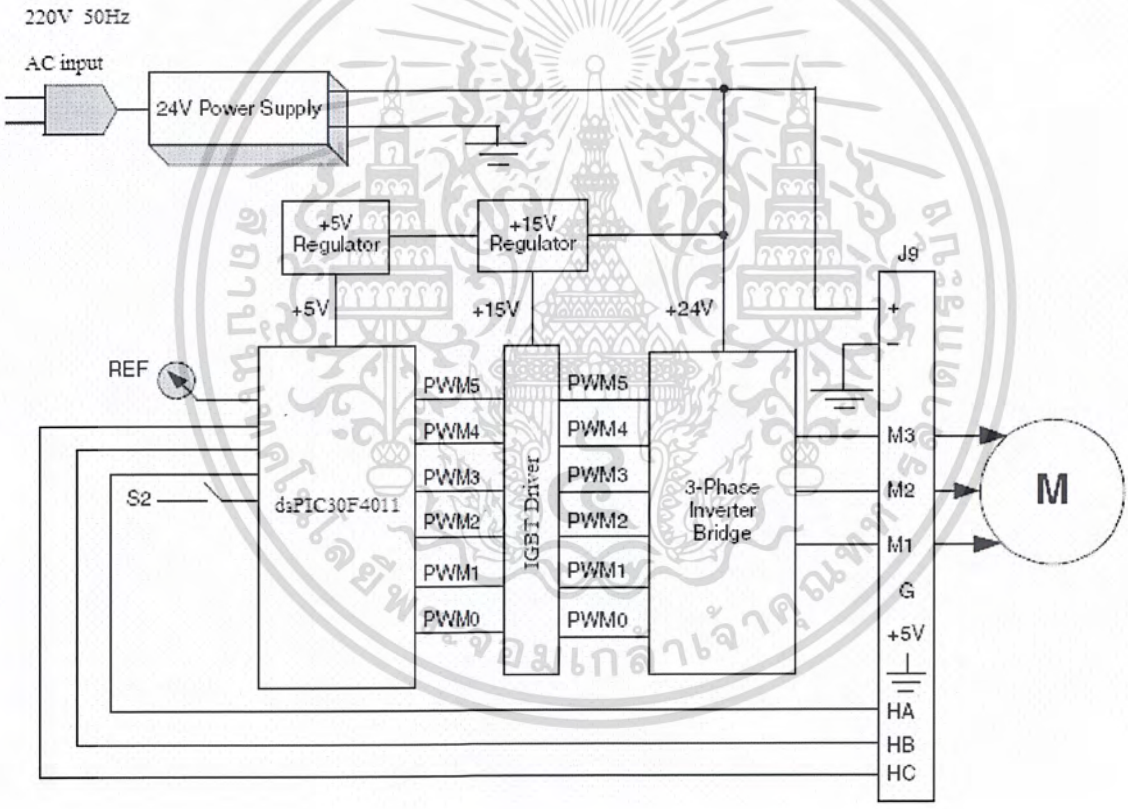
2 เลือกระดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# หลักการออกแบบ

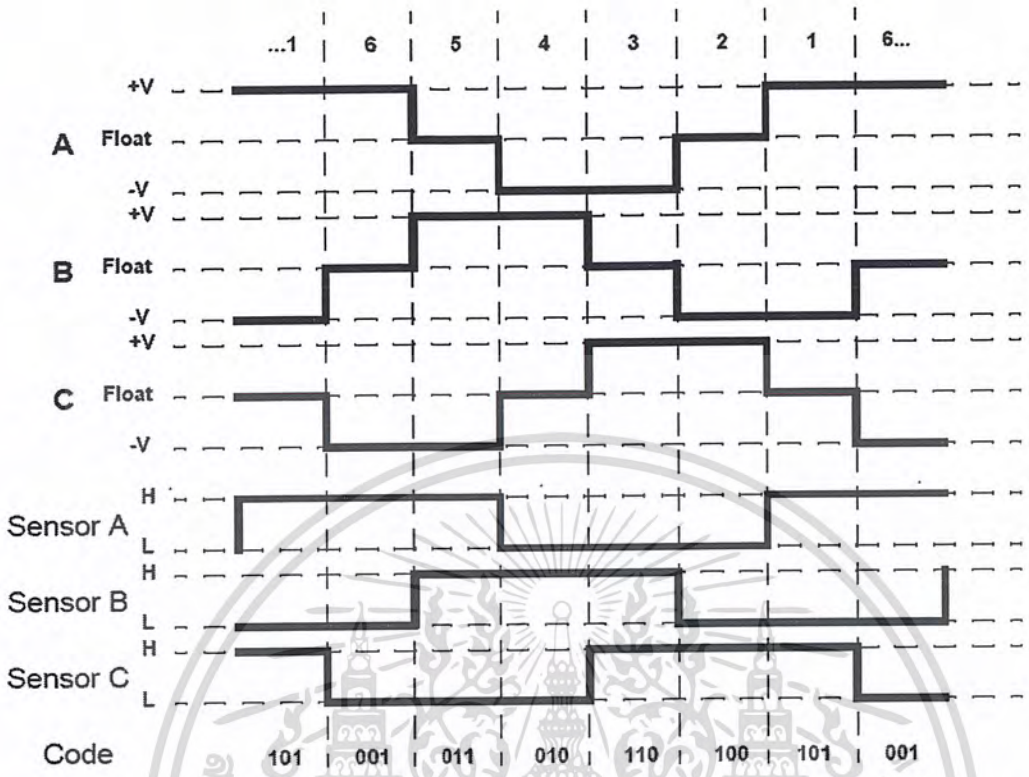
## 3.1 วงจรและการขับมอเตอร์ชนิดไร้แปรงถ่าน

จากรูปที่ 3.1 เป็น Block Diagram ของวงจรที่ใช้ในโครงงานนี้ โดยประกอบไปด้วย dsPIC30F4011ทำหน้าที่เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ , Regulator แปลงจาก24Vเป็น15Vและ5V , IGBT Driverโดยเลือกใช้เบอร์ IR2101 , 3-Phase Inverter Bridge ซึ่งหลักการทำงานของวงจรจะอธิบายในหน้าถัดไป




**รูปที่ 3.1** Block Diagram

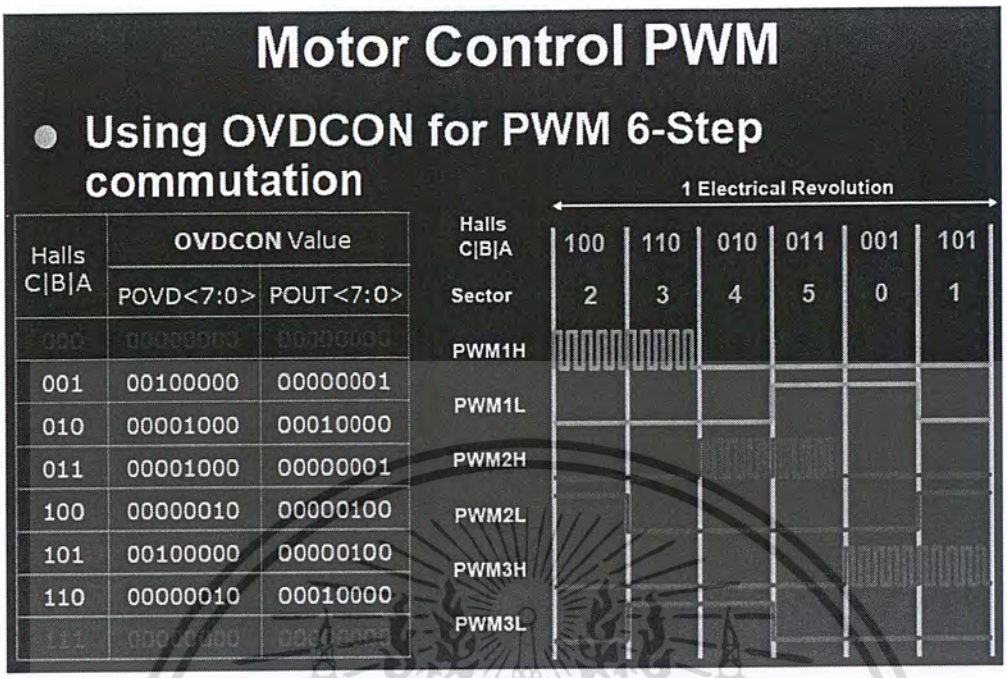
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 3.2** Timing diagram ระหว่างHALL SENSOR SIGNAL และPHASE CURRENT

การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน หลังจากที่รับสัญญาณมาจาก Hall Sensor ทั้ง 3ตัวอ่านตำแหน่งของPoleจากโรเตอร์มาแล้วจะส่งค่าให้ dsPIC30F4011 เพื่อกำหนดทิศทางการจ่ายโวลต์ให้แก่แต่ละเฟสของมอเตอร์โดยจะจ่ายเป็น+DCและ-DCส่วนเฟสที่เหลือจะไม่มีไฟเข้า ซึ่ง step การจ่ายไฟจะเป็นไปตามรูปที่ 3.2 โดยขึ้นกับค่าของ Hall Sensor ทั้ง3ตัวในมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านและ dsPIC30F4011จะส่งสัญญาณ PWM ออกไปให้ IGBT Driver ซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของ IGBT ทั้ง 6 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เป็นPower Switches เพื่อที่จะกำหนดการจ่ายโวลต์ ให้แก่เฟสใดๆในมอเตอร์เช่นจ่าย +DCให้กับเฟส A และจ่าย –DC ให้กับ เฟส C เมื่อจ่ายแรงดันเข้าไปในขดลวดจะทำให้เกิดความต่างศักดิ์ขึ้นระหว่างเฟสAกับเฟสCโดยกระแสจะวิ่งจากศักย์สูง (+DC) ไป ศักย์ต่ำ (–DC) ซึ่งก็คือวิ่งจากเฟส Aไป เฟสC โดยจะทำการจ่ายแรงดันเรียงไปตามรูปที่ 4 จนครบ 6 step มอเตอร์ก็จะหมุนครบ1รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่3.3** แสดงการทำงานของรีจิสเตอร์ OVDCON

```
unsigned int StateLoTable[] = {0x0000,  /* all PWM OFF */
                               0x2001,  /* PWM1L -> 1, PWM3H -> PWM*/
                               0x0810,  /* PWM3L -> 1, PWM2H -> PWM*/
                               0x0801,  /* PWM1L -> 1, PWM2H -> PWM*/
                               0x0204,  /* PWM2L -> 1, PWM1H -> PWM*/
                               0x2004,  /* PWM2L -> 1, PWM3H -> PWM*/
                               0x0210,  /* PWM3L -> 1, PWM1H -> PWM*/
                               0x0000}; /* all PWM OFF */
```

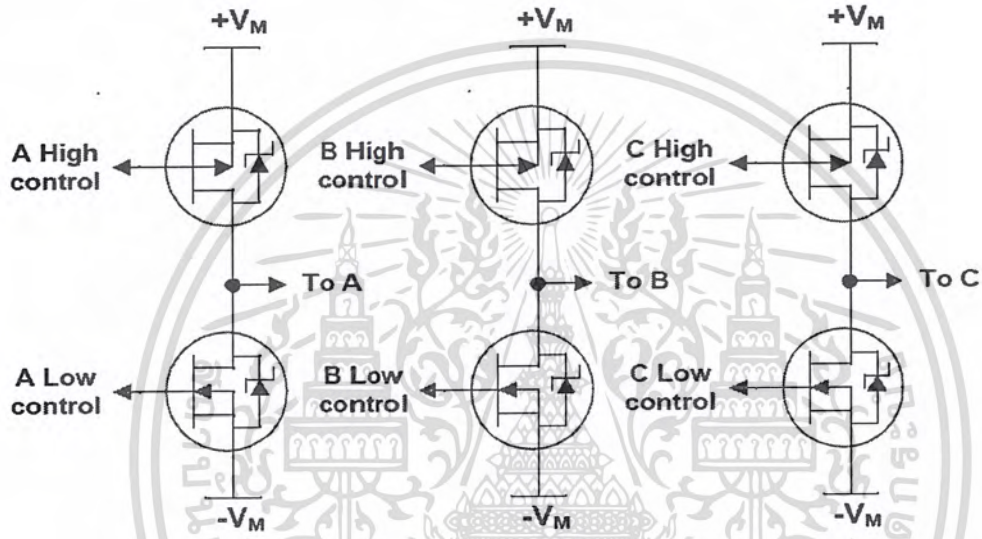
**รูปที่3.4** code ส่วนการกำหนด6 step

### 3.2 การทำงานของรีจิสเตอร์OVDCON

รีจิสเตอร์ OVDCON เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ทำหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดค่าสำหรับการสร้างสัญญาณ PWM ในการควบคุมมอเตอร์การกำหนดค่าที่รีจิสเตอร์นี้เป็นการกำหนดในลักษณะเข้าถึงโดยตรงที่ขาเอาต์พุตของโมดูล MCPWM โดยแบ่ง8บิตล่างจะทำงานแบบON-OFFส่วน8บิตบนจะทำงานแบบPWMเช่นจากรูปที่3.4 ถ้าค่าHall เป็น001 จะตรงกับStateLoTable[1]ซึ่งเท่ากับค่า 0x2001 ถ้านำมาแปลงเป็นฐาน2จะได้ค่า 0010 0000 0000 0001 ซึ่งจะเป็นค่าของOVDCON จากบิต0ที่เป็น "1"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

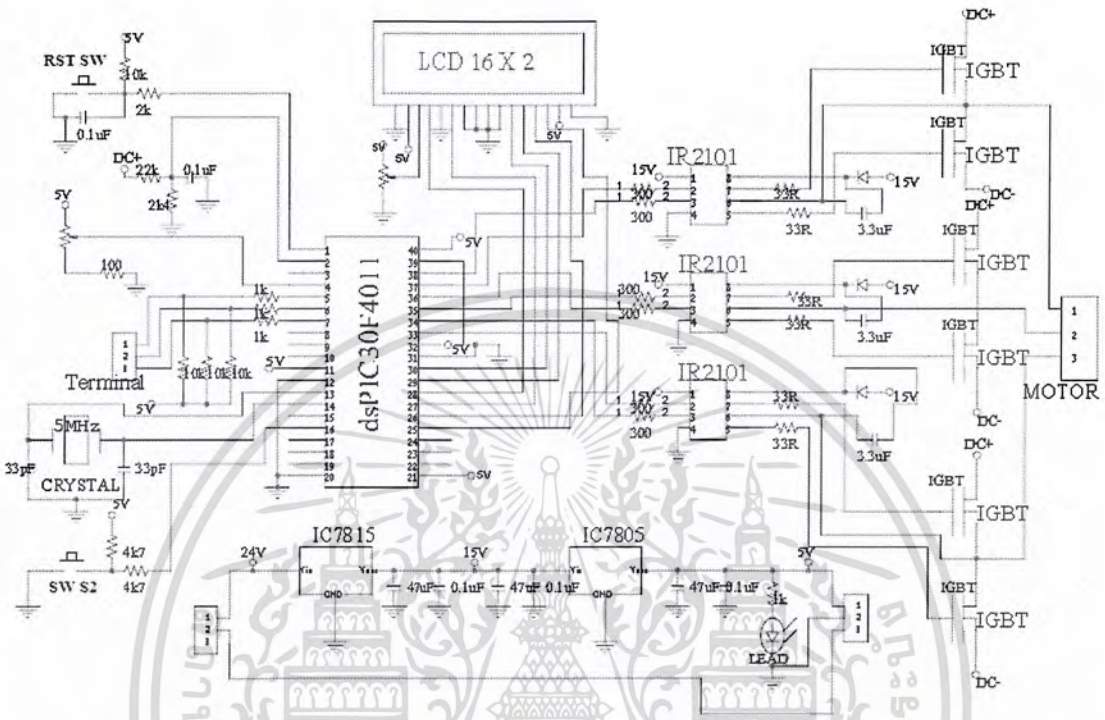
จะตรงกับPOUT1Lในรูปที่ 2.19 ซึ่งทำให้PWM1L Active High ส่วนบิต13 ของOVDCON ที่เป็น "1" จะตรงกับPOVD3Hในรูปที่ 2.19 ซึ่งทำให้PWM3H Active แบบ PWM ดังรูปที่ 3.3 เพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปจ่ายให้แก่ Three Phase Bridge ดังรูปที่ 3.5 ขา PWM1H จะคือขาA High control, ขาPWM1Lจะคือขา A Low control และจะได้Output(To A) เข้าไปที่เฟส1เฟสของมอเตอร์ ส่วน PWM2จะตรงกับ B,PWM3ตรงกับCจะทำให้ได้outputทั้ง3เข้าแต่ละเฟสของมอเตอร์ก็จะสามารถทำให้มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปลงถ่านหมุนได้




รูปที่ 3.5Three Phase Bridge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3 หลักการออกแบบ

