โคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน

โดย

ธนากร สุนทรวัฒน์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561

Public lighting 2 power sources

By

Tanakorn Suntornwat

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2018

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัยชิ้นนี้ขอขอบคุณ บิดา-มารดา บูรพคณาจารณ์ ทั้งหมดทุกท่านที่ให้การเลี้ยงดูอบรมสั่งสอนให้มีความรู้ที่สามารถทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยชิ้นนี้ ขอมอบเป็นกุศลให้กับท่านทั้งหลายที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้จัดทำขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ธนากร สุนทรวัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สิงหาคม 2562

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : INN-07/2561
ชื่อโครงการ : โคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน
ชื่อนักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนากร สุนทรวัฒน์

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้โคมไฟสาธารณะ โดยใช้พลังงานจาก 2 แหล่ง คือ แบตเตอรี่ที่รับพลังงานไฟฟ้าเพื่อชาร์จจากโซล่าเซล และพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลไม่เพียงพอต่อการใช้งานในหนึ่งรอบวัน งานวิจัยชิ้นนี้ใช้แก้ปัญหาสำหรับจุดที่ติดตั้งโคมไฟสาธารณะที่ต้องการความปลอดภัยสูง ไม่ต้องการให้โคมไฟดับในเวลากลางคืน แต่ต้องการใช้พลังงานทดแทนร่วมด้วย

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการจ่ายไฟให้โคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงาน โดยแบ่งเป็นส่วนการทำงานที่รับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแล้วแปลงลงมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 โวลต์ และรับพลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลแล้วทำการชาร์จให้กับแบตเตอรี่ มีระบบการควบคุมการชาร์จอัตโนมัติ และใช้โซล่าเซลเป็นเซนเซอร์แสงไปในตัวเพื่อสั่งปิดและเปิดโคมไฟอัตโนมัติตามแสง ในระหว่างที่โคมไฟถูกเปิดตอนกลางคืน ระบบจะทำการตรวจสอบแบตเตอรี่ตลอดเวลา ถ้าหากแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าจุดที่กำหนด ระบบควบคุมจะทำการเปลี่ยนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน ด้วยวิธีการทำงานลักษณะนี้จึงส่งผลให้โคมไฟสามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอดทั้งคืน

ผลที่ได้จากการทดลองใช้งาน พบว่า ระบบควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้โคมไฟสาธารณะแบบ 2 แหล่งพลังงานสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยในวันที่มีแสงแดดจัด จะสามารถจ่ายไฟให้โคมไฟใช้งานได้ตลอดทั้งคืน แต่สำหรับบางวันที่แสงแดดอ่อน ระบบควบคุมก็จะสลับไปใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้จนหมด และทำการชาร์จใหม่อีกครั้งเมื่อมีแสงแดดในวันถัดไป

คำสำคัญ : โซล่าร์เซล,โคมไฟสาธารณะ,ไมโครคอนโทรลเลอร์

E-mail Address : tanakorn.s@rmutr.ac.th
ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2560 – กันยายน 2561

Abstract

Code of Project : INN-07/2561
Project Name : Public lighting 2 power sources
Researcher Name : Assistant professor Tanakorn Suntornwat

This research is to design and build a power supply control system for public lighting. Which uses energy from 2 sources : a battery that receives electrical energy to charge from solar cells and Electric power from electricity. To solve the problem of using electricity from solar cells is not enough to use in one day cycle. This research is used to solve problems for the installation of public lamps that have high security requirements. Do not want the lamp to shut down at night but want to use renewable energy as well.

Design and build a power supply control system for public lighting 2 Power sources use microcontrollers. Which is divided into working parts that receive energy from electricity and then convert to DC voltage 12 volts. And receiving electrical energy from solar cells and charging the batteries. With automatic charging control system. And use solar cells as a light sensor in order to turn off and turn on the lamp automatically according to the light. While the lamp was turn on at night. The system will check the voltage from the battery all the time. If the battery voltage is lower than the set point. The control system will change the power source from the battery to electricity. With this method of operation, the lamp can work continuously throughout the night.

The results of the experiment showed that the power supply control system allows the public 2-type power source to work as designed. On the day that there is sunshine can use enough to power the lamp to use throughout the night. But for some sunny days the control system will switch to electricity when the battery is exhausted. And re-charging when there is sunlight the next day.

Key Words : Solar cell, Public lighting, Microcontroller

E-mail Address : tanakorn.s@rmutr.ac.th
Period of Project : October 2017 – September 2018

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
รายการตาราง	ฉ
รายการภาพประกอบ	ช
รายการสัญลักษณ์	ซ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฌ
บทที่	
1.บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 นิยามคำศัพท์	2
2.ทฤษฎี/งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 เซลแสงอาทิตย์	3
2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	9
2.3 แบตเตอรี่	14
2.4 หลอดไฟที่ใช้ในโคมไฟสาธารณะ	17
3.วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน	**21**
3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล	21
3.2 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน	23
3.3 ออกแบบโฟลชาร์ตการทำงานของซอร์ฟแวร์	27
3.4 เขียนและพัฒนาโปรแกรมควบคุมตามโฟลชาร์ต	27
3.5 ติดตั้งและทดสอบ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการทดลอง/วิจัย	**29**
4.1 การทดลองการทำงานของโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน	29
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	**33**
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 อภิปรายผล	33
5.3 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	**35**
ภาคผนวก	**36**
ภาคผนวก ก.โฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรม	37
ภาคผนวก ข.โปรแกรมควบคุมการทำงาน	38
ภาคผนวก ค.คู่มือไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F886	44
ประวัติผู้วิจัย	**65**

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้	13
2 การแบ่งแยกอินพุตและเอาท์พุต	23
3 ผลการทดลองการชาร์จแบตเตอรี่	29
4 ผลการทดลองหาระยะเวลาการทำงานของโคมไฟที่ระดับแรงดันแบตเตอรี่ต่างๆ กัน	30
5 ผลการทดลองหาเวลาการเปิดและปิดของโคมไฟอัตโนมัติ	31
6 ผลการทดลองการทำงานในการสลับการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า	32

รายการภาพประกอบ

ภาพ	หน้า
1 แผงโซล่าร์เซลชนิดต่างๆ	3
2 หลักการทำงานของแผงโซล่าร์เซล	4
3 แผนผังการเชื่อมต่อระบบโซล่าร์เซล	7
4 ไดอะแกรมรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	10
5 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F88x	11
6 สัญญาณนาฬิกา	12
7 วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ RC เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC-16F886	14
8 โครงสร้างของแบตเตอรี่	15
9 หลอดไฟชนิด Incandescent	17
10 หลอดไฟชนิด Halogen	18
11 หลอดไฟชนิด High Pressure Sodium	18
12 หลอดไฟชนิด Fluorescent	19
13 หลอดไฟชนิด LED	19
14 โคมไฟแบบห้อย	21
15 โคมไฟแบบติดตั้งกับเสา	22
16 โคมไฟและหลอดไฟที่เลือกใช้	22
17 วงจรรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งต่างๆ	24
18 วงจรสั่งงานปิด-เปิดโคมไฟ	24
19 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่	25
20 วงจรขับหลอด LED	25
21 ออกแบบลายวงจรพิมพ์ วงจรควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน	25
22 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์	26
23 ลงอุปกรณ์ประกอบวงจรตามแบบ	26
24 การประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดลงตู้ควบคุม	27
25 เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดและทดสอบการทำงาน	28

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

26 เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดและทดสอบการทำงาน 29

27 การทดลองระยะเวลาทำงานของโคมไฟเมื่อใช้ไฟจากแบตเตอรี่ 30

28 การทดลองหาเวลาการเปิดและปิดของโคมไฟอัตโนมัติ 31

29 การทดลองการทำงานในการสลับการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า 32

รายการสัญลักษณ์

Ω	=	โอห์ม
%	=	เปอร์เซ็นต์

ประมวลศัพท์และคำย่อ

ROM	=	Read Only Memory
RAM	=	Random Access Memory
MH_Z	=	Mega Hertz
CPU	=	Central Processing Unit
ALU	=	Arithmetic and Logic Unit
I/O	=	Input / Output
KB	=	Kilo Byte
PCB	=	Printed Circuit Board
LED	=	Light Emitting Diode
PV	=	Photovoltaic

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โคมไฟสำหรับส่องสว่างในที่สาธารณะโดยทั่วไปในปัจจุบันนิยมใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซล่าร์เซลเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน โดยประจุพลังงานไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ในตอนกลางวัน และจ่ายให้โคมไฟทำงานในตอนกลางคืน ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นกับโคมไฟพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวคือ ถ้าหากวันไหนที่แสงแดดน้อย หรือไม่มีแสงเลย เช่นในฤดูฝน หรือวันที่มีเมฆมาก ก็จะทำให้การประจุไฟฟ้าเก็บในแบตเตอรี่ทำได้น้อย ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำงานของโคมไฟในเวลากลางคืนสั้นลง ทำให้โคมไฟไม่สามารถส่องแสงได้จนถึงตอนเช้า ถ้าหากโคมไฟดังกล่าวติดตั้งในที่ที่มีความสำคัญมาก เช่น ท้องถนนในที่มืดมากๆ หรือทางเดินที่เปลี่ยว ย่อมทำให้เกิดความเสี่ยงสูงที่ผู้คนที่ผ่านไปบริเวณนั้นอาจเกิดอุบัติเหตุ หรือได้รับอันตรายจากผู้ร้ายได้ จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวความคิดที่จะพัฒนาการทำงานของระบบการจ่ายไฟให้กับโคมไฟพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถเลือกใช้แหล่งพลังงานที่จะจ่ายให้กับโคมไฟได้ตามสภาพพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ นั่นคือ ถ้าวันใดที่มีพลังงานไฟฟ้าที่เก็บในแบตเตอรี่เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโคมไฟได้ทั้งคืน ก็ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ตามปกติ แต่ถ้าวันใดที่มีพลังงานไฟฟ้าที่เก็บในแบตเตอรี่มีไม่เพียงพอ ก็จะทำการสับเปลี่ยนไปใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายไฟหลักของการไฟฟ้าได้ ทำให้โคมไฟยังคงทำงานได้ตลอดทั้งคืน และยังคงปิดเปิดอัตโนมัติตามแสงสว่างภายนอกเช่นเดิม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบโคมไฟพลังงานแสงอาทิตย์

1.2.2 เพื่อออกแบบสร้างระบบการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานจากแผงโซล่าร์เซล

1.2.3 เพื่อออกแบบสร้างระบบควบคุมการจ่ายพลังงานจาก 2 แหล่งให้กับโคมไฟ นั่นคือ พลังงานจากแบตเตอรี่ และ พลังงานจากสายไฟฟ้าหลักของการไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างระบบควบคุมโคมไฟที่สามารถเลือกทำงานได้จาก 2 แหล่งพลังงาน คือพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าจากสายไฟของการไฟฟ้า

1.3.2 ใช้โคมไฟให้แสงสว่างแบบ LED ที่ติดตั้งบนเสาสูง และมีแผงโซล่าร์เซลรับพลังงานแสงอาทิตย์

1.3.3 ใช้แบตเตอรี่ในการเก็บประจุไฟฟ้า

1.3.4 ติดตั้งทดลองใช้งานจริง ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พื้นที่ศาลายา

1.4 นิยามคำศัพท์

1.4.1 โซล่าร์เซล : อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซล่าร์เซล จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที และยังสามารถนำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่ได้

1.4.2 โคมไฟสาธารณะ : โคมไฟให้แสงสว่างที่ติดตั้งในที่สาธารณะ เช่น ถนน ฟุตบาท หรือสวนสาธารณะ เพื่อให้คนทั่วไปได้ใช้ประโยชน์ร่วมกัน เพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินในยามค่ำคืน มีทั้งแบบใช้ไฟฟ้า 220VAC และแบบใช้ไฟ DC

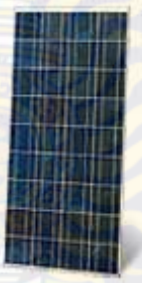
1.4.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ : คืออุปกรณ์ควบคุมที่มีขนาดเล็ก มีโครงสร้างภายในเหมือนคอมพิวเตอร์ สามารถทำงานตามโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนสั่งงานได้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

Solar Cell หรือ **PV** มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า **Photovoltaic** โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า **เซลล์แสงอาทิตย์** คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

2.1.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ

		
Single Crystalline Silicon Solar Cell	Polycrystalline Silicon Solar Cell	Amorphous Silicon Solar Cell

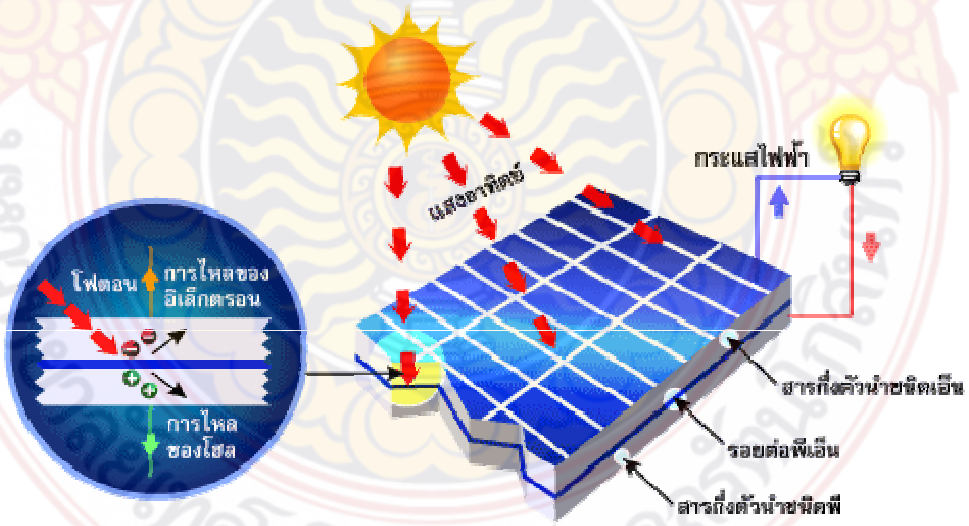
ภาพที่ 1 แผงโซล่าร์เซลชนิดต่างๆ

1. **เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว** (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และ**ชนิดผลึกรวม** (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

2. **เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน** (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10%
3. **เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ** เช่น แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25%

2.1.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

2.1.3 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 2 หลักการทำงานของแผงโซล่าร์เซล

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากเพียงพอสำหรับใช้งาน จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็น เรียกว่า **แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules)** ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่ว่าต้องการกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า

- การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน จะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น
- การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น

2.1.4 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystal) หรือ Monocrystalline มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. นำซิลิคอนที่ถลุงได้มาหลอมเป็นของเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1400 °C แล้วดึงผลึกออกจากของเหลว โดยลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ จนได้แท่งผลึกซิลิคอนเป็นของแข็ง แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ
2. นำผลึกซิลิคอนที่เป็นแว่น มาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นภายในเตาแพร่ซึมที่มีอุณหภูมิประมาณ 900-1000 °C แล้วนำไปทำชั้นต้านการสะท้อนแสงด้วยเตาออกซิเดชั่นที่มีอุณหภูมิสูง
3. ทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยการฉาบไอโลหะภายใต้สุญญากาศ เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องนำไปทดสอบประสิทธิภาพด้วยแสงอาทิตย์เทียม และวัดหาคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline) มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

1. นำซิลิคอนที่ถลุงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์ เมื่อซิลิคอนแข็งตัว จะได้เป็นแท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกรวม แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ
2. จากนั้นนำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆ และทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้
    1. ทำการแยกสลายก๊าซไซเลน (Silane Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่อง Plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) เป็นการผ่านก๊าซไซเลนเข้าไปในครอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูง จะทำให้ก๊าซแยกสลายเกิดเป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิคอนจะตกลงบนฐานหรือสแตนเลสสตีลที่วางอยู่ในครอบแก้ว เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (0.001 มม.)
    2. ขณะที่แยกสลายก๊าซไซเลน จะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบเรนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์
    3. การทำขั้วไฟฟ้า มักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)

- เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้
    1. ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึก ใช้เครื่องมือ คือ เตาปลูกชั้นผลึกจากสถานะของเหลว (LPE; Liquid Phase Epitaxy)
    2. ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึกที่เป็นรอยต่อเอ็นพี ใช้เครื่องมือ คือ เครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล (MBE; Molecular Beam Epitaxy)

