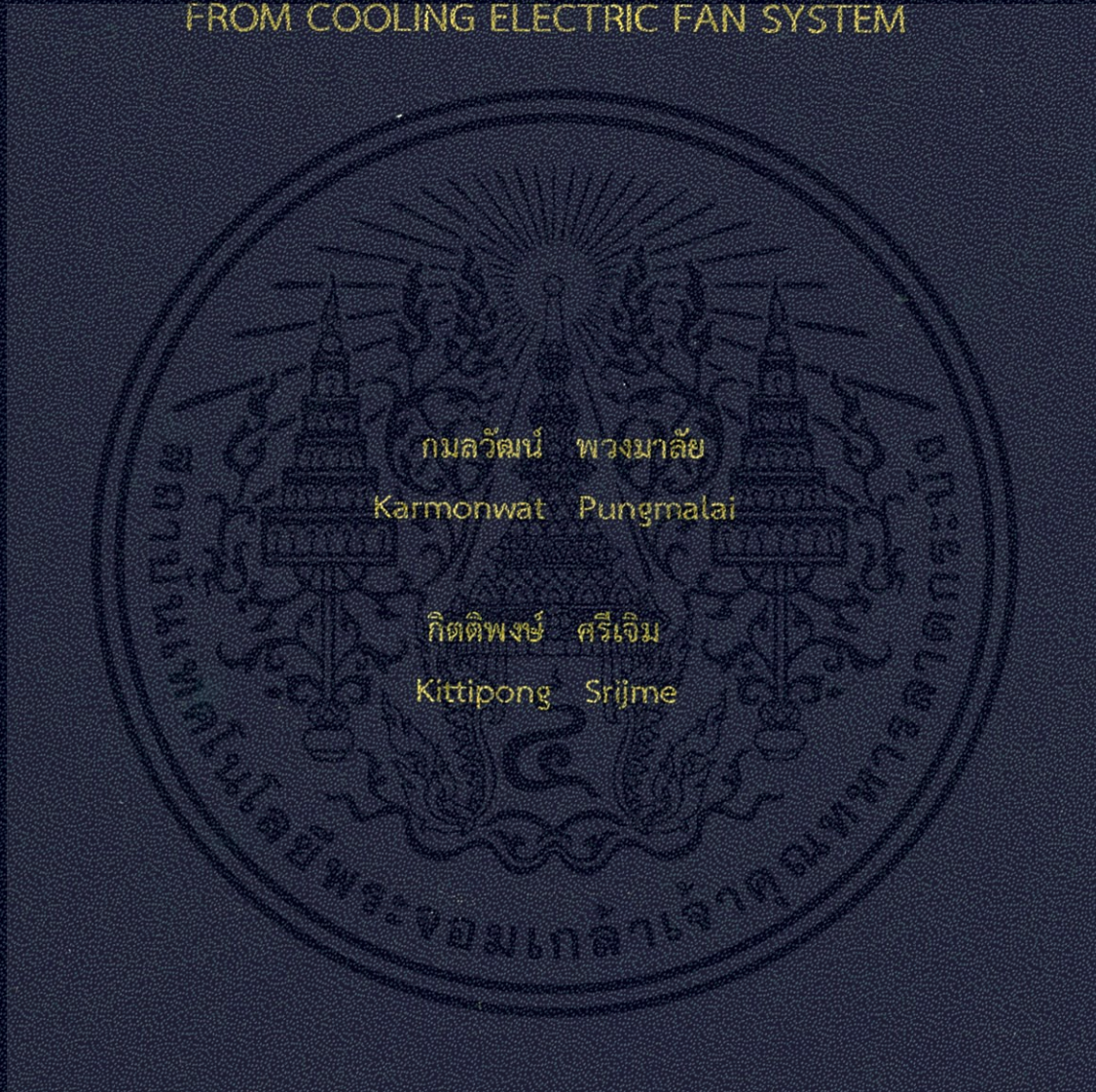


ระบบประจุแบตเตอรี่รถยนต์ 12 โวลต์  
จากพัดลมไฟฟ้าระบายความร้อน

12 VOLT VEHICLE BATTERY CHARGERS  
FROM COOLING ELECTRIC FAN SYSTEM



กมลวัฒน์ พวงมาลัย  
Karmonwat Pungmalai

กิตติพงษ์ ศรีเจิม  
Kittipong Srijme

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2556

ระบบประจุแบตเตอรี่รถยนต์ 12 โวลต์  
จากพัดลมไฟฟ้าระบายความร้อน  
12 VOLT VEHICLE BATTERY CHARGERS  
FROM COOLING ELECTRIC FAN SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบประจุแบตเตอรี่รถยนต์ 12 โวลต์จากพัดลมไฟฟ้าระบายความร้อน

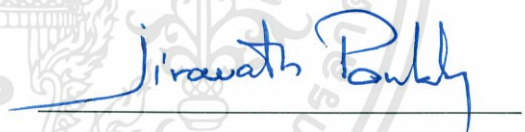
12 VOLT VEHICLE BATTERY CHARGER FROM COOLING ELECTRIC  
FAN SYSTEM

ผู้จัดทำ

นายกมลวัฒน์ พวงมาลัย 53010017

นายกิตติพงษ์ ศรีเจิม 53010116

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



( รศ. จีรววัฒน์ ปานกลาง )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบประจุแบตเตอรี่รถยนต์ 12 โวลต์จากพัดลมไฟฟ้า	
	ระบายนความร้อน	
นักศึกษา	นายกมลวัฒน์ พวงมาลัย	รหัส 53010017
	นายกิตติพงษ์ ศรีเจิม	รหัส 53010116
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง	

### บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ อธิบายการออกแบบและการทำงานของระบบวงจรประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากพัดลมระบายนความร้อนของรถยนต์ ระบบวงจรประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากพัดลมระบายนความร้อนของรถยนต์ที่ดำเนินการในเทอมนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ หนึ่งส่วนของซีพียูทำหน้าที่เช็คแรงดันไฟฟ้าจากพัดลม เช็คแรงดันไฟฟ้าจากสแต็ปอัปคอนเวอร์เตอร์ เช็คแบตเตอรี่ และเช็คความผิดปกติของระบบส่วนที่สองคือส่วนของวงจรชาร์ตประจุมีหน้าที่ในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ หลักการทำงานของระบบวงจรประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จากพัดลมระบายนความร้อนของรถยนต์คือ เมื่อพัดลมสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากพลังงานลมผ่านสแต็ปอัปคอนเวอร์เตอร์เพิ่มแรงดันไฟฟ้า จากนั้นซีพียูจะทำการเช็คตามที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อผ่านขั้นตอนการเช็คเรียบร้อยแล้ว วงจรชาร์ตประจุจะเริ่มชาร์ตประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ทันที ซึ่งหากซีพียูเช็คแล้วไม่ตรงตามเงื่อนไขหรือระหว่างชาร์ตแบตเตอรี่เช็คแล้วได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขวงจรชาร์ตประจุจะไม่ทำงาน

Thesis Title 12 VOLT VEHICLE BATTERY CHARGERS FROM COOLING  
ELECTRIC FAN SYSTEM

Student Mr. Karmonwat Pungmalai ID.53010017

Mr. Kittipong Srijme ID.53010116

Degree Bachelor of Engineering

Program Electronics Engineering

Year 2013

Thesis Advisor Assoc. Prof. Jirawat parnkrag

### Abstract

This report. Describes the design and operation of the vehicle battery charger from cooling electric fan systems. The operation system of vehicle battery charger from cooling electric fan systems is composed of two main parts; the first part CPU, check the voltage of the fan, Check voltage step-up converter, Check the battery and Check the system error. the second part, the battery charger from cooling electric fan systems.. The working of system battery charger from cooling electric fan, When a DC voltage fan of wind energy through a step-up converter increases the voltage. The CPU will check the above preliminary check on the process successfully. The battery charger from cooling electric fan systems begins to charge the battery immediately charts. If the CPU does not match the conditions or during charging to battery charger the condition not match the charging circuit will not work.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง วงจรประจุแบตเตอรี่ ตะกั่ว-กรด จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมพลังงานลม (12 VOLT VEHICLE BATTERY CHARGERS FROM COOLING ELECTRIC FAN SYSTEM ) ได้รับความเอื้อเฟื้อในด้านต่าง ๆ จากอาจารย์จิรวุฒิ ปานกลางที่คอยให้การศึกษาทั้งในด้านคำแนะนำแนวทางการออกแบบ ตลอดจนการแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ขอขอบคุณห้องโพรเจครวมและห้อง โพรเจคอาจารย์จิรวุฒิที่ใช้เป็นสถานที่ในการทำงาน ทดสอบ ขอขอบคุณร้านขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โรง C ที่เป็นที่ทำให้เราซื้ออุปกรณ์เวลาจำเป็น ขอขอบคุณบ้านหม้อปลาซาที่ทำให้เราสามารถซื้ออุปกรณ์ได้ในราคาถูก และขอขอบคุณตึกภาคที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบวงจร



นายกมลวัฒน์

พวงมาลัย

นายกิตติพงษ์

ศรีเจิม

## คำนำ

ในปัจจุบันแนวคิดค้นเรื่องพลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆ เริ่มเข้ามามีบทบาทมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปริมาณของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดลง ทำให้ราคาของพลังงานซึ่งผลิตมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีราคาแพงตามไปด้วย จึงมีเริ่มการหันมาศึกษาพลังงานทดแทนซึ่งจะเข้ามาแทนที่เชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังหมดไป ซึ่งพลังงานชนิดใหม่นอกจากจะเป็นพลังงานสามารถทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดไปแล้ว ยังต้องเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยจึงจะเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืน ในโครงการเล่มนี้เป็นการออกแบบและการสร้างระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานลมโดยใช้พัดลมระบายอากาศในรถยนต์ซึ่งเป็นการนำพลังงานที่สูญเสียอย่างเปล่าประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อให้เป็นใช้ประสิทธิภาพได้อย่างสูงสุด ระบบในโครงการนี้ประกอบไปด้วย 5 ส่วนคือ 1) อุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ซึ่งในที่นี้คือพัดลมระบายความร้อน 2) วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 3) วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ โดยมีหลักการทำงานคือพัดลมระบายอากาศจะแปลงพลังงานจากพลังงานลมให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้มีแรงดันตามต้องการ 4) ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมระบบทำหน้าที่ส่วนของการเช็คแรงดันจากพัดลม เช็คแรงดันที่บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เช็คแบตเตอรี่ และ ควบคุมระยะเวลาในการชาร์จ และ 5) PWM (Pulse Width Modulation) ทำหน้าที่ในการสร้างพัลส์ให้กับ เอชทีฟุตที่มาจากบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อนำไปใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ ประโยชน์ของโครงการฉบับนี้สามารถนำไปเป็นต้นแบบในการพัฒนาเพื่อนำไปใช้กับรถยนต์เพื่อช่วยลดการสูญเสียพลังงานในรถยนต์เป็นการนำเอาพลังงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุดและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

นายกมลวัฒน์ พวงมาลัย

นายกิตติพงษ์ ศรีเจิม

ผู้จัดทำ

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
คำนำ.....	IV
สารบัญ.....	V-VII
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX-XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 รายละเอียดเบื้องต้นของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ระบบของโครงการ.....	2
1.5 สรุป.....	3
บทที่ 2 ต้นกำเนิดแหล่งพลังงาน.....	4
2.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม.....	4
2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้าแบบ DC.....	5
2.1.1.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกังหัน.....	6
2.1.1.2 ทฤษฎีอากาศพลศาสตร์ของกังหันลม.....	8
2.1.1.3 ทฤษฎีใบพัด.....	9
2.1.1.4 ความเร็วของใบพัด.....	14

2.1.1.5	กำลังของพัดลม.....	14
2.1.2	ระบบการประจุแบตเตอรี่ด้วยพัดลมไฟฟ้าแบบ DC ที่ทำงานย้อนกลับ.....	15
บทที่ 3	แบตเตอรี่และการอัดประจุ.....	18
3.1	ชนิดแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้.....	18
3.1.1	เซลล์แบบตะกั่ว – กรด.....	18
3.1.2	เซลล์แบบนิกเกิล – แคดเมียม.....	21
3.2	หลักการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่าง ๆ.....	23
3.2.1	การประจุเซลล์แบบตะกั่ว – กรด.....	23
3.2.2	การประจุเซลล์นิกเกิล – แคดเมียม.....	24
3.3	วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ในโครงการ.....	28
บทที่ 4	โครงสร้างระบบในโครงการ.....	29
4.1	โครงสร้างรวมของโครงการ.....	29
4.1.1	ทรานส์ดีวเซอร์.....	29
4.1.2	วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์ คอนเวอร์เตอร์.....	30
4.1.3	วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่.....	31
4.1.4	ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	32
4.1.5	วงจรอัดประจุแบตเตอรี่.....	32
4.2	วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up.....	34
4.3	วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่.....	44
4.4	ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	45

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	47
5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของพัลสมไฟฟ้า DC.....	47
5.2 การทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ด้วย Power Supply.....	49
5.3 การทดสอบวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ด้วย Power Supply.....	52
5.4 ทดสอบโปรแกรมที่เขียนบนโปรแกรม Mikro C.....	56
5.5 จำลองคำสั่งบน Proteus.....	63
5.6 จำลองการชาร์ตของ PWM.....	65
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	66
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1. แสดงความเร็วรถยนต์กับแรงดันและกระแสของพัลลัมไฟฟ้า DC.....	47
5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้าของพัลลัมไฟฟ้า DC .....	48
5.3 แสดงค่าแรงดันอินพุท กระแสอินพุทและค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจร step up Converter เมื่อทำการวัดแบบ open circuit.....	50
5.4 แสดงค่าแรงดันอินพุท กระแสอินพุทและค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจร step up converter เมื่อทำการวัดแบบตั้งกระแส 100 mA.....	51
5.5 แสดงค่าแรงดันอินพุท กระแสอินพุทและค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ เมื่อทำการวัดแบบ open circuit.....	53
5.6 แสดงค่าแรงดันอินพุท กระแสอินพุทและค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ และมีโหลด 50 mA.....	54

# สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 BLOGDIAGRAM.....	2
2.1 กังหันสำหรับสูบน้ำในประเทศฮอลแลนด์.....	5
2.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)) .....	6
2.3 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)) .....	7
2.4 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า.....	7
2.5 กังหันลมแบบสูบน้ำ.....	8
2.6 ส่วนประกอบของใบพัดกังหันลม.....	8
2.7 การทำงานของใบพัด.....	9
2.8 ส่วนประกอบของใบพัด.....	9
2.9 ส่วนล่างใบพัด.....	10
2.10 ส่วนหน้าใบพัด.....	10
2.11 ด้านข้างใบพัด.....	11
2.12 ใบพัด.....	12
2.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลม.....	13
2.14 การหมุนของใบพัด.....	13
2.15 ไดอะแกรมการไหลของพลังงานสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ.....	16
3.1 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นอาโนดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน.....	18

3.2 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกมาไอออนเข้าไปในอิเล็กโทรไลต์ อิเล็กตรอนจะมีอิสระที่จะเข้าไปวงจรที่นำมาต่อภายนอก ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโอดไปยังแอโนด.....	19
3.3 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถจะใช้ที่ใดก็ได้โดยจะไม่ปล่อยอิเล็กโทรไลต์ออกมา ใช้ประโยชน์ในเครื่องมือแบบกระเป่าหิ้ว.....	20
3.4 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบนิแคด รูปกระดุมใช้ขั้วที่ผ่านการเผาเพื่อให้มีพื้นผิวสัมผัสมาก และให้ก๊าซออกซิเจนวิ่งไประหว่างขั้วบวก และลบได้อย่างรวดเร็ว.....	21
3.5 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบนิแคดรูปทรงกระบอก รูระบายที่ปิดอยู่จะเปิดเมื่อความดันภายในเซลล์สูง เพื่อป้องกันเซลล์ระเบิดจากการประจุมากเกินไป.....	22
3.6 แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว – กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ รูปหลังเป็นวงจรสมมูลของวงจรประจุแบตเตอรี่.....	24
3.7 แสดงถึงค่าความจุของเซลล์นิแคดจะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการจ่ายกระแส.....	25
3.8 วิธีการง่ายๆ ในการสร้างวงจรกระแสคงที่ เพื่อใช้ในการประจุเซลล์นิแคด.....	25
3.9 แสดงถึงการที่แรงดันของเซลล์นิแคดแปรเปลี่ยนไปตามเวลาเมื่อทำการประจุ (หลังจากหมดประจุอย่างสมบูรณ์แล้ว ) ด้วยอัตรากระแส C/4 .....	26
4.1 โครงสร้างรวมของโครงการ.....	29
4.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	30
4.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่.....	31
4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F877A.....	32
4.5 วงจรสมมูลของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง .....	35
4.6 วงจรการทำงานของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 สัญญาณต่าง ๆ ของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	37
4.8 Schematic ของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ของพัลลวมไฟฟ้า DC.....	43
4.9 PCB (Print Circuit Board) ของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ของพัลลวมไฟฟ้า DC.....	43
4.10 Schematic ของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่.....	44
4.11 PCB (Print Circuit Board) ของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่.....	44
4.12 Schematic ของวงจร Microcontroller.....	45
4.13 PCB (Print Circuit Board) ของวงจร Microcontroller.....	45
4.14 ภาพจำลองการทำงานในโปรแกรม Proteus แสดงสถานะเมื่อแบตเตอรี่เต็ม.....	46
4.15 ภาพจำลองการทำงานในโปรแกรม Proteus แสดงสถานะเอาต์พุตจากพัลลวม และจากวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up.....	46
5.1 สถานะหน้าจอ LCD เมื่อมีแรงดันน้อยกว่า 3.5 โวลต์.....	63
5.2 สถานะหน้าจอ LCD เมื่อมีแรงดันมากกว่า 3.5 โวลต์.....	63
5.3 สถานะหน้าจอ LCD แสดง "LOW " เมื่อทำการเช็คแบตเตอรี่.....	64
5.4 สถานะหน้าจอ LCD แสดง "CHARGING " เมื่อทำการเช็คแบตเตอรี่.....	64
5.5 สถานะหน้าจอ LCD แสดง "FULL " เมื่อทำการเช็คแบตเตอรี่.....	65
5.6 แสดงการจำลองการชาร์ตแบตเตอรี่.....	65

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำพลังงานที่สูญเสียไปกลับมาใช้ใหม่มีอยู่มากมายเช่นจากในระบบHybridจะใช้จังหวะที่เบรกหรือลดความเร็วระบบ Hybrid จะใช้พลังงานจลที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้ล้อไปหมุนมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งทำงานเสมือนเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากแรงเสียดทาน เมื่อลดความเร็วก็จะถูกแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะถูกส่งไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ในส่วนของโครงการนี้ก็เช่นกันซึ่งจะใช้พลังงานการพัฒนาระบายความร้อนในหม้อน้ำรถยนต์มาเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อนำกลับมาใช้

### 1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 ทำการออกแบบและสร้างระบบการอัดประจุแบตเตอรี่จากพัดลมไฟฟ้าระบายความร้อนในรถยนต์

1.1.2 เพื่อเป็นการนำพลังงานที่สูญเสียไปจากพัดลมไฟฟ้าระบายความร้อนกลับมาใช้ใหม่ภายในรถยนต์

### 1.2 รายละเอียดเบื้องต้นของโครงการ

ในภาคการศึกษานี้จะต่อจากส่วนของทอมที่แล้วว่าที่ทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ( DC to DC Converter ) ชนิดวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ในทอมนี้จึงทำในส่วนของ Microcontroller ซึ่งจะใช้ในการเช็คแรงดันจากพัดลม เช็คแรงดันที่บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เช็ค Battery และ ควบคุมระยะเวลาในการชาร์ต

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สร้างองค์ความรู้ด้านการนำพลังงานที่สูญเสียกลับมาใช้ใหม่

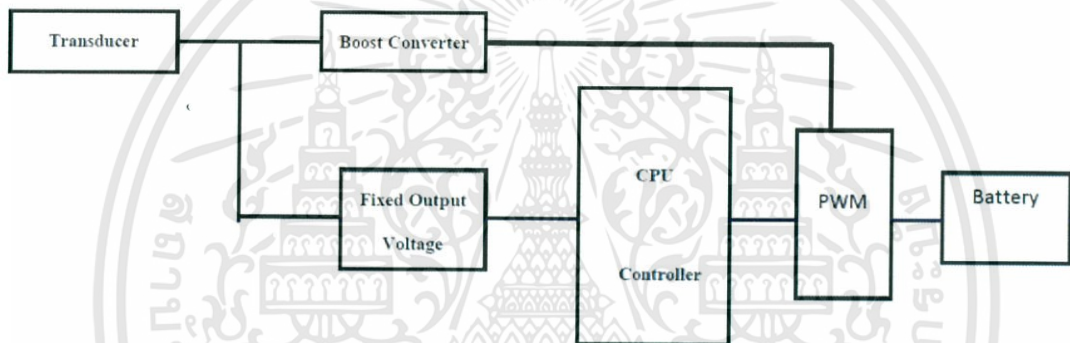
1.3.2 นำพลังงานธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อลดการสิ้นเปลืองการใช้พลังงานหลัก

1.3.3 ลดภาวะโลกร้อน

## 1.4 ระบบของโครงการ

ในระบบการทำงานจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ

- 1) อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์
- 2) วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์
- 3) วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่



รูปที่ 1.1 BLOGDIAGRAM

### 1.4.1 อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์

เป็นอุปกรณ์แปลงข้อมูลหรือพลังงานรูปแบบต่าง ๆ ให้เป็นข้อมูลหรือพลังงานไฟฟ้า ในที่นี้จะใช้พัดลม ซึ่งเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า

### 1.4.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์

เป็นส่วนที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีระดับเพียงพอและเหมาะสมต่อการนำไป ชาร์ต

### 1.4.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่

เป็นส่วนสร้างแรงดันคงที่สำหรับเป็นไฟเลี้ยงของซีพียู

#### 1.4.4 วงจรส่วนของCPU Controller

เป็นส่วนของการเช็คแรงดันจากพัดลม เช็คแรงดันที่บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เช็ค Battery และควบคุมระยะเวลาในการชาร์ต

#### 1.4.5 ส่วนของ PWM (Pulse Width Modulation)

ทำหน้าที่ในการสร้าง Pulse ให้กับ Output ที่มาจาก บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปใช้ในการชาร์ตแบตเตอรี่ เนื่องจากการสร้าง Pulse จะทำให้อุปกรณ์นั้นรับแรงดันหรือ กระแสได้มากกว่าค่าพิกัดหรือทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยมากและจะทำให้ความร้อนลดลง และยืดอายุการใช้งาน

### 1.5 สรุป

ภายในภาคการศึกษานี้จะประกอบไปด้วย 5 ส่วนคือส่วนแรกเป็นส่วนของทรานสดิวเซอร์ซึ่งก็คือพัดลม DC ส่วนที่สองคือส่วนของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากทรานสดิวเซอร์ ส่วนที่สามคือส่วนของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ซึ่งใช้เป็นไฟเลี้ยงของส่วนของ CPU Controller ส่วนที่สี่คือส่วนของ CPU Controller เป็นส่วนที่ใช้เป็นส่วนของการเช็คแรงดันจากพัดลม เช็คแรงดันที่บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เช็ค Battery และ ควบคุมระยะเวลาในการชาร์ต และส่วนที่ห้าคือส่วนของ PWM เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการสร้าง Pulse ในการชาร์ตแบตเตอรี่

## บทที่ 2

### ต้นกำเนิดแหล่งพลังงาน

#### 2.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม

ลม คือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ขนานกับพื้นผิวของโลก แรงความลาดชันของความกดอากาศ คือ แรงที่มีอิทธิพลต่อความเร็วลมที่พัดซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของหย่อมความกดอากาศ อากาศเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าปกติและลอยตัวสูงขึ้นไป ซึ่งเรียกว่า กระแสอากาศ เมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น อากาศในแนวราบจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเคลื่อนขนานกับแนวราบเข้ามาแทนที่ อากาศที่เคลื่อนที่ขนานกับพื้นผิวของโลกเรียกว่า ลม ลมจะพัดจากบริเวณที่มี อุณหภูมิต่ำกว่าหรือบริเวณที่มีความกดอากาศสูงกว่า ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าหรือบริเวณที่มีความ กดอากาศต่ำกว่ากลางวันอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นดินสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นน้ำเนื่องจาก ดินและน้ำรับความร้อนจากดวงอาทิตย์ในปริมาณเท่ากันแต่ดินจะมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำส่วนกลางคืน อุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศเหนือพื้นน้ำเนื่องจากดินคายความร้อนได้ ดีกว่าน้ำ ปรากฏการณ์นี้จะเกี่ยวข้องกับการเกิด ลมบก ลมทะเล คือ ในเวลากลางวันอากาศเหนือพื้นดิน ร้อน ลอยตัวสูงขึ้น อากาศเหนือพื้นน้ำเย็นกว่า เคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ เกิดลมพัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่ง เรียกว่า ลมทะเล ในเวลากลางคืน อากาศเหนือพื้นน้ำร้อนกว่า ลอยตัวสูงขึ้น อากาศเหนือพื้นดินเย็นกว่า เคลื่อนที่ เข้ามาแทนที่ เกิดลมพัดจากบกออกสู่ทะเล เรียกว่า ลมบก

#### การวัดทิศทางและความเร็วของลม

ลม คือ การเคลื่อนไหวของอากาศ ถ้าลมแรงก็หมายถึงว่ามวลของอากาศเคลื่อนตัวไปมากและ เร็วในอุตุนิยมวิทยา สามารถการวัดลมจำต้องวัดทั้งทิศทางของลมและอัตราหรือความเร็วของลม สำหรับการ วัดทิศทางของลมนั้นสามารถใช้ศรลม (wind vane) ส่วนการวัดความเร็วของลม สามารถใช้เครื่องมือที่ เรียกว่า "อะนิมอมิเตอร์" (anemometer) ซึ่งมีหลายชนิด แต่ส่วนมากใช้แบบใบพัดหรือกังหัน หรือใช้ แบบถ้วยกลมสามใบและมีก้านสามก้านต่อมารวมกันที่แกนกลาง จากแกนกลางจะมีแกนต่อลงมายังเบ็อง ล่าง เมื่อกังหันหมุนจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้เข็มที่หน้าปัดชี้แสดงความเร็วของลมคล้ายๆ กับ หน้าปัด ที่บอกความเร็วของรถยนต์การวัดความเร็วและทิศของลม อาจทำได้โดยใช้เครื่องมืออีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า "ใบพัดลม" ซึ่งสามารถวัดความเร็วและทิศได้พร้อมกัน ในการวัดความเร็วของลมมีหน่วยที่ใช้กันอยู่ หลายหน่วย แล้วแต่ว่าผู้ใช้จะนิยมและสะดวกที่จะใช้หน่วยใด เช่น นอต หรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมงกิโลเมตร ต่อชั่วโมงไมล์ (บก) ต่อชั่วโมงนอกจากเครื่องวัดลมชนิดดังกล่าวแล้ว ยังมีเครื่องบันทึกความเร็วและทิศ ของลมอยู่ตลอดเวลาเครื่องบันทึกลมนี้เรียกว่า อะนิมोगราฟ (anemograph) ซึ่งสามารถบันทึกความเร็ว และทิศของลมได้ตามที่เราต้องการ

### 2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้าแบบ DC

ลมเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลกสิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลมเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าลมเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเองซึ่งในบางครั้งแรงที่เกิดจากลมอาจทำให้บ้านเรือนที่อยู่อาศัยพังทลายต้นไม้ หักโค่นลงสิ่งของวัตถุต่างๆ ล้มหรือปลิวลอยไปตามลม ฯลฯ ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไปไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อมและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น



รูปที่ 2.1 กังหันสำหรับสูบน้ำในประเทศฮอลแลนด์

เทคโนโลยีกังหันลม กังหันลม คือ เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การบดสีเมล็ดพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