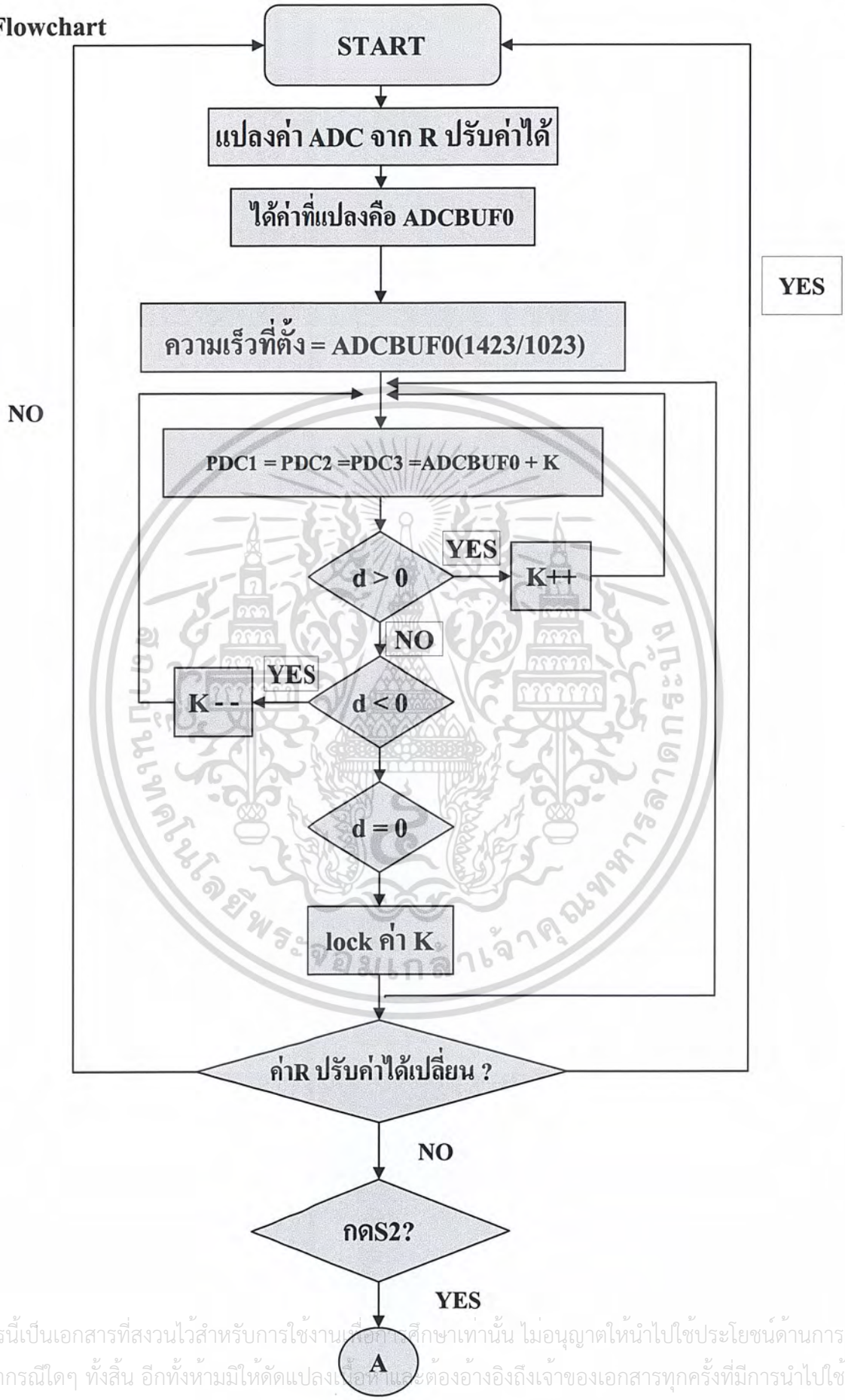



**รูปที่ 3.6** วงจรที่ใช้ในโครงงาน

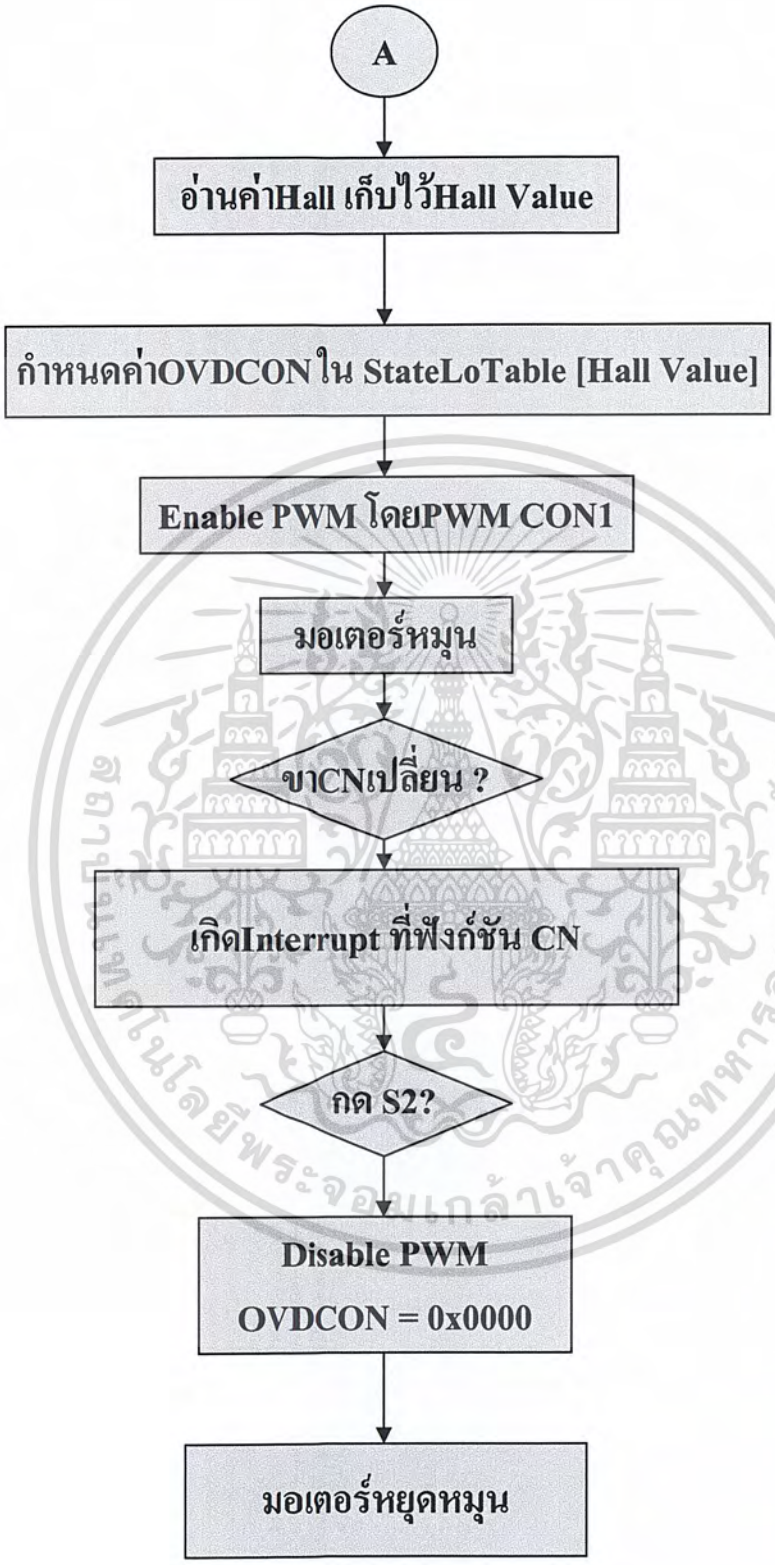
จากรูปที่ 3.6 จะใช้ไฟAC220V/50Hz จ่ายให้กับ Adapter แปลงเป็น24V/2.5A เข้าไปจ่ายให้ THREE PHASE INVERTER BRIDGE (IGBT) จากนั้นจะเข้า Voltage Regulator เบอร์ 7815 แปลงจาก 24V เป็น 15V เข้าไปจ่ายให้กับ IGBT Driver (IR2101) ต่อจากนั้นจะเข้า Voltage Regulator เบอร์ 7805 แปลงจาก 15V เป็น 5V เข้าไปจ่ายให้กับ dsPIC30F4011 ส่วน Hall Sensor จำเป็นต้องต่อ R Pull-Up เข้าที่ไฟ5V เพราะถ้าไม่ต่อ R Pull-Up ค่าที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0-0.2V เท่านั้น ซึ่งถ้าต่อ R Pull-Up จะทำให้ค่าที่วัดได้ออกมาอยู่ที่ 0-5V ทางด้าน dsPIC30F4011 กำหนดPort B3-B5 เป็นขาinput รับค่าจาก Hall Sensor,Port B2 รับค่าจากRปรับค่าได้เพื่อ นำไปแปลงเป็นดิจิตอลปรับduty cycle เพื่อปรับความเร็วของมอเตอร์ ,Port C14รับค่าจากswitch S2 เพื่อหมุนและหยุดมอเตอร์ ,Port E0-E5 เป็นขา Output จ่ายสัญญาณ PWM ให้ IR2101 เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของ IGBT โดย IR2101 1ตัวจะควบคุม IGBT 2ตัวตามรูปที่ 5 ซึ่งIGBT ทั้ง2ตัวจะทำหน้าที่จ่ายแรงดันให้แต่ละเฟสของมอเตอร์ และใช้พอร์ท F0-F5 ติดต่อกับจอ LCD เพื่อแสดงความเร็วของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3 Flowchart**



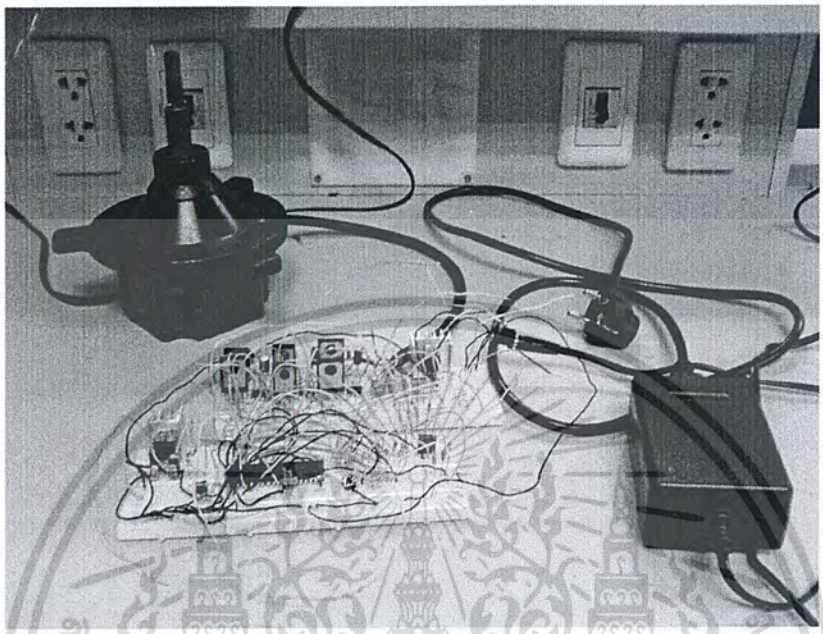

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



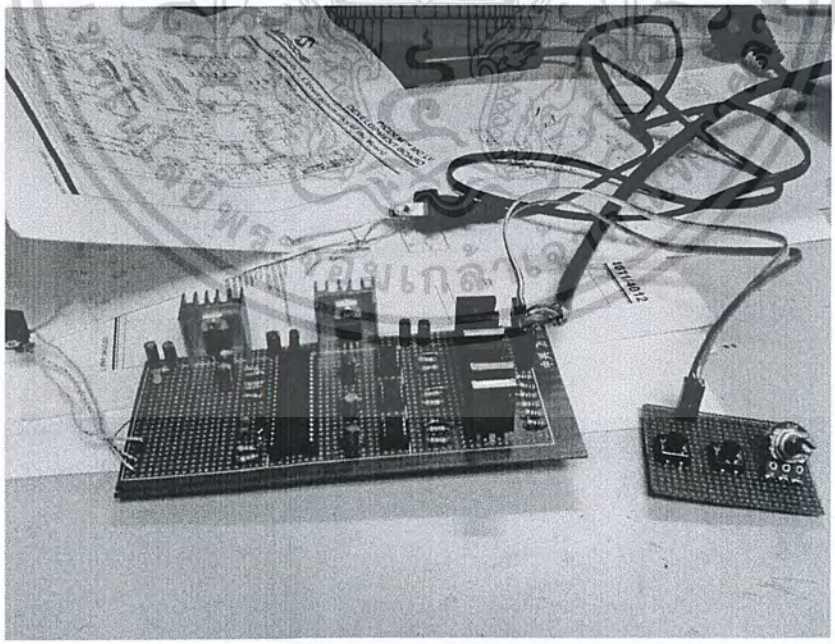

**รูปที่3.6** Flowchart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 รูปวงจรที่ใช้งาน



**รูปที่ 3.8** วงจรทดลอง



**รูปที่ 3.9** วงจรสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 อธิบายโปรแกรมภาษาซีในภาคผนวก ก

บรรทัดที่ 1 Comment ว่าวงจรในการทดลองนี้ใช้แหล่งกำเนิดความถี่ภายนอก ขนาด5MHz และ ใช้เฟสล็อกลูป x8เท่า

บรรทัดที่ 2 Comment ว่าใช้ C30 ของ Microchip เป็นตัว Compiler

บรรทัดที่ 3 รวมไฟล์ p30f4011.h เข้าร่วมในการCompile

บรรทัดที่ 4 รวมไฟล์ InCap.h เข้าร่วมในการCompile

บรรทัดที่ 5รวมไฟล์ lcdf.h เข้าร่วมในการCompile ซึ่งสร้างจากlcd.hและแก้ให้ใช้Port F แทน

บรรทัดที่ 6รวมไฟล์ Timer.h เข้าร่วมในการCompile

บรรทัดที่ 7 กำหนดความถี่ภายในซึ่งหาค่าจาก (5MHZ*8)/4

บรรทัดที่ 8 กำหนดค่า MILLISEC มีค่าเท่ากับ FCY/10000

บรรทัดที่ 9 กำหนดค่าความถี่PWM = 19531 Hz

บรรทัดที่ 10 กำหนด Port RC14 เพื่อต่อกับสวิตซ์ S2

บรรทัดที่ 11 ประกาศฟังก์ชัน DelayNmSec

บรรทัดที่ 12 ประกาศฟังก์ชัน InitMCPWM

บรรทัดที่ 13 ประกาศฟังก์ชัน InitADC10

บรรทัดที่ 14 ประกาศฟังก์ชัน InitCN

บรรทัดที่ 15 กำหนดตัวแปรspeed_count และ speed เป็นตัวแปรแบบตัวเลขมีทศนิยม

บรรทัดที่ 16 กำหนดตัวแปรcount และ k เป็นตัวแปรแบบตัวเลขคิดเครื่องหมาย 16บิต โดยค่าเริ่มต้น=0

บรรทัดที่ 17 กำหนดตัวแปรvalue เป็นตัวแปรแบบแบบตัวเลขคิดเครื่องหมาย 16บิต

บรรทัดที่ 18 กำหนดตัวแปรadc0 , adc1 , adcp , diff เป็นตัวแปรแบบแบบตัวเลขคิดเครื่องหมาย 32บิต

บรรทัดที่ 19 กำหนดตัวแปรHallValue เป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มไม่คิดเครื่องหมายขนาด 16 บิต

บรรทัดที่ 20 ประกาศตัวแปร StateLoTable[]

บรรทัดที่ 21 StateLoTable[0]=0x0000

บรรทัดที่ 22 StateLoTable[1]=0x2001

บรรทัดที่ 23 StateLoTable[2]=0x0810

บรรทัดที่ 24 StateLoTable[3]=0x0801

บรรทัดที่ 25 StateLoTable[4]=0x0204

บรรทัดที่ 26 StateLoTable[5]=0x2004

บรรทัดที่ 27 StateLoTable[6]=0x0210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 28 StateLoTable[7]=0x0000

บรรทัดที่ 29 ปีกกาปิดของตัวแปร StateLoTable[]

บรรทัดที่ 30 ประกาศฟังก์ชันdisplay_speed

บรรทัดที่ 31 ปีกกาเปิดของฟังก์ชันdisplay_speed

บรรทัดที่ 32 กำหนดตัวแปร i เป็นข้อมูลจำนวนเต็ม 8 บิต

บรรทัดที่ 33 Set origin of LCD ( lcd_command() อยู่ใน lcdf.h )

บรรทัดที่ 34 Set address of LCD

บรรทัดที่ 35 คำสั่ง for นับค่า i ขึ้นไป 4 ครั้งเริ่มนับจาก 0

บรรทัดที่ 36 ปีกกาเปิดของคำสั่ง for

บรรทัดที่ 37 send character to LCD ( lcd_text()อยู่ใน lcdf.h)

บรรทัดที่ 38 ปีกกาปิดของคำสั่ง for

บรรทัดที่ 39 แสดงตัวเลขออกจอLCD ( inttolcd อยู่ใน lcdf.h)

บรรทัดที่ 40 ปีกกาปิดของฟังก์ชันdisplay_speed

บรรทัดที่ 41 ประกาศ Interrupt Service Routine ของ Timer1

บรรทัดที่ 42 ปีกกาเปิดของ Interrupt Service Routine Timer1

บรรทัดที่ 43 เคลียร์ค่า interrupt flag ของ Timer1

บรรทัดที่ 44 เคลียร์ค่าการนับของ Timer1

บรรทัดที่ 45 เพิ่มค่า Count ขึ้นทีละ1

บรรทัดที่ 46 คำสั่ง if ทำงานเมื่อค่า count มากกว่าหรือเม่ากับ100

บรรทัดที่ 47 ปีกกาเปิดของคำสั่ง if

บรรทัดที่ 48 กำหนดค่า Count =0

บรรทัดที่ 49 กำหนดค่า speed = speed_count

บรรทัดที่ 50 กำหนดค่า speed_count = 0

บรรทัดที่ 51 กำหนดค่าvalue = ((speed/5)*60)

บรรทัดที่ 52 กำหนดค่า adc0 = ADCBUF0

บรรทัดที่ 53 กำหนดค่า adcl1 =((adc0*1428)/1023);

บรรทัดที่ 54 กำหนดค่า diff=adcl1-value

บรรทัดที่ 55 คำสั่ง if ทำงานเมื่อค่าdiff มากกว่า 20

บรรทัดที่ 56 ปีกกาเปิดของคำสั่ง if

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 57 กำหนดค่า k=k+8

บรรทัดที่ 58 ปีกกาปิดของคำสั่ง if

บรรทัดที่ 59 คำสั่ง else if ทำงานเมื่อค่า diff มากกว่า 0 และน้อยกว่า2 0

บรรทัดที่ 60 ปีกกาเปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 61 เพิ่มค่าkทีละ1ค่า

บรรทัดที่ 62 ปีกกาปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 63 คำสั่ง else if ทำงานเมื่อค่า diff น้อยกว่า 20

บรรทัดที่ 64 ปีกกาเปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 65 ลดค่าkที่ละ8

บรรทัดที่ 66 ปีกกาปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 67 คำสั่ง else if ทำงานเมื่อค่า diff น้อยกว่า0และมากกว่า-20

บรรทัดที่ 68 ปีกกาเปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 69 ลดค่าkทีละ1

บรรทัดที่ 70 ปีกกาปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 71 คำสั่ง else if ทำงานเมื่อค่า diff=0 หรือ (diff>0 และ<=6) หรือ (diff<0และ>=-6)

บรรทัดที่ 72 ปีกกาเปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 73 กำหนดค่า adcp=adcp

บรรทัดที่ 74 กำหนดค่า k=k

บรรทัดที่ 75 ปีกกาปิดของคำสั่ง else if

บรรทัดที่ 76 กำหนดค่า adcp=ADCBUF0+k

บรรทัดที่ 77 แสดงค่า value ที่บรรทัดล่างเริ่มตัวที่ 12

บรรทัดที่ 78 แสดงค่า adc11 ที่บรรทัดบนเริ่มตัวที่ 12

บรรทัดที่ 79 แสดงค่า diff ที่บรรทัดล่างเริ่มตัวที่ 3

บรรทัดที่ 80 แสดงค่า k ที่บรรทัดบนเริ่มตัวที่ 3

บรรทัดที่ 81 ปีกกาเปิดของคำสั่ง if(count>=100)

บรรทัดที่ 82 ปีกกาปิดของ Interrupt Service Routine Timer1

บรรทัดที่ 83 ประกาศ Interrupt Service Routine ของ IC7

บรรทัดที่ 84 ปีกกาเปิดของ Interrupt Service Routine IC7

บรรทัดที่ 85 เคลียร์ค่า Interrupt flag ของ IC7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 86 เพิ่มค่า speed_countทีละ1

บรรทัดที่ 87 ปีกกาเปิดของ Interrupt Service Routine IC7

บรรทัดที่ 88 ประกาศฟังก์ชัน capture_int()

บรรทัดที่ 89 ปีกกาเปิดของฟังก์ชัน capture_int()

บรรทัดที่ 90 กำหนดตัวแปรmatch_value เป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มไม่คิดเครื่องหมายขนาด 16 บิต

บรรทัดที่ 91 กำหนดTimer1 Priority=1 , เปิดการทำงานของInterrupt Timer1

บรรทัดที่ 92 เคลียร์ค่าการนับของ Timer1

บรรทัดที่ 93 กำหนด match_value = 10000 =(((5MHzx8)/4)/100)=Timer1นับครบ10วินาที

บรรทัดที่ 94 เปิดการทำงานT1 , ดิสเอเบิลการเปิดเกตรับสัญญาณจากภายนอก , ปิดการทำงานT1 ใน Idle mode