2.1.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

1.ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

2.เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้

3.สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง

4.ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ

5.ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม

6.ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง

7.เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงาน จึงไม่เกิดการสึกหรอ

8.ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก

9.อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่

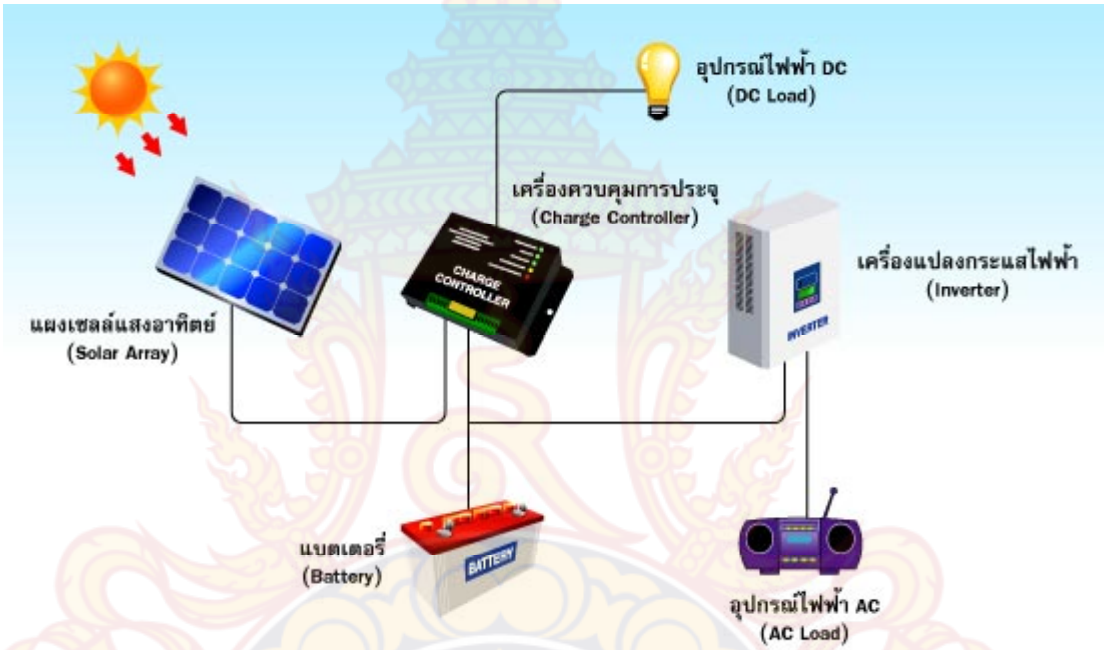
10.มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว

11.เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ

12.ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้

โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

2.1.6 อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีก โดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์สำคัญๆ มีดังนี้



ภาพที่ 3 แผนผังการเชื่อมต่อระบบโซล่าร์เซล

1. **แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module)** ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน ก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วย รวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง

2. **เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller)** ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของ

แบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

3. **แบตเตอรี่ (Battery)** ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน หรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม

4. **เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)** ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ **Sine Wave Inverter** ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับทุกชนิด และ **Modified Sine Wave Inverter** ใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ไม่มีส่วนประกอบของมอเตอร์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เป็น Electronic ballast

5. **ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection)** ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่า หรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้อุปกรณ์นี้ จะใช้สำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

2.1.7 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ การนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติมาทดแทนพลังงานรูปแบบอื่นๆ ได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมมากขึ้น สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมายในการดำรงชีวิต รวมถึงไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อม เช่น

บ้านพักอาศัย	ระบบแสงสว่างภายในบ้าน, ระบบแสงสว่างนอกบ้าน (ไฟสนาม, ไฟโรงจอดรถ และโคมไฟรั้วบ้าน ฯลฯ), อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ , ระบบเปิด-ปิดประตูบ้าน, ระบบรักษาความปลอดภัย, ระบบระบายอากาศ, เครื่องสูบน้ำ, เครื่องกรองน้ำ และไฟสำรองยามฉุกเฉิน ฯลฯ
ระบบสูบน้ำ	อุปโภค, สาธารณูปโภค, ฟาร์มเลี้ยงสัตว์, เพาะปลูก, ทำสวน-ไร่, เหมืองแร่ และชลประทาน ฯลฯ
ระบบแสงสว่าง	โคมไฟป้ายรถเมล์, ตู้โทรศัพท์, ป้ายประกาศ, สถานที่จอดรถ, แสงสว่างภายนอกอาคาร และไฟถนนสาธารณะ ฯลฯ
ระบบประจุแบตเตอรี่	ไฟสำรองไว้ใช้ยามฉุกเฉิน, ศูนย์ประจุแบตเตอรี่ประจำหมู่บ้านในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้, แหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในครัวเรือนและระบบแสงสว่างในพื้นที่ห่างไกล ฯลฯ
ทำการเกษตร	ระบบสูบน้ำ, พัดลมอบผลผลิตทางการเกษตร และเครื่องนวดข้าว ฯลฯ
เลี้ยงสัตว์	ระบบสูบน้ำ, ระบบเติมออกซิเจนในบ่อน้ำ (บ่อกุ้งและบ่อปลา) และแสง

	ไฟดักจับแมลง ฯลฯ
อนามัย	ตู้เย็น/กล่องทำความเย็นเพื่อเก็บยาและวัคซีน, อุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์ สำหรับหน่วยอนามัย, หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ และสถานีอนามัย ฯลฯ
คมนาคม	สัญญาณเตือนทางอากาศ, ไฟนำร่องทางขึ้น-ลงเครื่องบิน, ไฟประภาคาร, ไฟนำร่องเดินเรือ, ไฟสัญญาณข้ามถนน, สัญญาณจราจร, โคมไฟถนน และโทรศัพท์ฉุกเฉิน ฯลฯ
สื่อสาร	สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟ, อุปกรณ์โทรคมนาคม, อุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา (เช่น วิทยุสนามของหน่วยงานบริการและทหาร) และสถานีตรวจสอบอากาศ ฯลฯ
บันเทิงและพักผ่อนหย่อนใจ	แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักตากอากาศในพื้นที่ห่างไกล, ระบบประจุแบตเตอรี่แบบพกพาติดตัวไปได้ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความบันเทิง ฯลฯ
พื้นที่ห่างไกล	ภูเขา, เกาะ, ป่าลึก และพื้นที่สายส่งการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ฯลฯ
อวกาศ	ดาวเทียม

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

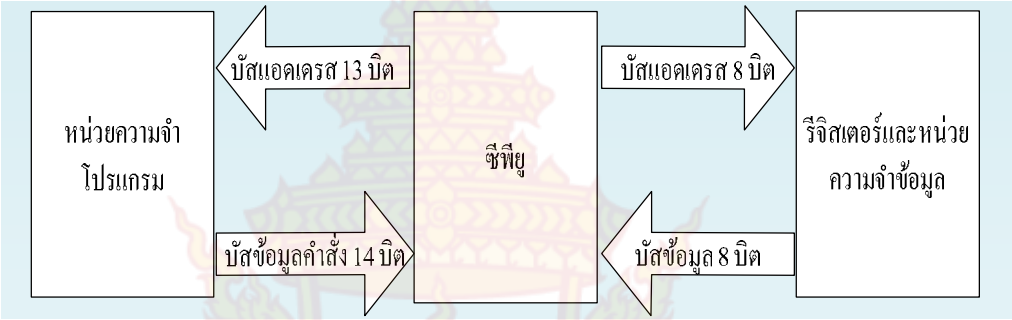
ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ประเภทสารกึ่งตัวนำที่รวมเอาสิ่งต่อไปนี้ไว้ในตัวเอง เช่นหน่วยประมวลผล (CPU) หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) หน่วยความจำถาวร (ROM) พอร์ตอินพุตเอาท์พุต (I/O PORT)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีใช้งานในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายตระกูลมาก แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีอยู่สองตระกูลด้วยกัน คือ MCS51 และ PIC ที่มีให้เหลือกหลายเบอร์ ส่วนตระกูลอื่นๆ นอกเหนือจากนี้ ก็มีความสามารถ ที่ไม่แพ้กัน เพียงแต่ว่าอาจจะใหม่ จึงไม่เป็นที่รู้จักเท่ากับตระกูลที่มีมาก่อนหน้า

ในการเลือกใช้เราก็ต้องดูว่า เราจำเป็นต้องใช้โมดูลไหนบ้างที่มีอยู่ในคอนโทรลเลอร์ INPUT OUTPUT ที่ใช้มีกี่ขา ROM RAM เพียงพอหรือไม่ และ เหตุผลอื่นๆ เพื่อที่จะได้เลือกใช้คอนโทรลเลอร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงบประมาณที่พอเหมาะ

2.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F88x

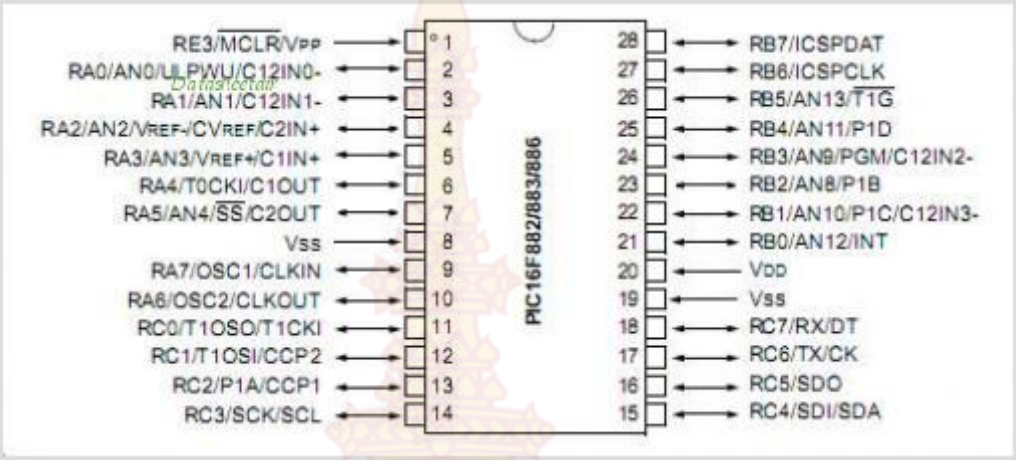
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F88x จะมีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิตทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F88x ยังคงใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (Pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไปในขณะที่กำลังกระทำคำสั่งให้เกิดผลตามคำสั่งนั้นๆ กำหนดหรือกระบวนการเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (กระบวนการเฟตช์ (Fetch) เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลคำสั่งนั้นให้เป็นเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซิคิวต์ (Execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆ กำหนด)

พื้นฐานการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ระบบดิจิตอลโดยค่าเอาท์พุตที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็น 0 กับ 1แต่ก็สามารถนำมาประยุกต์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกต่างๆ มากมาย โดยการเลือกพอร์ตใช้งานจากขาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 5 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F88x

จากภาพขาของ PIC-16F886 จะสามรถดูได้จาก data sheet แต่ละขาจะมีหน้าที่แตกต่างกันไป ซึ่งแยกออกเป็น พอร์ต A, พอร์ต B, พอร์ต C โดยพื้นฐานแล้วพอร์ตแต่ละพอร์ตสามารถทำงานเป็นอินพุต และเอาท์พุตเป็นดิจิตอล ยกเว้น พอร์ต A และ พอร์ต B ที่สามารถทำงานเป็นตัวรับสัญญาณอนาลอก แปลงเป็นค่าดิจิตอลเพื่อนำมาวัดปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ ที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ นำมาวัดความต่างศักย์

2.2.3 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC-16F886

มีคำสั่งให้ใช้งาน 35 คำสั่ง คำสั่งหนึ่งๆใช้เวลาทำงาน 1 ถึง 2 Cycle ทำงานได้สูงสุดที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 20 MHz ทำงานแบบ Pipe-line (มี 2 ท่อ) ทำให้ ณ เวลาหนึ่งทำงาน 2 อย่างพร้อมกัน หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบ Flash มีขนาด 8K Word (1 word=14 บิต) มีขนาดหน่วยความจำ (RAM) 368 ไบต์ มี EEPROM ขนาด 256 ไบต์ ตอบสนองกับอินเตอร์รัพได้ทั้งหมด 14 แหล่ง มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ มีระบบ Power On Reset, Power Up Timer, Oscillator Start-up timer มีระบบ Code Protection สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือวงจร RC ก็ได้ สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5VDC ได้ ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2VDC ถึง 5.5VDC Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25mA มี Timer/Counter 3 ตัว มีโมดูล Capture/Compare/PWM อีก 2 ชุด มี A-TO-D Converter แบบ 10 บิต จำนวน 12 ช่องนำเข้าในตัวเอง มีระบบ USART สำหรับต่อกับ การสื่อสารแบบ RS232 หรือดีกว่า มีระบบตรวจระดับไปเลี้ยง (Brown-out reset) มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีจำนวนบิตไม่เท่ากันรวมแล้ว จะมี I/O

จำนวน 24 บิตโดยแบ่งออกเป็น

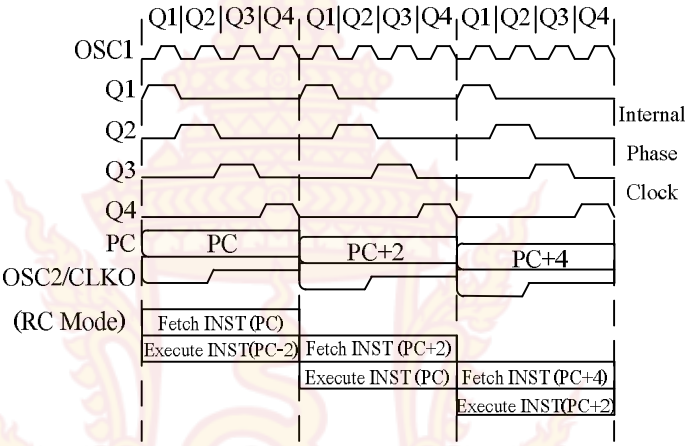
PORTA = RA 7 - RA0 จำนวน 8 บิต

PORTB = RB 7 + RB0 จำนวน 8 บิต

PORTC = RC 7 + RC0 จำนวน 8 บิต

2.2.4 สัญญาณนาฬิกา

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานได้ต้องมีสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวซึ่งในหนึ่งไซเคิล (Clock Bus) ของซีพียูจะประกอบไปด้วยสัญญาณนาฬิกาภายนอกจำนวน 4 ไซเคิล คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ดังแสดงในภาพที่ 2-5 ดังนั้นความถี่ที่ซีพียูประมวลผลต่อหนึ่งคำสั่งจะเท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายนอกหารด้วย 4 หรือหากจะพิจารณาความเร็วของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F877 สามารถประมวลผลต่อหนึ่งคำสั่งเท่ากับ 1/4 เท่าของความถี่ออสซิลเลเตอร์ภายนอก



ภาพที่ 6 สัญญาณนาฬิกา

2.2.5 โหมดสัญญาณนาฬิกา

PIC16F886 สามารถเลือกโหมดสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดสัญญาณการทำงานได้มากถึง 4 โหมด โดยการกำหนดที่บิด FOSC1 ในรีจิสเตอร์ Configuration Word ในการทำงานจะต้องเลือกโหมดหนึ่ง ดังรายละเอียด

โหมด LP (Low Power Crystal) ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 32KHz - 200KHz

โหมด LP (Crystal/Resonator) ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 200KHz - 4MHz

โหมด HS (High Speed Crystal/Resonator) ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 4MHz - 20MHz

โหมด RC สามารถกำหนดค่าความถี่ได้จากค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อภาย นอกเข้ากับขา OSC1/CLKIN

2.2.6 ประเภทของออสซิลเลเตอร์

LP (Low Power Crystal) คริสตอลพลังงานต่ำ

XT (Crystal/Resonator) คริสตอล หรือ เรโซเนเตอร์

HS (High Speed Crystal/Resonator) คริสตอล หรือ เรโซเนเตอร์ความเร็วสูง

RC (External Resistor/Capacitor) วงจร RC ภายนอก

H4 (HS + PLL: High Speed Crystal/Resonator with PLL enabled) คูณ 4 PLL คือจะทำการคูณสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามา ด้วย 4 เช่น OSC ความถี่ 10 MHz เมื่อผ่านกระบวน การนี้จะทำให้ได้ความถี่เท่ากับ 40 MHz