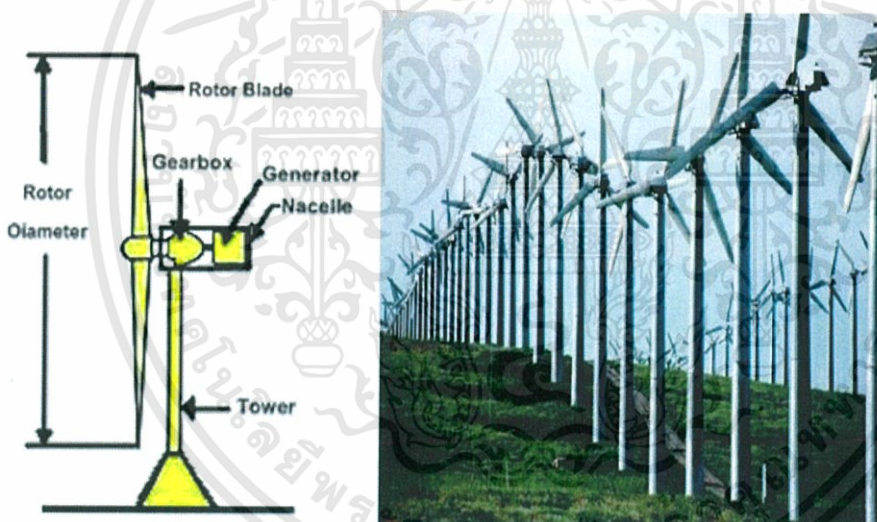
การสูบน้ำ หรือในปัจจุบันใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์มีมาตั้งแต่ชนชาวอียิปต์โบราณและมีความต่อเนื่องถึงปัจจุบันโดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

### 2.1.1.1 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับกังหันลม

#### ประเภทของกังหันลม

กังหันลมสามารถแบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ

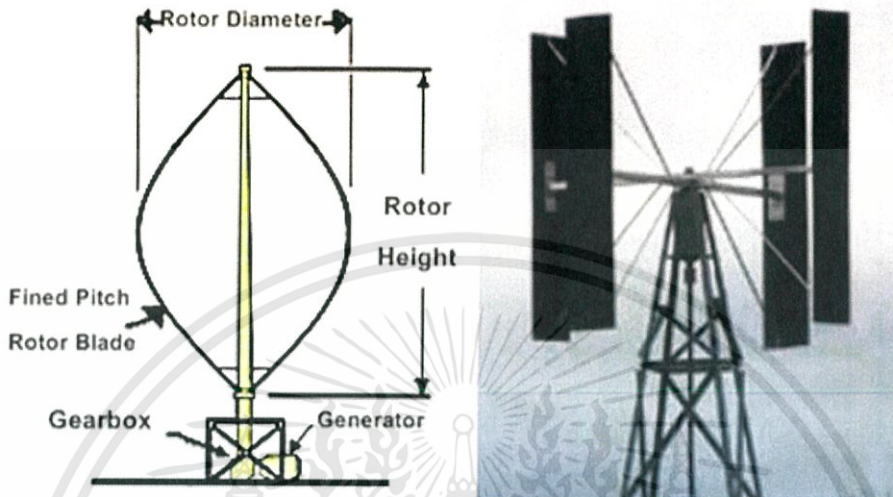
- I. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ



รูปที่ 2.2 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT))

- II. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wine Turbine (VAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine (VAWT))

#### ลักษณะการใช้งานของกังหันลม

- I. กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (wind turbine for electricity) เครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น ผลิตงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

- II. กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (wind turbine for pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการชัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

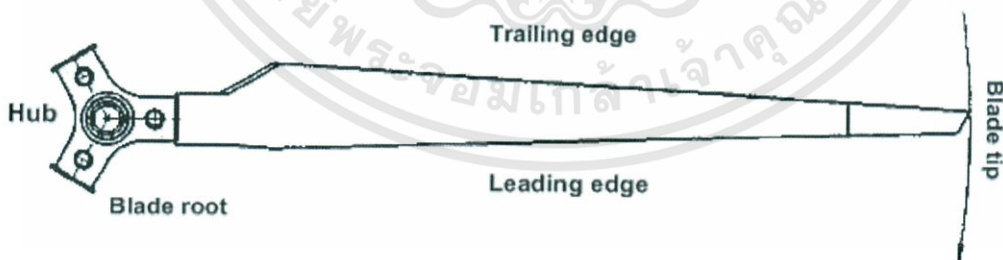
หรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภค และการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบพัดและแบบสูบชัก



รูปที่ 2.5 กังหันลมแบบสูบชักเพื่อสูบน้ำ

#### 2.1.1.2 ทฤษฎีอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) ของกังหันลม

อากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) อากาศที่ไหลและแรงที่เกิดขึ้นจากอากาศที่ไหล ผิวด้านหน้า และหลังของใบพัดกังหันลมจะมีลักษณะที่ไม่ราบเรียบ ตลอดความยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้าข้างหนึ่งจะเป็น ขอบนำ (Leading edge) และขอบหาง (Trailing edge) ส่วนของโคนใบจะยึดติดกับ hub เพื่อจะยึดติดกับแกนของ generator



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของใบพัดกังหันลม

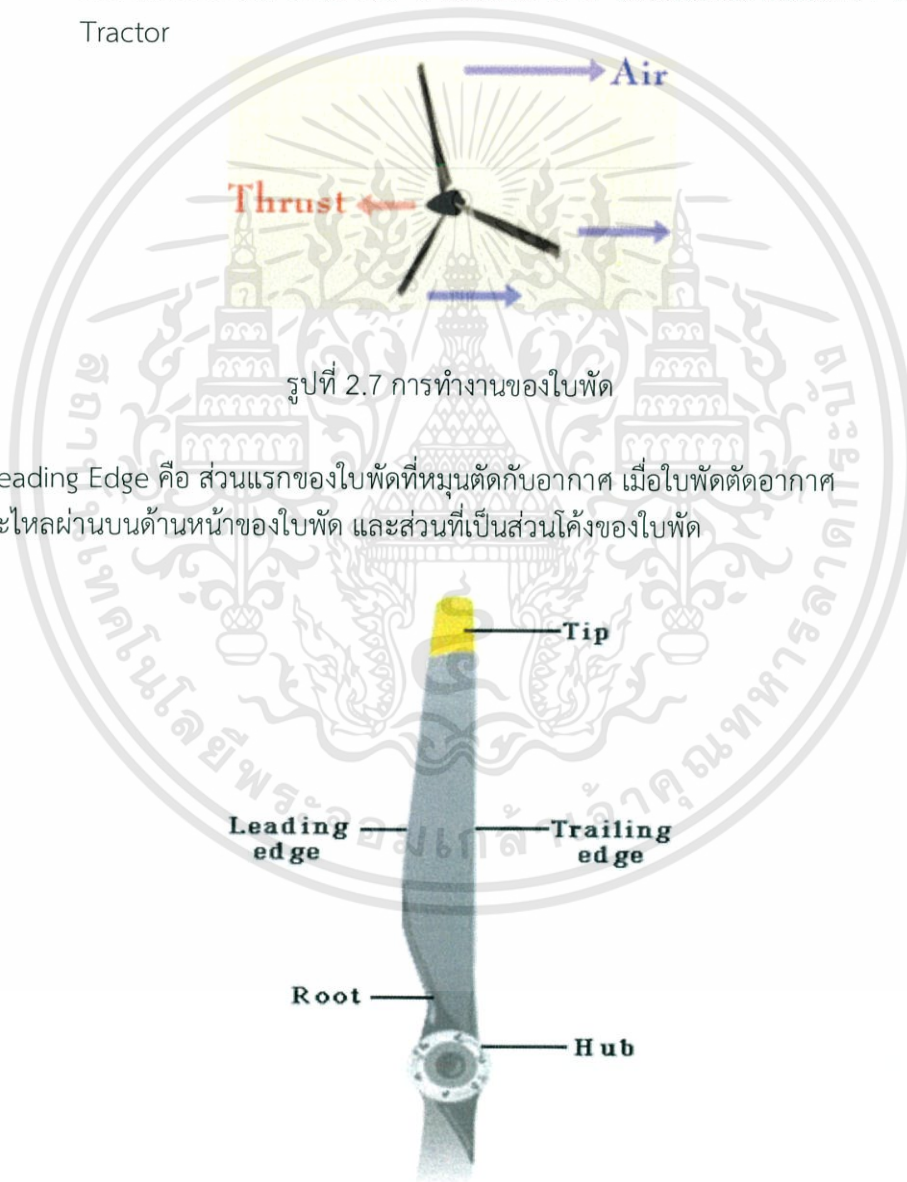
รัศมีของใบพัด คือ ระยะจากโคนใบจนถึงปลายใบหากมองจากด้านข้างจะพบว่าใบพัดมีลักษณะโค้งนูนโดยด้านหน้าที่ปะทะกับลมจะเรียกว่าด้านหลังรูปร่างของใบพัดเช่นนี้เรียกว่าแผนอากาศ (blade's aerodynamics profile)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.3 ทฤษฎีใบพัด

#### 1) กำลังของใบพัด (blade power)

ใบพัด สร้างขึ้นให้มีลักษณะหรือรูปร่าง เป็น Airfoil คล้ายกับลักษณะของปีกเครื่องบิน เมื่อใบพัดหมุนโดยการหมุนของเครื่องยนต์ ใบพัดก็จะสร้างแรงยกไปทางด้านหน้าของเครื่องบิน และ แรงยกส่วนนี้เราเรียกว่า Thrust ที่จะทำให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีใบพัดแบบที่ใช้ดึงเครื่องบิน ผ่านไปในอากาศ ใบพัดประเภทนี้เรียกว่า ใบพัดแบบ Tractor



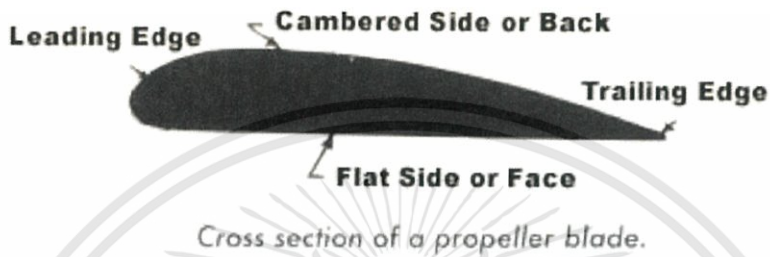
รูปที่ 2.7 การทำงานของใบพัด

Leading Edge คือ ส่วนแรกของใบพัดที่หมุนตัดกับอากาศ เมื่อใบพัดตัดอากาศ อากาศก็จะไหลผ่านบนด้านหน้าของใบพัด และส่วนที่เป็นส่วนโค้งของใบพัด

รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Blade Face คือ ส่วนล่างของใบพัดหรือส่วนล่างของ Airfoil แต่อาจจะเรียกว่าเป็น ด้านหลังของใบพัด



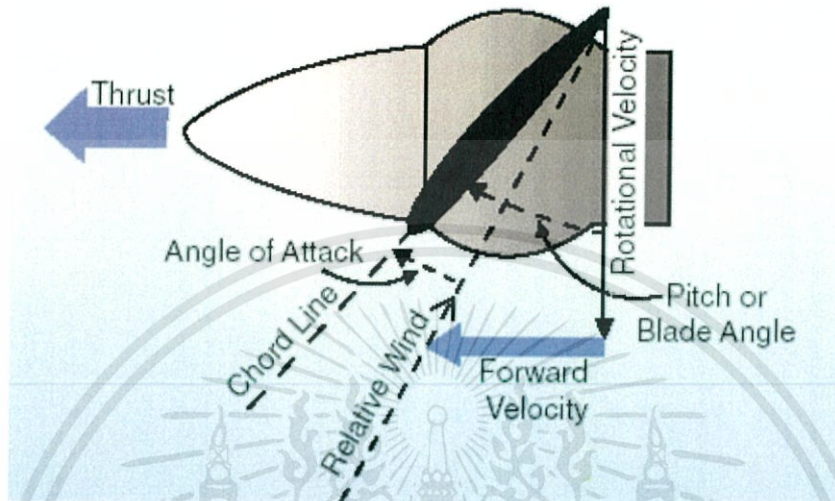
รูปที่ 2.9 ส่วนล่างใบพัด

Thrust Face คือ ส่วนที่มีความโค้งพื้นผิวของใบพัดหรือบางที่เรียกว่าด้านหน้าของ ใบพัด



รูปที่ 2.10 ส่วนหน้าใบพัด

Blade Shank (Root) คือ ส่วนของกลีบใบพัดที่อยู่ที่ส่วนหัวหรือส่วนที่อยู่ติดกับส่วนตรงกลาง (Hub) Blade Tip คือ ส่วนปลายสุดของใบพัด Plane of Rotation คือ ระนาบจินตนาการของการหมุนของใบพัดที่ตั้งฉากกับแกนของเครื่องยนต์ ระนาบนี้จะเป็นระนาบวงกลมตามทีใบพัดหมุน



รูปที่ 2.11 ด้านข้างใบพัด

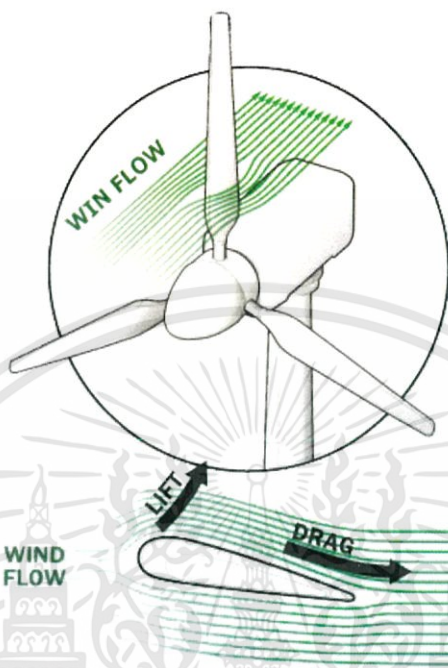
Blade Angle คือ มุมที่เกิดจากส่วนของด้านหลังของใบพัดหรือ Blade Face กับระนาบการหมุนของใบพัด มุมที่เกิดขึ้นตลอดระยะความยาวของใบพัด ตั้งแต่โคนถึงปลายใบพัด จะไม่เท่ากัน เหตุผลในการที่มุมตลอดใบพัดมีค่าต่างกันเพราะว่าระยะความยาวของใบพัดจากแกนศูนย์กลางการหมุนไม่เท่ากันทำให้ความเร็วของใบพัดแต่ละส่วนมีความเร็วไม่เท่ากันซึ่งมีผลกับแรงที่เกิดขึ้น ดังนั้นการออกแบบจึงต้องการให้ทุกๆ ส่วนของใบพัดมีมุม Angle of Attack ของส่วนของตัวเองที่มีประสิทธิภาพที่สุดที่สามารถสร้างแรง Thrust ตามความเร็วรอบที่ออกแบบมา



รูปที่ 2.12 ใบพัด

Blade Element คือ ส่วนย่อยๆ ของความยาวของใบพัด เปรียบเสมือนนำส่วนย่อยๆ นี้มาต่อกันขึ้นมาเป็นใบพัดหรือ Blade airfoil ส่วนย่อย นี้วางอยู่ในตำแหน่งที่ทำมุมกับระนาบการหมุนที่ต่างกัน

เหตุผลในการวางส่วนต่างๆ ที่มุมต่างกัน เพราะเป็นส่วนย่อยต่างๆ ของใบพัดนั้นมีความเร็วในการหมุนที่ต่างกัน ส่วนของใบพัดที่อยู่ด้านในติดกับศูนย์กลางจะมีความเร็วที่ช้ากว่า ส่วนที่อยู่ไกลออกไปที่ส่วนปลายของใบพัด ถ้าหากว่าทุกส่วนตลอดความยาวของใบพัดมีมุมเท่ากันหมดทิศทางการลมที่กระทบกับใบพัดก็จะไม่กระทบกับใบพัดที่มุม Angle of Attack ที่เท่ากัน เป็นเพราะความเร็วของใบพัดตลอดระยะความยาวจะไม่เท่ากันชุดใบพัด เป็นตัวทำให้เกิดกำลังในการดูดไอน้ำโมลิตกระแสไฟฟ้า ตัวใบพัดทำให้เกิดพลังงานกลในการขับเคลื่อน เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (สนามแม่เหล็ก ตัด ขดลวด) ตัวเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าจะแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าสามารถวัดได้ ในหน่วยของวัตต์ (Watts)



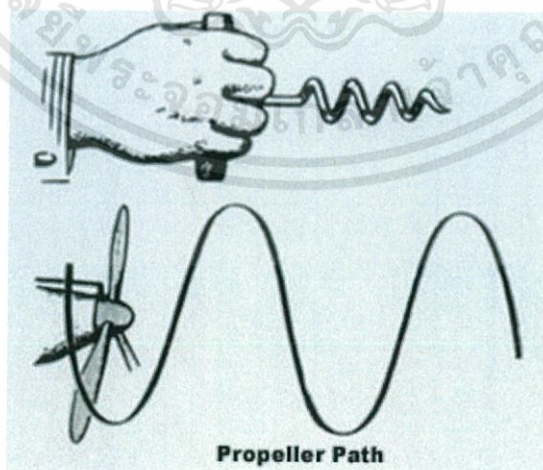
รูปที่ 2.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลม

Relative Wind คือ ลมที่กระทบและผ่าน airfoil เมื่อ airfoil เคลื่อนที่ผ่านอากาศ

Angle of Attack คือ เป็นมุมระหว่าง chord ของ element กับ relative wind สำหรับ

ใบพัดแล้ว มุมที่มีประสิทธิภาพจะอยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 องศา

Blade Path คือ เป็นทิศทางที่ใบพัดเคลื่อนที่ไป



รูปที่ 2.14 การหมุนของใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pitch อ้างถึง ระยะทาง ที่เป็นเกลียวเหมือนเกลียวของสกรูที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหนึ่งรอบ ซึ่งก็เหมือนใบพัดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเมื่อหมุนอยู่ในอากาศ Geometric Pitch เป็นระยะทางในทางทฤษฎีที่ใบพัดควรเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเมื่อใบพัดหมุนไปหนึ่งรอบ

Effective Pitch เป็นระยะทางในทางปฏิบัติจริงๆ เมื่อใบพัดหมุนหนึ่งรอบในขณะที่ทำการบินในอากาศ effective pitch จะมีระยะทางสั้นกว่า geometric pitch เสมอ เนื่องจาก อากาศที่เป็นของไหลจะลื่นไถล (slip)

#### 2.1.1.4 ความเร็วของใบพัด

ความเร็วของใบพัดที่จะหมุนขึ้นอยู่กับว่าในขณะนั้นมีภาระงานหรือไม่ต่อกับแบตเตอรี่หลอดไฟใช้งานอะไรอยู่ (load) ถ้าไดนาโมหรือเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ามี load เวลาหมุนอาจทำให้หมุนยากหรือความเร็วรอบตก ถ้าไม่มีภาระงานไม่ได้ต่อพ่วงกับอุปกรณ์อะไรชุดใบพัดจะหมุนได้โดยง่ายตาย หมุนแบบอิสระที่ความเร็วสูงมาก

#### 2.1.1.5 กำลังของกังหันลม

สำหรับค่ากำลังของกังหันลมสามารถหาได้จากสูตร

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_{\infty}^3 \times \eta = \frac{\rho}{2} \times \pi \times R^2 \times V_{\infty}^3 \times \eta$$

โดยที่

$P$  = กำลัง (W)

$\eta$  = ค่าประสิทธิภาพของกังหันลม

$\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )

$A$  = พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

$v_{\infty}$  = ความเร็วลมเข้าใบพัด (m/s)

### 2.1.2 ระบบการประจุแบตเตอรี่ด้วยพัลส์ไฟฟ้าแบบ DC ที่ทำงานย้อนกลับ

#### การนำมอเตอร์เหนี่ยวนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

มอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น โดยทั่วไปถูกใช้งานเป็นมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมก็ใช้เป็นต้น กำลังสำหรับขับเคลื่อนกันมากที่สุด เนื่องจากราคาที่ถูกเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นๆ ในขนาดแรงม้าที่เท่ากันและยังต้องการการบำรุงรักษาน้อยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากดังนั้น หากนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดก็ย่อมทำให้การลงทุนในการผลิตต่ำกว่าการใช้เครื่องกำเนิดชนิดซิงโครนัส (Synchronous Generator) และยังสะดวกต่อการบำรุงรักษา รวมไปถึงการที่ไม่ต้องทำการซิงโครไนส์ (การเชื่อมต่อให้ระบบไฟฟ้ามีความเร็ว ความถี่ และเฟสเดียวกัน) ในการนำมอเตอร์เหนี่ยวนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีเครื่องต้นกำลังเป็นตัวขับให้มอเตอร์จนถึงความเร็วที่เร็วกว่าความเร็วซิงโครนัส ก่อนที่จะนำเครื่องต้นกำลังมาขับมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้น ต้องเช็คทิศทางการหมุนของเครื่องต้นกำลังและทิศทางการหมุนของมอเตอร์เสียก่อนเพื่อให้ทิศทางการหมุนเป็นไปในทิศทางเดียวกันถ้าไม่ทำการเช็คทิศทางก่อนหากต้นกำลังและมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนไปคนละทิศกันจะทำให้เกิดแรงบิดอย่างรุนแรงของเครื่องต้นกำลังที่พยายามฝืนการหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งมีผลทำให้เครื่องต้นกำลังเสียหายได้ เมื่อทดสอบทิศทางของเครื่องจักรทั้งสองเรียบร้อยแล้วก็เริ่มเดินเครื่องต้นกำลังได้เลย ในตอนนี้มีข้อระวัง คือกระแสขณะสตาร์ทของเครื่องต้นกำลังจะสูงมาก อาจสูงกว่ากระแสปกติถึงสามเท่าดังนั้นต้องจ่ายไฟอย่างช้าๆ ในตอนต้น เมื่อเห็นว่ามอเตอร์เริ่มหมุนจึงค่อยจ่ายไฟจนเต็มพิกัดปัจจุบันได้นำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้ากันมากขึ้นเช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม พลังงานไอน้ำ เป็นต้น และในต่างประเทศได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับรถไฟ เพราะเมื่อรถไฟลงจากเขาจะมีความเร็วสูงมาก เมื่อความเร็วสูงพอ เครื่องจักรจะทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่เพียง แต่จะส่งพลังงานคืนแก่ส่วนจ่ายพลังงานแต่ยังทำให้เกิดการเบรกชนิด ไดนามิกส์ (Dynamic Braking) การที่มอเตอร์เหนี่ยวนำจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้นั้นต้องมีคุณสมบัติดังนี้ คือสลิปต้องมีค่าเป็นลบ คือความเร็วของโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำต้องมีค่ามากกว่าความเร็วซิงโครนัส ซึ่งขึ้นกับจำนวนขั้ว ของมอเตอร์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$N_s = \frac{120f}{P}$$

โดยที่

$N_s$  = ความเร็วซิงโครนัส

$f$  = ความถี่หลักมูลของไฟฟ้ากระแสสลับ

$P$  = จำนวนขั้ว แม่เหล็กของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ความเร็วโรเตอร์มากกว่าความเร็วซิงโครนัส ตัวนำโรเตอร์ ( RotorConductor)จะเคลื่อนที่เร็วกว่าเส้นแรงแม่เหล็กหมุน ซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าของโรเตอร์ไหลตรงข้ามกับทิศทางเดิมการไหลย้อนกลับนี้ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าไหลออกจากขดลวดทางด้านสเตเตอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขณะนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว โดยทั่วไป ไปเมื่อมอเตอร์ซึ่งมีทิศทางหมุนอยู่ในทิศทางเดียวกันกับแรงบิดทางไฟฟ้าถูกใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหมุนกลับทิศ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีทิศทางหมุนตรงข้ามกับทิศทางของแรงบิดทางไฟฟ้า แต่ในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้จะไม่มีการหมุนกลับทิศ เนื่องจากกระแสไหลย้อนกลับที่เกิดขึ้นเป็นการกลับทิศแรงบิดทางไฟฟ้าทำให้ทิศทางหมุนไม่เปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วที่เกิดขึ้นที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ ทั้ง หมุดเครื่องยนต์ต้นกำลังจะเป็นตัวจ่าย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ ( Induction Generator) นั้นจำเป็นต้องต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดพลังงานปฏิกิริยาย้อนกลับ (kvar) เพื่อดึงพลังงานย้อนกลับ (Reactive Power) จากแหล่งจ่ายแล้วปล่อยพลังงานจริง (Real Power) กลับไปทางสายป้อน ซึ่งมีแหล่งกำเนิดพลังงานย้อนกลับเป็นแหล่งจ่ายไฟสามเฟส



รูปที่ 2.15 ไตอะแกรมการไหลของพลังงานสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำ

จากรูป 2.18 จะทำให้เห็นสิ่งสำคัญอยู่สิ่งหนึ่งคือกรณีค่าสลิปเป็นศูนย์(โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส) ซึ่งรูปนี้ไม่สามารถอธิบายได้ เพราะจะไม่เกิดการไหลของพลังงานดังรูปเนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าพลังงานกลที่ป้อนเข้ามาโดยเครื่องยนต์ต้นกำลังถูกใช้ไปในรูปของความสูญเสียภายในที่เกิดขึ้นทั้งหมดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำมีคุณลักษณะคล้ายมอเตอร์เหนี่ยวนำแต่มีค่าเป็นลบกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสขณะเป็นมอเตอร์และเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถ้าเปรียบเทียบกราฟของเครื่องจักรกลชนิดเหนี่ยวนำในกรณีที่เป็นมอเตอร์และกรณีที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จะเห็นว่ามัลักษณะที่สมมาตรกัน เส้นประบนกราฟที่แสดงจุดต่อของเครื่องจักรกลจากการทำงานเป็นมอเตอร์ไปเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นค่าสลิปมีค่าน้อยมากและที่ค่าสลิปนี้เครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นตัวจ่ายไฟสำหรับค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากกราฟจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความเร็วจะทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกไปยังสายป้อน (Supply Lines) ขณะทำงานเป็นมอเตอร์ โดยมีค่าสลิปอยู่ในช่วง -3 ถึง -5 เปอร์เซ็นต์ของสลิป (จากช่วงค่าสลิปจะในการใช้ผลิตไฟฟ้านั้นพลังงานพิกัด (Rated Power) ที่ผลิตต้องทำที่ค่าสลิปต่ำกว่าขณะทำงานเป็นมอเตอร์ โดยมีค่าสลิปอยู่ในช่วง -3 ถึง -5 เปอร์เซ็นต์ของสลิป (จากช่วงค่าสลิป จะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่จำเป็นต้องทำงานอยู่ที่ค่าความเร็วเพียงค่าเดียว แต่ความเร็วที่ทำงานต้องมีค่ามากกว่าความเร็วซิงโครนัส และอยู่ในช่วงสลิปที่เหมาะสม) ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) อยู่ในช่วง 50 – 65 % แต่ถ้าเป็นในกรณีกระตุ้นการทำงานด้วยตัวเอง (Self Excite) ค่าตัวประกอบกำลังประมาณ 85 % ในการเลือกเครื่องจักรกลชนิดเหนี่ยวนำไปใช้งานด้านผลิตกระแสไฟฟ้านั้นจะคำนึงถึงความประหยัดความเสถียรต่อการติดตั้ง และบำรุงรักษาเท่านั้นไม่ได้เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเหนี่ยวนำมีขีดจำกัดในการทำงานหลายอย่างด้วยกันดังนี้

1) ขนาดของเครื่องจักรชนิดเหนี่ยวนำถ้าเครื่องจักรมีขนาดใหญ่ขณะเริ่มเดินเครื่องจะกินกระแสสูงมากซึ่งอาจไปดึงกระแสจากระบบข้างเคียงมาทำให้กระแสที่มีอยู่เดิมลดลงและอาจมีผลทำให้ระบบเกิดการชัตดาวนได้และเครื่องยนต์ต้นกำลังที่นำมาใช้ขับให้มีความเร็วเร็วกว่าที่ความเร็วซิงโครนัสก็ต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะมีกำลังขับเครื่องจักร

2) การเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ได้แก่ ความถี่ ตัวประกอบกำลังของโหลด และความเร็วต้องมีค่าเปลี่ยนแปลงในขอบเขตที่ไม่เกินที่กำหนด

## บทที่ 3

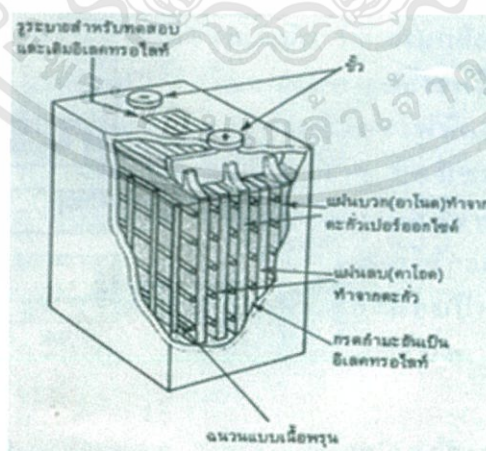
### แบตเตอรี่และการอัดประจุ

#### 3.1 ชนิดแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้

แบตเตอรี่แบบที่พบเห็นทั่วไปเป็นเซลล์แบตเตอรี่แบบสังกะสี-ถ่านแบบอัลคาไลน์-แมงกานีส, แบบปรอท, แบบซิลเวอร์, แบบสังกะสี-อากาศและแบบลิเธียม ซึ่งเซลล์ต่างๆที่กล่าวมานี้ถูกจัดอยู่ในเซลล์แบบปฐมภูมิ เมื่อพลังงานเคมีในตัวเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าหมดแล้วก็หมดสภาพในการเป็นแหล่งจ่ายไฟอีกต่อไปแต่ยังมีเซลล์อีกแบบหนึ่ง เรียกว่าเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell) สามารถที่จะประจุไฟกลับใหม่ได้ โดยที่ปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมานั้น เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ การใช้เซลล์แบบทุติยภูมินี้ ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟมาก เนื่องจากถ้าเซลล์ถูกใช้ไฟไปจนหมดแล้ว สามารถจะประจุกลับไปใหม่ เพื่อจะได้ใช้ต่อไปได้