บรรทัดที่ 95 อัตราปรีสเกลเลอร์ 1:1 , ปิดการซิงโครไนซ์ของสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกกับการทำงานของT1 , เลือกใช้สัญญาณนาฬิกาภายใน , นับค่าไปจนถึงค่า match_value

บรรทัดที่ 96 กำหนดIC7 Priority=2 , เปิดการทำงานของInterrupt IC7

บรรทัดที่ 97 เปิดการทำงานTimer3

บรรทัดที่ 98 หยุดการทำงานIC7ใน Idle mode , ใช้Timer3เก็บค่าการนับ

บรรทัดที่ 99 เกิด interrupt ทุกครั้งที่นับ, ตรวจจับทุกขอบขาลง

บรรทัดที่ 100 ปีกกาปิดของฟังก์ชัน capture_int()

บรรทัดที่ 101 ประกาศ Interrupt Service Routine ของ CN

บรรทัดที่ 102 ปีกกาเปิดของ Interrupt Service Routine CN

บรรทัดที่ 103 เคลียร์ค่า Interrupt flag ของ CN

บรรทัดที่ 104 นำPortBมา&กับ0x0038 จะได้ค่าPort B3,4,5

บรรทัดที่ 105 เลื่อนค่าValueไปทางขวา3ครั้ง

บรรทัดที่ 106 นำค่าHallที่ได้ไปกำหนดค่า OVDCON จาก StateLoTable[]

บรรทัดที่ 107 ออกจากการinterrupt

บรรทัดที่ 108 ปีกกาปิดของ Interrupt Service Routine CN

บรรทัดที่ 109 ประกาศ Interrupt Service Routine ของ ADC

บรรทัดที่ 110 ปีกกาเปิดของ Interrupt Service Routine ADC

บรรทัดที่ 111 เคลียร์ค่า Interrupt flag ของ ADC

บรรทัดที่ 112 กำหนดค่า PDC1=adcp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 113 กำหนดค่า PDC2=PDC1

บรรทัดที่ 114 กำหนดค่า PDC3=PDC1

บรรทัดที่ 115 ปีกกาปิดของ Interrupt Service Routine ADC

บรรทัดที่ 116 ประกาศฟังก์ชันmain

บรรทัดที่ 117 ปีกกาปิดของฟังก์ชันmain

บรรทัดที่ 118 เรียกใช้ฟังก์ชัน InitCN()

บรรทัดที่ 119 เรียกใช้ฟังก์ชัน InitMCPWM()

บรรทัดที่ 120 เรียกใช้ฟังก์ชัน InitADC10()

บรรทัดที่ 121 เรียกใช้ฟังก์ชัน capture_init()

บรรทัดที่ 122 เรียกใช้ฟังก์ชัน lcd_init()

บรรทัดที่ 123 เรียกใช้ฟังก์ชัน InitADC10()

บรรทัดที่ 124 เรียกใช้ฟังก์ชัน lcd_clear()

บรรทัดที่ 125 แสดง SET: ที่แถว1เริ่มตำแหน่งที่ 8 ของ LCD

บรรทัดที่ 126 แสดง Now: ที่แถว2เริ่มตำแหน่งที่ 8 ของ LCD

บรรทัดที่ 127 แสดง k: ที่แถว1เริ่มตำแหน่งที่ 1 ของ LCD

บรรทัดที่ 128 แสดง d: ที่แถว1เริ่มตำแหน่งที่ 1 ของ LCD

บรรทัดที่ 129 คำสั่ง while วน infinityลูป

บรรทัดที่ 130 ปีกกาเปิดของคำสั่ง main

บรรทัดที่ 131 คำสั่ง while ทำงานเมื่อกด S2

บรรทัดที่ 132 delay 30 ms

บรรทัดที่ 133 คำสั่ง while ทำงานเมื่อปล่อย S2

บรรทัดที่ 134 delay 30 ms

บรรทัดที่ 135 นำPortBมา&กับ0x0038 จะได้ค่าPort B3,4,5

บรรทัดที่ 136 เลื่อนค่าValueไปทางขวา3ครั้ง

บรรทัดที่ 137 นำค่าHallที่ได้ไปกำหนดค่า OVDCON จาก StateLoTable[]

บรรทัดที่ 138 กำหนดให้ ขาคู่ของพอร์ทโมดูลMCPWMทำงานเป็นเอาต์พุตแบบอิสระ,PWMxHเป็นขาเอาต์พุตด้านแรงดันสูง, PWMxLเป็นขาเอาต์พุตด้านแรงดันต่ำ

บรรทัดที่ 139 คำสั่ง while ทำงานเมื่อกด S2

บรรทัดที่ 140 delay 30 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 141 คำสั่ง while ทำงานเมื่อปล่อย S2

บรรทัดที่ 142 delay 30 ms

บรรทัดที่ 143 กำหนดให้ ขาคู่ของพอร์ทโมดูลMCPWMทำงานเป็นเอาต์พุตแบบอิสระ

บรรทัดที่ 144 ปิด OVDCON

บรรทัดที่ 145 ปีกกาปิดของคำสั่งwhile(1)

บรรทัดที่ 146 returnค่า

บรรทัดที่ 147 ปีกกาปิดของคำสั่ง main

บรรทัดที่ 148 ประกาศฟังก์ชัน InitADC10()

บรรทัดที่ 149 ปีกกาเปิดของฟังก์ชัน InitADC10()

บรรทัดที่ 150 กำหนด PORTB = Digitalยกว้น RB0 ถึง RB2 = analog

บรรทัดที่ 151 กำหนดให้กระตุ้นเมื่อเสร็จการสุ่มจากPWMควบคุมมอเตอร์

บรรทัดที่ 152 แปลงวงจร S/H ช่อง CH0

บรรทัดที่ 153 Connect RB2/AN2 as CH0 = pot

บรรทัดที่ 154 Tad = 3Tcy

บรรทัดที่ 155 เคลียร์ค่า Interrupt flag ของ ADC

บรรทัดที่ 156 Enable Interrupt ของ ADC

บรรทัดที่ 157 ให้โมดูลADCทำงาน

บรรทัดที่ 158 returnค่า

บรรทัดที่ 159 ปีกกาปิดของฟังก์ชัน InitADC10()

บรรทัดที่ 160 ประกาศฟังก์ชัน InitMCPWM()

บรรทัดที่ 161 ปีกกาเปิดของฟังก์ชัน InitMCPWM()

บรรทัดที่ 162 กำหนดคาบเวลาของฐานเวลา PWM

บรรทัดที่ 163 กำหนดให้ ขาคู่ของพอร์ทโมดูลMCPWMทำงานเป็นเอาต์พุตแบบอิสระ

บรรทัดที่ 164 ปิด OVDCON

บรรทัดที่ 165 กำหนดPDC1=0 ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์กำหนดค่า Duty Cycle

บรรทัดที่ 166 กำหนดPDC2=0ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์กำหนดค่า Duty Cycle

บรรทัดที่ 167 กำหนดPDC3=0ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์กำหนดค่า Duty Cycle

บรรทัดที่ 168 ให้รีจิสเตอร์เปรียบเทียบค่าสำหรับสร้างสัญญาณกระตุ้นพิเศษ=รีจิสเตอร์กำหนด
คาบเวลาของฐานเวลา PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 169 กำหนดอัตราโพสต์สเกลเลอร์ของสัญญาณกระตุ้นพิเศษ 1:16

บรรทัดที่ 170 เปิดให้ฐานเวลาของสัญญาณPWMทำงาน

บรรทัดที่ 171 ออกจากฟังก์ชัน InitMCPWM()

บรรทัดที่ 172 ปีกกาปิดของฟังก์ชัน InitMCPWM()

บรรทัดที่ 173 ประกาศฟังก์ชัน InitCN()

บรรทัดที่ 174 ปีกกาเปิดของฟังก์ชัน InitCN()

บรรทัดที่ 175 Enable CN5, CN6 และCN7

บรรทัดที่ 176 เคลียร์ค่า Interrupt flag ของ CN

บรรทัดที่ 177 Enable Interrupt ของ CN

บรรทัดที่ 178 ออกจากฟังก์ชัน InitCN()

บรรทัดที่ 179 ปีกกาปิดของฟังก์ชัน InitCN()

บรรทัดที่ 180 ประกาศฟังก์ชัน DelayNmSec()

บรรทัดที่ 181 ปีกกาเปิดของฟังก์ชัน DelayNmSec(),กำหนดตัวแปร N แบบไม่คิดเครื่องหมาย

บรรทัดที่ 182 กำหนดตัวแปร j เป็นตัวแปรแบบจำนวนเต็มไม่คิดเครื่องหมายขนาด 16 บิต

บรรทัดที่ 183 คำสั่งwhileทำงานเมื่อค่า Nลดลงทีละ1

บรรทัดที่ 184 คำสั่งfor เริ่มนับที่j=0ถึง j น้อยกว่า MILLISEC ขึ้นไปทีละ1

บรรทัดที่ 185 ออกจากฟังก์ชัน DelayNmSec()

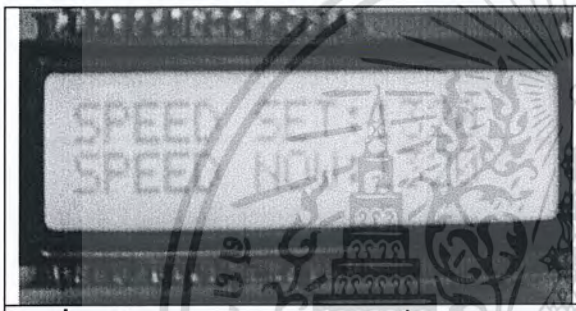
บรรทัดที่ 186 ปีกกาปิดของฟังก์ชัน DelayNmSec()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

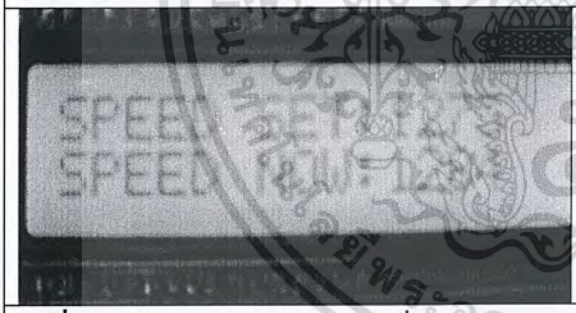
## 4.1 รูปจากการทดลอง

จากการทดลองเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง การที่ไม่มีการควบคุมความเร็ว(รูปด้านซ้ายมือ) กับมีการควบคุมความเร็วโดยการเปรียบเทียบกับความเร็วที่ตั้ง(รูปด้านขวามือ)



**รูปที่ 4.1** ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่1320rpm

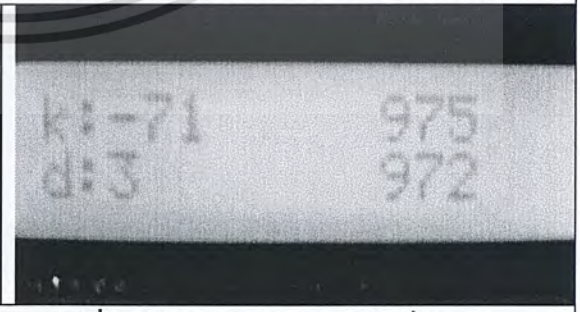
**รูปที่ 4.2** มีการควบคุมความเร็ว ที่1320rpm



**รูปที่ 4.3** ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่1273rpm

**รูปที่ 4.4** มีการควบคุมความเร็ว ที่1273rpm

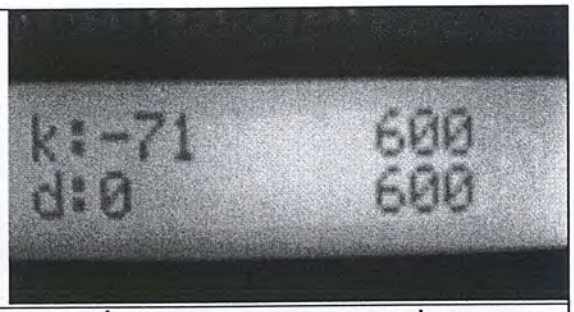
**รูปที่ 4.5** ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่975rpm



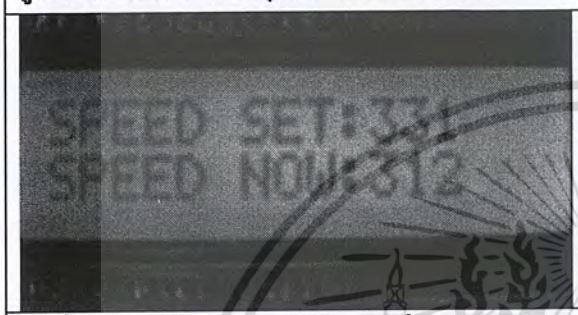

**รูปที่ 4.6** มีการควบคุมความเร็ว ที่975rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

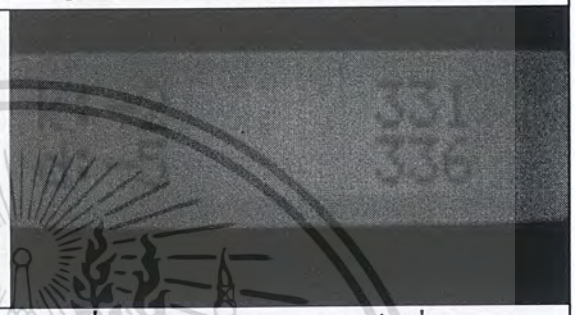
**รูปที่ 4.7** ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่600rpm



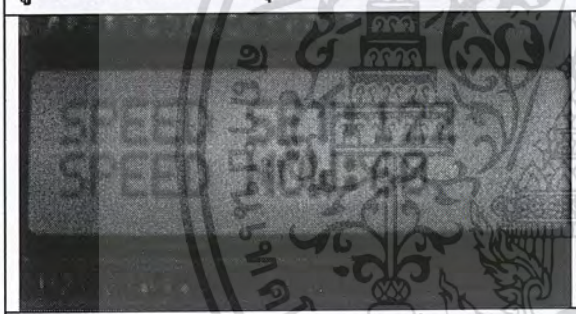

**รูปที่ 4.8** มีการควบคุมความเร็ว ที่600rpm




**รูปที่ 4.9** ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่331rpm




**รูปที่ 4.10** มีการควบคุมความเร็ว ที่331rpm



**รูปที่ 4.11** ไม่มีการควบคุมความเร็ว ที่122rpm

**รูปที่ 4.12** มีการควบคุมความเร็ว ที่122rpm

## 4.2 สรุปผลการทดลอง

เมื่อจ่ายไฟเข้าวงจร จอLCD จะแสดงค่า ของค่าความเร็วที่ตั้ง, ค่าความเร็วจริง, ค่า k (ค่าที่นำไปปรับ duty cycleให้ค่าความเร็วจริง เท่ากับหรือใกล้เคียงความเร็วที่ตั้ง), ค่าd (ค่าความเร็วที่ตั้ง-ค่าความเร็วจริง) และเมื่อกดสวิตซ์ S2 มอเตอร์จะหมุนและปรับค่าจนค่าความเร็วจริง เท่ากับหรือใกล้เคียงกับความเร็วที่ตั้ง

จากส่วนของโปรแกรม เมื่อกดสวิตซ์S2ที่ต่อเข้าขาRC14 จะอ่านค่า Hall Sensor มาเก็บที่ HallValueโดยนำไป&กับ0x0038 จะได้ค่าของ Port B3,4,5 นำค่าไปเลื่อนบิตทางขวา3ครั้ง จะได้ค่าทั้ง 3 มาอยู่ที่บิต 0,1,2 ซึ่งค่า3บิตหลังนี้สามารถนำไปแปลงเป็นเลขฐาน16ได้ค่า ตั้งแต่ 0,1,2,3,4,5,6,7 นำค่าฐาน16นี้ไปใส่ในStateLotable จะเป็นการกำหนดStepการหมุนตามค่า Hall ที่อ่านได้ผ่านรีจิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OVDCON เมื่อมอเตอร์ขยับไปstepต่อไป จะเกิดการinterrupt ของ CN ทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนค่าที่ขา RB3,4,5 ที่ต่อHall Sensorไว้โปรแกรมจะโดดไปทำงานใน Interrupt Service Routine(ISR)ของCN ซึ่งจะเป็นการอ่านค่า Hall และนำไปเลือกค่าให้OVDCON เพื่อกำหนดการหมุนstepต่อไป ซึ่งถ้าหากไม่มีการกดสวิตซ์ S2 อีก ก็จะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆซึ่งก็จะทำให้มอเตอร์หมุนได้ ในส่วนของการปรับความเร็วจะให้ ADC แปลงค่าที่ได้จาก Rปรับค่าได้ และนำผลลัพธ์เก็บไว้ใน ADCBUF0 และเมื่อมีการเปลี่ยนค่าของ Rปรับค่าได้ ก็จะเกิด interrupt แปลงค่าเป็นดิจิตอลไปเรื่อยๆ ซึ่งการจับความเร็วของมอเตอร์ทำได้โดยใช้Timer1จัดเวลา 10ms จะเกิด interrupt และเมื่อเกิดinterrupt ครบ100 ครั้งก็จะจับเวลาได้ครบ1วินาที ซึ่งภายใน1วินาทีนี้จะใช้ Hall Sensor Bที่ต่ออยู่กับขา RB4 ซึ่งเป็นขา Input Capture ตรวจจับสัญญาณทุกๆขอบขาลง ซึ่งจะได้เป็นค่าความถี่และนำค่าความถี่นี้ แปลงเป็นความเร็วรอบต่อนาที โดยนำค่าความถี่ที่ได้ไปหาร5 เนื่องจากการหมุนครบ1รอบของมอเตอร์จะพบขอบขาลง5ครั้ง จากนั้นคูณด้วย60ซึ่งเป็นการแปลงจากวินาทีให้เป็นนาที ก็จะได้ ความเร็วรอบต่อนาที ส่วนความเร็วที่ตั้งนั้นตั้งตามความเร็วสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้ โดยนำค่า (ADCBUF0*1428)/1023 เนื่องจากความเร็วสูงสุดที่ทำได้คือ 1428 รอบต่อนาที และค่าสูงสุดของ ADCBUF0 เมื่อบิดค่าRปรับค่าได้สูงสุดจะได้ค่า 1023 ซึ่งก็จะได้ค่าความเร็วที่ตั้ง ซึ่งการปรับให้ค่าความเร็วที่ตั้ง และความเร็วจริงเท่ากันนั้น ไม่สามารถเพิ่มตัวควบคุมแบบ PID เข้าไปได้เนื่องจากความละเอียดของ Hall Sensor ไม่เพียงพอจึงทำได้เพียงนำค่าความเร็วที่ตั้ง-ความเร็วจริง นำไปเก็บไว้ในตัวแปร d และกำหนดตัวแปร k ซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปชดเชยให้ADCBUF0เพื่อทำการปรับ Duty Cycle เพื่อให้ความเร็วทั้ง2เท่ากัน โดยซึ่งถ้า d>0 ก็ทำการเพิ่มค่าk เพื่อให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นจนกว่าค่า d=0 ถ้าd<0 ก็ทำการลดค่าkทำให้มอเตอร์หมุนช้าลงจน d=0 เมื่อ d=0 ก็จะล็อกค่าkไว้ทำให้ความเร็วคงที่ จนกว่าจะมีการปรับ Rปรับค่าได้ก็จะวนทำจนค่าd=0 อีกทุกๆครั้ง แต่ถ้าค่อยๆปรับค่าkทีละ1 จะทำให้ใช้เวลานานมากกว่าค่าdจะเท่ากับ0 จึงเขียนโปรแกรมกำหนดให้ถ้าd>20 ให้เพิ่มค่า k ทีละ8 ถ้าd>0แต่น้อยกว่า20จึงค่อยๆเพิ่มทีละ1 เช่นเดียวกันถ้าd<-20ให้ลดค่าkทีละ8 จนค่า d น้อยกว่า 0แต่มากกว่า-20 จึงค่อยๆลดค่าkทีละ1 แต่เนื่องจากความละเอียดในการวัดรอบของ Hall Sensor ต่ำ ความเร็วของมอเตอร์จึงไม่สามารถเปลี่ยนได้ทุกๆความเร็วได้(เปลี่ยนแปลงทีละ1รอบต่อนาทีไม่ได้) จึงทำให้ในบางความเร็วไม่สามารถทำให้ค่า d=0 ได้เช่นที่ความเร็ว 331 รอบต่อนาที ค่าdที่ใกล้0มากที่สุดคือ -5 ดังนั้นที่ความเร็วนี้ค่าจะไม่นิ่งเปลี่ยนไปมาเพื่อหาค่าd=0แต่มอเตอร์ไม่สามารถวัดความเร็วที่331รอบต่อนาทีได้เนื่องจากความละเอียดในการวัดต่ำ จึงทำการทดลองโดยปรับความเร็วไปหลายๆค่าและหาค่าdที่มีค่ามากที่สุดได้ค่าd=6 จึงเขียนโปรแกรมว่าถ่าหากค่าdอยู่ระหว่าง 0 ถึง 6 และ 0 ถึง -6 ให้ทำการ lock ค่า k เพื่อให้ความเร็วที่ใกล้ความเร็วที่ตั้งมากที่สุดนั้นคงที่ไม่แกว่งไปมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# บทวิจารณ์และสรุป