2.2.7 ออสซิลเลเตอร์แบบคริสตอล

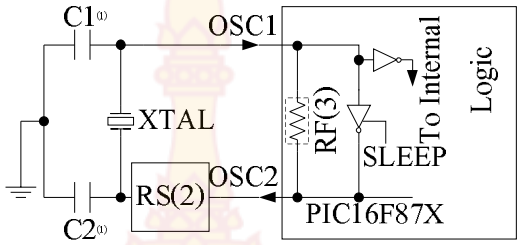
ออสซิลเลเตอร์แบบคริสตอลที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC-16F886 นี้จะเลือกใช้แบบ XT จะต้องใช้วงจรรีโซเนเตอร์ แบบเซรามิกหรือคริสตอลต่อเข้าที่ขา OSC1 และ OSC2 เพื่อทำให้เกิดสัญญาณนาฬิกา การเลือกใช้ตัวเก็บประจุ สำหรับวงจรรีโซเนเตอร์แบบเซรามิก จะคำนึงถึงความถี่ต่างๆที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้

Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32kHz	33pF	33pF
	200kHz	15pF	15pF
XT	200kHz	47-68pF	47-68pF
	1MHz	15pF	15pF
	4MHz	15pF	15pF
HS	4MHz	15pF	15pF
	8MHz	15-33pF	15-33pF

ชิพแบบ XT เป็นออสซิลเลเตอร์คริสตอลแบบมาตรฐาน ซึ่งอาจต้องการคริสตอลแบบสตริปคัต AT (AT Strip-cut) เพื่อหลีกเลี่ยงการโอเวอร์ไดรฟ์ (Overdrive)

วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ RC เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC-16F886 สำหรับค่า Rext ที่น้อยกว่า 2.2 กิโลโอห์ม ทำให้สัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ได้อาจจะไม่คงที่หรือหยุดนิ่งสำหรับค่า Rext ที่มีค่าสูงมากๆ (เช่น 1 เมกะโอห์ม) ออสซิลเตอร์จะมีความไวต่อสัญญาณรบกวนความชื้นและสภาวะแวดล้อมภายนอก ดังนั้นควรจะใช้ค่า Rext ให้มีค่าอยู่ในช่วง 5 กิโลโอห์ม ถึง 100 กิโลโอห์ม ถึงแม้ว่าออสซิลเลเตอร์จะทำงานได้โดยไม่ต้องต่อตัวเก็บประจุภายนอก (Cext=0 pF) แต่ควรใส่ค่าตัวเก็บประจุที่มากกว่า 20 pF เพื่อลดสัญญาณรบกวนและให้สัญญาณมีความคงที่ ถ้าไม่มีตัวเก็บประจุหรือตัวเก็บประจุภายนอกมีค่าน้อยเกินไป จะทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่ตัวเก็บประจุภายนอก เช่น ที่แผ่นวงจรพิมพ์บริเวณตัวเก็บประจุหรือตัวนำของตัวเก็บประจุ



ภาพที่ 7 วิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ RC เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC-16F886

2.3 แบตเตอรี่

โดยทั่วไป แบตเตอรี่จะแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ด้วยกัน ได้แก่

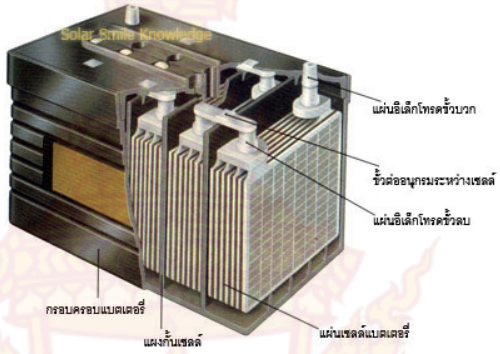
1. แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จจนเต็มมาจากโรงงาน เช่นแบตเตอรี่นาฬิกา(ถ่านนาฬิกา), แบตเตอรี่ไฟฉาย(ถ่านไฟฉาย)เป็นต้น ซึ่งเมื่อใช้ไฟในแบตเตอรี่จนหมดแล้วก็หมดเลยไม่สามารถกลับนำมาใช้ใหม่ได้ เราเรียกแบตเตอรี่นี้ว่า แบตเตอรี่ปฐมภูมิ(Primary Battery)

2. แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จใหม่ได้เมื่อแบตเตอรี่มีไฟที่อ่อนลง เช่นแบตเตอรี่รถยนต์ เราเรียกแบตเตอรี่นี้ว่า แบตเตอรี่ทุติยภูมิ(Secondary Battery)

ในระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์นั้นจะใช้แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิซึ่งสามารถชาร์จได้ใหม่เมื่อแบตเตอรี่มีกำลังไฟที่อ่อนลง ในระบบแบตเตอรี่จะทำงานเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์เข้ามาไว้ แล้วปล่อยกำลังไฟฟ้าออกไปให้กับโหลดในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่นในช่วงเวลากลางคืนหรือเมฆครึ้มตลอดวัน รถยนต์ที่เราใช้งานอยู่ทุกวันเมื่อเปิดวิทยุหรือพัดลมในรถยนต์โดยที่เราไม่สตาร์ทเครื่องยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นก็ทำงานได้ปกติ แต่เมื่อเปิดไปนานๆ จนไฟในแบตเตอรี่เริ่มหมดลง แรงดันในแบตเตอรี่ก็จะเหลือน้อยลง ต้องทำการชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ การชาร์จประจุของแบตเตอรี่ในรถยนต์ทำได้โดยการสตาร์ทเครื่องยนต์รถ เพื่อจะทำให้เพลาขับไปหมุนเอาเตอเนเตอร์ผลิตไฟกระแสตรงชาร์จให้กับแบตเตอรี่ต่อไป จนแบตเตอรี่กลับมามีแรงดันไฟฟ้าที่เต็มเหมือนเดิม ซึ่งเวลาเครื่องยนต์กำลังทำงานอยู่เราก็สามารถเปิดวิทยุและพัดลมได้เหมือนเดิม เพราะว่าทุกอย่าง ไม่ว่าจะเป็นแบตเตอรี่ โหลด เครื่องยนต์ และเอาเตอเนเตอร์ต่อทำงานร่วมกันอยู่ในระบบ ถ้าเปรียบเทียบหน้าที่การทำงานของแบตเตอรี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ก็คล้ายกับแบตเตอรี่ในรถยนต์นั่นเอง เพียงแต่ไฟฟ้าที่นำมาชาร์จประจุจะผลิตจากแผงโซล่าเซลล์โดยผ่านเครื่องควบคุมการชาร์จ ส่วนโหลดอาจจะเป็นโหลดไฟฟ้ากระแสตรง หรือถ้าต้องการใช้งานกับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับก็ต้องต่อผ่านอินเวอร์เตอร์อีกทีหนึ่ง แบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์จะมีหลายชนิด เช่น ลีดเอซิด(Lead-Acid Battery), อัลคาไลน์(Alkaline), นิคเกิลแคดเมียม(Nickel-cadmium) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือ แบตเตอรี่ลีดเอซิด เพราะมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวและมีการปล่อยประจุ(กระแสไฟฟ้า)ที่สูง

2.3.1โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่แบบลีดเอซิด(Lead-Acid Battery)

ภายในลีดเอซิดแบตเตอรี่จะประกอบด้วยเซลล์อยู่ภายในโดยต่อกันแบบอนุกรม จำนวนเซลล์ก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบแบตเตอรี่นั้นๆว่าให้มีค่าแรงดันใช้งานที่เท่าไร โดยทั่วไปหนึ่งเซลล์มีแรงดันประมาณ 2 โวลท์ ตัวอย่างเช่นแบตเตอรี่รถยนต์มีแรงดันใช้งานที่ 12 โวลท์ ดังนั้นข้างในแบตเตอรี่จะประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์ต่ออนุกรมกันอยู่



ภาพที่ 8 โครงสร้างของแบตเตอรี่

2.3.2 ลักษณะของการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จะแบ่งออกเป็นสองแบบด้วยกัน ได้แก่

1. แบตเตอรี่ที่สามารถปล่อยประจุ(กระแส)ไฟฟ้าได้น้อย(Shallow-Cycle Battery) คือแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาให้ปล่อยประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 10-20 เปอร์เซนต์ของประจุไฟฟ้ารวมก่อนจะทำการชาร์จประจุใหม่ การปล่อยประจุไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็นแอมอาวด์(Ahr) , 100 Ahr หมายถึงแบตเตอรี่สามารถปล่อยประจุกระแสไฟฟ้า 100 หน่วยได้ 1 ชั่วโมง(ในความเป็นจริงไม่สามารถทำอย่างนั้นได้เพราะเมื่อปล่อยประจุจากแบตเตอรี่จนหมด แบตเตอรี่จะเสียทันที) – ตัวอย่างถ้ามีแบตเตอรี่แบบปล่อยประจุได้น้อย(Shallow cycle battery) ที่สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้ 100 แอมอาวด์อยู่หนึ่งตัว แบตเตอรี่ตัวนี้ควรที่จะปล่อยประจุไฟฟ้า(หรือใช้กระแสไฟฟ้า) ได้เพียง 10-20 แอมอาวด์ หลังจากนั้นจะต้องทำการชาร์จประจุให้เต็มก่อนการคลายประจุครั้งต่อไป ถ้าการปล่อยประจุมากเกินกว่าที่กำหนดไว้ เช่นทำการปล่อยประจุที่ 50 แอมอาวด์ จะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการที่ใช้งานที่สั้นลง(เสื่อมเร็ว)อย่างมากเช่นตามสเปคอายุการใช้งานของแบตเตอรี่สามารถชาร์จได้ 3000 ครั้งอาจจะลดเหลือเพียงแค่ 1000 ครั้ง ดังนั้นการออกแบบระบบโดยรวมควรคำนึงถึงลักษณะการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย

2. แบตเตอรี่ที่สามารถปล่อยประจุ(กระแส)ไฟฟ้าได้มาก(Deep-Cycle Battery) คือแบตเตอรี่สามารถปล่อยประจุได้ถึง 60-80 เปอร์เซนต์ของประจุรวมก่อนที่จะทำการชาร์จประจุใหม่ ส่วนมากแล้วจะนำมาใช้กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัย แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีราคาที่สูงกว่าแบบแรกมาก แต่ใช้เพียงไม่กี่ตัวก็สามารถทดแทนประจุไฟฟ้ารวมจากแบตเตอรี่แบบแรกได้ แบตเตอรี่แบบนี้จะมีความคุ้มค่าในระยะยาว

3. คำถามที่มักจะพบบ่อยคือ เราจะสามารถใช้แบตเตอรี่รถยนต์แทนแบตเตอรี่กับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้หรือไม่ – ถ้าระบบเล็กๆ ใช้กระแสไฟที่จะไปจ่ายโหลดไม่มาก ก็สามารถใช้แบตเตอรี่รถยนต์ได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องคำนวณให้ดีว่า ไม่ควรที่จะปล่อยกระแสไฟออกจากแบตเตอรี่ให้มากเกินไปกว่าสเปคที่กำหนดไว้ด้วยเพราะถ้าปล่อยกระแสไฟออกจากแบตมากเกินไปจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง จนไม่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้อีกต่อไป คล้ายกับแบตคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊คที่เสื่อมแล้ว ไม่สามารถที่จะจ่ายกระแสให้กับเครื่องได้นานนัก

4. แบตเตอรี่รถยนต์มีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปีแต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่ดีพไซเคิลที่สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้มากจะมีอายุการใช้งาน 4-5 ปีเลยทีเดียว ถ้าใช้งานกับระบบโซล่าเซลล์แล้ว แบตเตอรี่แบบดีพไซเคิลมีความคุ้มค่ามากกว่าและราคา ณ ปัจจุบัน(2556) ถือว่าลดลงมาจากที่ผ่านมามาก อีกทั้งยังจ่ายกระแสไฟให้กับโหลดได้มากกว่าแบตรถยนต์ก่อนที่จะทำการชาร์จประจุใหม่ด้วย

2.3.3 เครื่องควบคุมการชาร์จ แบตเตอรี่จะต่อกับเครื่องควบคุมการชาร์จซึ่งทำหน้าที่ปรับแรงดันให้เหมาะสมไม่ให้สูงไปเพราะอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ ถ้าแบตเตอรี่มีแรงดันที่ต่ำมากกว่าค่าที่ตั้งไว้ในเครื่องควบคุมการชาร์จ เครื่องควบคุมการชาร์จจะปลดโหลดออกไปทันทีเพราะถ้าไม่ทำอย่างนี้แล้วประจุที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่จะถูกปล่อยไปจนหมด ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อแบตเตอรี่เพราะจะทำให้เซลล์ที่อยู่ข้างในไม่สามารถกลับมาชาร์จประจุได้อีก

2.3.4 ข้อควรระวัง

1. ไม่ควรปล่อยให้แบตเตอรี่ปล่อยประจุ(กระแสไฟ)จนหมด เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บประจุของแบตเตอรี่ลดลงไปอย่างมาก และบางครั้งจะไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุได้อีกต่อไป

2. ควรติดตั้งแบตเตอรี่ที่อุณภูมิที่กำหนดไว้ในสเปค โดยส่วนใหญ่แล้วแบตเตอรี่จะทำงานได้ดีที่อุณภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้ จะทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บประจุลด

3. ควรเลือกขนาดความจุของแบตเตอรี่ให้มีการชาร์จประจุเต็มทุกวัน เพราะถ้าแบตเตอรี่แบบลีดเอซิดไม่เคยชาร์จเต็มเลย จะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลง

4. การติดตั้งขนาดของโซล่าเซลล์รวมต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของแบตเตอรี่ด้วย มิฉะนั้นแล้วโซล่าเซลล์จะผลิตไฟฟ้ามากหรือน้อยเกินไป อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพเร็วและทำให้เราเสียค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ชุดใหม่ การออกแบบขนาดโซล่าเซลล์ที่เหมาะสมตาม คู่มือออกแบบติดตั้งและใช้งานโซล่าเซลล์ จะช่วยให้แบตเตอรี่มีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและใช้งานได้ยาวนานยิ่งขึ้น

2.4 หลอดไฟที่ใช้ในโคมไฟสาธารณะ

แสงสว่างถือเป็นปัจจัยหลักของการดำรงชีวิตรองจากปัจจัย 4 และมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเดินทางบนท้องถนนและที่สาธารณะ ซึ่งโคมไฟถนนก็ถือเป็นปัจจัยหลักในการให้แสงสว่างระหว่างการเดินทาง ในปัจจุบันแสงสว่างที่เรานำมาใช้บนท้องถนนและที่สาธารณะก็มีหลายประเภท แต่ที่กำลังนิยมก็คือโคมไฟชนิด LED เพราะช่วยประหยัดพลังงานและให้แสงสว่างมากกว่าโคมไฟแบบธรรมดา ซึ่งโคมไฟ LED จะมีความสูงกว่าโคมไฟประเภทอื่น เราสามารถแบ่งประเภทของหลอดไฟที่ใช้ในโคมไฟสาธารณะได้เป็น 5 ประเภท ดังนี้

Incandescent

ภาพที่ 9 หลอดไฟชนิด Incandescent

2.4.1 หลอด Incandescent หรือที่เรียกกันว่า หลอดไส้ เป็นหลอดไฟที่ใช้กันมามากกว่า 90 ปี เป็นหลอดไฟทั่วไปที่ใช้ในชีวิตประจำวัน นิยมนำมาใช้ในครัวเรือนสูงถึง 85% ภายในหลอดเป็นไส้ที่ทำจากทังสเตน ให้ความร้อนสูงมากประมาณ 100 - 400 องศาเซลเซียส แต่ประสิทธิภาพในการส่องสว่างต่ำเพียง 10-15 lm/W ดังนั้นเมื่อมีความร้อนสูงมากระหว่างการส่องสว่างจึงเท่ากับว่ามีการสูญเสียพลังงานมากด้วยเช่นกัน แม้ว่าหลอดประเภทนี้จะมีราคาถูก แต่อายุการใช้งานจะสั้น ประมาณ 750 ชั่วโมง ซึ่งหลอดไส้จะมีหลายวัตต์และหลายขนาดแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน สามารถใช้ได้ทั้ง ภายใน และ ภายนอก หลอดไส้บางประเภทจะทนทานต่อแสงภายนอกและสามารถทำให้มืดลงได้ตามความต้องการ