เซลล์แบบทุติยภูมินี้จะมีราคาแพงกว่าเซลล์แบบปฐมภูมิในการลงทุนซื้อมาตอนแรก เนื่องจากจำเป็นที่จะต้องซื้อเครื่องประจุไฟมาด้วย แต่เมื่อคิดในระยะยาวแล้วเซลล์แบบทุติยภูมินี้ จะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่า ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าจะเลือกใช้เซลล์ชนิด

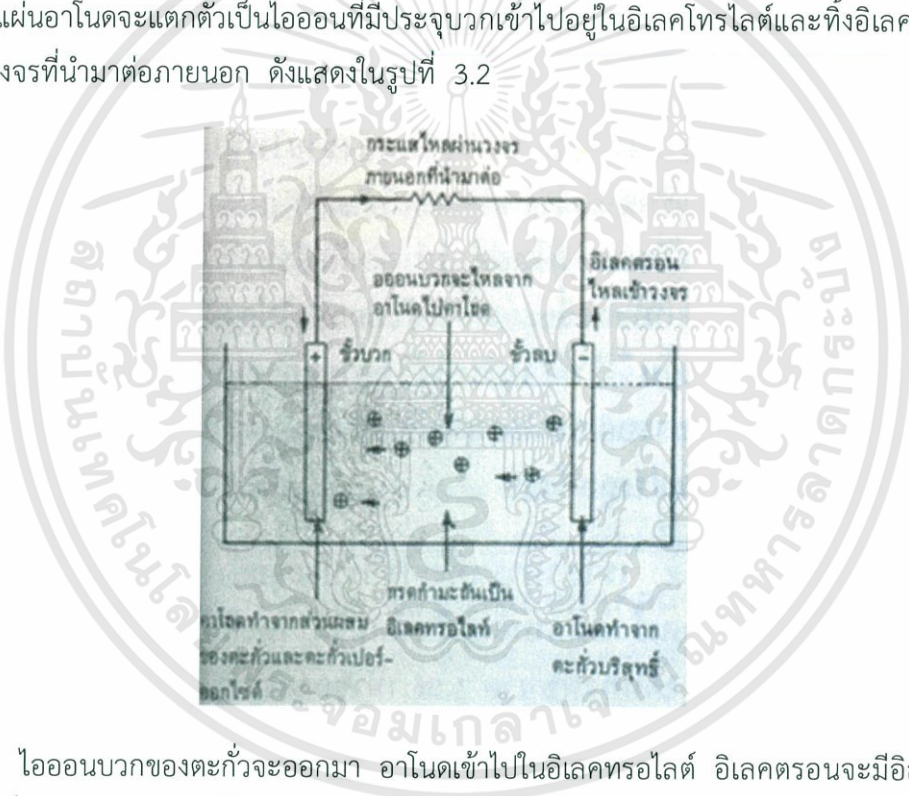
3.1.1 เซลล์แบบตะกั่ว – กรด (Lead Acid) เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ เซลล์แบบตะกั่วกรดซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นอาโนดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราจะเห็นมันประกอบด้วยแผ่นคาโทดและแผ่นแอนโนดวางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ได้มากในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด และอิเล็กโทรไลต์มากเท่าไรปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยังมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มที่ผิวสัมผัสวิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆคั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน อิเล็กโทรดเป็นแอนโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นแอนโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และทั้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 3.2



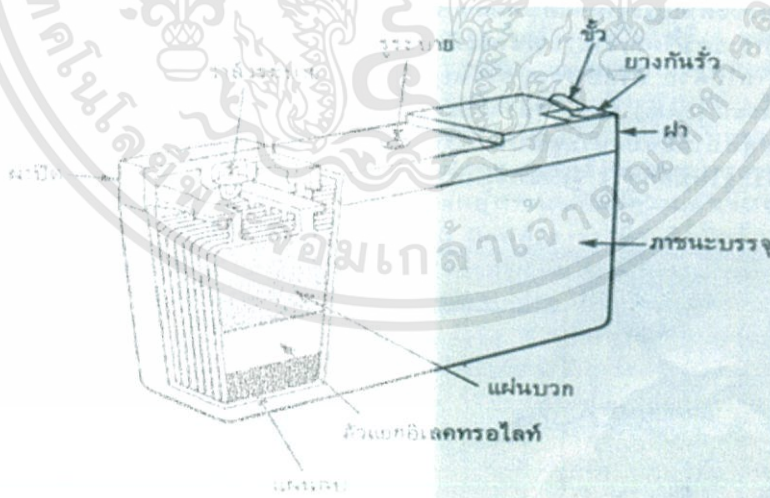
รูปที่ 3.2 ไอออนบวกของตะกั่วจะออกมา แอนโนดเข้าไปในอิเล็กโทรไลต์ อิเล็กตรอนจะมีอิสระที่จะเข้าไปวงจรที่นำมาต่อภายนอก ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดไปยังแอนโนด

ที่คาโทด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่ว ซึ่งมีประจุบวกสูง และเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอก เพื่อรวมตัวกลายเป็นไอออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับแอนโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดผ่านไปยังวงจรภายนอก ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน ซึ่งเป็นอิเล็กโทรไลต์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (lead sulphate) (ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะอยู่ที่

อิเล็กโทรดทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งจะรวมกับอ็อกซิเจนของออกซิเจนจากคาโธดกลายเป็นน้ำ) เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ซึ่งแสดง (โดยลูกศร 2 ทิศทาง) ว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจร ซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโธดไปสู่แอโนด ดังจะเห็นวงจรต่อไป สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นขมวดเดียวกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะบอกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปใหม่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัด แรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์ เซลล์แบบตะกั่ว - กรดนี้มีโครงสร้างแบบที่กล่าวมาเป็นระยะเวลานานแล้ว การปรับปรุงให้เซลล์มีอายุการใช้งานนานขึ้นโดยที่แบตเตอรี่ที่มีการผนึกอย่างดี และมีอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งได้ถูกผลิตขึ้นมาแล้ว ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลย จึงสามารถนำไปใช้ได้ทันที นับว่ามีประโยชน์ในการใช้แทนหรือใช้อย่างปกติแทนเซลล์แบบปฐมภูมิในเครื่องมือวัดแบบกระเป่าหิ้ว เนื่องจากมันสามารถประจุไฟใหม่ได้ โครงสร้างของเซลล์แบบนี้ในแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ แสดงไว้ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถจะใช้ที่ใดก็ได้โดยไม่ต้องไปปล่อยอิเล็กโทรไลต์ออกมา ใช้ประโยชน์ในเครื่องมือแบบกระเป่าหิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 เซลล์แบบนิกเกิล – แคดเมียม (Nickel Cadmium)

เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดที่สองที่จะกล่าวถึงก็คือเซลล์แบบนิกเกิล-แคดเมียมเรียกกันย่อว่า นิ-แคด บางครั้งเซลล์แบบนี้จะถูกเรียกว่าเซลล์แบบ DEAC ซึ่งเป็นชื่อย่อของบริษัทแรกที่ผลิตขึ้นมา คือ Dertsche Edison Akkumulatoren Company ซึ่งอยู่ในเยอรมัน ขั้วบวกของเซลล์แบบนี้ทำจากนิกเกิลไฮดรอกไซด์ (nickel hydrate) ส่วนขั้วลบนั้นทำจากแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (cadmium hydroxide) อิเล็กโทรไลต์ทำจากสารละลายโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) ซึ่งก็เหมือนกับเซลล์แบบตะกั่วกรดคือ ปฏิกริยาเคมีในการประจุและคายประจุ เป็นดังนี้



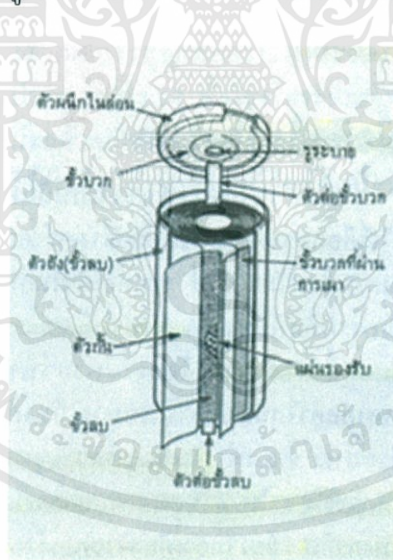
โดยสถานะประจุเต็มที คือทางด้านขั้วมือ และสถานะหมดประจุเต็มทีอยู่ทางด้านขวามือ ในเซลล์ที่ได้รับการประจุเต็ม ขั้วลบจะเป็นแคดเมียมบริสุทธิ ซึ่งจะถูกรีดออกซิไดซ์ (oxidised) ในระหว่างการคายประจุ ส่วนขั้วบวกจะค่อยๆ ลดระดับในการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ระหว่างการคายประจุ



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบนิแคด รูปกระดุมใช้ขั้วที่ผ่านการเผาเพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก และให้ก๊าซออกซิเจนวิ่งไประหว่างขั้วบวก และลบได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างการประจุนอกจากปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวกแล้วนั้น จะมีปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดขึ้นด้วยซึ่งจะก่อให้เกิดก๊าซออกซิเจนแต่ก็ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากก๊าซออกซิเจนสามารถเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปรวมตัวกับขั้วลบ ปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบจะผลิตก๊าซไฮโดรเจนขึ้น โดยจะเกิดขึ้นเมื่อขั้วลบอยู่ในสถานะประจุเต็มๆ โดยเราจะแน่ใจได้ว่าก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะไม่รั่วไหลออกไป ถ้าทำให้ขนาดของขั้วลบใหญ่กว่าขั้วบวก เราจะเห็นได้ว่าเมื่อเซลล์ถูกประจุจนเต็ม กระแสที่ไหลผ่านเซลล์ทั้งหมดจะใช้ในการผลิตก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวก ซึ่งจะผ่านไปรวมตัวกันที่ขั้วลบ ซึ่งโครงสร้างของเซลล์เป็นสิ่งจำเป็นมากที่จะต้องสร้างให้มีทางให้ก๊าซออกซิเจนมารวมตัวได้ ถ้าไม่เช่นนั้นแล้วก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ โครงสร้างของเซลล์แบบนิแคดรูปรูทึมแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งเราจะเห็นว่าเราสร้างด้วยแผ่นเพลทที่ผ่านการเผา เพื่อให้แผ่นเพลทมีรูพรุนหลายๆ เพื่อช่วยในก๊าซออกซิเจนวิ่งจากขั้วบวกไปสู่ขั้วลบได้สะดวกขึ้น แผ่นเพลทที่ผ่านการเผานี้จะเป็นประโยชน์โดยช่วยเพิ่มหน้าสัมผัสของแต่ละขั้ว ถ้าเซลล์แบบรูทึมนี้ถูกประจุมากเกินไป ด้วยกระแสซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซออกซิเจนมากเกินไป ตัวเซลล์นี้จะเกิดการระเบิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการประจุไฟเข้าเซลล์ ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือ เนื่องจากปฏิกิริยาการรวมตัวกันของก๊าซออกซิเจนและอิเล็กโทรดขั้วลบเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของเซลล์สูงขึ้น อาจทำความเสียหายแก่เซลล์ได้



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบนิแคดรูปรูทึมกระบอก รูระบายที่ปิดอยู่จะเปิดเมื่อความดันภายในเซลล์สูง เพื่อป้องกันเซลล์ระเบิดจากการประจุมากเกินไป

## 3.2 หลักการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่าง ๆ

### 3.2.1 การประจุเซลล์แบบตะกั่ว - กรด

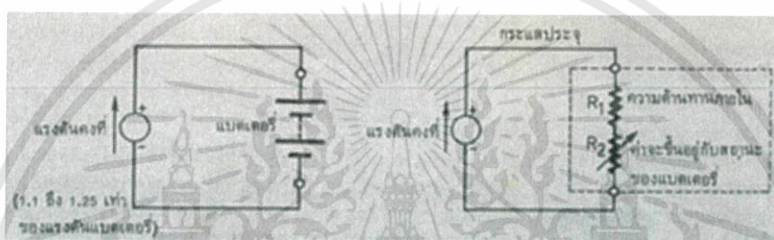
การประจุเซลล์แบบตะกั่ว - กรดนั้น สามารถทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่ เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขั้วมือไปทางขั้วมือ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโอด (ขั้วบวก) และขั้วอานอด (ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกนี้จะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลล์โดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เซลล์เดียว ซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์ สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์ ถึง 2.5 โวลต์ ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายๆ ก็คือแบตเตอรี่รถยนต์ (ซึ่งแรงดันปกติเท่ากับ 12 โวลต์ เนื่องจากประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์อนุกรมกัน) จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโมและผ่านชุดรีกษาาระดับแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าแรงดันคงที่ที่ 14 โวลต์

เป็นที่เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มหรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุหมดเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย หรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ (cyclic) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์ถูกใช้งานพร้อมกันกับประจุไฟเข้าตลอดเวลา เช่นในแบตเตอรี่รถยนต์แล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ จึงใช้แรงดันในการประจุเพียง 14 โวลต์ ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

วงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดนี้ แสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันคงที่อยู่กับแบตเตอรี่ วงจรสมมูลของรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นในรูปที่ ข. ซึ่งเราจะเห็นว่าแบตเตอรี่จะถูกพิจารณาว่าประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว โดยตัวต้านทาน R1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่ ส่วนตัวต้านทาน R2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานการณ์หมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด หรือประจุจนเต็มที่แล้ว ค่าความต้านทาน R2 นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง

เราสามารถที่จะตรวจสอบสถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่ได้ โดยการสังเกตค่าของกระแสที่ใช้ในการประจุ ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ (โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการรักษาแรงดันแรงดันออกให้คงที่) แบตเตอรี่รถยนต์โดยทั่วไป ตัวอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่จะจ่ายแรงดันออกมาไม่คงที่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีการดูกระแสในการบอกสถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง เราสามารถที่จะใช้วิธีประจอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของ

แรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับกระแสที่ประจุไว้ และการประจุจะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขนี้การประจุจะเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มที่จนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุได้คงที่อยู่ที่ได้ ก็ไม่สมควรที่จะใช้วิธีประจูลักษณะนี้ ทั้งนี้เนื่องจากจะทำความเสียหายแก่เซลล์จนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป



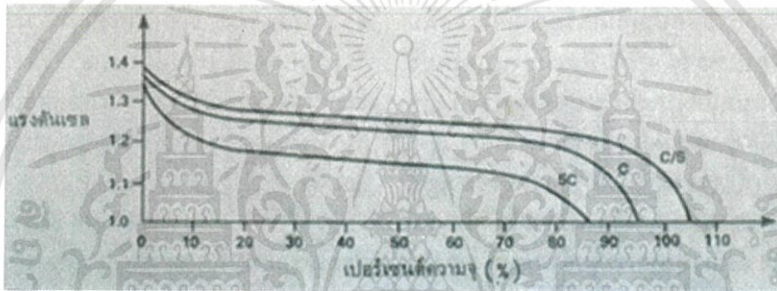
รูปที่ 3.6 แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว - กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ รูปหลังเป็นวงจรสมมูลของวงจรประจุแบตเตอรี่

### 3.2.2 การประจุเซลล์นิกเกิล - แคดเมียม

ประจุไฟให้กับเซลล์แบบนิแคด โดยไม่ให้เกิดความเสียหายและสามารถประจุได้เต็มที่นั้น เราจะต้องรู้ถึงค่าความจุของเซลล์ก่อน ความจุของเซลล์แบบนิแคดนี้ คือปริมาณของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งเซลล์สามารถจ่ายออกมาได้เมื่อมันได้รับการประจุไฟจนเต็มที่ จะแสดงออกมาในรูปของตัวเลขที่เป็นแอมป์ - ชั่วโมง หรือมิลลิแอมป์ - ชั่วโมง เซลล์ขนาดใดก็ตาม ค่าตัวเลขจริงๆ นี้ จะแปรเปลี่ยนไปโดยขึ้นอยู่กับกระแสที่จ่ายออกไป ดังนั้นมักจะกำหนดเงื่อนไขในการจ่ายกระแส เมื่อระบุถึงค่าความจุ ผู้ผลิตจะแจ้งถึงค่าความจุและเงื่อนไขในการจ่ายกระแสบนตัวเซลล์ รายละเอียดเกี่ยวกับความจุโดยปกติของเซลล์ขนาดต่างๆ ในเซลล์แบบทรงกระบอกนี้ค่าความจุโดยปกติ รู้จักกันในนามของ “ความจุ 5 ชั่วโมง” เนื่องจากเป็นจำนวนของพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์จะจ่ายออกมาได้เมื่อใช้เวลาในการจ่าย 5 ชั่วโมง อัตราการจ่ายกระแสใน 1 ชั่วโมง จะคายประจุออกจากเซลล์ในเวลา 1 ชั่วโมง จะคายประจุออกจากเซลล์ในเวลา 1 ชั่วโมง โดยให้สัญลักษณ์ว่า “C” เช่นเดียวกับอัตราการจ่ายใน 5 ชั่วโมง (C/5) จะหมายถึงกระแสที่สามารถจ่ายออกจากเซลล์ในเวลา 5 ชั่วโมงเป็นต้น เซลล์จะถูกคิดว่าจะคายประจุหมดสิ้น เมื่อแรงดันของมันตกลงเหลือ 1 โวลต์ รูปที่ 3.7 แสดงถึงค่าความจุของ

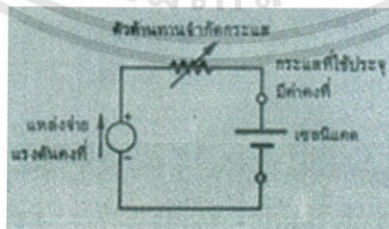
เซลล์แบบนิแคดซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปกับอัตราการจ่ายกระแสค่าต่างกัน 3 ค่า จากรูปนี้จะพบว่าค่าความจุของเซลล์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยถ้าอัตราการจ่ายกระแสมีค่าต่ำลดต่ำลง และค่าความจุที่ลดลงจะเป็นผลมาจากอัตราการจ่ายกระแสสูงขึ้น

ความจุของเซลล์แบบกระดุม เช่นเดียวกับกับแบบทรงกระบอก จะแสดงอยู่ในรูปของ “ความจุ 10 ชั่วโมง” และด้วยอัตราการจ่ายกระแสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง (C/10) จะทำให้แรงดันของมันลดลงเหลือ 1.1 โวลต์ ที่จุดนี้มันจะถูกพิจารณาว่าหมดประจุอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 3.7 แสดงถึงค่าความจุของเซลล์นิแคดจะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราการจ่ายกระแส

เซลล์แบบนิแคดนี้จะไม่เหมือนกับเซลล์แบบตะกั่ว - กรด (ถึงแม้จะเป็นเซลล์ทุติยภูมิเหมือนกัน) ตรงที่เซลล์แบบนิแคดนี้จะต้องไม่ประจุไฟให้มันด้วยแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ เพราะว่าค่าความต้านทานภายในของมันมีค่าต่ำมาก จะทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่ามากเกินไป ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้แก่เซลล์ได้ เราจะใช้แหล่งจ่ายไฟแบบกระแสคงที่แทน ซึ่งจะจ่ายกระแสออกมาโดยกำหนดทำได้และอยู่ในอัตราที่ปลอดภัย



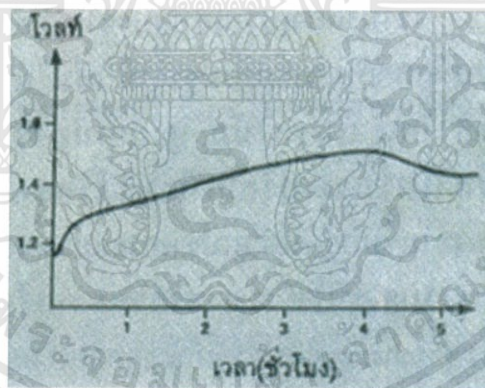
รูปที่ 3.8 วิธีการง่ายๆ ในการสร้างวงจรประจุกระแสคงที่ เพื่อใช้ในการประจุเซลล์นิแคด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีง่ายที่สุดในการจ่ายกระแสคงที่แสดงในวงจรรูปที่ 3.8 ซึ่งแหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันที่จะจ่ายกระแสออกมา ประจุเซลล์แบบนิแคด โดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแส ค่าของตัวต้านทานจะถูกเลือกให้ค่ากระแสที่ไป ประจุเซลล์จะไม่เกินค่าปลอดภัยสำหรับเซลล์ขนาดนั้นโดยวงจรนี้เราจะต้องใช้อย่างระมัดระวัง วิธีการ ประจุโดยใช้วงจรนี้สามารถประจุเซลล์ได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ คือ

#### 1) การประจุทีละน้อย (Trickle Recharge)

ถ้ากระแสในวงจรถูกรักษาไว้ที่อัตราเท่ากับ  $C/10$  (10% ของความจุ) แล้ว เซลล์ทั้งหมดประจุอย่างสมบูรณ์สามารถจะประจุได้ภายใน 10 ชั่วโมง แต่ความเป็นจริงจะใช้เวลา มากกว่า 10 ชั่วโมง การประจุทีละน้อยด้วยอัตราขนาดนี้สามารถประจุทิ้งไว้ค้างคืนได้ ประโยชน์อีกข้อหนึ่งของการประจุเซลล์ด้วยอัตราขนาดนี้คือ ถึงแม้ว่าเซลล์จะถูกประจุเต็มแล้วก็ตาม ก็ไม่จำเป็นต้องนำเซลล์ออก เนื่องจากถ้าเราประจุต่อไปก็จะไม่ทำความเสียหายให้แก่เซลล์ เนื่องจากก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นทั้งหมดที่ขั้วบวกจะรวมตัวกับขั้วลบ การประจุเซลล์โดยไม่มีข้อจำกัด ซึ่งจะไม่ทำความเสียหายแก่เซลล์ ยกตัวอย่าง เช่น เซลล์มีขนาดความจุ 500 มิลลิแอมป์ - ชั่วโมง ถ้าประจุด้วยอัตรา  $C/10$  ก็เท่ากับ 10% ของความจุ คือ 50 มิลลิแอมป์



รูปที่ 3.9 แสดงถึงการที่แรงดันของเซลล์นิแคดแปรเปลี่ยนไปตามเวลาเมื่อทำการประจุ (หลังจากหมดประจุอย่างสมบูรณ์แล้ว) ด้วยอัตรากระแส  $C/4$

## 2.) การประจุกอย่างเร็ว (Fast Recharge)

เซลล์แบบนิแคดนี้สามารถประจุกด้วยอัตราที่สูงขึ้นกว่าได้ เช่นด้วยอัตรา C/3 (33% ของความจุ) ถึง C/5 (20% ของความจุ) โดยจะต้องเตรียมการตัดการประจุก เมื่อเซลล์ได้รับการประจุกจนเต็มที่แล้ว ซึ่งสามารถทำได้โดยอัตโนมัติ โดยใช้วงจรตรวจจับแรงดัน ซึ่งจะตัดกระแสที่ใช้ในการประจุกออก เมื่อแรงดันของเซลล์เพิ่มขึ้นเกินกว่าค่าปัจจุบัน รูปที่ 10 แสดงถึงการแปรเปลี่ยนของแรงดันของเซลล์กับอัตราการประจุกเท่ากับ C/4 (25% ของความจุ) จะเห็นได้ชัดว่าวิธีการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะ ถ้าสามารถวัดค่าแรงดันได้อย่างเที่ยงตรงและว่องไว สามารถตัดกระแสที่ใช้ประจุกออกก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้น ปัญหาในการใช้การประจุกแบบนี้ก็คือ ถ้ากระแสที่ใช้ในการประจุกค่าสูงๆ นี้ไม่ได้ถูกตัดออกอย่างทันที เมื่อเซลล์ได้รับการประจุกจนเต็มที่แล้ว ก๊าซออกซิเจนที่เกิดขึ้นมากเกินจากข้อลบบในปริมาณที่เพียงพอ ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเซลล์จะระบายก๊าซออกซิเจนออกไปโดยที่ รูระบายที่ปิดไว้จะเปิดออกและปล่อยก๊าซออกซิเจนกับอิเล็กโทรไลต์บางส่วนออกมา เนื่องจากเมื่ออิเล็กโทรไลต์สูญเสียบอกมาจากเซลล์แล้ว ก็ไม่สามารถเติมกลับเข้าไปใหม่ได้ ดังนั้น ความจุของเซลล์จะลดลงอย่างถาวรก็คือ เซลล์นั้นจะมีความจุน้อยลงตลอดไป

## 3.) การประจุกอย่างเร่งด่วน (Super – Fast Recharging)

มีบางกรณีที่ใช้ต้องการที่จะประจุกเซลล์ภายในเวลาเพียง 2-3 นาที ยกตัวอย่างเช่น เครื่องบินเล็กที่ใช้แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายกำลังจะต้องการการประจุกเซลล์ที่หมดประจุก เพื่อที่จะนำเครื่องบินนี้ บินขึ้นสู่อากาศอีกครั้ง โดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้มันเป็นไปได้ที่จะประจุกเซลล์อย่างเร่งด่วน ด้วยอัตราการประจุกถึง 4C (4 เท่าของความจุ) หรือมากกว่านี้ โดยวิธีการต่อไปนี้ คือวัดแรงดันของเซลล์และตัดกระแสที่ใช้ประจุกออก เมื่อแรงดันของเซลล์ขึ้นสูงถึงค่าที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามมีวิธีการที่ง่ายกว่า แล้วก็เที่ยงตรงด้วย โดยจากหลักความจริงที่ว่าเซลล์ได้หมดประจุกอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะพยายามทำการประจุกมันใหม่ ให้ประจุกไฟเข้าโดยกำหนดค่ากระแสประจุกที่ไว้ใช้เวลาในการประจุกตามที่ต้องการ เช่นหลังจากเซลล์หมดประจุกแล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุกขนาด 3C (3 เท่าของความจุ) จะถูกป้อนเป็นเวลา 20 นาที หรือจะใช้กระแสในการประจุกเป็น 5C (5 เท่าของความจุ) ป้อนเข้าไปเป็นเวลา 12 นาที เป็นต้น แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็วิธีการที่ดี เช่น สำหรับนักเล่นเครื่องบินจำลองที่มีเพียงแหล่งจ่ายไฟเป็นเพียงแบตเตอรี่รถยนต์ก็ตาม ก็เป็นสิ่งที่ควรระวังไว้ เนื่องจากการประจุกมากเกินไปเพียง 2 - 3 วินาที อาจจะทำให้เกิดการรั่วของเซลล์ได้ กล่าวย่อๆ ก็คือ เมื่อจะใช้วิธีการนี้เซลล์จะต้องหมดประจุกอย่างเต็มที่ และใช้กระแสในการประจุกค่าที่แน่นอนเป็นระยะเวลาที่ถูกต้อง

### 3.3 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ในโครงการ

วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการโดยการส่งผ่านกำลังงานที่มีระดับแรงดันที่เหมาะสมจากส่วนข้างต้นไปยังแบตเตอรี่ที่ต้องการอัดประจุเพื่อให้มีอัตราการอัดประจุสม่ำเสมอและหยุดประจุเมื่อแบตเตอรี่เต็ม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมอัตราการอัดประจุ

วิธีการอัดประจุมีหลายชนิด ซึ่งแบตเตอรี่ 1 ตัว ประกอบด้วยเซลล์หลายๆเซลล์ประกอบแบบอนุกรมเช่น 12 V ( 6 cell ), 24 V ( 12 cell ) การมีแบตเตอรี่ 12 V หมายความว่ามีการอัดประจุระหว่าง 10 -12.6 V แต่ขณะทำการอัดประจุจะอัดประจุแบตเตอรี่ได้ถึง 15 -16 V ซึ่งค่า ๆ นี้อาจทำความเสียหายแก่วงจรได้ จึงต้องจำกัดแรงดันไม่ให้เกิน 13.8 V สำหรับการอัดประจุที่ใช้เวลานานและไม่เกิน 14.4 V สำหรับการอัดประจุไม่ถึง 8 ชั่วโมงโดยในระบบนี้จะใช้วงจรอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด

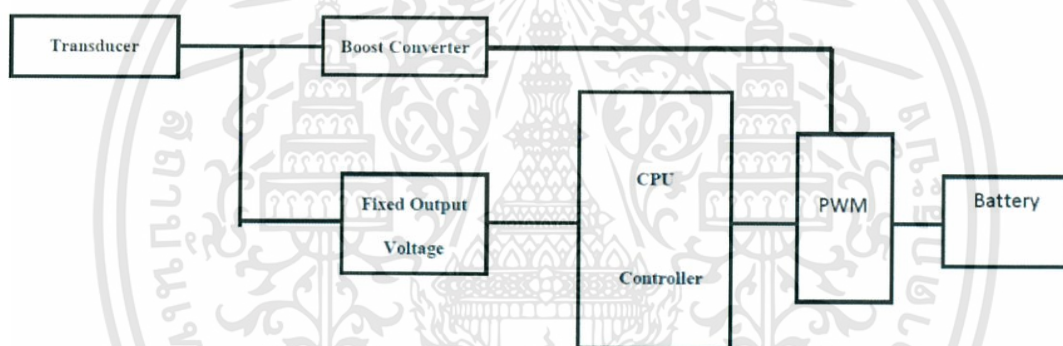


## บทที่ 4

### โครงสร้างระบบในโครงการ

#### 4.1 โครงสร้างรวมของโครงการ

ระบบจะประกอบไปด้วยวงจรไฟฟ้า 4 ส่วนหลัก คือ 1) อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ 2) วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า 3) วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ 4) วงจรอัดประจุแบตเตอรี่(PWM) ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม 5.) แบตเตอรี่



รูป 4.1 โครงสร้างรวมของโครงการ

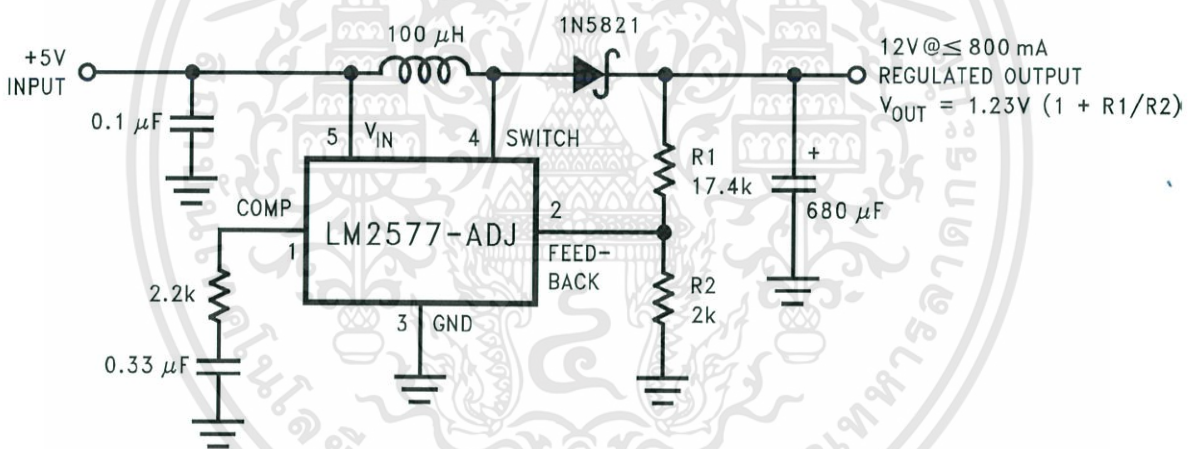
##### 4.1.1 ทรานสดิวเซอร์ (Transducer)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานลมให้เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ ในส่วนของพัลลัม DC ประสิทธิภาพของพัลลัมขึ้นกับความเร็วลมโดยยังมีความเร็วลมมากก็ยิ่งให้แรงดันเอาต์พุตที่สูงตาม

#### 4.1.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์

เป็นส่วนที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีระดับเพียงพอเหมาะสมกับต่อการอัดประจุแบตเตอรี่ เมื่อระบบได้รับแรงดันที่น้อยเกินกว่าจะสามารถนำไปใช้งานได้จะต้องแปลงระดับแรงดันให้สูงพอกับการนำไปใช้งาน

การออกแบบและการคำนวณ



รูป 4.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์

เลือกใช้ IC เบอร์ LM2577 เนื่องจากสามารถนำไปสร้างวงจรได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ราคาไม่แพงมากนัก และสามารถออกแบบแรงดันขาออกได้ตามต้องการ

แรงดันขาออกของวงจร ( $V_{out}$ ) = 18 V

แรงดันขาเข้า ( $V_{in}$ ) = 3 – 18 V

กระแสภาระ ( $I_{Load}$ ) = 300 mA

ความถี่ใช้งานซึ่งเป็นความถี่การ Switch ของ LM2577 = 52kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### I. การคำนวณค่าตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมขนาดแรงดันขาออก

ค่าความต้านทาน R1 และ R2 เป็นค่าที่ใช้กำหนดแรงดัน feedback จากขาออกกลับไปยัง LM2577 เพื่อควบคุมแรงดันขาออกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_{out} = 1.23 (1 + R1/R2)$$

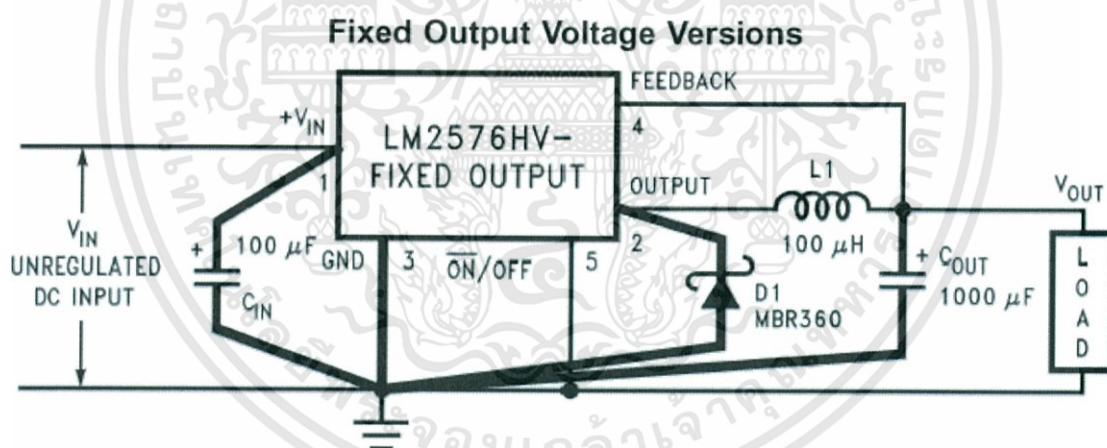
$$18 = 1.23 (1 + R1/R2)$$

$$R2 = 13.63 R1$$

จะได้ R2 มีค่าเป็น 13.63 เท่าของ R1 ซึ่งถ้าใช้ R1 เป็น  $2.2K\Omega$  จะได้ R2 เท่ากับ  $29.986 K\Omega$  จึงเลือกใช้ค่า  $30K\Omega$  แทน

#### 4.1.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่

เป็นส่วนที่ช่วยรักษาระดับแรงดันให้คงที่เพื่อนำไปใช้เลี้ยงส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูป 4.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่

เลือกใช้ IC เบอร์ LM2576 เนื่องจากสามารถนำไปสร้างวงจรได้ง่าย หาซื้อง่ายและมีราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง โดยมีความต้องการดังนี้

แรงดันขาออกของวงจร ( $V_{out}$ ) = 5 V

แรงดันขาเข้า ( $V_{in}$ ) = 3 – 18 V

กระแสภาระ ( $I_{Load}$ ) = 3 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

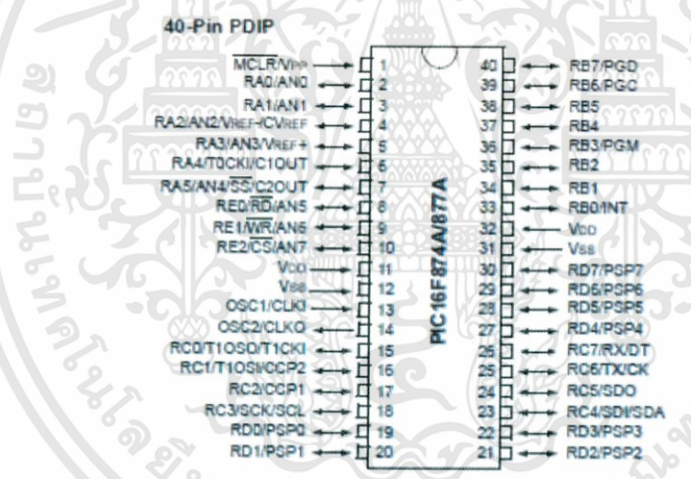
ความถี่ใช้งานซึ่งเป็นความถี่การ Switch ของ LM2577 = 52kHz

#### 4.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (CPU Controller )

เป็นส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่ในการเช็คแรงดันจากพัดลม เช็คแรงดันที่บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เช็ค Battery และ ควบคุมระยะเวลาในการชาร์ต

การเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เลือกจากคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าตรงตามต้องการหรือไม่ในโครงการงานชิ้นนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F877A เนื่องจากมีหน่วยความจำขนาด 14.3k Bytes สามารถจุกักขระได้ 8192 ตัวอักษร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในโครงการงานชิ้นนี้



รูป 4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F877A

#### 4.1.5 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

เป็นส่วนที่ทำการอัดประจุแบตเตอรี่โดยการส่งผ่านกำลังงานที่มีระดับแรงดันที่เหมาะสมไปยังแบตเตอรี่ที่ต้องการอัดประจุ ซึ่งในระบบนี้จะใช้งานวงจรอัดประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดเนื่องจากมีราคาไม่สูงมากนัก สามารถหาได้ทั่วไปตามท้องตลาด ไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลยและสามารถสามารถนำไปใช้ที่ใดก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบ่งเป็นแบบพื้นฐานได้เป็นแบบ Float Charge และ 3- State Charge

Float Charge แบ่งได้เป็น 2 แบบย่อย ๆ คือ Good Float Charge และ Bad Float Charge

### 1) Good Float Charge

จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนเป็น Float Voltage เมื่อมีแรงดัน 13.8 V (กรณีแบตเตอรี่ 12 V) และจะอัดประจุที่กระแสคงที่จนอัดประจุได้ 75% จากความจุแบตเตอรี่ทั้งหมด และกระแสค่อย ๆ ลดลงหลังจากนั้นและใช้เวลาในการอัดประจุ 75% แรกสั้นกว่า 25% หลัง

### 2) Bad Float Charge

จะมีการตรึงกระแสไฟฟ้าก่อนที่แรงดันจะมีค่าถึง Float Voltage ( 13.8 V โดยทั่วไป ) และจากการที่กระแสตกลงเร็วจะทำให้ใช้เวลาอัดประจุนาน

### 3) 3 – Stage Charge

ขั้นที่ 1 จะเริ่มต้นเหมือน Good Float Charge ขั้นต่อมาจะอัดประจุด้วยกระแสคงที่จนกระทั่งถึง Boost Voltage (14.4 V) ขั้นที่ 3 แรงดันจะลดลง 1 ใน 4 ของกระแสสูงสุด และจะอัดประจุต่อไปจนกระทั่งมีความจุประมาณ 90% จากนั้น แรงดันจะเปลี่ยนเป็น Float Voltage โดยอัตโนมัติ และจะใช้เวลาในการประจุนานขึ้นในอีก 10% ที่เหลือ

## ชนิดของวงจรอัดประจุ

### 4.) Ferro Resonant

ใช้หลักการควบคุมโดยใช้แม่เหล็กความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นผลให้มีน้ำหนักมาก เทอะทะมีความสามารถในการประจุแบบ Float ต่ำ ใช้เวลาในการอัดประจุสูง ราคาสูง และทำให้มีสนามแม่เหล็กรบกวนอุปกรณ์อื่น ๆ

### 1) Linear Charge

ใช้หม้อแปลงในการลดแรงดันและใช้ทรานซิสเตอร์ในการลดกระแสและแรงดันที่ใช้ในการอัดประจุ วงจรชนิดนี้สามารถใช้กับการอัดประจุแบบ Float และ 3 - State Charge แต่มีประสิทธิภาพต่ำ อุณหภูมิสูง เทอะทะ และมีช่วงการจ่ายแรงดันจำกัด

### 2.) Switched Mode Charge

ในขั้นแรกจะแปลงแรงดันกระแสสลับ ให้เป็นแรงดันกระแสตรงชนิดความถี่สูง หลังจากนั้นแปลงแรงดันกระแสตรงชนิดความถี่สูงให้เป็นแรงดันกระแสสลับชนิดความถี่สูงจากการใช้ทรานซิสเตอร์และหม้อแปลงความถี่สูง หลังจากนั้นจึงลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจนถึงระดับที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งวงจรชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า 2 แบบแรกมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก แต่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น

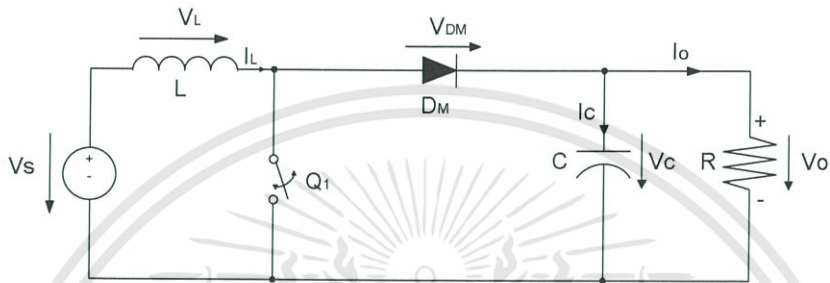
### การป้องกันการคายประจุของแบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ

แบตเตอรี่โดยทั่วไปไปจะมีการคายประจุภายในตัวเองอันเนื่องมาจากโครงสร้างภายใน การคายประจุนี้เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แม้จะไม่มีภารกิจกระแสจากแบตเตอรี่ไปใช้งานใดๆ ทำให้แบตเตอรี่มักมีอายุการใช้งานน้อยกว่าที่คำนวณไว้ ซึ่งอัตราการคายประจุนี้ขึ้นกับชนิดและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นั้นๆ ในขณะที่ทำการประจุโดยเพิ่มส่วนของการอัดประจุด้วยกระแส Trickle ซึ่งก็คือการอัดประจุด้วยกระแสต่ำๆ เพื่อป้องกันการคายประจุดังกล่าวทั้งนี้จะทำให้วงจรอัดประจุมีกระแสที่อัดจากการอัดประจุด้วยกระแสสูง จากการทำงานของวงจรร่วมกับกระแส Trickle ซึ่งผลรวมกระแสที่ได้ไม่ควรเกินขีดจำกัดในการอัดประจุของแบตเตอรี่ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีขีดจำกัดกระแสการอัดประจุที่แตกต่างกัน

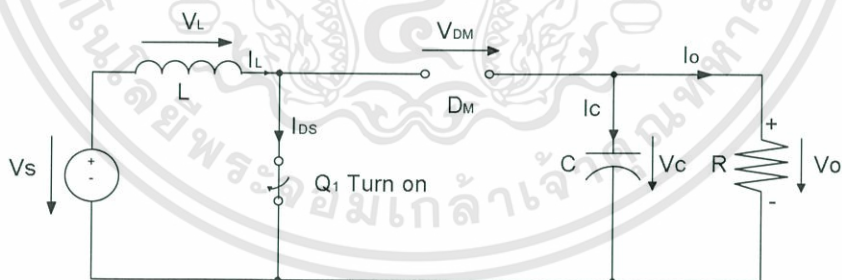
## 4.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up

คอนเวอร์เตอร์แบบทบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสวิตซ์ซึ่งชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานได้โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ความถี่สูงทำการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันเอาต์พุตให้สูงกว่าระดับแรงดันอินพุต โดยอาศัยคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำความถี่สูงในการเก็บและคายพลังงาน การทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงกว่าระดับแรงดันอินพุตจึงเรียกว่า “สเต็ปอัพคอนเวอร์เตอร์ (Step - up Converter)” จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของวงจรกำลัง ประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำความถี่สูง ตัวเก็บประจุด้านเอาต์พุต ไดโอดกำลังทำหน้าที่สวิตซ์ อีกส่วนคือวงจรกรองแรงดัน เป็นวงจรทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของคอน

เวอร์เตอร์ เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้คงที่ วงจรสมมูลของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 4.5 การทำงานของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 4.6 และการวิเคราะห์ค่าจะได้สัญญาณต่าง ๆ ดังปรากฏในรูปที่ 4.7

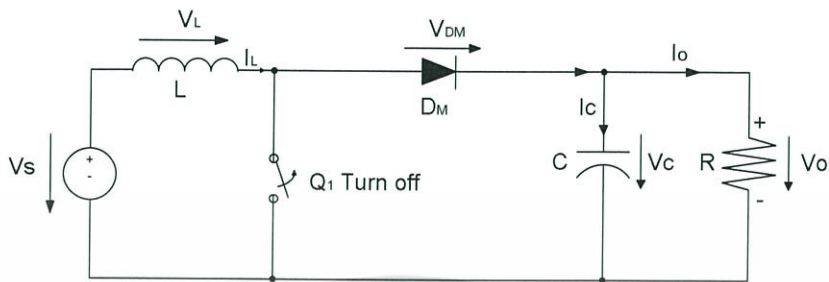


รูปที่ 4.5 วงจรสมมูลของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



ก) โหมดที่ 1 สวิตช์ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

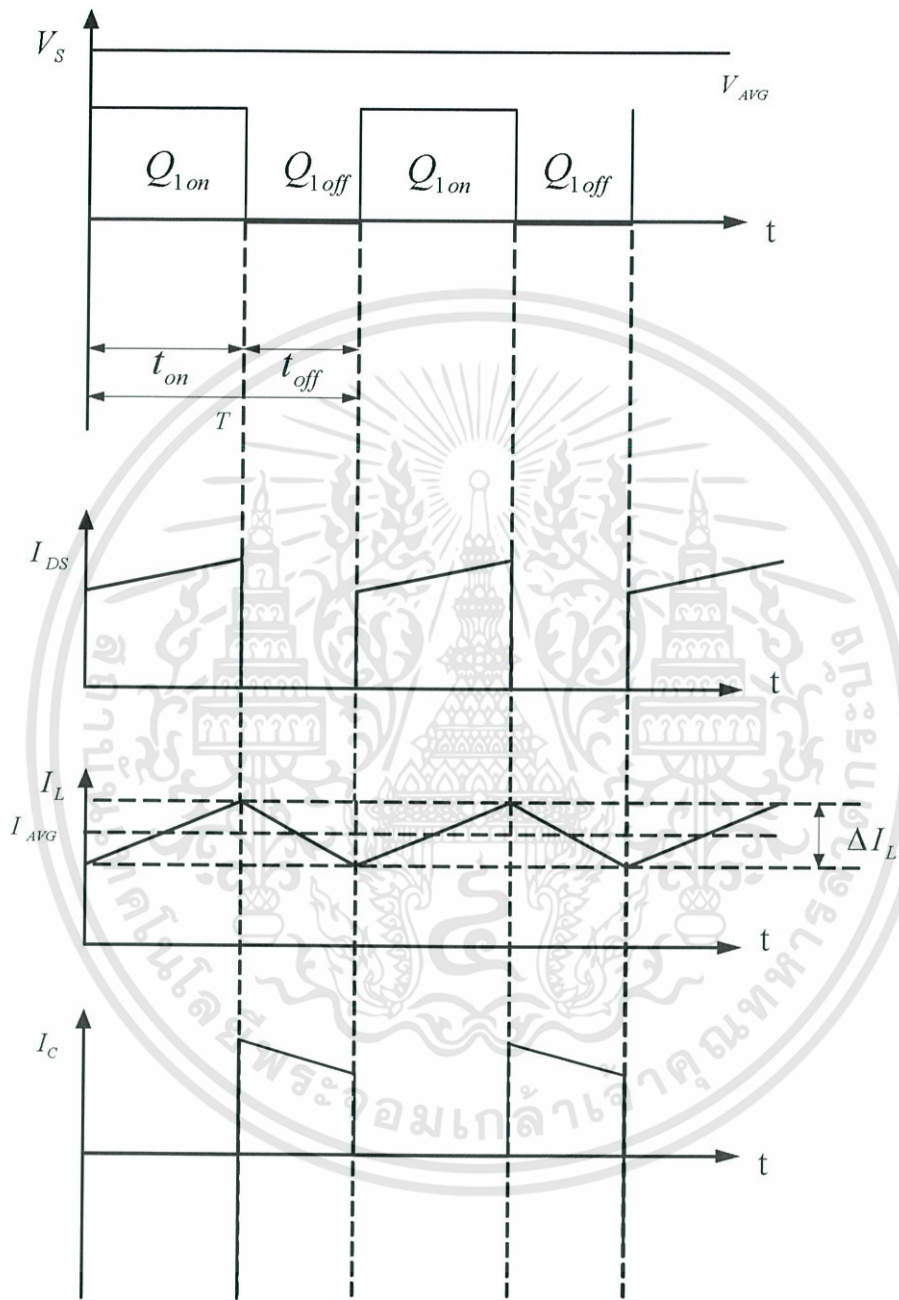


ข) โหมดที่ 2 สวิตช์เปิด

รูปที่ 4.6 วงจรการทำงานของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อ  $D$  คือ วัฏจักรงาน (Duty Cycle)

$T$  คือ คาบเวลาการทำงานของวัฏจักรงาน



รูปที่ 4.7 สัญญาณต่าง ๆ ของวงจรทบทแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิเคราะห์เมื่อสวิตช์ปิด

โหมด 1 ( $0 < t \leq t_{on}$ ) มอสเฟต  $Q_1$  ทำงานสวิตช์ปิด ( $t = 0$ ) กระแสอินพุตไหลผ่านมอสเฟต  $Q_1$  และตัวเหนี่ยวนำทำให้กระแสของตัวเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นจาก  $I_1$  ที่  $t = t_0$  เป็น  $I_2$  ที่  $t = t_1$  โดยไดโอด  $D_M$  จะถูกไบอัสกลับ ตัวเก็บประจุจะดิสชาร์จประจุให้แก่โหลดในช่วงเวลา  $0 < t \leq t_{on}$  ค่าแรงดันอินพุตมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังสมการที่ 4.1)

$$V_S = V_L = L \frac{I_2 - I_1}{t_{on}} = \frac{L\Delta I}{t_{on}} \quad (4.1)$$

สมการที่จะหาค่าเวลาในช่วงที่เพาเวอร์มอสเฟต Turn ON ได้จากสมการที่ (4.2)

$$t_{on} = \frac{L\Delta I}{V_S} \quad (4.2)$$

พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการที่ (4.3)

$$E = \frac{1}{2} L (\Delta I)^2 = \frac{1}{2} V_S^2 t_{on}^2 \quad (4.3)$$

### วิเคราะห์เมื่อสวิตช์เปิด

โหมด 2 ( $0 < t \leq t_{on}$ ) มอสเฟต  $Q_1$  ทำงานสวิตช์เปิด ( $t = t_1$ ) แรงดันเหนี่ยวนำย้อนกลับของตัวเหนี่ยวนำซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับแรงดันอินพุต ทำให้เอาต์พุตมีค่ามากขึ้นจนทำให้  $D_M$  ทำงาน กระแสอินพุตไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ประกอบด้วยกระแสอินพุต ( $I_S$ ) และกระแสของตัวเหนี่ยวนำ ( $I_L$ ) ซึ่งกระแสของตัวเหนี่ยวนำเกิดจากพลังงานสะสมในตัวเหนี่ยวนำ ขณะที่มอสเฟต  $Q_1$  ทำงาน ผ่านไดโอด  $D_M$  จ่ายให้กับโหลดและชาร์จประจุให้แก่ตัวเก็บประจุเป็นผลให้  $I_L$  ตกลงในช่วงเวลา  $t_2$

$$V_O - V_S = L \frac{I_2 - I_1}{t_{off}} \quad (4.4)$$

หรือ 
$$V_O - V_S = L \frac{\Delta I}{t_{off}} \quad (4.5)$$

สามารถที่จะหาค่าเวลาในช่วงที่เพาเวอร์มอสเฟต Turn OFF ได้จากสมการที่ (4.6)

$$t_{off} = L \frac{\Delta I}{V_O - V_S} \quad (4.6)$$

การเปลี่ยนแปลงของกระแสของตัวเหนี่ยวนำระหว่างค่ากระแส พีค-ทู-พีค (Peak - to - Peak) คือ กระแสกระเพื่อมเมื่อพิจารณาที่สภาวะคงที่โดยให้ช่วงเวลา  $t_{on}$  และ  $t_{off}$  จากสมการที่ (4.7) มีค่าเท่ากัน คำนวณหากระแสกระเพื่อมได้ดังนี้

$$\Delta I = \frac{V_S t_{on}}{L} = \frac{(V_O - V_S) t_{off}}{L} \quad (4.7)$$

แทนค่า  $t_{on} = DT$  และ  $t_{off} = (1 - DT)$  ลงในสมการที่

$$V_S DT = (V_O - V_S)(1 - D)T = V_O(1 - D)T - V_S(1 - D)T \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (4.8) เมื่อทำให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้

$$V_s DT = V_o(1-D)T - V_s T + V_s DT \quad (4.9)$$

หรือ

$$V_s = V_o(1-D) \quad (4.10)$$

ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยจากวงจรทบแรงดันจะได้ดังสมการที่ (4.11)

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (4.11)$$

สมการที่ (4.10) แสดงถึงแรงดัน

เอาต์พุต ถ้าสวิตช์เปิดตลอดเวลาและ  $D$  มีค่าเป็นศูนย์แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเหมือนกับแรงดันอินพุต ขณะที่วัฏจักรงาน (Duty Cycle) มีค่าเพิ่มขึ้นตัวส่วนในสมการที่ (4.7) จะมีขนาดเล็กลงและเอาต์พุตจะมีค่าแรงดันมากกว่าอินพุต แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามแรงดันอินพุตและค่าวัฏจักรงาน ขณะที่วัฏจักรงานมีค่าเข้าใกล้ 1 แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเข้าใกล้อนันต์ (Infinity) หากพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าด้านอินพุตเท่ากับด้านเอาต์พุตจะได้ว่า

$$V_s I_s = \eta V_o I_o$$

$$P_{in} = \eta P_{out}$$

แทนค่าแรงดันเอาต์พุตในสมการที่ (4.12)

$$V_s I_s = \frac{V_s I_o}{1-D} \quad (4.12)$$

ฉะนั้นกระแสอินพุตเฉลี่ยจะได้

$$I_s = \frac{I_o}{1-D}$$

สวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายจะทำงานในรูปของคาบเวลา, ในหนึ่งคาบเวลาจะประกอบไปด้วยช่วงเวลา และ  $t_{off}$  ดังนั้นค่าของคาบเวลาจะได้

$$T = \frac{1}{f} = t_{on} + t_{off} = \frac{L\Delta I}{V_s} + \frac{L\Delta I}{V_o - V_s} + \frac{L(\Delta I)V_o}{V_s(V_o - V_s)} \quad (4.13)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ (2.16) ใหม่จะได้ค่ากระแสกระแสเพื่อมของตัวเหนี่ยวนำดังสมการที่ (4.14)

$$\Delta I = \frac{V_s(V_o - V_s)T}{LV_s} = \frac{V_s[V_s/(1-D) - V_o]}{fLV_o} \quad (4.14)$$

และจะได้ค่าตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในวงจรทบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ดังสมการที่ (4.15)

$$L = \frac{V_s D}{f\Delta I} \quad (4.15)$$

#### แรงดันกระเพื่อมด้านเอาต์พุต (Output Voltage Ripple)

การทำงานของวงจรทบแรงดันจะต้องได้แรงดันเอาต์พุตสูงกว่าแรงดันด้านอินพุต ถ้าไม่เป็นเช่นนั้นแสดงว่าตัวเหนี่ยวนำไม่คายพลังงานเสริมแรงดันด้านอินพุต เมื่อมอสเฟต Turn ON แรงดันเอาต์พุตจะได้จากการคายประจุของตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว เพราะฉะนั้นขนาดของตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันเอาต์พุตและโหมดการทำงานจึงจำเป็นต้องให้ขนาดของตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่เพื่อที่จะให้ขนาดของแรงดันกระเพื่อมทางด้านเอาต์พุตมีขนาดลดลงตัวเก็บประจุจะคายพลังงานให้เอาต์พุตในช่วงเวลาที่มอสเฟต Turn ON โดยหาค่าตัวเก็บประจุได้จากค่ากระแสเอาต์พุตในช่วงเวลาดังกล่าว

$$\Delta V_C = V_C - V_C(0) = \frac{1}{C} \int_{t_{off}}^{t_{on}} I_o dt = \frac{I_o t_{on}}{C} \quad (4.16)$$