## สรุป

จากการทดลองในการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ทางกลุ่มสามารถที่จะควบคุม มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ได้โดยใช้การปรับระดับความต้านทานโดย R ปรับค่าผ่านADCเพื่อปรับความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และได้ทำการเขียน Code Program เพื่อทำการควบคุมการจ่ายไฟให้ทำงานตาม 6step และได้แสดงความเร็วของมอเตอร์ออกไปที่จอ LCD เพื่อแสดงความเร็วที่ต้องการและความเร็วจริงของมอเตอร์หลังจากควบคุมความเร็วโดยปรับduty cycle ได้เพื่อให้ได้ค่าที่เท่ากับหรือใกล้เคียงค่าที่ตั้งมากที่สุด

## ปัญหา

จากการศึกษาและทำโครงงานนี้ในช่วงแรกเกิดปัญหาคือ ใช้เวลาในการศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านนาน เนื่องจากไม่มีพื้นฐานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมาก่อน รวมทั้งสายแต่ละเส้นทำหน้าที่อย่างไร ก็ใช้เวลาศึกษานานพอสมควรนอกจากนี้เมื่อทำการทดลองที่ Hall Sensor ค่าOutputที่ได้มีค่าไม่เกิน 0.2V ซึ่งตรงจุดนี้ก็ใช้เวลาแก้ไขพอสมควร จากการศึกษาจากหลายๆที่จึงรู้วิธีแก้โดยต่อ R Pull-Up เข้าแรงดัน 5V ค่าOutput ที่ได้จึงแปรค่าอยู่ที่ 0 กับ 5V หลังจากนั้นการขับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน สามารถขับมอเตอร์ได้แต่ความเร็วที่ทำได้ยังไม่ใช่ความเร็วสูงสุดที่มอเตอร์ทำได้ ซึ่งสาเหตุเกิดจาก Adapter สามารถจ่ายกระแสได้ไม่เกิน 2.5A ซึ่งไม่พอต่อความต้องการของมอเตอร์ และแรงดันที่มอเตอร์ได้รับก็dropลงเหลือเพียง 12V เนื่องจากถูกดึงไปใช้ในการเลี้ยง dsPIC , LCD , IR2101ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มอเตอร์หมุนได้ไม่เต็มความเร็วสูงสุดของมอเตอร์ รวมทั้งค่าความละเอียดของ Hall Senser ในตัวมอเตอร์ไม่ละเอียดเพียงพอซึ่งเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถใส่ตัวควบคุมแบบPIDลงไปได้ จึงได้เพียงแค่เปรียบเทียบความเร็วที่ตั้งกับความเร็วจริงแล้วปรับ duty cycle เพื่อให้ได้ค่าที่เท่ากับหรือใกล้เคียงค่าที่ตั้งมากที่สุดเท่านั้น และค่าความเร็วที่ตั้ง เกิดการแกว่งไปมาสาเหตุอาจเกิดเนื่องจากบอร์ดนี้ไม่ได้กัดแผ่นปริ้นจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนจากจุดเชื่อมต่อของสายwireที่ทำการบัดกรีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# โปรแกรมภาษาซี

```
1 // Frequency  : 5 MHz at PLL 8x
2 // C compiler  : C30 Compiler by Microchip Technology
3 #include <p30f4011.h>
4 #include<InCap.h>
5 #include<lcdf.h>
6 #include<timer.h>
7 #define FCY  10000000
8 #define MILLISEC FCY/10000
9 #define FPWM 19531
10 #define S2PORTCbits.RC14
11 void DelayNmSec(unsigned int N);
12 void InitMCPWM(void);
13 void InitADC10(void);
14 void InitCN(void);
15 float speed_count,speed;
16 int count=0,k=0;
17 int value;
18 long adc0,adcl1,adcp,diff;
19 unsigned int HallValue;

20 unsigned int StateLoTable[] = {
21 0x0000,  /* all PWM OFF */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
22 0x2001,  /* PWM1L -> 1, PWM3H -> PWM*/
23 0x0810,  /* PWM3L -> 1, PWM2H -> PWM*/
24 0x0801,  /* PWM1L -> 1, PWM2H -> PWM*/
25 0x0204,  /* PWM2L -> 1, PWM1H -> PWM*/
26 0x2004,  /* PWM2L -> 1, PWM3H -> PWM*/
27 0x0210,  /* PWM3L -> 1, PWM1H -> PWM*/
28 0x0000 /* all PWM OFF */
29 };

30 void display_speed(unsigned char addr,int value)
31 {
32 char i;
33 lcd_command(2);
34 lcd_command(addr);
35 for(i=0;i<4;i++)
36      {
37      lcd_text (0x20);
38       }
39 inttolcd(addr,value);
40 }
41 void _ISR _T1Interrupt(void)
42 {
43 IFS0bits.T1IF = 0;
44 WriteTimer1(0);
45 count++;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
46 if(count>=100)
47 {
48 count = 0;
49 speed = speed_count;
 50 speed_count = 0;
 51 value = ((speed/5)*60);
52 adc0 = ADCBUF0;
53 adcl1 =((adc0*1428)/1023);
54 diff=adcl1-value;
55 if(diff>20)
56 {
57 k=k+8;
58 }
59 else if(diff>0 && diff<20)
60 {
61 k++;
62 }
63 else if(diff<-20)
64 {
65 k=k-8;
66 }
67 else if(diff<0 && diff>-20)
68 {
69 k--;
70 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
71 else if(diff==0 || (diff>0&&diff<=6) || (diff<0&&diff>=-6))
72 {
73 adcp=adcp;
74 k=k;
75 }
76 adcp=ADCBUF0+k;
77  display_speed(0xCB,value);
78  display_speed(0x8B,adcl1);
79  display_speed(0xC2,diff);
80  display_speed(0x82,k);
81 }
82 }

83 void _ISR _IC7Interrupt(void)
84 {
85  IFS1bits.IC7IF = 0;
86 speed_count++;
87 }

88 void capture_init()
89 {
90 unsigned int match_value;
91 ConfigIntTimer1(T1_INT_PRIOR_1 & T1_INT_ON);
92 WriteTimer1(0);
93 match_value = 100000;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
94 OpenTimer1(T1_ON &T1_GATE_OFF & T1_IDLE_STOP &
95 T1_PS_1_1 & T1_SYNC_EXT_OFF &T1_SOURCE_INT, match_value);
96 ConfigIntCapture7(IC_INT_PRIOR_2 & IC_INT_ON);
97 T3CON = 0x8000;
98 OpenCapture7(IC_IDLE_STOP &  IC_TIMER3_SRC &
99  IC_INT_1CAPTURE &  IC_EVERY_FALL_EDGE);
100 }

101 void __attribute__((__interrupt__)) _CNInterrupt (void)
102 {
103     IFS0bits.CNIF = 0;
104     HallValue = PORTB & 0x0038;
105     HallValue = HallValue >> 3;
106     OVDCON = StateLoTable[HallValue];
107     return;
108 }


109 void __attribute__((__interrupt__)) _ADCInterrupt (void)
110 {
111     IFS0bits.ADIF = 0;
112     PDC1 = adcp;
113     PDC2 = PDC1;
114     PDC3 = PDC1;
115 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
116 int main(void)
117 {
118  InitCN();
119  InitMCPWM();
120 InitADC10();
121 capture_init();
122 lcd_init();
123 InitADC10();
124 lcd_clear();
125 lcd_puts(0x87,"SET:");
126 lcd_puts(0xC7,"NOW:");
127 lcd_puts(0x80,"k:");
128 lcd_puts(0xC0,"d:");
129 while(1)
130 {
131 while (S2);
132 DelayNmSec(30);
133 while (!S2);
134 DelayNmSec(30);
135 HallValue = PORTB & 0x0038;
136 HallValue = HallValue >> 3;
137 OVDCON = StateLoTable[HallValue];
138 PWMCON1 = 0x0777;
139 while(S2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
140 DelayNmSec(30);
141 while(!S2);
142 DelayNmSec(30);
143 PWMCON1 = 0x0700;
144 OVDCON = 0x0000;
145 }
146 return;
147 }

148 void InitADC10(void)
149 {
150     ADPCFG = 0xFFF8;
151     ADCON1 = 0x0064;
152     ADCON2 = 0x0200;
153     ADCHS = 0x0002;
154     ADCON3 = 0x0005;
155     IFS0bits.ADIF = 0;
156     IEC0bits.ADIE = 1;
157     ADCON1bits.ADON = 1;
158     return;
159 }

160 void InitMCPWM(void)
161 {
162     PTPER = FCY/FPWM - 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
163     PWMCON1 = 0x0700;
164     OVDCON = 0x0000;
165     PDC1 = 0;
166     PDC2 = 0;
167     PDC3 = 0;
168     SEVTCMP = PTPER;
169     PWMCON2 = 0x0F00;
170     PTCON = 0x8000;
171     return;
172 }

173 void InitCN(void)
174 {
175     CNEN1 = 0x00E0;
176     IFS0bits.CNIF = 0;
177     IEC0bits.CNIE = 1;
178     return;
179 }
180 void DelayNmSec(unsigned int N)
181 {
182     unsigned int j;
183     while(N--)
184             for(j=0;j < MILLISEC;j++);
185     return;
186 }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

# เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

## ข.1 เอกสารคู่มือการใช้งาน HGTG20N60B3D

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR®

**HGTG20N60B3D**

*Data Sheet* *December 2001*

### *40A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diode*

The HGTG20N60B3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the RHRP3060.

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

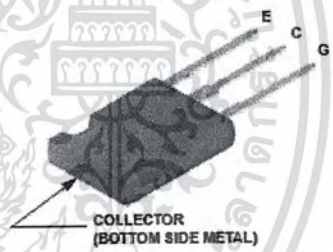
Formerly developmental type TA49018.

### *Features*

- 40A, 600V at $T_C$ = 25°C
- Typical Fall Time..... 140ns at 150°C
- Short Circuit Rated