Halogen

ภาพที่ 10 หลอดไฟชนิด Halogen

2.4.2 หลอดฮาโลเจน มีลักษณะเหมือนกับหลอดไส้ ที่ไส้หลอดทาด้วยทังสเตน แต่บรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ซึ่งจะแผ่ความร้อนออกมากจากใยลวดเส้นบางๆ ที่ผลิตจากแก้วหิน รอบล้อมไปด้วยแก๊สฮาโลเจนที่มีส่วนช่วยรักษาใยลวดเพื่อป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด มีประสิทธิภาพดีกว่าหลอดไส้ปกติ 2-3 เท่า หรือประมาณ 1500 – 3000 ชั่วโมง หลอดฮาโลเจนสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอก โดยหลอดไฟประเภทนี้จะให้ความร้อนมากกว่าหลอดไส้ และนิยมใช้ตามสนามบิน และ งานส่องเน้น เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์บางชนิด เครื่องฉายสไลด์ เป็นต้น แต่ทั้งนี้หลอดฮาโลเจนจะไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

High Pressure Sodium

ภาพที่ 11 หลอดไฟชนิด High Pressure Sodium

2.4.3 หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดโซเดียม หลอดแสงจันทร์ นิยมใช้ในการส่องสว่างตามท้องถนนและโรงงานอุตสาหกรรม หลอดไฟประเภทนี้ กินไฟเป็นอย่างมากประมาณ 400 - 500 W และขณะใช้งานจะมีอุณหภูมิของหลอดร้อนมากประมาณ 100 - 400 องศา ซึ่งมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 2-3 ปี

ภาพที่ 12 หลอดไฟชนิด Fluorescent

2.4.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) หรือที่เรียกกันว่า หลอดนีออนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะมีวิธีการผลิตแสงไฟแตกต่างจากหลอดไส้ และ หลอดไฟฮาโลเจน โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะใช้กระแสไฟเพื่อกระตุ้นก๊าซภายในหลอด ให้ผลิตแสงไฟ ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์จะไม่สามารถปรับแสงให้สลัวได้ อีกทั้งหลอดไฟประเภทนี้จะให้ความร้อนมากกว่าหลอดไฟทั้งสองประเภทที่กล่าวมาข้างต้น โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์จะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 75% แต่ทั้งนี้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ก็ยังคงไม่เป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 13 หลอดไฟชนิด LED

2.4.5 หลอด LED แอลอีดีLED ย่อมาจาก Light Emitting Diode จะมีลักษณะการให้แสงสว่างที่แตกต่างจากหลอดไฟประเภทอื่นโดยหลอดแอลอีดีจะใช้ไฟปล่อยผ่านไดโอด (แอลอีดี) แทนการกระตุ้นผ่านใยลวด หรือก๊าซ ซึ่งแอลอีดีจะปล่อยพลังงานให้ผ่านสารกึ่งตัวนำ เพื่อผลิตกระแสไฟ หลอดไฟแอลอีดีสามารถปรับระดับการส่องแสงได้ตามความต้องการ อีกทั้งยังประหยัดพลังงาน เพราะให้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำ แถมยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ข้อเสียของหลอดประเภทนี้จะมีราคาแพงมากกว่าหลอดประเภทอื่น แต่ก็ถือว่าคุ้มค่ามากกว่าหลอดประเภทอื่น ดังนั้นหลอดไฟประเภทนี้จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น แต่ก็มีคนบางส่วนที่เริ่มหันมาใช้ โคมไฟ LED แสงอาทิตย์ เพราะเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์แต่ทั้งนี้ก็มีราคาสูงมากเช่นกัน

แม้ในปัจจุบันราคาของหลอดไฟ LED จะมีราคาสูงกว่าหลอดทั่วไป แต่โคมไฟ LED ก็มีจุดเด่นหลายอย่าง คือ ใช้พลังงานต่ำแต่ให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูง การเปิด - ปิดหลอดไฟ LED สามารถเปิด-ปิดได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีแสง UV ไม่กระพริบขณะเปล่งแสง สามารถทำงานได้ยาวนานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดชนิดอื่นๆ และด้านสิ่งแวดล้อม ถือได้ว่าหลอดชนิดนี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะนอกจากความประหยัดด้านพลังงานและความคงทนที่สามารถใช้ได้อย่างยาวนาน ทำให้ปริมาณขยะจากหลอดไฟลดลง ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการรณรงค์ส่งเสริมให้เปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์ประหยัดไฟประเภทต่างๆ ถือเป็นอีกวิธีการหนึ่งเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน แค่เปลี่ยนมาใช้หลอด LED ก็ช่วยลดการใช้พลังงานและยังช่วยลดภาวะโลกร้อน

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน ออกแบบและสร้างระบบควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน

3.3 ออกแบบโฟลชาร์ตการทำงานของซอร์ฟแวร์

3.4 เขียนและพัฒนาโปรแกรมควบคุมตามโฟลชาร์ต

3.5 ติดตั้งและทดสอบการทำงาน

3.1 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.1 ข้อมูลประเภทของโคมไฟและชนิดของหลอดไฟที่จะใช้

- ชนิดของโคมไฟที่ใช้ในที่สาธารณะทั่วไปนั้น มีความต้องการให้มีพื้นที่ให้แสงสว่างที่กว้างกว่าโคมไฟที่ใช้ตามบ้านเรือนทั่วไป โคมไฟที่มีใช้แบ่งออกเป็นประเภทได้ดังนี้

1.โคมไฟแบบห้อย นิยมใช้ในที่ ๆ มีโครงสร้างที่สามารถจับยึดดวงโคมได้ เช่น โครงหลังคา หรือ สลิงยึดดวงโคม

ภาพที่ 14 โคมไฟแบบห้อย

2.โคมไฟแบบติดตั้งกับเสา นิยมใช้ในพื้นที่โล่งแจ้ง ไม่มีโครงสร้างสำหรับจับยึด เช่น ติดตั้งข้างถนน หรือ ในสวนสาธารณะ

ภาพที่ 15 โคมไฟแบบติดตั้งกับเสา

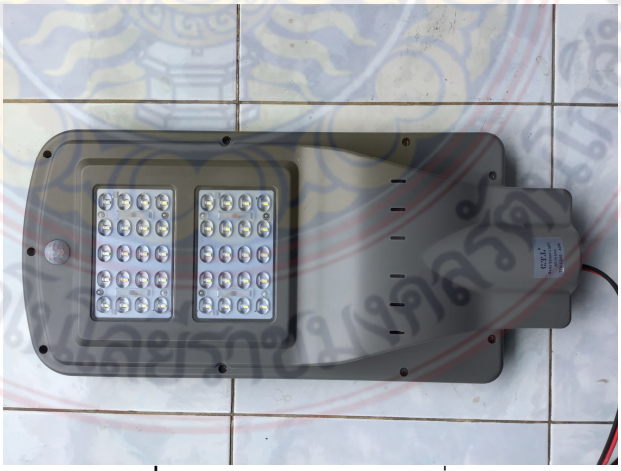
- ชนิดของหลอดไฟที่ใช้ แบ่งเป็นหลอดไฟที่ใช้กับไฟฟ้าชนิดต่างๆ แบ่งออกเป็นประเภทได้ดังนี้

1.หลอดไฟที่ใช้กับไฟฟ้า AC 220V เป็นหลอดไฟที่มีใช้งานทั่วไป มีทั้งแบบ หลอดไส้ หลอดฮาโลเจน หลอดโซเดียมแรงดันสูง และหลอด LED ในบรรดาหลอดไฟทั้งหมดที่กล่าวมา หลอดไฟชนิด LED เป็นหลอดไฟที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด และอายุการใช้งานยาวนานที่สุด ถึงแม้ความสว่างอาจจะสู้หลอดไฟบางชนิดไม่ได้

2.หลอดไฟที่ใช้กับไฟฟ้า DC 12V เป็นหลอดที่ถูกสร้างมาให้ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ เหมาะสมกับการนำไปใช้กับระบบไฟฟ้าของโซล่าร์เซล หลอดไฟที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดจะมีแบบ หลอดชนิดฮาโลเจน และหลอดชนิด LED แต่เนื่องจากหลอดชนิดฮาโลเจนเป็นหลอดไฟที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง จึงไม่ค่อยนิยมใช้กับงานให้แสงสว่างในที่สาธารณะ

3.1.2 สรุปและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเลือกชนิดของโคมไฟและหลอดไฟที่จะนำมาใช้งาน

จากข้อมูลข้างต้น เพื่อความสะดวกในการติดตั้งดวงโคม จึงเลือกใช้โคมไฟแบบติดตั้งกับเสาเพื่อความสะดวกในการติดตั้งกับพื้นที่ทั่วไป และเลือกใช้หลอดไฟชนิด LED แบบที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12V เพื่อให้สามารถใช้ได้กับไฟฟ้าที่ได้จากระบบโซล่าร์เซล



ภาพที่ 16 โคมไฟและหลอดไฟที่เลือกใช้

ขั้นตอนการออกแบบเลือกใช้ขนาดของแผงโซล่าร์เซลและขนาดความจุของแบตเตอรี่ มีดังนี้

1.จากโคมไฟที่เลือกใช้ พบว่าโคมไฟดังกล่าวใช้แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน 12V กระแส 0.8A

2.กำลังงานของโคมไฟ เท่ากับ 12V x 0.8A = 9.6W ดังนั้น ถ้าต้องการให้โคมไฟทำงานทั้งคืน คือ 12 ชั่วโมง จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น 12 ชม. x 9.6W = 115.2W

3.กระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ทั้งหมด คือ 115.2W / 12V = 9.6A

4.เนื่องจากการออกแบบขนาดแบตเตอรี่จำเป็นต้องเผื่อขนาดให้สูงขึ้นกว่าขนาดที่คำนวณได้ อันเนื่องมาจากการใช้งานแบตเตอรี่ไม่สามารถใช้ไฟฟ้าให้หมดได้ เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เสียหาย จึงมีความจำเป็นต้องเผื่อขนาดแบตเตอรี่ให้มากกว่าที่คำนวณได้ 120% เพราะฉะนั้น ขนาดแบตเตอรี่ที่จะใช้งานต้องมีขนาดความจุเท่ากับ 9.6A x 1.2 = 11.52Ah ดังนั้นจึงเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 12Ah

5.ขนาดกำลังงานของแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ เท่ากับ 12V x 12Ah = 144W

6.ในการใช้โซล่าร์เซลเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 144W ให้เต็มนั้น โดยหลักวิชาการแล้ว ใน 1 วันจะรับแสงแดดได้เต็มประสิทธิภาพของแผงโซล่าเซล 5 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นสามารถคำนวณขนาดของแผงโซล่าร์เซลที่จะเลือกใช้ได้ดังนี้ 144W / 5 ชม. = 28.8W ดังนั้นจึงเลือกใช้แผงโซล่าเซลขนาด 30W

3.2 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน

3.2.1 การกำหนดอินพุตและเอาต์พุต

การกำหนดอินพุตและเอาท์พุตนั้นจะทำให้สะดวกต่อการออกแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2 มีดังนี้

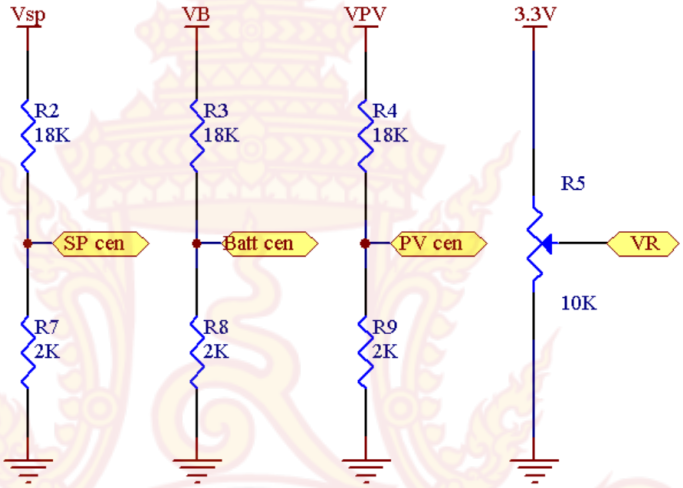
ตารางที่ 2 การแบ่งแยกอินพุตและเอาท์พุต

Input			Output		
การทำงาน	ชนิด I/P	จำนวน bit	การทำงาน	ชนิด O/P	จำนวน bit
รับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากโซล่าร์เซล	Analog	1	ส่งข้อมูลเพื่อสั่งเปิดไฟจากแบตเตอรี่	Digital	1
รับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่	Analog	1	ส่งข้อมูลเพื่อสั่งเปิดไฟจากไฟบ้าน	Digital	1
รับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟบ้าน	Analog	1	ส่งข้อมูลเพื่อสั่งชาร์จแบตเตอรี่	Digital	1
รับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจาก VR ปรับระดับแสง	Analog	1	ส่งข้อมูลเพื่อสั่ง LED แสดงสถานะการชาร์จ	Digital	1
รวมจำนวน Input		4	รวมจำนวน Output		4

3.2.2 เลือกไมโครคอนโทรลเลอร์

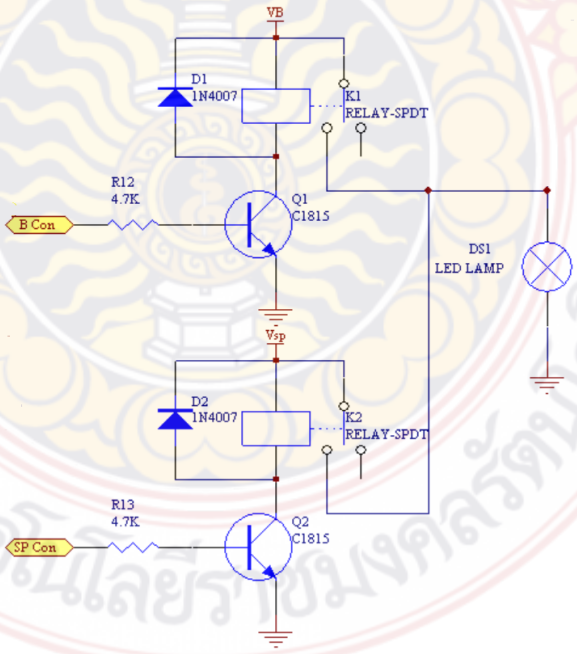
การออกแบบระบบควบคุมสำหรับโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ PIC16F886 เพื่อใช้ในการประมวลผลรับข้อมูลและสั่งงานเพื่อการควบคุมระบบทั้งหมด

3.2.3 ออกแบบวงจรส่วนรับแรงดันไฟฟ้าจากโซล่าเซล,แบตเตอรี่,แหล่งจ่ายไฟบ้าน,VR ปรับค่าระดับแสง



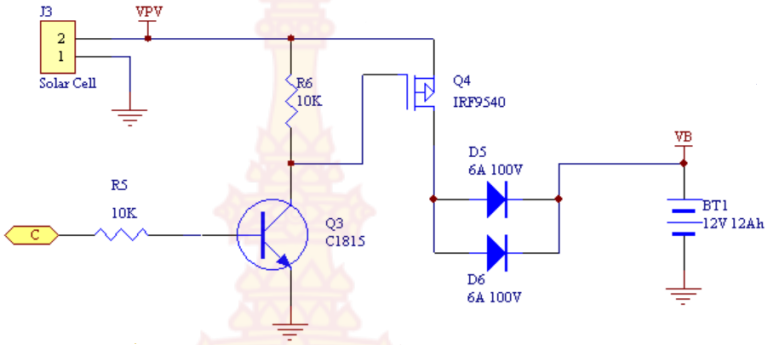
ภาพที่ 17 วงจรรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งต่างๆ

3.2.4 ออกแบบวงจรส่วนสั่งงานเปิด-ปิดหลอดไฟจากแบตเตอรี่และไฟบ้าน



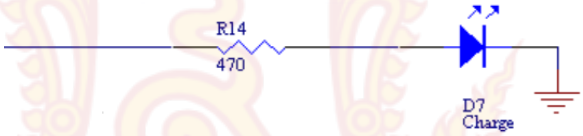
ภาพที่ 18 วงจรสั่งงานปิด-เปิดโคมไฟ

3.2.5 ออกแบบวงจรส่วนสั่งงานชาร์จแบตเตอรี่



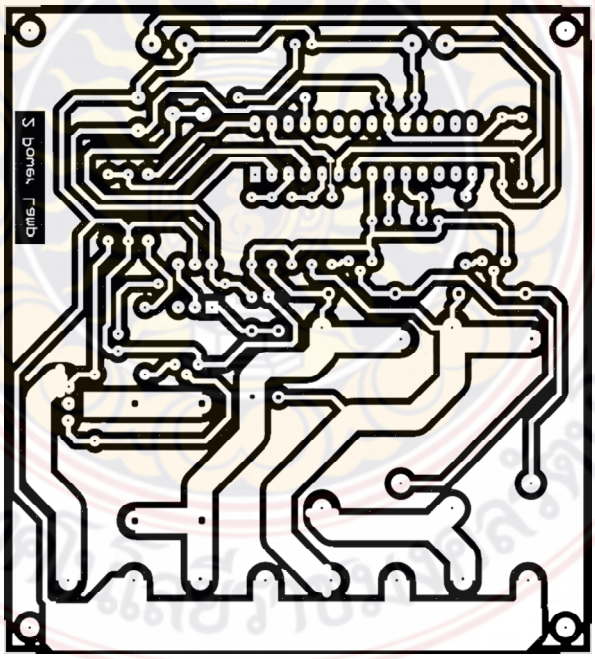
ภาพที่ 19 วงจรควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่