หากพิจารณาจากช่วงเวลา  $t_{on}$  ในคอนเวอร์เตอร์จะมีความถี่ในการสวิตช์เมื่อพิจารณาให้อยู่ในเทอมของเอาต์พุตซึ่งจะได้จากสมการที่ (2.20) โดยพิจารณาความถี่ด้วยจะได้

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} = \frac{V_s T}{T-DT} = \frac{V_s}{T-t_{on}}$$

หรือ

$$T - t_{on} = \frac{V_s T}{V_o}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเวลาในช่วง  $t_{on}$  จะได้

$$t_{on} = T - \frac{V_s T}{V_o} = \frac{V_o - V_s}{fV_o} \quad (4.17)$$

แทนค่า  $t_{on}$  ลงในสมการที่ (4.18) จะได้

$$\Delta V_C = \frac{I_o(V_o - V_s)}{V_o fC} = \frac{I_o(V_o - V_s)}{fCV_s/(1-D)} \quad (4.18)$$

จากสมการที่ (4.18) เขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายจะได้

$$\Delta V_C = \frac{[I_o(V_o - V_s + DV_s)/(1-D)]}{fCV_s/(1-D)} = \frac{I_o D}{fC} \quad (4.19)$$

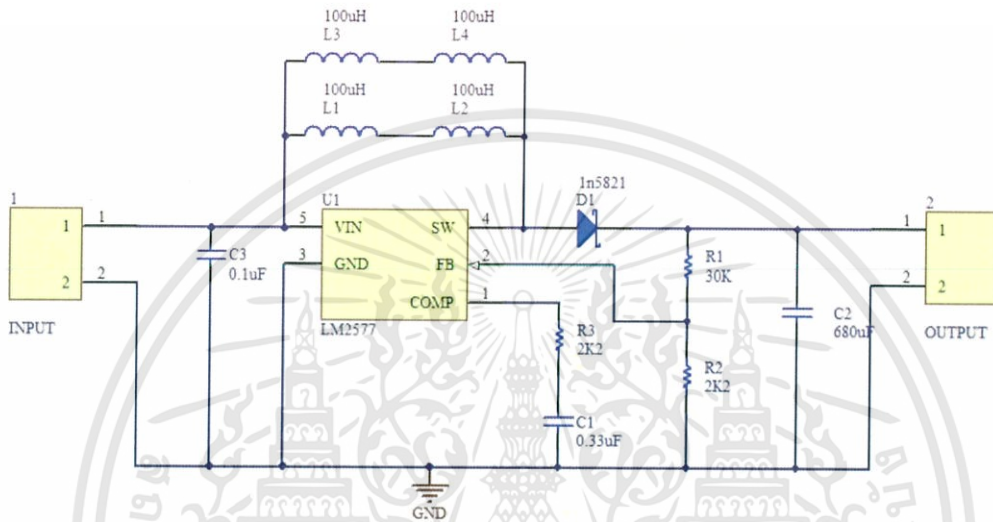
ดังนั้น

$$\Delta V_C = \Delta V_o \quad (4.20)$$

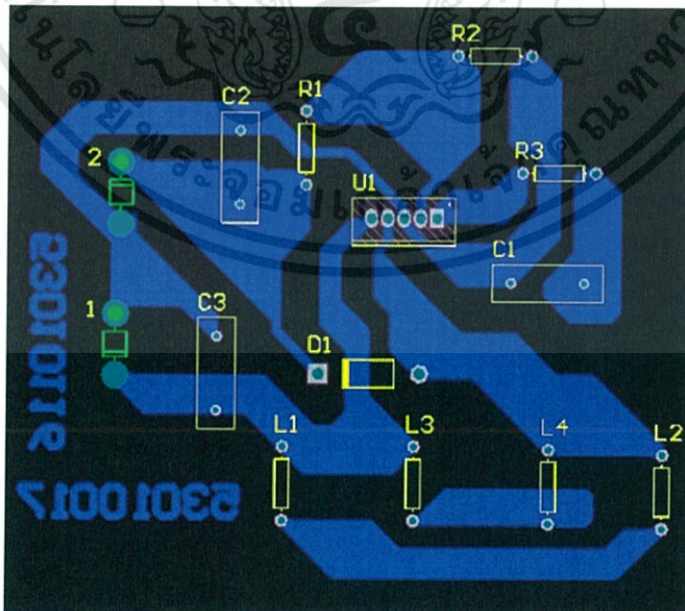
ตัวเก็บประจุทางด้านเอาต์พุตของวงจรบัพแรงดันจะหาได้จากสมการที่ (4.21)

$$C = \frac{I_o D}{f\Delta V_o} \quad (4.21)$$

#### 4.2.1 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ของพัลสมไฟฟ้า DC



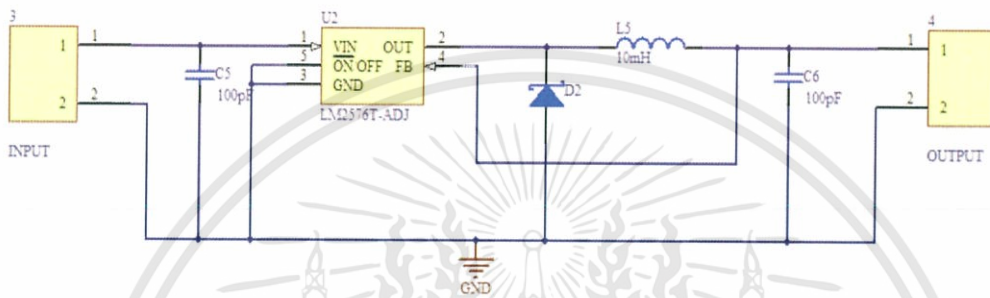
รูป 4.8 Schematic ของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ของพัลสมไฟฟ้า DC



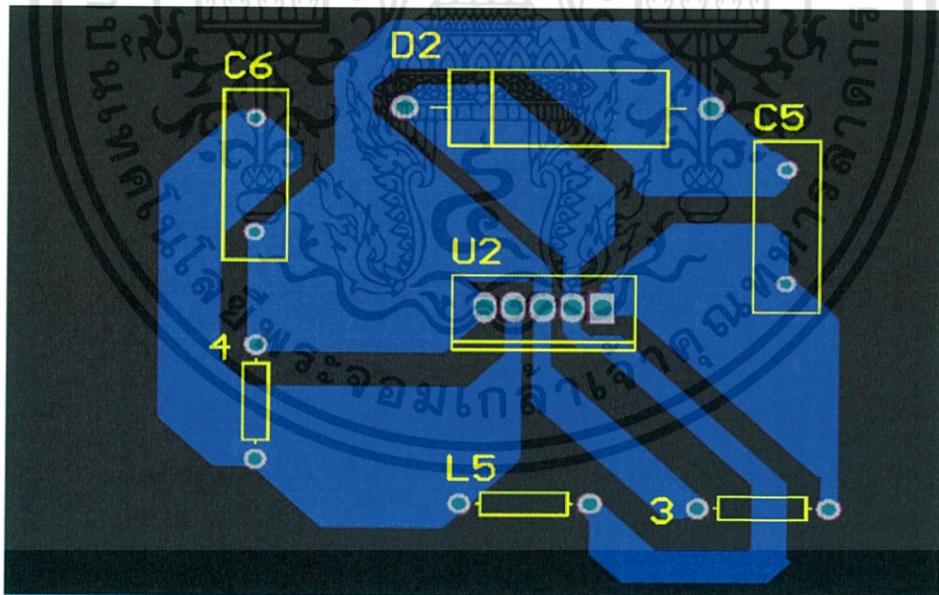
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.9 PCB (Print Circuit Board) ของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ของพัลลวมไฟฟ้า DC

### 4.3 วงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่



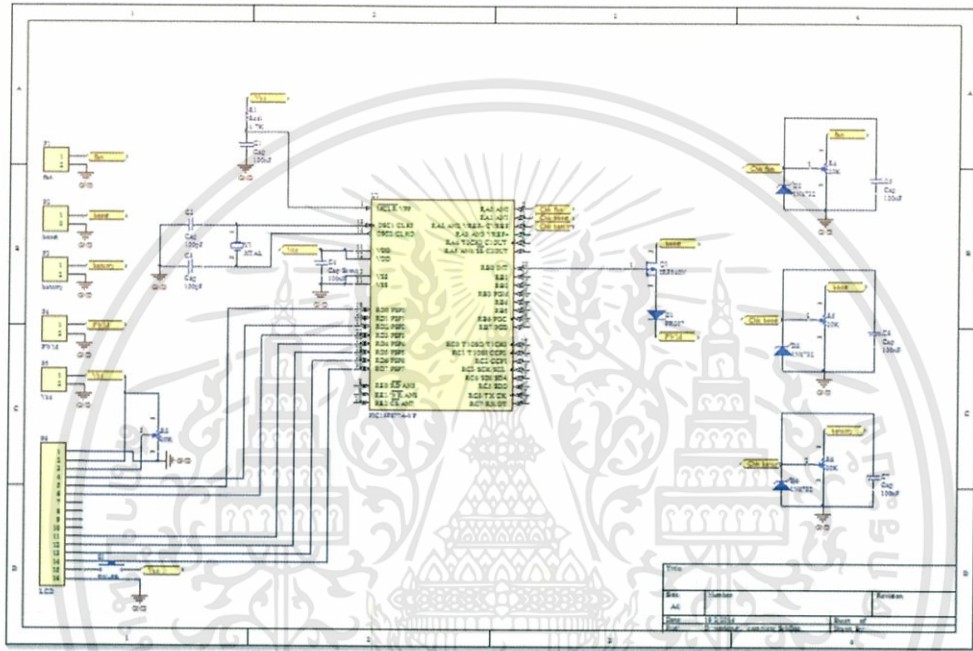
รูป 4.10 Schematic ของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่



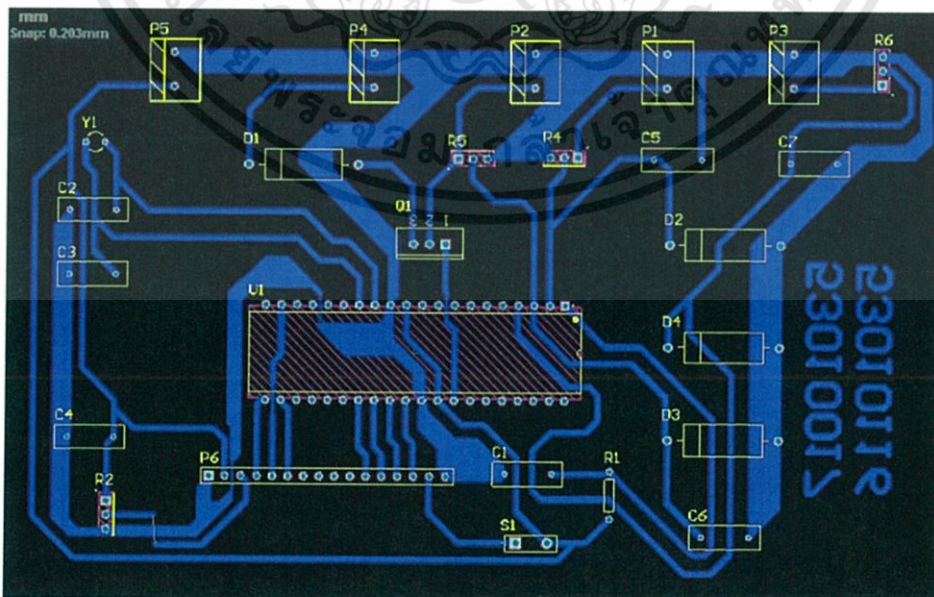
รูป 4.11 PCB (Print Circuit Board) ของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (CPU Controller)

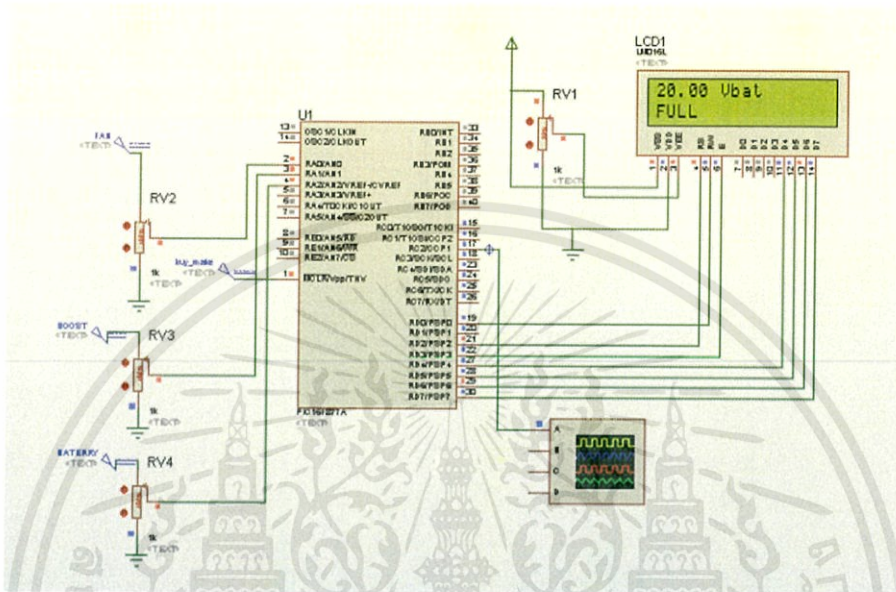


รูปที่ 4.12 Schematic ของวงจร Microcontroller

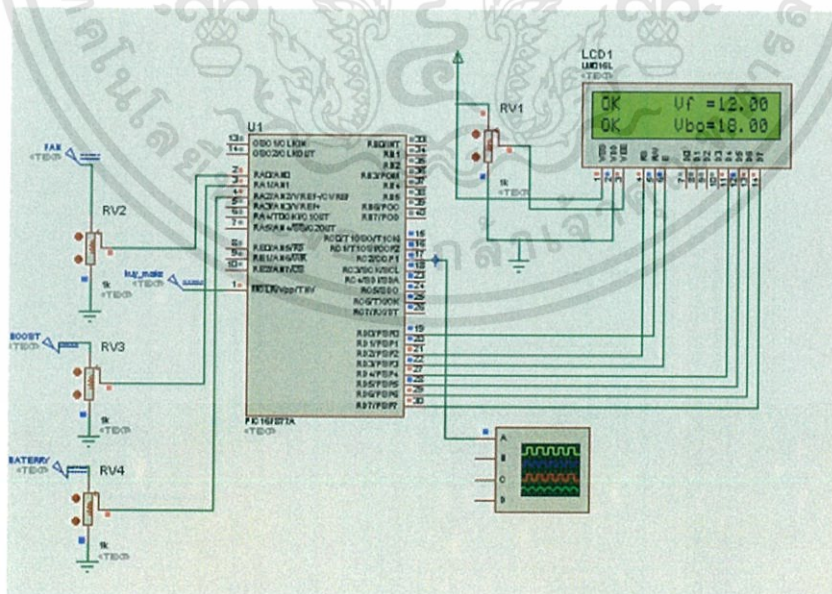


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 PCB (Print Circuit Board) ของวงจร Microcontroller



รูปที่ 4.14 ภาพจำลองการทำงานในโปรแกรม Proteus แสดงสถานะเมื่อแบตเตอรี่เต็ม



รูปที่ 4.15 ภาพจำลองการทำงานในโปรแกรม Proteus แสดงสถานะเอาต์พุตจากพัลสมและจากวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

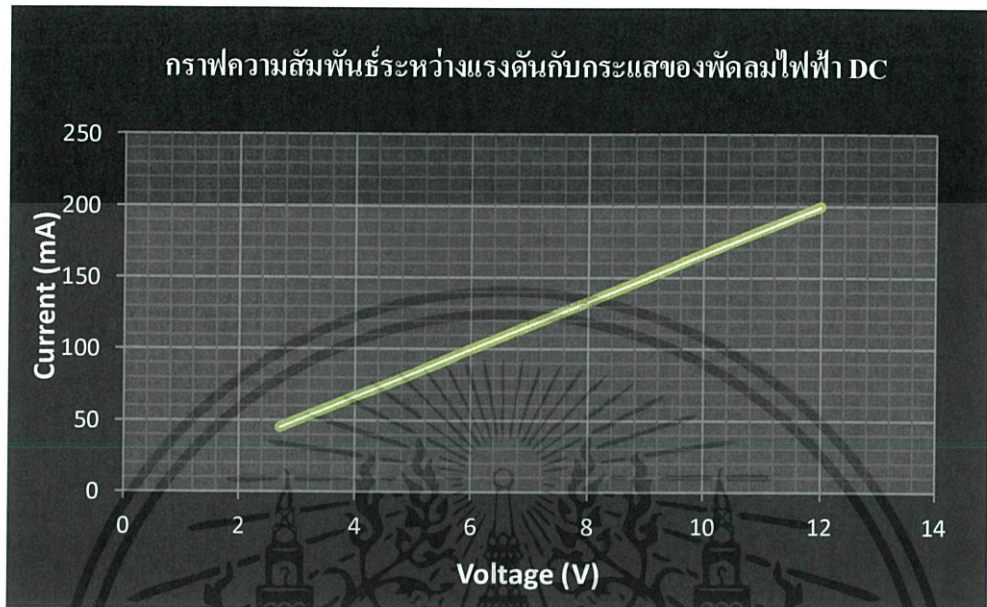
### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า DC

5.1.1 เมื่อนำพัดลมไฟฟ้า DC มาทดสอบโดยใช้แรงลมจากการขับรถที่ความเร็วต่าง ๆ และต่อเข้ากับโหลดค่า  $60 \Omega$  เป็นดังนี้

ตารางที่ 5.1. แสดงความเร็วรถยนต์กับแรงดันและกระแสของพัดลมไฟฟ้า DC

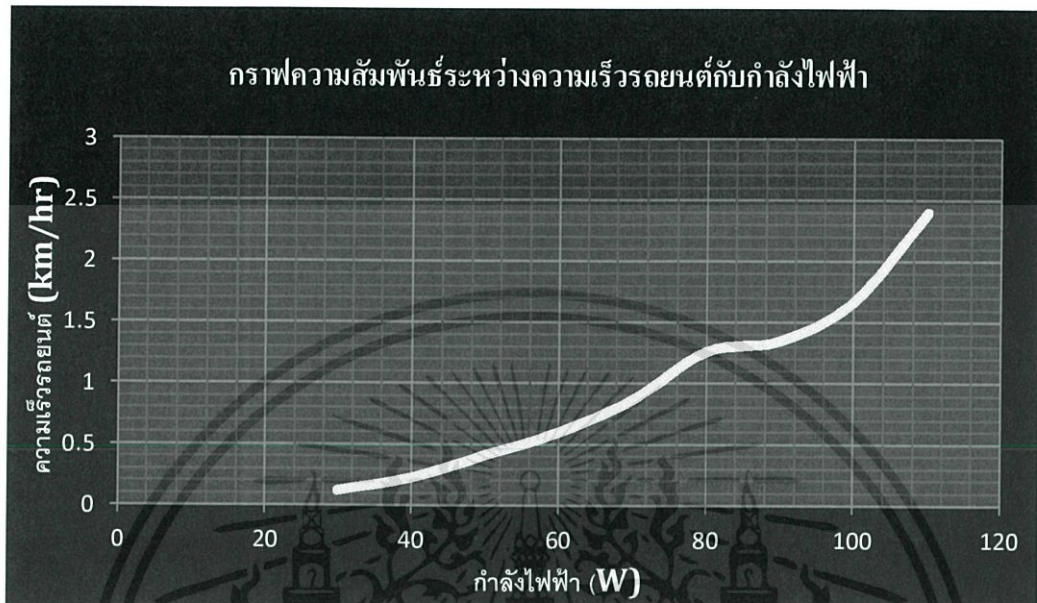
ความเร็วรถยนต์ (km/hr)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)
30	2.7	45
40	3.7	62
50	4.7	78
60	6.0	100
70	7.2	120
80	8.7	145
90	9.0	150
100	10.0	167
110	12.0	200



ตารางที่ 5.2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับกำลังไฟฟ้าของพัดลมไฟฟ้า DC

ความเร็วรถยนต์ (km/hr)	กำลังไฟฟ้า (W)
30	0.122
40	0.229
50	0.414
60	0.600
70	0.864
80	1.262
90	1.350
100	1.670
110	2.400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



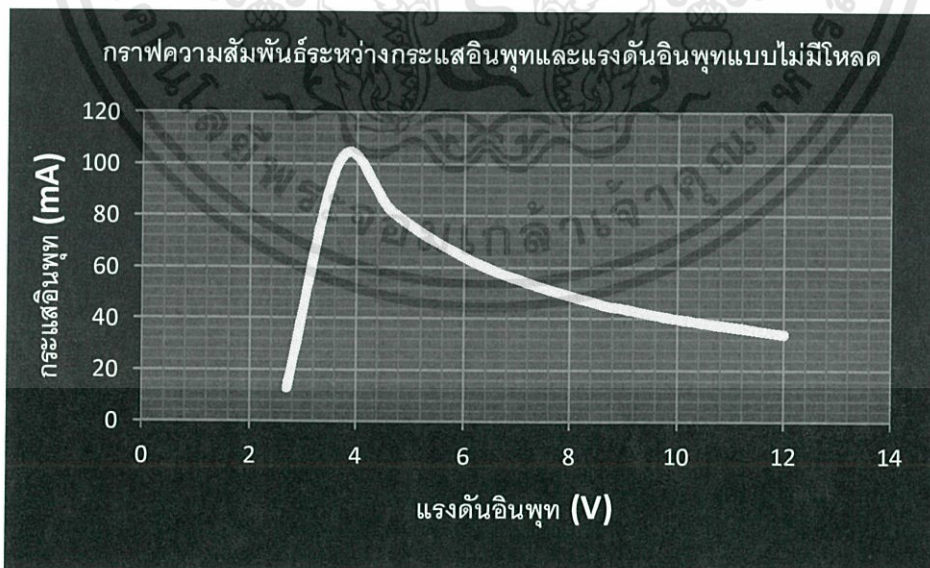
## 5.2 การทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ Step Up ด้วย Power Supply

5.2.1 เมื่อนำวงจร Step Up Converter มาทดสอบโดยการต่อกับ Power Supply โดยปรับแรงดันอินพุตตามแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากพัลลัม (ตารางที่ 5.1) แบบ Open Circuit และไม่มีโหลด ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าแรงดันอินพุท กระแสอินพุทและค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจร step up converter เมื่อทำการวัดแบบ open circuit

แรงดันอินพุท (V)	กระแสอินพุท (mA)	แรงดันเอาต์พุท (V)
2.7	13	2.51
3.7	102	18.37
4.7	81	18.36
6.0	64	18.35
7.2	54	18.34
8.7	45	18.34
9.0	44	18.34
10.0	40	18.33
12.0	34	18.33

นำผลที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังนี้



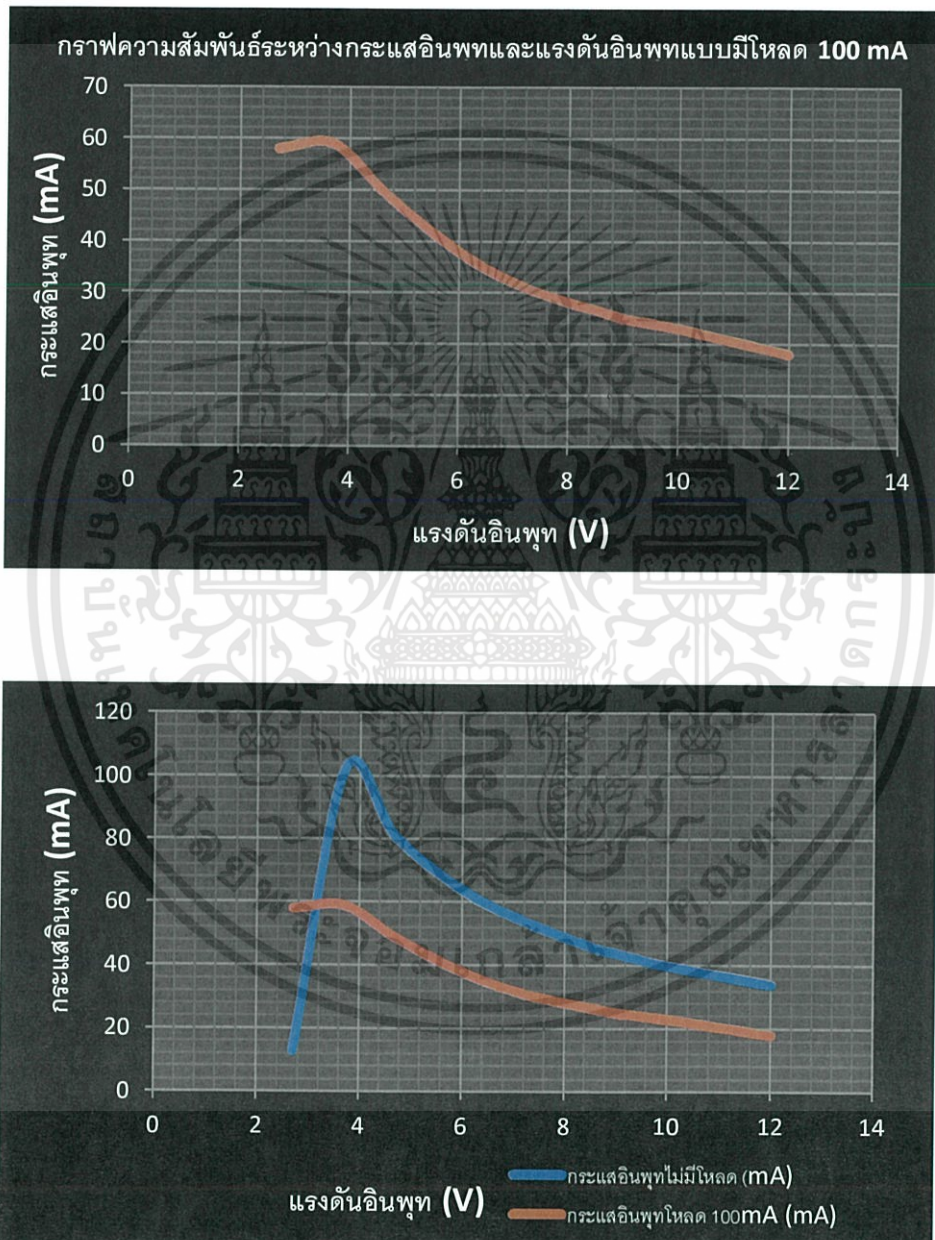
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 เมื่อนำวงจร Step Up Converter มาทดสอบโดยการต่อกับ Power Supply โดยปรับแรงดันอินพุตตามแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากพัลลัม (ตารางที่ 5.1) และมีโหลด ดึงกระแส 100 mA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าแรงดันอินพุต กระแสอินพุตและค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร step up converter เมื่อทำการวัดแบบดึงกระแส 100 mA

แรงดันอินพุต (V)	กระแสอินพุต (mA)	แรงดันเอาต์พุต (V)
2.7	58	2.46
3.7	59	16.94
4.7	49	18.52
6.0	38	18.46
7.2	31	18.42
8.7	26	18.40
9.0	25	18.39
10.0	23	18.37
12.0	18	18.35

นำผลที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การทดสอบวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ด้วย Power Supply

5.3.1 เมื่อนำวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่มาทดสอบโดยการต่อกับ Power Supply โดยปรับแรงดันอินพุตตามแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากพัดลม (ตารางที่ 5.1) แบบ Open Circuit และไม่มีโหลด ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าแรงดันอินพุต กระแสอินพุตและค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ เมื่อทำการวัดแบบ open circuit

แรงดันอินพุต (V)	กระแสอินพุต (mA)	แรงดันเอาต์พุต (V)
2.7	3	0
3.7	24	3.06
4.7	17	4.47
6.0	16	5.03
7.2	13	5.05
8.7	12	5.06
9.0	11	5.06
10.0	11	5.05
12.0	10	5.06