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

### *Packaging*

JEDEC STYLE TO-247

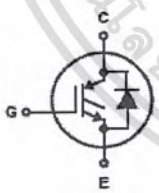



### *Ordering Information*

| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND |
|---|---|---|
| HGTG20N60B3D | TO-247 | G20N60B3D |

NOTE: When ordering, use the entire part number.

### *Symbol*




FAIRCHILD SEMICONDUCTOR IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4,364,073 | 4,417,385 | 4,430,792 | 4,443,931 | 4,466,176 | 4,516,143 | 4,532,534 | 4,587,713 |
| 4,598,461 | 4,605,948 | 4,620,211 | 4,631,564 | 4,639,754 | 4,639,762 | 4,641,162 | 4,644,637 |
| 4,682,195 | 4,684,413 | 4,694,313 | 4,717,679 | 4,743,952 | 4,783,690 | 4,794,432 | 4,801,986 |
| 4,803,533 | 4,809,045 | 4,809,047 | 4,810,665 | 4,823,176 | 4,837,606 | 4,860,080 | 4,883,767 |
| 4,888,627 | 4,890,143 | 4,901,127 | 4,904,609 | 4,933,740 | 4,963,951 | 4,969,027 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

| | | HGTG20N60B3D | UNITS |
|---|---|---|---|
| Collector to Emitter Voltage | $BV_{CES}$ | 600 | V |
| Collector to Gate Voltage, $R_{GE} = 1M\Omega$ | $BV_{CGR}$ | 600 | V |
| Collector Current Continuous | $I_{C25}$ | 40 | A |
| At $T_C = 110^oC$ | $I_{C110}$ | 20 | A |
| Average Diode Forward Current at $110^oC$ | $I_{(AVG)}$ | 20 | A |
| Collector Current Pulsed (Note 1) | $I_{CM}$ | 160 | A |
| Gate to Emitter Voltage Continuous | $V_{GES}$ | ±20 | V |
| Gate to Emitter Voltage Pulsed | $V_{GEM}$ | ±30 | V |
| Switching Safe Operating Area at $T_C = 150^oC$ | SSOA | 30A at 600V | |
| Power Dissipation Total at $T_C = 25^oC$ | $P_D$ | 165 | W |
| Power Dissipation Derating $T_C > 25^oC$ | | 1.32 | W/°C |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | $T_J$, $T_{STG}$ | -40 to 150 | °C |
| Maximum Lead Temperature for Soldering | $T_L$ | 260 | °C |
| Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15V$ | $t_{SC}$ | 4 | µs |
| Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10V$ | $t_{SC}$ | 10 | µs |

*CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.*

NOTES:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2. $V_{CE} = 360V$, $T_C = 125^oC$, $R_G = 25\Omega$.

## Electrical Specifications $T_C = 25^oC$, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Collector to Emitter Breakdown Voltage | $BV_{CES}$ | $I_C = 250\mu A$, $V_{GE} = 0V$ | | 600 | - | - | V |
| Collector to Emitter Leakage Current | $I_{CES}$ | $V_{CE} = BV_{CES}$ | $T_C = 25^oC$ | - | - | 250 | µA |
| | | | $T_C = 150^oC$ | - | - | 2.0 | mA |
| Collector to Emitter Saturation Voltage | $V_{CE(SAT)}$ | $I_C = I_{C110}$, $V_{GE} = 15V$ | $T_C = 25^oC$ | - | 1.8 | 2.0 | V |
| | | | $T_C = 150^oC$ | - | 2.1 | 2.5 | V |
| Gate to Emitter Threshold Voltage | $V_{GE(TH)}$ | $I_C = 250\mu A$, $V_{CE} = V_{GE}$ | | 3.0 | 5.0 | 6.0 | V |
| Gate to Emitter Leakage Current | $I_{GES}$ | $V_{GE} = \pm 20V$ | | - | - | ±100 | nA |
| Switching SOA | SSOA | $T_C = 150^oC$, $V_{GE} = 15V$, $R_G = 10\Omega$, $L = 45\mu H$ | $V_{CE} = 480V$ | 100 | - | - | A |
| | | | $V_{CE} = 600V$ | 30 | - | - | A |
| Gate to Emitter Plateau Voltage | $V_{GEP}$ | $I_C = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.5\ BV_{CES}$ | | - | 8.0 | - | V |
| On-State Gate Charge | $Q_{G(ON)}$ | $I_C = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.5\ BV_{CES}$ | $V_{GE} = 15V$ | - | 80 | 105 | nC |
| | | | $V_{GE} = 20V$ | - | 105 | 135 | nC |
| Current Turn-On Delay Time | $t_{d(ON)I}$ | $T_C = 150^oC$, $I_{CE} = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.8\ BV_{CES}$, $V_{GE} = 15V$, $R_G = 10\Omega$, $L = 100\mu H$ | | - | 25 | - | ns |
| Current Rise Time | $t_{rI}$ | | | - | 20 | - | ns |
| Current Turn-Off Delay Time | $t_{d(OFF)I}$ | | | - | 220 | 275 | ns |
| Current Fall Time | $t_{fI}$ | | | - | 140 | 175 | ns |
| Turn-On Energy | $E_{ON}$ | | | - | 475 | - | µJ |
| Turn-Off Energy (Note 3) | $E_{OFF}$ | | | - | 1050 | - | µJ |
| Diode Forward Voltage | $V_{EC}$ | $I_{EC} = 20A$ | | - | 1.5 | 1.9 | V |
| Diode Reverse Recovery Time | $t_{rr}$ | $I_{EC} = 20A$, $dI_{EC}/dt = 100A/\mu s$ | | - | - | 55 | ns |
| | | $I_{EC} = 1A$, $dI_{EC}/dt = 100A/\mu s$ | | - | - | 45 | ns |
| Thermal Resistance | $R_{\theta JC}$ | IGBT | | - | - | 0.75 | °C/W |
| | | Diode | | - | - | 1.2 | °C/W |

NOTE:

3. Turn-Off Energy Loss ($E_{OFF}$) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ($I_{CE} = 0A$) The HGTG20N60B3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Curves

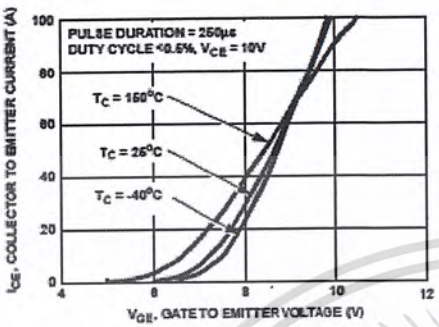



FIGURE 1. TRANSFER CHARACTERISTICS

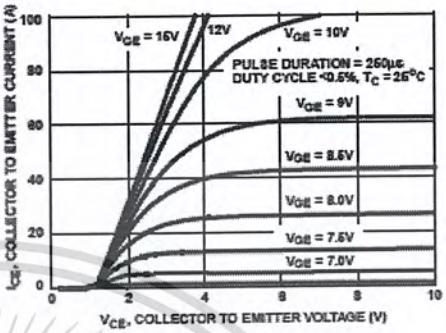



FIGURE 2. SATURATION CHARACTERISTICS

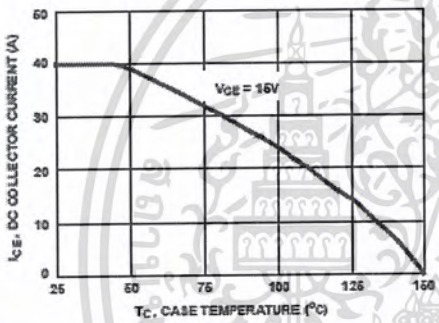



FIGURE 3. DC COLLECTOR CURRENT vs CASE TEMPERATURE

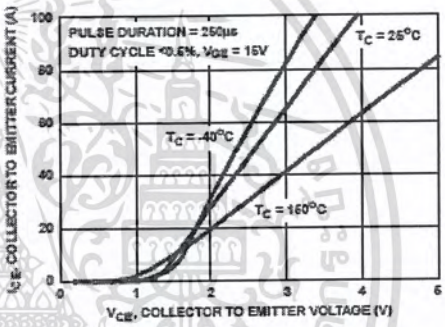



FIGURE 4. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

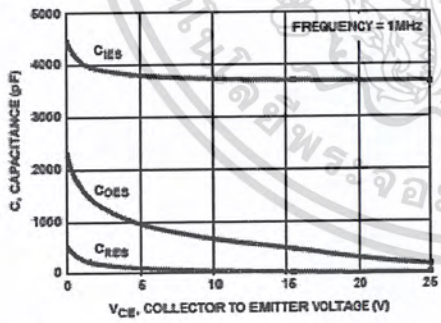



FIGURE 5. CAPACITANCE vs COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE

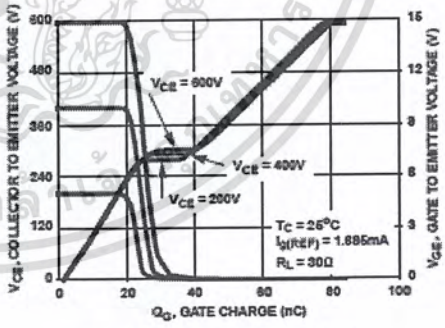



FIGURE 6. GATE CHARGE WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Curves (Continued)

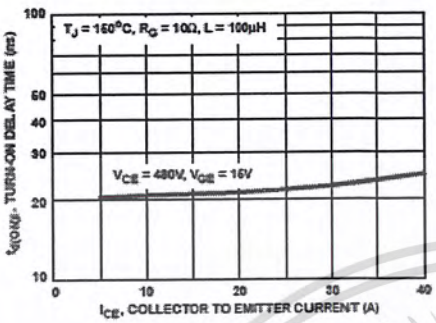



FIGURE 7. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURREN T

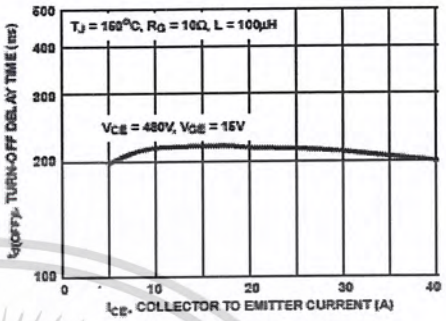



FIGURE 8. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

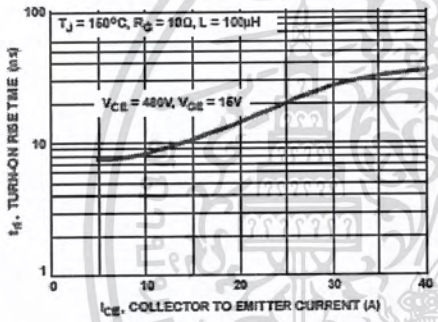



FIGURE 9. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

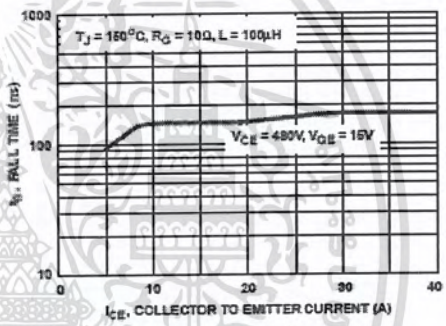
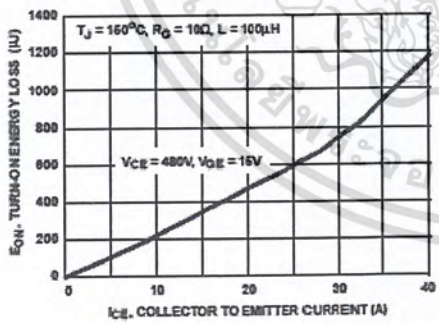
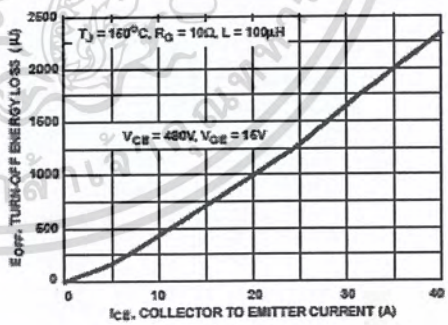



FIGURE 10. TURN-OFF FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Curves (Continued)

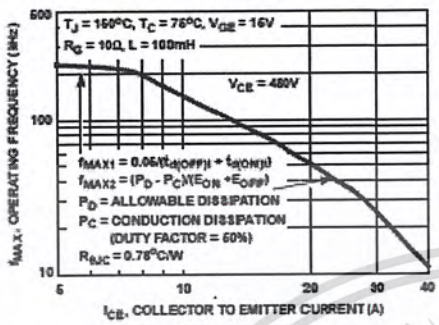



FIGURE 13. OPERATING FREQUENCY vs COLLECTOR TO EMITTER CURREN T

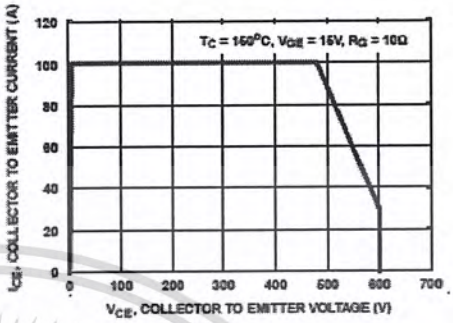



FIGURE 14. SWITCHING SAFE OPERATING AREA

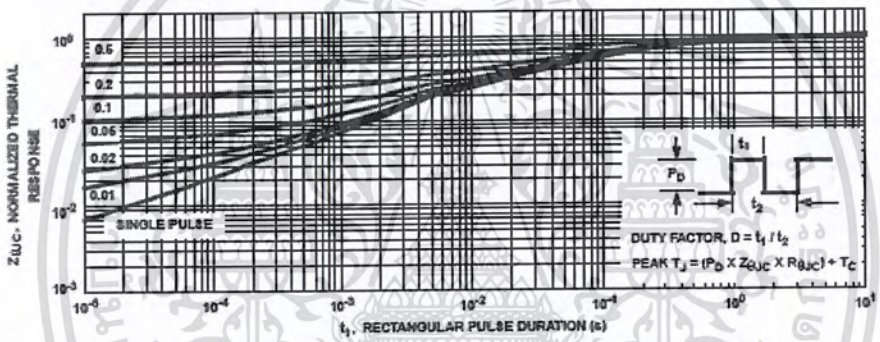



FIGURE 15. IGBT NORMALIZED TRANSIENT THERMAL RESPONSE, JUNCTION TO CASE

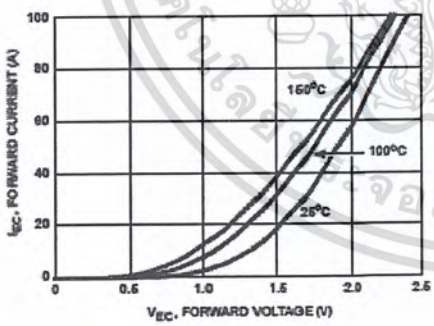



FIGURE 16. DIODE FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE DROP

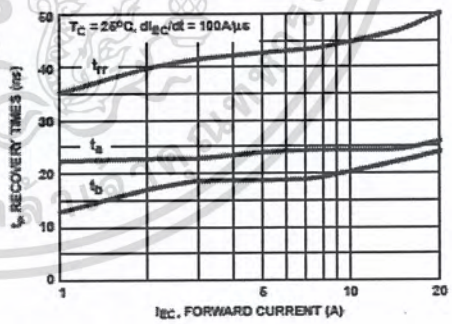



FIGURE 17. RECOVERY TIMES vs FORWARD CURRENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Test Circuit and Waveform

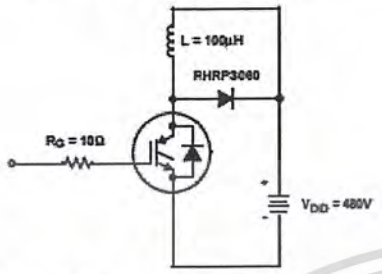



FIGURE 18. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

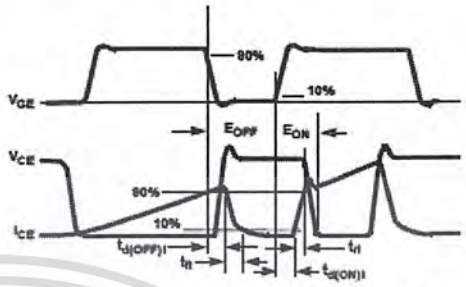



FIGURE 19. SWITCHING TEST WAVEFORMS

## Handling Precautions for IGBTs

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and discharge procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECOSORBD™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of $V_{GEM}$. Exceeding the rated $V_{GE}$ can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external zener is recommended.

## Operating Frequency Information

Operating frequency information for a typical device (Figure 13) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current ($I_{CE}$) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 4, 7, 8, 11 and 12. The operating frequency plot (Figure 13) of a typical device shows $f_{MAX1}$ or $f_{MAX2}$ whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