3.2.6 ออกแบบวงจรส่วน LED แสดงสถานการณ์ชาร์จ

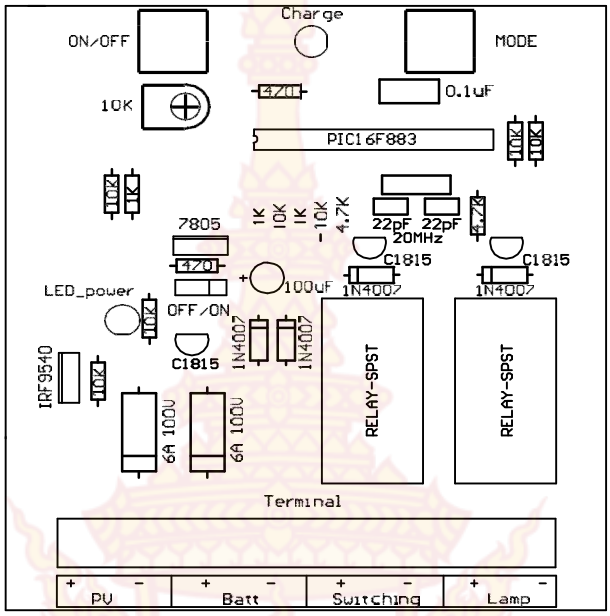


ภาพที่ 20 วงจรขับหลอด LED

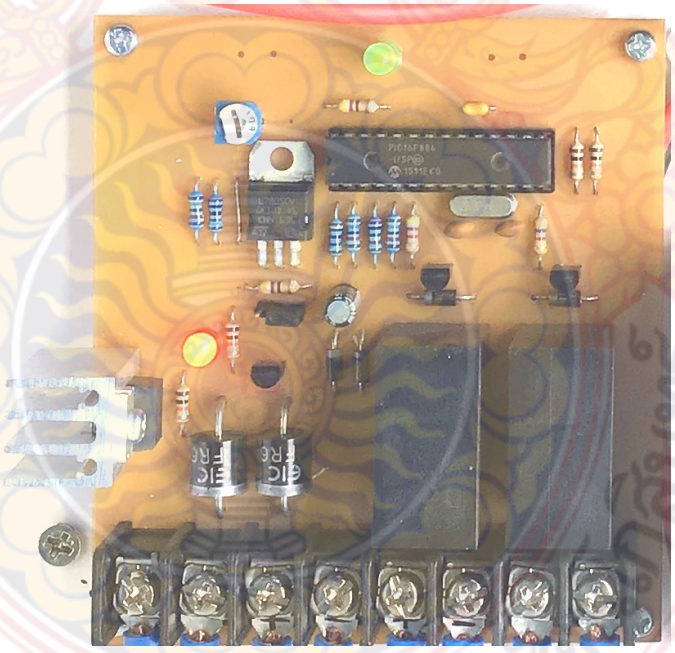
3.2.7 ออกแบบลายวงจรพิมพ์ สร้างแผ่นวงจรพิมพ์ และลงอุปกรณ์ตามแบบ



ภาพที่ 21 ออกแบบลายวงจรพิมพ์ วงจรควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน



ภาพที่ 22 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์



ภาพที่ 23 ลงอุปกรณ์ประกอบวงจรตามแบบ

3.3 ออกแบบโฟลชาร์ตการทำงานของซอร์ฟแวร์

แสดงโฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรม ในภาคผนวก ก

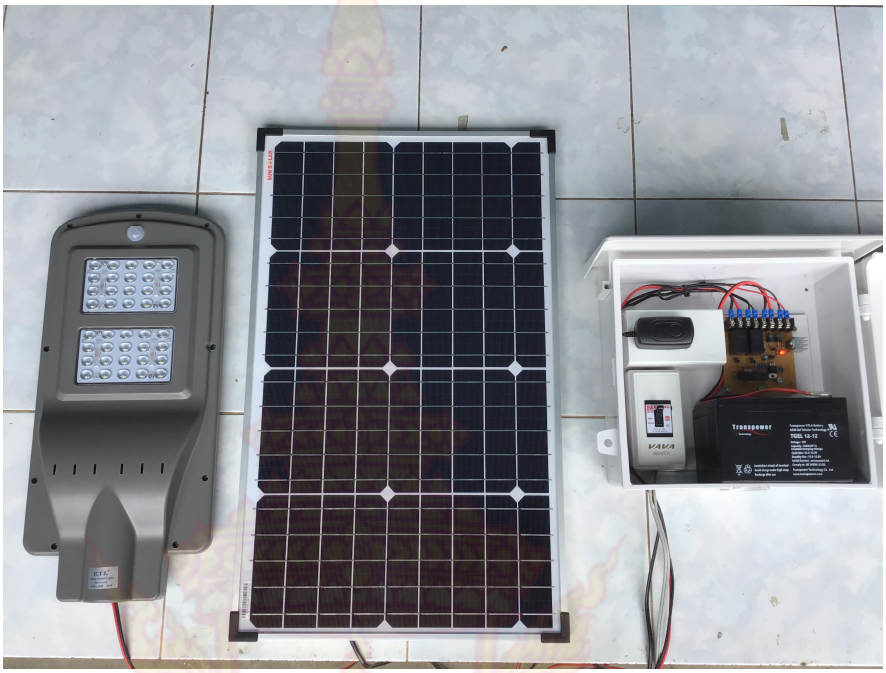
3.4 เขียนและพัฒนาโปรแกรมควบคุมตามโฟลชาร์ต

แสดงโปรแกรมควบคุมการทำงาน ในภาคผนวก ข

3.5 ติดตั้งและทดสอบ

ได้ทำการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมด และทดสอบการทำงาน ดังนี้

ภาพที่ 24 การประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดลงตู้ควบคุม



ภาพที่ 25 เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดและทดสอบการทำงาน

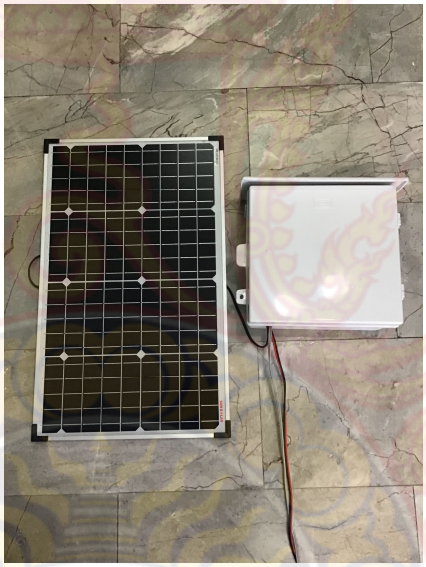
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การทดลองการทำงานของโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน

หลังจากประกอบวงจร เขียนโปรแกรมควบคุม ติดตั้งอุปกรณ์และเชื่อมต่อสายไฟฟ้าทั้งหมด เพื่อให้ระบบควบคุมทำงาน ได้ผลการทดลองต่างๆ ดังนี้

4.1.1 ทดลองการชาร์จแบตเตอรี่ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการชาร์จแบตเตอรี่แบบอัตโนมัติโดยทดลองเพื่อหาระยะเวลาการชาร์จที่ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แตกต่างกัน ได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 26 การทดลองชาร์จแบตเตอรี่ด้วยโซล่าร์เซล

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการชาร์จแบตเตอรี่

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้าเริ่มชาร์จ (V)	แรงดันไฟฟ้าเมื่อชาร์จเต็ม (V)	ระยะเวลาการชาร์จ (ชั่วโมง)
1	11.2	14.2	5:33
2	11.7	14.2	4:47
3	12.1	14.2	3:36
4	12.4	14.2	2:12
5	12.6	14.2	1:02

4.1.2 ทดลองระยะเวลาการใช้ไฟของโคมไฟจากแบตเตอรี่ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ให้กับโคมไฟเพื่อทำงาน โดยทดลองที่ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ระดับต่างๆ เพื่อหาระยะเวลาการทำงานของโคมไฟ ที่จะทำงานจนกว่าแบตเตอรี่จะหมด กำหนดให้แบตเตอรี่หมดที่แรงดัน 11.2 V ได้ผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 27 การทดลองระยะเวลาทำงานของโคมไฟเมื่อใช้ไฟจากแบตเตอรี่

ตารางที่ 4 ผลการทดลองหาระยะเวลาการทำงานของโคมไฟที่ระดับแรงดันแบตเตอรี่ต่างๆ กัน

ครั้งที่	ระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น (V)	ระดับแรงดันไฟฟ้าหมด (V)	ระยะเวลาทำงานของโคมไฟ (ชั่วโมง)
1	11.3	11.2	0:15
2	11.8	11.2	3:34
3	12.2	11.2	6:25
4	12.5	11.2	10:07
5	12.7	11.2	12:42

4.1.3 ทดลองหาเวลาการเปิดและปิดของโคมไฟอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการให้ระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟอัตโนมัติทำงานในช่วงเดือน กรกฎาคม โดยตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบเพื่อสั่งงานการเปิด-ปิดไฟ ไว้ที่ 2 V (นั่นคือเมื่อแรงดันไฟฟ้าจากโซล่าร์เซลต่ำกว่า 2V ระบบควบคุมจะสั่งเปิดโคมไฟให้ทำงาน และเมื่อแรงดันไฟฟ้าจากโซล่าร์เซลสูงกว่า 2V ระบบควบคุมจะสั่งปิดโคมไฟหยุดทำงาน) ได้ผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 28 การทดลองหาเวลาการเปิดและปิดของโคมไฟอัตโนมัติ

ตารางที่ 5 ผลการทดลองหาเวลาการเปิดและปิดของโคมไฟอัตโนมัติ

ครั้งที่	เวลาโคมไฟทำงาน (นาฬิกา)	เวลาโคมไฟหยุดทำงาน (นาฬิกา)
1	18.45	05:47
2	18.32	05:40
3	18.47	05:49
4	18.40	05:55
5	18.29	05:59
6	18.33	05:43
7	18.54	06:12
8	18.46	05:52
9	18.39	05:56
10	18.24	06:03

4.1.4 ทดลองการทำงานในการสลับการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยการให้ระบบควบคุมทำการตรวจสอบและสลับการใช้แหล่งพลังงานอัตโนมัติ โดยการทำให้ระดับแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ (11.2V) แล้วดูการทำงานในช่วงการเปลี่ยนผ่านจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากไฟบ้าน ได้ผลการทดลองดังนี้

ภาพที่ 29 การทดลองการทำงานในการสลับการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 6 ผลการทดลองการทำงานในการสลับการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า

ครั้งที่	แรงดันแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนแหล่งจ่าย (V)	ผลการทำงานของโคมไฟ
1	11.2	ปกติ
2	11.2	ปกติ
3	11.2	ปกติ
4	11.2	ปกติ
5	11.2	ปกติ
6	11.2	ปกติ
7	11.2	ปกติ
8	11.2	ปกติ
9	11.2	ปกติ
10	11.2	ปกติ

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบ และสร้างโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากโคมไฟที่ใช้พลังงานจากโซลาร์เซลปกติ มักจะพบปัญหาโคมไฟดับก่อนถึงเวลาเช้า อันเนื่องมาจากแบตเตอรี่มีไฟไม่เพียงพอต่อการใช้งานตลอดในช่วงเวลากลางคืน สาเหตุอาจจะมาจากแสงแดดน้อยเกินไป ทำให้ชาร์จแบตเตอรี่ไม่เต็ม หรืออาจเกิดจากความเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่เองที่ผ่านการใช้งานมาเป็นระยะเวลานาน ผลกระทบที่ได้ ทำให้โคมไฟไม่สามารถทำงานได้ตลอดทั้งคืน ส่งผลเสียต่อพื้นที่บริเวณที่ต้องการแสงสว่างในตอนกลางคืนตลอดทั้งคืน นำมาซึ่งอุบัติเหตุ หรือเหตุไม่คาดคิดบางอย่างในจุดที่มีความเสี่ยง ผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหานี้โดยการออกแบบระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของโคมไฟ โดยระบบควบคุมจะสามารถเปลี่ยนไปใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าได้ทันทีเมื่อตรวจพบว่าแบตเตอรี่มีพลังงานไม่เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโคมไฟ ทำให้หมดปัญหาโคมไฟหยุดทำงานก่อนถึงเวลาเช้าที่มีแสงแดดมา และยังใช้แผงโซล่าร์เซลทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์แสงเพื่อสั่งปิดเปิดโคมไฟได้อัตโนมัติอีกด้วย

จากการทดลองใช้งานพบว่า ระบบควบคุมโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงานสามารถทำงานได้ถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยพบว่า ระยะเวลาการชาร์จแบตเตอรี่โดยใช้โซล่าร์เซลในวันที่แดดจัดนั้น จากจุดที่แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่หมด (11.2V) จนชาร์จได้เต็ม (14.2V) ใช้เวลา 5 ชั่วโมง 33 นาที และผลการทดลองในเรื่องระยะเวลาการทำงานของโคมไฟจากจุดที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จจนเต็ม (12.7V) จนถึงแบตเตอรี่หมด (11.2V) จะได้ระยะเวลาเท่ากับ 12 ชั่วโมง 42 นาที

5.2 อภิปรายผล

จากการออกแบบและสร้างโคมไฟสาธารณะ 2 แหล่งพลังงาน ทำการทดลองใช้งานและบันทึกผล ทำให้ทราบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ตามการออกแบบ โดยผลที่ได้จากการทดลองใช้งานสามารถกล่าวถึงข้อดี-ข้อเสียของเครื่องได้ ดังนี้

5.2.1 ข้อดี

- ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนค่าพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากใช้โซล่าร์เซลเข้ามาทดแทน
- ไม่ว่าแสงแดดจะเพียงพอที่จะให้โซล่าร์เซลชาร์จแบตเตอรี่หรือไม่ แต่โคมไฟยังคงทำงานได้ตลอดทั้งคืน
- เป็นระบบควบคุมที่ทำงานอัตโนมัติทั้งหมด ทำให้ไม่มีความยุ่งยากในการใช้งานและบำรุงรักษา

- เป็นต้นแบบที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ ที่มีแนวความคิดเดียวกัน กับการใช้พลังงานจากโซล่าเซล

5.2.2 ข้อเสีย

- การติดตั้ง ถ้าหากจุดติดตั้งอยู่ไกลจากสายส่งของการไฟฟ้า ทำให้ยุ่งยากและสิ้นเปลือง
- อาจต้องมีการทำความสะอาดแผงโซล่าร์เซลบ้าง เพื่อให้สามารถรับแสงได้เต็มประสิทธิภาพ

5.3 ข้อเสนอแนะ

สามารถพัฒนาระบบให้เป็นระบบขนาดใหญ่ได้ นั่นคือ มีจุดติดตั้งแผงโซล่าร์เซลขนาดใหญ่ เก็บพลังงานไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ที่มีความจุสูงๆ และจ่ายไฟไปให้โคมไฟหลายๆ ดวงโคม ที่ติดตั้งครอบคลุมบริเวณที่ต้องการ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการ และการบำรุงรักษาในอนาคต ซึ่งจะใช้งบประมาณต่ำกว่าถ้าหากเทียบกับการติดตั้งแยกเป็นจุดๆ

บรรณานุกรม

1.ณัฏฐพล วงศ์สุนทรชัย และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. **เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F877**. ปรับปรุงครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 2536

2.ประจิน พลังสันติกุล. **เรียนรู้และใช้งาน CCS คอมไพเลอร์เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC**. อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2521