นำผลที่ได้มาพลอตกราฟได้ดังนี้

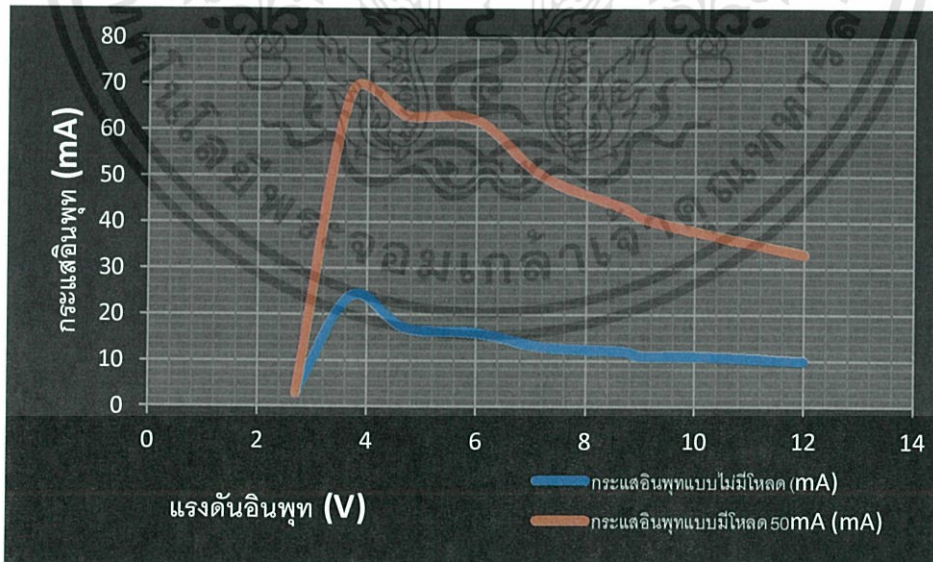
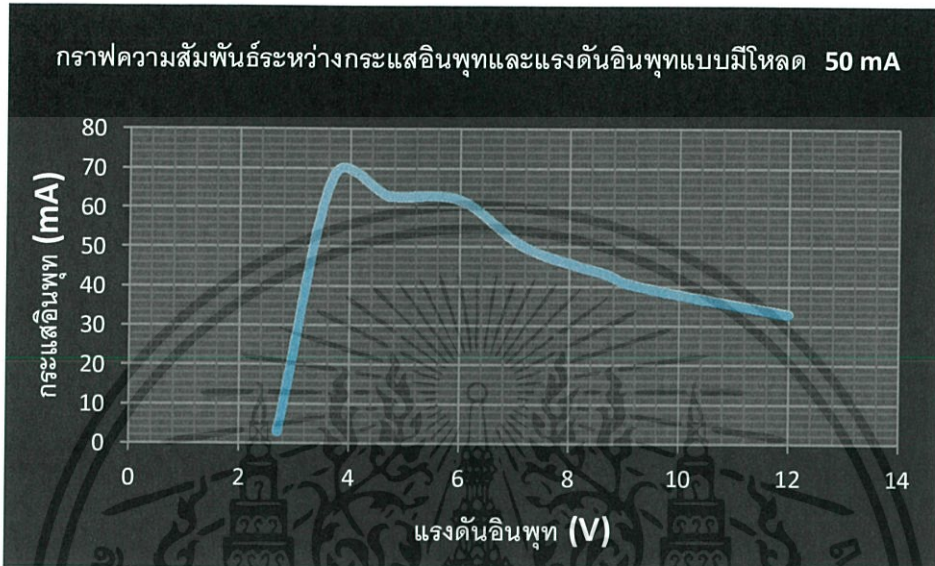


5.3.1 เมื่อนำวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่มาทดสอบโดยการต่อกับ Power Supply โดยปรับแรงดันอินพุทตามแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากพดลสม (ตารางที่ 5.1) และมีโหลด 50 mA ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าแรงดันอินพุท กระแสอินพุทและค่าแรงดันเอาต์พุทของวงจรควบคุมแรงดันขาออกให้คงที่ และมีโหลด 50 mA

แรงดันอินพุท (V)	กระแสอินพุท (mA)	แรงดันเอาต์พุท (V)
2.7	3	0
3.7	68	2.94
4.7	63	3.93
6.0	62	4.99
7.2	50	5.02
8.7	43	5.03
9.0	41	5.03
10.0	38	5.03
12.0	33	5.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ทดสอบโปรแกรมที่เขียนบนโปรแกรม Mikro c

เขียนคำสั่งในการเช็คแรงดันจากพัลลวม เช็คแรงดันที่บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เช็ค Battery และควบคุมระยะเวลาในการชาร์ต ผลของโปรแกรมเป็นดังนี้

```
void main() //เริ่มต้นโปรแกรมหลัก
{
unsigned long int Vfan,Vboost,Vbat; //สร้างตัวแปรเก็บผลลัพธ์ที่ได้จาก
//A/D
unsigned char v0,v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8,v9,v10,v11;//สร้างตัวแปรและเก็บค่าการ
//แสดงผล
TRISA=0xFF; //กำหนดให้พอร์ต A เป็นอินพุต
TRISD=0; //กำหนดให้พอร์ต D เป็นเอาต์พุต
Lcd_Init(&PORTD); //กำหนดให้ LCD เชื่อมต่อกับ
//พอร์ต D
Lcd_Cmd(LCD_CURSOR_OFF); //ปิดการแสดงเคอร์เซอร์
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); //เคลียร์หน้าจอ LCD
while(1) //ให้มีการวนอยู่ในลูปนี้แบบไม่รู้
//จบ
{
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); //เคลียร์หน้าจอ LCD
Vfan=Adc_Read(0); //อ่านค่าจาก A/D converter มาเก็บ
//ไว้ที่ตัวแปร Vfan
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(Vfan>=299&&Vfan<=1023)           //เข้าสู่เงื่อนไขถ้า Vfan >=1.46 v แต่ <=
                                     5 v
{
Lcd_Out(1,1,"OK");                   //ถ้าใช่แสดง "OK" บนจอ LCD
}
else
{
Lcd_Out(1,1,"NO OK");                //ถ้าไม่ใช่แสดง "NO OK" บนจอ LCD
}
Vfan=Vfan*489/1000*24/10;            //นำผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลง A/D x 489
                                     mv และแปลงกลับเพื่อแสดงผล
v0=Vfan/1000;                        //ดึงค่าหลักสิบออกมาจากผลคูณที่ได้
v1=(Vfan%1000)/100;                 //ดึงค่าหลักหน่วยออกมาจากผลคูณที่ได้
v2=(Vfan%100)/10;                  //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ออกมาจากผล
                                     คูณที่ได้
v3=Vfan%10;                         //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ออกมาจากผล
                                     คูณที่ได้

Lcd_Chr(1,12,v0+48);                //แสดงค่าแรงดันหลักสิบวัตต์ได้บนจอ LCD
Lcd_Chr(1,13,v1+48);                //แสดงค่าแรงดันหลักหน่วยที่วัตต์ได้บนจอ
                                     LCD
Lcd_Chr(1,14,'.');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Lcd_Chr(1,15,v2+48);           //แสดงค่าแรงดันทศนิยมตำแหน่งที่ 1 บน
                                จอ LCD

Lcd_Chr(1,16,v3+48);           //แสดงค่าแรงดันทศนิยมตำแหน่งที่ 2 บน
                                จอ LCD

Lcd_Out(1,8,"Vf =");           //แสดง "Vf=" บนจอ LCD

Vboost=Adc_Read(1);            //อ่านค่าจาก A/D converter มาเก็บไว้ที่ตัวแปร
                                Vboost

if(Vboost>=205&&Vboost<=1023) //เข้าสู่เงื่อนไขถ้า Vboost >= 1 v
                                แต่ <= 5 v
{
Lcd_Out(2,1,"OK");             //ถ้าใช่แสดง "OK" บนจอ LCD
}
else
{
Lcd_Out(2,1,"NO OK");          //ถ้าไม่ใช่แสดง "NO OK" บนจอ
                                LCD
}

Vboost=Vboost*489/1000*36/10; //นำผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลง A/D x 489
                                mv และแปลงกลับเพื่อแสดงผล

V10=Vboost/1000;               //ดึงค่าหลักสิบออกมาจากผลคูณที่ได้

V4=(Vboost%1000)/100;          //ดึงค่าหลักหน่วยออกมาจากผลคูณที่ได้

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

v5=(Vboost%100)/10;           //ตั้งค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ออกมาจากผม
                                //คุณที่ได้
v6=Vboost%10;                 //ตั้งค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ออกมาจากผม
                                //คุณที่ได้
Lcd_Chr(2,12,v10+48);         //แสดงค่าแรงดันหลักสิบที่วัดได้บนจอ
                                LCD
Lcd_Chr(2,13,v4+48);          //แสดงค่าแรงดันหลักหน่วยที่วัดได้บนจอ
                                LCD
Lcd_Chr(2,14,',');            //แสดงจุดทศนิยมบนจอ LCD
Lcd_Chr(2,15,v5+48);          //แสดงค่าแรงดันทศนิยมตำแหน่งที่ 1 บน
                                จอ LCD
Lcd_Chr(2,16,v6+48);          //แสดงค่าแรงดันทศนิยมตำแหน่งที่ 2 บน
                                จอ LCD
Lcd_Out(2,8,"Vbo=");          //แสดง "Vbo=" บนจอ LCD
delay_ms(500);                //หน่วงเวลา 500 ms
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR);           //เคลียร์หน้าจอ LCD
Vbat=Adc_Read(2);             //อ่านค่าจาก A/D converter มาเก็บไว้ที่ตัวแปร Vfan
if(Vbat<=409)                  //เข้าสู่เงื่อนไขถ้า Vbat <=2 v
{
Lcd_Out(2,1,"LOW");           //ถ้าใช่แสดง "LOW" บนจอ LCD
PORTC=0;                      //เคลียร์ค่าที่ค้างอยู่ในพอร์ต C ให้เป็น 0
TRISC=0;                      //กำหนดให้ขา CCP1 เป็นเอาต์พุต

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T2CON=0x02;           //กำหนดให้ Timer2 มีอัตราส่วน
                       Prescaler=16

PR2=0xFF;             //โหลดค่า FFH ให้กับรีจิสเตอร์ PR2

CCPR1L=0x00;         //โหลดค่า 00H ให้กับรีจิสเตอร์ CCPR1L

CCP1CON=0x0C;        //กำหนดให้ CCP1 ทำงานในโหมด PWM

T2CON.TMR2ON=1;      //สั่งให้ Timer2 เริ่มนับ

delay_ms(50);        //หน่วงเวลา 50 ms
}

if(Vbat>409 && Vbat<=716) //เข้าสู่เงื่อนไขถ้า Vbat >2 v และ <=
                          3.5v
{
  Lcd_Out(2,1,"CHARGING"); //ถ้าใช่แสดง "CHARGING" บนจอ LCD
  PORTC=0;                 //เคลียร์ค่าที่ค้างอยู่ในพอร์ต C ให้เป็น 0
  TRISC=0;                 //กำหนดให้ขา CCP1 เป็นเอาต์พุต
  T2CON=0x02;             //กำหนดให้ Timer2 มีอัตราส่วน
                          Prescaler=16

  PR2=0x7C;               //โหลดค่า 7CH ให้กับรีจิสเตอร์ PR2

  CCPR1L=0x1F;           //โหลดค่า 1FH ให้กับรีจิสเตอร์ CCPR1L

  CCP1CON=0x0C;         //กำหนดให้ CCP1 ทำงานในโหมด PWM

  T2CON.TMR2ON=1;      //สั่งให้ Timer2 เริ่มนับ

  delay_ms(50);        //หน่วงเวลา 50 ms
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

if(Vbat>716) //เข้าสู่เงื่อนไขถ้า Vbat <=3.5 v
{
Lcd_Out(2,1,"FULL"); //ถ้าใช่แสดง "FULL" บนจอ LCD
PORTC=0; //เคลียร์ค่าที่ค้างอยู่ในพอร์ต C ให้เป็น 0
TRISC=0; //กำหนดให้ขา CCP1 เป็นเอาต์พุต
T2CON=0x02; //กำหนดให้ Timer2 มีอัตราส่วน
Prescaler=16
PR2=0xFF; //โหลดค่า FFH ให้กับบริจิสเตอร์ PR2
CCPR1L=0x00; //โหลดค่า 00H ให้กับบริจิสเตอร์ CCPR1L
CCP1CON=0x0C; //กำหนดให้ CCP1 ทำงานในโหมด PWM
T2CON.TMR2ON=1; //สั่งให้ Timer2 เริ่มนับ
delay_ms(50); //หน่วงเวลา 50 ms
}

Vbat=Vbat*489/1000*4; //นำผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลง A/D x 489
mv

V11=Vbat/1000; //ดึงค่าหลักสิบออกมาจากผลคูณที่ได้
V7=(Vbat%1000)/100; //ดึงค่าหลักหน่วยออกมาจากผลคูณที่ได้
v8=(Vbat%100)/10; //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ออกมาจากผล
คูณที่ได้

```

```

v9=Vbat%10; //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ออกมาจากผม
              คุณที่ได้

Lcd_Chr(1,1,v11+48); //แสดงค่าแรงดันหลักสิบที่วัดได้บนจอ
                    LCD

Lcd_Chr(1,2,v7+48); //แสดงค่าแรงดันหลักหน่วยที่วัดได้บนจอ
                    LCD

Lcd_Chr(1,3,'. '); //แสดงจุดทศนิยมบนจอ LCD

Lcd_Chr(1,4,v8+48); //แสดงค่าแรงดันทศนิยมตำแหน่งที่ 1 บน
                    จอ LCD

Lcd_Chr(1,5,v9+48); //แสดงค่าแรงดันทศนิยมตำแหน่งที่ 2 บน
                    จอ LCD

Lcd_Out(1,7,"Vbat"); //แสดง "Vbat" บนจอ LCD

delay_ms(500); //หน่วงเวลา 500 ms

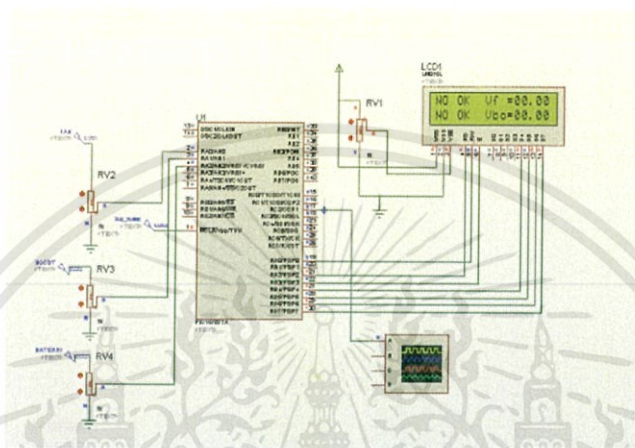
}

}

```

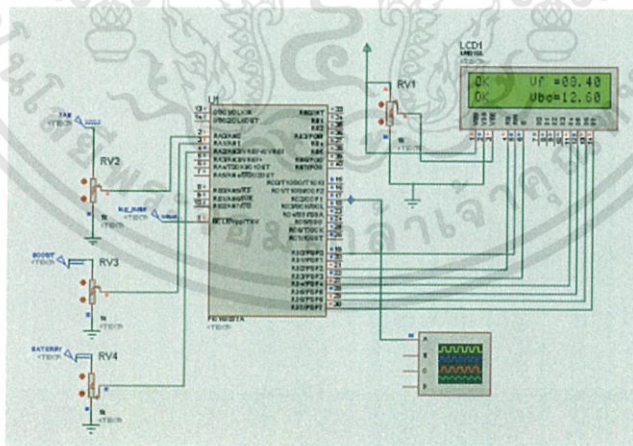
## 5.5 จำลองคำสั่งบน Proteus

### 5.5.1 แสดงสถานะหน้าจอ LCD แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 3.5 V จะแสดงผลดังนี้



รูป 5.1 สถานะหน้าจอ LCD เมื่อมีแรงดันน้อยกว่า 3.5 โวลต์

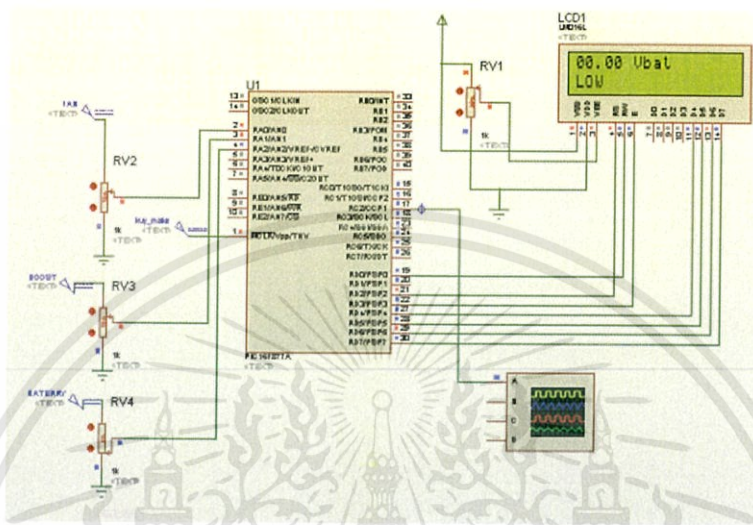
### 5.5.2 แสดงสถานะหน้าจอ LCD แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 3.5 V จะแสดงผลดังนี้



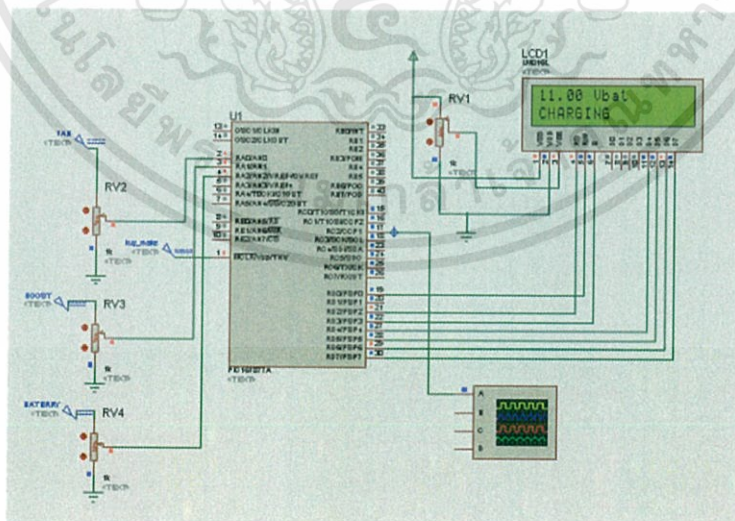
รูป 5.2 สถานะหน้าจอ LCD เมื่อมีแรงดันมากกว่า 3.5 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1 แสดงหน้าจอ LCD เช็สถานะแบตเตอรี่แสดงผลดังนี้

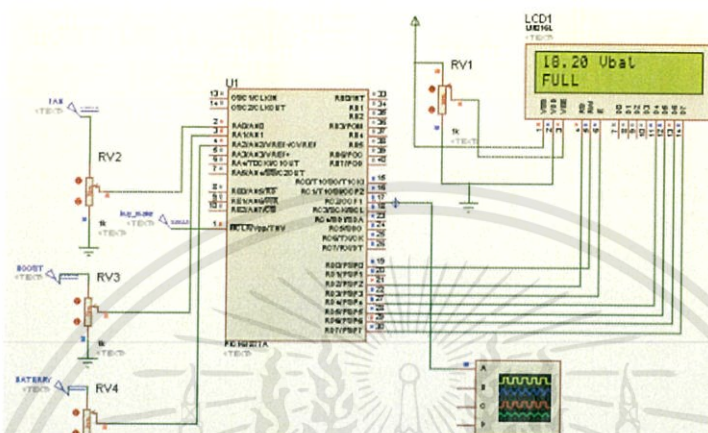


รูป 5.3 สถานะหน้าจอ LCD แสดง "LOW " เมื่อทำการเช็คแบตเตอรี่



รูป 5.4 สถานะหน้าจอ LCD แสดง "CHARGING " เมื่อทำการเช็คแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.5 สถานะหน้าจอ LCD แสดง "FULL" เมื่อทำการเช็คแบตเตอรี่

## 5.6 การจำลองการชาร์ตของ PWM



รูป 5.6 แสดงการจำลองการชาร์ตแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองพัดลม DC เมื่อนำพัดลม DC มาทดสอบโดยการนำพัดลมทดสอบไปติดไว้บนรถยนต์เพื่อรับลมและเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าผลที่ได้คือ เมื่อวิ่งรถในความเร็วเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าจะสูงขึ้นและสูงขึ้นได้ถึง 14 โวลต์ เมื่อวิ่งรถยนต์ด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. และต่ำสุดที่ 4.5 โวลต์ เมื่อวิ่งที่ความเร็วเพียง 40 กม./ชม. ซึ่งเพียงพอต่อการทำให้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดบูสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานเพื่อยกระดับแรงดันเอาท์พุทเป็น 18 V ส่วนของการวัดกระแสเมื่อนำพัดลมไปติดบนรถยนต์แล้วต่อโหลดเป็น Step-up Converter เมื่อ Open Circuit แล้วนำ มิเตอร์ไปวัดกระแส จะได้ค่า กระแส น้อยสุดคือ 0.01 A ที่ความเร็วประมาณ 40 กม./ชม. และได้กระแสมากที่สุดที่ 0.09 A เมื่อความเร็วประมาณ 80 กม./ชม.

ในการทดลองวงจร Microcontroller เมื่อมีแรงดันเข้ามาในระบบ น้อยกว่า 3.5v LCD ที่บรรทัดแรกจะแสดงว่า “NO OK” และจะบอกค่าแรงดันที่ได้จากพัดลมด้วย คือ “Vf = ..... V” แต่เมื่อแรงดันที่พัดลมมากกว่า 3.5v หน้าจอจะแสดงผลว่า “OK” และจะขึ้นบอกค่าแรงดันด้วยเช่นกันและในบรรทัดที่ 2 เมื่อมีแรงดันเข้ามาในระบบน้อยกว่า 3.5v LCD ในบรรทัดที่ 2 จะขึ้นว่า “ON OK” และจะบอกค่าของแรงดัน Output ที่ได้จากรวม Boost คือ  $V_{bo} = \dots\dots v$  แต่เมื่อแรงดันที่ได้จากพัดลมมีค่ามากกว่า 3.5v LCD ในบรรทัดที่ 2 จะขึ้นว่า “OK” และจะบอกค่าแรงดันเป็น  $V_{bo} = 18.37v$  ที่เป็นอย่างนี้เนื่องจาก วงจร boost ทำงานที่ 3.5v ขึ้นไป ถึงจะได้ Output ที่ 18.37 v

และในการแสดงผลต่อมาคือการแสดงผลสถานะของ battery จะมีการแสดงผลอยู่ 3 แบบที่ 1 เมื่อแรงดันของ battery น้อยกว่า 8v หน้าจอ LCD จะแสดงผลเป็น “LOW” แบบที่ 2 เมื่อแรงดันของ battery อยู่ระหว่าง 8-14 v หน้าจอ LCD จะแสดงผลเป็น “Charging” แบบที่ 3 เมื่อแรงดัน battery มากกว่า 14v หน้าจอ LCD จะแสดงผลเป็น “FULL” และจะมีการแสดงค่าแรงดันของ battery ทุกค่าอีกด้วย

## บทที่ 7

### ข้อเสนอแนะ

7.1 จากการทดลองพบว่าสรีระของพัตลมมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าซึ่งส่วนใบพัดของพัตลมเป็นส่วนสำคัญเป็นอย่างมากในการสร้างแรงดันและกระแส ซึ่งในโครงการนี้เป็นกรนำพัตลมระบายอากาศในรถยนต์มาผลิตพลังงานดังนั้นรูปร่างของใบพัดจึงไม่ได้เน้นสำหรับการผลิตพลังงานแต่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ระบายอากาศซึ่งแตกต่างจากกังหันลมที่ออกแบบมาเพื่อเปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นหากผู้สนใจต้องการนำโครงการฉบับนี้ไปพัฒนาต่อ จึงควรรศึกษาสรีระของใบพัตลมที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการ



## บรรณานุกรม

- [1] ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง (2554) : “Advance PIC Microcontroller in C การประยุกต์ใช้งาน PIC ขั้นสูงด้วยภาษา C” : สำนักพิมพ์สมาร์ตเลิร์นนิ่ง
- [2] นายกฤติน อรรถพฤษ์ , นายศุภกรณ์ รุ่งเมฆารัตน์ (2554) : “ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานจากเทอร์โมอิเล็กทริก” : ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- [3] John Therampilly (2012) : “Energy Harvesting From multiple Sources For Battery Charging” : Bachelor Degree of Electrical Engineering



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**MICROCHIP**

---

**PIC16F87XA**  
**Data Sheet**

28/40/44-Pin Enhanced Flash  
Microcontrollers

**Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:**

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

**Trademarks**

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoC, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.


Amplab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

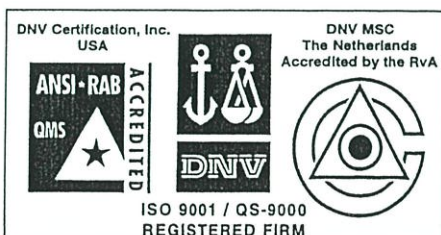
Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartShunt, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.



*Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoC® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.*



# PIC16F87XA

## 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F876A
- PIC16F874A
- PIC16F877A

### High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input  
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin  
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during Sleep via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™  
(Master mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)

### Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital  
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference  
(VREF) module
  - Programmable input multiplexing from device  
inputs and internal voltage reference
  - Comparator outputs are externally accessible

### Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash  
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM  
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)  
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

### CMOS Technology:

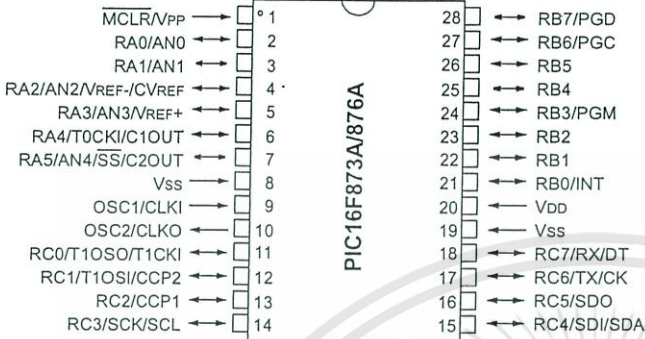
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM  
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I <sup>2</sup> C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

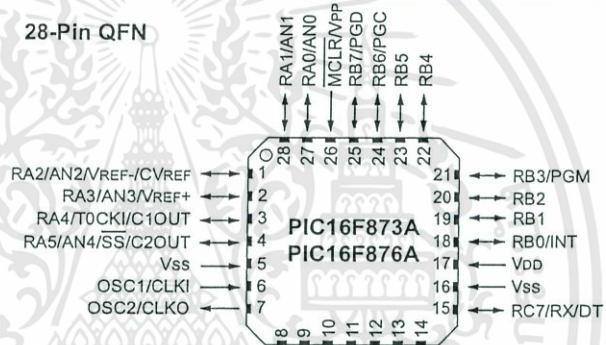
# PIC16F87XA

## Pin Diagrams

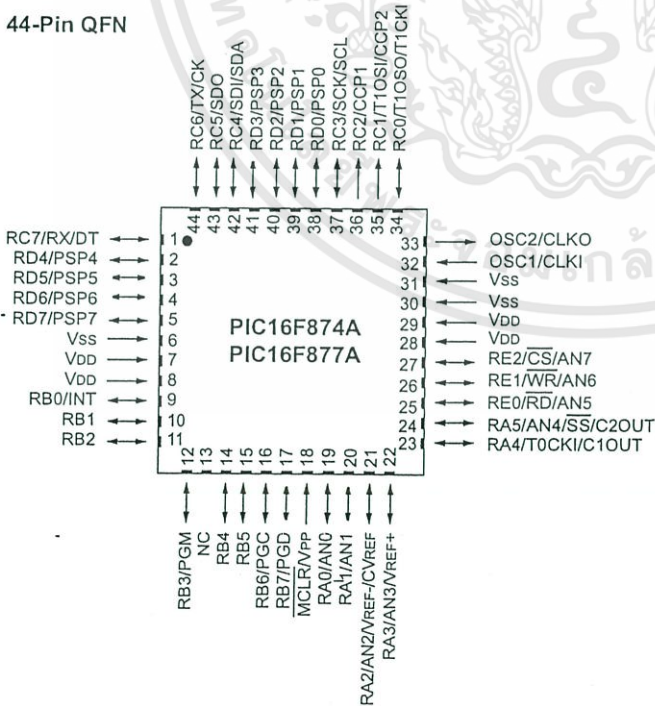
### 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