$f_{MAX1}$ is defined by $f_{MAX1} = 0.05/(t_{d(OFF)I} + t_{d(ON)I})$. Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on- state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible. $t_{d(OFF)I}$ and $t_{d(ON)I}$ are defined in Figure 19.

Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than $T_{JM}$. $t_{d(OFF)I}$ is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

$f_{MAX2}$ is defined by $f_{MAX2} = (P_D - P_C)/(E_{OFF} + E_{ON})$. The allowable dissipation ($P_D$) is defined by $P_D = (T_{JM} - T_C)/R_{\theta JC}$. The sum of device switching and conduction losses must not exceed $P_D$. A 50% duty factor was used (Figure 13) and the conduction losses ($P_C$) are approximated by $P_C = (V_{CE} \times I_{CE})/2$.

$E_{ON}$ and $E_{OFF}$ are defined in the switching waveforms shown in Figure 19. $E_{ON}$ is the integral of the instantaneous power loss ($I_{CE} \times V_{CE}$) during turn-on and $E_{OFF}$ is the integral of the instantaneous power loss during turn-off. All tail losses are included in the calculation for $E_{OFF}$; i.e. the collector current equals zero ($I_{CE} = 0$).

ข.2 เอกสารคู่มือการใช้งาน IR2101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International
IOR Rectifier

Data Sheet No. PD60043 Rev.O

# IR2101(S)/IR2102(S) &(PbF)

## HIGH AND LOW SIDE DRIVER

### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
  Fully operational to +600V
  Tolerant to negative transient voltage
  dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout
- 3.3V, 5V, and 15V logic input compatible
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs (IR2101) or out of phase with inputs (IR2102)
- Also available LEAD-FREE

### Product Summary

| | |
|---|---|
| $V_{OFFSET}$ | 600V max. |
| Io+/- | 130 mA / 270 mA |
| $V_{OUT}$ | 10 - 20V |
| $t_{on/off}$ (typ.) | 160 & 150 ns |
| Delay Matching | 50 ns |

### Packages

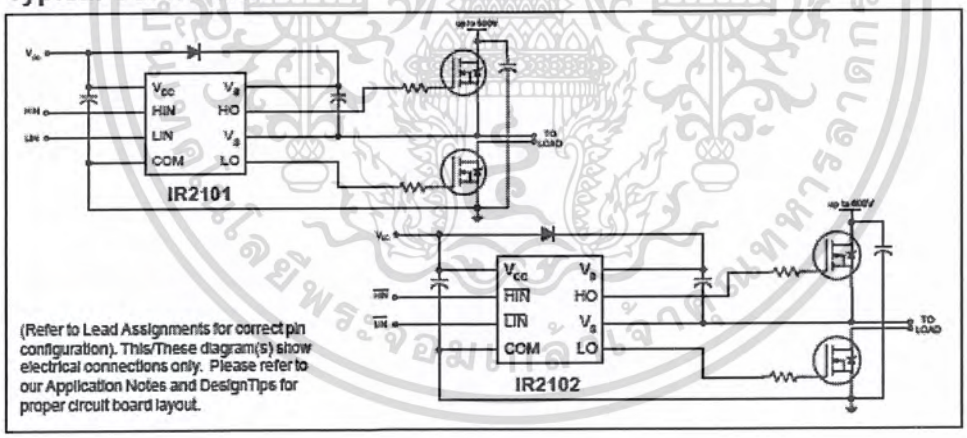
8-Lead SOIC
IR2101S/IR2102S

8-Lead PDIP
IR2101/IR2102

### Description

The IR2101(S)/IR2102(S) are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. The logic input is compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

### Typical Connection




(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and DesignTips for proper circuit board layout.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions.

| Symbol | Definition | | Min. | Max. | Units |
|---|---|---|---|---|---|
| $V_B$ | High side floating supply voltage | | -0.3 | 625 | V |
| $V_S$ | High side floating supply offset voltage | | $V_B$ - 25 | $V_B$ + 0.3 | |
| $V_{HO}$ | High side floating output voltage | | $V_S$ - 0.3 | $V_B$ + 0.3 | |
| $V_{CC}$ | Low side and logic fixed supply voltage | | -0.3 | 25 | |
| $V_{LO}$ | Low side output voltage | | -0.3 | $V_{CC}$ + 0.3 | |
| $V_{IN}$ | Logic input voltage (HIN & LIN) | | -0.3 | $V_{CC}$ + 0.3 | |
| $dV_S/dt$ | Allowable offset supply voltage transient | | — | 50 | V/ns |
| $P_D$ | Package power dissipation @ $T_A \leq +25°C$ | (8 lead PDIP) | — | 1.0 | W |
| | | (8 lead SOIC) | — | 0.625 | |
| $Rth_{JA}$ | Thermal resistance, junction to ambient | (8 lead PDIP) | — | 125 | °C/W |
| | | (8 lead SOIC) | — | 200 | |
| $T_J$ | Junction temperature | | — | 150 | °C |
| $T_S$ | Storage temperature | | -55 | 150 | |
| $T_L$ | Lead temperature (soldering, 10 seconds) | | — | 300 | |

## Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The $V_S$ offset rating is tested with all supplies biased at 15V differential.

| Symbol | Definition | Min. | Max. | Units |
|---|---|---|---|---|
| $V_B$ | High side floating supply absolute voltage | $V_S$ + 10 | $V_S$ + 20 | V |
| $V_S$ | High side floating supply offset voltage | Note 1 | 600 | |
| $V_{HO}$ | High side floating output voltage | $V_S$ | $V_B$ | |
| $V_{CC}$ | Low side and logic fixed supply voltage | 10 | 20 | |
| $V_{LO}$ | Low side output voltage | 0 | $V_{CC}$ | |
| $V_{IN}$ | Logic input voltage (HIN & LIN) (IR2101) & ($\overline{HIN}$ & $\overline{LIN}$) (IR2102) | 0 | $V_{CC}$ | |
| $T_A$ | Ambient temperature | -40 | 125 | °C |

**Note 1:** Logic operational for $V_S$ of -5 to +600V. Logic state held for $V_S$ of -5V to $-V_{BS}$. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$ ($V_{CC}$, $V_{BS}$) = 15V, $C_L$ = 1000 pF and $T_A$ = 25°C unless otherwise specified.

| Symbol | Definition | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_{on}$ | Turn-on propagation delay | — | 160 | 220 | ns | $V_S$ = 0V |
| $t_{off}$ | Turn-off propagation delay | — | 150 | 220 | | $V_S$ = 600V |
| $t_r$ | Turn-on rise time | — | 100 | 170 | | |
| $t_f$ | Turn-off fall time | — | 50 | 90 | | |
| MT | Delay matching, HS & LS turn-on/off | — | — | 50 | | |

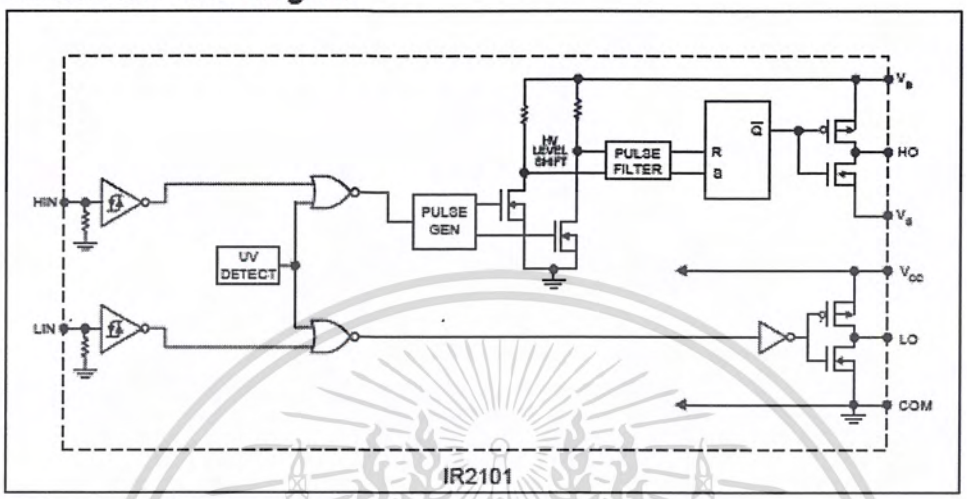
## Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$ ($V_{CC}$, $V_{BS}$) = 15V and $T_A$ = 25°C unless otherwise specified. The $V_{IN}$, $V_{TH}$ and $I_{IN}$ parameters are referenced to COM. The $V_O$ and $I_O$ parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

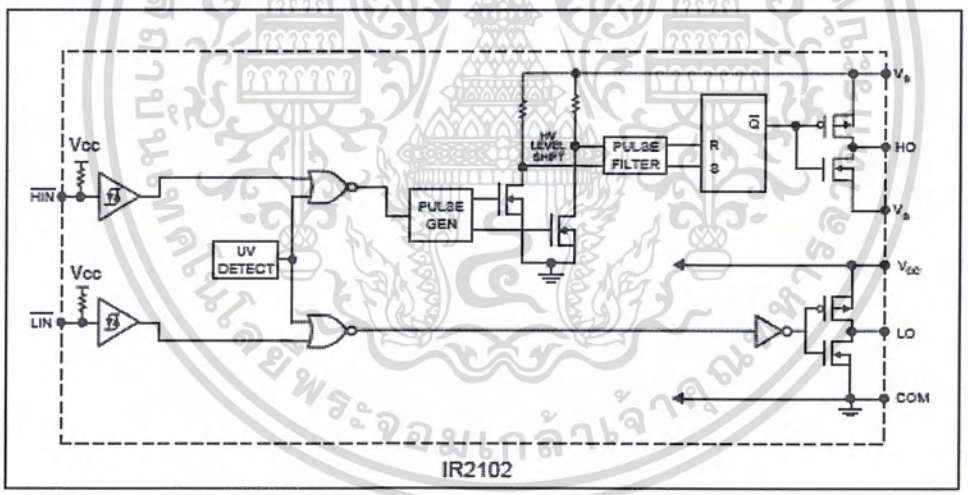
| Symbol | Definition | Min. | Typ. | Max. | Units | Test Conditions |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{IH}$ | Logic "1" input voltage (IR2101)<br>Logic "0" input voltage (IR2102) | 3 | — | — | V | $V_{CC}$ = 10V to 20V |
| $V_{IL}$ | Logic "0" input voltage (IR2101)<br>Logic "1" input voltage (IR2102) | — | — | 0.8 | | $V_{CC}$ = 10V to 20V |
| $V_{OH}$ | High level output voltage, $V_{BIAS}$ - $V_O$ | — | — | 100 | mV | $I_O$ = 0A |
| $V_{OL}$ | Low level output voltage, $V_O$ | — | — | 100 | | $I_O$ = 0A |
| $I_{LK}$ | Offset supply leakage current | — | — | 50 | μA | $V_B$ = $V_S$ = 600V |
| $I_{QBS}$ | Quiescent $V_{BS}$ supply current | — | 30 | 55 | | $V_{IN}$ = 0V or 5V |
| $I_{QCC}$ | Quiescent $V_{CC}$ supply current | — | 150 | 270 | | $V_{IN}$ = 0V or 5V |
| $I_{IN+}$ | Logic "1" input bias current | — | 3 | 10 | | $V_{IN}$ = 5V (IR2101)<br>$V_{IN}$ = 0V (IR2102) |
| $I_{IN-}$ | Logic "0" input bias current | — | — | 1 | | $V_{IN}$ = 0V (IR2101)<br>$V_{IN}$ = 5V (IR2102) |
| $V_{CCUV+}$ | $V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold | 8 | 8.9 | 9.8 | V | |
| $V_{CCUV-}$ | $V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold | 7.4 | 8.2 | 9 | | |
| $I_{O+}$ | Output high short circuit pulsed current | 130 | 210 | — | mA | $V_O$ = 0V<br>$V_{IN}$ = Logic "1"<br>PW ≤ 10 μs |
| $I_{O-}$ | Output low short circuit pulsed current | 270 | 360 | — | | $V_O$ = 15V<br>$V_{IN}$ = Logic "0"<br>PW ≤ 10 μs |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Functional Block Diagram




IR2101



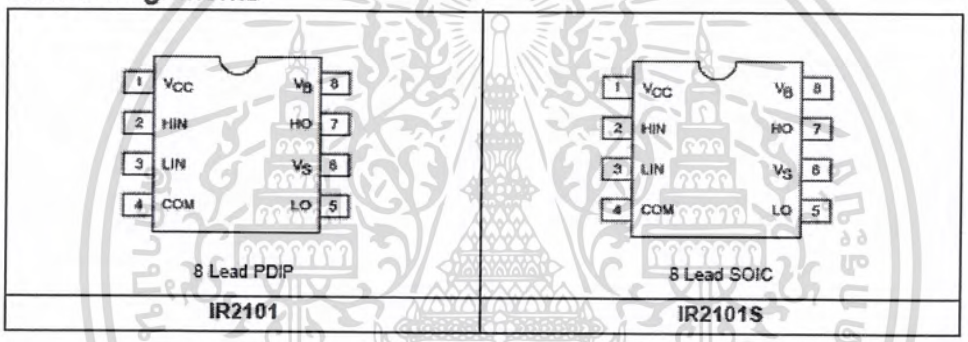

IR2102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

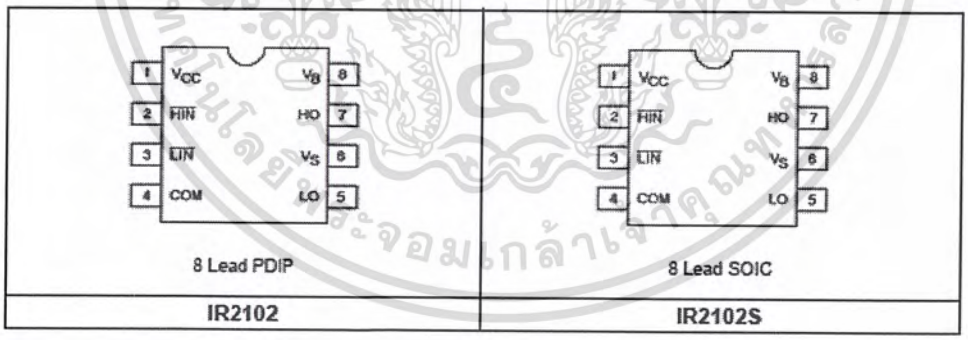
## Lead Definitions

| Symbol | Description |
|---|---|
| HIN | Logic input for high side gate driver output (HO), in phase (IR2101) |
| $\overline{HIN}$ | Logic input for high side gate driver output (HO), out of phase (IR2102) |
| LIN | Logic input for low side gate driver output (LO), in phase (IR2101) |