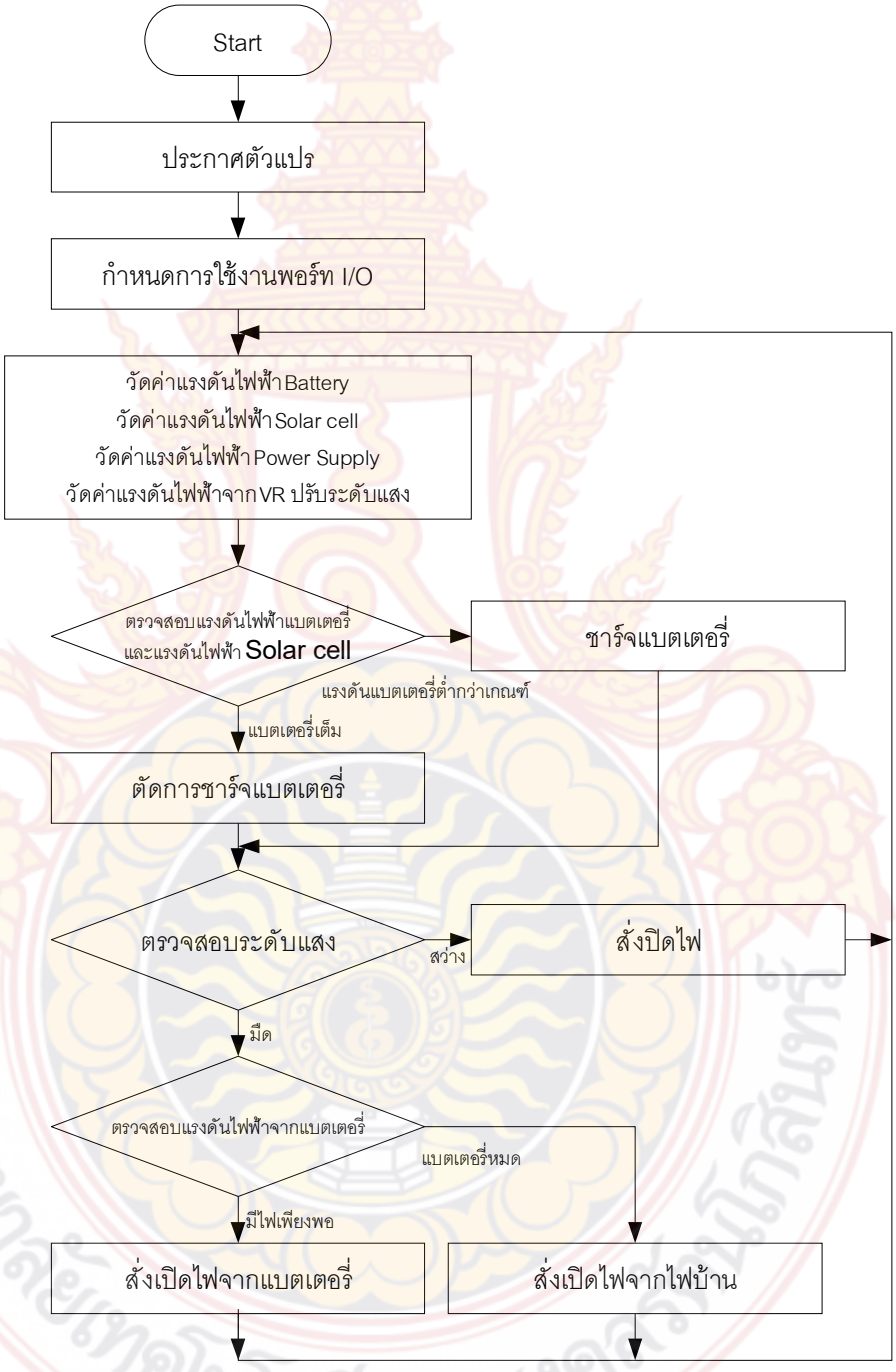
3.**หลอดไฟในโคมไฟถนน** . [ออนไลน์] . เข้าถึงได้จาก : https://www.streetlightled.net/article/5/ประเภทของหลอดไฟในโคมไฟถนน. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 สิงหาคม 2562)

4.**ความหมายและชนิดของแบตเตอรี่**. [ออนไลน์] . เข้าถึงได้จาก : https://solarsmileknowledge.com/battery/ความหมายแบตเตอรี่ . (วันที่ค้นข้อมูล : 3 สิงหาคม 2562)

5.**ความรู้เกี่ยวกับเซลแสงอาทิตย์**. [ออนไลน์] . เข้าถึงได้จาก : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php. (วันที่ค้นข้อมูล : 3 สิงหาคม 2562)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
โฟลชาร์ตการทำงานของโปรแกรม



ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

```
//*****************************************************************************
//  2 Power Supply for 12V LED Lamp
//  Develop >> 3/08/2019
//  By Mr.Tanakorn Suntornwat
//*****************************************************************************
#include  "16F886.h"
#DEVICE ADC=10

#fuses  HS,NOLVP,NOWDT,PROTECT,NOMCLR
#use  delay(clock=20M)

// ********************* Define PIN ***************************************
#define  swMODE  PIN_A4
#define  swONOFF PIN_A5

#define  charge  PIN_B7
#define  LED     PIN_B4
#define  relay_batt  PIN_B6
#define  relay_sp    PIN_C3

#use fast_io(A)
#use fast_io(B)
#use fast_io(C)

//****************** Varriable ***************************************************
int index=0,m=0;
int16 temp;
float Vvr,Vbatt,Vpv,Vsp;
```

```
//********************** Function Declare *********************************
measure();
charge_con();

//*****************************************************************************
//******************  Main Program ****************************************
//*****************************************************************************
void main()
{
   setup_adc_ports(sAN0);     // Vadj  from VR
   setup_adc_ports(sAN1);     // Vbatt  from Batt
   setup_adc_ports(sAN2);     // Vpv    from Solar cell
   setup_adc_ports(sAN3);     // Vsp    from Power Supply

   set_tris_a(0xFF);
   set_tris_b(0x00);
   set_tris_c(0x00);

   setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);

   output_b(0x00);
   output_c(0x00);

   while(1)
   {
     measure();
     charge_con();
//******************** Auto ON/OFF Lamp ******************
```

```
if(Vpv < Vvr)          // Night
{
  if((Vbatt >= 12.0)&&(m==0))    // Use Batt
  {
    output_high(relay_batt);
    output_low(relay_sp);
    m=1;
  }

  if((m==0)&&(Vbatt < 12.0))    // Use Supply
  {
    output_low(relay_batt);
    output_high(relay_sp);
    m=0;
  }

  if((Vbatt < 11.0)&&(m==1))     // Low Batt >> Use Supply
  {
    output_low(relay_batt);
    output_high(relay_sp);
    m=0;
  }
}

if(Vpv > (Vvr+0.5))          // Day
{
  output_low(relay_batt);   // Turn OFF Lamp
  output_low(relay_sp);
  m=0;
}
```

```
   }
}

measure()
{
//****** Measure V frome VR ****************
   set_adc_channel(0);
   delay_us(20);
   temp = read_adc();
   Vvr = temp * 0.004883;

//****** Measure V frome Battery ****************
   set_adc_channel(1);
   delay_us(20);
   temp = read_adc();
   Vbatt = ((temp * 0.004883)*10);

//****** Measure V frome PV ****************
   set_adc_channel(2);
   delay_us(20);
   temp = read_adc();
   Vpv = ((temp * 0.004883)*10);

//****** Measure V frome Power supply ****************
   set_adc_channel(3);
   delay_us(20);
   temp = read_adc();
   Vsp = ((temp * 0.004883)*10);
}
```

```
charge_con()
{
  if(Vbatt < 1.0 )     // check NO Batt
  {
    output_low(charge);
    output_low(LED);
    index=0;
  }
  else                 // Have Batt
  {
   if((Vbatt <= 13.5)&&(Vpv > Vbatt))     // Charge
   {
     output_high(charge);
     index=1;
   }

   if(Vbatt >= 14.2)     // ON Charge
   {
     output_low(charge);
     output_low(LED);
     index=0;
   }

   if(Vpv < Vbatt)      // Dark
   {
     output_low(charge);
     output_low(LED);
     index=0;
   }
  }
```

```
    if(index==1)      // Blink LED
    {
     if(Vbatt < 13.0)
     {
      output_high(LED);
      delay_ms(500);
      output_low(LED);
      delay_ms(500);
     }
     if((Vbatt >= 13.0)&&(Vbatt < 14.0))
     {
      output_high(LED);
      delay_ms(300);
      output_low(LED);
      delay_ms(300);
     }
     if(Vbatt >= 14.0)
     {
      output_high(LED);
      delay_ms(100);
      output_low(LED);
      delay_ms(100);
     }
    }
}
```

ภาคผนวก ค

คู่มือไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F886

PIC16F882/883/884/886/887

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 instructions to learn:
  - All single-cycle instructions except branches
- Operating speed:
  - DC – 20 MHz oscillator/clock input
  - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
  - Factory calibrated to ±1%
  - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
  - Software tunable
  - Two-Speed Start-up mode
  - Crystal fail detect for critical applications
  - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide operating voltage range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with software control option
- Enhanced low-current Watchdog Timer (WDT) with on-chip oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with pull-up/input pin
- Programmable code protection
- High Endurance Flash/EEPROM cell:
  - 100,000 write Flash endurance
  - 1,000,000 write EEPROM endurance
  - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Program memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

Low-Power Features:

- Standby Current:
  - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
  - 11 μA @ 32 kHz, 2.0V, typical
  - 220 μA @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
  - 1 μA @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

- 24/35 I/O pins with individual direction control:
  - High current source/sink for direct LED drive
  - Interrupt-on-Change pin
  - Individually programmable weak pull-ups
  - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator module with:
  - Two analog comparators
  - Programmable on-chip voltage reference (CV_{REF}) module (% of V_{DD})
  - Fixed voltage reference (0.6V)
  - Comparator inputs and outputs externally accessible
  - SR Latch mode
  - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
  - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Enhanced Timer1:
  - 16-bit timer/counter with prescaler
  - External Gate Input mode
  - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ module:
  - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
  - Compare, max. resolution 200 ns
  - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable “dead time”, max. frequency 20 kHz
  - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM module:
  - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
  - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
  - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART module:
  - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
  - Auto-Baud Detect
  - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I^2C™ Master and Slave Modes with I^2C address mask

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP/ CCP	EUSART	MSSP	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F882	2048	128	128	28	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F883	4096	256	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F884	4096	256	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F886	8192	368	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F887	8192	368	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1

♥ 2007 Microchip Technology Inc.

♥ 2007 Microchip Technology Inc.

Pin Diagrams – PIC16F882/883/886, 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP

28-pin PDIP, SOIC, SSOP

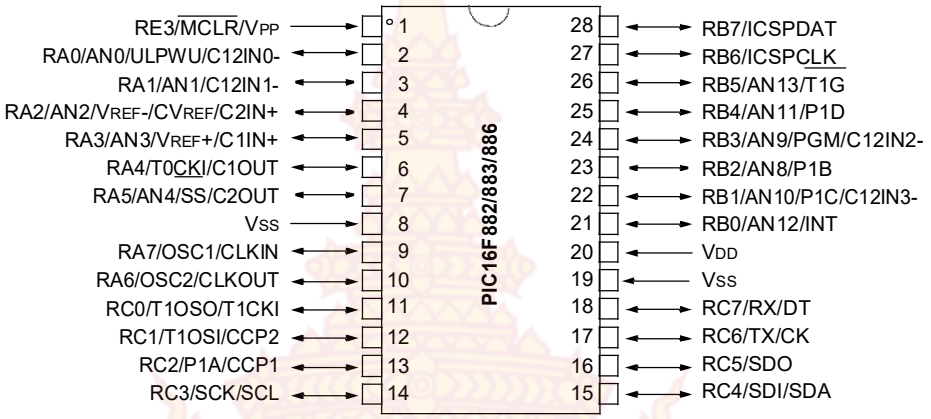


TABLE 1: PIC16F882/883/886 28-PIN SUMMARY (PDIP, SOIC, SSOP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	10	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	9	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	21	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	22	AN10	C12IN3-	—	P1C	—	—	IOC	Y	—
RB2	23	AN8	—	—	P1B	—	—	IOC	Y	—
RB3	24	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	25	AN11	—	—	P1D	—	—	IOC	Y	—
RB5	26	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	27	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	28	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	11	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	12	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	13	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	14	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	15	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	16	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	17	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	18	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	MCLR/VPP
—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	19	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

Pin Diagrams – PIC16F882/883/886, 28-Pin QFN

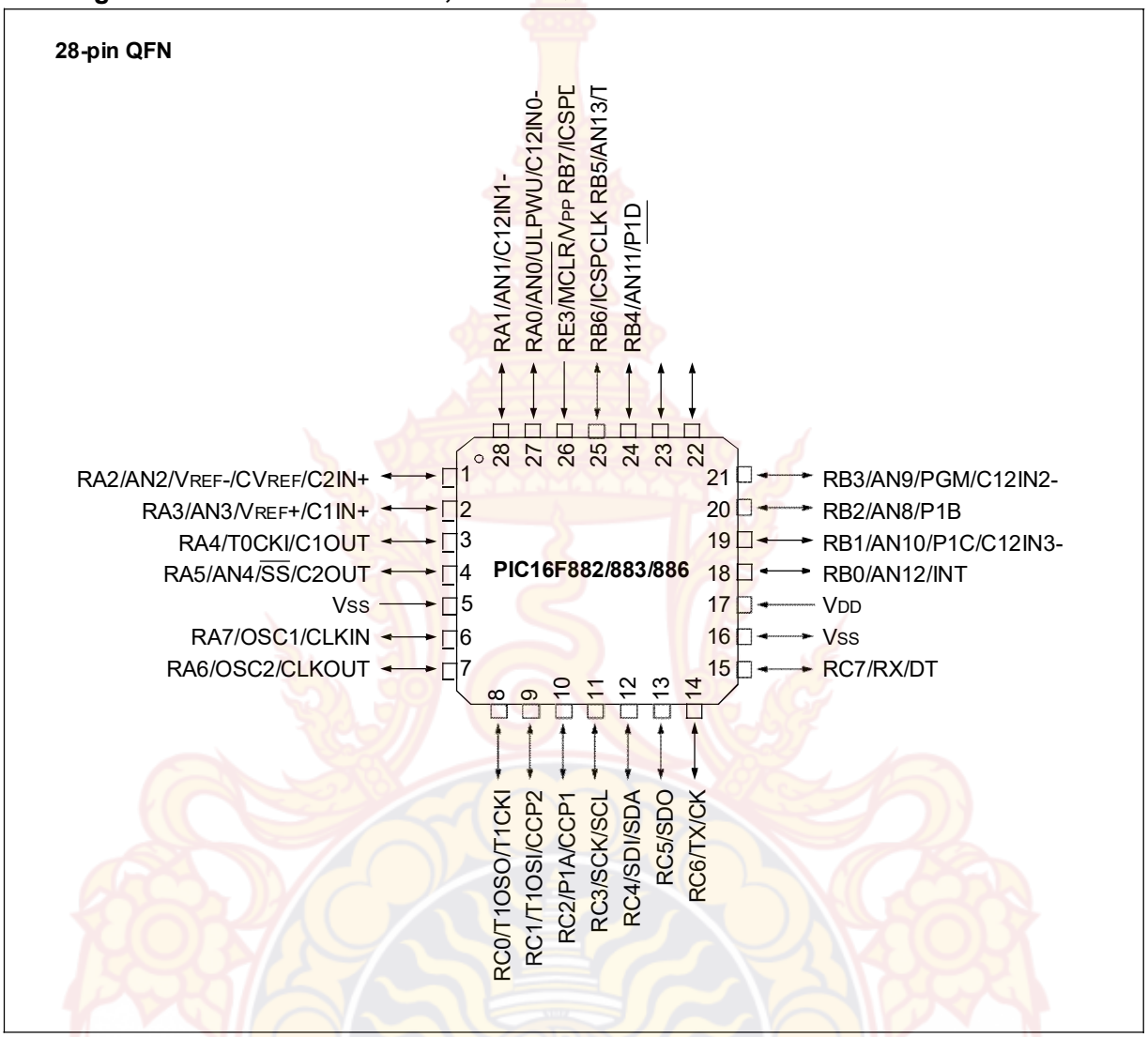


TABLE 2: PIC16F882/883/886 28-PIN SUMMARY (QFN)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	27	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	28	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	1	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	2	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	3	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	4	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	7	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	6	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	18	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	19	AN10	C12IN3-	—	P1C	—	—	IOC	Y	—
RB2	20	AN8	—	—	P1B	—	—	IOC	Y	—
RB3	21	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	22	AN11	—	—	P1D	—	—	IOC	Y	—
RB5	23	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	24	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	25	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	8	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	9	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	10	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	11	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	12	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	13	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	14	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	15	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RE3	26	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	MCLR/VPP
—	17	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{\text{MCLR}}$ configuration.