### 28-Pin QFN



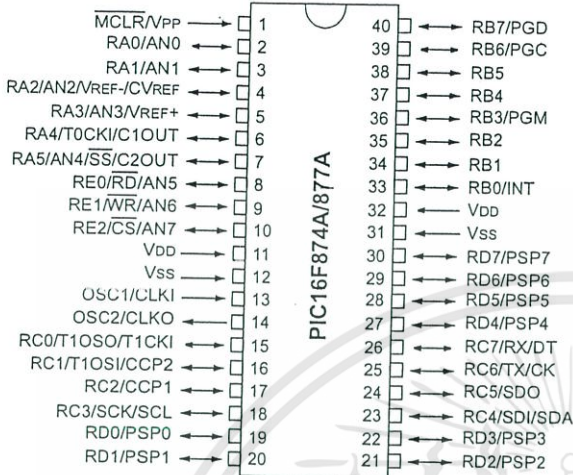
### 44-Pin QFN



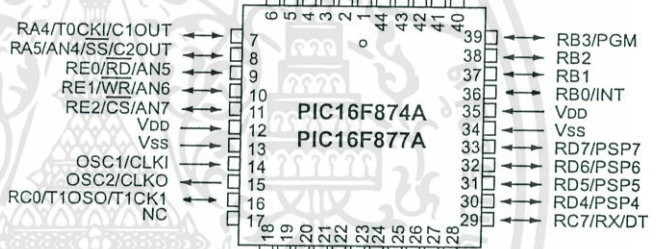
# PIC16F87XA

## Pin Diagrams (Continued)

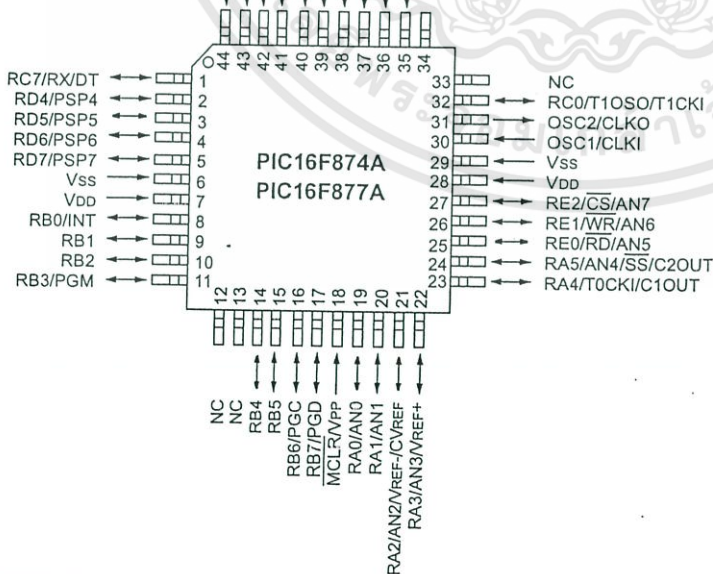
### 40-Pin PDIP



### 44-Pin PLCC



### 44-Pin TQFP



# PIC16F87XA

## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

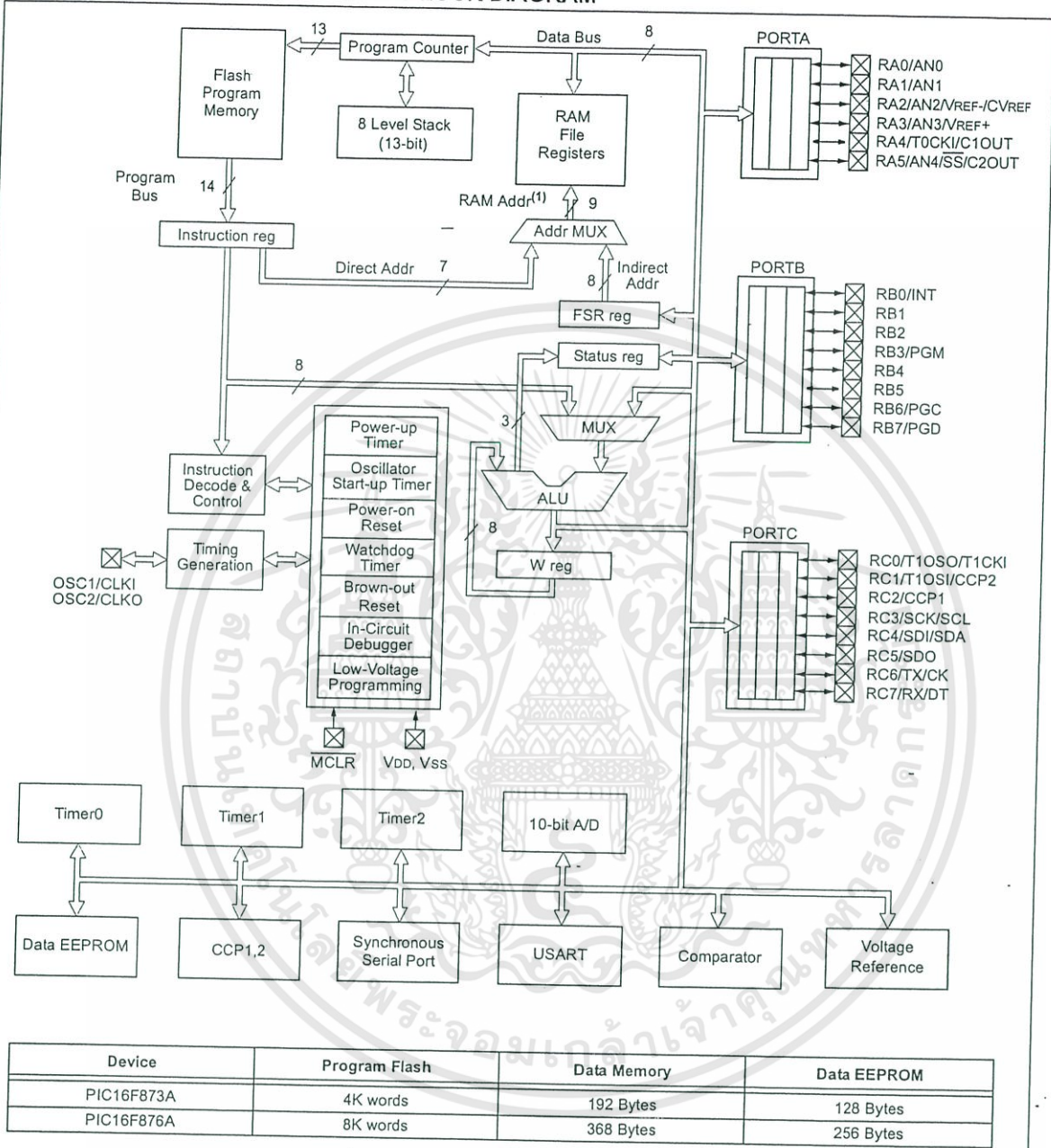
Additional information may be found in the PICmicro® Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

# PIC16F87XA

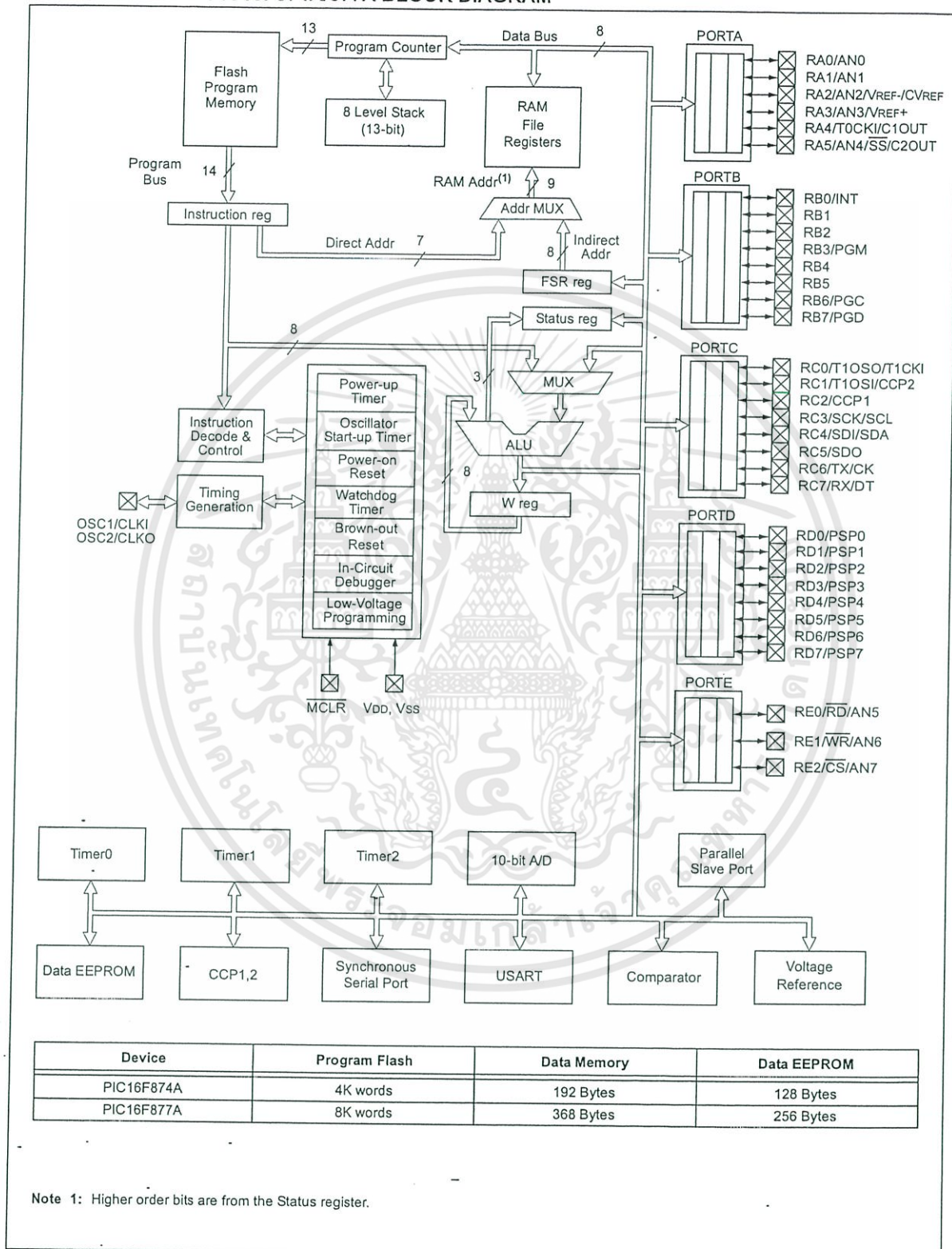
FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



Note 1: Higher order bits are from the Status register.

# PIC16F87XA

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



# PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	9	6	I  I	ST/CMOS <sup>(3)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	10	7	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	26	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	27	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	28	I/O I	TTL	
RA2/AN2/VREF-/ CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	1	I/O I O	TTL	
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	2	I/O I I	TTL	
RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT	6	3	I/O I O	ST	
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	4	I/O I I O	TTL	

Legend: I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	21	18	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.  Digital I/O. External interrupt.
RB1	22	19	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	23	20	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	24	21	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage (single-supply) ICSP programming enable pin.
RB4	25	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	26	23	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	27	24	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	25	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	8	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	12	9	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	10	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	11	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	12	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	13	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	14	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	15	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.
Vss	8, 19	5, 6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	17	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1  CLKI	13	14	30	32	I  I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2  CLKO	14	15	31	33	O  O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction-cycle rate.
MCLR/VPP MCLR  VPP	1	2	18	18	I  P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0 RA1/AN1 RA1 AN1 RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+ RA4/T0CKI/C1OUT RA4  T0CKI C1OUT RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2   3   4   5   6   7	3   4   5   6   8	19   20   21   22   23   24	19   20   21   22   23   24	I/O I I/O I I/O I I I/O I I O I/O I I I O	TTL   TTL   TTL   TTL   ST   TTL	PORTA is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Analog input 0.  Digital I/O. Analog input 1.  Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.  Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.  Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.  Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
— = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.  Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

**Legend:** I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK  SCL	18	20	37	37	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I <sup>2</sup> C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I <sup>2</sup> C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

Legend: I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
— = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus.  Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/RD/AN5 RE0 RD AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTE is a bidirectional I/O port.  Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/WR/AN6 RE1 WR AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/CS/AN7 RE2 CS AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL <sup>(3)</sup>	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
Vss	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input      O = output      I/O = input/output      P = power  
 — = Not used      TTL = TTL input      ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87XA

## 2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87XA devices. The program memory and data memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in Section 3.0 "Data EEPROM and Flash Program Memory".

Additional information on device memory may be found in the PICmicro® Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

## 2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87XA devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K word x 14 bit program memory space. The PIC16F876A/877A devices have 8K words x 14 bits of Flash program memory, while PIC16F873A/874A devices have 4K words x 14 bits. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The Reset vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PIC16F876A/877A PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

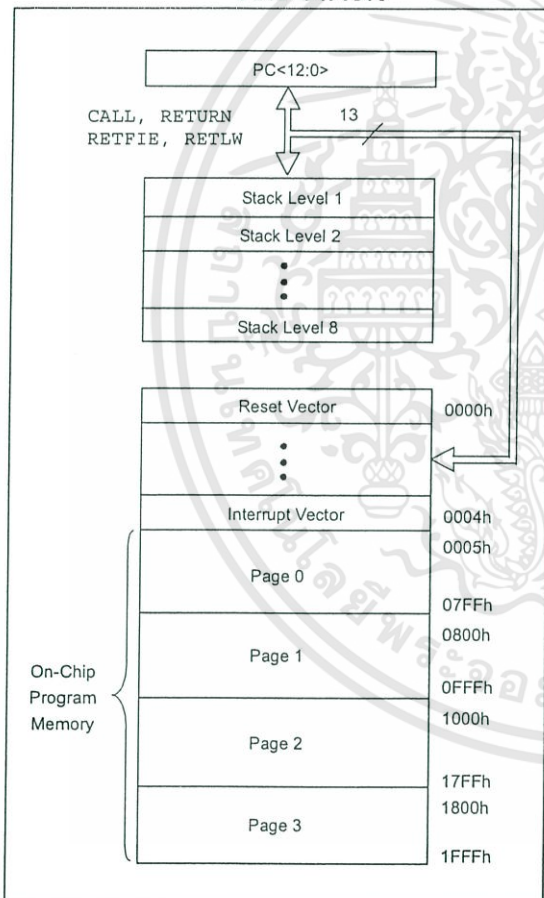
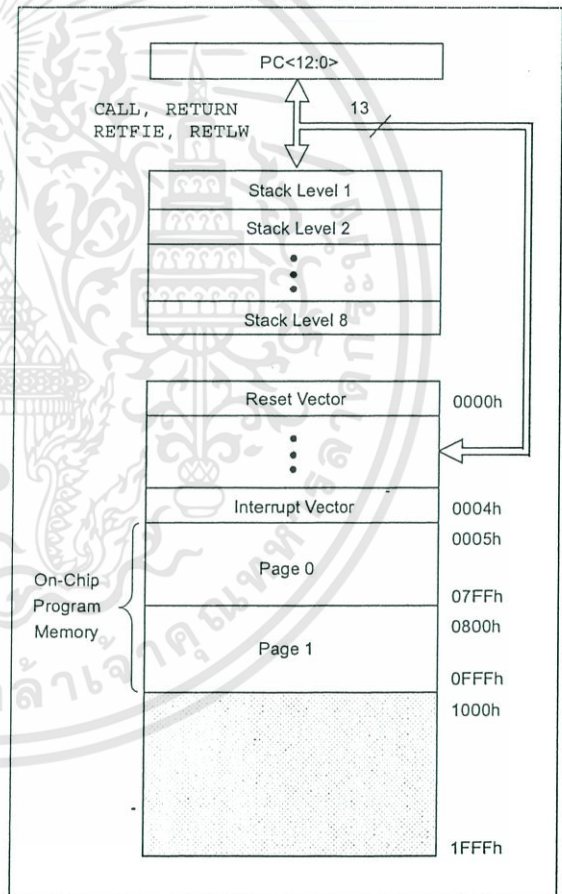


FIGURE 2-2: PIC16F873A/874A PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



# PIC16F87XA

## 2.2 Data Memory Organization

The data memory is partitioned into multiple banks which contain the General Purpose Registers and the Special Function Registers. Bits RP1 (Status<6>) and RP0 (Status<5>) are the bank select bits.

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

Each bank extends up to 7Fh (128 bytes). The lower locations of each bank are reserved for the Special Function Registers. Above the Special Function Registers are General Purpose Registers, implemented as static RAM. All implemented banks contain Special Function Registers. Some frequently used Special Function Registers from one bank may be mirrored in another bank for code reduction and quicker access.

**Note:** The EEPROM data memory description can be found in Section 3.0 "Data EEPROM and Flash Program Memory" of this data sheet.

### 2.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file can be accessed either directly, or indirectly, through the File Select Register (FSR).



FIGURE 2-3: PIC16F876A/877A REGISTER FILE MAP

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. <sup>(*)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD <sup>(1)</sup>	08h	TRISD <sup>(1)</sup>	88h		108h		188h
PORTE <sup>(1)</sup>	09h	TRISE <sup>(1)</sup>	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
T2CON	12h	PR2	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPADD	93h		113h		193h
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h		114h		194h
CCPR1L	15h		95h		115h		195h
CCPR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register	117h	General Purpose Register	197h
RCSTA	18h	TXSTA	98h	16 Bytes	118h	16 Bytes	198h
TXREG	19h	SPBRG	99h		119h		199h
RCREG	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCPR2L	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCPR2H	1Ch	CMCON	9Ch		11Ch		19Ch
CCP2CON	1Dh	CVRCON	9Dh		11Dh		19Dh
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register		General Purpose Register		General Purpose Register		General Purpose Register	
96 Bytes		80 Bytes		80 Bytes		80 Bytes	
	7Fh	accesses 70h-7Fh	EFh		16Fh	accesses 70h - 7Fh	1EFh
Bank 0		Bank 1	F0h	Bank 2	170h	Bank 3	1F0h
			FFh				1FFh

Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
 \* Not a physical register.

**Note 1:** These registers are not implemented on the PIC16F876A.  
**Note 2:** These registers are reserved; maintain these registers clear.

# PIC16F87XA

FIGURE 2-4: PIC16F873A/874A REGISTER FILE MAP

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. <sup>(*)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(*)</sup>	180h
TMR0	01h	OPTION_REG	81h	TMR0	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	05h	TRISA	85h		105h		185h
PORTB	06h	TRISB	86h	PORTB	106h	TRISB	186h
PORTC	07h	TRISC	87h		107h		187h
PORTD <sup>(1)</sup>	08h	TRISD <sup>(1)</sup>	88h		108h		188h
PORTE <sup>(1)</sup>	09h	TRISE <sup>(1)</sup>	89h		109h		189h
PCLATH	0Ah	PCLATH	8Ah	PCLATH	10Ah	PCLATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PIE1	8Ch	EEDATA	10Ch	EECON1	18Ch
PIR2	0Dh	PIE2	8Dh	EEADR	10Dh	EECON2	18Dh
TMR1L	0Eh	PCON	8Eh	EEDATH	10Eh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Eh
TMR1H	0Fh		8Fh	EEADRH	10Fh	Reserved <sup>(2)</sup>	18Fh
T1CON	10h		90h		110h		190h
TMR2	11h	SSPCON2	91h				
T2CON	12h	PR2	92h				
SSPBUF	13h	SSPADD	93h				
SSPCON	14h	SSPSTAT	94h				
CCPR1L	15h		95h				
CCPR1H	16h		96h				
CCP1CON	17h		97h				
RCSTA	18h	TXSTA	98h				
TXREG	19h	SPBRG	99h				
RCREG	1Ah		9Ah				
CCPR2L	1Bh		9Bh				
CCPR2H	1Ch	CMCON	9Ch				
CCP2CON	1Dh	CVRCON	9Dh				
ADRESH	1Eh	ADRESL	9Eh				
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh				
	20h		A0h		120h		1A0h
General Purpose Register		General Purpose Register		accesses 20h-7Fh		accesses A0h - FFh	
96 Bytes		96 Bytes			16Fh		1EFh
					170h		1F0h
					17Fh		1FFh
Bank 0	7Fh	Bank 1	FFh	Bank 2		Bank 3	

Unimplemented data memory locations, read as '0'.  
 \* Not a physical register.

**Note 1:** These registers are not implemented on the PIC16F873A.  
**Note 2:** These registers are reserved; maintain these registers clear.

# PIC16F87XA

## 2.2.2 SPECIAL FUNCTION REGISTERS

The Special Function Registers are registers used by the CPU and peripheral modules for controlling the desired operation of the device. These registers are implemented as static RAM. A list of these registers is given in Table 2-1.

The Special Function Registers can be classified into two sets: core (CPU) and peripheral. Those registers associated with the core functions are described in detail in this section. Those related to the operation of the peripheral features are described in detail in the peripheral features section.

**TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR,-BOR	Details on page:	
<b>Bank 0</b>												
00h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)								0000 0000	31, 150	
01h	TMR0	Timer0 Module Register								xxxx xxxx	55, 150	
02h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte								0000 0000	30, 150	
03h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C	0001 1xxxx	22, 150	
04h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer								xxxx xxxx	31, 150	
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read							--0x 0000	43, 150
06h	PORTB	PORTB Data Latch when written: PORTB pins when read								xxxx xxxx	45, 150	
07h	PORTC	PORTC Data Latch when written: PORTC pins when read								xxxx xxxx	47, 150	
08h <sup>(4)</sup>	PORTD	PORTD Data Latch when written: PORTD pins when read								xxxx xxxx	48, 150	
09h <sup>(4)</sup>	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	49, 150	
0Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter								---0 0000	30, 150	
0Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150	
0Ch	PIR1	PSPIF <sup>(3)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	26, 150	
0Dh	PIR2	—	CMIF	—	EEIF	BCLIF	—	—	CCP2IF	-0-0 0--0	28, 150	
0Eh	TMR1L	Holding Register for the Least Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	60, 150	
0Fh	TMR1H	Holding Register for the Most Significant Byte of the 16-bit TMR1 Register								xxxx xxxx	60, 150	
10h	T1CON	—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNCR	TMR1CS	TMR1ON	--00 0000	57, 150	
11h	TMR2	Timer2 Module Register								0000 0000	62, 150	
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	61, 150	
13h	SSPBUF	Synchronous Serial Port Receive Buffer/Transmit Register								xxxx xxxx	79, 150	
14h	SSPCON	WCOL	SSPOV	SSPEN	CKP	SSPM3	SSPM2	SSPM1	SSPM0	0000 0000	82, 82, 150	
15h	CCPR1L	Capture/Compare/PWM Register 1 (LSB)								xxxx xxxx	63, 150	
16h	CCPR1H	Capture/Compare/PWM Register 1 (MSB)								xxxx xxxx	63, 150	
17h	CCP1CON	—	—	CCP1X	CCP1Y	CCP1M3	CCP1M2	CCP1M1	CCP1M0	--00 0000	64, 150	
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	112, 150	
19h	TXREG	USART Transmit Data Register								0000 0000	118, 150	
1Ah	RCREG	USART Receive Data Register								0000 0000	118, 150	
1Bh	CCPR2L	Capture/Compare/PWM Register 2 (LSB)								xxxx xxxx	63, 150	
1Ch	CCPR2H	Capture/Compare/PWM Register 2 (MSB)								xxxx xxxx	63, 150	
1Dh	CCP2CON	—	—	CCP2X	CCP2Y	CCP2M3	CCP2M2	CCP2M1	CCP2M0	--00 0000	64, 150	
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	133, 150	
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	127, 150	

**Legend:** x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved. Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note 1:** The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8>, whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- 2:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain these bits clear.
- 3:** These registers can be addressed from any bank.
- 4:** PORTD, PORTE, TRISD and TRISE are not implemented on PIC16F873A/876A devices, read as '0'.
- 5:** Bit 4 of EEADRH implemented only on the PIC16F876A/877A devices.

# PIC16F87XA

TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY (CONTINUED)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:		
Bank 1													
80h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)									0000 0000	31, 150	
81h	OPTION_REG	RBPV	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	23, 150		
82h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte									0000 0000	30, 150	
83h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	T0	PD	Z	DC	C	0001 1xxx	22, 150		
84h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer									xxxx xxxx	31, 150	
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register								--11 1111	43, 150
86h	TRISB	PORTB Data Direction Register									1111 1111	45, 150	
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register									1111 1111	47, 150	
88h <sup>(4)</sup>	TRISD	PORTD Data Direction Register									1111 1111	48, 151	
89h <sup>(4)</sup>	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits					0000 -111	50, 151
8Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter						---0 0000	30, 150	
8Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBF	0000 000x	24, 150		
8Ch	PIE1	PSPIE <sup>(2)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	25, 151		
8Dh	PIE2	—	CMIE	—	EEIE	BCLIE	—	—	CCP2IE	-0-0 0--0	27, 151		
8Eh	PCON	—	—	—	—	—	—	POR	BOR	---- --qq	29, 151		
8Fh	—	Unimplemented									—	—	
90h	—	Unimplemented									—	—	
91h	SSPCON2	GCEN	ACKSTAT	ACKDT	ACKEN	RCEN	PEN	RSEN	SEN	0000 0000	83, 151		
92h	PR2	Timer2 Period Register									1111 1111	62, 151	
93h	SSPADD	Synchronous Serial Port (I <sup>2</sup> C mode) Address Register									0000 0000	79, 151	
94h	SSPSTAT	SMP	CKE	D/A	P	S	R/W	UA	BF	0000 0000	79, 151		
95h	—	Unimplemented									—	—	
96h	—	Unimplemented									—	—	
97h	—	Unimplemented									—	—	
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	111, 151		
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register									0000 0000	113, 151	
9Ah	—	Unimplemented									—	—	
9Bh	—	Unimplemented									—	—	
9Ch	CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0	0000 0111	135, 151		
9Dh	CVRCON	CVREN	CVROE	CVRR	—	CVR3	CVR2	CVR1	CVR0	000- 0000	141, 151		
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte									xxxx xxxx	133, 151	
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	128, 151		

Legend: x = unknown, u = unchanged, q = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved.  
Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note 1: The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8>, whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
- 2: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain these bits clear.
- 3: These registers can be addressed from any bank.
- 4: PORTD, PORTE, TRISD and TRISE are not implemented on PIC16F873A/876A devices, read as '0'.
- 5: Bit 4 of EEDR implemented only on the PIC16F876A/877A devices.

# PIC16F87XA

TABLE 2-1: SPECIAL FUNCTION REGISTER SUMMARY (CONTINUED)

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Details on page:	
<b>Bank 2</b>												
100h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)									0000 0000	31, 150
101h	TMR0	Timer0 Module Register									xxxx xxxx	55, 150
102h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter's (PC) Least Significant Byte									0000 0000	30, 150
103h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C	0001 1xxxx	22, 150	
104h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer									xxxx xxxx	31, 150
105h	—	Unimplemented									—	—
106h	PORTB	PORTB Data Latch when written; PORTB pins when read									xxxx xxxx	45, 150
107h	—	Unimplemented									—	—
108h	—	Unimplemented									—	—
109h	—	Unimplemented									—	—
10Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	30, 150	
10Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150	
10Ch	EEDATA	EEPROM Data Register Low Byte									xxxx xxxx	39, 151
10Dh	EEADR	EEPROM Address Register Low Byte									xxxx xxxx	39, 151
10Eh	EEDATH	—	—	EEPROM Data Register High Byte					---x xxxx	39, 151		
10Fh	EEADRH	—	—	—	— <sup>(5)</sup>	EEPROM Address Register High Byte				---- xxxx	39, 151	
<b>Bank 3</b>												
180h <sup>(3)</sup>	INDF	Addressing this location uses contents of FSR to address data memory (not a physical register)									0000 0000	31, 150
181h	OPTION_REG	$\overline{RBPU}$	INTEDG	TOCS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	23, 150	
182h <sup>(3)</sup>	PCL	Program Counter (PC) Least Significant Byte									0000 0000	30, 150
183h <sup>(3)</sup>	STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C	0001 1xxxx	22, 150	
184h <sup>(3)</sup>	FSR	Indirect Data Memory Address Pointer									xxxx xxxx	31, 150
185h	—	Unimplemented									—	—
186h	TRISB	PORTB Data Direction Register									1111 1111	45, 150
187h	—	Unimplemented									—	—
188h	—	Unimplemented									—	—
189h	—	Unimplemented									—	—
18Ah <sup>(1,3)</sup>	PCLATH	—	—	—	Write Buffer for the upper 5 bits of the Program Counter					---0 0000	30, 150	
18Bh <sup>(3)</sup>	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	24, 150	
18Ch	EECON1	EEPGD	—	—	—	WRERR	WREN	WR	RD	x--- x000	34, 151	
18Dh	EECON2	EEPROM Control Register 2 (not a physical register)									---- ----	39, 151
18Eh	—	Reserved; maintain clear									0000 0000	—
18Fh	—	Reserved; maintain clear									0000 0000	—

**Legend:** x = unknown, u = unchanged,  $\alpha$  = value depends on condition, - = unimplemented, read as '0', r = reserved.  
Shaded locations are unimplemented, read as '0'.

- Note**
- The upper byte of the program counter is not directly accessible. PCLATH is a holding register for the PC<12:8>, whose contents are transferred to the upper byte of the program counter.
  - Bits PSPIE and PSPIF are reserved on PIC16F873A/876A devices; always maintain these bits clear.
  - These registers can be addressed from any bank.
  - PORTD, PORTE, TRISD and TRISE are not implemented on PIC16F873A/876A devices, read as '0'.
  - Bit 4 of EEADRH implemented only on the PIC16F876A/877A devices.