| $\overline{LIN}$ | Logic input for low side gate driver output (LO), out of phase (IR2102) |
| $V_B$ | High side floating supply |
| HO | High side gate drive output |
| VS | High side floating supply return |
| VCC | Low side and logic fixed supply |
| LO | Low side gate drive output |
| COM | Low side return |

## Lead Assignments




IR2101 | IR2101S




IR2102 | IR2102S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

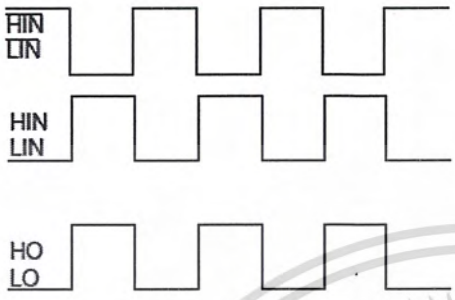



Figure 1. Input/Output Timing Diagram

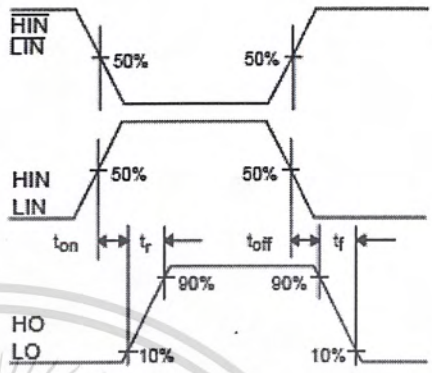



Figure 2. Switching Time Waveform Definitions

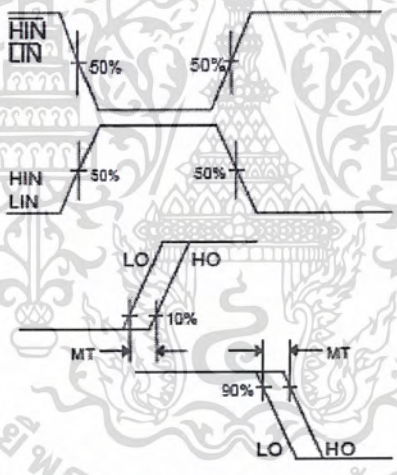



Figure 3. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

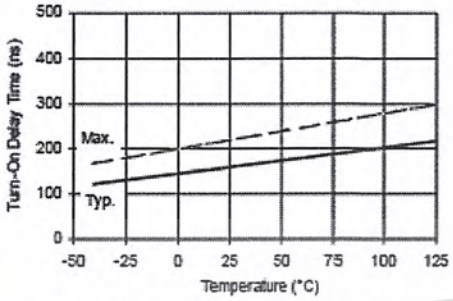



Figure 6A. Turn-On Time vs Temperature

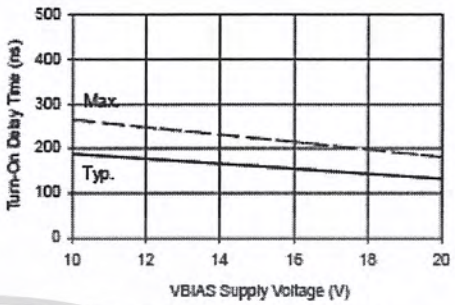



Figure 6B. Turn-On Time vs Supply Voltage

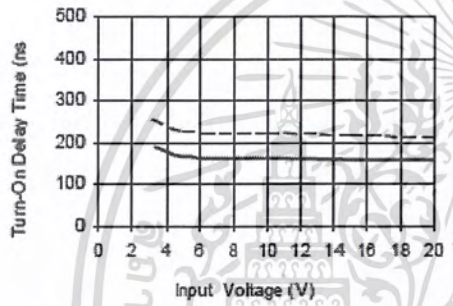



Figure 6C. Turn-On Time vs Input Voltage

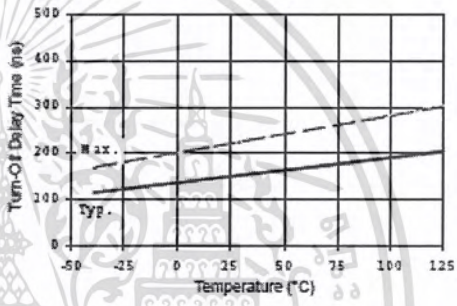



Figure 7A. Turn-Off Time vs Temperature

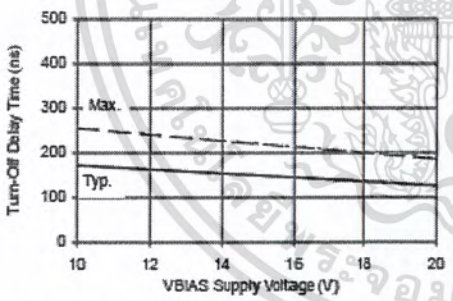



Figure 7B. Turn-Off Time vs Supply Voltage

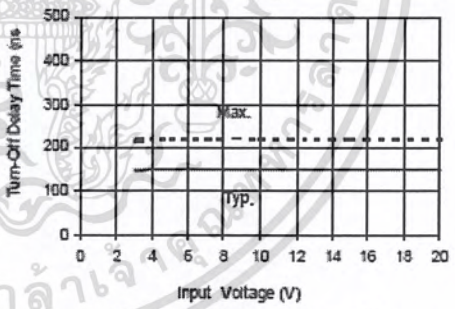



Figure 7C. Turn-Off Time vs Input Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

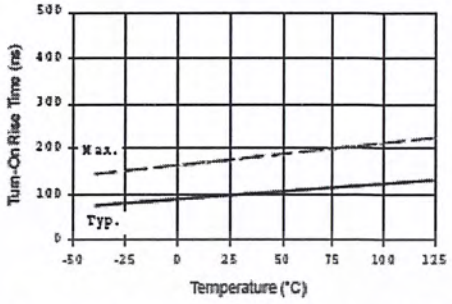



Figure 9A. Turn-On Rise Time vs Temperature

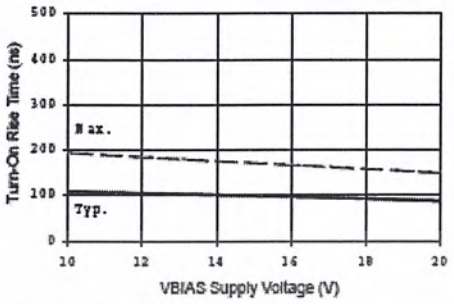



Figure 9B. Turn-On Rise Time vs Voltage

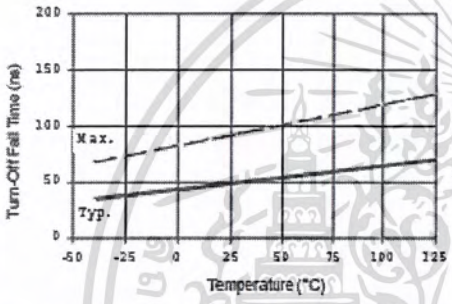



Figure 10A. Turn-Off Fall Time vs Temperature

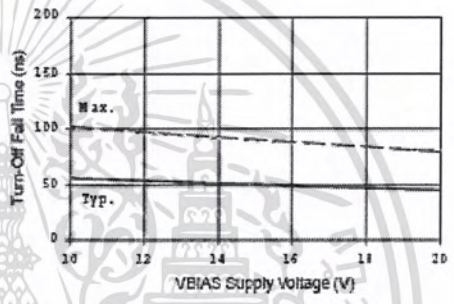



Figure 10B. Turn-Off Fall Time vs Voltage

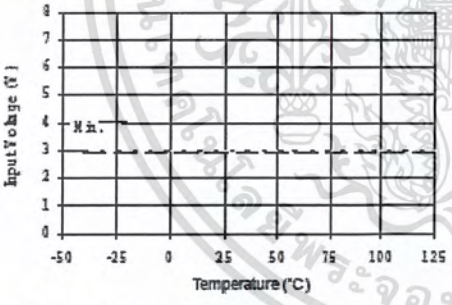



Figure 12A. Logic "1" Input Voltage (IR2101)
Logic "0" Input Voltage (IR2102)
vs Temperature

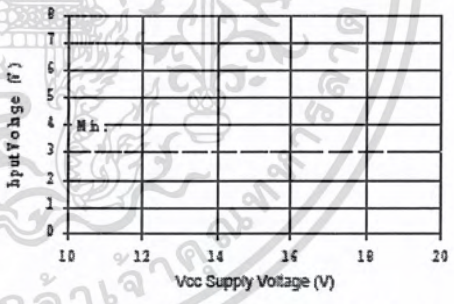



Figure 12B. Logic "1" Input Voltage (IR2101)
Logic "0" Input Voltage (IR2102)
vs Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

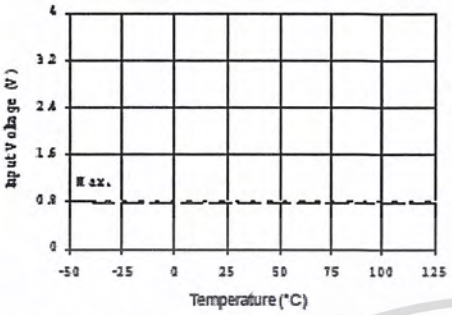



Figure 13A. Logic "0" Input Voltage (IR2101)
Logic "1" Input Voltage (IR2102)
vs Temperature

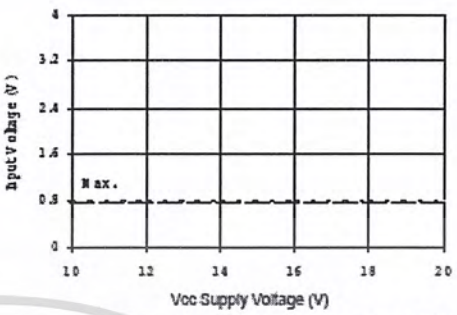



Figure 13B. Logic "0" Input Voltage (IR2101)
Logic "1" Input Voltage (IR2102)
vs Voltage

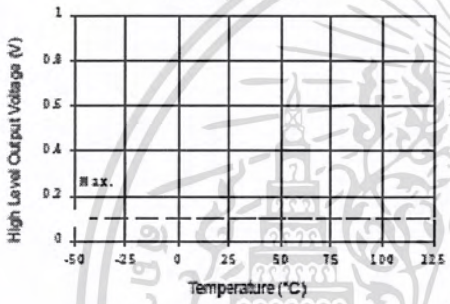



Figure 14A. High Level Output
vs Temperature

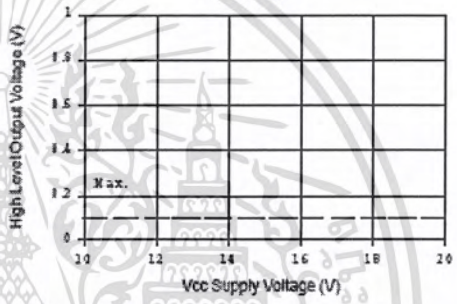



Figure 14B. High Level Output vs Voltage

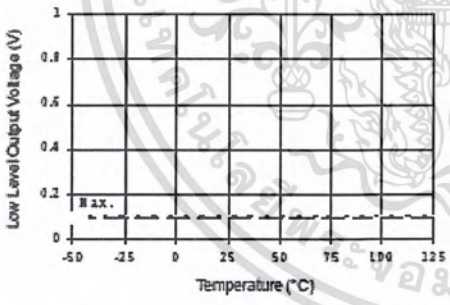



Figure 15A. Low Level Output
vs Temperature

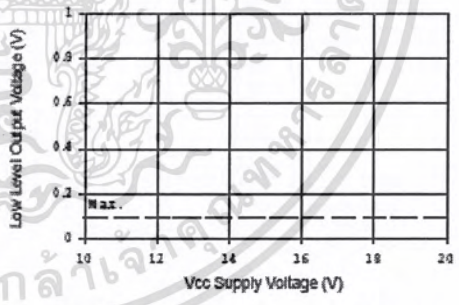



Figure 15B. Low level Output vs Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

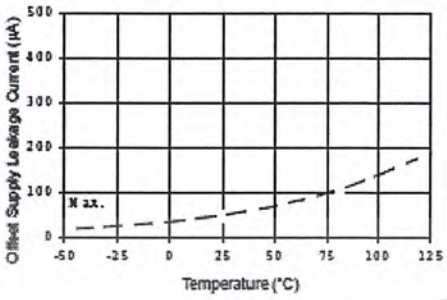



Figure 16A. Offset Supply Current vs Temperature

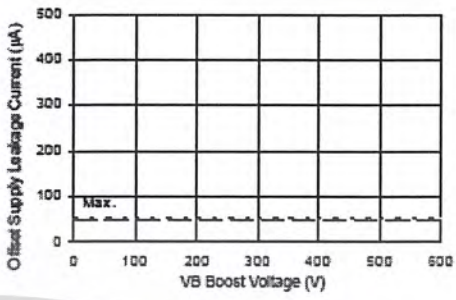



Figure 16B. Offset Supply Current vs Voltage

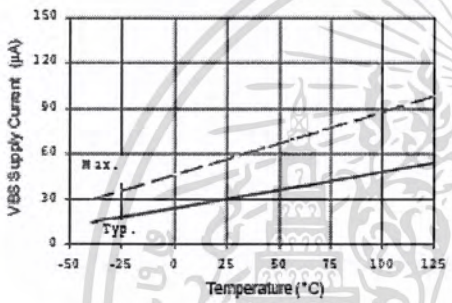



Figure 17A. VBS Supply Current vs Temperature

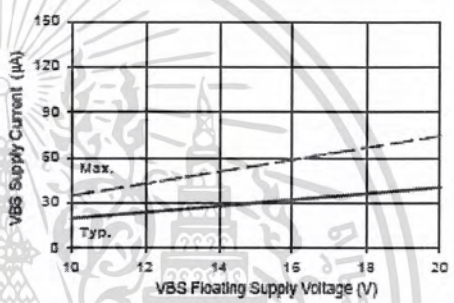



Figure 17B. VBS Supply Current vs Voltage

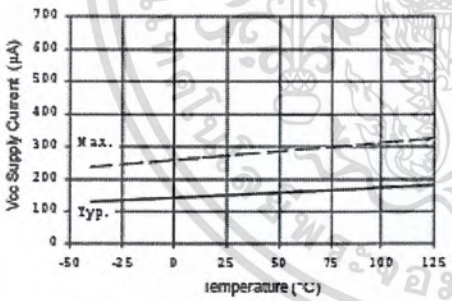



Figure 18A. Vcc Supply Current vs Temperature

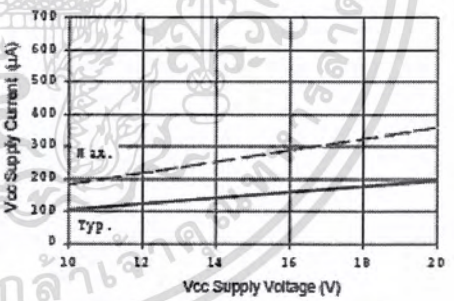



Figure 18B. Vcc Supply Current vs Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

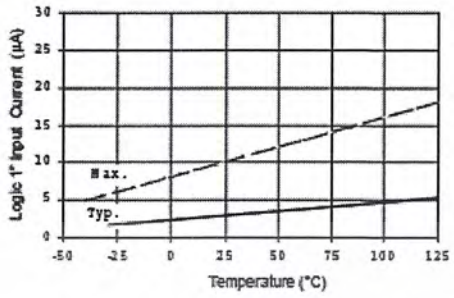



Figure 19A. Logic"1" Input Current vs Temperature

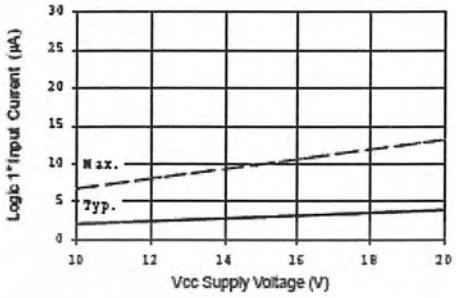



Figure 19B. Logic"1" Input Current vs Voltage

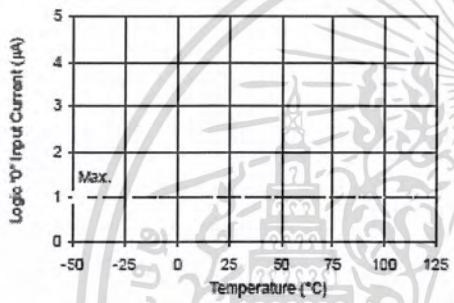



Figure 20A. Logic "0" Input Current vs Temperature

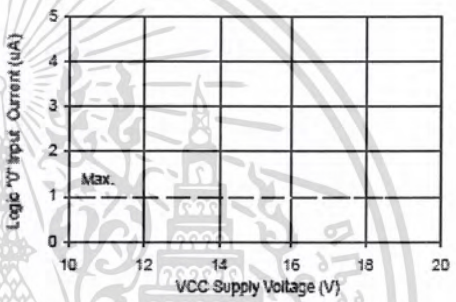



Figure 20B. Logic "0" Input Current vs Voltage

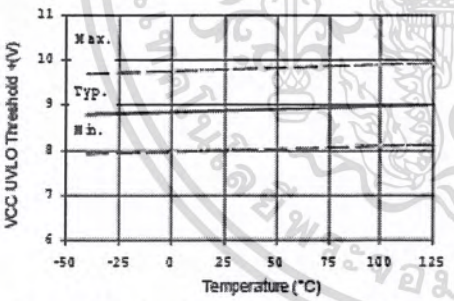



Figure 21A. Vcc Undervoltage Threshold(+) vs Temperature

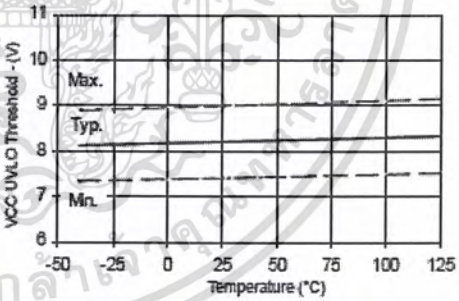



Figure 21B. Vcc Undervoltage Threshold(-) vs Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

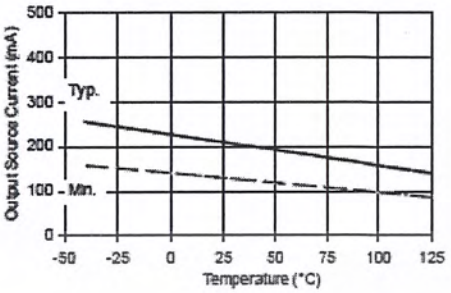



Figure 22A. Output Source Current vs Temperature

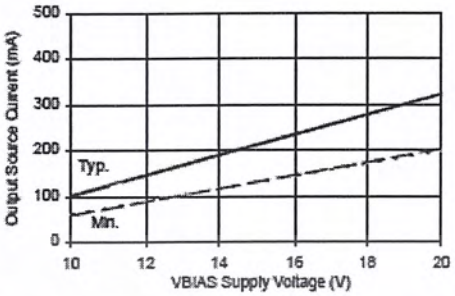



Figure 22B. Output Source Current vs Voltage

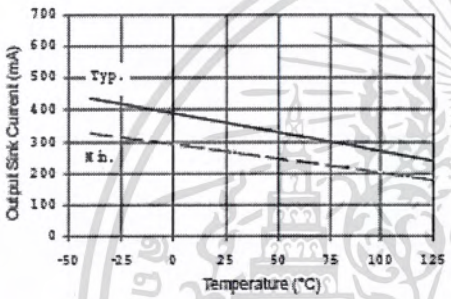



Figure 23A. Output Sink Current vs Temperature

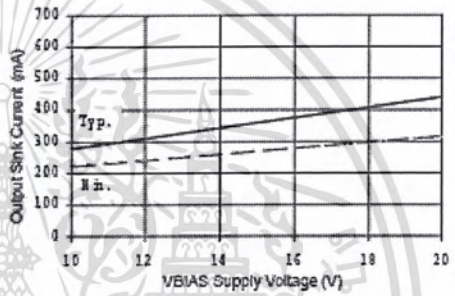
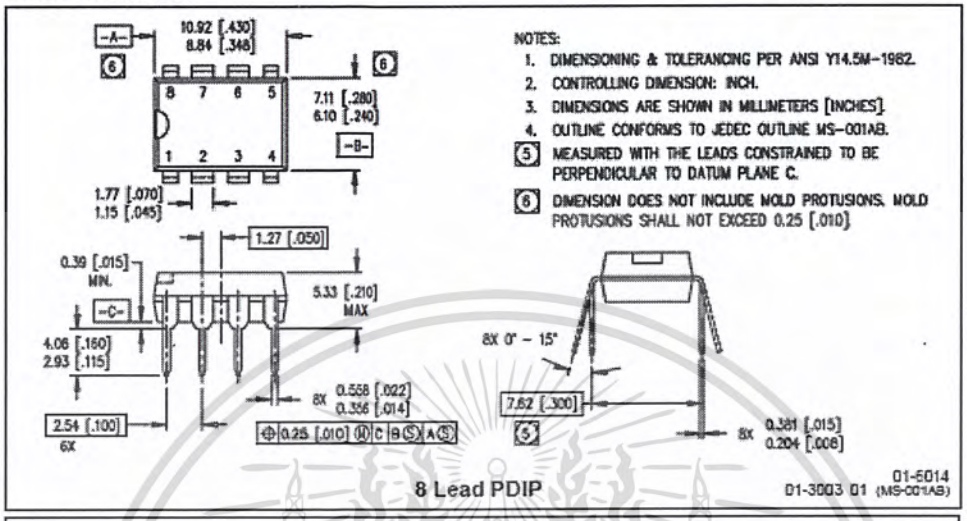


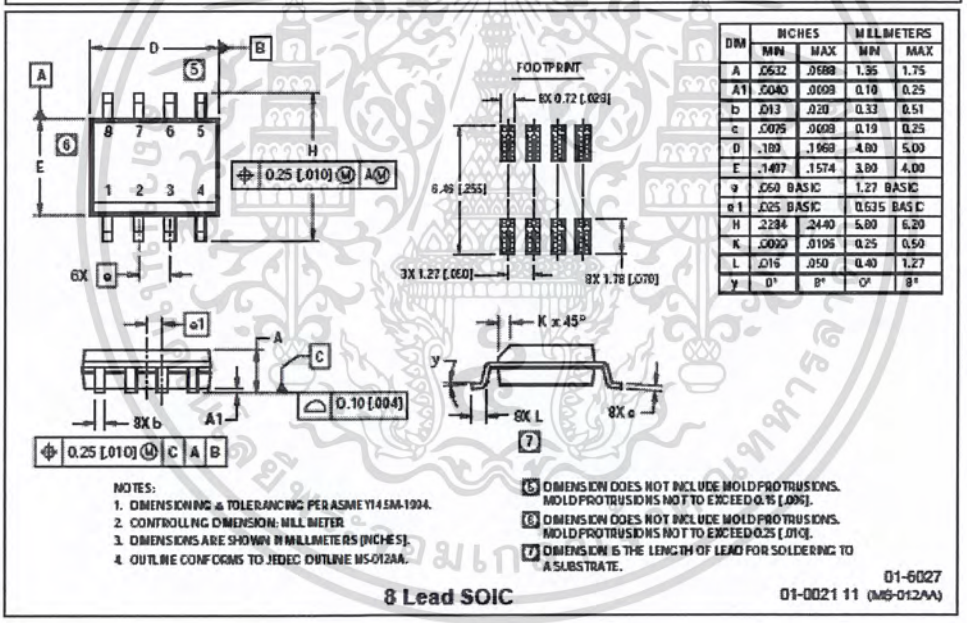

Figure 23B. Output Sink Current vs Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Case outlines




8 Lead PDIP

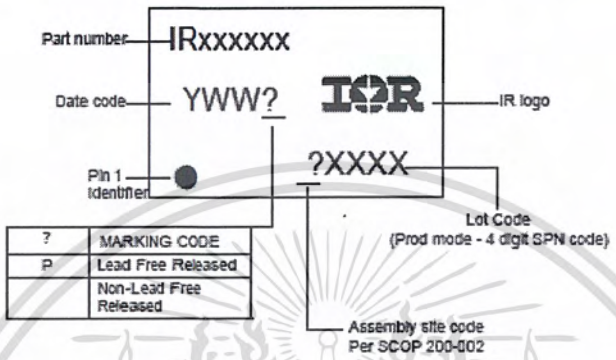



| DIM | INCHES | | MILLIMETERS | |
|---|---|---|---|---|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | .0532 | .0688 | 1.35 | 1.75 |
| A1 | .0040 | .0098 | 0.10 | 0.25 |
| b | .013 | .020 | 0.33 | 0.51 |
| c | .0075 | .0098 | 0.19 | 0.25 |
| D | .189 | .1968 | 4.80 | 5.00 |
| E | .1497 | .1574 | 3.80 | 4.00 |
| e | .050 BASIC | | 1.27 BASIC | |
| e1 | .025 BASIC | | 0.635 BASIC | |
| H | .2284 | .2440 | 5.80 | 6.20 |
| K | .0099 | .0196 | 0.25 | 0.50 |
| L | .016 | .050 | 0.40 | 1.27 |
| y | 0° | 8° | 0° | 8° |

8 Lead SOIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LEADFREE PART MARKING INFORMATION




## ORDER INFORMATION

| Basic Part (Non-Lead Free) | Leadfree Part |
|---|---|
| 8-Lead PDIP IR2101 order IR2101 | 8-Lead PDIP IR2101 order IR2101PbF |
| 8-Lead SOIC IR2101S order IR2101S | 8-Lead SOIC IR2101S order IR2101SPbF |
| 8-Lead PDIP IR2102 order IR2102 | 8-Lead PDIP IR2102 order IR2102PbF |
| 8-Lead SOIC IR2102S order IR2102S | 8-Lead SOIC IR2102S order IR2102SPbF |

ข.3 เอกสารคู่มือการใช้งาน dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

# dsPIC30F4011/4012

## dsPIC30F4011/4012 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

**Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).**

### High Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 84 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbytes of non-volatile data EEPROM
- Up to 30 MIPs operation:
  - DC to 40 MHz external clock input
  - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 30 interrupt sources
  - 3 external interrupt sources
  - 8 user selectable priority levels for each interrupt source
  - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

### DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions single cycle
- ± 16-bit single cycle shift

### Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
  - Five 16-bit timers/counters; optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- $I^2C$™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 1 CAN modules, 2.0B compliant

### Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
  - Complementary or Independent Output modes
  - Edge and Center Aligned modes
- 3 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

### Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# dsPIC30F4011/4012

### Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H Inputs:
  - 500 Ksps conversion rate
  - 9 input channels
  - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

### Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
  - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
  - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
  - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

### CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

### dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

| Device | Pins | Program Mem. Bytes/ Instructions | SRAM Bytes | EEPROM Bytes | Timer 16-bit | Input Cap | Output Comp/Std PWM | Moto Control PWM | A/D 10-bit 500 Ksps | Quad Enc | UART | SPI™ | I²C™ | CAN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dsPIC30F2010 | 28 | 12K/4K | 512 | 1024 | 3 | 4 | 2 | 6 ch | 6 ch | Yes | 1 | 1 | 1 | - |
| dsPIC30F3010 | 28 | 24K/8K | 1024 | 1024 | 5 | 4 | 2 | 6 ch | 6 ch | Yes | 1 | 1 | 1 | - |
| dsPIC30F4012 | 28 | 48K/16K | 2048 | 1024 | 5 | 4 | 2 | 6 ch | 6 ch | Yes | 1 | 1 | 1 | 1 |
| dsPIC30F3011 | 40/44 | 24K/8K | 1024 | 1024 | 5 | 4 | 4 | 6 ch | 9 ch | Yes | 2 | 1 | 1 | - |
| dsPIC30F4011 | 40/44 | 48K/16K | 2048 | 1024 | 5 | 4 | 4 | 6 ch | 9 ch | Yes | 2 | 1 | 1 | 1 |
| dsPIC30F5015 | 64 | 66K/22K | 2048 | 1024 | 5 | 4 | 4 | 8 ch | 16 ch | Yes | 1 | 2 | 1 | 1 |
| dsPIC30F6010 | 80 | 144K/48K | 8192 | 4096 | 5 | 8 | 8 | 8 ch | 16 ch | Yes | 2 | 2 | 1 | 2 |

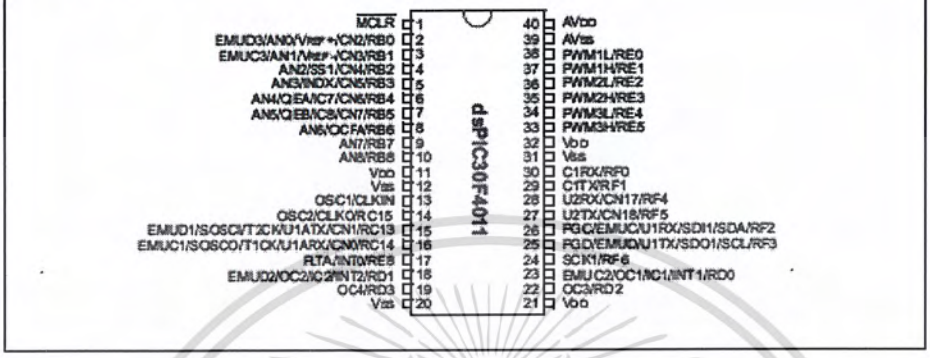
* This table provides a summary of the dsPIC30F6010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

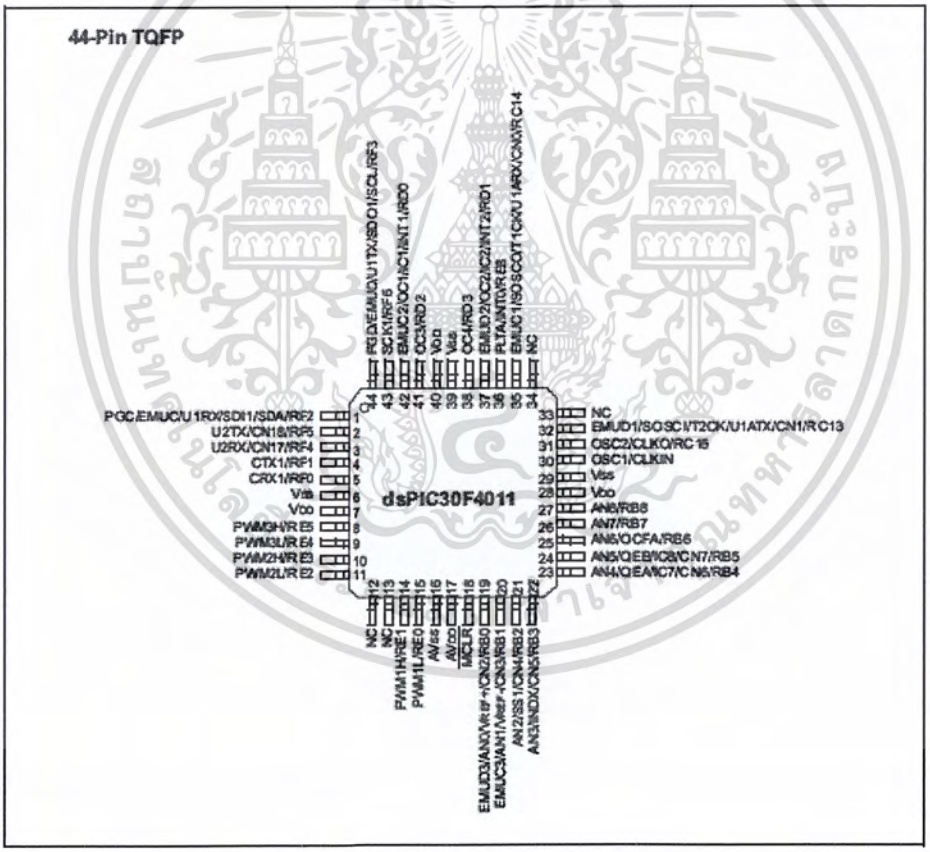
# dsPIC30F4011/4012

**Pin Diagrams**

**40-Pin PDIP**

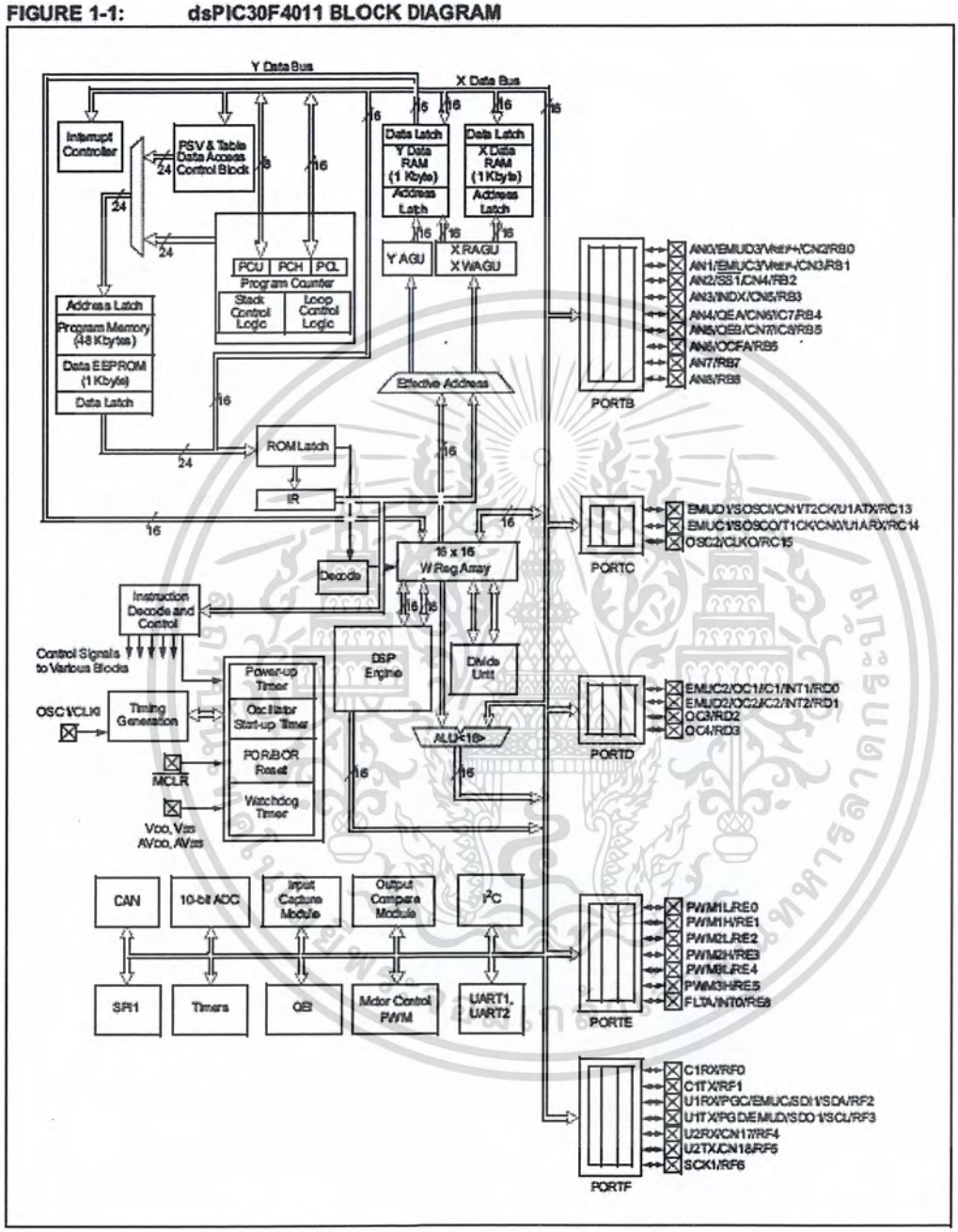



**44-Pin TQFP**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 1-1: dsPIC30F4011 BLOCK DIAGRAM**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TABLE 1-1: dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS**

| Pin Name | Pin Type | Buffer Type | Description |
|---|---|---|---|
| AN0-AN8 | I | Analog | Analog input channels.<br>AN0 and AN1 are also used for device programming data and clock inputs, respectively. |
| AVDD | P | P | Positive supply for analog module. |
| AVSS | P | P | Ground reference for analog module. |
| CLKI<br>CLKO | I<br>O | ST/CMOS<br>— | External clock source input. Always associated with OSC1 pin function.<br>Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. Always associated with OSC2 pin function. |
| CN0-CN7<br>CN17-CN18 | I | ST | Input change notification inputs.<br>Can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. |
| C1RX<br>C1TX | I<br>O | ST<br>— | CAN1 bus receive pin.<br>CAN1 bus transmit pin. |
| EMUD<br>EMUC<br>EMUD1<br>EMUC1<br>EMUD2<br>EMUC2<br>EMUD3<br>EMUC3 | I/O<br>I/O<br>I/O<br>I/O<br>I/O<br>I/O<br>I/O<br>I/O | ST<br>ST<br>ST<br>ST<br>ST<br>ST<br>ST<br>ST | ICD Primary Communication Channel data input/output pin.<br>ICD Primary Communication Channel clock input/output pin.<br>ICD Secondary Communication Channel data input/output pin.<br>ICD Secondary Communication Channel clock input/output pin.<br>ICD Tertiary Communication Channel data input/output pin.<br>ICD Tertiary Communication Channel clock input/output pin.<br>ICD Quaternary Communication Channel data input/output pin.<br>ICD Quaternary Communication Channel clock input/output pin. |
| IC1, IC2, IC7, IC8 | I | ST | Capture inputs 1, 2, 7 and 8. |
| INDX<br>QEA<br><br>QEB | I<br>I<br><br>I | ST<br>ST<br><br>ST | Quadrature Encoder Index Pulse input.<br>Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode.<br>Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode.<br>Quadrature Encoder Phase A input in QEI mode.<br>Auxiliary Timer External Clock/Gate input in Timer mode. |
| INT0<br>INT1<br>INT2 | I<br>I<br>I | ST<br>ST<br>ST | External interrupt 0.<br>External interrupt 1.<br>External interrupt 2. |
| FLTA<br>PWM1L<br>PWM1H<br>PWM2L<br>PWM2H<br>PWM3L<br>PWM3H | I<br>O<br>O<br>O<br>O<br>O<br>O | ST<br>—<br>—<br>—<br>—<br>—<br>— | PWM Fault A input.<br>PWM 1 Low output.<br>PWM 1 High output.<br>PWM 2 Low output.<br>PWM 2 High output.<br>PWM 3 Low output.<br>PWM 3 High output. |
| $\overline{MCLR}$ | I/P | ST | Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low Reset to the device. |
| OCFA<br>OC1-OC4 | I<br>O | ST<br>— | Compare Fault A input (for Compare channels 1, 2, 3 and 4).<br>Compare outputs 1 through 4. |

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output; Analog = Analog input
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels; O = Output
I = Input; P = Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

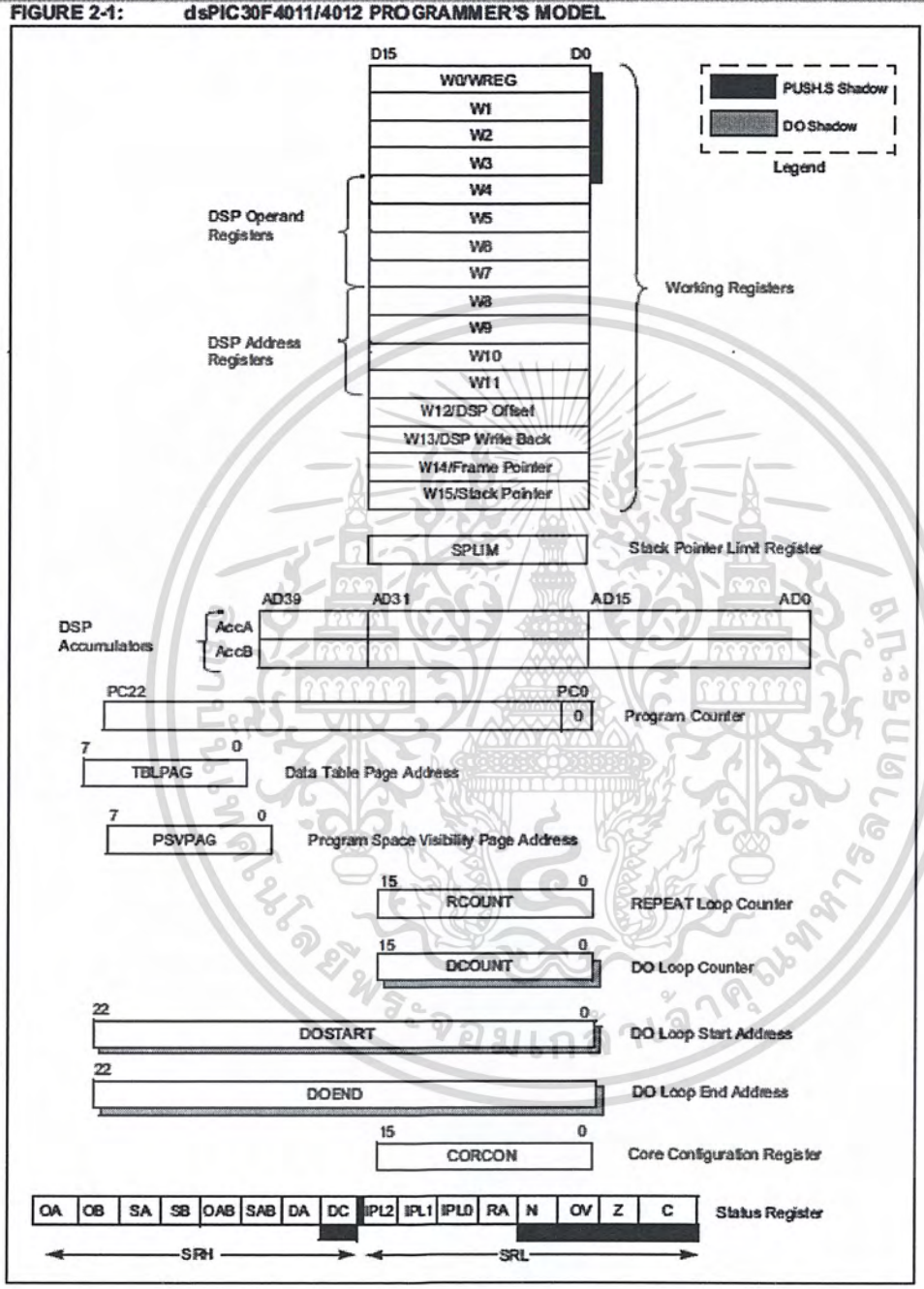
**TABLE 1-1: dsPIC30F4011 I/O PIN DESCRIPTIONS (CONTINUED)**

| Pin Name | Pin Type | Buffer Type | Description |
|---|---|---|---|
| OSC1<br>OSC2 | I<br>I/O | ST/CMOS<br>— | Oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise.<br>Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. Optionally functions as CLKO in RC and EC modes. |
| PGD<br>PGC | I/O<br>I | ST<br>ST | In-Circuit Serial Programming data input/output pin.<br>In-Circuit Serial Programming clock input pin. |
| RB0-RB8 | I/O | ST | PORTB is a bidirectional I/O port. |
| 8RC13-RC15 | 8I/O | 8ST | PORTC is a bidirectional I/O port. |
| RD0-RD3 | I/O | ST | PORTD is a bidirectional I/O port. |
| RE0-RE5,<br>RE8 | I/O | ST | PORTE is a bidirectional I/O port. |
| RF0-RF6 | I/O | ST | PORTF is a bidirectional I/O port. |
| SCK1<br>SDI1<br>SDO1<br>SS1 | I/O<br>I<br>O<br>I | ST<br>ST<br>—<br>ST | Synchronous serial clock input/output for SPI™ 1.<br>SPI 1 Data In.<br>SPI 1 Data Out.<br>SPI 1 Slave Synchronization. |
| SCL<br>SDA | I/O<br>I/O | ST<br>ST | Synchronous serial clock input/output for $I^2C$.<br>Synchronous serial data input/output for $I^2C$. |
| SOSCO<br>SOSCI | O<br>I | —<br>ST/CMOS | 32 kHz low power oscillator crystal output.<br>32 kHz low power oscillator crystal input. ST buffer when configured in RC mode; CMOS otherwise. |
| T1CK<br>T2CK | I<br>I | ST<br>ST | Timer1 external clock input.<br>Timer2 external clock input. |
| U1RX<br>U1TX<br>U1ARX<br>U1ATX<br>U2RX<br>U2TX | I<br>O<br>I<br>O<br>I<br>O | ST<br>—<br>ST<br>—<br>ST<br>— | UART1 Receive.<br>UART1 Transmit.<br>UART1 Alternate Receive.<br>UART1 Alternate Transmit.<br>UART2 Receive.<br>UART2 Transmit. |
| VDD | P | — | Positive supply for logic and I/O pins. |
| VSS | P | — | Ground reference for logic and I/O pins. |
| VREF+ | I | Analog | Analog Voltage Reference (High) input. |
| VREF- | I | Analog | Analog Voltage Reference (Low) input. |

Legend: CMOS = CMOS compatible input or output Analog = Analog input
ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels O = Output
I = Input P = Power

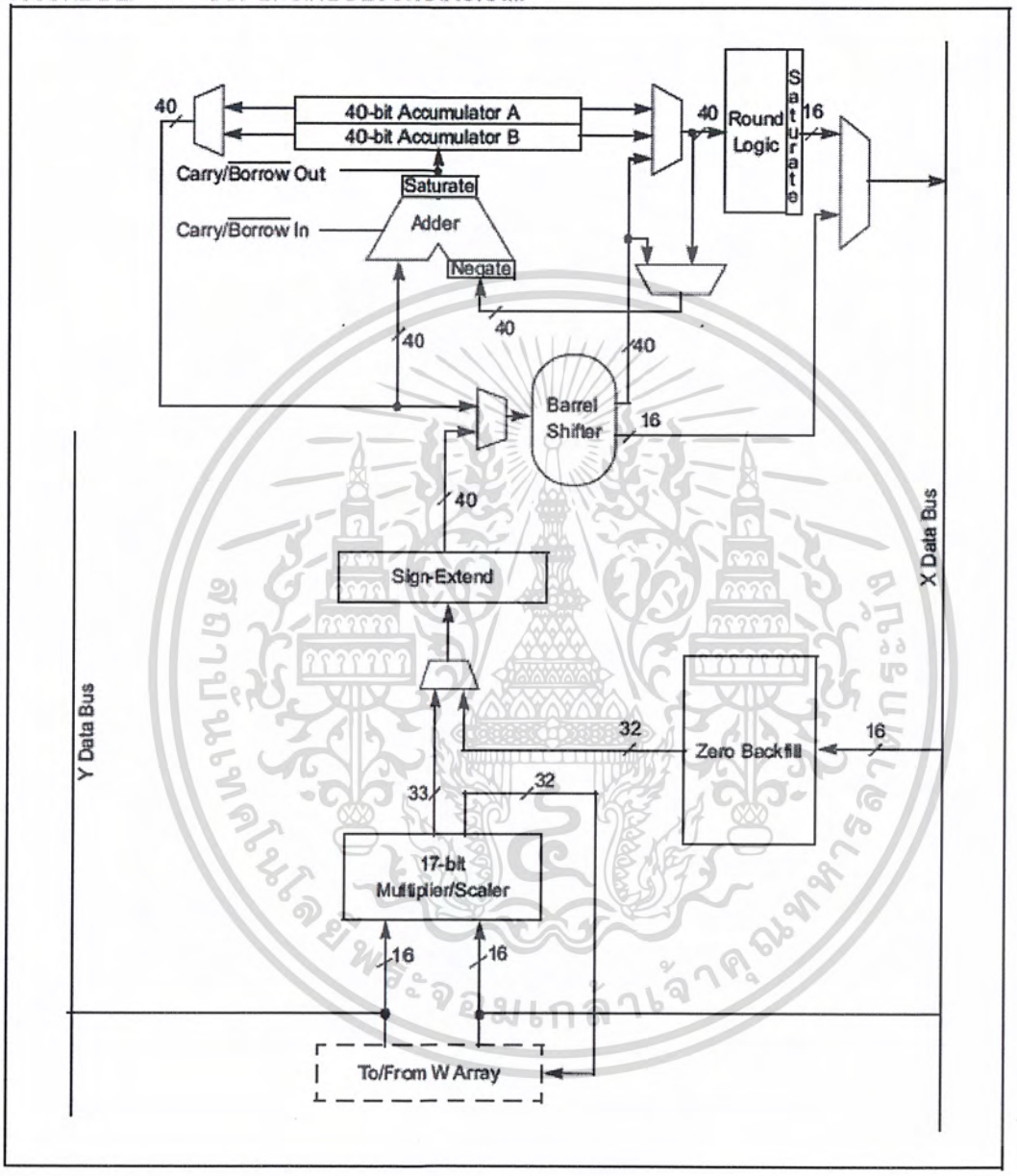
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 2-1: dsPIC30F4011/4012 PROGRAMMER'S MODEL**



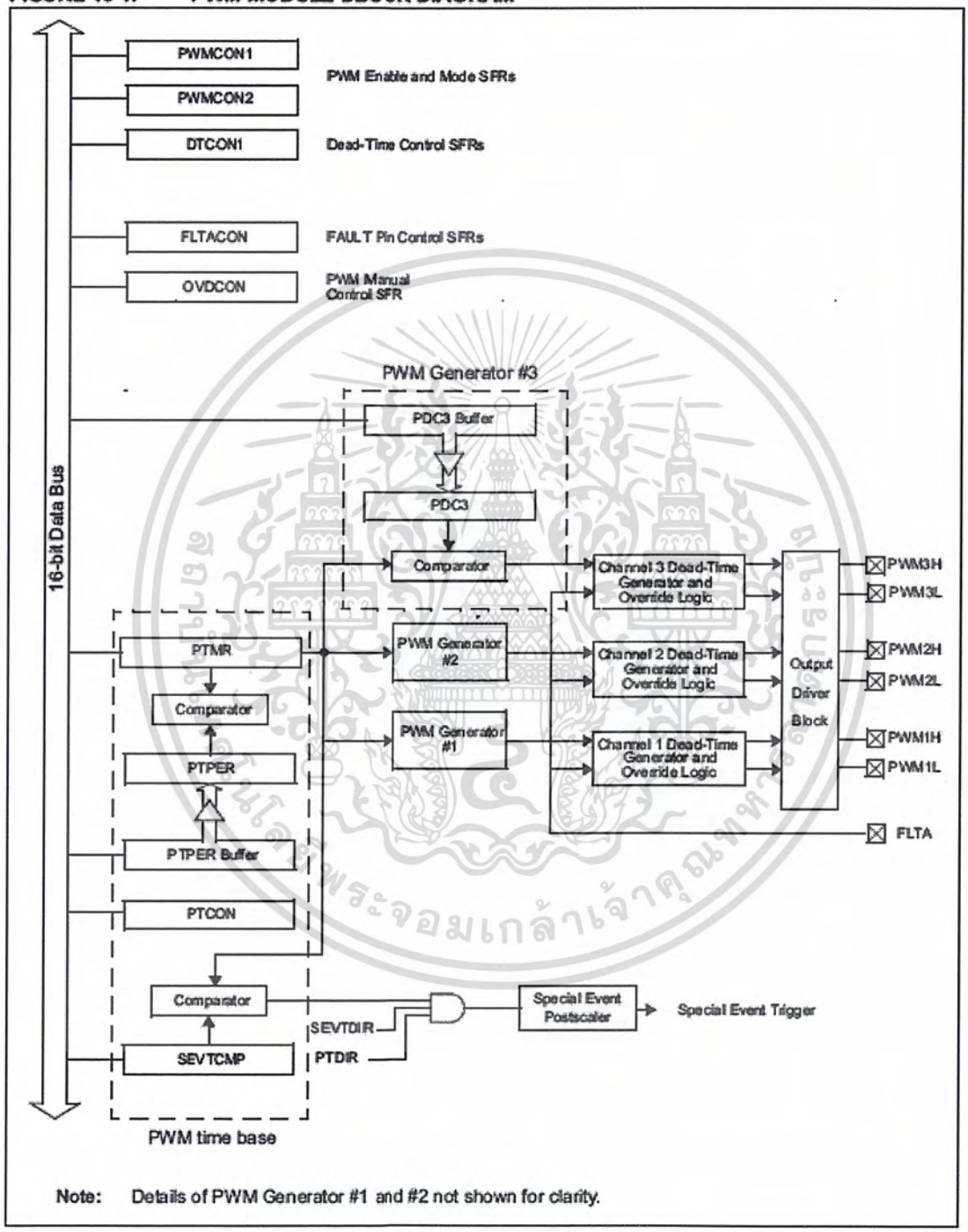

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 2-2: DSP ENGINE BLOCK DIAGRAM**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FIGURE 15-1: PWM MODULE BLOCK DIAGRAM**




Note: Details of PWM Generator #1 and #2 not shown for clarity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง

**[1] นคร ภักดีชาติ , คู่มือการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLABC30,innovation Experiment Co,Ltd**

**[2] สุเธียร เกียรติสุทร, "พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม เล่ม 3",สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้