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP

40-pin PDIP

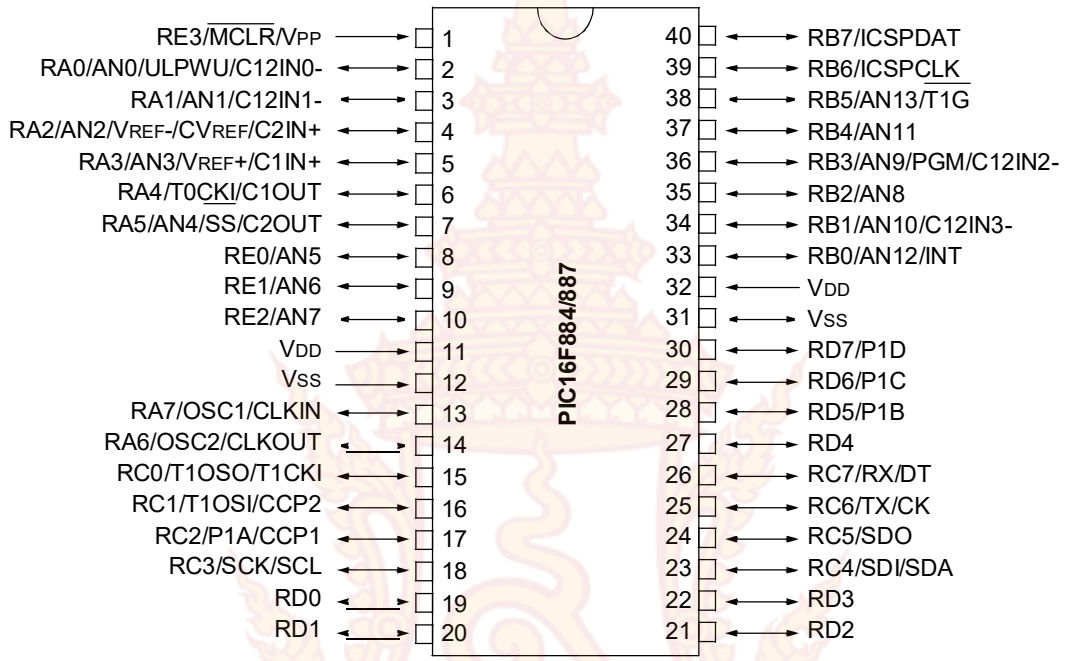


TABLE 3: PIC16F884/887 40-PIN SUMMARY (PDIP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	MCLR/VPP
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{\text{MCLR}}$ configuration.

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 44-Pin QFN

44-pin QFN

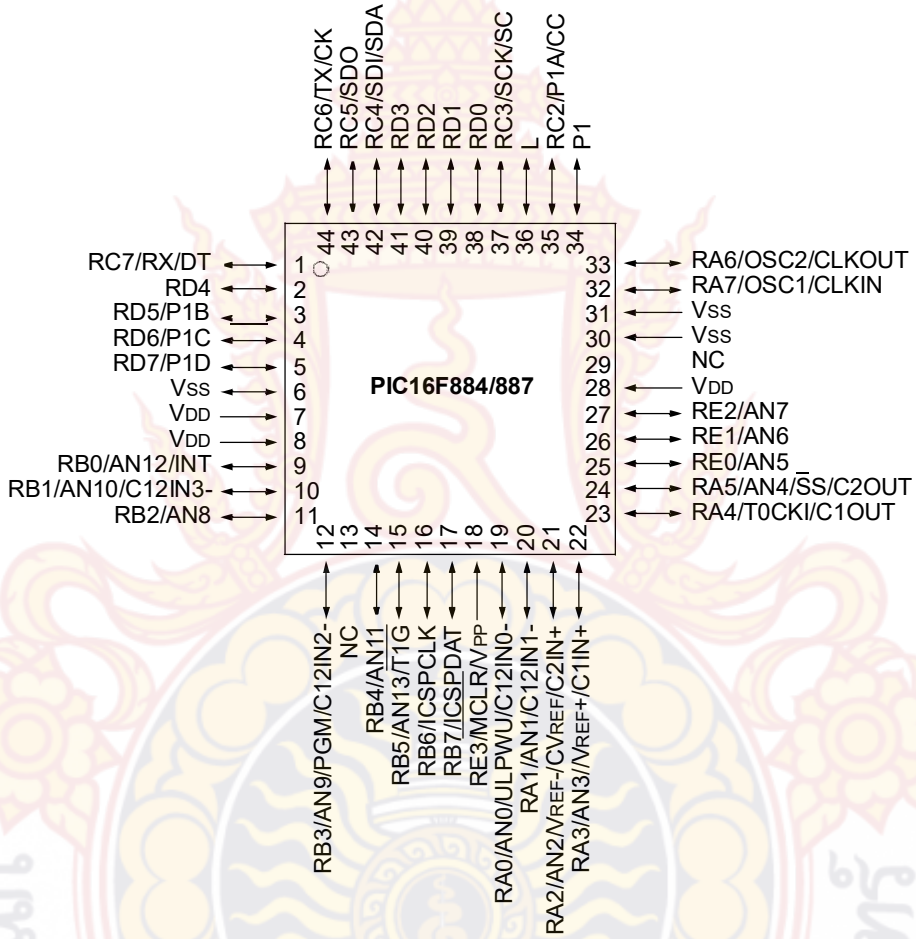


TABLE 4: PIC16F884/887 44-PIN SUMMARY (QFN)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	19	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	20	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	21	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	22	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	23	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	24	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	33	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	32	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	9	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	10	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	11	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	12	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	14	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	15	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	16	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	17	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	34	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	35	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	36	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	37	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	42	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	43	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	44	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	1	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	3	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	4	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	5	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	25	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	26	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	27	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	18	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	MCLR/VPP
—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	13	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{\text{MCLR}}$ configuration.

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 44-Pin TQFP

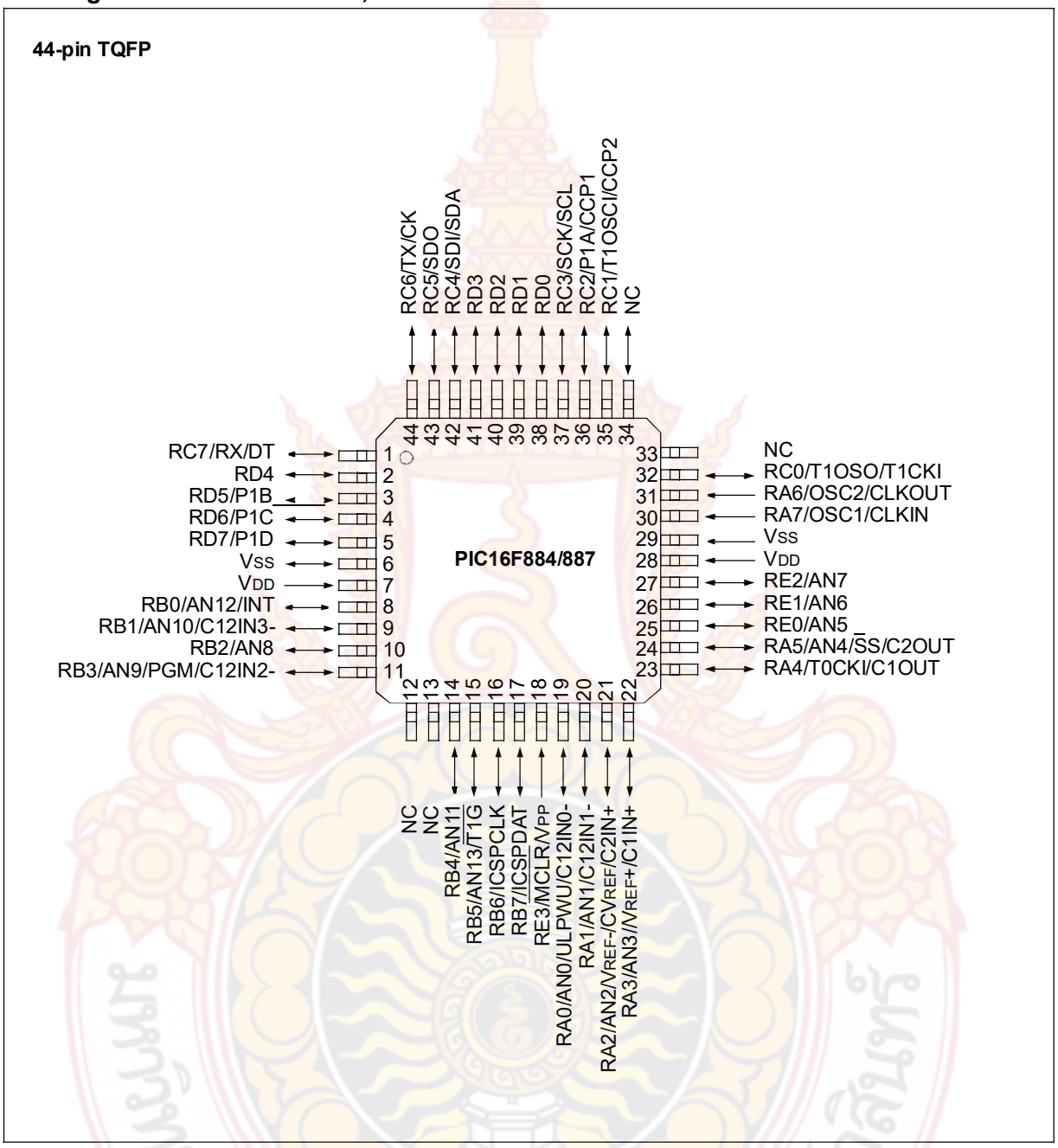


TABLE 5: PIC16F884/887 44-PIN SUMMARY (TQFP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	19	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	20	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	21	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	22	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	23	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	24	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	31	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	31	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	8	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	9	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	10	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	11	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	14	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	15	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	16	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	17	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	32	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	35	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	36	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	37	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	42	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	43	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	44	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	1	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	3	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	4	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	5	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	25	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	26	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	27	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	18	—	—	—	—	—	—	—	Y(1)	MCLR/VPP
—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	13	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	34	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	33	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	NC (no connect)

Note 1: Pull-up activated only with external $\overline{\text{MCLR}}$ configuration.

Table of Contents

1.0 Device Overview 13
2.0 Memory Organization 21
3.0 I/O Ports 39
4.0 Oscillator Module (With Fail-Safe Clock Monitor) 61
5.0 Timer0 Module 73
6.0 Timer1 Module with Gate Control 76
7.0 Timer2 Module 81
8.0 Comparator Module 83
9.0 Analog-to-Digital Converter (ADC) Module 99
10.0 Data EEPROM and Flash Program Memory Control 111
11.0 Enhanced Capture/Compare/PWM Module 123
12.0 Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (EUSART) 149
13.0 Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module 175
14.0 Special Features of the CPU 205
15.0 Instruction Set Summary 225
16.0 Development Support 235
17.0 Electrical Specifications 239
18.0 DC and AC Characteristics Graphs and Tables 261
19.0 Packaging Information 263
Appendix A: Data Sheet Revision History 273
Appendix B: Migrating from other PIC® Devices 273
Index 275
The Microchip Web Site 283
Customer Change Notification Service 283
Customer Support 283
Reader Response 284
Product Identification System 285

TO OUR VALUED CUSTOMERS

It is our intention to provide our valued customers with the best documentation possible to ensure successful use of your Microchip products. To this end, we will continue to improve our publications to better suit your needs. Our publications will be refined and enhanced as new volumes and updates are introduced.

If you have any questions or comments regarding this publication, please contact the Marketing Communications Department via E-mail at **docerrors@microchip.com** or fax the **Reader Response Form** in the back of this data sheet to (480) 792-4150. We welcome your feedback.

Most Current Data Sheet

To obtain the most up-to-date version of this data sheet, please register at our Worldwide Web site at:

http://www.microchip.com

You can determine the version of a data sheet by examining its literature number found on the bottom outside corner of any page. The last character of the literature number is the version number, (e.g., DS30000A is version A of document DS30000).

Errata

An errata sheet, describing minor operational differences from the data sheet and recommended workarounds, may exist for current devices. As device/documentation issues become known to us, we will publish an errata sheet. The errata will specify the revision of silicon and revision of document to which it applies.

To determine if an errata sheet exists for a particular device, please check with one of the following:

- Microchip's Worldwide Web site; http://www.microchip.com
- Your local Microchip sales office (see last page)

When contacting a sales office, please specify which device, revision of silicon and data sheet (include literature number) you are using.

Customer Notification System

Register on our web site at **www.microchip.com** to receive the most current information on all of our products.

♥ 2007 Microchip Technology Inc.

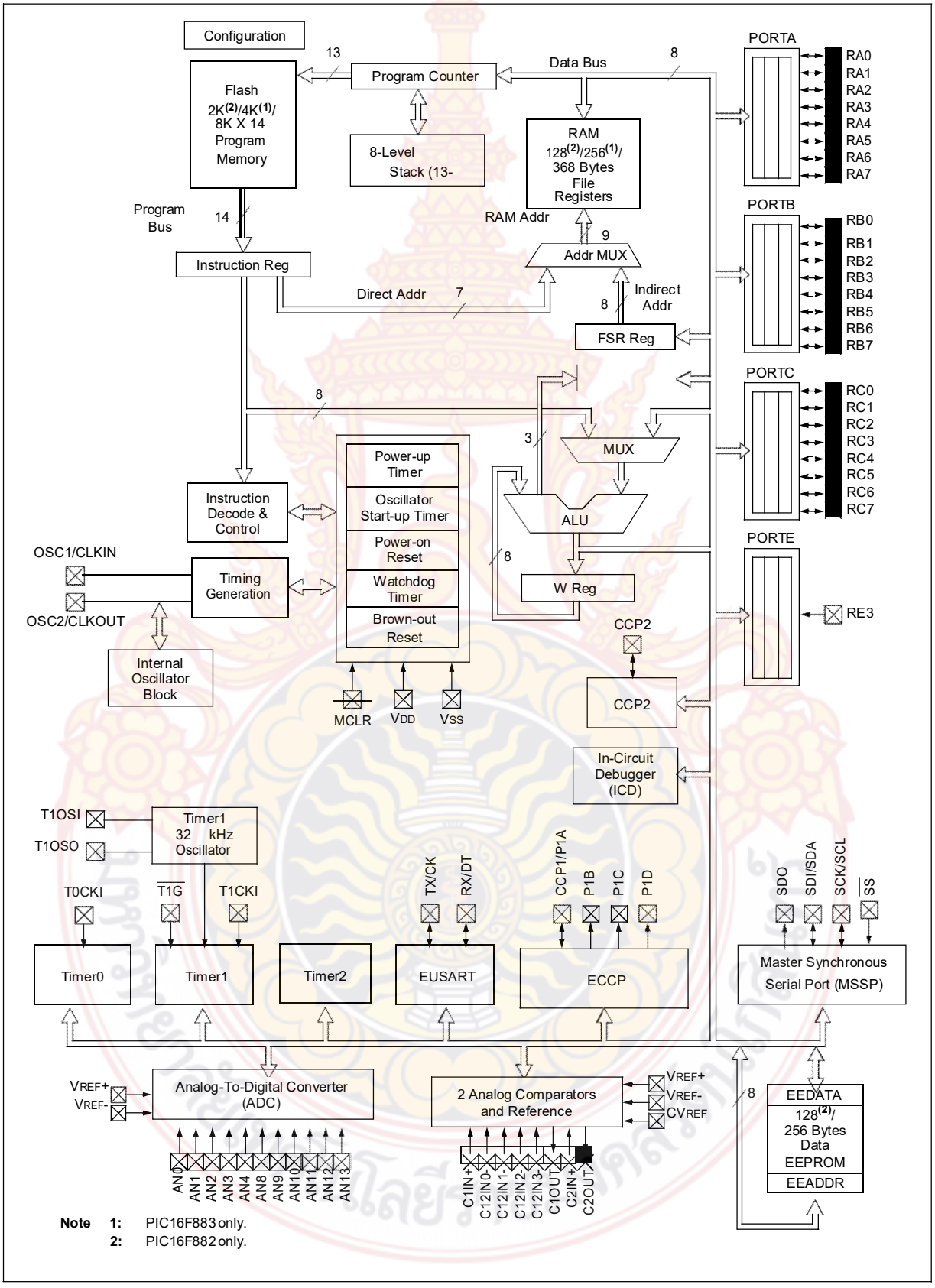
1.0 DEVICE OVERVIEW

The PIC16F882/883/884/886/887 is covered by this data sheet. The PIC16F882/883/886 is available in 28-pin PDIP, SOIC, SSOP and QFN packages. The PIC16F884/887 is available in a 40-pin PDIP and 44-pin QFN and TQFP packages. Figure 1-1 shows the block diagram of PIC16F882/883/886 and Figure 1-2 shows a block diagram of the PIC16F884/887 device. Table 1-1 and Table 1-2 show the corresponding pinout descriptions.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