## 3.0 DATA EEPROM AND FLASH PROGRAM MEMORY

The data EEPROM and Flash program memory is readable and writable during normal operation (over the full VDD range). This memory is not directly mapped in the register file space. Instead, it is indirectly addressed through the Special Function Registers. There are six SFRs used to read and write this memory:

- EECON1
- EECON2
- EEDATA
- EEDATH
- EEADR
- EEADRH

When interfacing to the data memory block, EEDATA holds the 8-bit data for read/write and EEADR holds the address of the EEPROM location being accessed. These devices have 128 or 256 bytes of data EEPROM (depending on the device), with an address range from 00h to FFh. On devices with 128 bytes, addresses from 80h to FFh are unimplemented and will wraparound to the beginning of data EEPROM memory. When writing to unimplemented locations, the on-chip charge pump will be turned off.

When interfacing the program memory block, the EEDATA and EEDATH registers form a two-byte word that holds the 14-bit data for read/write and the EEADR and EEADRH registers form a two-byte word that holds the 13-bit address of the program memory location being accessed. These devices have 4 or 8K words of program Flash, with an address range from 0000h to 0FFFh for the PIC16F873A/874A and 0000h to 1FFFh for the PIC16F876A/877A. Addresses above the range of the respective device will wraparound to the beginning of program memory.

The EEPROM data memory allows single-byte read and write. The Flash program memory allows single-word reads and four-word block writes. Program memory write operations automatically perform an erase-before-write on blocks of four words. A byte write in data EEPROM memory automatically erases the location and writes the new data (erase-before-write).

The write time is controlled by an on-chip timer. The write/erase voltages are generated by an on-chip charge pump, rated to operate over the voltage range of the device for byte or word operations.

When the device is code-protected, the CPU may continue to read and write the data EEPROM memory. Depending on the settings of the write-protect bits, the device may or may not be able to write certain blocks of the program memory; however, reads of the program memory are allowed. When code-protected, the device programmer can no longer access data or program memory; this does NOT inhibit internal reads or writes.

## 3.1 EEADR and EEADRH

The EEADRH:EEADR register pair can address up to a maximum of 256 bytes of data EEPROM or up to a maximum of 8K words of program EEPROM. When selecting a data address value, only the LSB byte of the address is written to the EEADR register. When selecting a program address value, the MSB byte of the address is written to the EEADRH register and the LSB byte is written to the EEADR register.

If the device contains less memory than the full address reach of the address register pair, the Most Significant bits of the registers are not implemented. For example, if the device has 128 bytes of data EEPROM, the Most Significant bit of EEADR is not implemented on access to data EEPROM.

## 3.2 EECON1 and EECON2 Registers

EECON1 is the control register for memory accesses.

Control bit, EEPGD, determines if the access will be a program or data memory access. When clear, as it is when reset, any subsequent operations will operate on the data memory. When set, any subsequent operations will operate on the program memory.

Control bits, RD and WR, initiate read and write or erase, respectively. These bits cannot be cleared, only set, in software. They are cleared in hardware at completion of the read or write operation. The inability to clear the WR bit in software prevents the accidental, premature termination of a write operation.

The WREN bit, when set, will allow a write or erase operation. On power-up, the WREN bit is clear. The WRERR bit is set when a write (or erase) operation is interrupted by a MCLR or a WDT Time-out Reset during normal operation. In these situations, following Reset, the user can check the WRERR bit and rewrite the location. The data and address will be unchanged in the EEDATA and EEADR registers.

Interrupt flag bit, EEIF in the PIR2 register, is set when the write is complete. It must be cleared in software.

EECON2 is not a physical register. Reading EECON2 will read all '0's. The EECON2 register is used exclusively in the EEPROM write sequence.

**Note:** The self-programming mechanism for Flash program memory has been changed. On previous PIC16F87X devices, Flash programming was done in single-word erase/write cycles. The newer PIC18F87XA devices use a four-word erase/write cycle. See Section 3.6 "Writing to Flash Program Memory" for more information.

# PIC16F87XA

## REGISTER 3-1: EECON1 REGISTER (ADDRESS 18Ch)

R/W-x	U-0	U-0	U-0	R/W-x	R/W-0	R/S-0	R/S-0
EEPGD	—	—	—	WRERR	WREN	WR	RD
bit 7				bit 0			

- bit 7 **EEPGD:** Program/Data EEPROM Select bit  
 1 = Accesses program memory  
 0 = Accesses data memory  
 Reads '0' after a POR; this bit cannot be changed while a write operation is in progress.
- bit 6-4 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 3 **WRERR:** EEPROM Error Flag bit  
 1 = A write operation is prematurely terminated (any MCLR or any WDT Reset during normal operation)  
 0 = The write operation completed
- bit 2 **WREN:** EEPROM Write Enable bit  
 1 = Allows write cycles  
 0 = Inhibits write to the EEPROM
- bit 1 **WR:** Write Control bit  
 1 = Initiates a write cycle. The bit is cleared by hardware once write is complete. The WR bit can only be set (not cleared) in software.  
 0 = Write cycle to the EEPROM is complete
- bit 0 **RD:** Read Control bit  
 1 = Initiates an EEPROM read; RD is cleared in hardware. The RD bit can only be set (not cleared) in software.  
 0 = Does not initiate an EEPROM read

<b>Legend:</b>			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown





**TABLE 4-1: PORTA FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit 0	TTL	Input/output or analog input.
RA1/AN1	bit 1	TTL	Input/output or analog input.
RA2/AN2/VREF-/CVREF	bit 2	TTL	Input/output or analog input or VREF- or CVREF.
RA3/AN3/VREF+	bit 3	TTL	Input/output or analog input or VREF+.
RA4/T0CKI/C1OUT	bit 4	ST	Input/output or external clock input for Timer0 or comparator output. Output is open-drain type.
RA5/AN4/SS/C2OUT	bit 5	TTL	Input/output or analog input or slave select input for synchronous serial port or comparator output.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

**TABLE 4-2: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA**

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0u 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
9Ch	CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0	0000 0111	0000 0111
9Dh	CVRCON	CVREN	CVROE	CVRR	—	CVR3	CVR2	CVR1	CVR0	000- 0000	000- 0000
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	00-- 0000

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

**Note:** When using the SSP module in SPI Slave mode and SS enabled, the A/D converter must be set to one of the following modes, where PCFG3:PCFG0 = 0100, 0101, 011x, 1101, 1110, 1111.

# PIC16F87XA

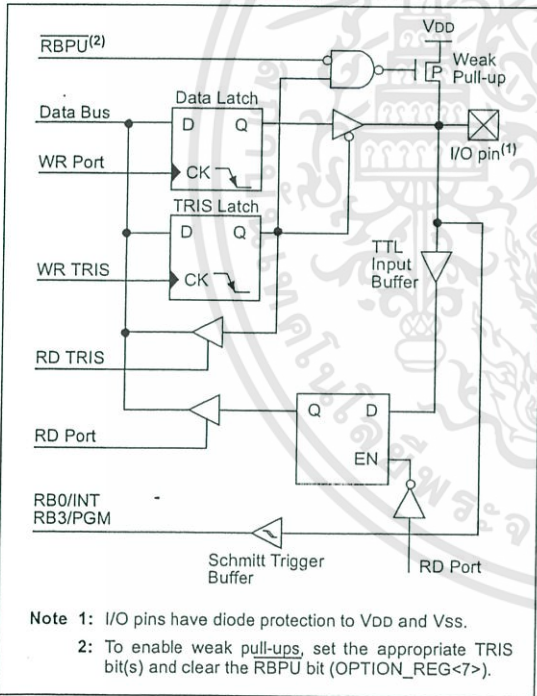
## 4.2 PORTB and the TRISB Register

PORTB is an 8-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISB. Setting a TRISB bit (= 1) will make the corresponding PORTB pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a High-Impedance mode). Clearing a TRISB bit (= 0) will make the corresponding PORTB pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Three pins of PORTB are multiplexed with the In-Circuit Debugger and Low-Voltage Programming function: RB3/PGM, RB6/PGC and RB7/PGD. The alternate functions of these pins are described in Section 14.0 "Special Features of the CPU".

Each of the PORTB pins has a weak internal pull-up. A single control bit can turn on all the pull-ups. This is performed by clearing bit  $\overline{\text{RBPU}}$  (OPTION\_REG<7>). The weak pull-up is automatically turned off when the port pin is configured as an output. The pull-ups are disabled on a Power-on Reset.

FIGURE 4-4: BLOCK DIAGRAM OF RB3:RB0 PINS



Four of the PORTB pins, RB7:RB4, have an interrupt-on-change feature. Only pins configured as inputs can cause this interrupt to occur (i.e., any RB7:RB4 pin configured as an output is excluded from the interrupt-on-change comparison). The input pins (of RB7:RB4) are compared with the old value latched on the last read of PORTB. The "mismatch" outputs of RB7:RB4 are OR'ed together to generate the RB port change interrupt with flag bit RBIF (INTCON<0>).

This interrupt can wake the device from Sleep. The user, in the Interrupt Service Routine, can clear the interrupt in the following manner:

- Any read or write of PORTB. This will end the mismatch condition.
- Clear flag bit RBIF.

A mismatch condition will continue to set flag bit RBIF. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow flag bit RBIF to be cleared.

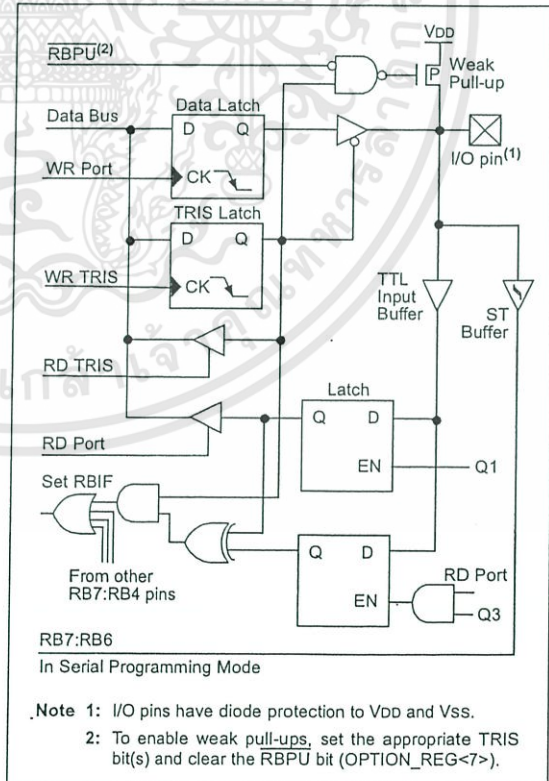
The interrupt-on-change feature is recommended for wake-up on key depression operation and operations where PORTB is only used for the interrupt-on-change feature. Polling of PORTB is not recommended while using the interrupt-on-change feature.

This interrupt-on-mismatch feature, together with software configurable pull-ups on these four pins, allow easy interface to a keypad and make it possible for wake-up on key depression. Refer to the application note, AN552, "Implementing Wake-up on Key Stroke" (DS00552).

RB0/INT is an external interrupt input pin and is configured using the INTEDG bit (OPTION\_REG<6>).

RB0/INT is discussed in detail in Section 14.11.1 "INT Interrupt".

FIGURE 4-5: BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS



- I/O pins have diode protection to V<sub>DD</sub> and V<sub>SS</sub>.
- To enable weak pull-ups, set the appropriate TRIS bit(s) and clear the RBPU bit (OPTION\_REG<7>).

**TABLE 4-3: PORTB FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit 0	TTL/ST <sup>(1)</sup>	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit 1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit 2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM <sup>(3)</sup>	bit 3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit 4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit 5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit 6	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit 7	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

**Legend:** TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

**Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

**Note 2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode or in-circuit debugger.

**Note 3:** Low-Voltage ICSP Programming (LVP) is enabled by default which disables the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and allow maximum compatibility to the other 28-pin and 40-pin mid-range devices.

**TABLE 4-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB**

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

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

# PIC16F87XA

## 4.3 PORTC and the TRISC Register

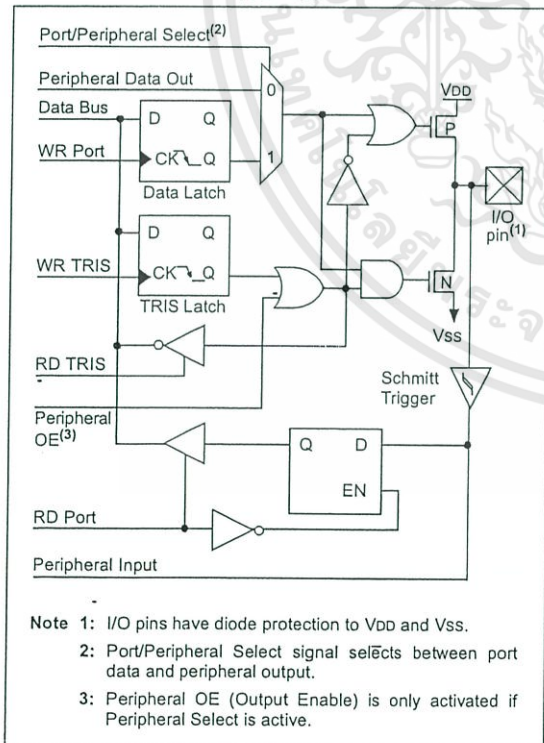
PORTC is an 8-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISC. Setting a TRISC bit (= 1) will make the corresponding PORTC pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a High-Impedance mode). Clearing a TRISC bit (= 0) will make the corresponding PORTC pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

PORTC is multiplexed with several peripheral functions (Table 4-5). PORTC pins have Schmitt Trigger input buffers.

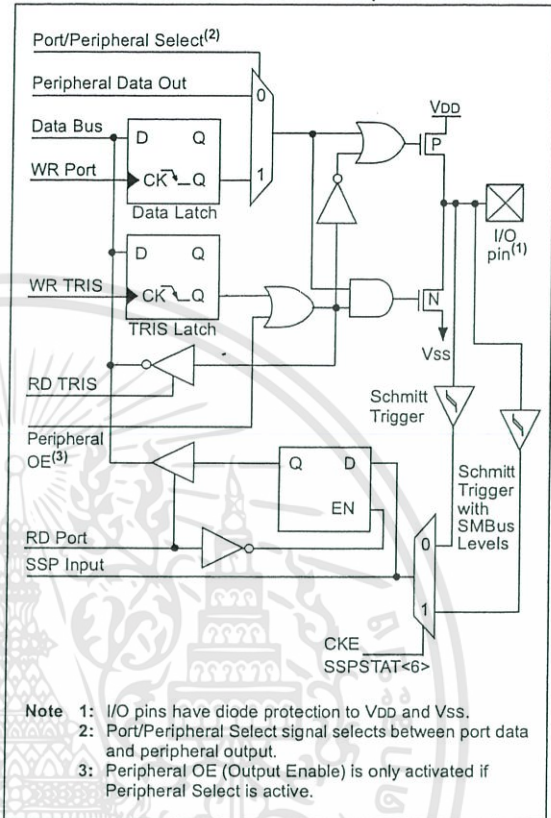
When the I<sup>2</sup>C module is enabled, the PORTC<4:3> pins can be configured with normal I<sup>2</sup>C levels, or with SMBus levels, by using the CKE bit (SSPSTAT<6>).

When enabling peripheral functions, care should be taken in defining TRIS bits for each PORTC pin. Some peripherals override the TRIS bit to make a pin an output, while other peripherals override the TRIS bit to make a pin an input. Since the TRIS bit override is in effect while the peripheral is enabled, read-modify-write instructions (BSF, BCF, XORWF) with TRISC as the destination, should be avoided. The user should refer to the corresponding peripheral section for the correct TRIS bit settings.

**FIGURE 4-6: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<2:0>, RC<7:5>**



**FIGURE 4-7: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<4:3>**



**TABLE 4-5: PORTC FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit 0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	bit 1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	bit 2	ST	Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	bit 3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I <sup>2</sup> C modes.
RC4/SDI/SDA	bit 4	ST	RC4 can also be the SPI data in (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode).
RC5/SDO	bit 5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output.
RC6/TX/CK	bit 6	ST	Input/output port pin or USART asynchronous transmit or synchronous clock.
RC7/RX/DT	bit 7	ST	Input/output port pin or USART asynchronous receive or synchronous data.

Legend: ST = Schmitt Trigger input

**TABLE 4-6: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTC**

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

Legend: x = unknown, u = unchanged



## 4.5 PORTE and TRISE Register

**Note:** PORTE and TRISE are not implemented on the 28-pin devices.

PORTE has three pins ( $\overline{RE0}/\overline{RD}/\overline{AN5}$ ,  $\overline{RE1}/\overline{WR}/\overline{AN6}$  and  $\overline{RE2}/\overline{CS}/\overline{AN7}$ ) which are individually configurable as inputs or outputs. These pins have Schmitt Trigger input buffers.

The PORTE pins become the I/O control inputs for the microprocessor port when bit PSPMODE ( $\text{TRISE}\langle 4 \rangle$ ) is set. In this mode, the user must make certain that the  $\text{TRISE}\langle 2:0 \rangle$  bits are set and that the pins are configured as digital inputs. Also, ensure that ADON1 is configured for digital I/O. In this mode, the input buffers are TTL.

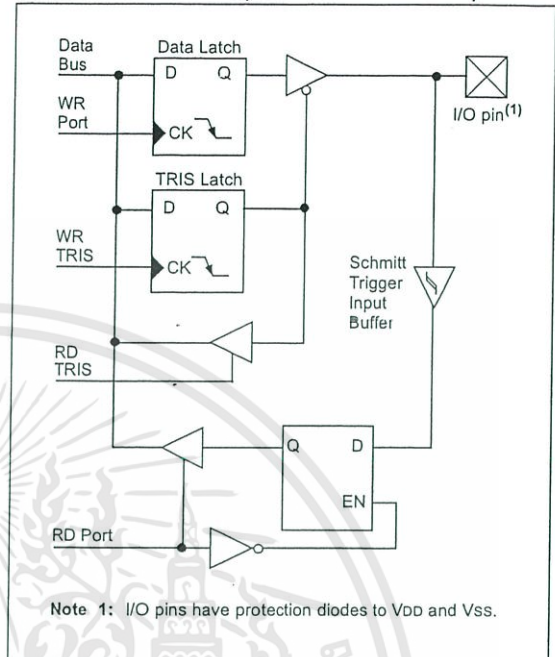
Register 4-1 shows the TRISE register which also controls the Parallel Slave Port operation.

PORTE pins are multiplexed with analog inputs. When selected for analog input, these pins will read as '0's.

TRISE controls the direction of the RE pins, even when they are being used as analog inputs. The user must make sure to keep the pins configured as inputs when using them as analog inputs.

**Note:** On a Power-on Reset, these pins are configured as analog inputs and read as '0'.

**FIGURE 4-9: PORTE BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)**



**TABLE 4-9: PORTE FUNCTIONS**

Name	Bit#	Buffer Type	Function
$\overline{RE0}/\overline{RD}/\overline{AN5}$	bit 0	ST/TTL <sup>(1)</sup>	I/O port pin or read control input in Parallel Slave Port mode or analog input: $\overline{RD}$ 1 = Idle 0 = Read operation. Contents of PORTD register are output to PORTD I/O pins (if chip selected).
$\overline{RE1}/\overline{WR}/\overline{AN6}$	bit 1	ST/TTL <sup>(1)</sup>	I/O port pin or write control input in Parallel Slave Port mode or analog input: $\overline{WR}$ 1 = Idle 0 = Write operation. Value of PORTD I/O pins is latched into PORTD register (if chip selected).
$\overline{RE2}/\overline{CS}/\overline{AN7}$	bit 2	ST/TTL <sup>(1)</sup>	I/O port pin or chip select control input in Parallel Slave Port mode or analog input: $\overline{CS}$ 1 = Device is not selected 0 = Device is selected

**Legend:** ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL input

**Note 1:** Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode.

# PIC16F87XA

TABLE 4-10: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTE

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
09h	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	00-- 0000

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

## REGISTER 4-1: TRISE REGISTER (ADDRESS 89h)

R-0	R-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1
IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	Bit 2	Bit 1	Bit 0
bit 7							bit 0

### Parallel Slave Port Status/Control Bits:

- bit 7 **IBF:** Input Buffer Full Status bit  
1 = A word has been received and is waiting to be read by the CPU  
0 = No word has been received
- bit 6 **OBF:** Output Buffer Full Status bit  
1 = The output buffer still holds a previously written word  
0 = The output buffer has been read
- bit 5 **IBOV:** Input Buffer Overflow Detect bit (in Microprocessor mode)  
1 = A write occurred when a previously input word has not been read (must be cleared in software)  
0 = No overflow occurred
- bit 4 **PSPMODE:** Parallel Slave Port Mode Select bit  
1 = PORTD functions in Parallel Slave Port mode  
0 = PORTD functions in general purpose I/O mode
- bit 3 **Unimplemented:** Read as '0'
- PORTE Data Direction Bits:**
- bit 2 **Bit 2:** Direction Control bit for pin RE2/CS/AN7  
1 = Input  
0 = Output
- bit 1 **Bit 1:** Direction Control bit for pin RE1/WR/AN6  
1 = Input  
0 = Output
- bit 0 **Bit 0:** Direction Control bit for pin RE0/RD/AN5  
1 = Input  
0 = Output

<b>Legend:</b>			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
- n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown



# PIC16F87XA

FIGURE 4-11: PARALLEL SLAVE PORT WRITE WAVEFORMS

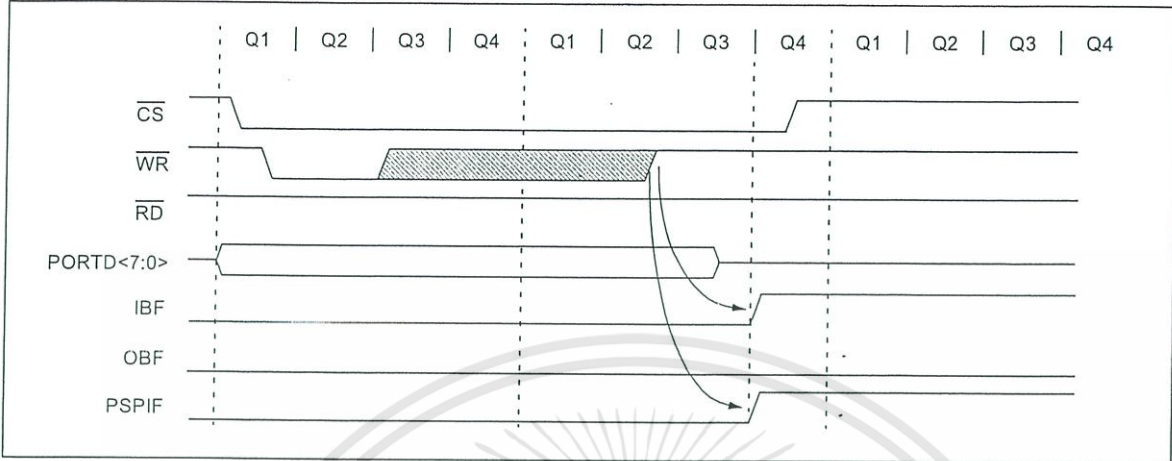


FIGURE 4-12: PARALLEL SLAVE PORT READ WAVEFORMS

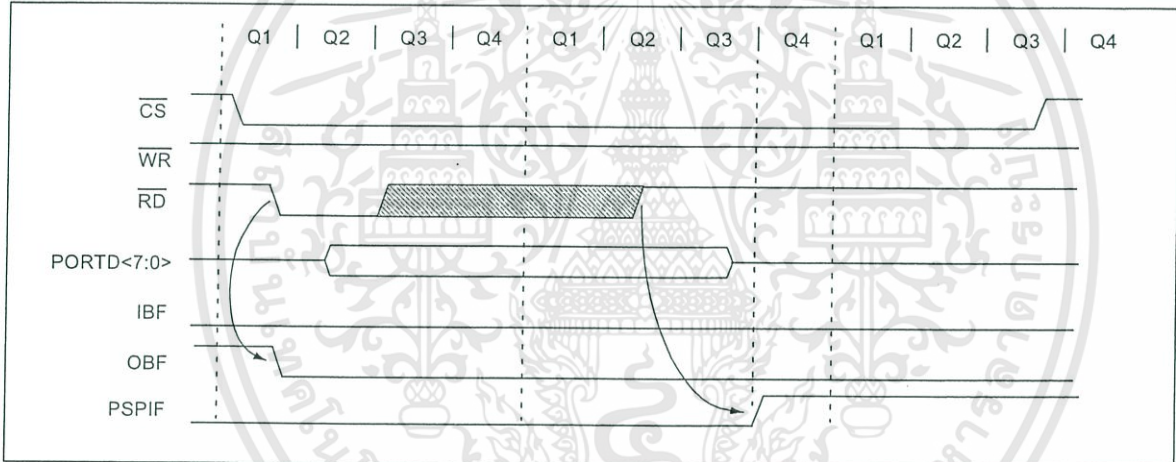


TABLE 4-11: REGISTERS ASSOCIATED WITH PARALLEL SLAVE PORT

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
08h	PORTD	Port Data Latch when written; Port pins when read								xxxx xxxx	uuuu uuuu
09h	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxx	---- -uuu
89h	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111
0Ch	PIR1	PSPIF <sup>(1)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE <sup>(1)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-- 0000	00-- 0000

Legend: .x = unknown, u = unchanged; - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by the Parallel Slave Port.

Note 1: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on the PIC16F873A/876A; always maintain these bits clear.

## 7.0 TIMER2 MODULE

Timer2 is an 8-bit timer with a prescaler and a postscaler. It can be used as the PWM time base for the PWM mode of the CCP module(s). The TMR2 register is readable and writable and is cleared on any device Reset.

The input clock ( $F_{osc}/4$ ) has a prescale option of 1:1, 1:4 or 1:16, selected by control bits T2CKPS1:T2CKPS0 ( $T2CON<1:0>$ ).

The Timer2 module has an 8-bit period register, PR2. Timer2 increments from 00h until it matches PR2 and then resets to 00h on the next increment cycle. PR2 is a readable and writable register. The PR2 register is initialized to FFh upon Reset.

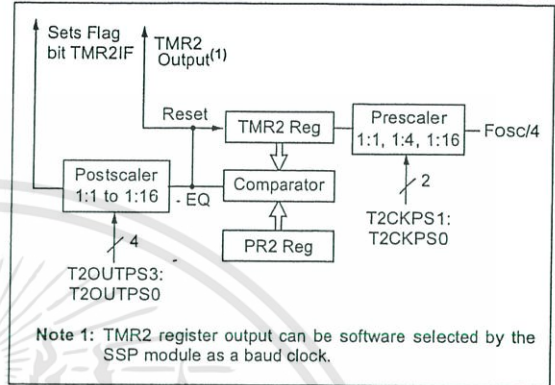
The match output of TMR2 goes through a 4-bit postscaler (which gives a 1:1 to 1:16 scaling inclusive) to generate a TMR2 interrupt (latched in flag bit, TMR2IF (PIR1<1>)).

Timer2 can be shut-off by clearing control bit, TMR2ON ( $T2CON<2>$ ), to minimize power consumption.

Register 7-1 shows the Timer2 Control register.

Additional information on timer modules is available in the PICmicro® Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

FIGURE 7-1: TIMER2 BLOCK DIAGRAM



REGISTER 7-1: T2CON: TIMER2 CONTROL REGISTER (ADDRESS 12h)

	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
bit 7	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
bit 7	Unimplemented: Read as '0'							
bit 6-3	TOUTPS3:TOUTPS0: Timer2 Output Postscale Select bits							
	0000 = 1:1 postscale							
	0001 = 1:2 postscale							
	0010 = 1:3 postscale							
	•							
	•							
	1111 = 1:16 postscale							
bit 2	TMR2ON: Timer2 On bit							
	1 = Timer2 is on							
	0 = Timer2 is off							
bit 1-0	T2CKPS1:T2CKPS0: Timer2 Clock Prescale Select bits							
	00 = Prescaler is 1							
	01 = Prescaler is 4							
	1x = Prescaler is 16							

**Legend:**

R = Readable bit      W = Writable bit      U = Unimplemented bit, read as '0'  
 - n = Value at POR      '1' = Bit is set      '0' = Bit is cleared      x = Bit is unknown

# PIC16F87XA

## 7.1 Timer2 Prescaler and Postscaler

The prescaler and postscaler counters are cleared when any of the following occurs:

- a write to the TMR2 register
- a write to the T2CON register
- any device Reset (POR, MCLR Reset, WDT Reset or BOR)

TMR2 is not cleared when T2CON is written.

## 7.2 Output of TMR2

The output of TMR2 (before the postscaler) is fed to the SSP module, which optionally uses it to generate the shift clock.

TABLE 7-1: REGISTERS ASSOCIATED WITH TIMER2 AS A TIMER/COUNTER

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other Resets
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF <sup>(1)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE <sup>(1)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
11h	TMR2	Timer2 Module's Register								0000 0000	0000 0000
12h	T2CON	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0	-000 0000	-000 0000
92h	PR2	Timer2 Period Register								1111 1111	1111 1111

**Legend:** x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by the Timer2 module.

**Note 1:** Bits PSPIE and PSPIF are reserved on 28-pin devices; always maintain these bits clear.