♥ 2007 Microchip Technology Inc. Preliminary ♥ 2007 Microchip Technology Inc. Preliminary

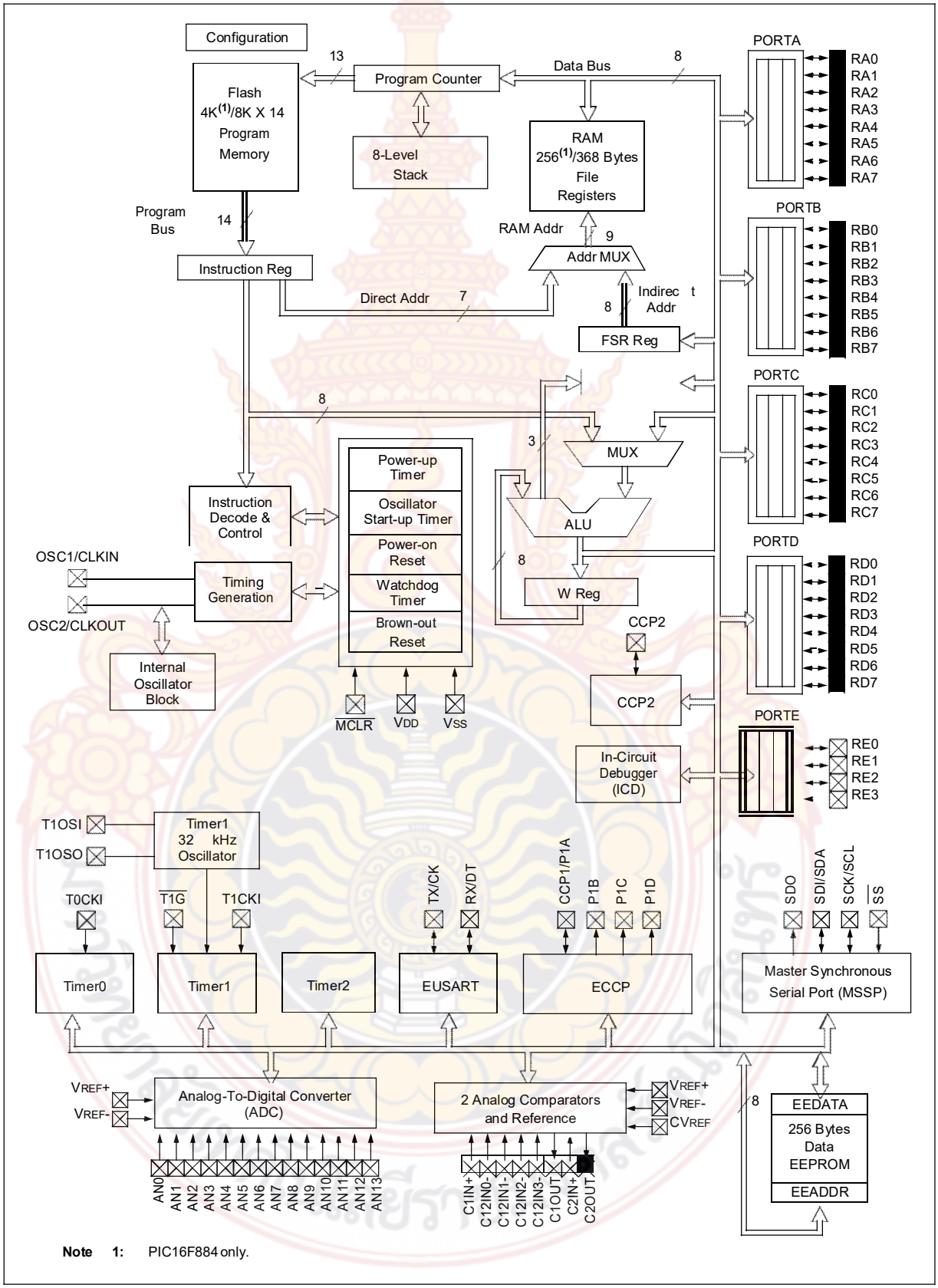
FIGURE 1-1: PIC16F882/883/886 BLOCK DIAGRAM



Note 1: PIC16F883 only.
2: PIC16F882 only.

♥ 2007 Microchip Technology Inc.

FIGURE 1-2: PIC16F884/PIC16F887 BLOCK DIAGRAM



Note 1: PIC16F884 only.

♥ 2007 Microchip Technology Inc.
♥ 2007 Microchip Technology Inc.

TABLE 1-1: PIC16F882/883/886 PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0/ULPWU/C12IN0-	RA0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN0	AN	—	A/D Channel 0 input.
	ULPWU	AN	—	Ultra Low-Power Wake-up input.
	C12IN0-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RA1/AN1/C12IN1-	RA1	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually enabled pull-up.
	AN1	AN	—	A/D Channel 1 input.
	C12IN1-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RA2/AN2/VREF-/CVREF/C2IN+	RA2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN2	AN	—	A/D Channel 2.
	VREF-	AN	—	A/D Negative Voltage Reference input.
	CVREF	—	AN	Comparator Voltage Reference output.
	C2IN+	AN	—	Comparator C2 positive input.
RA3/AN3/VREF+/C1IN+	RA3	TTL	—	General purpose I/O.
	AN3	AN	—	A/D Channel 3.
	VREF+	AN	—	Programming voltage.
	C1IN+	AN	—	Comparator C1 positive input.
RA4/T0CKI/C1OUT	RA4	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually enabled pull-up.
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input.
	C1OUT	—	CMOS	Comparator C1 output.
RA5/AN4/SS/C2OUT	RA5	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN4	AN	—	A/D Channel 4.
	SS	ST	—	Slave Select input.
	C2OUT	—	CMOS	Comparator C2 output.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	OSC2	—	XTAL	Master Clear with internal pull-up.
	CLKOUT	—	CMOS	FOSC/4 output.
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	OSC1	XTAL	—	Crystal/Resonator.
	CLKIN	ST	—	External clock input/RC oscillator connection.
RB0/AN12/INT	RB0	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN12	AN	—	A/D Channel 12.
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/AN10/P1C/C12IN3-	RB1	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN10	AN	—	A/D Channel 10.
	P1C	—	CMOS	PWM output.
	C12IN3-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RB2/AN8/P1B	RB2	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN8	AN	—	A/D Channel 8.
	P1B	—	CMOS	PWM output.

Legend: AN = Analog input or output; CMOS = CMOS compatible input or output; OD = Open Drain
TTL = TTL compatible input; ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage; XTAL = Crystal

Preliminary
♥ 2007 Microchip Technology Inc.

TABLE 1-1: PIC16F882/883/886 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RB3/AN9/PGM/C12IN2-	RB3	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN9	AN	—	A/D Channel 9.
	PGM	ST	—	Low-voltage ICSP™ Programming enable pin.
	C12IN2-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RB4/AN11/P1D	RB4	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN11	AN	—	A/D Channel 11.
	P1D	—	CMOS	PWM output.
RB5/AN13/T1G	RB5	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN13	AN	—	A/D Channel 13.
	T1G	ST	—	Timer1 Gate input.
RB6/ICSPCLK	RB6	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	ICSPCLK	ST	—	Serial Programming Clock.
RB7/ICSPDAT	RB7	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	ICSPDAT	ST	CMOS	ICSP™ Data I/O.
RC0/T1OSO/T1CKI	RC0	ST	CMOS	General purpose I/O.
	T1OSO	—	CMOS	Timer1 oscillator output.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	RC1	ST	CMOS	General purpose I/O.
	T1OSI	ST	—	Timer1 oscillator input.
	CCP2	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM2.
RC2/P1A/CCP1	RC2	ST	CMOS	General purpose I/O.
	P1A	—	CMOS	PWM output.
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM1.
RC3/SCK/SCL	RC3	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SCK	ST	CMOS	SPI clock.
	SCL	ST	OD	I^2C™ clock.
RC4/SDI/SDA	RC4	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SDI	ST	—	SPI data input.
	SDA	ST	OD	I^2C data input/output.
RC5/SDO	RC5	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SDO	—	CMOS	SPI data output.
RC6/TX/CK	RC6	ST	CMOS	General purpose I/O.
	TX	—	CMOS	EUSART asynchronous transmit.
	CK	ST	CMOS	EUSART synchronous clock.
RC7/RX/DT	RC7	ST	CMOS	General purpose I/O.
	RX	ST	—	EUSART asynchronous input.
	DT	ST	CMOS	EUSART synchronous data.
RE3/MCLR/VPP	RE3	TTL	—	General purpose input.
	MCLR	ST	—	Master Clear with internal pull-up.
	VPP	HV	—	Programming voltage.
VSS	VSS	Power	—	Ground reference.
VDD	VDD	Power	—	Positive supply.

Legend: AN = Analog input or output CMOS = CMOS compatible input or output OD = Open Drain
TTL = TTL compatible input ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage XTAL = Crystal

♥ 2007 Microchip Technology Inc.

TABLE 1-2: PIC16F884/887 PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0/ULPWU/C12IN0-	RA0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN0	AN	—	A/D Channel 0 input.
	ULPWU	AN	—	Ultra Low-Power Wake-up input.
	C12IN0-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RA1/AN1/C12IN1-	RA1	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN1	AN	—	A/D Channel 1 input.
	C12IN1-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RA2/AN2/VREF-/CVREF/C2IN+	RA2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN2	AN	—	A/D Channel 2.
	VREF-	AN	—	A/D Negative Voltage Reference input.
	CVREF	—	AN	Comparator Voltage Reference output.
	C2IN+	AN	—	Comparator C2 positive input.
RA3/AN3/VREF+/C1IN+	RA3	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN3	AN	—	A/D Channel 3.
	VREF+	AN	—	A/D Positive Voltage Reference input.
	C1IN+	AN	—	Comparator C1 positive input.
RA4/T0CKI/C1OUT	RA4	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input.
	C1OUT	—	CMOS	Comparator C1 output.
RA5/AN4/SS/C2OUT	RA5	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN4	AN	—	A/D Channel 4.
	SS	ST	—	Slave Select input.
	C2OUT	—	CMOS	Comparator C2 output.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	OSC2	—	XTAL	Crystal/Resonator.
	CLKOUT	—	CMOS	FOSC/4 output.
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	OSC1	XTAL	—	Crystal/Resonator.
	CLKIN	ST	—	External clock input/RC oscillator connection.
RB0/AN12/INT	RB0	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN12	AN	—	A/D Channel 12.
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/AN10/C12IN3-	RB1	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN10	AN	—	A/D Channel 10.
	C12IN3-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.
RB2/AN8	RB2	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN8	AN	—	A/D Channel 8.
RB3/AN9/PGM/C12IN2-	RB3	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN9	AN	—	A/D Channel 9.
	PGM	ST	—	Low-voltage ICSP™ Programming enable pin.
	C12IN2-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative input.

Legend: AN = Analog input or output CMOS = CMOS compatible input or output OD = Open Drain
TTL = TTL compatible input ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage XTAL = Crystal

© 2007 Microchip Technology Inc. Preliminary © 2007 Microchip Technology Inc.

TABLE 1-2: PIC16F884/887 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RB4/AN11	RB4	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN11	AN	—	A/D Channel 11.
RB5/AN13/T1G	RB5	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN13	AN	—	A/D Channel 13.
	T1G	ST	—	Timer1 Gate input.
RB6/ICSPCLK	RB6	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	ICSPCLK	ST	—	Serial Programming Clock.
RB7/ICSPDAT	RB7	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	ICSPDAT	ST	TTL	ICSP™ Data I/O.
RC0/T1OSO/T1CKI	RC0	ST	CMOS	General purpose I/O.
	T1OSO	—	XTAL	Timer1 oscillator output.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	RC1	ST	CMOS	General purpose I/O.
	T1OSI	XTAL	—	Timer1 oscillator input.
	CCP2	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM2.
RC2/P1A/CCP1	RC2	ST	CMOS	General purpose I/O.
	P1A	ST	CMOS	PWM output.
	CCP1	—	CMOS	Capture/Compare/PWM1.
RC3/SCK/SCL	RC3	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SCK	ST	CMOS	SPI clock.
	SCL	ST	OD	I^2C™ clock.
RC4/SDI/SDA	RC4	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SDI	ST	—	SPI data input.
	SDA	ST	OD	I^2C data input/output.
RC5/SDO	RC5	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SDO	—	CMOS	SPI data output.
RC6/TX/CK	RC6	ST	CMOS	General purpose I/O.
	TX	—	CMOS	EUSART asynchronous transmit.
	CK	ST	CMOS	EUSART synchronous clock.
RC7/RX/DT	RC7	ST	CMOS	General purpose I/O.
	RX	ST	—	EUSART asynchronous input.
	DT	ST	CMOS	EUSART synchronous data.
RD0	RD0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD1	RD1	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD2	RD2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD3	RD3	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD4	RD4	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD5/P1B	RD5	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	P1B	—	CMOS	PWM output.
RD6/P1C	RD6	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	P1C	—	CMOS	PWM output.

Legend: AN = Analog input or output; CMOS = CMOS compatible input or output; OD = Open Drain
TTL = TTL compatible input; ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage; XTAL = Crystal

© 2007 Microchip Technology Inc. ♥ 2007 Microchip Technology Inc.

TABLE 1-2: PIC16F884/887 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RD7/P1D	RD7	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	P1D	AN	—	PWM output.
RE0/AN5	RE0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN5	AN	—	A/D Channel 5.
RE1/AN6	RE1	ST	CMOS	General purpose I/O.
	AN6	AN	—	A/D Channel 6.
RE2/AN7	RE2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN7	AN	—	A/D Channel 7.
RE3/MCLR/VPP	RE3	TTL	—	General purpose input.
	MCLR	ST	—	Master Clear with internal pull-up.
	VPP	HV	—	Programming voltage.
VSS	VSS	Power	—	Ground reference.
VDD	VDD	Power	—	Positive supply.

Legend: AN = Analog input or output CMOS = CMOS compatible input or output OD = Open Drain
TTL = TTL compatible input ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
HV = High Voltage XTAL = Crystal

 ♥ 2007 Microchip Technology Inc.

ประวัติผู้วิจัย

1.ชื่อ สกุล ธนากร สุนทรวัฒน์

2.ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

3.หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
96 หมู่ 3 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม (73170)
โทร:02-8894595 ต่อ xxxx
E-Mail : tanakorn.s@rmutr.ac.th

4.ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	สถานที่ศึกษา	สาขาวิชา	ปี พ.ศ.
ปริญญาตรี	ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คลองหก (มทร.ธัญบุรี)	วิศวกรรมไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์	2539

5.สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

-

4.ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

1.หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องมือวัดระยะความละเอียดสูง
งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องมือวัดระยะความละเอียดสูง ปี 2550
การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้งานจริงในการวัดการทรุดตัวของดิน
แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

2.หัวหน้าโครงการวิจัย : อุปกรณ์ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ

ขนาดเล็ก

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : อุปกรณ์ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ปี 2554

การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้งานจริง โดยติดตั้งใช้งานในบ้านพักอาศัยของผู้วิจัย และเพื่อนอาจารย์ในมหาวิทยาลัย จำนวน 3 หลัง

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

3.ผู้ร่วมวิจัย : เครื่องตัดโลหะด้วยพลาสมาควบคุมด้วยแขนกลอัตโนมัติ

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องตัดโลหะด้วยพลาสมาควบคุมด้วยแขนกลอัตโนมัติ ปี 2553

การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้งานจริง โดยใช้ตัดโลหะเพื่อทำชิ้นงานตกแต่งภายในมหาวิทยาลัย

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

4.หัวหน้าโครงการวิจัย : แผนที่พูดได้สำหรับผู้พิการทางสายตา

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : แผนที่พูดได้สำหรับผู้พิการทางสายตา ปี 2555

การเผยแพร่ : กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการวิจัย

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

5.หัวหน้าโครงการวิจัย : การพัฒนาเครื่องคัดแยกสีมะนาว

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องคัดแยกสีมะนาว ปี 2556

การเผยแพร่ : แสดงผลงานในงานราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 5 ปี 2556

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

6.หัวหน้าโครงการวิจัย : เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช ปี 2557

การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้กับชาวนาใน ต.ศาลายา

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

7.หัวหน้าโครงการวิจัย : ลูกโลกพูดได้สำหรับผู้พิการทางสายตา

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : เครื่องวัดความชื้นในเมล็ดพืช ปี 2558

การเผยแพร่ : นำไปทดลองใช้กับนักเรียนวิทยาลัยราชสุดา

แหล่งทุน : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์